Interaktivni test skrivenih informacija: Nova metoda u psihofiziološkom testiranju sa primenom veštačke inteligencije

By Vladimir Ranđelović

WORD COUNT 39895
TIME SUBMITTED 14-MAR-2024 10:10AM
PAPER ID 107560734



UNIVERZITET SINGIDUNUM
Departman za poslediplomske studije

DOKTORSKA DISERTACIJA

Interaktivni test skrivenih informacija: Nova metoda u psihofiziološkom testiranju sa primenom veštačke inteligencije

Mentor:
prof.dr Marko Tanasković

Student:
Vladimir Ranđelović,
indeks: 460011/2018

Beograd, 2024. godine



SINGIDUNUM UNIVERSITY
Department of doctoral studies

DOCTORAL DISSERTATION

Interactive Concealed Information Test: A Novel Approach to Psychophysiological Testing Supported by Artificial Intelligence

Mentor:
prof.dr Marko Tanasković

Student:
Vladimir Ranđelović,
index number: 460011/2018

Belgrade, 2024

Mentor: Prof. dr Marko Tanasković,
Univerzitet Singidunum
Beograd

Članovi Komisije:

1. Prof. dr Marina Marjanović,
   Univerzitet Singidunum, Beograd

2. Prof. dr Goran Knežević,
   Filozofski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Datum odbrane:

Apstrakt

Jedan od najznačajnijih psihofizioloških testova memorije poznat je pod imenom test skrivenih informacija (CIT). Predmet istraživanja ove disertacije je unapređenje klasifikacionih rezultata CIT-a primenom sledećih inovativnih rešenja: novog algoritma za interaktivnu selekciju slajdova (ISS), uvođenjem novog psihofiziološkog mehanizma za vršenje klasičnog uslovljavanja na istinite iskaze (CtTC), kao i novog algoritma za preprocesiranje CIT datasetova.

ISS algoritam prikazuje slajdove ispitaniku interaktivno, na osnovu analize prethodnog EDA signala, za razliku od dosadašnjeg principa po kojem su slajdovi bili predefinisani i prikazivani sekvencijalno u unapred definisanom redosledu.

Klasično uslovljavanje na istinit sadržaj (CtTC) predstavlja novi psihofiziološki mehanizam kojim se omogućava automatski odgovor organizma u trenutku prepoznavanja istinitog sadržaja na ekranu. Ovakav odgovor nije pod voljnom kontrolom i omogućava značajno povećanje senzitivnosti i tačnosti.

Tokom uslovljavanja, CtTC stvara asocijativnu memoriju između reprezentacije apstraktne istine i elektrodermalne reakcije. Tokom testiranja, CtTC funkcioniše tako što istinit sadržaj sa ekrana, preko čula vida, dolazi do asocijativne memorije, koja, preko autonomnih centara u mozgu, aktivira simpatička vlakna i elektrodermalni odgovor u koži ispitanika. Ovaj nervni put nikada do sada nije primenjen ni u jednom psihofiziološkom ispitivanju.

Algoritam za preprocesiranje CIT datasetova, vrši repozicioniranje slajdova unutar dataseta tako da oni vise ne budu poređani po redosledu prikaza, već na osnovu amplituda elektrodermalnog odgovora (EDR) relevantnih i kontrolnih slajdova. Ovakvo repozicioniranje omogućava algoritmima mašinskog učenja (ML) smisleno povezivanje između supervizovanih vrednosti i vektora obeležja elektrodermalnih reakcija, tako da se, kao rezultat, dobija značajno bolja klasifikaciona metrika.

U cilju provere klasifikacione metrike svakog od nabrojanih unapređenja, izvršeno je testiranje bazirano na paradigmi insceniranih kriminalnih događaja (mock-crime). Upoređivanjem klasifikacionih rezultata potvrđeno je da ISS algoritam značajno unapređuje tačnost i specifičnost pre svega smanjenjem broja lažno pozitivnih rezultata, ali i da skraćuje vreme testiranja za 5-10 puta. CtTC, sa druge strane, dovodi do značajnog povećanja tačnosti, čime se omogućava primena CIT-a čak i u slučajevima detektovanja namera i drugih stimulusa niskog nivoa značaja za ispitanika. Takođe, algoritam za preprocesiranje CIT datasetova omogućava algoritmima za mašinsko učenje da značajno unaprede svoje klasifikacione rezultate.

Ukupan doprinos ove disertacije ogleda se u prikazu potpuno novih metoda koje značajno unapređuju rezultate psihofiziološkog testiranja memorije ali i u primeni nove forme klasičnog uslovljavanja i nervnog puta koji do sada nikada nije primenjen u psihofiziologiji. Svaka od predloženih metoda unapređuje postupak testiranja i, u krajnjoj liniji, dovodi do značajnog unapređenja senzitivnosti, specifičnosti i tačnosti klasifikacije ispitanika, kao i do značajnog smanjenja vremena testiranja. Takođe, povećanje senzitivnosti uz pomoć CtTC-a pruža mogućnost proširenja spektra primene u smislu omogućavanja testiranja ne samo memorije događaja, već i testiranja namere, kao i drugih memorijskih sadržaja niskog stepena važnosti.

Abstract

One of the most frequently used memory tests in psychophysiology is known as the Concealed Information Test (CIT). This dissertation focuses on enhancing the classification outcomes within the CIT, achieving this improvement through the implementation of three key elements: a novel algorithm for interactive slide selection (ISS), an innovative psychophysiological mechanism based on classical conditioning to true content (CtTC), and a new CIT-dataset preprocessing algorithm.

The Interactive Slide Selection (ISS) algorithm presents slides to examinees based on the EDA (Electrodermal Activity) analysis, unlike the previous principle employed in the standard CIT where slides were predefined and presented sequentially in a predetermined order.

EDA-based CtTC represents a novel psychophysiological mechanism that enables an automatic response of an organism upon the recognition of a true statement. Such a response is not under voluntary control, does not involve any muscle activity, and allows for a significant increase in sensitivity and accuracy of the method.

During the conditioning, CtTC creates associative memory between the representation of abstract truth and EDR. During the test, true content from the screen reaches the associative memory, which, through the autonomic centers in the brain, activates sympathetic fibers and electrodermal response in the skin. This neural pathway has never been employed in any psychophysiological study before.

The CIT dataset preprocessing algorithm repositions slides within the dataset so that they are no longer arranged in the order of presentation but on the basis of EDR amplitudes of relevant and control slides. This repositioning allows machine learning (ML) algorithms to establish meaningful connections between supervised values and feature vectors of EDRs within the dataset, resulting in significantly better classification metrics.

To verify the classification metrics of each of the mentioned improvements, testing was conducted based on the mock-crime paradigm. Comparing the classification results confirmed that the ISS algorithm significantly improves accuracy and specificity primarily by reducing the number of false-positive (FP) results and shortening the testing time by 5-10 times. CtTC, on the other hand, leads to a significant increase in the method's accuracy, enabling the application of CIT even in cases of intention detection and other stimuli with low significance level. Additionally, the CIT-dataset sorting algorithm allows ML algorithms to significantly improve their classification results.

The overall contribution of this dissertation lies in the presentation of entirely new methods that significantly enhance the results of psychophysiological memory testing, but also in the employment of a new conditioning method and the neural pathway never utilized so far in psychophysiology. Each of the proposed methods improves the results and ultimately brings significant improvements in sensitivity, specificity, and accuracy of participant classification, as well as a significant reduction in testing time. Furthermore, increasing sensitivity through CtTC offers the possibility of expanding its scope of application, allowing for testing not only of event-related memory but also of intentions and other types of memory content with low significance level.

Zahvalnica …

.

Sadržaj

1 Uvod 16
1.1 Ciljevi istraživana 17
1.2 Hipoteze istraživanja 18
1.3 Očekivani naučni doprinos 18
2 Elektrodermalna aktivnost 20
2.1 Istorija 20
2.2 Primena EDA 21
2.3 Anatomija kože i znojnih žlezda 22
2.3.1 Koža 22
2.3.2 Znojne žlezde 23
2.4 Autonomni nervni sistem 24
2.5 Biofizika elektrodermalne aktivnosti 25
2.5.1 Električne veličine u EDA 25
2.5.2 Metode elektrodermalnog merenja 26
2.5.3 Parametri elektrodermalne aktivnosti 28
2.5.4 Elekrični model kože 29
2.5.5 Elektrode za snimanje EDA 31
3 Psihofiziološke pojave u CIT-u 32
3.1 Orijentacioni refleks 32
3.2 Arauzal 32
3.3 Habituacija 33
4 Uslovljavanje 34
4.1 Klasično uslovljavanje 34
4.2 Operantno uslovljavanje 35
4.3 Averzivna i apetitivna stimulacija 35
4.4 Etički principi 36
5 Test skrivenih informacija 38
5.1 Istorijat testa skrivenih informacija 38
5.2 Metodologija snimanja CIT 38
5.3 Prikaz stimulusa 39
5.4 Autonomne reakcije 40
5.4.1 EDA 40
5.4.2 Srčana frekvencija 40

5.4.3 Respiracija (RLL – Respiration Line Length) 40
5.4.4 Krvni pritisak, vazomotorne reakcije i periferna temperatura 40
5.5 Ostale metode CIT testiranja 41
5.6 Primena uslovljavanja u CIT 41
5.6.1 Uslovljavanje na lažne odgovore 41
5.7 Primena CIT testiranja 42
5.7.1 Mock-crime paradigma i realna policijska primena 42
5.7.2 Paradigma ličnih podataka (personal item paradigm) 43
5.7.3 Utvrđivanje namere 43
5.7.4 Memorijske i disfunkcije prepoznavanja 43
5.7.5 Ispitivanje lažne memorije (Deese–Roediger–McDermott paradigma) . 44
5.8 Kontramere 44
5.9 Slabosti i nedostaci CIT-a 44
5.10 CQT i kontroverze oko detekcije laži 45
6 Arhitektura hardvera i softvera iCIT uređaja 47
6.1 Hardver iCIT uređaja 47
6.2 Softver za upravljanje iCIT uređajem 48
6.3 Primenjeni standardi 49
7 Klasifikacija ispitanika 51
7.1 Lykken-ova klasifikacija 51
7.2 Z-score klasifikacija 52
7.3 Mašinsko učenje 52
7.3.1 Istorijski pregled 53
7.3.2 Tipovi mašinskog učenja 54
7.3.3 Klasifikatori 57
7.3.4 Preprocesiranje 67
7.3.5 Treniranje i testiranje 68
7.3.6 Analiza važnosti obeležja 69
8 Interaktivni test skrivenih informacija 71
8.1 Pregled razvoja metode interaktivnog CIT-a 71
8.2 Problemi sCIT-a koje rešava iCIT 71
8.3 Algoritam za interaktivnu selekciju slajdova 72
8.3.1 Primena kontrolnih slajdova 76
8.3.2 Prikaz relevantnog slajda tokom rastuće ivice SCR-a 77
8.3.3 Vreme testiranja 78

8.4 Uslovljavanje na istinu i druge apstraktne koncepte 78
8.4.1 Metodologija uslovljavanja na istinit sadržaj - CtTC 78
8.4.2 Metodologija CtTC testiranja 79
8.5 Algoritam za preprocesiranje CIT datasetova 80
8.6 Otpornost na kontramere 83
9 Metodologija ispitivanja 85
9.1 Metodologija ispitivanja razlike između sCIT-a i iCIT-a 85
9.1.1 Kalkulacija veličine uzorka 86
9.1.2 Grupe i učesnici 86
9.1.3 Stimulusi 86
9.2 Metodologija ispitivanja CtTC 87
9.2.1 Kalkulacija veličine uzorka 87
9.2.2 Grupe i ispitanici 87
9.3 EDA snimanje 88
9.4 Električna stimulacija za uslovljavanje 88
9.5 Određivanje EDR parametara 88
9.6 Metode klasifikacije 89
9.6.1 EDR klasifikacija 89
9.6.2 A-klasifikacija 90
9.6.3 Z-skor klasifikacija 90
9.6.4 ML klasifikacija 90
9.7 Metodologija upoređivanja klasifikatora 92
10 Rezultati 93
10.1 Studija 1 – komparacija sCIT i iCIT 93
10.1.1 Uporedni rezultati testiranja između grupa sCIT i iCIT 93
10.1.2 Vreme testiranja sCIT i iCIT 94
10.2 Stujdija 2 – komparacija sCIT i CtTC 95
10.2.1 Uporedni rezultati klasifikacije sCIT i CtTC 95
10.2.2 Komparacija rezultata sa i bez primene CIT-dataset sorting algoritma 96
10.2.3 Važnost obeležja 97
11 Diskusija 99
11.1 Studija 1 – Interaktivni test skrivenih informacija 99
11.2 Studija 2 – Uslovljavanje na istinit sadržaj 101
11.2.1 CIT-dataset sorting algoritam 103

12 Zaključak 104
13 Literatura 106

Lista skracenica

Skraćenica	Značenje na engleskom	Značenje na srpskom
ANN	Artificial Neural Network	Veštačka neuronska mreža
BP	Blood Pressure	Krvni pritisak
BP	Backpropagation	Propagacija unazad
CIT	Concealed Information Test	Test skrivenih informacija
CR	Conditioned Response	Uslovljeni odgovor
CS	Conditioned Stimulus	Uslovljeni stimulus
CtTC	Conditioning to True Content	Uslovljavanje na istinit sadržaj
ECG	Electrocardiography	Elktrokardiografija
EDA	Electrodermal Activity	Elektrodermalna aktivnost
EDL	Electrodermal Level	Elektrodermalni nivo
EDR	Electrodermal Response	Elektrodermalni odgovor
EEG	Electroencephalography	Elektroencefalografija
ERP	Event Related Potentials	Potencijali bazirani na događajima
FN	False Negative	Lažno negativan
FP	False Positive	Lažno pozitivan
GKT	Guilty Knowledge Test	Test elemenata dela
HR	Heart Rate	Srčana frekvencija
iCIT	interactive Concealed Information Test	Interaktivni test skrivenih informacija
ISI	Interstimulus Interval	Interstimulusni interval
ISS	Interactive Slide Selection	Interaktivna selekcija slajdova
kNN	k Nearest Neighbors	k najbližih suseda
LDA	Linear Discriminant Analysis	Linearna diskriminaciona analiza
MC	Mock Crime group	Grupa koja učestvuje u insceniranom kriminalno događaju
NMC	No Mock Crime group	Grupa koja ne učestvuje u insceniranom kriminalnom događaju
MLP	Multilayer Perceptron	Višeslojni perceptron
NS	Neutral Stimulus	Neutralni stimulus
NS.EDR	Non-Specific Electrodermal Response	Nespecifični elektrodermalni odgovor
OC	Operant conditioning	Operantno uslovljavanje
OR	Orienting Reflex	Orijentacioni refleks
$OR_{veličina\_efekta}$	Odds Ratio effect size	Veličina efekta na bazi odnosa verovatnoća
PPG	Photoplethysmography	Fotopletizmografija
RF	Random Forest	Slučajna šuma
RLL	Respiration Line Length	Dužina respiracionih ciklusa

sCIT	standard Concealed Information Test	Standardni test skrivenih informacija
SCL	Skin Conductance Level	Nivo kožne provodljivosti
SCR	Skin Conductance Response	Odgovor kožne provodljivosti
SPL	Skin Potential Level	Nivo kožnog potencijala
SPR	Skin Potential Response	Odgovor kožnog potencijala
SRL	Skin Resistance Level	Nivo kožnog otpora
SRR	Skin Resistance Response	Odgovor kožnog otpora
SS.EDR	Stimulus-Specific Electrodermal Response	Stimulus-specifični elektrodermalni odgovor
TN	True Negative	Istinito negativan
TP	True Positive	Istinito pozitivan
US	Unconditioned Stimulus	Bezuslovni stimulus

Lista slika

Slika 1. Anatomija kože [84] 23
Slika 2. Tonične i fazične komponente EDA 28
Slika 3. Parametri elektrodermalna reakcije 29
Slika 4. Električni model kože 30
Slika 5. Simulacija električnog modela kože 30
Slika 6. Raspored slajdova i primena ISI-a kod standardnog CIT-a 39
Slika 7. EDA uređaj 48
Slika 8. PC softver za kontrolu iCIT uređaja 49
Slika 9. Supervizovano učenje MLP-a 54
Slika 10. Autoenkoder za korekciju podataka 55
Slika 11. Autoenkoder za smanjenje dimenzionalnosti 56
Slika 12. MLP Klasifikacija slajda na osnovu EDR parametara 58
Slika 13. Princip funkcionisanja perceptrona 58
Slika 14. Sigmoidna funkcija 59
Slika 15. Tangens hiperbolički 59
Slika 16. ReLU funkcija 60
Slika 17. Pad gradijenta sa dobro podešenim koeficijentom učenja 61
Slika 18. Problem sa padom gradijenta zbog velikog koeficijenta učenja 61
Slika 19. Problemi pada gradijenta sa lokalnim minimumima 61
Slika 20. kNN klasifikacija. 62
Slika 21. Maksimizacija međuklasne i minimizacija interklasne varijanse 64
Slika 22. Jedno drvo odlučivanja 65
Slika 23. Slučajna šuma 66
Slika 24. Sekvenca slajdova kod ISS algoritma 74
Slika 25. Algoritam za interaktivnu selekciju slajdova 75
Slika 26. Sekvenca slajdova kod ISS algoritma sa primenom kontrolnog slajda 76
Slika 27. Prikaz relevantnog slada tokom rastuće ivice SCR-a 77
Slika 28. Tipični početak SCR-a kod iCIT-a 77
Slika 29. Proces uslovljavanja na istinit sadržaj (CtTC) [84] 79
Slika 30. Put reakcije na uslovljene stimuluse tokom testiranja [84] 80
Slika 31. CIT-dataset sorting algoritam za klasifikaciju pitanja 82
Slika 32. CIT-dataset sorting algoritam za klasifikaciju učesnika. 82
Slika 33. Senzitivnost i specifičnost sCIT i iCIT 94

Slika 34. Senzitivnost i spcifičnost sCIT-a i CtTC-a 96
Slika 35. ROC-AUC i CIT-dataset sorting algoritam 97
Slika 36. Grafikon važnosti obeležja za sCIT grupu 98
Slika 37. Grafikon važnosti obeležja za CtTC grupu 98

Lista tabela

Tabela 1. Primer CIT dataseta bez primene sorting algoritma 81
Tabela 2. Primer CIT dataseta sa primenjenim sorting algoritmom 81
Tabela 3. Poređenje klasifikacione metrike između sCIT-a i iCIT-a 93
Tabela 4. Statistička komparacija sCIT-a i iCIT-a 94
Tabela 5. Poređenje klasifikacione metrike između sCIT-a i CtTC-a 95
Tabela 6. Statistička komparacija sCIT i CtTC 96
Tabela 7. Klasifikaciona metrika sa i bez primene CIT-dataset sorting algoritma 96
Tabela 8. Važnost obeležja na osnovu modela slučajne šume za sCIT grupu 97
Tabela 9. Važnost obeležja na osnovu modela slučajne šume za CtTC grupu 98

1 Uvod

Jedan od najznačajnijih psihofizioloških testova memorije poznat je pod imenom test skrivenih informacija (Concealed Information Test – CIT). Predmet istraživanja ove disertacije je unapređenje klasifikacionih rezultata testa skrivenih informacija primenom različitih algoritama, izmenom procedure testiranja, kao i uvođenjem novih psihofizioloških metoda.

CIT ima brojne primene i najčešće se koristi u kriminalističkim istragama, selekciji kadrova, dijagnostici i proceni stanja pacijenata sa memorijskom disfunkcijom (prozopagnozija, …) i ispitivanju lažnih memorija (Deese–Roediger–McDermott paradigma).

Osnovna ideja CIT-a je da ispitaniku prikaže predefinisani niz slajdova, neki od kojih su poznati samo ispitivanim osobama (relevantni slajdovi), dok su ostali slajdovi poznati kao irelevantni ili alternativni, slični po sadržaju relevantnim slajdovima, ali za ispitanike nepoznati. Svrha alternativnih slajdova je da habituiraju učesnike na sadržaj relevantnog slajda ali i da se iskoriste za upoređivanje sa reakcijama dobijenim na relevantnim slajdovima. Očekuje se da će ispitanik (npr. počinilac dela) u kriminalističkim istragama prepoznati relevantan slajd i reagovati na njega većom amplitudom fiziološkog signala u poređenju sa alternativnim slajdovima.

Fiziološki signali koji se koriste kod CIT-a su elektrodermalna aktivnost (EDA), srčana frekvencija, respiratorna pletizmografija, krvni pritisak, pletizmografija perifernih krvnih sudova, ili neki od kortikalnih potencijala (ERP – Event Related Potentials) kao što je na primer P300. Na osnovu analize snimljenih signala vrši se klasifikacija ispitanika ili klasifikacija prikazanih slajdova.

Predložena disertacija predviđa unapređenje tradicionalne metode primenom sledećih procedura i algoritama:

- Algoritam za interaktivnu selekciju slajdova

  ISS algoritam (Interactive Slide Selection Algorithm) prikazuje slajdove ispitaniku na osnovu analize prethodnog EDA signala i statusa habituacije. Drugim rečima, za razliku od standardnog CIT-a (sCIT), koji prikazuje unapred pripremljenu sekvencu slajdova, ISS na inteligentan način bira koji slajd treba prikazati ispitaniku u određenom trenutku. Ovaj algoritam bitno unapređuje klasifikacionu metriku sCIT-a pošto značajno smanjuje broj lažno pozitivnih rezultata i povećava tačnost testiranja [160]. Test baziran na ISS algoritmu nazvan je interaktivni CIT test (iCIT).

- Uslovljavanje na istinit sadržaj

  Iako postoje raniji radovi koji su, u cilju unapređenja rezultata sCIT-a koristili princip psihološkog uslovljavanja, svi postojeći radovi bili su vezani za uslovljavanje u odnosu na lažan odgovor ispitanika. Međutim, ova disertacija predstavlja potpuno nov koncept uslovljavanja koji ne zahteva bilo kakav odgovor ispitanika, već vrši uslovljavanje na istinit sadržaj na ekranu. Drugim rečima, kada god ispitanik vidi uslovljeni stimulus u formi istinitog sadržaja (CS – Conditioned Stimulus), dolazi do automatskog opaljivanja uslovljenog odgovora (CR – Conditioned Response) u formi elektrodermalne reakcije (EDR). Nervni put upotrebljen u ove svrhe nikada do sada nije primenjen u

bilo kom psihofiziološkom ispitivanju. Ova vrsta uslovljavanja predstavlja potpuno novu metodu u testiranju memorije i za posledicu ima značajno podizanje nivoa klasifikacionih performansi [159].

- Algoritam za preprocesiranje CIT datasetova

  Kako bi se dalje unapredili klasifikacioni rezultati, ova disertacija ispituje primenu algoritama mašinskog učenja (ML – Machine Learning) u klasifikaciji rezultata CIT skupova podataka. Primena ML algoritama u slučaju klasifikacije ispitanika na „krive“ i „nevine“ na osnovu CIT-a sa više pitanja, dovodi ili do jako malog unapređenja rezultata ili čak do njihovog pogoršanja. Drugim rečima, ML algoritmi ne mogu da daju dobre rezultate ako se primene nad CIT datasetovima sa različitim EDR parametrima i prisustvom više od jednog pitanja. Problem koji se u pomenutom slučaju javlja, odnosi se na nemogućnost ML klasifikatora da povežu supervizovane vrednosti sa bilo kojom kolonom dataseta kao i njihovim linearnim i nelinearnim kombinacijama. Iz ovog razloga, uobičajena primena ML klasifikatora dovodi do redukcije klasifikacione metrike. S tim u vezi, ova disertacija predstavlja nov algoritam za preprocesiranje nazvan CIT-dataset sorting algoritam, koji omogućava primenu ML algoritma uz značajno unapređenje klasifikacionih performansi [159].

- Klasifikacija ispitanika

  Po završenom preprocesiranju i primeni CIT-dataset sorting algoritma, u disertaciji se vrši ispitivanje klasifikacija ispitanika različitim klasifikacionim procedurama koje uključuju EDR klasifikaciju, Lykken-ovu klasifikaciju, Z-skor klasifikaciju i primenu ML klasifikatora kao što su: višeslojni perceptron (MLP – Multilayer Perceptron), k najbližih suseda (kNN – k Nearest Neighbors), linearna diskriminaciona analiza (LDA - Linear Discriminant Analysis) i slučajna šuma (RF - Random Forest).

Predloženi algoritmi i procedure testiranja i klasifikacije imaju dve osnovne prednosti:

1. Značajno povećanje tačnosti, koja se ogleda i u povećanju senzitivnosti i specifičnosti. Ovo znači da je opisanom metodom moguće tačnije detektovati mnogo slabije nadražaje u poređenju sa sCIT testiranjem.
2. Značajno smanjenje vremena testiranja i to za 5-10 puta. Drugim rečima, standardni CIT test (sCIT) koji traje 5-10 minuta, primenom ISS algoritma traje oko 1 minut.

Disertacija vrši komparaciju rezultata dobijenih posle svake od opisanih faza i upoređuje ih sa rezultatima sCIT-a. Na kraju disertacije se diskutuju rezultati i utvrđuju prednosti i mane svake od klasifikacionih faza, daje se poređenje rezultata sa dostupnim radovima i utvrđuju buduće smernice razvoja.

1.1 Ciljevi istraživana

Disertacija ima cilj da:

1. Predstavi algoritam za interaktivnu selekciju slajdova (ISS) i interaktivni CIT (iCIT), i da ispita razliku u klasifikacionoj metrici između sCIT-a i iCIT-a.
2. Predstavi potpuno nov princip uslovljavanja na istinit sadržaj i ispita razliku u klasifikacionoj metrici između CIT testova sa i bez primene CtTC-a.

3. Predstavi algoritam za preprocesiranje CIT datasetova i ispita razliku u klasifikacionoj metrici ML klasifikatora sa i bez njegove primene.

1.2 Hipoteze istraživanja

Istraživanje je bazirano na sledećim hipotezama:

H1: ISS algoritam unapređuje klasifikacionu metriku u odnosu na sCIT.

H2: Vreme testiranja ISS algoritmom je kraće u odnosu na sCIT.

H3: Uslovljavanje na istinit sadržaj unapređuje rezultate klasifikacije u odnosu na sCIT test.

H4: Primena ML klasifikatora na CIT skupovima podataka uz primenu algoritma za preprocesiranje dovodi do unapređenja klasifikacione metrike.

1.3 Očekivani naučni doprinos

Naučni doprinos predložene disertacije ogleda se, pre svega, u:

1. Prikazu novog koncepta interaktivne prezentacije slajdova na osnovu praćenja elektrodermalnog signala, kao i u rezultatima komparacije tradicionalnog i interaktivnog CIT testa.
2. Prikazu novog koncepta uslovljavanja (CtTC) i rezultatima komparacije novog koncepta sa rezultatima standardnog CIT testa. Najvažniji doprinos predložene metode je u primeni potpuno novog nervnog puta koji, tokom uslovljavanja, u mozgu ispitanika, spaja prepoznavanje apstraktne istine iz vizuelnih aferenata (uslovljeni stimulus) i elektrodermalnu reakciju (uslovljenu reakciju) preko simpatičkih eferenata. Za razliku od postojećih metoda uslovljavanja, novi nervni put omogućava potpuno automatsku reakciju ispitanika, bez bilo kakvih odgovora i bilo kakvog angažovanja mišića. Ukoliko buduće studije potvrde njenu efektivnost, metoda CtTC bi mogla da postane značajna u mnogo širem kontekstu koji obuhvata kognitivnu psihologiju i neuronauku (neuroscience), u smislu proučavanja i mnogih drugih apstraktnih koncepata kao što su ljubav, mržnja, ponos, hrabrost, …
3. Predstavljanju novog algoritma za preprocesiranje CIT datasetova i rezultatima komparacije klasifikacione metrike sa i bez primene algoritma za preprocesiranje CIT datasetova. Primena ML algoritama na CIT datasetovima sa većim brojem pitanja do sada nije bila moguća s obzirom na nemogućnost postojećih ML algoritama da, u procesu nadgledanog učenja, adekvatno povežu supervizovane vrednosti sa vektorima obeležja.

Na osnovu preliminarnih istraživanja može se videti da se predstavljene metode za unapređenje klasifikacionih rezultata odlikuju:

1. Značajnim poboljšanjem rezultata klasifikacije koji uključuju povećanje tačnosti, senzitivnosti, specifičnosti ali i unapređenje karakteristika samih klasifikatora povećanjem vrednosti ROC-AUC parametra (Receiver Operating Characteristics – Area Under the Curve). Ovo znači da kod iCIT testa ima značajno manje lažno negativnih i lažno pozitivnih vrednosti, kao i da ROC kriva ima veću površinu.

2. Značajnim smanjenjem vremena testiranja od oko 5 puta (npr. ako je vreme testiranja kod sCIT-a oko 5 min., vreme testiranja kod iCIT-a se skraćuje na oko 1 min.)
3. Algoritam za preprocesiranje CIT skupova podataka omogućava primenu ML klasifikatora na CIT datasetovima sastavljenim od više pitanja i različitim parametrima EDR. ML klasifikatori bez primene algoritma za preprocesiranje ne dovode do značajnog unapređenja klasifikacionih rezultata, dok primena algoritma za preprocesiranje omogućava ML klasifikatorima da značajno unaprede klasifikacionu metriku.

Praktičan doprinos predložene metode u profesionalnoj primeni odnosi se na mogućnost bržeg i tačnijeg testiranja u kriminalističkim istragama, testiranju namere kod anti-terorističkog skrininga, testiranju stavova, lojalnosti, selekcije kadrova, ali i kod dijagnostike stanja pacijenata sa memorijskim disfunkcijama (npr. prozopagnozija i slični problemi), u testiranju lažne memorije (Deese–Roediger–McDermott paradigma) i slično.

2 Elektrodermalna aktivnost

Elektrodermalna aktivnost predstavlja kolektivni termin koji objedinjuje različite oblike električne aktivnosti ili promene električnih parametara na nivou kože. Električni fenomeni u koži uključuju promenu njenog otpora, provodljivosti, impedanse i admitanse, ali i promenu kožnog potencijala. Ove električne promene dešavaju se kao posledica različitih emocionalnih reakcija i različitih emocionalnih stanja, zbog čega, u današnje vreme, igraju nezamenljivu ulogu u psihofiziološkom ispitivanju.

2.1 Istorija

Elektrodermalni fenomeni otkriveni su sredinom 19. veka, a brojna otkrića sve do danas vodila su ka unapređenju ove tehnike [35, 140]. Prve električne fenomene u koži otkrio je DuBois-Reymond [53] i svoja otkrića objavio 1848. i 1849. godine. On je detektovao protok struje između leve i desne noge za vreme dok je na jednoj nozi vršena voljna mišićna kontrakcija. Zbog ovog je pogrešno zaključio da izvore električnih pojava predstavljaju akcioni potencijali tokom kontrakcije mišića. Povezanost znoja i elektrodermalnih efekata otkrili su Hermann i Luchsinger 1878. godine [101]. Oni su ukazali na činjenicu da su elektrodermalni efekti izraženiji na dlanovima i tabanima kao posledica povećane aktivnosti znojnih žlezda na ovim mestima. Prvi koji je ukazao na to da elektrodermalni efekti imaju veze sa psihološkim aktivnostima bio je Vigoreux 1879. godine [203]. On je uočio da je promena kožnog otpora povezana sa nivoom anestezije kod histeričnih pacijenata. Međutim, njegova ideja bila je da promene u električnim vrednostima kože nastaju kao rezultat promene protoka krvi, a ne kao rezultat aktivnosti znojnih žlezda. Fèrè je 1888. godine objavio kratak članak [77] u kojem je po prvi put ukazao na promenu kožnog otpora kao rezultat emocionalne stimulacije histeričnih pacijenata. Skoro istovremeno, Tarchanoff [191] takođe ukazuje na vezu između mentalne aktivnosti i električnih potencijala na koži. Oba elektrodermalna fenomena bila su povezana sa mentalnim aktivnostima, pri čemu je Fèrè koristio egzosomatsku metodu snimanja i registrovao kožni otpor, dok je Tarchanoff koristio endosomatsku postavu i registrovao kožne potencijale. Fèrè je pogrešno zaključio da je uzrok elektrodermalnih fenomena promena u protoku krvi, dok je Tarchanoff ispravno shvatio da je pravi uzrok aktivnost znojnih žlezda.

U prvoj polovini 20. veka objavljen je veliki broj radova koji su se odnosili na primenu galvanskog otpora kože (GSR - Galvanic Skin Response) [115, 116], a pojavili su se i prvi testova veoma slični metodologiji današnjeg testa skrivenih informacija (CIT - Concealed Information Test) [134, 96, 95, 122, 123]. U daljem toku istorije razvoja EDA, došlo je do brojnih inovacija koja su omogućila uspešniju primenu ove metode. Jedna vrsta inovacija odnosila se na standardizaciju primene EDA kojom su precizno definisana imena različitih elektrodermalnih efekata i date preporuke za snimanje različitih vrsta elektrodermalnog odgovora. Termin elektrodermalna aktivnost prvi put je pomenut 1966. godine [110] kao kolektivni termin koji označava različite električne pojave u koži. Imena različitih elektrodermalnih efekta danas su jasno definisana [35] u zavisnosti od tipa merenja, merene fizičke veličine i drugih faktora. Tako je, na primer, uvedena jasna razlika u merenju strujnog otpora, provodljivosti, impedanse i admitanse, kao i brojna metodološka pravila [35, 34] koja je potrebno ispoštovati prilikom sprovođenja eksperimenata baziranih na EDA.

Druga vrsta inovacija odnosila se na tehnička unapređenja, kao što su razvoj elektronskih kola i računarskih sistema koji su doveli do značajnog pojeftinjenja i povećanja broja uređaja za snimanje EDA, a samim tim i značajno većeg broja istraživanja.

1914. godine italijanski psiholog Vittorio Benussi objavio je svoje nalaze u delu „Die Atmungssymptome der Lüge“ gde je opisao kako nalazi dobijeni analizom respiracije ukazuju na laž [189]. Nedugo zatim, 1915. godine, američki psiholog William Marston objasnio je princip analize sistolnog krvnog pritiska u detekciji laži [189]. Prethodna dva otkrića uticala su na John Augustus Larson-a da 1921. godine predstavi poligraf koji meri srčanu frekvenciju (HR), krvni pritisak (BP) i respiraciju (RLL) [189]. 1939. godine, Larson-ov saradnik, Leonarde Keeler poligrafu je dodao i sistem za snimanje EDA [189]. Od tog trenutka EDA je pratila i čitav niz ispitivanja koja su bila vezana za poligraf.

Ovde je važno ukratko razjasniti kontroverze koje prate poligrafska ispitivanja (5.10 CQT i kontroverze oko detekcije laži). Poligraf predstavlja uređaj koji može da istovremeno snimi veći broj fizioloških signala koji uglavnom predstavljaju indikatore emocionalnih reakcija (EDA, puls, krvni pritisak, pletizmografija respiracije, pletizmografija perifernog protoka krvi). Snimanje ovih signala samo po sebi ne predstavlja bilo kakav problem u naučno-metodološkom smislu. Problem sa poligrafom se javlja prilikom primene nekih od testova koji se koriste tokom kriminalističkih istraga kao što je na primer CQT (Control Question Test). Sa druge strane, testovi kao što je CIT, u svojoj osnovi nisu u suprotnosti sa osnovnim metodološkim načelima naučnog istraživanja, te s tim u vezi ne nose kontroverze koje sa sobom nosi CQT. Drugim rečima, poligraf kao uređaj nije u problemu sa načelima naučnog istraživanja, ali određene metode testiranja uz pomoć poligrafa nemaju naučnu podršku pošto nisu u skladu sa naučnim metodološkim pristupom i sa sobom ne nose adekvatnu psihofiziološku podršku [137].

2.2 Primena EDA

Danas EDA ima brojne primene kao što su:

- Analiza stresa [192]
- Analiza sna [171]
- Analiza emocija [94]
- Istraživanje epilepsije [99]
- HCI (Human Computer Interface – interfejs čovek računar) [47]
- Kriminalističke istrage [22]
- Selekcija kadrova [35]
- Istraživanje tržišta [35]
- Istraživanje Deese-Roediger-McDermott paradigme [10]

Kod mnogih od navedenih primena, EDA se koristi u analizi nivoa provodljivosti kože (SCL – Skin Conductance Level), dok se kod nekih od navedenih primena snimanje EDA koristi u cilju otkrivanja elektrodermalnih reakcija (EDR – Electrodermal Response). U poslednjem slučaju uglavnom se koristi neki od postojećih testova koji beleže elektrodermalne reakcije na osnovu prikazanih stimulusa. Takav je i test skrivenih informacija (CIT – Concealed Information Test). koji predstavlja osnovnu temu ove disertacije.

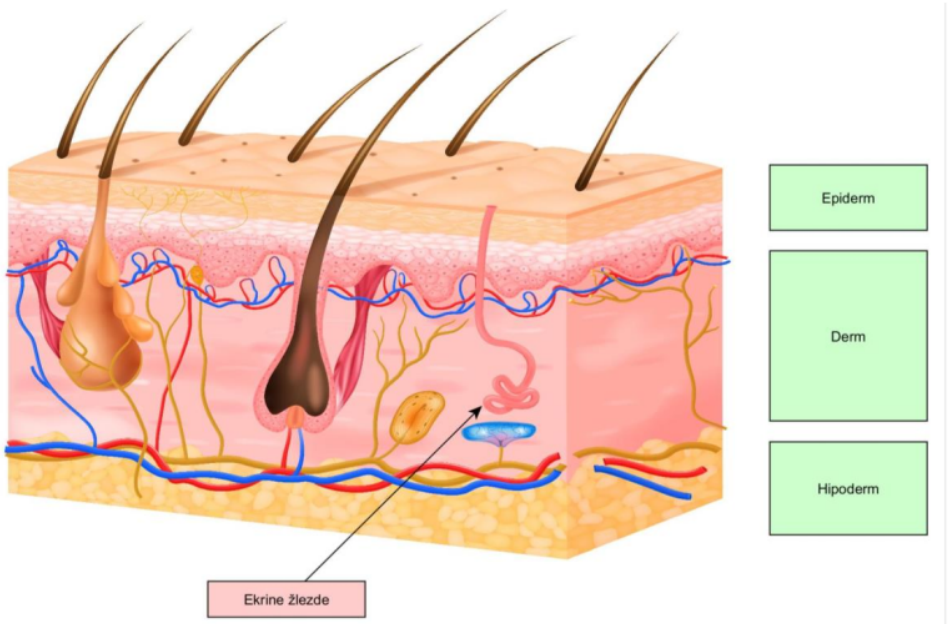
2.3 Anatomija kože i znojnih žlezda

Koža je najveći organ ljudskog tela i prekriva njegovu celokupnu površinu. Sa jedne strane ona obezbeđuje strukturnu potporu organizmu i pruža mehaničku zaštitu njegovoj unutrašnjosti, dok sa druge strane učestvuje u obavljanju različitih funkcionalnosti kao što su termoregulacija, ekskrecija, sinteza vitamina D, imunološka funkcija, apsorpcija elemenata iz spoljnog sveta, itd. Koža takođe sadrži veliki broj receptora koji učestvuju u senzaciji dodira, bola, pritiska, temperature i vibracija.

2.3.1 Koža

Koža se sastoji od tri osnovna sloja (Slika 1). Svaki od ovih slojeva ima svoje električne karakteristike, pri čemu se, pojednostavljeno govoreći, može zaključiti da kako se ide u dubinu, slojevi kože imaju sve veću provodljivost. U tom smislu mogu se izdvojiti stratum corneum, ostatak epiderma i derm, kao slojevi sa značajnim razlikama u provodnosti, pri čemu stratum corneum ima najmanju, dok derm ima najveću provodnost. Postoje velike razlike u provodnostima ovih slojeva u zavisnosti od raznih faktora koji uključuju interpersonalne razlike, ambijentalne faktore, telesnu kompoziciju i druge faktore. Važno je napomenuti da i limfa, u velikoj meri, doprinosi dobroj provodljivosti dubljih struktura kože. Iz ovog razloga, u nastavku teksta data je samo komparativna analiza u provodnosti između slojeva kao i njihova osnovna funkcija:

1. Epidermis
   Površinski sloj kože poznat je pod imenom epidermis i predstavlja prvu liniju mehaničke zaštite organizma. Najpovršniji sloj epidermisa zove se stratum corneum i sastoji se od višestrukih slojeva mrtvih ćelija keranocita (corneocytes) koji pružaju, pre svega, mehaničku zaštitu, i sprečavaju odliv vlage i ulaz mikroorganizama. Ovaj sloj najviše doprinosi ukupnom električnom otporu kože i veoma je značajan u kontekstu elektrodermalnih efekata. Svi ostali slojevi, koji uključuju stratum lucidum, stratum granulosum, stratum spinosum i stratum basale, imaju manji otpor i ne igraju tako važnu ulogu kao stratum corneum.
2. Dermis
   Središnji sloj kože koji sadrži znojne i lojne žlezde, folikule dlaka, kao i nerve i krvne sudove. Ovaj sloj kože bogat je kolagenom i elastinskim vlaknima koji koži daju snagu i elastičnost. U ovom sloju nalaze se i krvni sudovi. Protok krvi u koži se može pratiti fotopletizmografski (photoplethysmography - PPG) a ova analiza može se koristiti za analizu različitih psihofizioloških reakcija imajuću u vidu da je protok krvi, kao i EDA, pod uticajem autonomnog nervnog sistema (ANS). Obe fiziološke aktivnosti se često koriste za ispitivanje stresa i drugih psihofizioloških odgovora. Dermis ima još veću provodnost u odnosu na epidermis.
3. Hipodermis
   Subkutano tkivo sastavljeno je od konektivnog tkiva i adipocita (masnih ćelija). Kao i dermis, sadrži nerve i krvne sudove koji takođe imaju ulogu u termoregulaciji. Provodnost hipodermisa je u sličnim okvirima sa dermisom.



Slika 1. Anatomija kože [84]

2.3.2 Znojne žlezde

Znojne žlezde kod ljudi javljaju se u 3 tipa. Dva osnovna tipa su ekrine i apokrine žlezde, dok apoekrine predstavljaju intermedijalni tip između dva osnovna tipa. Sva tri tipa žlezda dovode do znojenja, pri čemu su za snimanje EDA najvažnije ekrine žlezde, imajući u vidu da se nalaze da dlanovima i da dobro reaguju na emocionalne nadražaje.

- Ekrine žlezde
  Ovaj tip žlezda rasprostranjen je u kosmatim delovima kože gde igra važnu ulogu u termoregulaciji. Rasprostranjen je takođe i u golim delovima kože gde pre svega učestvuje u odgovoru na emocionalne stimuluse, duboko disanje, fizički trening, kao i lokalnu taktilnu stimulaciju. Ova vrsta znoja poznata je i pod nazivom „emotional sweating“, odnosno emocionalno znojenje. Rasprostranjenost ekrinih žlezda po jedinici površine najveća je na dlanovima i tabanima (200–700 cm^{-2}), a manja na kosmatim delovima kože (60–120 cm^{-2}) [7, 98, 193, 11]. Ovo je i razlog zbog kojeg je snimanje najpovoljnije vršiti preko volarnih delova prstiju ili delova dlana kao što su tenarna ili hipotenarna regija.

  Žlezde se generalno sastoje od sekretorne zavojnice i od kanala koji znoj vodi do epitelne površine. Sekretorna jedinica postavljena je u dermu i hipodermu. Okružena je mišićima koje kontrolišu simpatička vlakna autonomnog nervnog sistema. Pore ekrinih znojnih žlezda u dlakavoj koži nalaze se u brazdama, dok se u golim delovima kože nalaze u kožnim grebenima [98].

- Apokrine žlezde
  Ovaj tip žlezda najčešće se nalazi pored dlaka u aksilarnoj jami, očnih kapaka, pubične i analne regije. Apokrine žlezde su veće od ekrinih i svoj sadržaj izlučuju preko kanala koji se završavaju u folikulu dlake. Njihov sadržaj je gušći od sadržaja ekrinih žlezda i smatra se da ima ulogu feromona, kao i da učestvuje u

komunikaciji putem čula mirisa. Ove žlezde takođe su aktivne i u slučaju termoregulacije i u slučaju emocionalnih nadražaja kao što je stres i uzbuđenje. Obe vrste žlezda inervisane su simpatičkim nervnim vlaknima

- Apoekrine žlezde
  Ovaj tip žlezda predstavlja prelazni fenotipski tip između ekrinih i apoekrinih žlezda. Otkrivene su 1987. godine [172, 173]. Razvijaju se najčešće ispod pazuha između 8-14. godine od ekrinih žlezda sa kojima su sličnije posebno zbog toga što svoj sadržaj izbacuju na površinu kože a ne u folikul dlake.

2.4 Autonomni nervni sistem

Iako su fiziologija i anatomija ANS-a veoma obimne i složene, ovo poglavlje obradiće ukratko principe funkcionisanja ANS-a samo u okviru teme ove disertacije. Autonomni nervni sistem (ANS) je deo nervnog sistema koji kontroliše različite delove organizma automatski, bez angažmana svesnog dela nervnog sistema. Sastoji se iz dva, međusobno suprotstavljena podsistema: simpatičkog (SNS - simpatički nervni sistem) i parasimpatičkog (PNS - parasimpatički nervni sistem). U kontekstu elektrodermalnog odgovora, SNS utiče na podizanje arauzala i pripremu organizma za stresne događaje (efekat poznat kao „bori se ili beži“). On ubrzava srčani rad, povećava konduktivnost kože, sužava zenice i utiče na čitav niz fizioloških sistema kojima se organizam priprema za novonastalu situaciju. PNS igra suprotnu ulogu i pokušava da smanji nivo arauzala i relaksira organizam.

U kontekstu ove disertacije važno je uočiti da u mozgu postoje centri koji rukovode aktivnošću ANS-a, pri čemu je od najvećeg interesa razumevanje njegove simpatičke grane. Iz moždanih centara, simpatički eferentni neuroni, idu prvo do simpatičkih paravertebralnih ganglija (lociranih duže kičme), od kojih nastavljaju da idu aksoni simpatičkih vlakana sve do različitih efektora. Jedan deo ovih vlakana inerviše i ekrine znojne žlezde koje igraju fundamentalnu ulogu u elektrodermalnom efektu.

Centri u mozgu koju učestvuju u regulaciji ANS predstavljaju anatomske i funkcionalne celine čija je uloga da upravlja autonomnim procesima. Treba imati u vidu da ovaj sistem funkcioniše kao jedinstvena celina različitih neuronskih mreža, te da su pobrojani centri samo delovi ukupnog sistema koji imaju najveću ulogu u kontroli SNS-a, što ne znači da i drugi povezani delovi mozga nisu zaslužni za funkcionisanje celokupnog sistema. Najvažniji delovi moga koji učestvuju u kontroli SNS-a su:

1. **Limbički sistem** predstavlja pre svega funkcionalnu celinu čija je glavna uloga da upravlja emocijama i memorijom. On, pre svega, uključuje hipokampus, amigdalu, hipotalamus, talamus i cingularni korteks (cingulate cortex). Ovaj deo sistema, preko talamusa, je povezan sa svim čulnim ulazima osim olfaktornog, a povezan je i sa frontalnim korteksom čije je učešće važno u donošenju odluka. Takođe, limbički sistem ostvaruje dobre veze i sa moždanim stablom koje ima značajnu ulogu u svesnosti, pažnji i orijentacionom refleksu. Kao najznačajniji deo mozga za kontrolu emocija koji je povezan sa prethodno pomenutim sistemima, limbički sistem je u stanju da, na osnovu integracije informacija iz spoljnjeg sveta i višeg nivoa planiranja iz frontalnog korteksa, inicira reakciju poznatu kao "bori se ili beži" aktiviranjem simpatičke grane ANS-a.
2. **Centri moždanog stabla**: Moždano stablo igra kompleksnu ulogu u brojnim funkcijama. U kontekstu ove disertacije najvažnije funkcije moždanog stabla

odnose se na orijentacioni refleks, svesnost i pažnju. Jezgra moždanog stabla primaju signale iz limbičkog sistema i viših moždanih centara, te šalju eferentne signale za regulisanje funkcija kao što su otkucaji srca, disanje, varenje. Važni centri u moždanom stablu koji su povezani sa orijentacionim refleksom i igraju ulogu u kompletnom razumevanju centralnih (EEG) i perifernih (EDA) fizioloških pojava su: retikularna formacija i RAS (retikularni aktivacioni sistem), locus coeruleus norepinefrin (LC-NE), rostralna ventrolateralna medule (RVLM). Razumevanje rada nabrojanih funkcionalno-anatomskih struktura veoma je važno za ukupno sagledavanje različitih fizioloških reakcija orijentacionog refleksa u mozgu (ERP, P300, P3a, P3b) i na periferiji (EDA, HR, RLL, i ostalo).

3. **Frontalni korteks**: Iako ne kontroliše direktno autonomni nervni sistem, frontalni korteks, koji je povezan sa višim kognitivnim funkcijama i donošenjem odluka, može modulirati autonomne odgovore kroz veze sa amigdalom i drugim limbičkim strukturama.

2.5 Biofizika elektrodermalne aktivnosti

EDA predstavlja kompleksan set psiholoških, fizioloških i električnih fenomena koji se mogu snimiti različitim metodama i analizirati uz pomoć različitih fizičkih veličina. U cilju lakšeg sagledavanja funkcionisanja EDA, predloženi su različiti električni modeli kože koji su primenljivi u različitim situacijama i omogućavaju dinamičko sagledavanje elektrodermalnih fenomena.

Kako bi se obradili različiti aspekti EDA, važno je dobro razmotriti fizičke veličite koje je opisuju.

2.5.1 Električne veličine u EDA

Fizičke veličine koje se koriste u analizi EDA odnose se na različite električne parametre kože, sa posebnim osvrtom na parametre koji se menjaju u zavisnosti od određenih psiholoških stanja i reakcija.

Jedna od najvažnijih veličina koja se meri tokom snimanja EDA je električni otpor koji se izražava jedinicom om (Ω). Odnos napona, struje i otpora definiše Omov zakon (F. 2-1) koji kaže da je struja koja teče između dve tačke provodnika direktno srazmerna naponu (U) između te dve tačke a obrnuto srazmerna otporu (R).

F. 2-1.Omov zakon: $$I = \frac{U}{R},\ R = \frac{U}{I},\ U = RI$$

F. 2-2. Jedinica električnog otpora: $$\Omega = \frac{V}{A}$$

Električna provodljivost (F. 2-3, F. 2-4) je definisana kao recipročna vrednost otpora i izražava se jedinicom simens (S). Pre uvođenja standarda jedinica i mera, koristila se jedinica mho što predstavlja inverzno napisanu englesku reč ohm (om):

F. 2-3. Električna provodljivost: $$G = \frac{1}{R}$$

F. 2-4. Jedinica električne provodljivosti: $$S = \frac{1}{\Omega}$$

Otpor i provodljivost kože mere se prilikom egzosomatskog snimanja konstantnom strujom ili konstantnim naponom (2.5.2 Metode elektrodermalnog merenja). Međutim,

prilikom snimanja EDA metodom naizmenične struje, navedene mere nisu dovoljne. Zato je neophodno uvesti i sledeće veličine:

Impedansa predstavlja jedinstvenu meru koja opisuje otpor ne samo konstantnoj, već i promenljivoj struji. Definiše se vektorom u kompleksnoj ravni u kojoj realna komponenta predstavlja električni otpor *R*, dok imaginarna komponenta, poznata kao reaktansa *X*, opisuje otpor promenljivoj struji koji pružaju induktivnosti i kapacitivnosti (F. 2-5).

F. 2-5. Impedansa $$Z = R + jX = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

Reaktansa opisuje reaktivni otpor koji ima uticaja samo na promenljivu komponentu struje. Može se definisati kao:

F. 2-6. Reaktansa: $$X = X_L + X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

Reaktansa se, isto kao i otpor, meri jedinicom om (Ω). U formuli F. 2-6, promenljiva *X* označava reaktansu, *L* označava induktivnost koja se meri jedinicom henri (*H*), dok *C* označava kapacitivnost koja se meri jedinicom farad (*F*). Konsekventno, veličina X_L predstavlja induktivnu komponentu, dok veličina X_C predstavlja kapacitivnu komponentu reaktanse. Iz formule F. 2-5, jasno se vidi da i induktivna i kapacitivna komponenta reaktanse imaju orijentaciju duž y-ose (imaginarni deo kompleksne ravni), ali u suprotnim smerovima. *ω* označava kružnu frekvenciju struje koja se izražava jedinicama *Hz* i definiše se kao:

F. 2-7. Kružna frekvencija struje: $$\omega = 2\pi F$$

Admitansa predstavlja recipročnu vrednost impedanse. Ono što je admitansa za promenljivu struju, to je provodljivost za konstantnu struju. Admitansa se takođe predstavlja u kompleksnoj ravni i sastoji se od provodljivosti (*G*) koja se izražava jedinicama simens (*S*) i susceptanse *B*.

F. 2-8. Admitansa: $$Y = G + jB$$

Susceptansa predstavlja imaginarni deo admitanse i meri se jedinicama simens (*S*).

F. 2-9. Susceptansa: $$B = \frac{X}{R^2 + X^2}$$

2.5.2 Metode elektrodermalnog merenja

Postoje dve osnovne metode snimanja elektrodermalnog signala:

1. Egzosomatska metoda
   Ova metoda podrazumeva primenu eksternog napona koji se preko elektroda dovodi do kože. Egzosomatsko snimanje se može podeliti na:

   a) AC snimanje (snimanje naizmeničnom strujom)
      Ovaj vid snimanja koristi se najređe. Pozitivna strana snimanja EDA naizmeničnom strujom mogla bi da bude izbegavanje polarizacije elektroda, posebno pri dugotrajnom snimanju. Negativna strana je nedovoljna ispitanost EDA pri upotrebi naizmenične struje, kao i potreba uključivanja kapacitivnih elemenata kože pri analizi njenog toka kroz telo. AC snimanje je komplikovanije od ostalih egzosomatskih metoda imajući u vidu stalnu promenu napona i probleme koji se zbog toga javljaju u kalkulaciji provodljivosti kože. Sa druge strane, ova metoda u stanju je da, pored otpora

i provodljivosti kože, snimi i reaktivne komponente impedanse (reaktansa) i admitanse (susceptansa), kao i da utvrdi faznu razliku između struje i napona. Na sve imaginarne komponente naizmenične struje, koje uključuju i impedansu i admitansu, utiču sve kapacitivne strukture kože o kojima je prethodno bilo reči. Pored ovoga, naizmenična struja onemogućava polarizaciju elektroda, smanjuje nivo elektrohemijskih efekata i može da bude povoljna kod dugotrajnog snimanja.

b) DC snimanje (snimanje jednosmernom strujom)

   i. Snimanje konstantnom strujom

      Ova vrsta konfiguracije podrazumeva primenu generatora konstantne struje koji se na kožu aplikuje preko dve elektrode. U ovom slučaju meri se napon koji se razvija na koži, koji će biti različit u zavisnosti od otpora kože. Snimanje konstantnom strujom češće je od AC snimanja ali ipak ređe u odnosu na DC snimanje konstantnim naponom. U slučaju kada stratum corneum nije dovoljno hidriran, a mali broj znojnih žlezda je provodan, primena konfiguracije sa konstantnom strujom mogla bi da dovede do formiranja veće strujne gustine koja bi mogla da ošteti neke od znojnih žlezda [55]. Ova situacija se u praksi ne dešava pošto se, uz ovu konfiguraciju, najčešće koriste vlažne gel elektrode dovoljno velike površine da obuhvati veliki broj znojnih žlezda.

   ii. Snimanje konstantnim naponom

      Ovo je preporučen [35, 34, 85] i najčešći način snimanja koji se bazira na ideji da se do kože, preko dve elektrode, dovede napon (najčešće od 0.5V), posle čega se meri struja koja prolazi kroz kolo. Struja se najčešće meri indirektno, snimanjem napona na otporniku redno vezanim u kolu struje koja protiče kroz kožu ispitanika. Ova konfiguracija snimanja je naviše ispitana i najbolje povezana sa različitim psihološkim efektima.

2. Endosomatska metoda

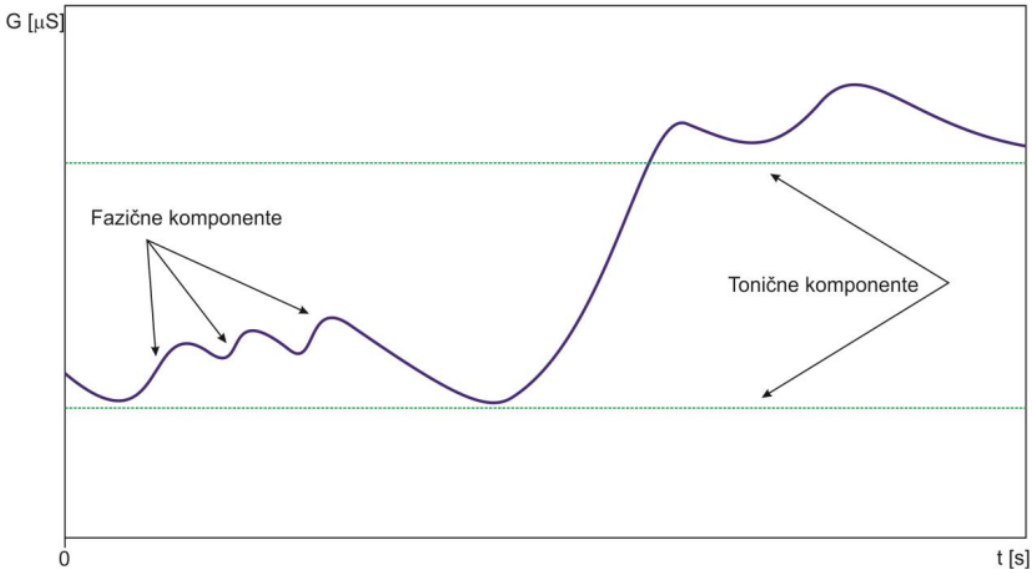
   Kao što i samo ime kaže, endosomatskom metodom ne primenjuju se bilo kakvi eksterni strujni ili naponski generatori, već se detektuje napon između dve različite tačke na koži koji se javlja kao posledica različite provodljivosti kože i različitih koncentracija jona na mestima merenja. Ovaj metod snimanja EDA je retko zastupljen, te s tim u vezi, nema mnogo podataka koji ga povezuju sa psihološkim reakcijama organizma. Zbog toga, mali broj istraživača se odlučuje da ga primeni imajući u vidu nemogućnost poređenja sa prethodnim rezultatima. Pored ovoga, za uspešnu detekciju napona na različitim kožnim lokacijama, najčešće je neophodno izvršiti abraziju (skidanje površinskog sloja kože) ispod jedne od elektroda. Ova procedura može da bude neprijatna po ispitanika, a može da dovede i do potencijalnih infekcija. Realizacija uređaja za endosomatsko snimanje komplikovanija je u odnosu na uređaj za egzosomatsko snimanje konstantnim naponom imajući u vidu da zahteva nešto komplikovaniji pojačavač visoke impedanse u odnosu na uređaj za egzosomatska snimanja. Endosomatski metod je pogodan za dugotrajna snimanja EDA, imajući u vidu da za sve vreme snimanja kroz kožu praktično ne teče struja generisana spoljnim generatorima, te zbog toga ne dolazi do bilo kakvih elektrohemijskih efekata. Za razliku od egzosomatskog načina snimanja, gde efekti polarizacije elektroda ne

utiču bitno na rezultate snimanja, ovi efekti mogu da značajno poremete signal kod endosomatskog snimanja.

2.5.3 Parametri elektrodermalne aktivnosti

Analizom EDA mogu se uočiti njene tonične i fazične komponente.

2.5.3.1 Tonične i fazične komponente EDA



Slika 2. Tonične i fazične komponente EDA

Tonične komponente EDA (Slika 2) predstavljaju sporu EDA aktivnost koja nije posledica bilo kakve egzogene ili endogene stimulacije. Ova aktivnost se uočava kao spori rast ili spori pad EDL-a (Electrodermal Level) koji se, u zavisnosti od električne veličine koja se snima, naziva:

- SCL - Skin Conductance Level – nivo provodljivosti kože
- SRL - Skin Resistance Level – nivo kožnog otpora
- SPL - Skin Potential Level – nivo kožnog potencijala

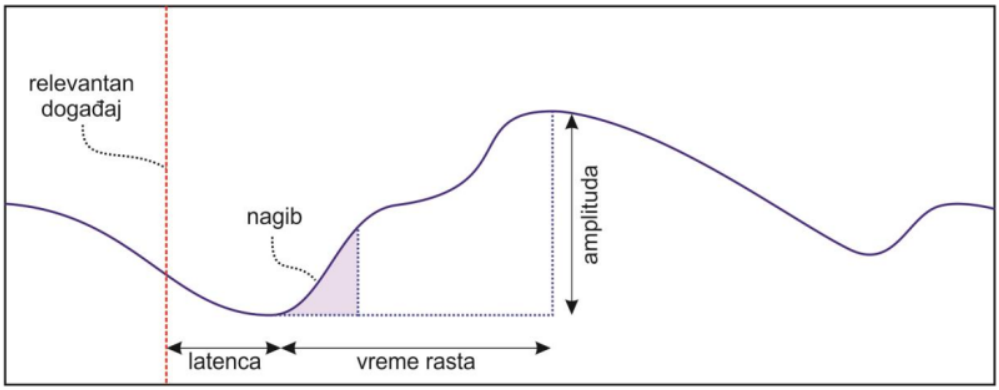
Fazične komponente EDA (Slika 2) čine brze promene EDA koje najčešće nastaju kao posledica egzogene ili endogene stimulacije. Pod egzogenom stimulacijom podrazumeva se registrovanje događaja ili predmeta od interesa za ispitanika preko bilo kog čula (najčešće vizuelnim ili auditivnim putem). Pod endogenom stimulacijom podrazumeva se pomisao na predmet ili događaj od interesa za ispitanika. Ovakva promena EDA naziva se EDR (Electrodermal Response - elektrodermalni odgovor) i ima različita imena u zavisnosti od fizičke veličine koja se meri:

- SCR - Skin Conductance Response – odgovor kožne provodljivosti
- SRR - Skin Resistance Response – odgovor kožnog otpora
- SPR - Skin Potential Response – odgovor kožnog potencijala

EDR-ovi koji nemaju vidljivu vezu sa određenim stimulusom nazivanju se nespecifični EDR (NS.EDR - Non Specific EDR).

Parametri EDR (Slika 3) koji se koriste u analizi CIT-a su:

1. Latenca predstavlja vreme između relevantnog događaja i minimuma EDR. Izražava se u sekundama (s).
2. Amplituda predstavlja razliku u provodljivosti kože između maksimuma i minimuma EDR-a. Izražava se u mikrosimensima (μS).
3. Nagib se izračunava kao odnos promene provodljivosti (μS) i proteklog vremena tokom inicijalnih 1s reakcije i izražava se u μS/s.
4. Vreme rasta (raise time) predstavlja vreme od početka reakcije do postizanja maksimuma reakcije. Vreme rasta izražava se u sekundama (s).



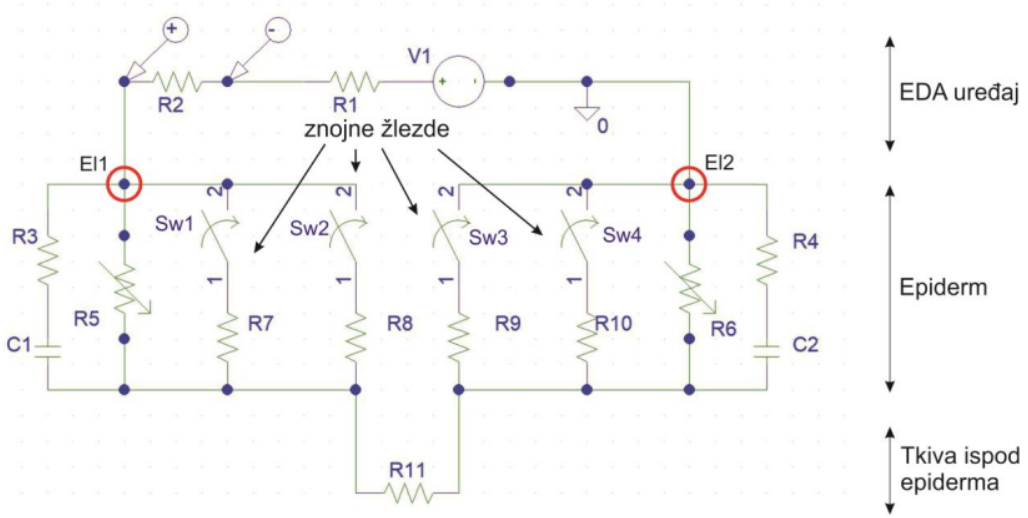
Slika 3. Parametri elektrodermalna reakcije

2.5.4 Elekrični model kože

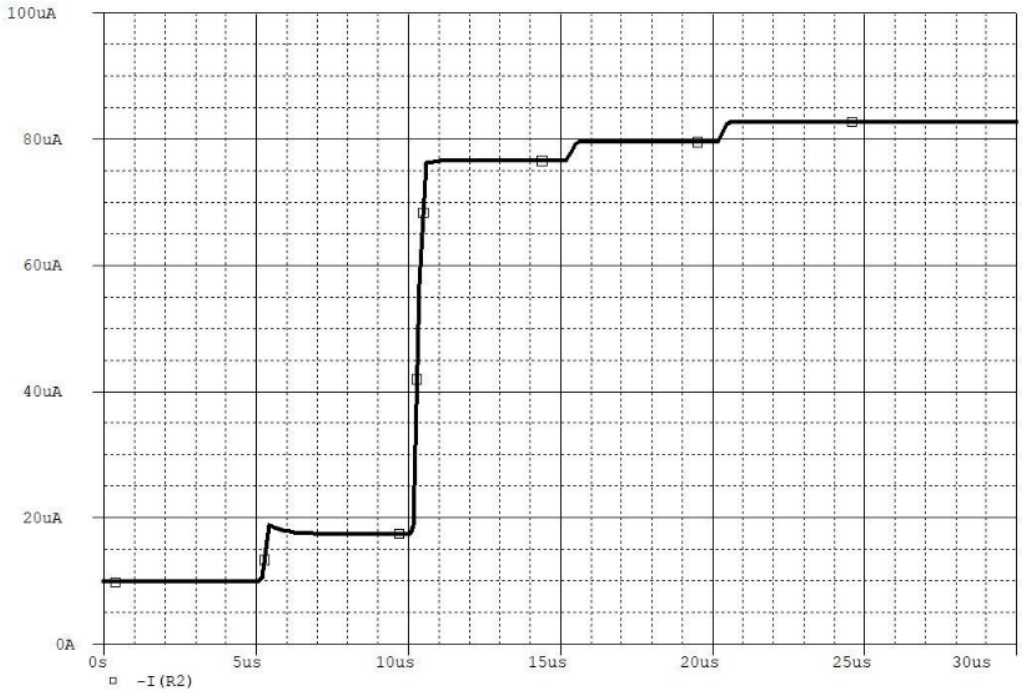
U cilju boljeg razumevanja ponašanja kože pod različitim okolnostima i metodama snimanja EDA, razvijeni su različiti električni modeli kože [132-86]. Međutim, modeli kože dostupni u literaturi mogli bi da se koriste za simulaciju električnih karakteristika kože ispod jedne elektrode i ne daju punu sliku koja postoji prilikom priključenja uređaja za snimanje EDA na kožu ispitanika. Zbog toga je razvijen novi model kože, koji je po prvi put prikazan u ovoj disertaciji, koji omogućava simulaciju kože i znojnih žlezda kada se uređaj za snimanje EDA poveže za epiderm preko dve elektrode El1 i El2 (Slika 4). Model je pravljen za simulaciju EDA kod egzosomatskog snimanja sa konstantnim naponom. Simulacija modela uređena je u programu PSpice v9.1 (Slika 5).

U prvom sloju, model prikazuje najosnovniji deo uređaja za snimanje EDA. U srednjem sloju prikazan je električni model epiderma, dok su sva tkiva ispod epiderma simulirana jednim otpornikom (R11).

EDA uređaj simuliran je naponskim generatorom V1 sa unutrašnjim otporom male vrednosti (R1). Šant otpornik (R2) koristi se za merenje napona, čija se vrednosti direktno konvertuje u provodljivosti kože. EDA uređaj dodiruje epiderm preko elektroda El1 i El2. Epiderm je simuliran znojnim žlezdama, promenljivim otporom samih epidermalnih struktura na koji utiče vlažnost (R5, R6) i kapacitivnim elementima (C1, C2). Znojne žlezde predstavljene su kao prekidači (Sw1-Sw4) sa po jednim redno vezanim otpornikom (R7-R10).



Slika 4. Električni model kože



Slika 5. Simulacija električnog modela kože

Imajući u vidu da tkiva ispod epiderma imaju nisku otpornost, jasno je da epiderm najviše doprinosi provodljivosti kože. Izmerena provodljivost zavisi od promenljivih otpora R5 i R6, kao i od broja aktivnih znojnih žlezda.

Simulacijom prikazanog modela (Slika 5), odnosno, aktiviranjem pojedinačnih znojnih žlezda zatvaranjem prekidača (Sw1-Sw4) na otporima R7-R10, jasno se vidi promena provodljivosti kože u zavisnosti od aktivnosti znojnih žlezda.

2.5.5 Elektrode za snimanje EDA

Za snimanje EDA najčešće se koriste Ag/AgCl elektrode. Ove elektrode poznate su kao reverzibilne ili nepolarišuće elektrode. Napravljene su od istih jona koje sadrži i elektrolit prekog kojeg se vrši merenje. Ova vrsta elektrode koriste se i za merenje brojnih drugih bioelektričnih potencijala (ECG, EEG, EP, ...). Kod EDA snimanja, između Ag/AgCl diska i kože nalazi se elektrolit (rastvor NaCl), najčešće u formi vlažnog gela.

Mitchell i Venables zaključili su 1980. godine da parametri SCL i SCR ne zavise mnogo od površina elektroda [131] i preporučili da bi za snimanje EDA preko prstiju trebalo koristiti elektrode površine 0.5 cm^2. Ispitujući različite veličine elektroda, zaključili su da njihova veličina ne igra bitnu ulogu u EDA signalu.

3 Psihofiziološke pojave u CIT-u

I standardni (sCIT) i interaktivni test skrivenih informacija (iCIT) imaju za cilj da detektuju elektrodermalne reakcije (EDR) koje se javljaju kao posledica prikazivanja nekog stimulusa na ekranu računara (SS-EDR – Stimulus Specific EDR). U ovoj disertaciji koriste se samo elektrodermalne mere, pri čemu treba imati u vidu da se CIT može realizovati i sa brojnim drugim autonomnim merama (HR – srčana frekvencija, RLL - respiracija, okulomotorne reakcije, temperaturne reakcije, pletizmografija periferne cirkulacije), ali i sa centralnim merama (ERP, EEG). Za pravilnu interpretaciju ovakvih reakcija važno je dobro razumevanje psihofizioloških fenomena koji u ovom procesu igraju ključnu ulogu.

3.1 Orijentacioni refleks

Ideju o orijentacionom refleksu (OR) prvi je izneo ruski fiziolog Ivan Sečenov 1863. godine [178], dok je ime refleksu dao Ivan Pavlov, ruski fiziolog poznat po svom radu na klasičnom uslovljavanju (poglavlje 4). Veliki doprinos razumevanju orijentacionog refleksa dao je i ruski fiziolog Evgeny Sokolov koji je poznat i po svom radu vezanom za pojavu habituacije (poglavlje 3.3).

Orijentacioni refleks predstavlja urođenu reakciju organizma na nove i/ili značajne stimuluse u okruženju. Ova reakcija ogleda se u angažovanju potrebnih mentalnih resursa u cilju reagovanja organizma na novonastalu situaciju. Orijentacioni refleks dovodi do preusmerenja pažnje na novonastalu situaciju ili stimulus od interesa, kao i povećanje pažnje posebno usmerene ka čulima vezanim za stimulus od interesa. Ovaj efekat poznat je i kao „cocktail party effect“ zbog ideje da se na proslavama sa mnogo ljudi čovek fokusira na razgovor od interesa, ali da ukoliko čuje ključnu reč visokog stepena značajnosti za susednim stolom, može da svoju pažnju trenutno preusmeri na drugi razgovor.

Direktna posledica OR je i pojava SCR, međutim pojava usporenja srčanog ritma i disanja koja se javlja prilikom prikaza relevantnih stimulusa kod CIT testa, vezana je za mehanizam inhibicije arauzala [112, 113, 114].

3.2 Arauzal

Arauzal predstavlja nivo spremnosti organizma da reaguje na novu situaciju ili događaj od interesa. Spremnost organizma da reaguje korelira sa nivoom aktivnosti centralnog nervnog sistema i sa nivoom aktivnosti simpatičkog dela autonomnog nervnog sistema (ANS). Kao posledica povećanja ove aktivnosti, javlja se povećanje EDA, ubrzanje srčanog ritma, povećanje krvnog pritiska, brzine respiracije, širenje pupila, kao i vazokonstrikcija i smanjenje protoka periferne cirkulacije, smanjenje periferne telesne temperature (jagodice prstiju), povećanje mišićne tenzije, a dolazi i do promene u strategiji upravljanja mišićima što je izuzetno važno kod sportskih aktivnosti. Kod viših nivoa arauzala može se detektovati i povećanje nivoa epinefrina (adrenalina), kortizola, kao i šećera u krvi. Sve ove fiziološke promene omogućavaju organizmu da se prilagodi na brzo reagovanje u novonastaloj situaciji.

Podizanje nivoa arauzala može da bude posledica orijentacionog refleksa, ali može da bude i posledica brojnih drugih mehanizama koji uključuju fizičku aktivnost,

kognitivni napor, stresne situacije, unos kofeina ili drugih stimulanata, medicinska stanja (hipertireoidizam, ...), faktori okruženja (jako svetlo, buka, ...).

3.3 Habituacija

Habituacija predstavlja formu učenja tokom koje dolazi do smanjenja i prestanka reagovanja na stimulus koji se ponavlja. Drugim rečima ako se ispitaniku prvi put prezentuje određeni stimulus dovoljnog značaja da kod ispitanika izazove orijentacioni refleks, posle višestrukog ponavljanja istog stimulusa ispitanik uči da stimulus prestaje da bude od značaja, te dolazi do izostanka orijentacionog refleksa. Ova pojava naziva se habituacija. Posledica habituacije je oslobađanje mentalnih kapaciteta za procesiranje važnijih informacija i prestanka reagovanja na stimuluse koji nisu od interesa.

Po izvršenoj habituaciji, organizam smanjuje reakciju ili prestaje da reaguje na određeni stimulus. Međutim, ako dođe do prestanka izloženosti stimulusu, reakcija na njega se ponovo javlja. Ovaj proces poznat je pod imenom dishabituacija.

Habituacija se vrlo često meša sa akomodacijom koja predstavlja nešto drugačiji koncept koji se odnosi na promene organizma sa ciljem prilagođenja okolini. Na primer, zenica oka se akomodira na tamu ili svetlo, kao što se i očno sočivo akomodira na različitu udaljenost predmeta.

4 Uslovljavanje

Istraživanje uslovljavanja otpočelo je u kasnom 19. i ranom 20. veku i otvorilo je put ka otkrivanju osnova učenja i ponašanja. Rane dane istraživanja uslovljavanja obeležio je revolucionarni rad Ivana Pavlova (1849-1936) čiji su eksperimenti sa psima otkrili fenomen klasičnog uslovljavanja [149, 150]. Kroz uparivanje neutralnih stimulusa sa bezuslovnim stimulusima, Pavlov je ukazao na osnove učenja i uparivanja stimulusa koji dolaze iz okoline sa bihejvioralnim odgovorima organizama. Ovaj temeljni koncept postavio je teren za dalja istraživanja procesa koji regulišu prilagođenje ponašanja okruženju.

Nešto kasnije, rad B.F.Skinner-a (1904-1990) uveo je operantno, odnosno instrumentalno uslovljavanje, naglašavajući posledice ponašanja kao ključne determinante u procesu učenja. Skinner-ovi eksperimenti su naglasili ulogu nagrade i kazne u oblikovanju voljnih akcija [182, 181].

Obe metode uslovljavanja dosta su povezane i nekada je nemoguće napraviti striktnu razliku među njima, ali je jasno da oba vida uslovljavanja zahtevaju interakciju sa okolinom preko različitih stimulusa. Kod klasičnog uslovljavanja reč je o uparivanju bezuslovnog i uslovnog stimulusa, dok je kod operantnog uslovljavanja reč o povezivanju određenog vida ponašanja sa nagradom ili kaznom koja dolazi iz okoline. S tim u vezi, stimulusi sa kojima jedinka interaguje mogu da budu apetitivni i averzivni, i biće razmotreni u sledećim poglavljima.

4.1 Klasično uslovljavanje

Klasično uslovljavanje je vrsta učenja tokom koje dolazi do povezivanja bezuslovnog stimulusa (hrana za pse) sa uslovnim stimulusom (zvučni signal) tako da, na kraju procesa učenja, organizam reaguje na uslovni stimulus (Conditioned Stimulus – CS) uslovljenim odgovorom (Conditioned Response – CR), na isti način kao što, na bezuslovni stimulus (Unconditioned Stimulus – US), odgovara bezuslovnim odgovorom (Unconditioned Response – UR). Ovaj proces učenja poznat je i kao Pavlovljevo ili klasično uslovljavanje. Dobilo je ime po ruskom fiziologu Ivanu Pavlovu koji je prvi otpočeo istraživanja sa uslovljavanjem krajem 19. i početkom 20. veka [149, 150].

Uslovljeni odgovor je naučeni odgovor izazvan uslovljenim stimulusom. Sličan je bezuslovnom odgovoru, ali se stiče procesom uparivanja uslovnog sa bezuslovnim stimulusom.

Ključni pojmovi i procesi u klasičnom uslovljavanju, neophodni za razumevanje i ispitivanje pojave uslovljavanja, predstavljeni su u daljem tekstu.

Bezuslovni stimulus (Unconditioned Stimulus - US): Ovo je stimulus koji prirodno i automatski pokreće odgovor bez prethodnog učenja. U čuvenim Pavlovljevim eksperimentima, hrana je bila bezuslovni stimulus jer je prirodno izazivala salivaciju kod pasa. U ovoj disertaciji, kao bezuslovni stimulus koristi se električna stimulacija koja prirodno, automatski, izaziva elektrodermalnu reakciju.

Bezuslovni odgovor (Unconditioned Response - UR): Ovo je urođeni odgovor izazvan bezuslovnim stimulusom. Na primeru Pavlovljevih pasa, salivacija kao odgovor na hranu je bezuslovni odgovor, dok je u ovoj disertaciji EDR bezuslovni odgovor na električnu stimulaciju.

Uslovljeni stimulus (Conditioned Stimulus - CS): U početku neutralan stimulus, postaje povezan sa bezuslovnim stimulusom kroz proces uparivanja stimulusa (učenja). Vremenom, sam uslovni stimulus može izazvati odgovor sličan bezuslovnom odgovoru. U Pavlovljevim eksperimentima, zvono pre predstavljanja hrane postalo je uslovljeni stimulus, dok su u ovoj disertaciji ispitanici uslovljeni da reaguju na pojavu apstraktne istine. Drugim rečima, svako pojavljivanje istinitog iskaza ili slike sa istinitim odgovorom na pitanje, upareno je sa električnim stimulusom, tako da na kraju, sama pojava CS-a dovodi do pojave EDR-a koji predstavlja indikator da je ispitanik prepoznao stimulus kao istinit.

Uslovljeni odgovor (Conditioned Response - CR): Ovo je naučeni odgovor na uslovljeni stimulus, koji podseća na bezuslovni odgovor. U Pavlovljevom eksperimentu, salivacija, kao odgovor na zvono bez prisustva hrane, je uslovljena reakcija, dok u ovoj disertaciji uslovljeni odgovor predstavlja EDR.

Akvizicija (Acquisition): Ovo je početna faza učenja u kojoj se neutralni stimulus (Neutral Stimulus – NS) više puta uparuje sa bezuslovnim stimulusom. Postepeno, organizam uči vezu između ova dva stimulusa i uslovljeni odgovor počinje da se javlja samo kao reakcija na uslovljeni stimulus. Tokom akvizicije dolazi do formiranja asocijativne memorije između uslovljenog stimulusa i uslovljenog odgovora, tako da, pri sledećoj pojavi uslovljenog stimulusa, dolazi do automatske reakcije i pojave uslovljenog odgovora.

Ekstinkcija (Extinction): Ako se uslovljeni stimulus više puta predstavlja bez bezuslovnog stimulusa, asocijacija slabi, a uslovni odgovor može postepeno da se smanji ili ugasi.

4.2 Operantno uslovljavanje

Operantno uslovljavanje (Operant Conditioning - OC) je koncept koji je predstavio američki psiholog B.F. Skinner. Operantno uslovljavanje predstavlja fundamentalnu teoriju u bihejvioralnoj psihologiji koja istražuje kako na voljno ponašanje utiču posledice ponašanja. Za razliku od klasičnog uslovljavanja, koje se fokusira na nevoljne, refleksne odgovore, operantno uslovljavanje istražuje uticaj kazne i nagrade na voljne radnje ispitanika.

U operantnom uslovljavanju, ponašanje se oblikuje kroz proces pozitivnog (nagrada) i negativnog (kazna) potkrepljenja. Nagrada podrazumeva primenu posledica koje povećavaju verovatnoću da se neko ponašanje ponovi, dok kazna povlači posledice koje slabe verovatnoću da se neko ponašanje ponovi. Skinner-ov rad je naglasio značaj posledica koje prate ponašanje u određivanju da li će to ponašanje biti održano ili ugašeno.

Centralni koncept kod operantnog uslovljavanja je koncept "operanta" koji se odnosi na ponašanje koje deluje na okolinu da bi proizvelo posledice. Ovaj pristup učenju pruža sveobuhvatan okvir za razumevanje kako se pojedinci prilagođavaju svom okruženju, prave izbore i modifikuju svoje ponašanje na osnovu ishoda tih izbora.

4.3 Averzivna i apetitivna stimulacija

Klasično uslovljavanje [159] uvek koristi neku vrstu bezuslovnog stimulusa koji uparuje sa neutralnim stimulusom. Za ove svrhe mogu se primeniti averzivni ili apetitivni stimulusi. Averzivni stimulusi su oni koji ne prijaju organizmu pa jedinka teži da ih izbegne. Nasuprot njima, apetitivni stimulusi prijaju organizmu i ona pokušava

da ih prihvati. Slična situacija javlja se i kod klasičnog i kod operantnog uslovljavanja, s tom razlikom da kod klasičnog uslovljavanja dolazi do uparivanja bezuslovnog averzivnog ili apetitivnog stimulusa sa neutralnim stimulusom, dok se kod operantnog uslovljavanja za određenu vrstu ponašanja može koristiti kazna (averzivni stimulus) ili nagrada (apetitivni stimulus).

U kontekstu klasičnog uslovljavanja, uparivanjem bezuslovnog stimulusa sa neutralnim u cilju izazivanja elektrodermalne reakcije kao uslovljenog odgovora, najčešće se koriste averzivni stimulusi [35]. Primena apetitivnih stimulusa [88] značajno je manja, pre svega zbog nižeg stepena akvizicije u odnosu na averzivne stimuluse [196]. Veliki broj studija do sada nedvosmisleno je pokazao uspešnost averzivnih stimulusa kao što su jak zvuk (>100 dB) ili električna stimulacija, dok je broj studija sa uspešnim prikazom apetitivnih stimulusa u ove svrhe daleko manji [35]. Kao averzivni stimulusi korišćeni su i kornealni vazdušni udar (corneal air-puff) [107, 81, 83] za izazivanje blink refleksa ili averzivni vazdušni udar u vrat (aversive air blast) [208]. Vazdušni udar kao forma averzivne stimulacije znatno je ređe zastupljena u odnosu na dobro poznate forme kao što su električna stimulacija ili jak zvuk.

4.4 Etički principi

Primena averzivnih stimulusa predmet je etičkog razmatranja još od sredine prošlog veka. Najveća polemika postojala je oko primene averzivnih stimulusa u formi hemijskih agenasa koji izazivaju mučninu, ali i električne stimulacije za primenu u averzivnoj terapiji, pre svega u slučajevima odvikavanja od alkohola. Šezdesetih i sedamdesetih godina u Engleskoj je primenjivana averzivna terapija u cilju odvikavanja od devijantnog seksualnog ponašanja, odnosno od ponašanja koje se smatralo devijantnim iz perspektive tadašnjeg vremenskog trenutka. Etički osvrt na primenu električne stimulacija u ove svrhe dao je Tanner 1973. godine i zaključio da averzivna stimulacija električnom stimulacijom nije ništa opasnija, ni fizički ni emocionalno, nego tradicionalni oblici lečenja [190]. Današnje forme električne stimulacije [159] mnogo su naprednije od onih o kojima je govorio Tanner, kako u pogledu bezbednosti, tako i u pogledu komfora ispitanika, te bi iz današnjeg ugla averzivna terapija mogla da bude mnogo komfornija po pacijenta.

Klasično uslovljavanje električnom stimulacijom primenjeno u ovoj disertaciji značajno se razlikuje od averzivne terapije pre svega po tome što se period izlaganja električnoj stimulaciji kod averzivne terapije značajno duži u odnosu na period izlaganja u ovoj disertaciji gde ne prelazi 0.5s po stimulusu. Sa druge strane, značajan otklon u odnosu na raniju primenu električne stimulacije u uslovljavanju je u omogućavanju ispitaniku da sam podesi jačinu električnog stimulusa tako da je nivo neprijatnosti izuzetno nizak. Iz navedenih razloga, primena uslovljavanja električnom stimulacijom kod zdravih, punoletnih ispitanika, svodi se na poštovanje uobičajenih etičkih principa koji uključuju saglasnost za ispitivanje, bezbednost, privatnost i ostale primenljive etičke principe.

I pored značajnog unapređenja bezbednosti i komfora prilikom primene averzivnih stimulusa, neki autori predložili su primenu neprijatnog zvuka umesto električne stimulacije ili jakog zvuka kod dece 8-11 godina starosti [138, 139]. Ista ideja predložena je i za primenu kod ljudi sa određenim bolestima, kod starijih ljudi i ljudi sa psihološkim ili smetnjama u razvoju.

Sa druge strane, Tomash i Reed [194, 195], kao i brojni drugi autori [35], zaključuju da jačina averzivnog stimulusa bitno utiče na rezultate uslovljavanja. Zbog toga je potrebno naći meru između primene adekvatnog tipa stimulusa, njegove jačine i kategorije populacije nad kojom se primenjuje [159]. Isto tako, kod određenih eksperimentalnih postavki, moguće je vrlo uspešno primeniti i apetitivne stimuluse [6], te bi buduća istraživanja trebalo da budu posvećena istraživanju novih tipova stimulusa i traženju optimalnog odnosa između jačine stimulusa, tačnosti rezultata, komfora ispitanika i populacione kategorije kojoj ispitanik pripada.

5 Test skrivenih informacija

Test skrivenih informacija (Concealed Information Test – CIT), poznat i pod imenom test elemenata dela (Guilty Knowledge Test – GKT), inicijalno je kreiran sa idejom da ispitanicima prezentuje seriju slajdova od kojih neki sadrže elemente dela poznate samo izvršiocu, dok ostali slajdovi ne sadrže elemente prepoznatljive bilo kom od učesnika ispitivanja. Očekuje se da samo učesnik u izvršenju dela u svojoj memoriji ima elemente specifične za delo koje se ispituje i da će prikaz takvog slajda kod krivca izazvati elektrodermalnu reakciju, dok se kod nevinog ispitanika EDR neće javiti.

5.1 Istorijat testa skrivenih informacija

U naučnoj literaturi smatra se da je prvi test skrivenih informacija predstavio David Lykken (1928-2006) u časopisu Journal of Applied Psychology 1959. i 1960. godine [122, 123]. Lykken je bio genetičar ponašanja, kao i profesor psihologije i psihijatrije na Univerzitetu Minesota, u Sjedinjenim Američkim Državama. Ovu vrstu testa nazvao je test elemenata dela (Guilty Knowledge Test - GKT), dok je danas ovaj tip testa poznat pod imenom test skrivenih informacija (Concealed Information Test – CIT) [200]. Ipak, važno je uočiti da je 1908. godine Munsterberg objavio knjigu pod nazivom „Na klupi za svedoka“ [134] kojom je, u suštini, predstavio osnovne elemente današnjeg CIT testa. Ova knjiga retko se pominje u literaturi, iako je očigledno da su pre Lykkena, koji se smatra ocem CIT-a, o ovoj metodi govorili i drugi istraživači mnogo pre njega (npr. Geldreich 1941. i 1942. godine) [96, 95].

Prvi Lykken-ov rad iz 1959. godine odnosio se na mock-crime paradigmu, koja podrazumeva da ispitanici učestvuju u insceniranom kriminalnom događaju, posle čega se vrši GKT testiranja na karakteristične elemente dela. Elementi dela bili su izloženi u formi pitanja i niza odgovora koji su sadržavali jedan relevantan odgovor pomešan sa različitim irelevantnim odgovorima. Osnovna ideja Lykken-a bila je da prepoznavanje elementa dela od strane počinioca izaziva fiziološku reakciju, te s tim u vezi nije potrebno da ispitanik odgovara kako bi uređaj prepoznao fiziološke indikatore laganja. Karakteristično je da je u svom prvom radu Lykken koristio električne šokove prilikom odgovora ispitanika, ali ne sa ciljem uslovljavanja, već sa ciljem podizanja nivoa pažnje tokom ispitivanja. Drugi Lykken-ov rad objavljen 1960. godine nije bio baziran na mock-crime paradigmi, već na paradigmi ličnih informacija (personal item paradigm).

5.2 Metodologija snimanja CIT

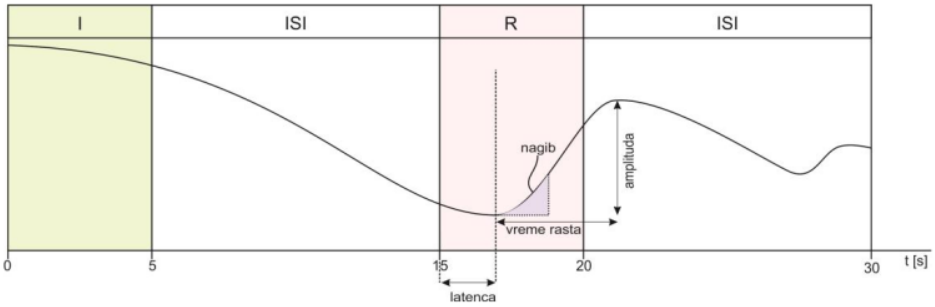
Suština CIT testiranja ogleda se u tome da se ispitaniku prezentuje niz slajdova od kojih samo neki slajdovi (relevantni slajdovi) sadrže objekte ili iskaze prepoznatljive samo izvršiocu dela, dok drugi slajdovi imaju irelevantan sadržaj neprepoznatljiv bilo za nevine ispitanike ili za izvršioce. Ako je predmet ispitivanja pljačka banke, tada je provalnik svakako morao da vidi sef iz kojeg je ukraden novac. Slika ovog sefa predstavlja relevantan slajd. Slajd sa relevantnim sefom može se pomešati sa nekoliko (najčešće 3-5) irelevantnih sefova koji nemaju veze sa sefom iz kog je ukraden novac. Između slajdova se obavezno umeće interstimulusni interval (ISI), tokom kojeg se prikazuje prazan ekran u slučaju vizuelne stimulacije, ili se između dva zvučna stimulusa umeće period tišine. U vremenskom smislu, ISI se značajno

razlikuju u zavisnosti od EEG ili autonomnog snimanja. Kod snimanja ERP potencijala, ISI traju jako kratko, najčešće oko 1-3s, dok se kod CIT-a baziranog na autonomnim merama kreću najčešće između 10-60s, mada ima i radova sa pokušajem separiranja preklapajućih EDR-ova [119, 118] gde su upotrebljeni ISI u trajanju od 1.32s. Kratki ISI korišćeni su i prilikom multimodalnog CIT snimanja uz pomoć EDA i EEG signala (P300) [3]. Najčešće trajanje slajdova kreće se između 5-10s, dok vrednosti ISI-a najčešće imaju vrednost između 10-60s.

5.3 Prikaz stimulusa

Prikaz stimulusa u standardnom CIT-u prate sledeća načela:

- CIT test ima obično 4-6 pitanja, mada ovaj broj ponekad može da bude i 12 [107].
- Ukoliko pitanja ima manje (npr. 3) praktikuje se njihovo ponavljanje
- Jedno pitanje sastoji se iz prvog slajda kojim se definiše pitanje (npr. „Koji od sledećih automobila ste ukrali sa parkinga?" Ovo pitanje postavlja kontekst u kojem će ispitanik gledati naredne slajdove koji sadrže odgovore na postavljeno pitanje.
- Iza slajda koji definiše pitanje obično se prikazuje nekoliko (3-5) alternativnih slajdova (irelevantni slajdovi). Ovi slajdovi obično sadrže objekte koji su slični relevantnom objektu (ukradenom vozilu) ali su dovoljno različiti da ispitanik lako može da prepozna razliku između relevantnog i alternativnog slajda. Uloga ovih slajdova je dvojaka. Sa jedne strane oni služe da izvrše habituaciju ispitanika, dok sa druge strane služe da se, tokom klasifikacije, njihovi EDR parametri uporede sa EDR parametrima relevantnih slajdova.
- Relevantan slajd obično se prikazuje kao poslednji iza svih alternativnih slajdova, a nekada ima i slučajnu poziciju. Relevantan slajd sadrži sliku vozila koje je ukradeno sa parkinga.



Slika 6. Raspored slajdova i primena ISI-a kod standardnog CIT-a

- Stimulusi koji se prikazuju mogu da budu zvučni i vizuelni. U slučaju zvučnih stimulusa pitanje iz prethodnog primera bilo bi "Koje marke je bilo ukradeno vozilo?", a iza njega bi bile pročitane različite marke vozila. Korišćenje zvučnih stimulusa nije toliko efikasno kao vizuelnih s obzirom na to da zvučni stimulusi mogu da prenesu mnogo manje informacija u odnosu na vizuelne i s obzirom na to da u slučaju zvučnih stimulusa nije jednostavno precizno odrediti latencu EDR-a.
- Trajanje slajdova je obično 5-10s [45, 4] (Slika 6).

- Između dva stimulusa (slajda) postoji interstimulusni interval (ISI) koji se najčešće kreće od 10-60s [40] (Slika 6).
- Postoje slučajevi kada ispitanik ne zna redosled pitanja koji će biti prikazan tokom ispitivanja, a postoje i slučajevi kada se primenjuje tehnika upoznavanja ispitanika sa redosledom prikaza pitanja. Ova tehnika poznata je pod imenom test vrhunca tenzije (POT - Peak Of Tension). Ideja POT-a je da tenzija kod ispitanika raste kako se približava relevantnom pitanju, što kod izvršioca dela može da dovede do značajno veće reaktivnosti.

5.4 Autonomne reakcije

Postoji više fizioloških signala pod kontrolom ANS-a koji mogu da pokažu reakciju u odnosu na vizuelne ili zvučne stimuluse prikazane tokom CIT testa.

5.4.1 EDA

Inicijalni CIT test koji je sproveo Lykken 1959. godine, kao i većina drugih CIT studija, izvršen je uz pomoć elektrodermalne aktivnosti. Takođe, veći broj multivarijantnih analiza [22, 199, 61, 39] potvrdio je da je EDA varijabla sa najvišim značajem u detekciji CIT reakcija, iako kombinovanje ANS mera, kao i kombinovanje ANS i CNS mera, može da unapredi rezultate CIT testa [92, 60, 20, 112, 113, 114].

EDR u CIT testu nastaje kao posledica orijentacionog refleksa [183-185] i pogodan je za analizu reakcija kod brzih, tranzijentnih stimulusa, kao što su slajdovi ili zvučni stimulusi u „odd ball“ paradigmi [186]. Orijentacioni refleks i EDR karakteriše i izražena habituacija do koje dolazi već posle nekoliko ponavljanja stimulusa, koja nije karakteristična niti za HR niti za RLL. Isto tako, značajnost stimulusa za ispitanika u direktnoj je korelaciji sa amplitudom EDR-a [112, 113, 114].

5.4.2 Srčana frekvencija

Srčana frekvencija nije u direktnoj vezi sa orijentacionim refleksom. Ona prati nivo arauzala ali nije pogodna za analizu tranzijentnih reakcija kakav je prikaz slajdova tokom CIT testa ili na primer odd ball paradigme uz primenu zvučnih stimulusa. Mnoge studije pokazale su da nema korelacije između usporenja srčane frekvencije i značajnosti stimulusa, ali su utvrdile da postoji veza između usporenja srčane frekvencije i pokušaja inhibicije arauzala od strane ispitanika [112, 113, 114]. Isto tako, karakteristično je da usporenje srčane frekvencije ne ispoljava znake habituacije posle višestrukog ponavljanja stimulusa.

5.4.3 Respiracija (RLL – Respiration Line Length)

Kao i kod srčane frekvencije, i kod RLL-a dolazi do usporenja kao posledice pokušaja inhibicije arauzala [112, 113, 114]. Kao i srčana frekvencija, i ovaj fiziološki signal ne pokazuje znake habituacije posle višestrukog prikaza stimulusa.

5.4.4 Krvni pritisak, vazomotorne reakcije i periferna temperatura

Krvni pritisak jedna je od ANS fizioloških varijabli koja može da bude indikator arauzala, ali nije primenljiva za detekciju orijentacionog refleksa niti je primenljiva kod tranzijentnih stimulusa. U slučaju povećanja nivoa arauzala, dolazi i do povećanja krvnog pritiska. Smanjenje perifernog protoka krvi može se detektovati pletizmografskim metodama (PPG – foto pletizmografija). Kao posledica, javlja se i

smanjenje periferne temperature kao što je na primer temperatura vrhova prstiju na kojima se temperaturne promene odlično detektuju.

5.5 Ostale metode CIT testiranja

Pored prethodno nabrojanih CIT metoda baziranih na fiziološkim signalima, postoje i verzije testova koji se sa baziraju radiološkim snimcima, kao i na principima merenja vremena odgovora (RT-CIT – Response Time CIT).

Radiološki testovi najčešće su zasnovani na ideji da ispitanik pokušava da slaže ili govori istinu za vreme snimanja u funkcionalnoj magnetnoj rezonanci (fMRI), ili da mu se, za vreme snimanja, prikazuju različiti slajdovi slično kao na standardnom CIT-u. Rezultati ovakvih studija indikuju slične rezultate kao one dobijene ERP metodama ili kombinacijom ANS signala. Imajući u vidu kompleksnost fMRI metode i sličnost rezultata koji se dobijaju prilikom testiranja, postavlja se pitanje svrsishodnosti primene tako komplikovane i skupe metode kao što je fMRI [28].

Osnovna ideja RT-CIT testa je da meri vreme prilikom davanja odgovora na relevantne (element dela) i kontrolne slajdove. Sporiji odgovori na relevantnim slajdovima ukazuju na učešće u izvršenju dela. Rezultati ovih testova uglavnom su slabiji u odnosu na sCIT posebno u slučajevima realističnijih scenarija [121].

5.6 Primena uslovljavanja u CIT

Dobro je poznato da značajnost stimulusa utiče na amplitudu SCR. Iz ovog razloga ispitanici čija memorija se ispituje na objekte ili događaje povezane sa stresnim iskustvom, imaju odličnu reakciju, tako da CIT metoda postiže odlične rezultate, koje prate visoka senzitivnost, specifičnost i tačnost [22]. Međutim, postoje brojne potrebe kada je neophodno testirati ispitanike na stimuluse koji nemaju visok stepen značaja za ispitanika, kao na primer testiranje namere da se nešto izvrši, testiranje stava o nekoj temi, i slično. U ovom slučaju moguće je da SCR izostane ili da ima malu amplitudu, što može da dovede do pogrešne klasifikacije, a samim tim i do niskog nivoa senzitivnosti metode. Kako bi se prevazišao ovaj problem, primenjene su razne tehnike koje uključuju:

1. Primenu električne ili druge vrste stimulacije za podizanje nivoa pažnje ispitanika tokom testiranja. Ovu metodu primenio je Lykken u prvom radu sa GKT [122]. Ideja je bila da ispitanik povremeno dobije električni šok kako bi imao viši nivo pažnje prilikom posmatranja slajdova.
2. Motivaciju ispitanika. Motivacija se može podići primenom različitih vrsta nagrade u slučaju uspeha u prevari prilikom ispitivanja [35, 65].
3. Klasično i operaciono uslovljavanje na lažne odgovore.

U sva tri navedena slučaja dolazi do poboljšanja rezultata, pri čemu se najbolji rezultati dobijaju primenom uslovljavanja.

5.6.1 Uslovljavanje na lažne odgovore

Uslovljavanje na laž je procedura koja podrazumeva primenu averzivnih stimulusa svaki put kada ispitanik da lažan odgovor [194, 195, 207, 106]. Ovakvo uslovljavanje u suštini je operaciono i verovatno dovodi do promene ponašanja ispitanika u smislu smanjenja broja lažnih odgovora. Sa druge strane, ono predstavlja i klasično uslovljavanje imajući u vidu da povezuje lažni odgovor kao uslovljeni stimulus (CS) i

EDR kao uslovljeni odgovor (CR). Averzivni US koji se koristi tokom uslovljavanja najčešće je električni šok [194, 195], a može da bude i kornealni vazdušni udar (corneal air puff) [106] ili vazdušni udar u vrat ispitanika [207]. UR i CR dobijaju se u formi EDR-a kada god se ispitanik suoči sa CS-om, koji u ovom slučaju predstavlja voljnu akciju davanja lažnog odgovora.

Drugim rečima, unapređenje koje donosi uslovljavanje na lažne odgovore ogleda se, sa jedne strane, u smanjenju lažnih odgovora, dok se sa druge strane ogleda u pojačanju EDR-ova prilikom davanja lažnih odgovora.

Objašnjenje fiziološke reakcije na laž dao je Skinner [182, 181] koji je istakao da je reakcija na prevaru posledica doživljene kazne u ranijem životu kada je laž otkrivena. Stoga su prethodni radovi [106, 194, 195, 207] koji su se bavili uslovljavanjem na lažni odgovor imali ideju da ponove obrazac kažnjavanja u slučaju lažnog odgovora. Međutim, počinilac želi da izbegne strujni udar ili averzivni vazdušni udar i trudi se da ne daje lažne odgovore (operantno uslovljavanje), ali i zna da pravi odgovor može da dovede do još veće kazne (zatvor) i, stoga, prilagođava ponašanje i bira blažu od dve kazne, što je u ovom slučaju strujni udar. Zbog toga rezultujuće ponašanje dovodi do obmane, a EDR se javlja kao rezultat Pavlovljeve reakcije i služi kao indikator laži.

Važno je imati u vidu da ova vrsta uslovljavanja zahteva voljnu akciju u trenutku davanja odgovora. Svaka vrsta procesiranja informacija, kao i mišićne aktivnosti, izaziva EDR, što može da utiče na povećanje broja FP (lažno pozitivnih) nalaza, odnosno do smanjenja specifičnosti metode. Iz ovog razloga, nije poželjno odgovaranje na postavljeno pitanje putem bilo kakve voljne akcije tokom CIT testiranja. Drugi problem sa davanjem voljnih odgovora tokom CIT testa je i potencijalna mogućnost manipulacije rezultatima, što dovodi do otvaranja mogućnosti za primenu različitih kontramera.

5.6.1.1 US intenzitet i dobijene uslovljene reakcije

Rezultati koji se dobijaju uslovljavanjem značajno su bolji od rezultata bez uslovljavanja, s tim što na tačnost dobijenih rezultata utiče i nivo averzivne stimulacije [194, 195]. Drugim rečima, ako je intenzitet električnog stimulusa ili vazdušnog udara nedovoljno visok, amplituda i učestanost EDR biće manji, te je neophodno pronaći pravi nivo averzivnog stimulusa uzimajući u obzir i etičke principe (4.4 Etički principi).

5.7 Primena CIT testiranja

Test skrivenih informacija ima za cilj da identifikuje stimuluse koji su od značaja za ispitanika. Imajući u vidu da stimulus ne može da ima značaj za ispitanika ako već nije prisutan u memoriji, to CIT testiranje suštinski predstavlja testiranje memorije. Ovo znači da sve primene CIT testa u svojoj osnovi imaju testiranje memorije ispitanika.

5.7.1 Mock-crime paradigma i realna policijska primena

Mock-crime paradigma odnosi se na testiranje ispitanika u naučnim istraživanjima koji su, pre testiranja, prošli kroz iskustvo insceniranog kriminalnog događaja, tokom kojeg su stekli različite informacije o elementima dela. Na primer, počinioci lažnog zločina mogu da vide oružje kojim je zločin izvršen, sef koji je opljačkan, izgled sobe ili objekta u kojem je zločin počinjen, i tako dalje. Slike elemenata dela predstavljaju

relevantne stimuluse, dok slike objekata sličnih relevantnim objektima predstavljaju irelevantne ili alternativne stimuluse koji se koriste u svrhe habituacije ispitanika i upoređivanja SCR amplituda. Prvi CIT (GKT) koji je Lykken sproveo 1959. godine bio je baziran na mock-crime paradigmi, i od tada postoji čitav niz istraživanja baziranih na ovoj ideji [107]. Meta analizu ove paradigme prikazali su Ben-Shakhar i Elaad 2003. godine [22].

Realna policijska primena CIT testa najzastupljenija i najrazvijenija je u Japanu [145]. Vrhovni sud Japana je 1968. godine odlučio da dozvoli primenu CIT testa i prihvati CIT nalaz kao dokaz na sudu. Zanimljivo je da u Japanu postoji oko 100 kvalifikovanih ispitivača koji godišnje urade oko 5000 CIT testova. CQT testovi se u Japanu uopšte ne primenjuju [145]. Van Japana primena CIT testa nije velika pa postoji samo nekoliko studija povezanih sa realnim policijskim radom [59, 58, 45].

5.7.2 Paradigma ličnih podataka (personal item paradigm)

Paradigmu ličnih podataka prvi put je primenio Lykken 1960. godine, i od tada je primenjena u većem broju studija [22]. Ova paradigma podrazumeva korišćenje personalnih podataka kao što su ime, prezime, datum rođenja i ostalo i može se koristiti za ispitivanje memorije ispitanika ali i za evaluaciju klasifikacije CIT testa.

5.7.3 Utvrđivanje namere

Imajući u vidu terorističke pretnje koje svakim danom uzimaju sve više maha, kao i činjenicu da je sama priprema terorističkog akta ozbiljno krivično delo koje se u Ujedinjenom kraljevstvu od 2006. godine kažnjava doživotnim zatvorom, postoji potreba utvrđivanja namere izvršenja ovakvih dela.

Dosadašnje studije pokazuju da SCR amplituda zavisi od značaja stimulusa [112], kao i da ispitanici koji su samo informisani o zločinu imaju slabije reakcije od onih koji su u njemu učestvovali [25, 38]. S tim u vezi postavlja se pitanje da li bi CIT test mogao da bude efikasan i u otkrivanju namere.

Ovu dilemu pokušali su da razreše Meijer et al. 2010. godine [128]. Autori ove studije testirali su četiri grupe od kojih je jedna imala ispitanike koji nisu imali veze sa planiranjem dela, druga grupa je bila samo informisana o planu, treća grupa je učestvovala u planiranju ali nije krenula u izvršenje dela, dok je četvrta grupa krenula u izvršenje dela ali je zaustavljena pre samog izvršenja. Dobijeni podaci pokazuju da je reaktivnost rasla od prve ka četvrtoj grupi iako statistička značajnost među grupama nije pronađena. Moguć razlog za ovakav nalaz je i postojanje greške tipa 2 koja se javlja zbog nedovoljno visoke statističke snage. U svakom slučaju, jasno je da brojni radovi ukazuju na to da reaktivnost EDA-baziranog CIT-a pada sa značajem stimulusa, zbog čega opadaju i senzitivnost i tačnost CIT testova.

Jedan od ciljeva ove disertacije je i testiranje metode koja bi mogla da značajno unapredi senzitivnost i tačnost CIT testa i omogući njegovu primenu kod manje značajnih stimulusa.

5.7.4 Memorijske i disfunkcije prepoznavanja

Prozopagnozija predstavlja formu memorijske disfunkcije, poznate i kao slepilo za lica, koja onemogućava prepoznavanje lica ljudi uključujući i sopstvenog lica. Kod ovakvih stanja, ali i kod drugih memorijskih disfunkcija, CIT omogućava testiranje pacijenata sa ciljem utvrđivanja prepoznavanja [17, 179, 63].

5.7.5 Ispitivanje lažne memorije (Deese–Roediger–McDermott paradigma)

Prilikom interakcije sa okolinom čovek prima brojne informacije, mnoge od kojih, iz različitih razloga, bivaju pogrešno zapamćene. Jednostavan test lažnih memorija poznat je kao Deese-Roediger-McDermott-ova paradigma [50, 163, 147]. Efekat lažne memorije demonstriran je u različitim vremenskim intervalima od prijema informacija, počev od 20 min. po prijemu, pa i do 60 dana posle prijema informacija. CIT test može se koristiti i u svrhe testiranja lažne memorije [9].

5.8 Kontramere

Brojne studije pokazale su da primena kontramera može značajno da utiče na rezultate CIT testa [104, 20, 152, 57].

Upotreba različitih psihoaktivnih supstanci može da utiče na rezultate ispitivanja tako što najčešće suprimira SCR-ove, zbog čega dolazi do smanjenja senzitivnosti metode i povećanja broja lažno negativnih rezultata.

Jedna od kontramera je i namerno nanošenje bola ujedom za jezik ili slično, čime se namerno izaziva SCR. Ovu meru moguće je primeniti ukoliko ispitanik poznaje generalni princip testiranja i zna da razlikuje relevantan od alternativnih slajdova. Imajući u vidu da amplitude alternativnih slajdova utiču na klasifikaciju, podizanjem nivoa amplitude na alternativnim slajdovima, izazivanjem bola, moguće je uticati na povećanje broja lažno negativnih rezultata.

Slične efekte moguće je izazvati samom pomisli na stresan događaj ili pojačanom mentalnom aktivnošću prilikom vršenja matematičkih kalkulacija, bilo kojom mišićnom aktivnošću, ali i dubokim disanjem. Ako ispitanik zna da razlikuje tip slajda, on može da izazove lažnu reakciju na alternativnom ili kontrolnom slajdu i time utiče na povećanje lažno negativnih rezultata.

Još jedan od načina kojim se može izazvati lažna reakcija je i pritisak na EDA elektrodu, čime se povećava kontaktna površina između kože i elektrode i dolazi do povećanja provodljivosti što može da liči na SCR. Sadašnji poligrafski uređaji koriste različite vrste senzora koji mogu da detektuju pritisak na elektrodu čime mogu da otkriju ovakve pokušaje. Takođe, imajući u vidu da se tokom snimanja prati i respiratorna pletizmografija, moguće je uočiti pokušaje dubokog disanja koji dovode do lažnih reakcija. Pokušaje ugriza za jezik moguće je sprečiti elektromiografskim snimanjem mišića vilice i kamerama, ali ono što nije moguće uraditi je sprečiti ispitanika da pomisli na stresan događaj koji opaljuje SCR.

Imajući ovo u vidu, jasno je da dobro istreniran ispitanik može značajno da izmeni rezultate ispitivanja.

Metode predložene u ovoj disertaciji nude jedinstveno rešenje kojim se sprečavaju određene mogućnosti zloupotrebe tokom snimanja (8.6 Otpornost na kontramere).

5.9 Slabosti i nedostaci CIT-a

Istraživači koji su ispitivali različito dizajnirane CIT studije, primenjivali su testiranje u laboratorijskim uslovima. Ben-Shakhar u svom radu iz 2012. godine [28] kaže da postoje samo dva ispitivanja koja su povezana sa realnim ispitivanjem na terenu [59, 58], te je pitanje da li je moguće izvršiti generalizaciju različitih naučnih studija

izvedenih u laboratorijskim uslovima, i pored toga što su veličine efekta (effect size) u laboratorijskim ispitivanjima imale velike vrednosti.

Drugi važan problem u generalizaciji rezultata dobijenih u laboratorijskim uslovima je i taj što se ispitanicima, tokom studija, najčešće jasno stavlja do znanja koji elementi dela će biti testirani, dok kod realnih policijskih ispitivanja postoji mogućnost da počinilac zaista nije uočio neki element dela, zbog čega bi takav stimulus, tokom ispitivanja, bio klasifikovan kao lažno negativan, što bi uticalo na tačnost dobijenih rezultata.

Jadan od problema testiranja EDA-baziranim CIT testom je i taj što između 5-47% ispitanika ne ispoljava EDR [197, 143, 31, 49, 175] zbog čega takve ispitanike nije moguće testirati.

Važan problem sa kojim se suočavaju praktičari koji koriste CIT u operativnom policijskom radu je i osiguranje informacija. Ukoliko informacija o elementima dela procuri u javnost putem medija ili bilo kojim drugim putem, validnost CIT testa u konkretnom primeru dovodi se u pitanje pošto nevini ispitanici, koji informaciju o elementima dela dobiju putem medija, mogu da proizvedu reakcije na sličan način kao i izvršioci dela [107].

5.10 CQT i kontroverze oko detekcije laži

U Sjedinjenim Američkim Državama dominantno se upotrebljava CQT (Comparison Question Test) poligrafski test. CQT se bitno razlikuje od CIT-a. Treba imati u vidu da CIT test ima jaku naučnu potporu, dok CQT test nije naučno validiran. U suštini, CIT utvrđuje da li ispitanik u svojoj memoriji ima elemente dela koje može da zna samo ako je učestvovao u izvršenju dela. Drugim rečima, CIT nije test koji detektuje laž, već jednostavno detektuje memorijski sadržaj ispitanika. Sa druge strane, CQT test u svojoj osnovi pokušava da utvrdi reakcije vezane za obmanu.

CQT se sastoji iz tri tipa pitanja: relevantnih, kontrolnih i irelevantnih [27]. Relevantno pitanje ima oblik „Da li ste vi provalili u stan?“. Kontrolno pitanje je obično vezano za generalizovan zločin povezan sa predmetnim ispitivanjem „Da li ste ikada ukrali bilo šta?“ Irelevantna pitanja su neutralna pitanja nepovezana sa predmetnim ispitivanjem tipa „Da li sada sedite na stolici?” Ova serija pitanja ponavlja se obično tri do četiri puta. Na sva postavljena pitanja ispitanik odgovara sa da ili ne, ili pritiska tastere koji odgovaraju ovim odgovorima. Tipičan profil nevine osobe imao bi jače reakcije na kontrolnim nego na relevantnim pitanjima, dok bi profil krive osobe imao konzistentno jače reakcije na svim relevantnim u odnosu na kontrolna pitanja.

CQT sa sobom nosi brojne probleme koji uključuju etička pitanja povezana sa ovom vrstom testiranja, kao i nepostojanje naučne validacije testa [27, 30, 174]. Sa jedne strane, etički problem kod CQT testa javlja se zbog metodologije ispitivanja koja može da dovede do lažnih priznanja [89]. Tokom studija, ovaj broj se ne može pouzdano utvrditi.

Ben-Shakhar i Saxe analizirali su CQT [27, 30, 174] i zaključili da se ne može smatrati validnim testom kojim se detektuje laž s obzirom na to da ne postoji teorijska osnova koja bi mogla da poveže bilo koju fiziološku reakciju sa laganjem. Raskin je 1982. rekao da ne postoji poznat fiziološki odgovor ili šablon odgovora koji ukazuju na laganje. Konstrukt obmane nije reprezentovan rezultatima CQT pošto za to, niti postoji teorijska osnova, niti postoji empirijski dokaz koji bi potvrdio odnos između fizioloških mere praćene tokom CQT-a i laganja [174, 27].

Da bi razrešio dilemu o validnosti poligrafskog testiranja, Nacionalni istraživački savet je 2003. godine pripremio izveštaj o validnosti različitih formi poligrafskog testiranja i dao preporuke o korišćenju poligrafa [137]. Suština njihovog zaključka takođe ukazuje na činjenicu da ne postoji veza između bilo koje fiziološke veličine i laganja, te da se CQT ne može smatrati pouzdanim mehanizmom za utvrđivanje laganja.

Konsekventno, u Sjedinjenim Američkim Državama federalni sud odbacuje većinu predloga za uvođenje poligrafskog nalaza kao dokaza na sudu [26], dok postoje pojedini državni sudovi koji bi mogli da ga pod određenim uslovima prihvate, ali samo ako se obe strane slože oko uvođenja ovakvog dokaza.

6 Arhitektura hardvera i softvera iCIT uređaja

6.1 Hardver iCIT uređaja

Za primenu nove metode (iCIT – Interactive Concealed Information Test) bilo je neophodno razviti nov hardver i softver uređaja za snimanje EDA i uslovljavanje. Slika 7 prikazuje logičku šemu celokupnog uređaja koji se u osnovi sastoji iz sledećih celina:

- Kontrolna i komunikaciona celina
  a) Mikroprocesor
     Mikroprocesor je sastavni deo mikrokontrolera koji u sebi, pored centralne procesorske jedinice, ima i jedinicu za komunikaciju (USB interfejs) i A/D konverter. Na osnovu programa, mikroprocesor upravlja svim procesima unutar uređaja.
  b) USB interfejs
     Ova komponenta ima za cilj da omogući vezu između mikroprocesora uređaja i PC računara. Veza se ostvaruje uz pomoć USB v1.1 standarda. USB port računara koristi se i za napajanje uređaja naponom od 5V i strujom koja ne prelazi 500mA.
- Sklop za snimanje EDA
  a) Zaštitno ulazno kolo
     Kolo ima ulogu zaštite ispitanika i ostatka uređaja od prekomernih napona.
  b) Naponski generator
     Uloga naponskog generatora je da obezbedi napon od 0.5V koji se povezuje na ispitanika. Ovaj napon mora da bude potpuno stabilan, bez ikakvih smetnji i sa dovoljno malim unutrašnjim otporom kako, pri povećanju protoka struje kroz ispitanika, ne bi dolazilo do pada napona.
  c) Pojačavač ulaznog signala
     Ulazni signal u EDA uređaj predstavlja pad napona na šant otporniku. Ovaj napon je neophodno pojačati naponskim pojačavačem tako da njegova maksimalna vrednost ne bude veća od gornje referentne vrednosti A/D konvertera.
  d) Analogni filter
     U zavisnosti od aktivnost koja se snima, analogni filter funkcioniše kao filter propusnik niskih frekvencija. U slučaju snimanja brzih komponenti fazičnih odgovora koriste se filteri propusnici niskih frekvencija uglavnom do 35Hz. Ovim filterom isključuju se smetnje na 50Hz koje nastaju kao posledica rada gradske mreže ali i ostavlja dovoljno spektralnog prostora za brze EDA komponente. U slučaju snimanja toničnog signala, moguće je koristiti filtere propusnike niskih frekvencija do 1Hz, imajući u vidu da su tonične EDA promene vrlo spore.
  e) A/D konverter
     Analogno-digitalni konverter koristi se sa ciljem prevođenja analognog EDA signala u digitalni. Uzorkovanje signala vrši se frekvencijom od 100Hz čime

se izbegava „aliasing" efekat imajući u vidu analogni filter propusnik niskih frekvencija na 35Hz. Nyquist-ova frekvencija u ovom slučaju bila bi 70Hz.

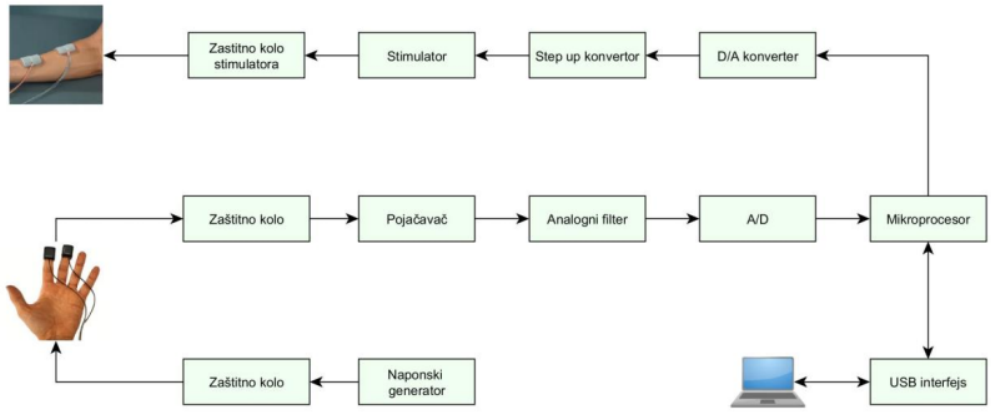
- Sklop za uslovljavanje

  a) D/A konverter
  Digitalno-analogni konverter koristi se za definisanje amplitude strujnog impulsa koji se primenjuje prilikom uslovljavanja. Njime se definiše napon koji se prevodi u jačinu struje u kolu za električnu stimulaciju ispitanika. Maksimalna jačina struje podešena je na 20mA.

  b) Step-up naponski konverter
  Ovaj sklop se koristi za podizanje nivoa napona kako bi mogla da se izvrši električna stimulacija. Najčešće se ovaj napon podiže do nivoa od 50V.

  c) Električni stimulator
  Ovo kolo koristi se da signal dobijen sa kontrolera pretvori u električni impuls jačine struje definisane naponskim nivoom dobijenim sa D/A konvertera. Električni stimulator u suštini funkcioniše kao strujni generator koji generiše pravougaone impulse jačine struje između 0-20mA. Dužina trajanja impulsa primenjena u ovoj disertaciji za potrebe uslovljavanja bila je 500ms, dok su ispitanici samostalno podešavali jačinu struje do nivoa na kojem je impuls neprijatan ali ne i bolan.

  d) Zaštitno kolo stimulatora
  Zaštitno kolo ima za cilj da zaštiti ispitanika kao i ostale delove uređaja od prekomernog napona i povezano je sa izlazom uređaja i stimulacionim elektrodama.



Slika 7. EDA uređaj

6.2 Softver za upravljanje iCIT uređajem

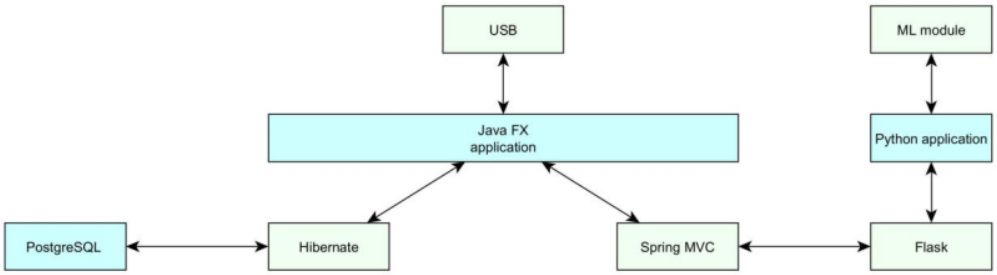
PC softver koji je razvijen za potrebe ove disertacije korišćen je za:

- Prezentaciju slajdova uz pomoć algoritma za interaktivnu selekciju slajdova (ISS – Interactive Slide Selection algorithm)
- Snimanje EDA

- Uslovljavanje ispitanika uz pomoć električnog stimulatora.
- Statističku obradu podataka

Slika 8 prikazuje osnovnu arhitekturu softvera za kontrolu iCIT uređaja. Osnovna aplikacija urađena je u Java FX okruženju uz primenu Java JDK v8 i upotrebu Spring v4 framework-a. Aplikacija je povezana sa sledećim celinama:

1. USB interfejsom
   Aplikacija komunicira sa iCIT uređajem preko USB interfejsa. Uloga komunikacije je da u potpunosti upravlja iCIT uređajem, odnosno da izda uređaju komandu za uslovljavanje ispitanika, ili da sa uređaja snimi registrovan EDA signal. Po prijemu EDA podataka sa uređaja, Java aplikacija vrši njihovu obradu i kalkulaciju parametara EDA.
2. PostgreSQL
   Java aplikacija koristi PostgreSQL v14 bazu podataka za smeštaj svih parametara ispitivanja za svakog ispitanika. U cilju objektno-relacionog mapiranja (ORM – Object Relational Mapping) aplikacija koristi Hibernate framework v5.4.2.
3. Po prikupljanju podataka za određenu grupu ispitanika, Java aplikacija poziva Python aplikaciju preko Flask web servera, prenosi joj podatke i od Python aplikacije dobija rezultate klasifikacije na osnovu primene različitih klasifikatora:
   a) EDR klasifikacija
   b) Standardni CIT Lykken skoring sistem,
   c) Z-skor klasifikacija
   d) K-Nearest Neighbors (kNN)
   e) Multilayer Perceptron (MLP)
   f) Linear Discriminant Analysis (LDA)
   g) Random Forest (RF)



Slika 8. PC softver za kontrolu iCIT uređaja

6.3 Primenjeni standardi

Prilikom projektovanja uređaja, primenjeni su sledeći relevantni standardi:

- IEC 60601-1: Opšti zahtevi za osnovnu bezbednost i performanse medicinske opreme. (*General requirements for basic safety and essential performance.*)
- IEC 60601-2-10: Posebni zahtevi za osnovnu bezbednost i performanse neuromišićnih stimulatora. (Particular requirements for the basic safety and essential performance - Nerve and Muscle Stimulators.)

- IEC 60601-1-11: Zahtevi za električnu medicinsku opremu i medicinske elktrične sisteme koji se koriste u kućnim uslovima. (Requirements for Medical Electrical Equipment and Medical Electrical Systems Used In the Home Healthcare Environment.)
- IEC 62304: Softver za medicinske uređaje. (Medical device software – software life cycle processes.)
- ISO 13485: Sistem upravljanja kvalitetom za medicinske uređaje. (Quality management systems for medical devices.)

7 Klasifikacija ispitanika

Klasifikacija ispitanika podrazumeva primenu određene matematičke procedure uz pomoć koje se, na osnovu izmerenih elektrodermalnih reakcija, određuje kategorija kojoj ispitanik pripada. U slučaju ispitivanja mock-crime paradigmom, ispitanike je potrebno klasifikovati kao krive ili nevine, dok je u slučaju ispitivanja memorijskih disfunkcija potrebno odrediti težinu bolesti ili njenu progresiju na osnovu broja prepoznatih slajdova.

U svakom slučaju, po završetku CIT testa dobijaju se rezultati EDA u izvornoj digitalnoj formi. Ova forma podrazumeva sekvencu brojeva koji predstavljaju izmerene vrednosti provodljivosti kože uzorkovane u tačno definisanim intervalima, zajedno sa vremenskim oznakama (timestamp-ovima) prikaza svakog od slajdova. Ova sekvenca brojeva propušta se kroz algoritam koji ima za cilj da odredi sve parametre EDR (2.5.3 Parametri elektrodermalne aktivnosti). Ovako određeni parametri prosleđuju se jednoj od klasifikacionih procedura koje su u deljem tekstu detaljnije objašnjene.

1. Lykken-ova amplitudska klasifikacija
2. Z-score klasifikacija
3. Klasifikacija algoritmima za mašinsko učenje

7.1 Lykken-ova klasifikacija

Lykken je u svom radu iz 1959. godine [122] po prvi put predstavio kompletan CIT test zajedno sa klasifikacionom procedurom koja je bila bazirana na ideji da se za svako pitanje uporede amplituda relevantnog slajda sa amplitudama alternativnih slajdova. Na osnovu ovog poređenja, relevantni slajdovi na svakom pitanju bili bi ocenjeni na sledeći način:

- Ukoliko relevantni slajd ima najveću amplitudu u poređenju sa ostalim alternativnim slajdovima iz istog pitanja, dobija 2 poena.
- Ukoliko relevantni slajd ima drugu najveću amplitudu, dobija 1 poen.
- U ostalim slučajevima relevantan slajd dobija 0 poena.

Klasifikaciona granica za određivanje kategorije kriv ili nevin obično se bira tačno na polovini intervala između ocene koja označava idealnu krivicu i ocene koja označava idealnu nevinost. Kriv ispitanik bi u idealnom slučaju imao maksimalne reakcije na svakom od relevantnih slajdova, dok idealno nevin ispitanik ne bi imao reakcije na relevantnim slajdovima. U slučaju da CIT ima 4 pitanja, idealno kriv ispitanik bi dobio ukupno 8 poena, odnosno po 2 poena na svakom pitanju. Idealno nevin ispitanik imao bi 0 poena. Klasifikaciona granica u ovom slučaju bila bi postavljena na 4 poena.

Ova vrsta klasifikacije koristila se u početku razvoja metode, kada još nije bilo dostupnih računara da izvrše složenije kalkulacije, već se klasifikacija vršila jednostavnim upoređivanjem amplituda. Iako predstavlja najstariji vid klasifikacije, i danas se koristi u svrhe upoređivanja sa ostalim klasifikacionim procedurama, ali očekivano ima najslabije rezultate.

7.2 Z-score klasifikacija

U statistici, z-skor (ili standardni skor) je mera koja kvantifikuje odstupanje određene vrednosti od srednje vrednosti skupa izraženo u standardnim devijacijama. Na osnovu z-skora vidi se koliko određena vrednost odstupa od srednje vrednosti u smislu broja standardnih devijacija. Ukoliko je z-skor pozitivan, znači da je vrednost veća od srednje vrednosti, dok negativan z-skor označava da je vrednost manja od srednje vrednosti. F. 7-1 prikazuje formulu za izračunavanje Z-skora. X predstavlja vrednost analiziranog parametra, μ predstavlja srednju vrednost, dok σ predstavlja standardnu devijaciju.

F. 7-1. Z-skor: $$z = \frac{(X-\mu)}{\sigma}$$

Z-skor klasifikacija se koristi sa ciljem normalizovanja dobijenih rezultata i ublažavanja razlika u reaktivnosti između ispitanika. Proces Z-skor klasifikacije funkcioniše tako što se za svaku reakciju odredi Z-skor, posle čega se izračuna srednja vrednost Z-skorova na relevantnim slajdovima jednog ispitanika. Tada se može definisati prag klasifikacije (threshold, cutoff) na osnovu kojeg se vrši klasifikacija ispitanika.

Postoji više načina za određivanje praga klasifikacije čija vrednost može da bitno utiče na metriku klasifikacije. Promenom praga, dolazi do smanjivanja specifičnosti na račun senzitivnosti i obrnuto, pri čemu se obično u jednoj tački javlja maksimum tačnosti, iako tačnost može da ima više lokalnih maksimuma. Jedna mogućnost je post hoc određivanje praga, kada se na osnovu već obrađenih podataka može utvrditi maksimum tačnosti. Međutim, u realnom radu neophodno je imati predefinisan prag za koji nije moguće znati da li postiže maksimalnu tačnost ili ne.

Jedna od opcija koja se primenjuje je da se preuzme vrednost praga iz prethodno obavljenog istraživanja sličnih karakteristika (sprovedenog nad istim mernim veličinama). Na primer, Ben-Shakhar i Dolev u svom radu iz 1996. godine [20] koriste Z-skor klasifikacioni prag od 0.4, preuzet iz rada Elaad-a iz 1990. godine [60].

Zanimljivo otkriće u oblasti Z-skor klasifikacije predstavio je Ben-Shakhar u svom radu iz 1985. godine [29] primenom Z-skor kalkulacije na nivou bloka CIT pitanja. Ova vrsta kalkulacije je važna kod dužih CIT testova, sa većim brojem pitanja organizovanih u blokove, zbog pojave habituacije i značajnije promene vrednosti parametara EDR. Primena Z-skor analize po blokovima rešava problem, ne samo interpersonalnih razlika u reaktivnosti, veći i individualnih razlika tokom snimanja zbog promene nivoa reaktivnosti.

7.3 Mašinsko učenje

Mašinsko učenje (ML – Machine Learning) predstavlja oblast unutar šireg polja veštačke inteligencije sa fokusom na razvoju algoritama i modela koji omogućavaju računarima da uče iz postojećih skupova podataka. Osnovna ideja mašinskog učenja je u kreiranju sistema koji mogu da automatski nauče ili poboljšaju svoje performanse bez eksplicitnog programiranja za svaki poseban zadatak. ML algoritmi koriste različite matematičke tehnike kako bi omogućili sistemima da uče obrasce, prave predviđanja i donose odluke na osnovu modela koje su kreirali analizirajući postojeće skupove podataka.

7.3.1 Istorijski pregled

Koreni mašinskog učenja datiraju još iz 1950-ih i 1960-ih godina kada su istraživači počeli da prave prve korake u oblasti veštačke inteligencije (AI – Artificial Intelligence). Interesantno je da je prve korake u ovoj oblasti napravio američki psiholog Frank Rosenblatt, koji je 1957. godine predstavio ideju perceptrona [117]. Rosenblatt se inače bavio problemima percepcije, te je u svom radu pokušao da prikaže funkciju neurona koji prima različite podatke sa različitim težinskim koeficijentima, sumira ih i, u slučaju dostizanja praga nadražaja, prosleđuje podatak drugim delovima neuronske mreže. Očigledno je da je Rosenblatt dizajnirao perceptron, na osnovu svog iskustva u psihologiji, tako da aktivira impuls na osnovu praga nadražaja, po principu sve ili ništa, na potpuno isti način kao i biološki nervi u organizmu.

Perceptron je imao značajnih ograničenja, posebno u radu sa složenijim zadacima koji su zahtevali nelinearne veze. Kasnih 1960-ih, ograničenja perceptrona su istaknuta u poznatoj knjizi Marvin Minsky-ja i Seymour Papert-a pod naslovom „Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry“ [125], gde su prikazani primeri problema sa kojima se može suočiti jednoslojni perceptron.

Koncept višeslojnog perceptrona (MLP – Multilayer Perceptron) pojavio se kao rešenje za ova ograničenja. MLP je vrsta veštačke neuronske mreže (ANN – Artificial Neural Network) sa više slojeva, uključujući ulazni sloj, jedan ili više skrivenih slojeva i izlazni sloj. Svaki sloj se sastoji od međusobno povezanih neurona (čvorova), a svaka veza između čvorova ostvarena je preko određenog težinskog koeficijenta. Uvođenje skrivenih slojeva omogućava MLP-ovima da nauče i predstavljaju složene nelinearne odnose u podacima.

Iako je Frank Rosenblatt predstavio prvi model perceptrona 1957. godine, razvoj i popularizacija ANN desili su se tek 1980-ih godina posle uvođenja algoritma za bekpropagaciju (BP - backpropagation), odnosno propagaciju greške unazad. BP algoritam postao je ključna komponenta koja je omogućila trening MLP-a i po prvi put dala pun smisao primeni ANN. Ogromna razlika bila je u tome što je BP algoritam omogućio MLP-u da samostalno nauči strukturu skupova podataka i da, tokom treninga, kreira model na osnovu kojeg je kasnije moguće izvršavati različite zadatke koji se najčešće tiču klasifikacije podataka, različitih vrsta regresije i predviđanja, korekcije neispravnih podataka, redukcije dimenzija, kompresije podataka i brojnih drugih primena.

BP algoritam nastao je kao rezultat rada većeg broja istraživača 1980-ih godina. Prvo je Paul Werbos u svom doktoratu iz 1974. godine izneo ideju BP-a za obuku neuronskih mreža, međutim ideja nije privukla široku pažnju sve do 1980-ih. 1986. godine David Rumelhart, Geoffrey Hinton i Ronald Williams objavili su rad pod naslovom „Učenje reprezentacija uz pomoć propagiranja grešaka unazad“ koji je uspeo da predstavi BP algoritam kao efikasan mehanizam za trening MLP [168].

Razvoj ANN postavio je temelje za forme veštačke inteligencije kakvu poznajemo danas. Na osnovama prvog perceptrona, razvili su se kasnije i MLP, kao i konvolucione i rekurentne neuronske mreže. Poslednje dve vrste mreža imale su ogroman utican na generativnu AI koja je po prvi put u istoriji jasno ukazala na ogroman potencijal veštačke inteligencije.

Imajući u vidu da se ova disertacija bavi metodama klasifikacije, treba imati u vidu da, pored prethodno pomenutog MLP-a, ova studija primenjuje još tri klasifikatora,

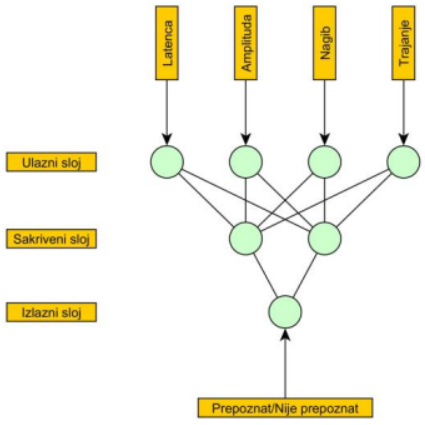
jedan od kojih je počeo da se razvija znatno pre razvoja ANN. Prvi rad iz kojeg je nastala linearna diskriminantna analiza (Linear Discriminant Analysis – LDA) objavio je Ronald Fisher u svom radu iz 1936. godine [79]. Ovaj Fisher-ov rad odnosio se na binarnu klasifikaciju, dok je 1948. godine Calyampudi Radhakrishna Rao generalizovao Fisher-ovu ideju na više klasa. LDA predstavlja jednu od najzastupljenijih metoda za supervizovanu klasifikaciju i redukciju dimenzionalnosti. Za razliku od LDA metode koja ima dugu istoriju, klasifikator slučajne šume (RF . Random Forest) prvi put je predstavio Tin Kam Ho 1995. godine

7.3.2 Tipovi mašinskog učenja

Mašinsko učenje može se koristiti u razne svrhe, te shodno tome postoje i različite metode učenja podataka. U slučaju da se ML algoritmi koriste za potrebe klasifikacije, neophodno je primeniti nadgledano učenje, dok u slučaju da je potrebno izvršiti smanjenje dimenzija skupa podataka, tada bi moralo da se primeni nenadgledano učenje. Ove dve vrste učenja pojavile su se prve i u početku su imale najveću primenu. Međutim, sa rastom količine podataka i različitim problemima tokom učenja, razvile su se i metode kao što je polu-nadgledano učenje i učenje potkrepljenjem (reinforcement learning) koje mogu značajno da pojednostave i ubrzaju učenje.

7.3.2.1 Nadgledano učenje (supervised learning)

Nadgledano učenje je vrsta mašinskog učenja gde se algoritam obučava na označenom skupu podataka (labeled dataset). Ovo znači da je svaka tačka ulaznih podataka, odnosno svaki vektor obeležja, povezan sa odgovarajućom oznakom (labelom) na izlazu. Cilj nadgledanog učenja je razumevanje strukture podataka koje omogućava povezivanje svakog vektora osobina (feature vector) iz ulaznog skupa sa željenim izlazom. Rezultat učenja je takav da algoritam može da, za svaki novo-prosleđeni vektor obeležja, napravi tačna predviđanja, odnosno izvrši klasifikaciju prosleđenih podataka.



Slika 9. Supervizovano učenje MLP-a

Proces obuke podrazumeva predstavljanje ulazno-izlaznih parova određenom algoritmu koji, tokom treninga, prilagođava svoje unutrašnje parametre (kreira model), kako bi minimizovao razliku između labela (supervizovane vrednosti) i svojih

predviđanja. Ovo se obično radi korišćenjem funkcije gubitka (loss function) koja meri razliku između predviđenog rezultata i stvarnog cilja (labele).

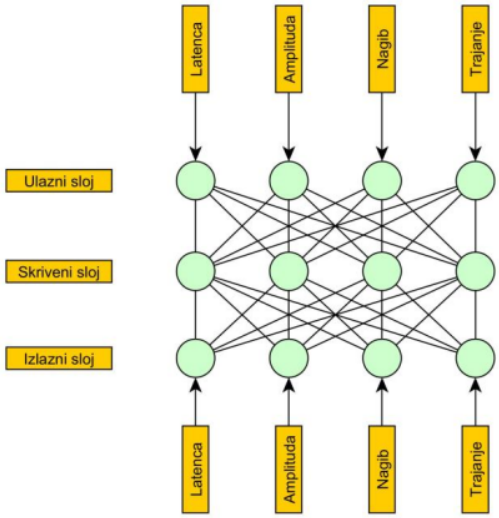
Nadgledano učenje može se koristiti u sledeće svrhe:

- **Klasifikacija** podrazumeva dodeljivanje unapred definisanih klasa vektorima obeležja (feature vector). Na primeru klasifikacije kod CIT testa, ovo znači dodeljivanje klasa „nevin“ ili „kriv“ vektorima obeležja koji predstavljaju nizove EDR amplituda sa svih slajdova. Slika 9 daje primer supervizovanog učenja MLP-a kojeg je potrebno naučiti da, na osnovu parametara EDR, prepozna da li je slajd sa CIT testa prepoznat ili ne.
- **Regresija** podrazumeva predviđanje kontinuiranog rezultata za razliku od klasifikacije gde se dobija kategorizovan rezultat. Na primer, predviđanje cene kuće na osnovu njenih karakteristika, kao što su površina, broj soba i lokacija. Cena kuće u ovom slučaju ima kontinualnu a ne kategorizovanu vrednost.

Postoji veliki broj različitih klasifikacionih algoritama, od kojih su za potrebe ove disertacije odabrani: višeslojni perceptron (MLP – Multilayer Perceptron), k-najbližih suseda (kNN – k Nearest Neighbors), linearna diskriminantna analiza (LDA – Linear Discriminant Analysis) i klasifikator slučajne šume (RF – Random Forest).

7.3.2.2 Nenadgledano učenje (unsupervised learning)

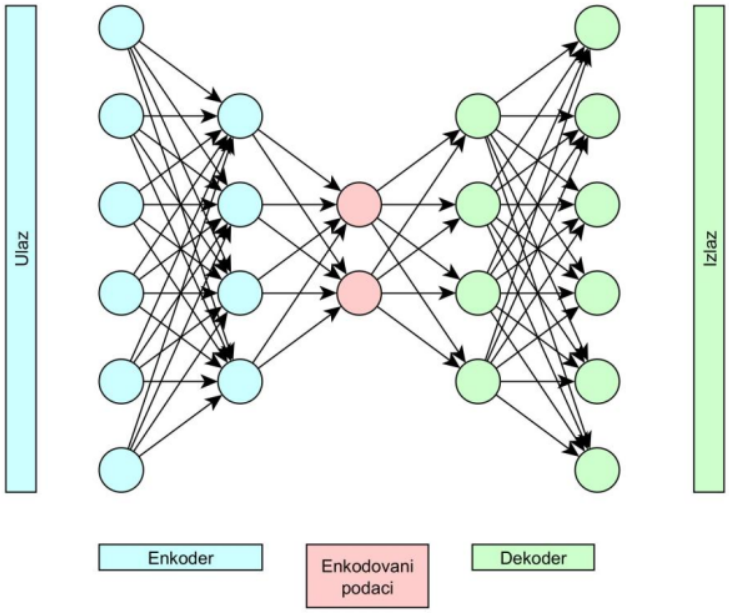
Nasuprot nadgledanom učenju, nenadgledano učenje bazira se na ideji da algoritam samostalno uči strukturu skupa podataka, bez povezivanja ulaznih podataka sa bilo kakvim oznakama (labelama). Tokom treninga, algoritmu se prosleđuju ulazni podaci, pri čemu algoritam samostalno koriguje sopstvene parametre i generiše model baziran na ispitivanom skupu podataka. Tokom treninga algoritam uči o svim strukturama i svim odnosima podataka unutar skupa podataka koji se analizira bez upotrebe bilo kakvih labela ili supervizovanih vrednosti.



Slika 10. Autoenkoder za korekciju podataka

Nenadgledano učenje može se koristiti u sledeće svrhe:

- **Korekcija podataka** i otkrivanje uljeza (outlier detection). Za ovu primenu često se koriste neuronske mreže (MLP) povezane kao autoenkoderi. Trik je da i ulaz i izlaz imaju isti broj čvorova i da se tokom treninga ista vrednost prosleđuje i ulazu i izlazu, zbog čega mreža u sebi modeluje strukturu skupa podataka i u stanju je da za uneti vektor obeležja sa greškom, kao rezultat na svom izlazu generiše vektor obeležja bez greške. Slika 10 prikazuje primer autoenkodera za korekciju greške u jednostavnom CIT datasetu.
- **Smanjenje dimenzionalnosti** (dimensionality reduction): Metode smanjenja dimenzionalnosti imaju za cilj smanjenje broja karakteristika u podacima uz očuvanje njihovih važnih karakteristika. Osnovna ideja je u smanjivanju broja elemenata u vektorima obeležja, tako da struktura podataka ostane očuvana. Slika 11 prikazuje ANN povezanu kao autoenkoder sa funkcijom redukcije dimenzionalnosti skupa podataka. Kao što se sa slike vidi ulazna dimenzija se redukuje prolaskom kroz mrežu enkodera, posle kojeg se u centralnom sloju nalaze podaci sa smanjenim brojem dimenzija. Nastavkom transformacije kroz dekoder, dobijaju se podaci bliski originalnim.



Slika 11. Autoenkoder za smanjenje dimenzionalnosti

- **Grupisanje podataka** (data clustering) podrazumeva pronalaženje grupa koje sadrže međusobno slične podatke. Najpoznatija metoda za ovu primenu poznata je kao K-Means klastering algoritam. Prilikom grupisanja podataka ovaj algoritam pronalazi međusobno najsličnije tačke i svrstava ih u onaj broj grupa koji odredi korisnik pre startovanja algoritma. Tokom grupisanja, algoritam pronalazi sve tačke koje su u Euklidovom smislu najbliže u vektorskom prostoru i grupiše ih u K broj grupa.

7.3.2.3 Polu-nadgledano učenje (semi-supervised learning)

Kod polu-nadgledanog učenja, algoritmu se dostavlja skup podataka od kojih su neki vektori obeležja označeni labelama, dok neki nisu. Za obeležja koja nisu označena labelama, algoritam pokušava da pronađe labelu koja odgovara najsličnijem obeležju, a zatim je koristi kako bi markirao obeležja bez labela. Ovaj postupak učenja napravljen je sa idejom da pomogne u slučajevima kada je obeležavanje vektora obeležja previše kompleksan posao koji oduzima previše vremena. U takvim slučajevima, ovakva vrsta učenja ima velike prednosti nad prethodno opisanim nadgledanim učenjem. S druge strane, za očekivati je da algoritmi koji se treniraju standardnim nadgledanim učenjem mogu da ostvare bolju klasifikacionu metriku.

7.3.2.4 Učenje potkrepljenjem (reinforcement learning)

Osnovna ideja ove metode je da uči na bazi kazni i pohvala odnosno na bazi pozitivnog i negativnog potkrepljenja. Drugim rečima, za svaku odluku koju algoritam donese, on dobija ili pohvale ili kazne, pri čemu je koncipiran tako da teži ka tome da bude što više hvaljen. Ovaj princip učenja veoma je sličan operantnom uslovljavanju (4.2 Operantno uslovljavanje) na kojem se zasniva ljudsko učenje.

Ovaj model učenja našao je veliku primenu u treningu auto-pilota i omogućio znatno lakše treniranje algoritama za upravljanje vozilom.

7.3.3 Klasifikatori

U ovoj disertaciji predstavljeno je četiri ML klasifikatora:

1. MLP – višeslojni perceptron
2. LDA – linearna diskriminantna analiza
3. kNN – k najbližih suseda
4. RF – slučajna šuma

Zbog različitih karakteristika klasifikatora, neki od njih ispolje bolju ili lošiju klasifikacionu metriku u zavisnosti od skupova podataka i njihove strukture. Jedan od postavljenih ciljeva disertacije je i ispitivanje klasifikacione metrike nad CIT-baziranim skupovima podataka.

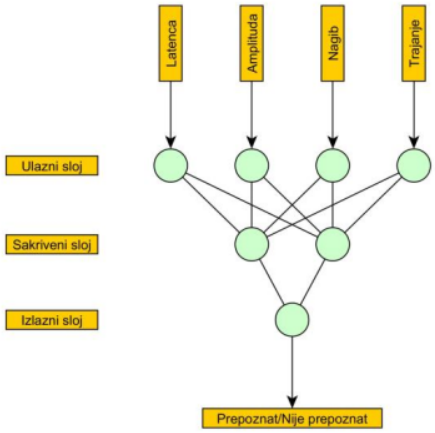
7.3.3.1 Višeslojni perceptron (Multilayer Perceptron – MLP)

Višeslojni perceptron je vrsta ANN koja se sastoji većeg broja čvorova (neurona), organizovanih po slojevima, tako da je svaki čvor jednog sloja povezan sa svim čvorovima susednog sloja (Slika 12). Arhitekturu MLP karakteriše jedan ulazni i jedan izlazni sloj, dok između ova dva sloja može da bude različit broj skrivenih slojeva. Iako nema striktne definicije o broju skrivenih slojeva neophodnih da bi MLP imao atribut mreže za „duboko učenje“ (deep learning), najčešće se pod ovim pojmom podrazumevaju MLP-ovi sa najmanje 2 skrivena sloja.

Ulazni sloj MLP-a karakterišu čvorovi koji primaju ulazne podatke, odnosno vektore obeležja. Jedan čvor prima jednu skalarnu veličinu koja predstavlja jednu karakteristiku vektora obeležja. Vrednosti ulaznih čvorova propagiraju kroz skrivene slojeve sve do izlaznog sloja. U slučaju da se MLP koristi za klasifikaciju, tada izlazni sloj najčešće ima jedan izlazni čvor po svakoj klasi. U slučaju da se MLP koristi kao autoenkoder, tada broj čvorova u izlaznom sloju odgovara onom sa ulaznog sloja,

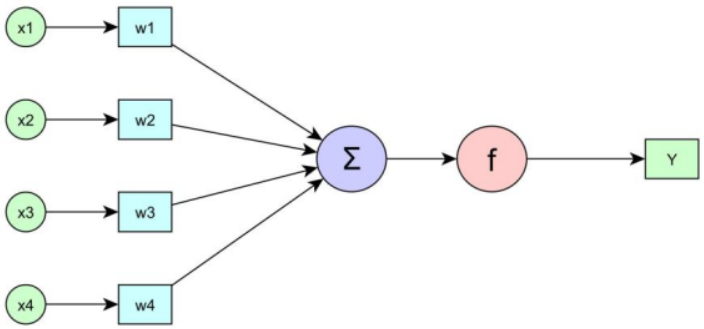
dok u slučaju regresije, izlazni sloj može imati samo jedan čvor. Broj skrivenih slojeva može biti različit a zavisi od strukture skupa podataka koji se koristi. Oni skupovi podataka sa složenim odnosima između obeležja, moraju da imaju veći broj slojeva koji su u stanju da nauče složenu strukturu dataseta. Problem sa većim brojem slojeva je usporavanje treninga ali i testiranja algoritma. Arhitektura skrivenih slojeva zavisi od brojnih faktora i može da izgleda potpuno drugačije u zavisnosti od toga da li se MLP koristi u cilju klasifikacije, korekcije podataka i pronalaženje uljeza (outlier-a), redukcije dimenzionalnosti i drugih potreba.

Slika 12 predstavlja MLP koji se može koristiti za klasifikaciju slajdova na prepoznate i neprepoznate, na osnovu parametara EDR. Ulazni sloj prima četiri EDR parametra: latencu, amplitudu, nagib i trajanje reakcije. Ove vrednosti propagiraju kroz jedan skriveni sloj i dolaze do izlaznog sloja sa samo jednim čvorom koji, u krajnjoj liniji, treba da dobije vrednost 0 ili 1.



Slika 12. MLP Klasifikacija slajda na osnovu EDR parametara

Osnovna ideja perceptrona je da od povezanih čvorova prima njihove izlazne vrednosti x_n preko određenog težinskog koeficijenta w_n (Slika 13). Ponderisane vrednosti se sumiraju i prosleđuju aktivacionoj funkciji. Vrednost koja dolazi do aktivacione funkcije (ponderisana suma ili suma težinskih koeficijenata) poznata je i pod imenom preaktivaciona vrednost.



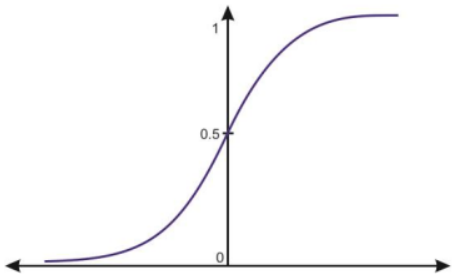
Slika 13. Princip funkcionisanja perceptrona

Izbor aktivacione funkcije veoma je važan za pravilno funkcionisanje mreže, imajući u vidu da je ovo mesto na kojem je moguće umetnuti dozu nelinearnosti, iako se kao aktivacione funkcije ponekad koriste i linearne funkcije. Upotreba nelinearnih funkcija aktivacije omogućava MLP-ovima da modeliraju veoma složene odnose unutar podataka. Sa dovoljnim brojem neurona i odgovarajućom obukom, dokazano je da su MLP univerzalni aproksimatori, sposobni da aproksimiraju bilo koju kontinuiranu funkciju.

Kao aktivacione funkcije najčešće se koriste:

- Sigmoidna funkcija (F. 7-2):

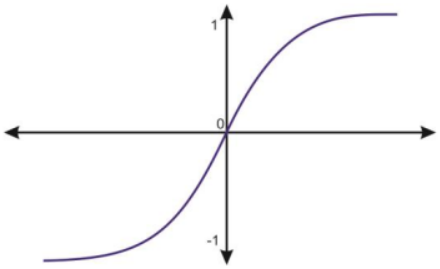
  F. 7-2. Sigmoidna funkcija: $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$



Slika 14. Sigmoidna funkcija

- Tangens hiperbolični (F. 7-3):

  F. 7-3. Tangens hiperbolični: $f(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1$



Slika 15. Tangens hiperbolički

- ReLU (Rectified Linear Unit) funkcija (F. 7-4):

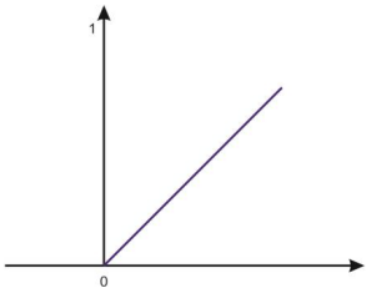
  F. 7-4. ReLU funkcija: $f(x) = \frac{x+|x|}{2} = \begin{cases} x, x \geq 0 \\ 0, x < 0 \end{cases}$

Prilikom propagacije unapred kroz skrivene čvorove mreže, vrednost čvorova izračunava se funkcijama F. 7-5 – F. 7-7.

F. 7-5. Težinski koeficijenti: $I_j = \sum w_{ij} x_i$

F. 7-6. Aktivacija u skrivenom sloju: $a_j = f(I_j)$

F. 7-7. Rezultujući izlaz: $y_k = \sum_j w_{jk} a_j$



Slika 16. ReLU funkcija

Značenje varijabli korišćenih u ovim funkcijama prikazano je na sledećoj listi:

- x_i: ulazne vrednosti
- w_{ij}: težinski koeficijenti između ulaznog i skrivenog sloja
- I_j: težinska suma skrivenog sloja (preaktivacija)
- f aktivaciona funkcija
- a_j: rezultat aktivacione funkcije u skrivenom sloju
- y_k: rezultujuća vrednost u izlaznom sloju
- t_k: supervizovana vrednost
- η koeficijent brzine učenja
- e signal greške (error signal)
- L funkcija gubitka

U izlaznom sloju, u slučaju binarne klasifikacije, takođe se često koristi sigmoidna funkcija F. 7-2, dok se u slučaju višeklasne klasifikacije najčešće koristi softmax funkcija (F. 7-8).

F. 7-8.SoftMax funkcija u izlaznom sloju: $$y_k = \frac{e^{I_k}}{\sum_{l=1}^{k} e^{I_l}}$$

Trening MLP-a funkcioniše po principu bekpropagacije (BP - Backpropagation), odnosno propagacije unazad. Suština BP je u izračunavanju signala greške u svim čvorovima mreže, pri čemu signal greške predstavlja gradijent funkcije gubitka u odnosu na preaktivaciju neurona u mreži (F. 7-9). Na kraju se dobijaju vrednosti kojima je potrebno korigovati težinske koeficijente (F. 7-10) na osnovu signala greške u izlaznom sloju (F. 7-11) i u skrivenom sloju (F. 7-12)

F. 7-9. Signal greške u odnosu na funkciju gubitka: $$e = \frac{\partial L}{\partial I}$$

F. 7-10. Promena težinskih koeficijenata: $$\Delta w_{ji}^{[s]} = \eta \cdot e_j^{[s]} \cdot x_i^{[s-1]}$$

F. 7-11. Signal greške u izlaznom sloju: $$e_j^{[out]} = f'\left(I_j^{[out]}\right) \cdot \left(t_j - x_j^{[out]}\right)$$

F. 7-12. Signal greške u skrivenom sloju: $$e_j^{[s]} = f'(I_j^{[s]}) \cdot \sum_k (e_k^{[s+1]} \cdot w_{kj}^{[s+1]})$$

Cilj BP algoritma je da, pri svakom koraku treninga, umanji vrednosti funkcije gubitka i na taj način napravi ANN koja u svom predviđanju pravi najmanje grešaka. Algoritam koji tokom BP-a pokušava da mrežu dovede do minimuma greške naziva se algoritam smanjenja gradijenta (GD - gradient descent). GD predstavlja opšti algoritam optimizacije koji se koristi za minimizaciju funkcije gubitka iterativnim

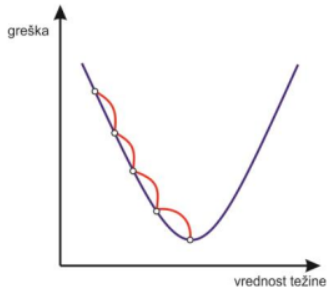
prilagođavanjem parametara modela. Pravilno razumevanje GD-a je izuzetno važno zbog problema koji se mogu javiti tokom treninga mreže:

- Problem konvergencije

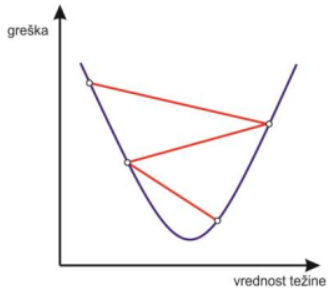
  Koeficijent brzine učenja (η) treba da ima optimalnu vrednost (Slika 17), pošto prevelika i premala vrednost mogu da dovedu do problema tokom učenja. Ako je koeficijent brzine učenja η prevelik, pad gradijenta može da dovede do oscilacije ili divergencije rezultata zbog čega nije moguće postići optimalni rezultat (Slika 18). Sa druge strane, ako je koeficijent η premali, algoritmu može biti potrebno previše vremena da konvergira.

- Problem lokalnih minimuma

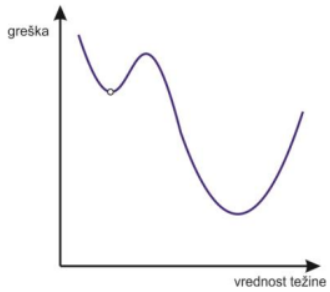
  Postojanje lokalnih minimuma (Slika 19) može da dovede do suboptimalnih rezultata. Odnosno, moguće je da GD dođe do tačke lokalnog minimuma i tu konvergira, zbog čega će klasifikaciona metrika koju ANN postiže biti suboptimalna.



Slika 17. Pad gradijenta sa dobro podešenim koeficijentom učenja



Slika 18. Problem sa padom gradijenta zbog velikog koeficijenta učenja



Slika 19. Problemi pada gradijenta sa lokalnim minimumima

Algoritam se izvršava sve do ispunjenja postavljenih uslova (stopping conditions). Jedan od uslova može biti postizanje konvergencije, odnosno vrednost greške koja je manja od definisanog nivoa. Uslov se može definisati i na osnovu broja ponavljanja algoritma, posle čega se algoritam zaustavlja bez obzira na postignutu konvergenciju.

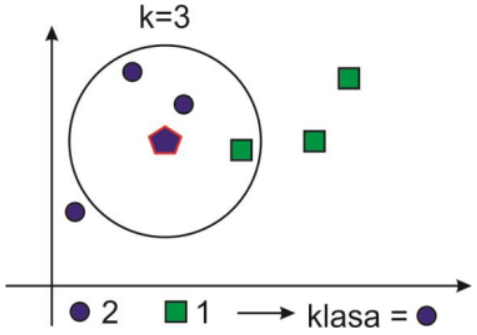
MLP koristi model neuralne mreže koja može da ima više skrivenih slojeva. Zbog kompleksnosti relacija između čvorova mreže, model nije jednostavno koristiti za interpretaciju podataka i utvrđivanje važnosti obeležja. Međutim postoje trikovi koji bi mogli da posluže u ove svrhe. Na primer, težinski koeficijenti koji spajaju određena obeležja sa skrivenim slojem uglavnom imaju veće vrednosti kod obeležja većeg značaja.

Zbog kompleksnosti modela, primena MLP-a može da traži značajne računarske resurse posebno u slučajevima velikih modela. U primeru ove disertacije, MLP je bio primenjen na malom skupu podataka, te trening i testing nisu zahtevali značajne računarske resurse, iako je MLP algoritam bio sporiji od ostala tri primenjena algoritma.

7.3.3.2 K-najbližih suseda (kNN – k Nearest Neighbours)

kNN je jedna od najjednostavnijih metoda supervizovanog učenja koja se može koristiti u problemima klasifikacije i regresije. Osnovna ideja kNN-a je da tačke u multidimenzionom vektorskom prostoru koje su međusobno bliže imaju i viši stepen međusobne sličnosti. S tim u vezi, ukoliko se koristi trening skup podataka, sa supervizovanim klasifikacionim vrednostima, tada se klasifikacija novog elementa vektorskog prostora može uraditi na osnovu procene udaljenosti od ostalih vektora u trening skupu podataka. Parametar k koristi se da definiše broj najbližih postojećih vektora koji će biti analizirani u procesu klasifikacije. kNN algoritam funkcioniše tako što klasifikaciju nad novim elementom radi na osnovu kalkulacija nad trening skupom podataka. Drugim rečima, kNN ne kreira novi model kao npr. MLP, već koristi postojeći skup podataka (trening skup) da bi uz pomoć njega izvršio klasifikaciju novog vektora obeležja.

Ako se oko vektora koji treba klasifikovati iscrta krug koji obuhvata k postojećih vektora u trening skupu podataka, tada se klasifikacija može izvršiti na osnovu glasova većine zaokruženih vektora. Ako parametar k dobije vrednost 3, tada je dovoljno da bar 2 od zaokruženih vektora budu pripadnici plave klase da bi i novi vektor koji se klasifikuje (plavi petougao) bio klasifikovan kao plavi (Slika 20).



Slika 20. kNN klasifikacija

Postoji više različitih distanci koje se mogu koristiti u kNN algoritmu:

- Euklidova distanca

  Euklidova distance najčešće se koristi za određivanje udaljenosti kod kNN algoritma. Limitirana je na vektore sa realnim vrednostima i meri distancu na pravoj između dve tačke.

  F. 7-13. Euklidova distanca: $d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)^2}$

- Manhattan distanca

  Manhattan distanca određuje apsolutnu vrednost udaljenosti između dve tačke.

  F. 7-14. Manhattan distanca: $d(x, y) = \sum_{i=1}^{n}|x_i - y_i|$

- Distanca Minkovskog

  Distanca Minkovskog je najopštiji primer određivanja distance a njenom primenom mogu se simulirati prethodne dve distance tako što je, u slučaju Manhattan distance parametar p=1, dok je u slučaju Euklidove distance p=2.

  F. 7-15. Distanca Minkovskog: $d(x, y) = (\sum_{i=1}^{n}|x_i - y_i|)^{\frac{1}{p}}$

U slučaju da se kNN koristi za potrebe regresije, postupak se odvija na isti način, samo što se umesto dodele klase, izračunava srednja vrednost zaokruženih vektora koja bi se vratila kao rezultat regresije.

kNN algoritam odlikuje se pre svega jednostavnošću i korišćenjem celokupnog dataseta kao modela na osnovu kojeg se vrši klasifikacija. Ovo znači da kod kNN-a nije potrebno vršiti trening, što može znatno da olakša njegovo korišćenje ali, sa druge strane, zahteva nešto veće računarske resurse u slučaju velikih skupova podataka pošto je u memoriji računara neophodno čuvati celokupni dataset.

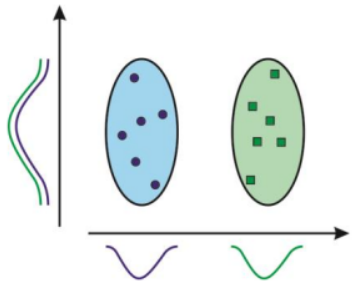
7.3.3.3 Linearna diskriminantna analiza (Linear Discriminant Analysis)

Linearna diskriminantna analiza (LDA) je metoda za klasifikaciju i redukciju dimenzionalnosti bazirana na ideji da se tačke vektora obeležja definisane brojem obeležja n projektuju na manje dimenzioni prostor sa ciljem da se poveća međuklasna varijansa i da se smanji unutarklasna varijansa (Slika 21). Broj dimenzija na koji LDA redukuje skup podataka zavisi od broja klasa u analizi. Ako postoji C klasa, LDA može smanjiti dimenzionalnost na C−1 dimenzija. Ovaj broj odnosi se na idealan slučaj redukcije dimenzionalnosti imajući u vidu maksimalan broj linearno nezavisnih diskriminantnih pravaca, odnosno sopstvenih vektora. Ovakva selekcija dimenzija osigurava dovoljno prostora za diskriminaciju između svih klasa uz maksimalno izbegavanje suvišnih dimenzija.

U opštem slučaju, funkcionisanje LDA odvija se u sledećim koracima:

1. Izračunavanje vektora srednjih vrednosti po svakoj klasi

   F. 7-16. Vektor srednjih vrednosti za klasu: $\mathrm{x}_i = \frac{1}{N_i}\sum_{j=1}^{N_i} x_{ij}$



Slika 21. Maksimizacija međuklasne i minimizacija interklasne varijanse

2. Izračunavanje matrice rasejanja (scatter matrix) unutar svake klase

   F. 7-17. Matrica unutarklasnog rasejanja:

$$S_w = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{N_i} (\boldsymbol{x_{ij}} - \bar{x}_i)(\boldsymbol{x_{ij}} - \bar{x}_i)^T$$

3. Izračunavanje matrice rasejanja između klasa

   F. 7-18. Matrica međuklasnog rasejanja: $S_b = \sum_{i=1}^{k} N_i (\bar{x}_i - \bar{x})(\bar{x}_i - \bar{x})^T$

4. Izračunavanje sopstvenih vrednosti i vektora
   Rešenje sledeće jednačine (F. 7-19) obezbeđuje skup sopstvenih vektora koji predstavljaju optimalne pravce u prostoru obeležja za maksimizovanje razdvajanja između klasa. Sopstvene vrednosti ukazuju na važnost ili značaj svakog pravca.

   F. 7-19. Sopstvene vrednosti i sopstveni vektori: $S_w^{-1} S_b = W \Lambda W^T$

   U prethodnoj jednačini W predstavlja matricu sopstvenih vektora, dok je Λ dijagonalna matrica sopstvenih vrednosti. Matrica sopstvenih vektora je matrica čije su kolone sastavljene od sopstvenih vektora originalne matrice.

   Imajući u vidu da je u disertaciji korišćena binarna klasifikacija, to znači da bi bilo potrebno izvršiti redukciju dimenzionalnosti na jedan vektor sa maksimizovanom varijansom između klasa i minimizovanom varijansom unutar klase. Da bi se odredio sopstveni vektor *v* i sopstvena vrednost λ potrebno je rešiti sledeću jednačinu:

   F. 7-20. Sopstveni vektor i vrednost u binarnoj klasifikaciji: $(S_b - \lambda S_w)v = 0$

$$S_w^{-1} S_b v = \lambda v$$

5. Kreiranje projekcione matrice
   U sledećoj formuli projekciona matrica se konstruiše korišćenjem sopstvenih vektora koji odgovaraju najvećim sopstvenim vrednostima. Projekciona matrica pravi se tako da njene kolone čine selektovani sopstveni vektori. Ova matrica se koristi za projektovanje podataka u potprostor niže dimenzije, odnosno za projektovanje originalnih vektora na potprostor definisan sopstvenim vektorima.

   F. 7-21. Projekcija podataka: $y = W_{\text{proj}}^T x$

6. Generisanje vektora težina
   Vektor težina (weight vector) w_i za svaku klasu se formira slaganjem odgovarajućih elemenata izabranih sopstvenih vektora *v*.

F. 7-22. Vektor težina: $w_i = \begin{bmatrix} v_{1i} \\ v_{2i} \\ \vdots \\ v_{3i} \end{bmatrix}$

7. Klasifikacija vektora obeležja
   Po određivanju vektora težinskih koeficijenata, klasifikacija vektora obeležja radi se uz pomoć linearne diskriminantne funkcije (LDF) (F. 7-23).

   F. 7-23. Linearna diskriminantna funkcija (LDF): $Ci = w_i^T x + b_i$

   Na kraju procesa, vektor obeležja se klasifikuje kao klasa c_i kojoj je LDF dodelila najveću vrednost.

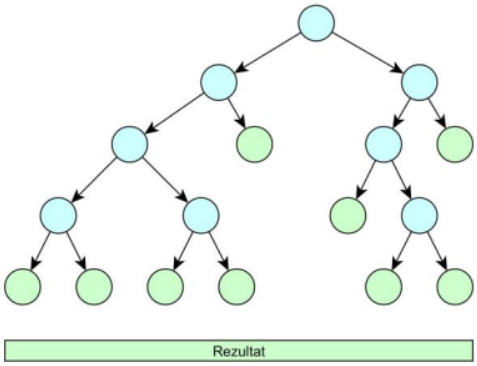
LDA model u suštini predstavlja grupu težinskih vektora i bias vrednosti kojima se vrši projekcija vektora obeležja na izabrane sopstvene vektore. Klasa čiji sopstveni vektor dobije najveću projekciju postaje rezultat klasifikacije. Ovo znači da je model dobijen treningom veoma jednostavan i ne traži značajne računarske resurse.

Važno je imati u vidu da LDA podrazumeva da podaci unutar svake klase prate multivarijantnu normalnu distribuciju i da su kovarijanse klasa jednake, odnosno da bi odstupanja od ovih pretpostavki mogla da dovedu do slabije klasifikacione metrike. Takođe, LDA može da ima problema sa većim brojem klasa, kao i sa pojavom overfitting-a u slučaju malog broja redova u datasetu, ili u slučaju da broj obeležja nije dovoljno veliki u odnosu na broj uzoraka (redova dataseta). Međutim, ukoliko se ispune sve propozicije, LDA postaje izuzetno efikasno sredstvo za supervizovanu klasifikaciju.

7.3.3.4 Klasifikator slučajne šume (Random Forest Classifier)

Slučajna šuma je jedan od algoritama mašinskog učenja koji se pre svega koristi u cilju klasifikacije ili regresije. Organizovan je na bazi određenog broja stabala odlučivanja (decision trees) povezanih u jedinstvenu celinu (ansambl, eng. ensemble).

Stabla odlučivanja su hijerarhijske strukture u kojima svaki čvor (spoj grana) definiše grananje na bazi vrednosti nekog od obeležja, dok svaki list označava klasu ili predviđenu numeričku vrednost u slučaju regresije (Slika 22). Čvorovi drveta sadrže uslove grananja kojima se podaci dele na grane.



Slika 22. Jedno drvo odlučivanja

Osnovni princip rada stabala odlučivanja, tokom treninga, je da, za različite vrednosti jednog obeležja, izvrše klasifikaciju primenjujući određene uslove (npr. nejednakosti) kojima se vrši klasifikacija. Sve ove različite vrednosti utiču na vrednost greške (npr. Ginijeva nečistoća ili klasifikaciona entropija – eng. Gini impurity, classification entropy). Tokom treninga utvrđuje se za koje obeležje i koju od vrednosti uslova može da se postigne klasifikacija sa najmanjom greškom. Uslov za obeležje koje je tokom treninga imalo najmanju grešku, postaje uslov čvora koji se koristi u daljoj analizi. Započinje se od osnovnog čvora i ide ka sporednim čvorovima sve do ispunjenja uslova za zaustavljanje algoritma. Ovi uslovi najčešće su dostizanje maksimalne dubine ili postizanje greške manje od određenog praga.

Ginijeva nečistoća (Gini impurity) meri verovatnoću netačne klasifikacije elementa koji je nasumično izabran iz skupa. Niža Ginijeva nečistoća ukazuje na čistiji skup. Ginijeva nečistoća za skup S i klasu K izračunava se po sledećoj formuli (F. 7-24), gde je p_i verovatnoća da se element skupa nađe u klasi *i*:

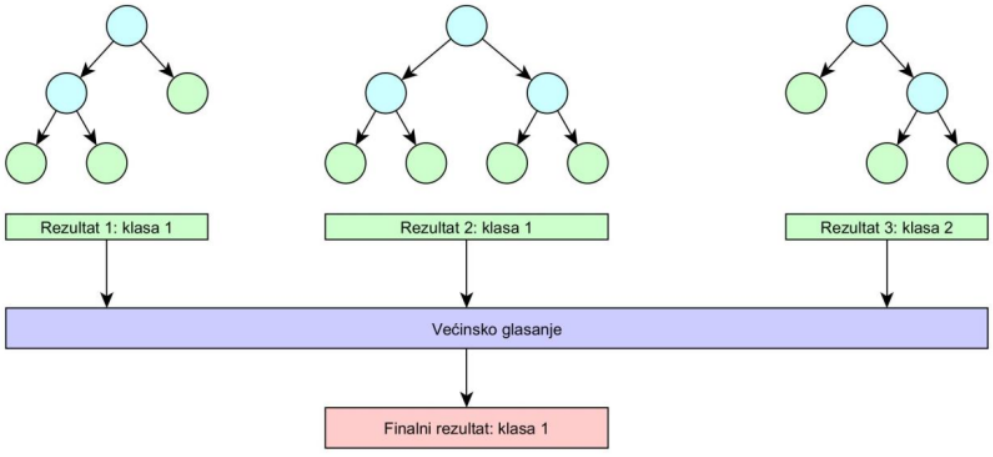
F. 7-24. Ginijeva nečistoća: $\text{Gini}(S) = 1 - \sum_{i=1}^{K} p_i^2$

Entropija meri prosečnu količinu informacija potrebnih za identifikaciju klase elementa u skupu. Niža entropija ukazuje na čistiji skup. Izračunava se po formuli (F. 7-25), gde p_i označava verovatnoću da se element skupa nađe u klasi *i*:

F. 7-25. Entropija klasifikacije: $\text{Entropy}(S) = -\sum_{i=1}^{K} p_i \log_2(p_i)$

Ginijeva nečistoća i entropija imaju vrednosti od 0 do 1, gde 0 predstavlja idealnu čistoću, odnosno ukazuje na to da svi elementi pripadaju istoj klasi, dok 1 predstavlja maksimalnu nečistoću, odnosno ukazuje na to da su elementi ravnomerno raspoređeni među klasama. Ginijeva nečistoća je jednostavnija od entropije, a samim tim i brža za izračunavanje. Važno je uočiti da prilikom podele na klase tokom obuke, algoritam bira podelu koja minimizira Ginijevu nečistoću ili entropiju.

Tokom klasifikacije, stabla odlučivanja već imaju definisane uslove u svim svojim čvorovima, pa se klasifikacija vrši tako što svaki čvor odlučivanja donosi odluku na osnovu postavljenog uslova, te da se na određenom nivou odluka donosi glasanjem većine čvorova, dok se u slučaju regresije izračunava srednja vrednost.



Slika 23. Slučajna šuma

Specifičnost slučajne šume je u tome da veći broj stabala odlučivanja udruženo radi (kao ansambl) na zadacima klasifikacije ili regresije (Slika 23). Algoritam koristi pristup udruženog učenja gde se više stabala odlučivanja obučava nezavisno, pri čemu se njihova predviđanja kombinuju kako bi se došlo do konačnog predviđanja. Ovakav pristup u mogućnosti je da unapredi klasifikacionu metriku u poređenju sa klasičnim stablima odlučivanja. Tokom procesa obuke, koristi se princip poznat kao bootstrapping, kod kojeg se svako stablo odlučivanja gradi korišćenjem dela originalnog skupa podataka. Podelom trening skupa podataka, sa ciljem korišćenja različitih podataka za trening različitih stabala u šumi, obezbeđuje se raznolikost među stablima što će u celini povećati rezistentnost slučajne šume na overfitting u poređenju sa primenom jednog stabla odlučivanja. Pored podele podataka, različita stabla koriste različita (nasumično dodeljena) obeležja za obučavanje. Na ovaj način vrši se diversifikacija obeležja i stabala što takođe smanjuje mogućnost overfitting-a.

Tokom klasifikacije, svako stablo daje rezultat u formi određene klase, pri čemu se krajnji rezultat utvrđuje većinom glasova u slučaju klasifikacije ili izračunavanjem prosečne vrednosti, u slučaju regresije.

Algoritam slučajne šume je jedan od ML algoritama sa najboljom klasifikacionom metrikom, što se pokazalo i u rezultatima ove disertacije. Važno je još jednom istaći da je algoritam dosta otporan na overfitting (otporniji od klasičnog stabla odlučivanja), kao i da je pogodan za rad sa skupovima podataka koji uključuju veliki broj obeležja. Algoritam omogućava i analizu važnosti obeležja, koja je i primenjena u ovoj disertaciji za analizu rada CIT-dataset sorting algoritma.

Algoritam slučajne šume omogućava paralelizaciju treninga i testiranja imajući u vidu da se procesi na svakom stablu mogu odvijati istovremeno. Sa jedne strane, ovo otvara mogućnost za paralelno procesiranje velikih skupova podataka. Sa druge strane, upotreba većeg broja stabala unutar slučajne šume povećava zahteve za računarskim resursima koji uključuju memoriju i procesorsku snagu. Takođe, treba imati u vidu da je algoritam naklonjen (biased) obeležjima sa većim brojem kategorija, i da nije pogodan za neizbalansirane skupove podataka.

7.3.4 Preprocesiranje

Pod preprocesiranjem se podrazumeva primena različitih tehnika nad sirovim skupovima podataka i njihova priprema za trening ML algoritama. Preprocesiranje je izuzetno važan korak u procesu mašinskog učenja, pošto kvalitet ulaznih podataka može značajno da utiče na performanse modela. Iako postoje brojne tehnike preprocesiranja, u sledećoj listi predstavljene su one tehnike koje su ili primenjene u ovoj disertaciji ili su vezane za buduću primenu iCIT-a:

- Prečišćavanje podataka i detekcija uljeza
  Ponekad je moguće da skupovi podataka sadrže ili loše izmerene vrednosti, ili vrednosti upisane sa greškom. Ovakvi podaci smatraju se uljezima i mogu doprineti pogrešnom treningu modela i pogrešnim klasifikacionim rezultatima. Zbog toga se često vrši odstranjivanje uljeza različitim metodama. Izbor metode za odstranjivanje uljeza zavisi od samog skupa podataka, a jedna od metoda mogla bi da bude i Z-skorovanje podataka i uklanjanje svih onih koji odstupaju od srednje vrednosti za više od određenog broja standardnih devijacija.
- Normalizacija
  Normalizacija podrazumeva preslikavanje opsega vrednosti određenog obeležja na opseg 0-1 (F. 7-26). Ova metoda neophodna je za primenu klasifikatora kao

što su MLP i kNN, dok je poželjna ali ne i neophodna za primenu kod LDA i RF klasifikatora. U predmetnoj disertaciji normalizacija je primenjena korišćenjem relativnih vrednosti amplitude i nagiba reakcije.

F. 7-26. Normalizacija: $X_{\text{norm}alizovano} = \frac{X - \min(X)}{\max(X) - \min(X)}$

- Binovanje
  Pod binovanjem se podrazumeva grupisanje kontinualnih numeričkih vrednosti na diskretne binove odnosno kategorije. Na primer, opseg godina starosti može se binovati na opsege: <30, 30-60, >60, tako da obeležje dobija vrednost 1 u odgovarajućem binu, dok dobija vrednost 0 u binu koji mu ne pripada.
- Kodiranje kategorijskih vrednosti
  Pod kodiranjem kategorijskih vrednosti podrazumeva se dodela brojčane vrednosti kategorijskim obeležjima kao što su npr. dani u nedelji ili boje. Pošto kategorijske vrednosti nisu primenljive kod ML klasifikatora, neophodno je prevesti ih u brojčanu vrednost koja je razumljiva ML klasifikatorima. Tako se dani u nedelji mogu kodirati brojevima od 1-7 i slično.
- Inženjering obeležja (feature engineering)
  Pod inženjeringom obeležja podrazumeva se kreiranje novih, ili transformacija postojećih obeležja, da bi se algoritmu pružile dodatne informacije i omogućilo postizanje bolje klasifikacione metrike. Primer ovog inženjeringa mogao bi da bude dodavanje novog obeležja godine starosti na osnovu postojećeg obeležja datum rođenja. U slučaju dodavanja obeležja godine starosti, ML algoritam bi možda mogao da ostvari bolje performanse.
- Selekcija obeležja i redukcija dimenzionalnosti
  Pod ovim procesom podrazumeva se sortiranje obeležja dataseta po značaju u odnosu na ishod klasifikacije. Cilj sortiranja je odabir najvažnijih obeležja sa ciljem redukcije dimenzionalnosti i ubrzanja algoritma, kao i smanjenja zahteva za računarskim resursima.

  Pored ovoga, utvrđivanje važnosti obeležja može da ima i analitičku ulogu u smislu određivanja obeležja koja najviše utiču na određeni ishod klasifikacije. Tako je utvrđivanjem važnosti obeležja moguće utvrditi koji od parametara EDR najviše utiče na detekciju prepoznavanja slajda.

Pored nabrojanih metoda, jedan od glavnih ciljeva disertacije je prikaz i testiranje novog algoritma za preprocesiranje CIT skupova podataka koji se bazira na specifičnom sortiranju obeležja koji omogućava ML algoritmima da lakše uspostave vezu između supervizovanih vrednosti i vektora obeležja. Ovaj algoritam detaljno je objašnjen u poglavlju 8.5 Algoritam za preprocesiranje CIT datasetova.

7.3.5 Treniranje i testiranje

Treniranje ML algoritma je proces tokom kojeg se algoritmu predstavljaju podaci iz skupa podataka. Za vreme ovog procesa algoritam uči unutrašnju strukturu podataka i odnose između obeležja, odnosno gradi model podataka. Po završenom učenju, ML algoritam je u stanju da, uz pomoć modela, da različite vrste predikcija vezanih za naučeni skup podataka.

Često je cilj ML učenja da na limitiranom uzorku podataka izgradi znanje o strukturi šireg skupa, a da zatim, pod pretpostavkom generalizacije tog znanja, da predviđanja

i za podatke van uzorka. Ukoliko bi se trening sproveo na nedovoljno velikom uzorku koji ne pokriva sve mogućnosti šireg skupa, moglo bi da dođe do pojave koja je poznata kao overfitting (preveliko prilagođenje). Pod ovim terminom podrazumeva se da je algoritam, tokom treninga, izgradio model koji je baziran samo na maloj grupi podataka iz uzorka kojima nisu pokriveni brojni slučajevi iz realnog sveta, zbog čega je došlo do prevelikog prilagođenja (overfitting-a) samo jednoj grupi podataka. U tom slučaju, moglo bi da dođe do pogrešnog predviđanja, ukoliko bi se od modela tražilo predviđanje za podatke iz realnog sveta sa kojima se model nije susreo.

Tokom ispitivanja rada ML algoritama često se koriste skupovi podataka malih dimenzija zbog čega je potrebno iste podatke koristiti i za trening i za testiranje algoritama. Ako bi se testiranje podataka sprovelo nad istim podacima nad kojima je i treniran, očigledno je da bi moglo da dođe do pojave overfitting-a. Da bi se izbegao overfitting, koriste se različite vrste krosvalidacije, od kojih su najpoznatije:

- Ostavi jedan red - unakrsna provera (Leave-one-out cross-validation - LOO)
  Kada su u pitanju jako mali skupovi podataka, kao što je slučaj u ovoj disertaciji, LOO krosvalidacija je najpogodnija za primenu. LOO podrazumeva da se treniranje i testiranje ponove onoliko puta koliko ima elemenata skupa podataka (n elemenata), tako da se uvek testira po jedan element skupa, dok se trening uvek vrši na preostalim elementima (n-1 element). Ciklus treniranja i testiranja se ponavlja dok se ne istestiraju svi elementi skupa. LOO krosvalidacija je vrlo zahtevna u smislu računarskih resursa ali daje odlične rezultate prilikom procene klasifikacionih performansi.
- K-fold unakrsna provera (k-fold cross-validation)
  - Pod k-fold unakrsnom proverom podrazumeva se podela skupa podataka na k podskupova.
  - Trening se vrši k puta tako da se k-1 podskup koristi za trening, dok se jedan preostali podskup koristi za testiranje.
  - Klasifikaciona metrika se izračunava za svaki podskup, dok se ukupna metrika najčešće računa kao prosečna vrednost metrika svakog podskupa.
- Stratifikovana k-fold unakrsna provera
  Za razliku od prethodno opisane k-fold krosvalidacije, stratifikovana krosvalidacija vodi računa da u svakom podskupu bude podjednaka distribucija klasa kao u osnovnom skupu podataka.

7.3.6 Analiza važnosti obeležja

Kao rezultat analize važnosti obeležja dobijaju se vrednosti koje ukazuju na stepen doprinosa svakog obeležja ukupnom prediktivnom učinku modela. Iako se analiza važnosti obeležja može vršiti korišćenjem različitih modela, kao što su linearna regresija, logistička regresija, i drugo, u ovoj disertaciji korišćen je model slučajne šume.

Model slučajne šume, kao rezultat analize važnosti obeležja, daje normalizovane vrednosti stepena važnosti za svako obeležje. Drugim rečima, zbir svih stepena važnosti uvek je 1. Što je veći stepen važnosti, to je veći uticaj obeležja na predikciju modela.

Ovu analizu korisno je sprovesti nad ispitivanim modelima kako bi se utvrdilo koja je veličina doprinosa svakog od obeležja u ukupnoj prediktivnoj vrednosti modela.

Algoritam slučajne šume baziran je na ansamblu stabala odlučivanja koja zajednički donose odluku o klasifikaciji. Značaj jednog obeležja se može odrediti tako što se za svako drvo ansambla izračuna koliko jedno obeležje doprinosi smanjenu greške (odnosno Ginijeve nečistoće). Na osnovu doprinosa greški obeležja u svakom drvetu, utvrđuje se ukupan značaj na nivou šume.

8 Interaktivni test skrivenih informacija

8.1 Pregled razvoja metode interaktivnog CIT-a

Ideja o interaktivnom prikazu slajdova u testu skrivenih informacija prvi put je predstavljena u patentnoj prijavi 2012. godine [156]. Ta metoda je zatim usavršena i prikazana u patentu iz 2015. godine [158]. Razni aspekti ove metode u pogledu psihofiziologije i kriminalističke istrage razmotreni su u radu objavljenim u časopisu Bezbednost 2016. godine [157]. Metoda je inicijalno nazvana adaptivna stimulacija, ali je zatim usavršena i prilagođena klasifikaciji uz pomoć mašinskog učenja, te je algoritam kojim se vrši prikaz slajdova nazvan algoritmom za interaktivnu selekciju slajdova (Interactive Slide Selection algorithm – ISS), a metod testiranja nazvan je interaktivnim testom skrivenih informacija (Interactive Concealed Information Test – iCIT). Primena ISS-a u CIT-u uz ML klasifikaciju prvi put je objavljena 2023. godine u časopisu Physiological Measurement [160].

Najznačajnije unapređenje u klasifikacionoj metrici doneo je princip uslovljavanja na istinit sadržaj (Conditioning to True Content – CtTC), kojim se, po prvi put u fiziološkom testiranju, primenjuje novi nervni put koji povezuje vizuelne/auditivne ulaze sa apstraktnom reprezentacijom istine (CS) i autonomnim centrima u mozgu, posle kojih signal ide simpatičkim eferentima do efektora elektrodermalnog odgovora (CR) u koži ispitanika. Ovaj princip testiranja objavljen je 2024. godine u časopisu International Journal of Psychophysiology [159].

8.2 Problemi sCIT-a koje rešava iCIT

Standardni CIT (sCIT) dizajniran je tako da ispitaniku prezentuje predefinisanu sekvencu slajdova. Osnovna ideja sCIT-a je da veći broj i veće amplitude reakcija na relevantnim slajdovima u odnosu alternativne slajdove, povećavaju šansu da je ispitanik učestvovao u ispitivanom događaju. U idealnom slučaju, bilo bi teško objasniti da nevin ispitanik reaguje na sve relevantne slajdove, a da ne reaguje na alternativne slajdove, kojih uglavnom ima 3-5 puta više. Naravno, pod uslovom da su elementi dela koji se ispituju bili sakriveni od javnosti, tako da bi ispitanik mogao da ih ima u memoriji samo ako je učestvovao u izvršenju dela.

Druga važna premisa sCIT-a je da se između slajdova, čiji prikaz obično traje oko 5s [45], umeće interstimulusni interval (ISI) u trajanju od 8-60s [40]. Poznato je iz prethodnih istraživanja [40] da duži ISI dovode do većih EDR-ova, međutim, problem je u tome što se u takvim slučajevima OR reakcija javlja, ne samo na sadržaj slajda, već i na samu tranziciju između ISI-a i slajda. Trenutak kada se, posle ISI-a (uglavnom prazan ekran sa crnom pozadinom), pojavi slika, aktivira se OR koji dovodi do EDR-a. Posle inicijacije EDR-a zbog ISI-slajd tranzicije, dalji tok EDR-a zavisi od brojnih nepredvidivih faktora. Drugim rečima, ako je sam sadržaj slajda u stanju da podigne nivo arauzala, doći će do superponiranja novog EDR-a koji se javlja kao reakcija na sadržaj slajda. Ovo znači da će inicijalni EDR, nastao kao posledica tranzicije ISI-slajd, biti produžen novim EDR-om koji se javlja kao posledica prepoznavanja sadržaja na ekranu. U takvim slučajevima vrlo je teško razumeti da li EDR postiže svoju maksimalnu amplitudu zbog ISI-slajd tranzicije ili zbog sadržaja slajda.

Ideja za primenu ISI-a potiče još iz vremena odd ball paradigme sa zvučnom stimulacijom, kada su zvučni stimulusi morali biti odvojeni ISI-jem. Ova ideja nastavila se i sa prikazom slajdova, kada su ISI korišćeni kako bi se u potpunosti odvojile reakcije koje potiču od dva susedna slajda, i kako bi se EDR-u dalo dovoljno vremena da otpočne i završi se. Ideja sa primenom ISI-a morala je da bude primenjena s obzirom na to da u tom trenutku još uvek nije postojala ideja o interaktivnoj prezentaciji slajdova koja bi vodila računa o tome kada EDA raste ili pada i kada je najpovoljniji trenutak za prikaz novog relevantnog slajda.

Lim et al. [119, 118] predstavili su rešenje za separaciju superponiranih SCR-ova u slučaju kratkih ISI-a. U pitanju je matematičko rešenje čija je ideja razdvajanje pojedinačnih SCR-ova koji zajedno učestvuju u formiranju jednog većeg SCR-a. Treba imati u vidu da, iako je procedura koja matematički razdvaja superponirane SCR-ove izuzetno korisna, ona i dalje ne pomaže u razjašnjenju porekla SCR-ova koji mogu da nastanu kao rezultat OR iz spoljnog sveta, kao rezultat misaonog procesa ili kao posledica nekog drugog nespecifičnog razloga (NS.SCR).

Ako se posmatra jedan irelevantan slajd, na kojem se u idealnom slučaju ne očekuje bilo kakva reakcija, moguće je da dođe do pojave prvog SCR kao posledice ISI-slajd tranzicije, a da zatim dođe do superponiranja novog NS.SCR iz različitih razloga. Ova situacija potencijalno dovodi do EDR-a dovoljno velikog da bude tretiran kao reakcija prepoznavanja, a da je njeno poreklo u stvari ISI-slajd tranzicija, i možda još superponirani NS.SCR.

sCIT obično prikazuje 3-5 irelevantnih slajdova pre prikaza relevantnog slajda. Irelevantni slajdovi imaju za cilj da habituiraju ispitanika, ali i da se koriste za upoređivanje rezultata sa relevantnim slajdovima. Međutim, kada je reč o habituaciji ispitanika, sigurno je da dolazi do umerene habituacije na sadržaj slajdova koji pripadaju jednom pitanju. Čini se da u dostupnoj literaturi nema studija koje bi potvrdile stepen habituacije na tranziciju ISI-slajd, kao i uspešnost habituacije na sadržaj slajdova koji pripadaju jednom pitanju.

Da bi se ovi problemi razrešili, dizajniran je algoritam za interaktivnu selekciju slajdova (ISS algoritam) i interaktivni test skrivenih informacija (iCIT).

8.3 Algoritam za interaktivnu selekciju slajdova

Iz ranijih radova poznato je da kraći ISI izazivanju manje, a duži ISI veće EDR-ove [40]. Eksperimentima sa prikazom slajdova i snimanjem EDA, uočeno je [160] da potpuno ukidanje ISI-a i prikaz slajdova u trajanju od samo 0.5-2s dovodi do vrlo brze habituacije na tranzicije između slajdova, te da posle kratkog vremena, EDR-ovi koji nastaju kao posledica same tranzicije prestaju da se pojavljuju.

Osnovna ideja algoritma za interaktivnu selekciju slajdova (ISS – Interactive Slide Selection) je da brzim prikazom velikog broja irelevantnih slajdova bez primene ISI-a, ostvari habituaciju na tranziciju između slajdova, ali i na sadržaj samih slajdova. Kako bi se ostvario ovakav prikaz slajdova dizajniran je ISS algoritam (Slika 25).

Tokom prikaza slajdova, ISS algoritam koristi sledeće tipove slajdova:

1. Intro slajd
   Intro slajd ima za cilj da postavi pitanje ispitaniku i time definiše kontekst u kojem će ispitanik reagovati na slajdove. Kontekst je veoma važan jer usmerava pažnju ispitanika tačno ka određenim okidačima. Različito intro pitanje može da bude razlog za prisustvo ili odsustvo SCR-a na identičnom relevantnom slajdu. Na

primer, ako se kod ispitanika proverava da li je sudar automobila nastao zato što je vuk pretrčao preko puta, tada bi ispitanik koji je zaista doživeo nesreću zbog pretrčavanja vuka, odreagovao na relevantan slajd na kojem piše „Vuk“ u slučaju da na intro slajdu piše „Koja životinja je pretrčala put pre nesreće?“, ali ne bi odreagovao na isti relevantan slajd ako bi intro slajd glasio „Kako se zove vaš najbolji prijatelj?“ Intro slajd najčešće traje 5-10s i prikazuje se kao prvi u nizu slajdova.

2. Irelevantni slajdovi (I)
   Irelevantni slajdovi služe da izvrše habituaciju na sadržaj relevantnog slajda. Ako je relevantan slajd obijen sef u banci, tada su irelevantni slajdovi razni sefovi koji nisu previše slični relevantnom slajdu, odnosno sefovi koje ispitanik može jasno da razlikuje od relevantnog. Prilikom prikaza, irelevantni slajdovi se biraju metodom slučajnog izbora, što znači da se tokom testiranja mogu ponoviti.

3. Kontrolni slajd (C)
   Kontrolni slajd se bira metodom slučajnog izbora iz grupe irelevantnih slajdova na početku testiranja. Njegova funkcija je testiranje reakcije ispitanika na slajdu sa irelevantnim sadržajem koji je prikazan pod istim psihofiziološkim okolnostima kao i relevantan slajd. Slajd koji je izabran da bude kontrolni, prestaje da služi kao irelevantan slajd. Jedina funkcija kontrolnog slajda je da se izvrši komparacija SCR amplituda između relevantnog i kontrolnog slajda. Ovde je važno naglasiti da ni ispitanik ni operator ne znaju koji od irelevantnih slajdova je izabran za kontrolni, te nije moguće zloupotrebiti znanje o kontrolnom slajdu za kontramere. Izuzetno, u naučne svrhe, moguće je postaviti tačno određeni kontrolni slajd kako bi ispitivači bili sigurni da izgled kontrolnog slajda nije u stanju da izazove reakciju kod ispitanika.

4. Relevantan slajd (R)
   Relevantan slajd sadrži sliku ili reč koja predstavlja element dela koji se ispituje. Relevantan slajd se prikazuje kada algoritam proceni da je ispitanik habituiran na tranziciju slajdova i na njihov sadržaj pa bi eventualna reakcija na ovom slajdu mogla da bude samo rezultat prepoznavanja sadržaja slajda.

Pre objašnjenja algoritma potrebno je definisati termine koji su važni za izvršenje algoritma (Slika 24):

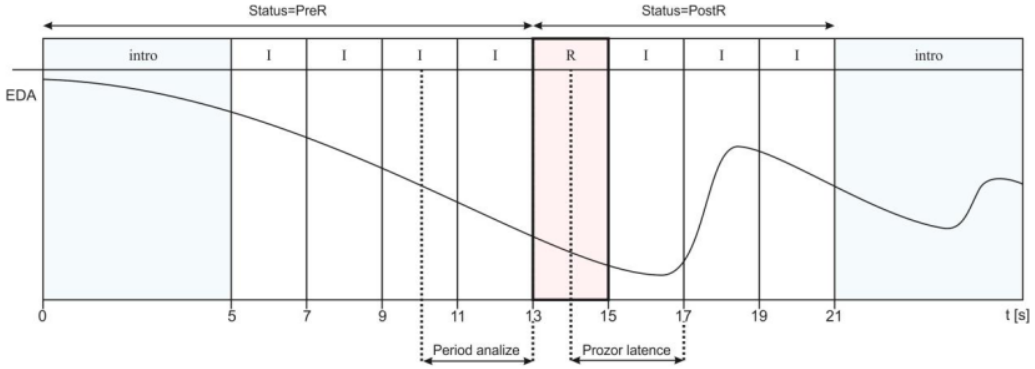
- Period analize
  Period analize predstavlja period od 3s neposredno pre prikaza novog slajda, tokom kojeg algoritam utvrđuje da li je bilo SCR-ova ili je prisutan jedino trend relaksacije. Pre prikaza svakog slajda analizira se EDA u ovom periodu kako bi se, na osnovu ponašanja EDA, donela odluka o izboru sledećeg slajda.

- Period latence
  Period latence predstavlja vremenski okvir u trajanju od 3s, koji počinje 1s posle prikaza relevantnog slajda i završava se 4s od trenutka prikaza relevantnog/kontrolnog slajda. Ovo je period tokom kojeg je moguće očekivati stimulus specifične SCR-ove (SS.SCR)

definisati njihov status imajući u vidu da je njihova uloga u ova dva slučaja različita. Uloga irelevantnih slajdova pre relevantnog slajda je da habituiraju ispitanika na tranziciju i sadržaj relevantnog slajda, dok je uloga irelevantnih slajdova posle relevantnog slajda da skrenu pažnju ispitanika sa relevantnog slajda.

Algoritam funkcioniše (Slika 24, Slika 25) tako što se ispitaniku prvo prikaže intro slajd kojim se postavlja pitanje, odnosno kontekst ispitivanja. Kao što se vidi sa slike algoritma, sve vreme se sa ispitanika snima EDA i odlučuje koji je sledeći slajd koji treba prikazati. Prvo se proverava da li je u tom trenutku već prikazan relevantan/kontrolni slajd ili ne. Ako nije, tada algoritam koristi levu granu i status slajda PreR.

Algoritam prvo proverava da li je prikazano 4 ili više irelevantnih slajdova i ako nije zaključuje da habituacija na sadržaj još nije izvršena, te odlučuje da ponovo prikaže irelevantan slajd. Ukoliko je prikazano 4 ili više irelevantnih slajdova, algoritam nastavlja sa prikazom irelevantnih slajdova sve dok ne detektuje trend pada EDA (relaksaciju) tokom perioda analize, odnosno u trajanju od najmanje 3s. Ispitanici koji nisu dovoljno relaksirani ili habituirani na tranziciju ili sadržaj slajdova, nastaviće da generišu rast EDA, što znači da će algoritam nastaviti sa prikazom irelevantnih slajdova. Onog trenutka kada algoritam prepozna kontinualnu relaksaciju u periodu analize (3s), zaključuje se da je ispitanik habituiran i da se može prikazati relevantan slajd. Slika 24 prikazuje upravo ovu situaciju.

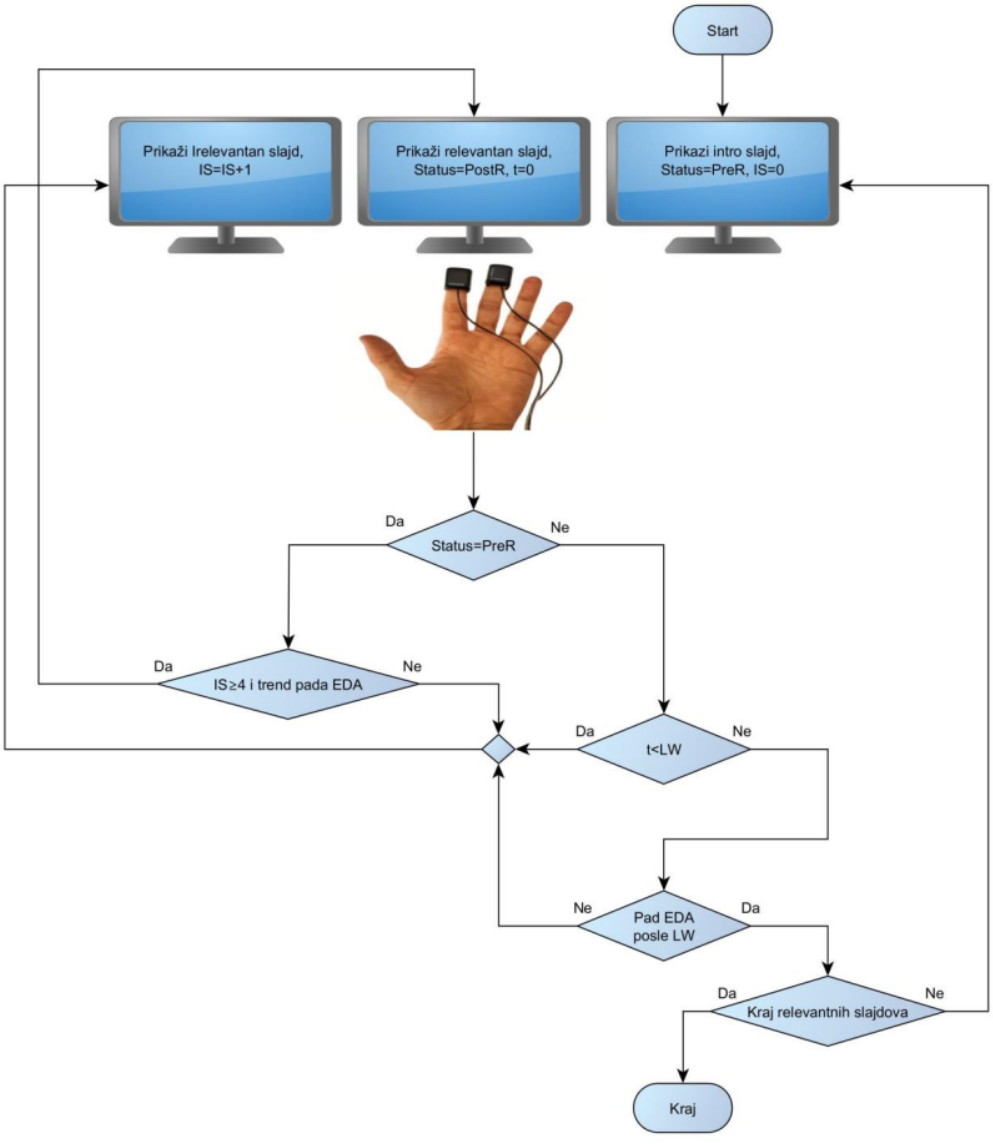


Slika 24. Sekvenca slajdova kod ISS algoritma

Po prikazu relevantnog slajda, Status dobija vrednost PostR, a algoritam nastavlja sa prikazom irelevantnih slajdova (desna grana algoritma, Slika 25). Irelevantni slajdovi u PostR periodu imaju za cilj da skrenu pažnju ispitanika sa relevantnog slajda. Skretanje pažnje, ISS vrši prikazom irelevantnih slajdova iz istog konteksta i time pokuša da prevenira lažno pozitivne SCR-ove. Po prikazu relevantnog slajda, kod iCIT-a, nastavlja se sa prikazom irelevantnih slajdova najmanje još 4s od trenutka prikaza relevantnog slada, odnosno do isteka perioda latence. Logika koja stoji iza ovog koraka je da, po prikazu relevantnog slajda, ispitanik treba da nastavi da gleda irelevantne slajdove iz istog konteksta. Na ovaj način, ispitanik koji nema znanja o elementima dela jednostavno ne primećuje bilo kakvu razliku u slajdovima pre relevantnog, samog relevantnog slajda i slajdova posle relevantnog slajda. Na taj način, ispitaniku koji nema znanja o elementima dela, svi slajdovi deluju slično, što znači da mu se ne daje bilo kakav povod da bi mogao da reaguje. U slučaju ispitanika sa znanjem elemenata dela, relevantan slajd se prikazuje kratko, i odmah

se nastavlja sa skretanjem pažnje. Ovaj kratkotrajni prikaz slajda dovoljan je da generiše SCR.

Za razliku od iCIT-a, standardni CIT (sCIT), posle prikaza relevantnog, kontrolnog ili irelevantnog slajda u trajanju od 5s, prikazuje ISI u trajanju od preko 10s, što znači da se ispitaniku daje previše vremena da razmišlja o raznim temama, te bi tok misli kod ispitanika mogao da bude potpuno neizvestan. To znači da bi u tom periodu, zbog razmišljanja o težini situacije u kojoj se ispitanik nalazi i potencijalnim opasnostima, moglo da dođe do razvoja novih SCR-ova. Na ovaj način sCIT može da generiše više lažno negativnih SCR-ova za razliku od iCIT-a gde se ova pojava prevenira kratkotrajnim prikazom relevantnog slajda i skretanjem pažnje irelevantnim slajdovima.

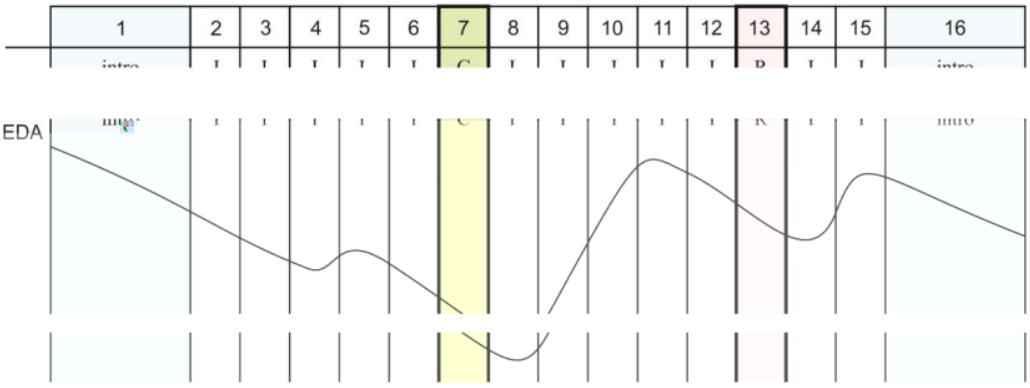


Slika 25. Algoritam za interaktivnu selekciju slajdova

Ukoliko se do isteka perioda latence, odnosno do isteka 4s od trenutka prikaza relevantnog slajda javi SCR i EDA počne da raste, algoritam nastavlja da prikazuje irelevantne slajdove sve do trenutka kada SCR dostigne svoj maksimum i počne da pada. Ideja da se irelevantni slajdovi prikazuju dok god traje SCR, leži u potrebi da se ni na koji način ne promeni tok prikaza slajdova za sve vreme trajanja SCR-a. Na ovaj način se obezbeđuje da se SCR isprati od početka do kraja bez ometanja. Ukoliko bi se sa prikazom irelevantnih slajdova prestalo pre završetka SCR-a, sama promena toka prikaza slajdova, mogla bi da bude okidač novog NS.SCR-a.

8.3.1 Primena kontrolnih slajdova

Slika 26 daje prikaz primene kontrolnog slajda. Ideja kontrolnog slajda je komparacija SCR parametara sa relevantnim slajdom. Primena kontrolnog slada kod iCIT nije neophodna, odnosno kontrolni slajd se može primeniti samo ako je potrebno testiranje reakcije ispitanika na irelevantnim slajdovima. Kontrolni slajd se može koristiti i ako je, zbog potreba klasifikacije, potrebno stvoriti dataset sa izbalansiranim klasama, s obzirom na to da bez kontrolnog slajda, u određenim tipovima eksperimentalnog dizajna (9.1 Metodologija ispitivanja razlike između sCIT-a i iCIT-a), nije moguće imati negativne klasifikacione opcije, odnosno lažno pozitivne (FP-False Positive) ili istinito negativne (TN-True Negative) reakcije.



Slika 26. Sekvenca slajdova kod ISS algoritma sa primenom kontrolnog slajda

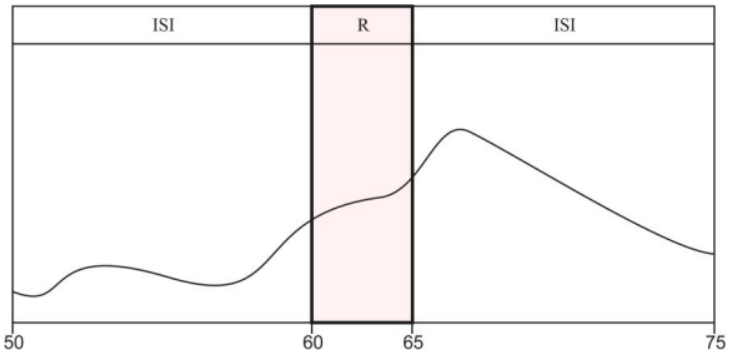
Kao što se sa slike jasno vidi, posle intro slajda otpočinje prikaz irelevantnih slajdova. Za vreme njihovog prikaza algoritam pokušava da detektuje 3s kontinuiranog silaznog trenda EDA kako bi mogao da zaključi da je ispitanik ušao u fazu relaksacije i da je habituacija postignuta. Ovaj trenutak detektuje se tek u 15s snimka, i upravo to je trenutak kada ISS bira kontrolni slajd za prikaz. Ukoliko je potrebno prikazati kontrolni i relevantni slajd tokom jednog pitanja, onda se kontrolni slajd uvek prikazuje pre relevantnog slajda da bi se obezbedilo da reakcija na kontrolnom slajdu potencijalno bude veća od reakcije na relevantnom slajdu. Reakcije na ranije prikazanim slajdovima imaju tendenciju da budu jače od reakcija na slajdovima prikazanim kasnije, te se samim tim obezbeđuje veća verovatnoća da ispitanik bude klasifikovan kao nevin.

Prednost iCIT-a je što princip interaktivnosti, prikaz slajdova bez ISI-a i habituacije na tranziciju i relevantni sadržaj, preveniraju lažno pozitivne SCR-ove na većini relevantnih slajdova. Kod sCIT-a dolazi do generisanja mnogo više SCR-ova, pa je

za ispravnu klasifikaciju neophodno uporediti njihove amplitude na relevantnom slajdu u odnosu na sve ostale irelevantne slajdove. Sa druge strane, kod iCIT-a veoma je mala verovatnoća da dođe do reakcije na relevantnom slajdu ako ga ispitanik ne prepozna. Samim tim, u slučaju iCIT-a nije ni potrebno koristiti kontrolne slajdove za uspešnu klasifikaciju.

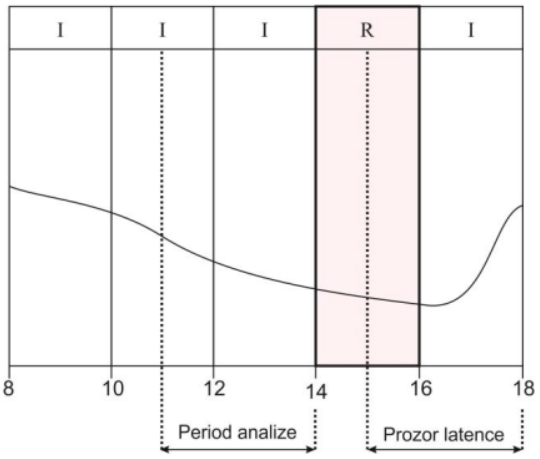
8.3.2 Prikaz relevantnog slajda tokom rastuće ivice SCR-a

Veoma važna prednost koju iCIT nudi u odnosu na sCIT je da interaktivnost prikaza slajdova sprečava klasifikaciju relevantnih slajdova kao lažno negativnih (FN – False Negative) u slučajevima kada se relevantan slajd prikaže tokom rastuće ivice EDA (Slika 27). sCIT nije u stanju da prepozna da je SCR već krenuo kada dođe red na prikaz relevantnog slajda, jednostavno zbog toga što uopšte ne uzima u obzir EDA tokom prikaza slajdova. iCIT, u ovakvoj situaciji, ne bi prikazao relevantan slajd pošto u periodu analize ne bi bilo 3s kontinualnog pada EDA, već bi jednostavno nastavio sa prikazom irelevantnih slajdova dok se ne ispune uslovi za prikaz relevantnog slajda. Na ovaj način prevenira se veliki broj lažno negativnih rezultata i unapređuju klasifikacione performanse iCIT testa.



Slika 27. Prikaz relevantnog slada tokom rastuće ivice SCR-a

Iz ovog razloga, tipičan izgled SCR-a kod iCIT-a izgleda kao na sledećoj slici (Slika 28). Zbog interaktivnosti između EDA i prikaz slajdova, nikada nije moguće da dođe do prikaza relevantnog slajda u trenutku kada je SCR već otpočeo.



Slika 28. Tipični početak SCR-a kod iCIT-a

8.3.3 Vreme testiranja

Vreme sCIT testiranja značajno je veće pošto sCIT prikazuje slajdove u trajanju od 5s posle čega sledi ISI u trajanju od 10-60s. Kod sCIT-a postoje 3-4 irelevantna slajda po relevantnom slajdu, dok je broj irelevantnih slajdova kod iCIT-a varijabilan i zavisi od ispitanika i njegovih reakcija. Najmanji broj slajdova kod idealno relaksiranih ili nereaktivnih ispitanika je 6-7 po relevantnom slajdu a nekada može da ode i do 30 i više slajdova. U svakom slučaju, vreme testiranja u publikovanom radu [160] bilo je u proseku oko 5 puta kraće kod iCIT-a u odnosu na sCIT.

8.4 Uslovljavanje na istinu i druge apstraktne koncepte

U dosadašnjem toku izlaganja obrađena je tema uslovljavanja uopšteno u poglavlju 4, dok je tema uslovljavanja kod sCIT-a obrađena u poglavlju 5.6.

Novina koju donosi ova disertacija odnosi se na uslovljavanje uz primenu potpuno novog nervnog puta koji do sada nikada nije korišćen u bilo kom psihofiziološkom testiranju. Uslovljavanje na istinit sadržaj (CtTC – Conditioning to True Content) vrši povezivanje istinitog sadržaja na ekranu (apstraktne istine) kao uslovljenog stimulusa (CS – Conditioned Stimulus) i elektrodermalne reakcije kao uslovljenog odgovora (CR – Conditioned Response). Uslovljavanje se vrši uz pomoć električnog stimulusa koji predstavlja bezuslovni stimulus (US – Unconditioned Stimulus). Uslovljavanjem se, na ovaj način, kreira asocijativna memorija između reprezentacije apstraktne istine, preko emocionalnih centara u mozgu i simpatičkih eferentnih vlakana, sve do efektora elektrodermalne reakcije u koži ispitanika.

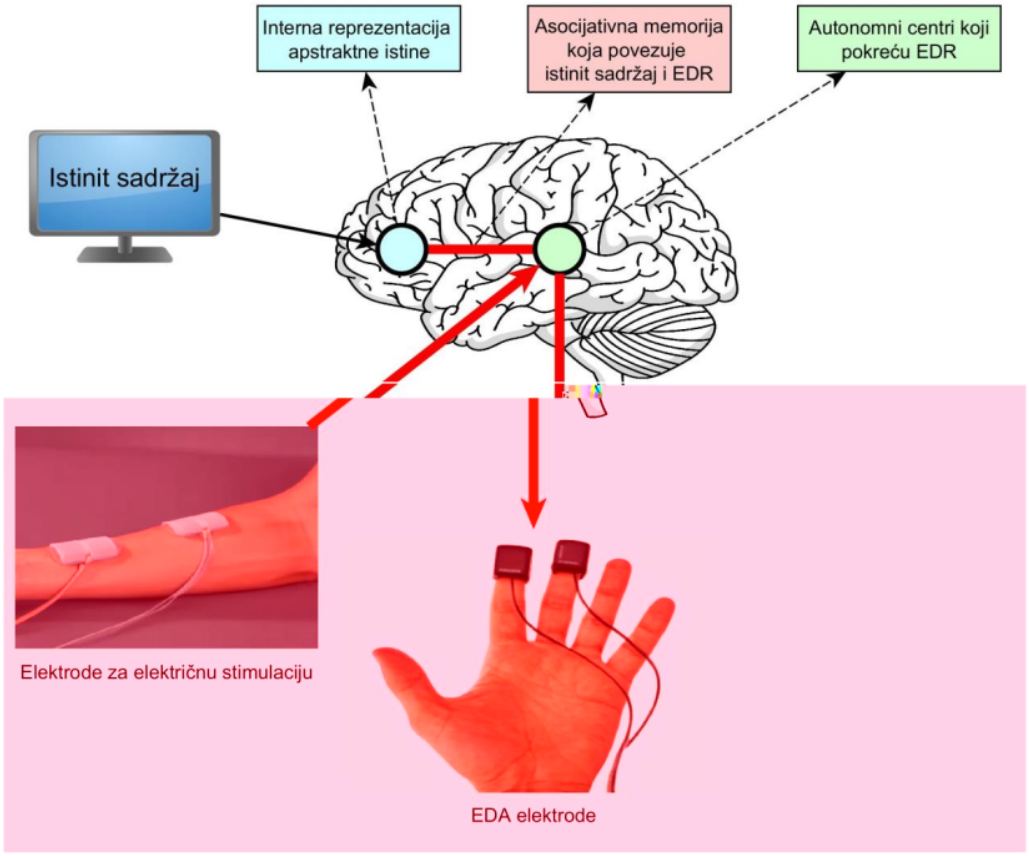
Najsličniji nervni put koji je do sada bio korišćen u klasičnom uslovljavanju primenili su Fleming et al. 1968. godine [80, 82]. Oni su primenili klasično uslovljavanje kojim su povezali istinit sadržaj na ekranu kao CS i treptaje oka kao CR koristeći mali vazdušni udar na rožnjaču oka kao US. Na ovaj način ostvarena je veza između reprezentacije apstraktne istine i treptaja oka. Jasno je da je aferentni nervni put u eksperimentima Fleminga bio isti kao aferentni nervni put primenjen u ovoj disertaciji. On uključuje vizuelni ili auditivni aferentni put, sve do centara za vizuelnu ili zvučnu obradu. Međutim, razlika je u eferentnom delu nervnog puta koji je, u slučaju Fleminga, išao od asocijativne memorije preko eferentnih vlakna facijalnog nerva povezanih sa mišićima orbicularis oculi, koji su na kraju izazivali treptaje oka i realizovali CR. U slučaju uslovljavanja primenjenog u ovoj disertaciji, eferentni nervni put ide od asocijativne memorije, preko autonomnih centara u mozgu i simpatičnih vlakana autonomnog sistema, sve do efektora u koži koji izazivaju elektrodermalnu reakciju i realizuju CR.

8.4.1 Metodologija uslovljavanja na istinit sadržaj - CtTC

Da bi se sprovelo uslovljavanje na istinit sadržaj prvo je neophodno obaviti razgovor sa ispitanikom i prikupiti podatke o njemu. Prikupljeni podaci bi trebalo da uključuju neke od istinitih informacija vezanih za ispitanika. Na primer, ime i godinu rođenja. Ove informacije mogu se koristiti tokom uslovljavanja.

Ispitivanje metodom CtTC obavlja se tako da se ispitanik prvo uslovi na istinit sadržaj (Slika 29), a da mu se nakon toga predstave pitanja na koja se odgovor traži. Uslovljavanje i testiranje se može vršiti primenom i sCIT-a i iCIT-a. U svakom slučaju, ispitaniku se prvo postavi pitanje na poznat istinit odgovor „Koje godine ste rođeni?“, a zatim se krene sa nabrajanjem godina tako da su irelevantne godine one koje ne

sadrže istinit odgovor, dok je relevantan odgovor onaj sa istinitom godinom rođenja. Prilikom prikaza slajdova sa istinitim odgovorom, posle pauze od 0.5-2s aktivira se i bezuslovni stimulus (US) koji u konkretnom primeru predstavlja električni impuls. Pored pitanja o godini rođenja, za uslovljavanje se obično primeni još jedno pitanje kao na primer „Kako se zovete?“ za koje se sprovede ista procedura kao i kod prethodnog pitanja. Proceduru uslovljavanja uglavnom je dovoljno sprovesti sa dva pitanja, mada broj pitanja za uspešno sprovođenje procedure može da zavisi od brojnih parametara kao što su na primer intenzitet US, kao i sposobnost učenja ispitanika.



Slika 29. Proces uslovljavanja na istinit sadržaj (CtTC) [84]

8.4.2 Metodologija CtTC testiranja

Posle sprovedenog uslovljavanja, započinje se sa testiranjem (Slika 30), tokom kojeg se ispitaniku prezentuju pitanja i ponuđeni odgovori. Velika razlika između CIT-a bez i sa uslovljavanjem je što u slučaju CIT-a, osnovni fiziološki razlog za okidanje EDR-a je orijentacioni refleks, dok je kod CIT-a sa CtTC-em istovremeno prisutan i orijentacioni refleks i reakcija na uslovljeni stimulus. Ukoliko je tokom testiranja potrebno postaviti više pitanja, moglo bi da dođe do pojave ekstnkcije. Ova pojava se javlja ukoliko se CS više puta prezentuje bez propratnog US-a. Ispitanik tada počinje da shvata da US ne mora da prati CS, te CR počinje da opada. Kako bi se ovo

sprečilo, potrebno je posle nekoliko testnih pitanja ponoviti uslovljavanje (reinforcement) korišćenjem nekog od pitanja na koje je istinit odgovor poznat.

Slika 30. Put reakcije na uslovljene stimuluse tokom testiranja [84]

vrednost povežu sa određenim obeležjem direktno ili indirekno, preko drugih obeležja, u predmetnom slučaju jasno je da takvu vezu nije moguće pronaći.

N°	Relativne EDR amplitude (%)			Supervizovana vrednost (klasa)
	Relevant 1	Relevant 2	Relevant 3	
1.	1	0.9	0	1
2.	0.8	0	1	1
3.	0.3	0.7	0.8	1
4.	0.1	0.3	1	0
5.	0	0.9	0.2	0
6.	1	0.3	0	0

Tabela 1. Primer CIT dataseta bez primene sorting algoritma

Međutim, povezivanjem načina na koji rade algoritmi i psihofiziološkog značenja obeležja, moglo se pretpostaviti da slajdovi mogu biti sortirani, ne prema redosledu prikaza, već prema amplitudi reakcije. Ova reorganizacija slajdova je moguća pošto u psihofiziološkom smislu redosled prikaza relevantnih slajdova nema specifičnog značaja jednostavno zbog toga što neki ispitanik može da u svojoj memoriji čuva potpuno različit relevantan sadržaj u odnosu na druge ispitanike. Postoji mogućnost da ispitanik neke slajdove prepozna, a neke ne, samo zbog toga što su slikani iz, za korisnika, prepoznatljivog ili neprepoznatljivog ugla. Ima putno razloga zbog čega je moguće da ispitanik na neke slajdove reaguje, a na neke ne, kao što ima puno razloga da na različite slajdove reaguje različitim intenzitetom. Suština CIT testa je da postigne povećanu reaktivnost na relevantnim slajdovima i smanjenu reaktivnost na irelevantnim slajdovima, bez davanja specifičnog značenja slajdovima sa određenim rednim brojem. S obzirom na to da ML algoritmi povezuju određena obeležja sa klasama, sagledavajući psihofiziološku pozadinu CIT testa, postavljena je hipoteza da će sortiranje slajdova prema amplitudi reakcije omogućiti ML algoritmima da pravilno povežu obeležja sa supervizovanim vrednostima.

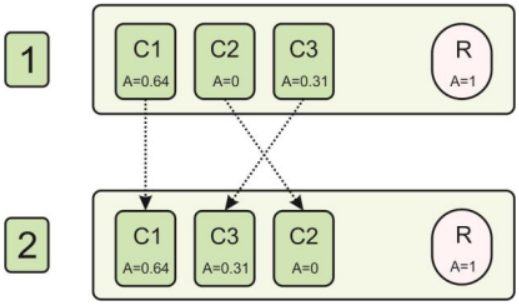
Na primer, ako se podaci iz prethodne tabele (Tabela 1) sortiraju po amplitudi reakcije, dobijaju se podaci prikazani u sledećoj tabeli (Tabela 2).

N°	Relativne EDR amplitude (%)			Supervizovana vrednost (klasa)
	EDR amplituda 3	EDR amplituda 2	EDR amplituda 1	
1.	0	0.9	1	1
2.	0	0.8	1	1
3.	0.3	0.7	0.8	1
4.	0.1	0.3	1	0
5.	0	0.2	0.9	0
6.	0	0.3	1	0

Tabela 2. Primer CIT dataseta sa primenjenim sorting algoritmom

Analizom podataka (Tabela 2), može se pronaći obeležje (EDR amplituda 2) koje ima jasnu granicu (obeleženu crvenom linijom) između klasa 1 (kriv) i 0 (nevin). Iako je ovo pojednostavljen primer koji prikazuje samo relevantne slajdove, slična pojava se dešava i u komplikovanijim slučajevima koji uključuju i irelevantne slajdove, kao i veći broj relevantnih slajdova. Iz ovog razloga, pojedina obeležja dobijaju veći značaj u klasifikaciji, što se može videti u poglavlju 10.2.3 Važnost obeležja.

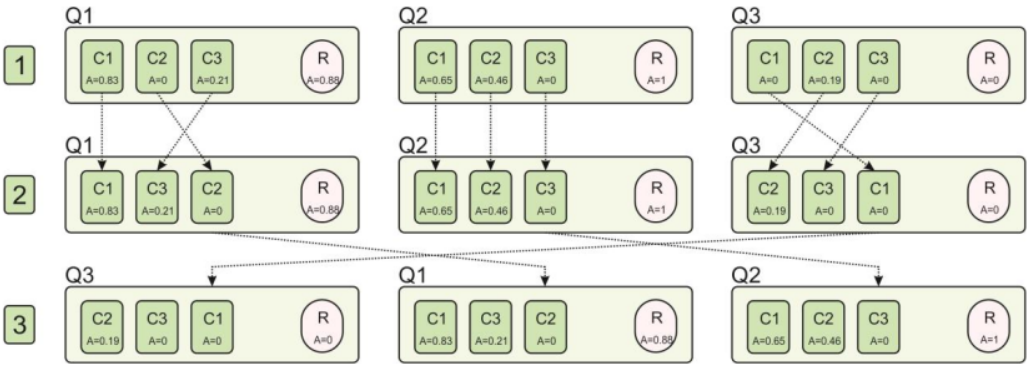
Na osnovu svega navedenog, došlo se na ideju da se napravi CIT-dataset sorting algoritam čiji je princip funkcionisanja predstavljen na sledećim slikama (Slika 31, Slika 32).



Slika 31. CIT-dataset sorting algoritam za klasifikaciju pitanja

CIT-dataset sorting algoritam se sastoji iz sledećih koraka:

1. Na početku, algoritam dobija dataset u izvornom obliku, odnosno sa redosledom slajdova koji korespondira redosledu njihovog prikazivanja.
2. U koraku 2 potrebno je izvršiti sortiranje svih irelevantnih slajdova unutar svakog pitanja po padajućoj amplitudi (Slika 31).
3. U koraku 3 vrši se sortiranje pitanja po rastućoj vrednosti amplitude relevantnog slajda.



Slika 32. CIT-dataset sorting algoritam za klasifikaciju učesnika

Kao posledica ovakvog sortiranja dobija se dataset kod kojeg se pitanja sa najvećim reakcijama nalaze u desnim kolonama dataseta, dok se pitanja sa malim amplitudama reakcije na relevantnom slajdu nalaze u kolonama bližim levoj strani. Unutar svakog pitanja, irelevantni slajdovi sortirani su obrnuto u odnosu na relevantne, odnosno kolone sa irelevantnim slajdovima sa nižom amplitudom nalaze se bliže relevantnim slajdovima (odnosno u desnijim kolonama), dok se irelevantni slajdovi sa višom amplitudom nalaze u kolonama daljim od kolone sa relevantnim slajdom.

Testiranje rada algoritma na CIT datasetu [159] potvrdilo je značajno unapređenje klasifikacione metrike posle njegove primene, pri čemu su rezultati McNemar-ovog testa imali nivo statističke značajnosti.

8.6 Otpornost na kontramere

Na osnovu dosadašnjih istraživanja, dobro je poznato da kontramere mogu bitno da utiču na rezultate sCIT testa. Njihova primena, obrađena je u poglavlju 5.8 Kontramere.

Jedna od hipotetičkih prednost iCIT-a u odnosu na sCIT je u potencijalnoj mogućnosti sprečavanju primene kontramera. Ova mogućnost do sada nije ispitana ali, u teorijskom smislu, čini se da sama metodologija iCIT-a u potpunosti onemogućava primenu kontramera koje se tiču izazivanja lažnih reakcija na kontrolnim slajdovima. Ovakva vrsta kontramera mogla bi da dovede do lažno negativnih rezultata (npr. pogrešnog oslobođenja ispitanika od sumnji). Čini se, takođe, da iCIT nije otporan na kontramere koje se tiču primene psihoaktivnih supstanci, koje bi mogle da utiču na značajno smanjenje reaktivnosti ispitanika. Međutim, primena ovakve vrste kontramera ne bi dovela do lažno negativnog rezultata, već bi mogla da dovede do zaključka da ispitanik nije reaktivan i da je nemoguće sprovesti validno ispitivanje.

U slučaju primene kontramera koje se svode na izazivanje lažno pozitivnih reakcija na kontrolnom slajdu, što uzrokuje lažno negativnu klasifikaciju ispitanika, ideja se svodi na voljno izazivanje bola (npr. ugriz za jezik) ili na pomisao na stresan događaj, koji je takođe u stanju da izazove reakciju. Jedna od mogućnosti je i pritisak na elektrodu za snimanje EDA što bi moglo da dovede do povećanja provodljivosti, odnosno da simulira reakciju. Treba imati u vidu da, kod kontramere sa pritiskom na elektrodu, postoji uočljiva razlika u EDA signalu između reakcije dobijene pritiskom i prave EDR. Ova razlika se može uočiti u samom EDA signalu, ali i u spektralnoj analizi EDA signala.

U pogledu onemogućavanja izaziva lažnih reakcija, iCIT funkcioniše na sledeći način:

1. iCIT ne mora da ima kontrolne slajdove koji se koriste za upoređivanje EDR amplituda. Drugim rečima, ispitanik, i da želi da izazove reakciju na irelevantnom slajdu, ona ne bi proizvela nikakav efekat, pošto se kod iCIT-a irelevantni slajdovi ne koriste za upoređivanje reakcija.
2. iCIT može da koristi kontrolni slajd za upoređivanje reakcija (8.3.1 Primena kontrolnih slajdova). Međutim, u tom slučaju kontrolni slajd se bira iz grupe irelevantnih slajdova metodom slučajnog izbora, te ni ispitanik niti ispitivač ne mogu da znaju koji irelevantan slajd je izabran za kontrolni slajd. Samim tim, ispitanik čak i da pokuša da izazove lažnu reakciju, ne bi znao na kom slajdu da je primeni.
3. Ukoliko bi ispitanik pokušao da izazove lažnu reakciju nasumično, na bilo kom irelevantnom slajdu, to bi dovelo do rasta EDA, što bi samo odložilo prikaz relevantnog slajda. Drugim rečima, izazivanje lažne reakcije moglo bi samo da dovede do produženja snimanja, ali ne i do lažnog rezultata.

Pokušaji izazivanja lažno pozitivnih reakcija na kontrolnim slajdovima su česti pošto predstavljaju način da ispitanih dobije lažno negativan rezultat testiranja (ispitanik je kriv, a rezultat testa kaže da je ispitanik “nevin”). Kontramere kojima bi ispitanik pokušao da dođe do lažno pozitivnog ishoda testiranja (ispitanik je nevin a rezultat testa kaže da je „kriv“) su veoma retke. Međutim, važno je naglasiti da ni sCIT, a ni iCIT u ovom slučaju ostaju nemoćni. Drugim rečima, kod oba testa, ako ispitanik

izazove lažnu reakciju na relevantnom slajdu, uređaj će detektovati EDR, što će doprineti zaključku da je ispitanik kriv. Treba imati u vidu i to da niko ne bi mogao da izazove lažnu reakciju na relevantnom slajdu ako nije u stanju da prepozna relevantan slajd, odnosno ako informacije o elementima dela nisu procurele u javnost.

9 Metodologija ispitivanja

U cilju potvrde efektivnost iCIT i CtTC metoda, sprovedene su dve studije, jedna od kojih se bavila ispitivanjem ISS algoritma, dok se druga bavila ispitivanjem efektivnosti uslovljavanja na istinit sadržaj (CtTC) i ispitivanjem CIT-dataset sorting algoritma:

1. **Studija 1** vršila je ispitivanje efektivnosti iCIT-a u odnosu na sCIT [160]. Osmišljena je sa ciljem da prezentuje novu, interaktivnu metodologiju u CIT ispitivanju, baziranu na algoritmu za interaktivnu selekciju slajdova (ISS). U cilju potvrde efektivnosti nove metode izvršeno je ispitivanja razlike u klasifikacionoj metrici između sCIT-a i iCIT-a, pri čemu je cilj bio utvrđivanje rezultata klasifikacije prilikom prepoznavanja prethodno viđenih objekata. Metodologija ovog ispitivanja definisana je u poglavlju 9.1 Metodologija ispitivanja razlike između sCIT-a i iCIT-a.
2. **Studija 2** vršila je ispitivanje efektivnosti CtTC-a u odnosu na sCIT [159]. Dizajnirana je sa ciljem da prikaže potpuno novu metodu uslovljavanja na istinit sadržaj primenom novog nervnog puta koji do sada nikada nije korišćen u fiziološkim ispitivanjima. Da bi se dokazala efektivnost nove metode, izvršeno je ispitivanja razlike u klasifikacionoj metrici između sCIT i CtTC metodologija. Imala je za cilj da utvrdi razliku u rezultatima klasifikacije ispitanika sa mock-crime iskustvom, od kojih je polovina ispitivana sCIT-em, dok je druga polovina ispitivana CIT-em uz pomoć uslovljavanja na istinit sadržaj. Metodologija ovog istraživanja predstavljena je u poglavlju 9.2 Metodologija ispitivanja CtTC.

   Ista studija iskorišćena je sa ciljem prezentovanja novog algoritma za preprocesiranje CIT skupova podataka čija primena omogućava upotrebu različitih ML algoritama u cilju unapređenja CIT klasifikacije. Da bi se uporedile razlike u klasifikacionim performansama ML algoritama sa i bez primene CIT-dataset sorting algoritma iskorišćeni su podaci iz ove studije. Metodologija ovog istraživanja predstavljena je u poglavlju 9.2 Metodologija ispitivanja CtTC.

9.1 Metodologija ispitivanja razlike između sCIT-a i iCIT-a

Osnovna ideja studije za ispitivanje razlike u klasifikacionoj metrici između sCIT-a i iCIT-a bila je da svi ispitanici vide i upamte dva objekta, a da se zatim, jedna polovina ispitanika testira metodom sCIT, a druga polovina metodom iCIT [160].

Primenjen je dizajn studije za testiranje između subjekata (between subjects study design) sa poklapanjem ispitanika u smislu pola i starosti [97, 133, 33]. Ovaj dizajn studije podrazumeva da se svako eksperimentalno stanje (sCIT ili iCIT) testira na različitim grupama učesnika (sCIT grupa i iCIT grupa). Sa druge strane, ako bi i sCIT i iCIT bili testirani na istoj grupi učesnika (samo jedna grupa), dizajn istraživanja bi se zvao „dizajn unutar subjekata“. Glavna prednost dizajna između subjekata je izbegavanje „efekata reda“ (order effect), poznatog i kao efekat sekvence (sequence effect), ili njegovog podtipa „efekta prenošenja“ (carryover effect). U ovoj studiji, efekat reda mogao bi da stvori kontaminaciju memorije učesnika, te je iz tog razloga bilo neophodno primeniti metodologiju testiranja između subjekata.

Nakon ispitivanja jednog učesnika pomoću sCIT testa (1. test), taj učesnik obavezno vidi i relevantne i irelevantne slajdove tokom testiranja. Ako se isti učesnik kasnije

testira iCIT-em (2. test), memorija tog učesnika je već kontaminirana slajdovima koji su prethodno viđeni tokom sCIT testiranja (1. test). To znači da bi takav učesnik mogao da prepozna slajdove tokom iCIT-a (2. test) jednostavno zato što su ostali u memoriji (kontaminacija memorije) nakon sCIT testiranja (1. test). Sasvim jasno, slajdovi ne smeju biti u pamćenju nijednog učesnika tokom testiranja sCIT-em ili iCIT-em. Ovaj uslov nužno zahteva dve grupe učesnika i dizajn između subjekata.

EDA snimanje obavljeno je metodologijom opisanom u poglavlju 9.3 EDA snimanje. Posle snimanja, izvršena je analiza signala i određivanje EDR parametara, na osnovu kojih je sprovedena klasifikacija korišćenjem EDR klasifikacije, A-klasifikacije i ML klasifikacije (9.6 Metode klasifikacije).

9.1.1 Kalkulacija veličine uzorka

Osnovni cilj istraživanja bio je utvrđivanje razlike u klasifikaciji pojedinačnih slajdova na bazi EDR amplituda. Na osnovu preliminarnih istraživanja utvrđeno je da, kod sličnih eksperimenata, postoji veličina efekta ($OR_{veličina\_efekta}$) u klasifikaciji u iznosu od aproksimativno 2.33. Broj ispitanika za primenjeni dizajn eksperimenta koji je neophodan za postizanje statističke snage $1-\beta = 0.80$ za dvostrani Fisher-ov egzaktni test na nivou $\alpha = 0.05$ greške tipa 1, iznosio je 29 učesnika po grupi, odnosno 58 učesnika ukupno.

9.1.2 Grupe i učesnici

U studiji je učestvovalo 64 ispitanika koji su, metodom slučajnog izbora, bili podeljene na dve jednake grupe (sCIT grupa i iCIT grupa), vodeći računa o starosnom i polnom paritetu. Svi ispitanici bili su zdravi, starosti 20-65 godina. Svaka grupa imala je po 16 muških i 16 ženskih ispitanika. Srednja starost u sCIT grupi bila je 35,75 godina, dok je medijalna starost bila 32,5 godina unutar opsega 20-65 godina Sa druge strane, u iCIT grupi, srednja starost bila je 35,69 godina, dok je medijalna starost bila 32,0, unutar opsega 19-64 godine.

9.1.3 Stimulusi

Polovina sCIT i polovina iCIT grupe imala je prilike da detaljno analizira dva objekta – žensku torbu i novčanik. Jedan dan posle analize predmeta obavljeno je snimanje i sCIT i iCIT metodom gde su kao relevantni stimulusi u obe metode korišćene slike torbe i novčanika koje su ispitanici prethodno analizirali.

Za irelevantne stimuluse u iCIT grupi korišćeno je ukupno 20 slika torbi i 20 slika novčanika prepoznatljivo drugačijih od relevantnih predmeta. Po jedna od irelevantnih slika svakog predmeta bila je odabrana kao kontrolni stimulus. Kao što je opisano u poglavlju 8.3 Algoritam za interaktivnu selekciju slajdova, kod iCIT-a irelevantni slajdovi se biraju iz grupe od oko 20 slajdova metodom slučajnog izbora i prikazuju ispitaniku sve dok se ne detektuju uslovi za prezentaciju relevantnog slajda. Ovo znači da je broj irelevantnih slajdova bio varijabilan i da je zavisio od psihofiziološkog stanja ispitanika.

U sCIT grupi, za svako pitanje korišćen je po jedan relevantan slajd (slika torbe ili novčanika), pre kojih su prezentovana po 3 irelevantna slajda i jedan kontrolni slajd. Razlika između kontrolnih i irelevantnih tipova stimulusa opisana je u poglavlju 8.3.1 Primena kontrolnih slajdova. Između slajdova primenjen je interstimulusni interval od po 20s, dok je svaki slajd, uključujući i intro slajdove, trajao po 5s. S obzirom na to da je bilo ukupno 14 slajdova, trajanje sCIT-a bilo je fiksno 330s.

9.2 Metodologija ispitivanja CtTC

Studija za ispitivanje razlike u klasifikacionoj metrici između sCIT-a i CtTC-baziranog CIT-a koncipirana je tako da jedna grupa ispitanika prođe kroz mock-crime iskustvo, a da druga grupa u svojoj memoriji nema takvo iskustvo [159]. S obzirom na to da je osnovana ideja CtTC-a da unapredi tačnost CIT metode, za testiranje je odabrana ona vrsta memorije koja ima nešto niži stepen važnosti za ispitanika od memorije stvorene standardnom mock-crime paradigmom. Osnovna ideja standardne mock-crime paradigme je da ispitanici učestvuju u insceniranom kriminalnom događaju i da, posle toga, budu ispitani nekom od metoda za analizu memorije. Kako bi ispitanici stekli memoriju nižeg stepena važnosti od one koju bi dobili insceniranim kriminalnim događajem, primenjena je ideja o testiranju namere o izvršenju dela (5.7.3 Utvrđivanje namere). Ispitivanjem namere izvršena je komparacija klasifikacione metrike metodom sCIT i CtTC.

Zbog ovoga, polovina ispitanika prošla je kroz mock-crime scenario tokom kojeg su izvršili planiranje krađe novca iz lokalnog supermarketa. Svako od ispitanika dobio je slike objekta, kao i sefa u kojem se čuva novac. Ispitanici su dobro analizirali slike i napravili plan akcije. Na ovaj način, svaki od ispitanika razvio je memoriju o nameri da nešto uradi. Kao što je opisano u poglavlju 5.7.3 Utvrđivanje namere, iz rada Meijera [128], vidi se da, iako statistički značajna razlika između ispitivanih grupa nije nađena, prosečne vrednosti reakcija rasle su počev od neinformisane grupe, preko grupe koja je samo primila informacije o delu i grupe koja je planirala izvršenje dela, sve do grupe koja je krenula u izvršenje ali ga nije okončala. Iz ovog razloga, za očekivati je da ovakva vrsta mock-crime scenarija ima nižu senzitivnost i tačnost u odnosu na standardni mock-crime scenario. Da bi se senzitivnost, a samim tim i tačnost povećala, u jednoj grupi ispitanika primenjena je metoda CtTC, dok je u drugoj grupi primenjen sCIT.

I u ovoj studiji, kao i u prethodnoj (9.1 Metodologija ispitivanja razlike između sCIT-a i iCIT-a) primenjen je dizajn studije za testiranje između subjekata (between subjects study design) sa poklapanjem ispitanika u smislu pola i starosti.

9.2.1 Kalkulacija veličine uzorka

Osnovni cilj studije bio je da prikaže efektivnost nove CtTC metode koja je u stanju da unapredi tačnost sCIT testa. Uzimajući u obzir dizajn eksperimenta i postavljen nivo statističke snage (1-β) na 0,80, kao i greške tipa 1 (α) na nivou 0.05, i očekujući veličinu efekta na bazi odnosa verovatnoća ($OR_{veličina\_efekta}$) od 3.5 (ekvivalentno Cohen-ovom d parametru na nivou 0.5) za dvostrani Fisher-ov egzaktni test, utvrđeno je da je minimalan potreban broj ispitanika 20 za svaku od 4 grupe, odnosno 80 ispitanika ukupno.

9.2.2 Grupe i ispitanici

U studiji je učestvovalo ukupno 84 zdravih ispitanika, od kojih su 42 bili deo mock-crime grupe (MC grupa), dok preostali ispitanici nisu imali bilo kakvih saznanja vezanih za mock-crime (NMC grupa). Iz svake od pomenutih grupa, 21 ispitanik je podvrgnut sCIT testiranju, dok je preostali 21 ispitanik podvrgnut CtTC testiranju.

U MC grupi bilo je 11 muškaraca i 10 žena testiranih sCIT testom, i 10 muškaraca i 11 žena testiranih CtTC testom. Identična situacija bila je i u NMC grupi. Srednja starost u sCIT grupi bila je 36,07 sa medijalnom starošću od 34 godine i opsegom od

20-52 godine. U CtTC grupi, srednja starost bila je 32,98 godina sa medijanom od 30 godina i opsegom od 20-54 godine.

9.3 EDA snimanje

Prilikom snimanja EDA signala u obe studije ispoštovane su sve preporuke koje važe za ovu vrstu snimanja [35, 34]. Primenjena je egzosomatska konfiguracija, na bazi jednosmernog naponskog generatora od 0.5V. Signal je beležen 12-bitnim A/D konverterom sa frekvencom semplovanja od 100Hz. Signal je filtriran filterom propusnikom niskih frekvencija od 35Hz. Ag/AgCl elektrode, površine 0.5cm^2, za jednokratnu upotrebu, sa primenom vlažnog 0.05 mol/dm^3 NaCl gela, bile su aplikovane na srednjem prstu i kažiprstu nedominantne ruke ispitanika.

Snimanje je obavljeno u mirnoj, klimatizovanoj prostoriji u temperaturnom opsegu od 22-24 ^{o}C, i vlažnošću vazduha u okviru 51-55% tokom studije 1, dok je tokom studije 2, temperaturni opseg bio 23-25 ^{o}C, dok je vlažnost bila 53-61%. Za vreme prikaza slajdova ispitanici su sedeli u udobnoj stolici i posmatrali slajdove na laptopu sa 17“ ekranom. Pre testiranja, ispitanicima je u potpunosti objašnjena procedura testiranja, predstavljena je sekvenca slajdova i provereno da li je svaki od slajdova jasan. Ispitanici su instruisani da ne prave bilo kakve mišićne pokrete tokom snimanja, da dišu normalno, ne uzdišu, ne pričaju, pošto bi bilo kakva mišićna aktivnost ili duboko disanje mogli da dovedu do nespecifičnih EDR-ova. Da bi se izvršila stabilizacija elektroda, ispitanicima su elektrode postavljene i EDA snimanje je započeto najmanje 10 minuta pre početka testiranja [34].

9.4 Električna stimulacija za uslovljavanje

Električni stimulator namenjen klasičnom uslovljavanju dizajniran je kao strujni generator u opsegu 0-20mA. Stimulator je koristio monofazni pravougaoni impuls u trajanju od 500ms. Pre testiranja, svaki od ispitanika je podesio intenzitet električne stimulacije tako da ne oseća bol, ali da oseća blag nivo neprijatnosti. Korišćene su standardne TENS karbon elektrode sa gelom dimenzija 5x5cm, a raspon jačine struje kretao se od 2-8mA. Elektrode su postavljene na dominantnoj podlaktici tako da je anoda postavljena distalno u odnosu na katodu.

9.5 Određivanje EDR parametara

Po okončanju svakog snimanja, softverskim putem izvršene su sledeće operacije:

1. Utvrđivanje minimuma i maksimuma svih EDR-ova
2. Utvrđivanje amplituda svih EDR-ova. Amplituda predstavlja razliku u provodljivosti između minimuma i maksimuma EDR-a izraženu u mikrosimensima (μS).
3. Utvrđivanje relativnih EDR amplituda izraženih u % u odnosu na najvišu EDR amplitudu u toku snimanja, uključujući tu i nespecifične EDR.
4. Utvrđivanje EDR nagiba (slope) koji se računa kao promena amplitude tokom inicijalnih 1s reakcije i izražava u jedinicama μS/s.
5. Izračunavanje relativnog nagiba reakcije (relative slope) iskazanog u % u odnosu na najviši EDR nagib tokom snimanja.
6. Utvrđivanje latence EDR izražene u sekundama. Latenca is izračunava kao vreme koje protekne od trenutka pojave slajda do minimuma prvog EDR-a.

7. Svi EDR-ovi sa relativnom amplitudom manjom od 1% su odstranjeni sa snimka.
8. Svi EDR-ovi sa latencom van prozora latence, odnosno svi EDR-ovi čija latenca nije u okviru 1-4s, bili su tretirani kao nespecifične reakcije (NS.EDR) i bili su odstranjeni sa snimka.
9. Svi stimulus-specifični EDR-ovi (SS.EDR) vizuelno su iskontrolisani u cilju pronalaženja artefakata, ali pošto artefakti na SS.EDR-ovima nisu pronađeni, nije došlo do bilo kakve korekcije.

9.6 Metode klasifikacije

U idealnom slučaju, trebalo bi da ispitanici iz MC grupe imaju reakcije na relevantnim slajdovima, a da ih ispitanici iz NMC grupe nemaju. U ovom slučaju, klasifikacija bi bila dosta jednostavna i ne bi tražila primenu različitih metoda unapređenja metrike. Pošto u realnoj situaciji relevantni slajdovi iz NMC grupe imaju reakcije, primenjuju se različite tehnike klasifikacije sa ciljem da unaprede krajnju klasifikacionu metriku.

Tokom ispitivanja iCIT i CtTC metode vršene su dve vrste klasifikacije:

1. Klasifikacija slajdova
   Pod klasifikacijom slajdova se podrazumeva proces utvrđivanja da li je ispitanik prepoznao relevantni slajd ili ne. Za ovu analizu upoređuju se kontrolni i relevantni slajdovi samo unutar jednog pitanja (studija 1).
2. Klasifikacija ispitanika
   Tokom klasifikacije ispitanika vrši se analiza i poređenje relevantnih i kontrolnih slajdova na svim pitanjima testa sa ciljem utvrđivanja da li ispitanik u svojoj memoriji ima dovoljno podataka na osnovu kojih se može zaključiti da je učestvovao u izvršenju dela (studija 2).

Na primer, kod ispitivanja memorijske disfunkcije značajna je individualna klasifikacija slajdova, dok je kod policijskih istraga važna klasifikacija ispitanika.

U oba slučaja klasifikacije primenjene su sledeće klasifikacione metode:

1. EDR klasifikacija (studija 1)
2. A-klasifikacija (studije 1 i 2)
3. Z-skor klasifikacija (studija 2)
4. ML klasifikacija (studije 1 i 2)

9.6.1 EDR klasifikacija

Pod EDR klasifikacijom u ovoj disertaciji podrazumeva se klasifikacija samo na osnovu prisustva ili odsustva EDR-a na relevantnom slajdu. U slučaju da reakcije ima, smatra se da je ispitanik prepoznao slajd, dok ukoliko reakcije nema, smatra se da slajd nije prepoznat.

Iako se ova vrsta klasifikacije ne primenjuje u realnom radu, njeni rezultati u eksperimentu mogu da budu od koristi, specijalno u klasifikaciji individualnih slajdova. EDR klasifikacija predstavlja najosnovniju formu klasifikacije bez primene bilo kakvih matematičkih metoda. Kod ove klasifikacije, slajd se smatra prepoznatim ako je EDR registrovan u prozoru latence, dok se slajd smatra neprepoznatim u slučaju da nije bilo EDR-a. Ova vrsta klasifikacije omogućava sagledavanje maksimalne senzitivnost metode, pošto će sve ostale klasifikacije uglavnom dovesti

do korekcije TP i FP u TN i FN rezultate, ali ne i obrnuto. To znači da će ostale klasifikacione metode dovesti do unapređenja tačnosti, tako što, u krajnjoj liniji, dolazi do povećanja specifičnosti dok za to vreme senzitivnost ili pada ili ostaje na istom nivou.

9.6.2 A-klasifikacija

U slučaju klasifikacije individualnih relevantnih slajdova, A-klasifikacija, ili amplitudska klasifikacija, svodi se na ideju da se amplituda relevantnog slajda uporedi sa amplitudom jednog ili više kontrolnih slajdova, u slučaju sCIT-a, ili samo sa jednim kontrolnim slajdom u slučaju iCIT-a. Ako relevantan slajd ima veću amplitudu od kontrolnog, smatra se prepoznatim, dok ako mu je amplituda manja nego na kontrolnom slajdu, smatra se neprepoznatim.

Kada je u pitanju klasifikacija ispitanika, primenjuje se princip klasifikacije koju je opisao Lykken u svom radu iz 1959. godine [122]. Ukoliko relevantan slajd ima amplitudu veću od svih kontrolnih slajdova iz istog pitanja, dobija 2 poena, dok ukoliko relevantan slajd ima drugu najveću amplitudu, tada dobija 1 poen. U ostalim slučajevima, dobija 0 poena. Ako CIT test ima 4 pitanja, tada je idealan rezultat za klasifikaciju krivice 4x2=8 poena, dok je idealan rezultat za klasifikaciju nevinosti 4x0=0 poena. Kao prag za klasifikaciju nevinosti ili krivice uzima se polovina opsega između 0 i 8 poena, odnosno prag se postavlja na 4 poena. Drugim rečima, ako na testu ispitanik osvoji 5 ili više poena, biće klasifikovan kao kriv, dok će u suprotnom slučaju biti klasifikovan kao nevin.

9.6.3 Z-skor klasifikacija

Z-skor klasifikacija vrši se tako što se u skupu svih SCR amplituda za jednog ispitanika prvo odredi srednja vrednost i standardna devijacija, a zatim se za svaku amplitudu definiše z-skor (F. 7-1. Z-skor:$z = \frac{(X-\mu)}{\sigma}$). Tada je potrebno izračunati srednju vrednost z-skorova svih relevantnih slajdova jednog ispitanika i uporedi je sa graničnom vrednošću. Ispitanici sa z-skorom iznad granične vrednosti klasifikuju se kao krivi, dok se oni ispod granične vrednosti klasifikuju kao nevini.

Za klasifikacije u ovoj disertaciji korišćena je granična vrednost z-skora od 0.4, koja je preuzeta iz radova Elaad-a iz 1990. godine [60], kao i rada Ben-Shakhar-a i Dolev-a iz 1996. godine [20]

9.6.4 ML klasifikacija

Za potrebe ML klasifikacije korišćeni su sledeći algoritmi:

1. Višeslojni perceptron
2. K-najbližih suseda
3. Linearna diskriminantna analiza
4. Slučajna šuma

Svi nabrojani klasifikatori implementirani su uz pomoć Python-ove Scikit-learn biblioteke [176] i koristili su njena preporučena (default) podešavanja. 1. Prilog: ML modeli, daje definiciju primenjenih modela u Python-u. Metodologija primenjena u obe studije prilikom ML klasifikacije uključivala je sledeće korake:

1. Priprema originalnog dataseta

2. Preprocesiranje podataka
3. Trening algoritma
4. Testiranje

S obzirom na to da je ML klasifikacija primenjena i u studiji 1 (ISS algoritam) i u studiji 2 (CtTC), pripremljena su dva različita dataseta.

9.6.4.1 Dataset za studiju 1 – ISS algoritam

Pošto su u studiji upoređivani sCIT i iCIT tako što je vršena klasifikacija samo pojedinačnih slajdova, a ne ispitanika, kreirane su dve grupe (sCIT i iCIT) od po 32 učesnika. Pošto je svaka grupa ispitivana sa 4 slajda (2 relevantna i 2 kontrolna), to znači da je broj ispitivanih slajdova po grupi bio 128. Za svaki od slajdova prikupljeno je po četiri parametra reakcije: latenca, relativna amplituda, relativni nagib i vreme rasta. Ovo znači da su kreirana dva dataseta iste strukture koji su imali po 128 redova (1 red za svaki slajd) i 4 kolone (svaka kolona za po jedan parametar reakcije). Svaki od redova dataseta sa relevantnim slajdom označen je supervizovanom vrednošću 1 (prepoznat slajd), dok je svaki od redova sa kontrolnim slajdom dobio supervizovanu vrednost 0 (slajd nije prepoznat).

9.6.4.2 Dataset za studiju 2 - CtTC

U studiji je učestvovalo ukupno 84 ispitanika koji su bili podeljeni na 4 grupe, 2 od kojih su učestvovale u planiranju krađe (MC grupe), dok preostale dve nisu imale bilo kakvog znanja o planiranoj krađi (NMC grupe). Jedna od dve MC grupe i jedna od dve NMC grupe ispitivane su sCIT metodom, dok su preostale grupe bile ispitivane CtTC metodom. Ovo znači da su po dve grupe sa po 21 ispitanikom (42 ispitanika) ispitivane sCIT metodom, dok je preostalih 42 ispitanika ispitivano CtTC metodom. Sve grupe, tokom testiranja, videle su po 4 pitanja svako od kojih je imalo 3 irelevantna i 1 relevantni slajd, odnosno 16 slajdova po ispitaniku. Svaki od slajdova imao je samo po jednu kolonu sa relativnom amplitudom reakcije. Ovo znači da su formirana 2 dataseta (sCIT i CtTC) sa po 42 reda (42 ispitanika) i 16 kolona (EDR amplitude za svaki od 16 slajdova). Svaki od ispitanika označen je kao 1 (kriv) ili 0 (nije kriv) na osnovu toga da li je pripadao grupi krivih (MC grupa) ili grupi nevinih (NMC grupa).

9.6.4.3 Preprocesiranje

Po formiranju datasetova, izvršeno je njihovo preprocesiranje, koje je uključilo samo primenu CIT-dataset sorting algoritma na način koji je opisan u poglavlju 8.5 Algoritam za preprocesiranje CIT datasetova. Posle izvršenja algoritma, promenjen je samo raspored amplituda u datasetu iako je struktura datasetova ostala ista.

Upoređivanje rezultata sa i bez primene algoritma urađeno je tako što su izračunati rezultati klasifikacije sa primenom algoritma i rezultati klasifikacije bez primene algoritma, koji su zatim upoređeni jedni sa drugim komparacijom parametara klasifikacije i primenom McNemar-ovog testa.

9.6.4.4 Krosvalidacija

Proces treniranja i testiranja ML algoritama izvršen je korišćenjem leave-one-out (LOO) unakrsne validacije (cross validation) [176, 100]. LOO unakrsna validacija funkcioniše tako što koristi samo jedan red dataseta za testiranje dok sve ostale

redove koristi za treniranje ML algoritma. Ovaj ciklus se ponavlja onoliko puta koliko ima redova u datasetu, sve dok se ne dobiju rezultati klasifikacije za svaki od redova. Ovi rezultati se objedinjuju i na osnovu njih se izračunavaju parametri klasifikacije. Primena LOO omogućava potpunu separaciju podataka za treniranje i testiranje iako se i za trening i za testing koristi isti dataset.

9.7 Metodologija upoređivanja klasifikatora

Upoređivanje klasifikacione metrike vršeno je na sledeći način:

1. Direktnim upoređivanjem klasifikacionih rezultata uz pomoć parametara kao što su: tačnost (accuracy), senzitivnost i specifičnost. Treba napomenuti da svi prethodni parametri zavise od granične vrednosti klasifikatora, te da predstavljaju vrednosti koji opisuju kvalitet klasifikacije.
2. Direktnim upoređivanjem parametara klasifikatora kao je: ROC-AUC (Reciver Operating Characteristics – Area Under the Curve). ROC-AUC je parametar koji ukazuje na kvalitet predikcije klasifikatora kroz čitav opseg graničnih vrednosti. ROC-AUC parametar predstavlja površinu ispod ROC krive koja na x osi prikazuje vrednost 1-specifičnost, dok na y osi prikazuje vrednosti senzitivnosti. Ova kriva najbolje pokazuje promenu jedne vrednosti u odnosu na drugu, kao rezultat promene granične vrednosti klasifikatora. Zbog toga je ROC-AUC vrednost fiksna i ne zavisi od konkretno izabrane granične vrednosti. Ona zavisi jedino od kvaliteta samog klasifikatora. ROC-AUC vrednost idealnog klasifikatora je 1, dok vrednost od 0.5 odgovara klasifikatoru koji funkcioniše na bazi slučajnog izbora.
3. Statističkim testom za poređenje kategorijskih vrednosti klasifikacije između različitih grupa, odnosno Fisher-ovim egzaktnim testom zajedno sa statističkom snagom Fisher-ovog testa i veličinom efekta baziranog na odnosu verovatnoća ($OR_{veličina\_efekta}$). Statistička snaga ($1-\beta$) računata je u odnosu na nivo značajnosti $\alpha=0.05$.
4. Statističkim testom za poređenje kategorijskih vrednosti klasifikacije unutar iste grupe, odnosno McNemar-ovim testom.

10 Rezultati

Ispitivanja ove disertacije odnose se na dve studije [160, 159] sprovedene sa ciljem da se dobiju sledeći rezultati:

1. Studija 1
    a. Uporedni rezultati klasifikacije sCIT-a i iCIT-a
    b. Rezultati vremena testiranja iCIT-a i sCIT-a
2. Studija 2
    a. Uporedni rezultati klasifikacije sCIT i CtTC
    b. Rezultati komparacije klasifikacije sa i bez primene CIT-dataset sorting algoritma

10.1 Studija 1 – komparacija sCIT i iCIT

Studija 1 objavljena je u časopisu Physiological Measurement, 2023. godine, pod naslovom "Interactive Slide Selection Algorithm and Machine Learning in Psychophysiological Memory Testing" [160]. Studija je predstavila algoritam za interaktivnu selekciju slajdova koji čini osnovu interaktivnog CIT-a i izvršila komparaciju klasifikacione metrike između sCIT i iCIT-a. Studija se takođe bavi komparacijom vremena testiranja sCIT-a i iCIT-a.

10.1.1 Uporedni rezultati testiranja između grupa sCIT i iCIT

Rezultati EDR klasifikacije slajdova na prepoznate i neprepoznate statistički su značajno bolji u iCIT grupi u poređenju sa sCIT grupom (Fisher-ov egzaktni test, $p<0.01$, $1-\beta=0.88$, $OR_{veličina\_efekta} = 2.741$). Bilo je i značajno manje FP rezultata u odnosu na sCIT grupu ($p<0.01$, $1-\beta=0.99$, $OR_{veličina\_efekta} = 6.197$), dok smanjenje FN rezultata nije bilo statistički značajno.

Jedna od osnovnih ideja iCIT-a je onemogućavanje prikaza relevantnog slajda tokom rastuće ivice EDA (8.3.2 Prikaz relevantnog slajda tokom rastuće ivice SCR-a). Analizom EDA, utvrđeno je da je broj ovakvih slajdova u sCIT grupi bio 11, dok ih u iCIT grupi nije bilo (Fisher-ov egzaktni test, $p<0.05$, $1-\beta=0.95$, $OR_{veličina\_efekta} = 25.15$).

Tabela 3 prikazuje najvažnije rezultate klasifikacione metrike sCIT-a i iCIT-a, koji se odnose na senzitivnost, specifičnost, tačnost i ROC-AUC za različite vrste klasifikacija počev od EDR klasifikacije, preko amplitudske klasifikacije (A-klasifikacija) i ML klasifikacije koja je ubrajala algoritme MLP, kNN, LDA i RF.

	sCIT						iCIT					
	EDR	A	ML				EDR	Amp.	ML			
			MLP	kNN	LDA	RF			MLP	kNN	LDA	RF
Senzitivnost	0.38	0.34	0.28	0.3	0.36	0.3	0.55	0.5	0.53	0.53	0.55	0.55
Specifičnost	0.61	0.73	0.89	0.8	0.86	0.91	0.91	0.91	0.98	0.98	1	1
Tačnost	0.49	0.54	0.59	0.55	0.61	0.60	0.73	0.70	0.76	0.76	0.77	0.77
ROC-AUC	0.55	0.54	0.61	0.54	0.56	0.55	0.73	0.70	0.72	0.76	0.77	0.75

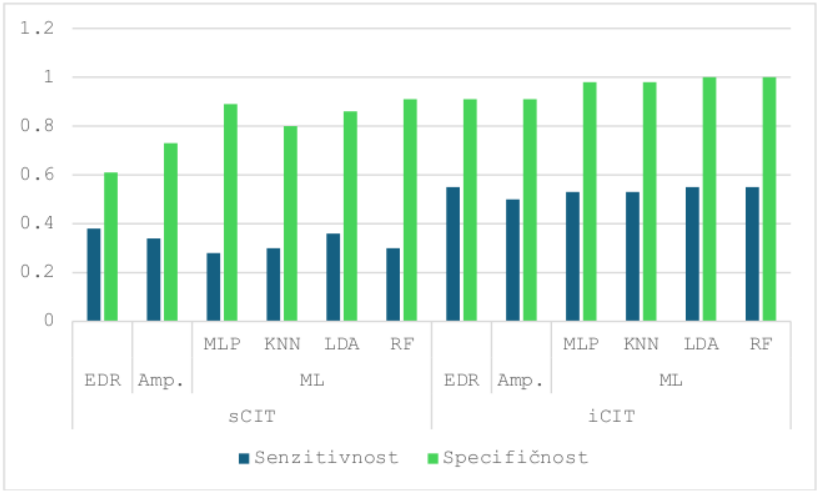
Tabela 3. Poređenje klasifikacione metrike između sCIT-a i iCIT-a

Tabela 4 prikazuje statističko poređenje pomenutih klasifikatora između sCIT i iCIT grupe na bazi metodologije predstavljene u poglavlju 9.7 Metodologija upoređivanja klasifikatora. Statistička snaga Fisher-ovog egzaktnog testa računata je u odnosu na nivo značajnosti α=0.05. Pošto se porede kategorijske veličine, primenjena je veličina efekta na bazi odnosa verovatnoća ($OR_{veličina\_efekta}$).

	EDR	A	ML			
			MLP	kNN	LDA	RF
Fisher-ov egzaktni test	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
1-β za Fisher-ov egzaktni test	0.97	0.71	0.80	0.93	0.76	0.81
ORveličina_efekta	2.74	2.03	2.21	2.59	2.19	2.26

Tabela 4. Statistička komparacija sCIT-a i iCIT-a

Slika 33 prikazuje senzitivnost i specifičnost svakog od klasifikatora i u sCIT i u iCIT grupi. Slika jasno pokazuje odnose ova dva parametra kod svakog od klasifikatora, i prikazuje porast specifičnosti i senzitivnosti u iCIT u odnosu na sCIT grupu.



Slika 33. Senzitivnost i specifičnost sCIT i iCIT

Poređenje rezultata klasifikacije unutar grupe vršeno je McNemar-ovim testom. Ovim testom upoređivani su rezultati unutar grupe pre i posle klasifikacije ML algoritmima primenjenim na EDR i na A-klasifikaciju. Statističke značajnosti ($p<0.05$) pronađene su u svim ML klasifikatorima u iCIT grupi u odnosu na početnu amplitudsku klasifikaciju. Takođe, ML klasifikatori LDA i RF imali su značajnosti u obe grupe (sCIT i iCIT) i u odnosu na EDR i na amplitudsku klasifikaciju, sa izuzetkom RF klasifikatora u odnosu na sCIT grupu sa A-klasifikacijom ($p=0.077$).

10.1.2 Vreme testiranja sCIT i iCIT

S obzirom na to da sCIT test uvek koristi predefinisanu listu slajdova sa unapred definisanim vremenom trajanja, testiranje sCIT metodom bilo je fiksno za sve ispitanike i trajalo je 330s.

Kod iCIT testa, vreme trajanja testiranja je varijabilno i zavisi od psihofizioloških reakcija ispitanika. U zavisnosti od EDA ispitanika, ISS algoritam selektuje onoliko

irelevantnih slajdova koliko je potrebno sve dok se ne ispune uslovi algoritma za prikaz relevantnog slajda. Ovo znači da će broj irelevantnih sladova biti različit od ispitanika do ispitanika.

Ukupan broj slajdova svih tipova po jednom testu u iCIT grupi kretao se između 34-99, dok je broj irelevantnih slajdova po testu bio između 28-93, što znači da je ukupno vreme testiranja iCIT metodom bilo između 42-107s, dok je srednje vreme testiranja bilo 53s. Ovo znači da je vreme testiranja iCIT metodom u proseku bilo 6.2 puta kraće od vremena testiranja sCIT metodom.

10.2 Studija 2 – komparacija sCIT i CtTC

Studija 2 objavljena je u časopisu International Journal of Psychophysiology, 2024. godine, pod naslovom "Conditioning to True Content and Artificial Intelligence in Intention Recognition" [159]. Studija po prvi put predstavlja princip uslovljavanja na istinit sadržaj primenom novog nervnog puta koji do sada nikada nije korišćen u psihofiziološkim ispitivanjima. Ovaj nervni put ide od vizuelno/auditivnih ulaza i reprezentacije apstraktne istine, povezanih, preko asocijativne memorije (CS), sa autonomnim centrima u mozgu, iz kojih signali idu eferentnim putem simpatičkim vlaknima sve do efektora elektrodermalnog odgovora (CR) u koži ispitanika. Studija pravi uporednu analizu klasifikacionih rezultata sCIT-a i CtTC-a. Pored ovoga, studija predstavlja i nov algoritam pod nazivom CIT-dataset sorting algoritam, koji ima za cilj da datasetove dobijene CIT testiranjem prilagodi algoritmima mašinskog učenja kako bi značajno unapredili klasifikacionu metriku.

10.2.1 Uporedni rezultati klasifikacije sCIT i CtTC

U smislu analize reaktivnosti sCIT i CtTC, obavljena su dva poređenja:

1. EDR amplitude na relevantnim slajdovima u CtTC grupi imale su značajno veće vrednosti u odnosu na sCIT grupu ($p<0.05$, dvostrani t-test, $1-\beta = 0.89$, $d=0.72$),
2. Broj EDR-ova na relevantnim slajdovima u CtTC grupi bio je značajno veći ($p<0.05$, Fisher-ov egzaktni test, $1-\beta = 0.90$)

Tabela 5 prikazuje rezultate klasifikacione metrike metoda sCIT-a i CtTC po metodologiji definisanoj u poglavlju 9.2 Metodologija ispitivanja CtTC. Najvažniji parametri klasifikacione metrike (senzitivnost, specifičnost, tačnost i ROC-AUC) prikazani su za različite vrste klasifikacija počev od A-klasifikacije, preko Z-klasifikacije, sve do klasifikacije bazirane na ML algoritmima: MLP, kNN, LDA i RF.

	sCIT						CtTS					
	A	Z	ML				A	Z	ML			
			MLP	kNN	LDA	RF			MLP	kNN	LDA	RF
Senzitivnost	0.10	0.67	0.48	0.62	0.52	0.57	0.52	0.86	0.91	0.90	0.91	0.86
Specifičnost	0.95	0.76	0.76	0.76	0.76	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Tačnost	0.52	0.71	0.62	0.69	0.64	0.71	0.76	0.93	0.95	0.95	0.95	0.93
ROC-AUC	0.57	0.69	0.69	0.69	0.71	0.68	0.79	0.92	0.95	0.95	0.94	0.92

Tabela 5. Poređenje klasifikacione metrike između sCIT-a i CtTC-a

Tabela 6 prikazuje statističko upoređivanje pomenutih klasifikatora između sCIT i CtTC grupe na bazi metodologije predstavljene u poglavlju 9.7 Metodologija upoređivanja klasifikatora. Kao i u studiji 1, statistička snaga Fisher-ovog egzaktnog

testa računata je u odnosu na nivo značajnosti α=0.05. Pošto se porede kategorijske veličine, primenjena je veličina efekta bazirana na odnosu verovatnoća ($OR_{veličina\_efekta}$).

	A	Z	ML			
			MLP	kNN	LDA	RF
Fisher-ov egzaktni test	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
1-β za Fisher-ov egzaktni test	0.56	0.68	0.97	0.88	0.95	0.68
$OR_{veličina\_efekta}$	2.91	5.20	12.31	8.97	11.11	5.20

Tabela 6. Statistička komparacija sCIT i CtTC

Slika 34 prikazuje senzitivnost i specifičnost klasifikatora primenjenih u sCIT i CtTC grupama. Slika pokazuje porast oba parametra u CtTC grupi ali i njihove odnose kod svakog od klasifikatora.



Slika 34. Senzitivnost i spcifičnost sCIT-a i CtTC-a

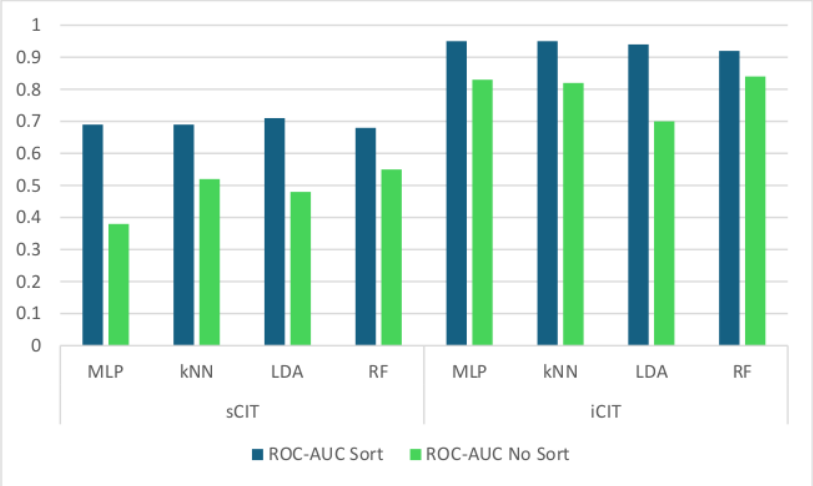
10.2.2 Komparacija rezultata sa i bez primene CIT-dataset sorting algoritma

Tabela 7 prikazuje dva najvažnija parametra klasifikacione metrike (tačnost i ROC-AUC) u slučajevima primene ili ne primene CIT-dataset sorting algoritma kod svih ML klasifikatora u obe grupe (sCIT i CtTC).

		sCIT				CtTC			
		ML				ML			
		MLP	kNN	LDA	RF	MLP	kNN	LDA	RF
Accuracy	Sort	0.62	0.69	0.64	0.71	0.95	0.95	0.95	0.93
	No Sort	0.50	0.50	0.52	0.50	0.69	0.57	0.69	0.69
ROC-AUC	Sort	0.69	0.69	0.71	0.68	0.95	0.95	0.94	0.92
	No Sort	0.38	0.52	0.48	0.55	0.83	0.82	0.70	0.84

Tabela 7. Klasifikaciona metrika sa i bez primene CIT-dataset sorting algoritma

Na sledećem grafikonu (Slika 35) jasno se vidi razlika u vrednostima parametra ROC-AUC u zavisnosti od primene CIT-dataset sorting algoritma.



Slika 35. ROC-AUC i CIT-dataset sorting algoritam

10.2.3 Važnost obeležja

Kako bi se analizirao efekat CIT-dataset sorting algoritma, izvršena je analiza važnosti svih obeležja u obe grupe ispitanika. 2. Prilog: Izračunavanje važnosti obeležja daje primer Python koda za analizu važnosti obeležja.

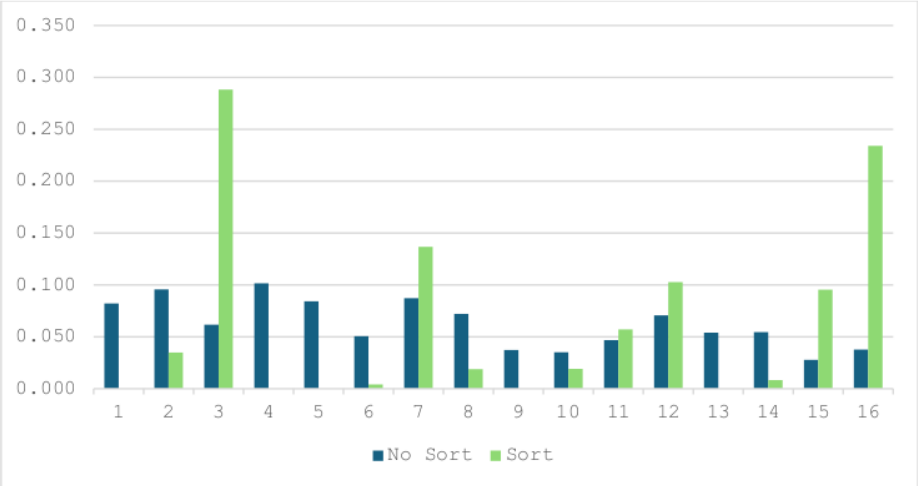
10.2.3.1 sCIT

Tabela 8 prikazuje važnosti svih obeležja dataseta u sCIT grupi sa i bez primene CIT-dataset sorting algoritma. Vrednosti važnosti obeležja dobijene su na osnovu algoritma slučajne šume.

Obeležje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Σ
No Sort	0.082	0.096	0.062	0.102	0.084	0.051	0.087	0.072	0.037	0.035	0.047	0.071	0.054	0.055	0.028	0.038	1
Sort	0.000	0.035	0.288	0.000	0.000	0.004	0.137	0.019	0.000	0.019	0.057	0.103	0.000	0.008	0.096	0.234	1

Tabela 8. Važnost obeležja na osnovu modela slučajne šume za sCIT grupu

Slika 36 daje grafički prikaz važnosti obeležja u sCIT grupi. Na grafikonu su zelenom bojom prikazane vrednosti važnosti obeležja slučaju klasifikacije sa primenom CIT-dataset sorting algoritma, dok su plavom bojom prikazane vrednosti obeležja u slučaju klasifikacije bez primene sorting algoritma.



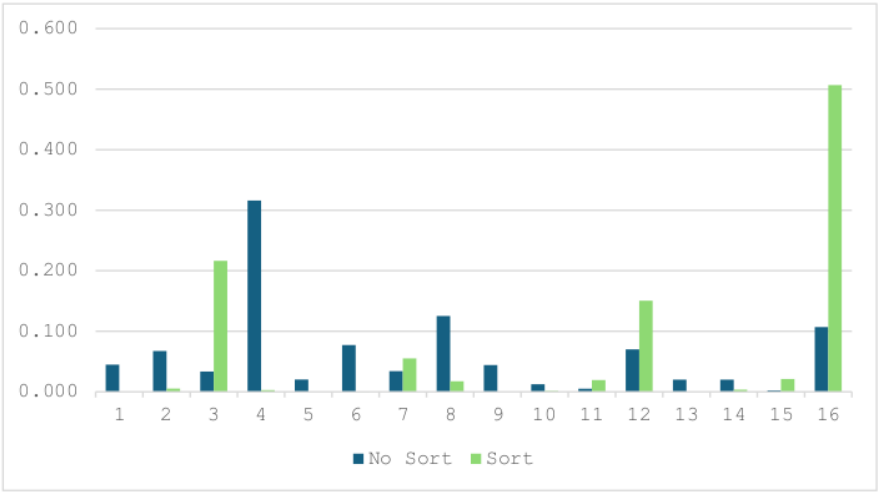
Slika 36. Grafikon važnosti obeležja za sCIT grupu

10.2.3.2 CtTC

Tabela 9 i Slika 37 daju prikaz važnosti obeležja u CtTC grupi. U No Sort redu tabele prikazane su vrednosti važnosti obeležja u slučaju kada CIT-dataset sorting algoritam nije primenjen, dok su u Sort redu prikazane vrednosti važnosti obeležja u slučaju klasifikacije sa primenom CIT-dataset sorting algoritma. I ovom prilikom, vrednosti važnosti obeležja dobijene su uz pomoć algoritma slučajne šume.

Obeležje	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Σ
No Sort	0.045	0.067	0.034	0.316	0.020	0.077	0.034	0.125	0.044	0.013	0.005	0.070	0.020	0.020	0.002	0.107	1
Sort	0.000	0.005	0.216	0.003	0.000	0.000	0.055	0.017	0.000	0.001	0.020	0.151	0.000	0.004	0.021	0.507	1

Tabela 9. Važnost obeležja na osnovu modela slučajne šume za CtTC grupu



Slika 37. Grafikon važnosti obeležja za CtTC grupu

11 Diskusija

Ova disertacija bavi se rezultatima dve studije:

- Studija 1 vezana je za algoritam za interaktivnu selekciju slajdova (ISS – Interactive Slide Selection) koji omogućava testu skrivenih informacija (CIT) da prikazuje slajdove interaktivnim putem, zbog čega je i nazvan interaktivni test skrivenih informacija (iCIT – interactive Concealed Information Test)
- Studija 2 koja je vezana za CIT test koji se obavlja uz pomoć novog metoda uslovljavanja na istinit sadržaj (CtTC – Conditioning to True Content).

11.1 Studija 1 – Interaktivni test skrivenih informacija

iCIT test koristi ISS algoritam [160] sa ciljem interaktivnog prikazivanja slajdova. Dizajn iCIT ogleda se pre svega u:

1. Interaktivnom izboru sladova na osnovu analize EDA
   Interaktivnost omogućava da se prikaz relevantnog slajda odloži sve do ispunjenja uslova algoritma, koji od ispitanika očekuju dovoljan stepen habituacije i ulaz u fazu relaksacije. Takođe, interaktivnost ne dozvoljava da se relevantan ili kontrolni slajd prikažu tokom rastuće ivice EDR-a koji je već otpočeo čime se sprečava određeni broj FN rezultata.
2. Kratkom trajanju slajdova (0.5-2s)
   Svi slajdovi (osim intro slajdova) u iCIT-u traju najčešće 1s ili 2s, za razliku od sCIT-a gde najčešće traju 5s. Kratkim prikazom, ISS algoritam pokušava da brzo skrene pažnju sa jednog na drugi slajd i ne da previše vremena ispitaniku da počne da razmišlja o temi koju bi prikazani slajd mogao da podstakne.
3. Nekorišćenju interstimulusnih intervala (ISI)
   ISI u sCIT-u traju između 10-60s što značajno produžava vreme testiranja. Sa druge strane, duži ISI u stanju su da izazovu jači orijentacioni refleks i jaču reakciju [40, 13]. Hipoteza studije je da bi isključenje ISI-a moglo bi da dovede do smanjenja broja FP-ova ali bi teorijski moglo da dovede i do manje reaktivnosti i manje senzitivnosti.
4. Prikazom velikog broja irelevantnih slajdova
   Imajući u vidu nekorišćenje ISI-a i kraće trajanje slajdova, jasno je da za isto vreme iCIT može da prikaže značajno više slajdova u odnosu na sCIT. Jedna od hipoteza studije 1 bila je da značajno veći broj prikazanih irelevantnih slajdova dovodi do veće habituacije ispitanika, pa bi trebalo očekivati manji broj FP rezultata.

Osnovne hipoteze studije 1 bile su da će interaktivnost, veliki broj irelevantnih slajdova, kratko trajanje slajdova, kao i nekorišćenje ISI-a, dovesti do unapređenja klasifikacione metrike iCIT metode (hipoteza H1). Kao što se iz rezultata može videti, parametri klasifikacije jasno ukazuju na značajno bolju metriku iCIT u odnosu na sCIT (Tabela 3, Slika 33), dok Tabela 4 ukazuje na značajnost statističke razlike ($p<0.05$) u rezultatima svakog od klasifikatora, čime se potvrđuje tačnost hipoteze H1 u ovoj disertaciji.

Na unapređenje rezultata u iCIT grupi uticalo je i smanjenje FP i FN rezultata. Smanjenje FP rezultata u iCIT grupi bilo je statistički značajno (Fisher-ov egzaktni

test, $p<0.01$, $1-\beta=0.99$, $OR_{veličina\_efekta} = 6.197$), dok smanjenje FN rezultata nije pokazalo statističku značajnost. Razlog za smanjenje FP rezultata verovatno je veliki broj slajdova, kratkog trajanja, bez ISI-a, koji dovode do veće habituacije kod ispitanika. Međutim, dizajn sprovedene studije nije bio koncipiran da pronađe odgovor na pitanje koja od nabrojanih karakteristika, sa kojim stepenom važnosti, učestvuje u unapređenju rezultata. Za odgovore na ova pitanja potrebno je dizajnirati studije koje će pojedinačno istražiti svaku od razlika iCIT-a u odnosu na sCIT i utvrditi stepen doprinosa unapređenju rezultata.

Poglavlje 8.3.2 (Prikaz relevantnog slajda tokom rastuće ivice SCR-a) objašnjava način na koji iCIT sprečava pojavu FN rezultata kod iCIT-a. Iako razlika u rezultatima na relevantne slajdove (TP i FN) između sCIT i iCIT nije bila statistički značajna, poređenje broja slajdova kod kojih je preveniran FN ishod zbog prikaza slajda tokom rastuće ivice EDR-a bio je statistički značajan (Fisher-ov egzaktni test, $p<0.05$, $1-\beta=0.95$, $OR_{veličina\_efekta} = 25.15$). Treba imati u vidu da, iako ISS algoritam na ovaj način prevenira veliki broj FN rezultata, FN rezultati se ipak mogu javiti ukoliko se EDR registruje sa latencom 0-1s. Ova situacija je moguća zbog toga što prevencija prikaza relevantnog slajda funkcioniše samo do trenutka njegovog prikaza, a od tog trenutka do početka prozora latence (1-4s) postoji 1s vremena tokom kojeg bi pojava EDR-a označavala NS.EDR, zbog čega bi reakcija bila klasifikovana kao FN. U svakom slučaju, iako iCIT nije u mogućnosti da u potpunosti prevenira sve FN rezultate koji mogu da nastanu zbog prikaza relevantnog slajda tokom rastuće ivice EDR-a, mehanizam njihove prevencije ipak doprinosi unapređenju rezultata klasifikacije.

Tabela 3 i Slika 33 jasno pokazuju unapređenje klasifikacionih parametara počev od EDR, preko amplitudske, sve do ML klasifikacije, unutar obe grupe ispitanika (sCIT i iCIT). Kao što se iz rezultata može videti, ovo unapređenje potvrđeno je i McNemar-ovim testom poređenjem unutargrupnih rezultata između različitih klasifikacionih metoda. Statističke značajnosti dobijene su primenom ML klasifikatora u odnosu na EDR i A-klasifikaciju, pri čemu su najveće značajnosti utvrđene kod LDA i RF klasifikatora.

Treba imati u vidu da kod klasifikacije samih slajdova, EDR klasifikacija uvek mora da ima najvišu senzitivnost jer sve ostale klasifikacione metode, u okviru trenutnog dizajna studije, mogu samo da izvrše korekciju FP u TN, ali ne i korekciju FN u TP. Drugim rečima, u kontekstu dizajna studije 1, senzitivnost predstavlja osobinu inherentnu fiziološkom modelu metoda sCIT ili iCIT i ne može se korigovati bilo kojom matematičkom metodom. Sa druge strane, specifičnost je parametar koje može biti unapređen primenom različitih klasifikacionih algoritama. Idealan klasifikator, u ovom slučaju, uspeo bi da postigne maksimalnu specifičnost, a da senzitivnost održi na nivou EDR klasifikacije. Cilj idealnog klasifikatora ispunili su LDA, DT i RF, u iCIT grupi, dok je u sCIT grupi najbliži ovom cilju bio LDA.

Dobro je poznato da u sCIT metodi amplitudska klasifikacija unapređuje klasifikacione rezultate tako što povećava specifičnost pri čemu je moguće da tom prilikom dođe i do smanjenja senzitivnosti. A-klasifikacija funkcioniše tako što poredi amplitudu relevantnog slajda sa jednim ili više kontrolnih slajdova i ukoliko je amplituda na nekom od kontrolnih slajdova veća od amplitude relevantnog slajda, tada se taj relevantan slajd klasifikuje kao neprepoznat. Da bi A-klasifikacija bila što sličnija, u obe ispitivane grupe korišćen je po jedan kontrolni slajd. Rezultati ukazuju na to da u sCIT dolazi do poboljšanja specifičnosti posle A-klasifikacije, ali da dolazi i

do malog pada senzitivnosti (Tabela 3, Slika 33). Sa druge strane, u iCIT grupi nije došlo ni do kakvog unapređenja specifičnosti, ali je došlo do blagog smanjenja senzitivnosti. To znači da je tačnost u iCIT grupi opala posle A-klasifikacije, odnosno da je EDR klasifikacija u iCIT grupi bila uspešnija. Iako bi za bilo kakvu generalizaciju i donošenje sigurnih zaključaka trebalo obaviti još studija, na osnovu studije 1, čini se da iCIT metoda uopšte ne zahteva primenu kontrolnih slajdova i A-klasifikacije, te da bi isključivanje kontrolnih slajdova moglo da još više ubrza testiranje iCIT metodom. Razlog ovakvom rezultatu leži u činjenici da je čitava konstrukcija sCIT testa osmišljena sa idejom da dugi ISI i nagla pojava slajda određene sadržine izazivaju EDR. Velika većina ovih EDR-ova je mala i biva ili uklonjena iz snimka ili kompenzovana EDR-om veće amplitude na kontrolnom slajdu. Sa druge strane, iCIT je koncipiran tako da u potpunosti habituira ispitanika na tranziciju između slajdova, kao i na sadržaj relevantnog i kontrolnog slajda, te su FP reakcije mnogo ređe (Fisher-ov egzaktni test, $p<0.01$, $1-\beta=0.99$, $OR_{veličina\_efekta} = 6.197$).

U metodologiji snimanja objašnjeno je da su slajdovi kod sCIT metode predefinisani, sa fiksnim vremenom trajanja i da je u studiji 1 ukupno vreme testiranja sCIT metodom bilo 330s. Sa druge strane, vreme testiranja kod iCIT grupe nije bilo fiksno i kretalo se između 42-107s, sa prosečnim vremenom testiranja od 53s. Ovo znači da je vreme testiranja sCIT metodom više od 6 puta duže u odnosu na iCIT metodu, pa se može zaključiti da je hipoteza H2 opravdana. Pošto je prethodno rečeno da kontrolni slajdovi ne doprinose unapređenju rezultata kod iCIT metode i da bi mogli biti uklonjeni iz testa, ovo znači da bi bez njih testiranje moglo da bude još znatno brže. Efektivnost i vreme testiranja iCIT-a trebalo bi da budu predmet budućih studija.

Rezultati takođe ukazuju na to da je detektovana specifičnost veća od senzitivnosti, odnosno da je stepen otkrivanja nevinih veći od stepena otkrivanja krivih, što je u saglasnosti sa mnogim drugim studijama [22, 199]. Kao što je prethodno rečeno, glavni razlog nižeg stepena senzitivnosti inherentan je psihofiziološkom modelu CIT testa, odnosno načinu reagovanja organizma na prikazane slajdove. Drugim rečima, ako relevantan slajd ne izazove bilo kakvu elektrodermalnu reakciju, ne postoji bilo kakva matematička metoda koja bi taj rezultat mogla da koriguje iz FN u TP. Ovaj problem posebno je izražen kod slučajeva testiranja sa nižim emocionalnim nabojem, kao što su na primer testiranje nečijih namera, stavova ili memorijskih sadržaja niskog stepena značajnosti. Da bi se ovaj problem rešio, dizajniran je metod uslovljavanja na istinit sadržaj koji je predstavljen i ispitan u studiji 2.

11.2 Studija 2 – Uslovljavanje na istinit sadržaj

Imajući u vidu smanjenu senzitivnost CIT-a, i nemogućnost njenog unapređenja bilo kojom matematičkom metodom na nivou klasifikacije sladova, u studiji 2 predložen je nov metod nazvan uslovljavanje na istinit sadržaj (CtTC) čiji je osnovni cilj da podigne nivo tačnosti CIT testa fiziološkim putem. Da bi se ovaj cilj realizovao predložena je primena potpuno novog nervnog puta za detekciju uslovljenih odgovora (CR), koji zahteva i novu metodologiju uslovljavanja (8.4 Uslovljavanje na istinu i druge apstraktne koncepte, 9.2 Metodologija ispitivanja CtTC).

Postoje tri važna benefita CtTC metode:

1. CR (uslovljeni odgovor) je automatski i nije pod voljnom kontrolom.
2. Odgovor ispitanika ne uključuje bilo kakvu mišićnu aktivnost
3. Uslovljavanje značajno podiže nivo klasifikacione metrike

U uvodnom izlaganju objašnjeni su principi funkcionisanja klasičnog i operacionog uslovljavanja i dat je pregled studija koje su vršile analizu memorije primenom neke od formi uslovljavanja. Sve navedene metode nađene u literaturi imale su sledeće prednosti i mane:

1. Velika prednost primene uslovljavanja u CIT testiranju je značajno unapređenje klasifikacionih performansi.
2. Tehnike uslovljavanja na laž [194, 195, 207, 106] obavezno zahtevaju neki vid odgovora ispitanika koji uvek angažuje neku formu mišićne aktivnosti. Svaki vid mišićne aktivnosti, ali i sama mentalna aktivnost neophodna za davanje odgovora, dovoljna je da opali EDR i na taj način potencijalno generiše FP rezultat.
3. Uslovljavanje na istinu nikada nije primenjeno u CIT testu ali su u okviru ovog konteksta eksperimentisali Fleming et al. 1968. godine [80, 82]. Imajući u vidu da je Fleming koristio blink refleks, njegov eferentni nervni put imao je dvojnu kontrolu (voljnu i nevoljnu), a metod uslovljavanja bio je nepraktičan zbog delovanja vazdušnim udarom u oko ispitanika. Mogućnost voljne kontrole eferentnih signala u Fleming-ovim eksperimentima otvara vrata potencijalnim zloupotrebama i kontramerama u slučaju primene u kontekstu CIT-a.

Iz analize Ben-Shakhar-a i Elaad-a iz 2003. godine [22] poznato je da CIT test može da bude izuzetno pouzdan. Međutim, u slučaju kada je značaj relevantnih stimulusa nizak, CIT efektivnost opada [112, 113, 114]. U takvim slučajevima metrika pada, pa je za rešenje ovog problema predložena CtTC metodologija.

Rezultati studije 2 nedvosmisleno pokazuju značajnu prednost u klasifikacionoj metrici CtTC metode u odnosu na sCIT. Ova prednost ogleda se:

1. U većoj tačnosti, senzitivnosti, specifičnosti i ROC-AUC vrednosti svakog od klasifikatora iz CtTC grupe u poređenju sa korespondentnim klasifikatorom iz sCIT grupe (Tabela 5).
2. U značajno većoj reaktivnosti na relevantnim pitanjima u CtTC grupi koja je analizirana:
    a. uz pomoć EDR amplitude ($p<0.05$, dvostrani t-test, $1-\beta = 0.89$, $d=0.72$)
    b. broja reakcija na relevantnim slajdovima ($p<0.05$, Fisher-ov egzaktni test, $1-\beta = 0.90$).

Iz prethodno navedene analize može se zaključiti da je hipoteza H3 opravdana i da CtTC koncept predložen u ovoj disertaciji ima sledeće prednosti i mane:

1. Velika prednost EDA-baziranog CtTC-a iz ove disertacije je u automatskom odgovoru bez bilo kakve mišićne aktivnosti.
2. Detekcija simpatičkog odgovora ispitanika bez bilo kakve mišićne aktivnosti prevenira potencijalne FP rezultate pošto svaka mišićna ili mentalna aktivnost dovodi do aktivacije EDR-a.
3. Svaka mišićna aktivnost koja se koristi u metodologiji uslovljavanja na laž uvek je voljna i predstavlja potencijalnu mogućnost za direktnu zloupotrebu.
4. Činjenica da je reakcija ispitanika u CtTC metodi nesvesna i nevoljna, ne znači da ispitanik ne može preduzeti kontramere. Ukoliko je ispitanik u stanju da prepozna razliku između relevantnog i kontrolnih slajdova, u mogućnosti je da voljno preduzme mere koje u krajnjoj liniji dovode do lažnih EDR-ova. Na primer,

pomisao na stresan događaj ili ujed za jezik može da dovede do EDR-a na kontrolnom slajdu i FP rezultata. Drugim rečima, samo uslovljavanje ne pomaže u prevenciji od kontramera.

11.2.1 CIT-dataset sorting algoritam

Razlika u klasifikacionim rezultatima (Tabela 7) koji se dobijaju sa primenom i bez primene CIT-dataset sorting algoritma jasno ukazuju na njegov značaj. Tačnost i ROC-AUC kao dva najvažnija parametra klasifikacione metrike imala su značajno bolje vrednosti u slučaju primene algoritma u odnosu na klasifikaciju tokom koje algoritam nije bio primenjen. Ovaj rezultat jasno ukazuje na to da je hipoteza H4 opravdana.

Da bi se dokazao princip funkcionisanja algoritma (8.5 Algoritam za preprocesiranje CIT datasetova), izvršena je analiza važnosti obeležja za sCIT (Tabela 8, Slika 36) i za iCIT grupu (Tabela 9, Slika 37).

Kao što se iz tabela i grafikona može videti, kod nesortiranih slajdova u sCIT grupi, obeležje sa najvećim značajem bila je EDR amplituda slajda broj 4, odnosno prvog relevantnog slajda u testu. Ispitanici uglavnom najviše reaguju na prve slajdove, te je verovatno to razlog zbog kojeg ovaj slajd ima najviši stepen važnosti koji je bilo na nivou 0.102. Svi ostali slajdovi imali su niži stepen važnosti. Pošto je svako pitanje imalo po 4 slajda, od kojih su 3 bila kontrolni i 1 relevantan, za očekivati je da se na grafikonu istaknu upravo relevantni slajdovi, međutim iz razloga koji su opisani u poglavlju 8.5 Algoritam za preprocesiranje CIT datasetova, nema isticanja obeležja. Sa druge strane, posle primene CIT-dataset sorting algoritma, na grafikonima i sCIT i iCIT grupe vidi se da se u obe grupe ističu ista obeležja (3, 7, 12 i 16). Obeležja 12 i 16 su u stvari dva relevantna slajda u testu sa najvećim EDR amplitudama, dok su obeležja 3 i 7 dva kontrolna slajda sa najmanjom EDR amplitudom u dva pitanja sa najmanjim EDR amplitudama na relevantnim slajdovima.

Kao što je već rečeno u poglavlju 8.5, pozicioniranjem slajdova na osnovu amplituda a ne redosleda pojavljivanja, ML algoritmima se omogućava da lakše povežu supervizovanu vrednost sa nekim od obeležja iz dataseta. U konkretnom primeru, supervizovana vrednost najbolje je povezana sa obeležjima 3, 7, 12 i 16, ali i drugim obeležjima koja se na grafikonima jasno uočavaju. Uticaj ova četiri slajda bio je najveći na formiranje klasifikacionih rezultata u slučaju primene CIT-dataset sorting algoritma.

Analizom datasetova pre i posle primene CIT-dataset sorting algoritma, može se uočiti da repozicioniranje pitanja unutar testa i slajdova unutar pitanja, bitno utiče na ML klasifikatore, ali je idempotentno u odnosu na sve ostale primenjene klasifikacione metode (EDR, A-klasifikacija i Z-skor klasifikacija). Drugim rečima klasifikaciona metrika EDR, A i Z-skor klasifikatora biće ista sa i bez primene CIT-dataset sorting algoritma. Ova činjenica dodatno ukazuje na to da repozicioniranje slajdova nema uticaja na samu prirodu testa i njegove direktne rezultate već jedino omogućava ML algoritmima da lakše povežu vektore obeležja i supervizovane vrednosti.

12 Zaključak

Ova disertacija predstavila je tri značajna unapređenja u polju psihofiziološkog testiranja memorije uz pomoć testa skrivenih informacija (CIT):

- Klasično uslovljavanje na istinit sadržaj u okviru kojeg je primenjen nervni put koji do sada nikada nije korišćen u psihofiziologiji.
- Interaktivni test skrivenih informacija na bazi algoritma za interaktivnu selekciju slajdova.
- CIT-dataset sorting algoritam koji se primenjuje u fazi preprocesiranje CIT skupova podataka i koji omogućava ML klasifikatorima značajno bolje klasifikacione performanse.

Najveći značaj ove disertacije ogleda se u primeni nove metode klasičnog uslovljavanja na istinit sadržaj (CtTC) koja, za registrovanje reakcija, koristi potpuno nov nervni put koji do sada nije bio primenjen u psihofiziologiji [159]. Dosadašnje metode uslovljavanja primenjene u CIT-u koristile su kombinaciju operacionog i klasičnog uslovljavanja tokom kojeg je ispitanik dobijao kaznu u formi električnog impulsa za svaki lažan odgovor. Ovakav pristup zahtevao je voljni, mišićni odgovor od strane ispitanika. Takođe, jedina dosadanja metoda bazirana samo na klasičnom uslovljavanju na istinite iskaze primenjivala je blink refleks kao indikator reakcije. Imajući u vidu da je blink refleks delimično u voljnoj kontroli, može se zaključiti da do sada nije postojala metoda koja je mogla da registruje potpuno automatsku reakciju, bez davanja ikakvog voljnog odgovora i bez ikakvog angažovanja mišića. Metoda CtTC, predstavljena u ovoj disertaciji, vrši klasično uslovljavanje ispitanika na apstraktnu reprezentaciju istine primenom električne stimulacije (bezuslovni stimulus), čime povezuje istinit sadržaj (uslovljeni stimulus) sa elektrodermalnim odgovorom (uslovljeni odgovor). Drugim rečima, tokom primene CtTC metode, dolazi do kreiranja asocijativne memorije koja povezuje istinit sadržaj u vizuelnom ulazu, preko simpatičkih centara u mozgu i eferentnih simpatičkih vlakana, sve do elektrodermalnih efektora u koži. Ovakav nervni put dovodi do automatske reakcije svaki put kada se na ekranu prepozna istinit sadržaj. Iako se disertacija nije bavila zvučnim ulaznim signalima, moglo bi se pretpostaviti da bi zvučna stimulacija dovela do sličnih elektrodermalnih reakcija. Ova analiza trebalo bi da bude predmet budućih studija.

Za razliku od standardnog testa skrivenih informacija (sCIT), koji prikazuje predefinisanu sekvencu slajdova, interaktivni CIT (iCIT) predstavlja novu metodologiju baziranu na ISS (Interactive Slide Selection) algoritmu [156-160], koji prikazuje slajdove interaktivno, na osnovu analize elektrodermalne aktivnosti. Interaktivnost iCIT-a, kratko trajanje slajdova, nekorišćenje interstimulusnih intervala, veliki broj irelevantnih slajdova po testu, dovode do unapređenja klasifikacione metrike i značajnog smanjenja vremena testiranja. Ispitivanje u kontekstu ove disertacije pokazalo je da iCIT funkcioniše još uspešnije u slučaju primene samo relevantnih slajdova bez njihovog poređenja sa kontrolnim slajdovima, što dovodi do dodatnog skraćivanja vremena testiranja.

U disertaciji je prikazan i CIT-dataset sorting algoritam koji se koristi kao sredstvo za preprocesiranje CIT skupova podataka pre treniranja i testiranja algoritama mašinskog učenja. Algoritam funkcioniše tako što raspored slajdova, odnosno

obeležja skupa, preuredi na osnovu amplitude elektrodermalnih reakcija, a ne na osnovu redosleda pojavljivanja slajdova. Rezultati su ukazali na to da ovakva forma sortiranja obeležja dovodi do značajnog unapređenja klasifikacione metrike nad CIT skupovima podataka kod kojih se vrši klasifikacija ispitanika na osnovu više pitanja.

Posle teorijskog razmatranja primene kontramera u kontekstu iCIT-a, dolazi se do zaključka da u slučaju nekorišćenja kontrolnih slajdova ili njihovog automatskog (slučajnog) izbora, ispitanik nema mogućnosti da izazove lažne reakcija na kontrolnim slajdovima kako bi povećao broj lažno negativnih rezultata i time uticao na lažno negativnu klasifikaciju. Ovo teorijsko razmatranje potrebno je potvrditi eksperimentalno u budućim studijama. Sa druge strane, primena kontramera sa ciljem izazivanja lažnih reakcija na relevantnim slajdovima, čime se utiče na kreiranje lažno pozitivne klasifikacije, ne mogu da budu sprečene opisanim metodama. Isto tako, sve ostale mere kao što je primena psihoaktivnih supstanci, ne gledanje u slajdove i ostalo, nisu bile predmet teorijskog razmatranja u ovoj disertaciji i zahtevaju buduće studije u cilju dobijanja preciznijih odgovora.

Treba imati u vidu da je princip klasičnog uslovljavanja u ovoj disertaciji imao kao metu apstraktni koncept istine, ali da se ista metodologija može primeniti u čitavom nizu studija kojima bi se ispitali različiti apstraktni koncepti kao što su: ljubav, mržnja, ljubomora, moral, zavist, hrabrost i brojni drugi koncepti. Ovakva istraživanja mogla bi da daju značajan doprinos u oblastima neuronauke i kognitivne psihologije.

Svakako najvažnija stvar koju bi trebalo ispitati budućim studijama je istovremena primena iCIT i CtTC koncepata koji bi objedinili značajno bolju klasifikacionu metriku CtTC metode i značajno skraćenje vremena testiranja iCIT metode, zajedno sa kompletnom otpornošću na prethodno opisanu vrstu kontramera. Iako je nemoguće predvideti rezultate takvog ispitivanja, ova metoda mogla bi da da do sada najbolje rezultate u psihofiziološkom testiranju memorije.

13 Literatura

1. Alexander, D. M. et al. Separating individual skin conductance responses in a short interstimulus-interval paradigm. J. Neurosci. Meth. 2005; 146:116–123. https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2005.02.001
2. Allen J. The role of psychophysiology in clinical assessment: ERPs in the evaluation of memory. Psychophysiology 2002; 39:261–280, https://doi.org/1017/s0048577201393034
3. Ambach W, Bursch S, Stark R, Vaitl D. A Concealed Information Test with multimodal measurement. International Journal of Psychophysiology 2010; 75(3):258-267. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2009.12.007
4. Ambach W, Stark R, Peper M, Vaitl D. Separating deceptive and orienting components in a concealed information test. International Journal of Psychophysiology 2008; 70: 95-104. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.07.002.
5. Ambach W, Stark R, Vaitl D. An interfering n-back task facilitates the detection of concealed information with EDA but impedes it with cardiopulmonary physiology. International Journal of Psychophysiology 2011; 80:217-226. https://doi.org/ 10.1016/j.ijpsycho.2011.03.010
6. Andreatta M, Pauli P. Appetitive vs. Aversive conditioning in humans. Frontiers in Behavioral Neuroscience 2015; 9:128, https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00128
7. Asahina M, Poudel A, Hirano S. Sweating on the palm and sole: physiological and clinical relevance Clin. Auton. Res. 2015; 25:153–9, https://doi.org/10.1007/s10286-015-0282-1
8. Bahramali H, Gordon E, Lim C L, Li W, Lagopoulos J, Leslie J, Rennie C, Meares R A 1997 Evoked related potentials associated with and without an orienting reflex Neuroreport 8 2665–9, https://doi.org/10.1097/00001756-199708180-00006
9. Baioui A, Ambach W, Walter B, Vaitl D. Psychophysiology of False Memories in a Deese-Roediger-McDermott Paradigm with Visual Scenes. PLoS ONE 2012; 7, e30416, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030416
10. Baioui A, Ambach W, Walter B, Vaitl D. Psychophysiology of false memories in a Deese–Roediger–McDermott paradigm with visual scenes PLoS One 2012; 7, https://doi.org/e30416 10.1371/journal.pone.0030416
11. Baker LB. Physiology of sweat gland function: The roles of sweating and sweat composition in human health. Temperature (Austin). 2019 Jul 17; 6(3):211-259. https://doi.org/10.1080/23328940.2019.1632145
12. Bari DS, Aldosky HYY, Tronstad C, Kalvøy H, Martinsen ØG. Influence of Relative Humidity on Electrodermal Levels and Responses. Skin Pharmacol Physiol. 2018;31(6):298-307, https://doi.org/10.1159/000492275
13. Barry RJ, Steiner-Lim GZ, Cave AE, De Blasio FM, MacDonald B. Effects of interstimulus interval and significance on electrodermal and central measures

of the phasic orienting reflex (OR) in a dishabituation task. Sci Rep. 2023 Aug 19;13(1):13546. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40428-7.

14. Barry RJ, Steiner-Lim GZ, Cave AE, et al. Effects of interstimulus interval and significance on electrodermal and central measures of the phasic orienting reflex (OR) in a dishabituation task. Sci Rep 2023; 13, 13546. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40428-7
15. Barry RJ. Comparability of EDA effects obtained with constant-current skin resistance and constant-voltage skin conductance methods; Physiological Psychology 1981; 9:325–328, https://doi.org/10.3758/BF03326987
16. Barry RJ. Promise versus reality in relation to the unitary orienting reflex: A case study examining the role of theory in psychophysiology. International Journal of Psychophysiology 2006; 62, 353-366. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2006.01.004.
17. Bauer RM. Autonomic recognition of names and faces in prosopagnosia: A neuropsychological application of the Guilty Knowledge Test. Neuropsychologia 1984; 22:457–469, https://doi.org/10.1016/0028-3932(84)90040-X
18. Bellato A, Arora I, Hollis C, Groom M, Is autonomic nervous system function atypical in attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)? A systematic review of the evidence, Neuroscience & Biobehavioral Reviews 2020; 108:182-206, https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.11.001.
19. Ben-Shakhar G, Dolev K. Psychophysiological detection through the guilty knowledge technique: effect of mental countermeasures. J. Appl. Psychol. 1996; 81:273–281, https://doi.org/10.1037/0021-9010.81.3.273
20. Ben-Shakhar G, Dolev K. Psychophysiological detection through the guilty knowledge technique: effects of mental countermeasures. J Appl Psychol. 1996 Jun; 81(3):273-81. https://doi.org/10.1037/0021-9010.81.3.273.
21. Ben-Shakhar G, Elaad E. Effects of questions' repetition and variation on the efficiency of the guilty knowledge test: A reexamination. Journal of Applied Psychology 2002; 87, 972-977. https://doi.org/10.1037/0021-9010.87.5.972.
22. Ben-Shakhar G, Elaad E. The validity of psychophysiological detection of deception with the guilty-knowledge test: a meta-analytic review. J Appl Psychol 2003; 88:131–151, https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.1.131
23. Ben-Shakhar G, Frost R, Gati I, Kresh Y. Is an apple a fruit? Semantic relatedness as reflected by psychophysiological responsivity. Psychophysiology 1996; 33, 671-679. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1996.tb02363.x.
24. Ben-Shakhar G, Gati I. Common and distinctive features of verbal and pictorial stimuli as determinants of psychophysiological responsivity. Journal of Experimental Psychology: General 1987; 116, 91-105. https://doi.org/10.1037/0096-3445.116.2.91.
25. Ben-Shakhar G, Gronau N, Elaad E. Leakage of relevant information to innocent examinees in the GKT: An attempt to reduce false-positive outcomes by introducing target stimuli. Journal of Applied Psychology 1999; 84:651-660. https://doi.org/10.1037/0021-9010.84.5.651

26. Ben-Shakhar G, Kremnitzer M. The Concealed Information Test in the courtroom: legal aspects. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, & E. Meijer (Eds.), Memory detection: Theory and application of the concealed information test (pp. pp 276-290). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2011. https://doi.org/10.1017/CBO9780511975196.016

27. Ben-Shakhar G. A critical review of the Control Questions Test (CQT). In M. Kleiner (Ed.), *Handbook of polygraph testing* (pp. 103–126). Academic Press, 2002.

28. Ben-Shakhar G. Current Research and Potential Applications of the Concealed Information Test: An Overview. Frontiers in Psychology 2012; vol. 3. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00342

29. Ben-Shakhar G. Standardization within individuals: a simple method to neutralize individual differences in skin conductance. Psychophysiology 1985; 22:292–299. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1985. tb01603.x.

30. Ben-Shakhar, G. (1991). Clinical judgment and decision-making in CQT-polygraphy. Integrative Physiological and Behavioral Science, 26(3), 232–240. https://doi.org/10.1016/10.1007/bf02912515

31. Bernstein AS, Schnur DB, Bernstein P, Yeager A, Wrable J, Smith S. Differing patterns of electrodermal and finger pulse responsivity in schizophrenia and depression. Psychological Medicine 1995; 25:51-62.

32. Bernstein, A. S. (1979). The orienting response as novelty and significance detector: Reply to O'Gorman. Psychophysiology, 16, 263-273. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1979.tb02989.x.

33. Bethel C, Murphy R. Review of human studies methods in HRI and recommendations Int. J. Soc. Robot. 2010; 2:347–59, https://doi.org/10.1007/s12369-010-0064-9

34. Boucsein W, Fowles D, Grimnes S, Ben-Shakhar G, Roth WT, Dawson ME, et al. Society for psychophysiological research Ad hoc committee on electrodermal measures. publication recommendations for electrodermal measurements Psychophysiology 2012, 49(8):1017–1034, https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01384.x

35. Boucsein W. Electrodermal Activity, New York, NY: Springer, 2012, https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0

36. Bradley MM, Miccoli L, Escrig MA, Lang PJ. The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. Psychophysiology 2008; 45:602-607.

37. Bradley MT, Janisse MP. Accuracy demonstrations, threat, and the detection of deception: cardiovascular, electrodermal, and pupilalary measures. Psychophysiology 1981; 18:307-315.

38. Bradley MT, MacLaren VV, Carle SB. Deception and nondeception in guilty knowledge and guilty actions polygraph tests. Journal of Applied Psychology 1996; 81:153-160.

39. Bradley, M. T., & Janisse, M. P. (1981). Accuracy demonstrations, threat, and the detection of deception: Cardiovascular, electrodermal, and papillary

measures. Psychophysiology, 18, 307-315. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1981.tb03040.x.

40. Breska, A., Maoz, K. & Ben-Shakhar, G. Interstimulus intervals for skin conductance response measurement. Psychophysiology 2011; 48:437–440. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01084.x
41. Brown S, van Steenbergen H, Band G, de Rover M, Nieuwenhuis S. Functional significance of the emotion-related late positive potential. Frontiers in Human Neuroscience 2012; vol. 6, https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00033
42. Buscema M. Supervised Artificial Neural Networks: Backpropagation Neural Networks. In Buscema M, Tastle W (Eds.), Intelligent Data Mining in Law Enforcement Analytics (pp. 119). Springer, 2013. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4914-6
43. Cannon W. B. (1929). Organization for physiological homeostasis. Physiological Reviews 1929; 9(3):399–431, https://doi.org/10.1152/physrev.1929.9.3.399
44. Cannon W. B. Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear and Rage: An Account of Recent Researches Into the Function of Emotional Excitement. *FQ Legacy Books 2010.*
45. Carmel D, Dayan E, Naveh A, et al. Estimating the validity of the guilty knowledge test from simulated experiments: The external validity of mock crime studies. *Journal of Experimental Psychology* 2003; 9(4):261-269, https://doi.org/10.1037/1076-898X.9.4.261
46. Cassvan A. Auditory Evoked Potentials. The Physiological Basis of Rehabilitation Medicine 1994, 295–323. https://doi.org/10.1016/b978-1-4831-7818-9.50038-1
47. Cowley BU, Torniainen J. A short review and primer on electrodermal activity in human computer interaction applications, arXiv.org 2016; 1608, 06986v3.
48. Davis RC. Physiological responses as a means of evaluating information. In A. D. Biderman, & H. Zimmer (Eds.), The manipulation of human behavior (pp. 142-168). New York: John Wiley and Sons, 1961.
49. Dawson ME, Nuechterlein, KH, Schell AM. Electrodermal anomalies in recent-onset schizophrenia: relationships to symptoms and prognosis. Schizophrenia Bulletin 1992; 18:295-311.
50. Deese J. On the prediction of occurrence of particular verbal intrusions in immediate recall. J Exp Psychol. 1959;58(1):17
51. Dindo, L., & Fowles, D. C. (2008). The skin conductance orienting response to semantic stimuli: Significance can be independent of arousal. Psychophysiology, 45, 111-118. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00604.x.
52. Drummond PD, Lance JW. Facial flushing and sweating mediated by the sympathetic nervous system. Brain 1987; 110:793-803.
53. Du Bois-Reymond: Untersuchungen über tierische Elektrizität. 1, Berlin 1848; 2, Abt. 1, Berlin 1849; 2, Abt. 2, Berlin 1860.

54. Edelberg, R. Electrical properties of skin. In H. R. Elden (Ed.), A treatise of the skin (Biophysical properties of the skin, Vol. 1, pp. 519–551). New York: Wiley 1971.

55. Edelberg, R. Electrical properties of the skin. In C. C. Brown (Ed.), Methods in psychophysiology. Baltimore: Williams & Wilkins 1967.

56. Eimer M, Holmes A. Event-related brain potential correlates of emotional face processing. Neuropsychologia. 2007 Jan 7;45(1):15-31. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.04.022.

57. Elaad E, Ben-Shakhar G 2009 Countering countermeasures in the Concealed Information Test using covert respiration measures Appl. Psychophys. Biofeedback 2009; 34:197–208. https://doi.org/10.1007/s10484-009-9090-5

58. Elaad E, Ginton A, Jungman N. Detection measures in reallife criminal guilty knowledge tests. J. Appl. Psychol. 1992; 77:757–767. https://doi.org/10.1037/0021-9010.77.5.757

59. Elaad E. Detection of guilty knowledge in real-life criminal investigations. J. Appl. Psychol. 1990; 75:521–529. https://doi.org/10.1037/0021-9010.75.5.521

60. Elaad E. Detection of guilty knowledge in real-life criminal investigations. Journal of Applied Psychology 1990, 75(5):521–529. https://doi.org/10.1037/0021-9010.75.5.521

61. Elaad, E., & Ben-Shakhar, G. (1989). Effects of motivation and verbal response type on psychophysiological detection of information. Psychophysiology, 26, 442-451. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1989.tb01950.x.

62. Elaad, E., & Ben-Shakhar, G. (1997). Effects of item repetitions and variations on the efficiency of the guilty knowledge test. Psychophysiology 1997; 34:587-596. https://doi.org/ 10.1111/j.1469.8986.1997.tb01745.x.

63. Ellis HD, Young AW, Koenken G. Covert face recognition without prosopagnosia. Behav Neurol. 1993; 6:27-32, https://doi.org/10.3233/BEN-1993-6104

64. Ellson DC, Burke CG, Davis RC, Saltzman IJ. A report of research on detection of deception. Contract NG onr-18011, Office of Naval Research 1952.

65. Farahani ED, Moradi MH. A Concealed Information Test with Combination of ERP Recording and Autonomic Measurements. Neurophysiology 2013; 45(3):223-233, https://doi.org/10.1007/s11062-013-9360-y

66. Farwell LA (1994) Method and apparatus for multifaceted electro encephalographic response analysis (MERA). U.S. Patent #5,363,858

67. Farwell LA (1995a) Method and apparatus for truth detection. U.S. Patent #5,406,956

68. Farwell LA (1995b) Method for electroencephalographic information detection. U.S. Patent #5,467,777

69. Farwell LA (2007) Apparatus for a classification guilty knowledge test and integrated system for detection of deception and information. UK Patent # GB2421329

70. Farwell LA (2010) Method and apparatus for brain fingerprinting, measurement, assessment and analysis of brain function. U.S. Patent # 7,689,272

71. Farwell LA, Donchin E. 1986 The 'brain detector': P300 in the detection of deception Psychophysiology Abstracts of Papers Which Will Be Presented at the Twenty-Sixth Annual Meeting of the Society for Psychophysiological Research 1986. https://doi.org/43410.1111/j.1469-8986.1986.tb00655.x

72. Farwell LA, Donchin E. The truth will out: interrogative polygraphy ("lie detection") with event-related brain potentials. Psychophysiology. 1991 Sep; 28(5):531-47. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1991.tb01990.x.

73. Farwell LA, Richardson DC, Richardson GM, Furedy JJ. Brain fingerprinting classification concealed information test detects US Navy military medical information with P300. Front Neurosci. 2014 Dec 23; 8:410. https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00410.

74. Farwell LA, Richardson DC, Richardson GM. Brain fingerprinting field studies comparing P300-MERMER and P300 brainwave responses in the detection of concealed information. Cogn Neurodyn. 2013 Aug; 7(4):263-99. https://doi.org/10.1007/s11571-012-9230-0.

75. Farwell LA, Richardson DC. Brain fingerprinting: let's focus on the science-a reply to Meijer, Ben-Shakhar, Verschuere, and Donchin. Cogn Neurodyn. 2013 Apr; 7(2):159-66. https://doi.org/10.1007/s11571-012-9238-5

76. Farwell LA. Brain fingerprinting: a comprehensive tutorial review of detection of concealed information with event-related brain potentials. Cogn Neurodyn. 2012 Apr; 6(2):115-54. https://doi.org/10.1007/s11571-012-9192-2.

77. Fèrè C. Note on changes in electrical resistance under the effect of sensory stimulation and emotion. *Comptes Rendus des Seances de la Societe de Biologie* 1888;9(5):217–219.

78. Fields EC. The P300, the LPP, context updating, and memory: What is the functional significance of the emotion-related late positive potential? Int J Psychophysiol. 2023 Oct; 192:43-52. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.08.005.

79. Fisher RA. The useo f multiple measurements in taxonomic problems. Annals of Eugenics 1936; 7(2):179-182. https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02137.x

80. Fleming RA, Cerekwicki LE., Grant DA, Appropriateness of the stimulus-reinforcement contingency in instrumental differential conditioning of the eyelid response to the arithmetic concepts of "right" and "wrong." Journal of Experimental Psychology 1968; 77(2):295–300.

81. Fleming RA, Cerekwicki LE., Grant DA, Appropriateness of the stimulus-reinforcement contingency in instrumental differential conditioning of the eyelid response to the arithmetic concepts of "right" and "wrong." *Journal of Experimental Psychology 1968; 77*(2):295–300. https://doi.org/10.1037/h0025764

82. Fleming, R. A., Grant, D. A., & North, J. A. (1968). Truth and falsity of verbal statements as conditioned stimuli in classical and differential eyelid

conditioning. Journal of Experimental Psychology 1968; 78(1):178–180. https://doi.org/10.1037/h0026159

83. Fleming, RA, Grant, D. A., & North, J. A. (1968). Truth and falsity of verbal statements as conditioned stimuli in classical and differential eyelid conditioning. *Journal of Experimental Psychology 1968; 78*(1):178–180. https://doi.org/10.1037/h0026159
84. Freepik image source. https://www.freepik.com/,Accessed: 19 February, 2024.
85. Fowles D C, Christie MJ, Edelberg R, Grings W W, Lykken DT, Venables PH. Publication recommendations for electrodermal measurements; Psychophysiology 1981; 18:232–239, https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1981.tb03024.x
86. Fowles DC. Mechanisms of electrodermal activity. In R. F. Thompson & M. M. Patterson (Eds.), Methods in physiological psychology (Bioelectric recording techniques, Part C: Receptor and effector processes, Vol. 1, pp. 231–271). New York: Academic, 1974.
87. Friederici AD, Makuuchi M, Bahlmann J. The role of the posterior superior temporal cortex in sentence comprehension. Neuroreport. 2009 Apr 22; 20(6):563-8. https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3283297dee.
88. Furedy JJ. Classical appetitive conditioning of the GSR with cool air as UCS, and the roles of UCS onset and offset as reinforcers of the CR. Journal of Experimental Psychology 1967;75(1):73–80, https://doi.org/10.1037/h0024899
89. Furedy JJ. The “control” question “test” (CQT) polygrapher’s dilemma: Logico-ethical considerations for psychophysiological practitioners and researchers. International Journal of Psychophysiology 1993; 15(3):263-267. https://doi.org/10.1016/0167-8760(93)90010-M
90. Gamer M, Berti S. P300 amplitudes in the concealed information test are less affected by depth of processing than electrodermal responses. *Front Hum Neurosci*. 2012; 6:308. https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00308
91. Gamer M, Godert HW, Keth A, Rill HG, Vossel G. Electrodermal and phasic heart rate responses in the guilty actions test: Comparing guilty examinees to informed and uninformed innocents. International Journal of Psychophysiology 2008, 69, 61-68. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.03.001.
92. Gamer, M. (2011). Detecting concealed information using autonomic measures. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar, & E. Meijer (Eds.), Memory detection: Theory and application of the concealed information test (pp. 27e45). Cambridge, UK: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511975196.003.
93. Ganapathy N, Veeranki Y R, Swaminathan R 2020 Convolutional neural network based emotion classification using electrodermal activity signals and time-frequency features Expert Syst. Appl. 159 113571 https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113571
94. Ganapathy N, Veeranki Y R, Swaminathan R. Convolutional neural network based emotion classification using electrodermal activity signals and time-frequency features Expert Syst. Appl. 2020; 159, 113571, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113571

95. Geldreich EW. Further studies of the use of the galvanic skin response as a deception indicator. Trans. Kans. Acad. Sci. 1942; 45:279–284.

96. Geldreich EW. Studies of the use of the galvanic skin response as a deception indicator. Trans. Kans. Acad. Sci. 1941; 44:346–351.

97. Goodwin CJ. Research in Psychology—Methods and Design. New York: Wiley, 2010.

98. Groscurth P. Anatomy of sweat glands. Curr Probl Dermatol. 2002; 30:1-9. https://doi.org/10.1159/000060678

99. Hamlin A, et al. 2021 Assessing the feasibility of detecting epileptic seizures using non-cerebral sensor data Comput. Biol. Med. 2021; 130, 104232, https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104232

100. Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Springer, New York, NY, 2009, https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7

101. Hermann L, Luchsinger B. Uber die Secretionsstrome der Haut bei der Katze. Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere 1878; 17:310–319, https://doi.org/10.1007/BF01703411

102. Hira S, Furumitsu I. Polygraphic examinations in Japan: Application of the Guilty Knowledge Test in forensic investigations. International Journal of Police Science & Management 2002, 4:16–27.

103. Ho Tin Kam. Random Decision Forest (PDF). Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, QC, 14–16 August 1995. pp. 278–282.

104. Honts CR, Devitt MK, Winbush M, Kircher JC. Mental and physical countermeasures reduce the accuracy of the concealed knowledge test Psychophysiology 1996; 33:84–92, https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1996.tb02111.x

105. Hurley R A, Rice J, Conlon G, O'Hara L. Measuring physiological arousal towards packaging: tracking electrodermal activity within the consumer shopping environment J. Appl. Packag. Res. 2015; 7:39–47, https://doi.org/10.14448/japr.03.0004

106. Jaffee CL, Millman E, Gorman B. An attempt to condition an eyeblink response to verbal deception. Psychological Reports 1966, 19, 421–422, https://doi.org/10.2466/pr0.1966.19.2.421

107. Jaffee CL, Millman E, Gorman B. An attempt to condition an eyeblink response to verbal deception. Psychological Reports 1966, 19, 421–422, https://doi.org/10.2466/pr0.1966.19.2.421

108. James W. II – What is an emotion?, *Mind 1984;* os-IX (34):188-205, https://doi.org/10.1093/mind/os-IX.34.188

109. Janisse MP, Bradley MT. Deception, information and the pupillary response. Perceptual and Motor Skills 1980; 50:748-750.

110. Johnson LC, Lubin A. Spontaneous electrodermal activity during waking and sleeping. Psychophysiology 1966; 3:8–17, https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1966.tb02673.x

111. Kittsteiner C. Weitere Beiträge zur Physiologie des Schweissdrüsen und des Schweisses. Arch. f. Hygiene 1913; 78:275.

112. Klein Selle N, Verschuere B, Ben-Shakhar G. Concealed Information Test: Theoretical background. In J. P. Rosenfeld (Ed.), Detecting concealed information and deception: Recent developments (pp. 35–57). Elsevier Academic Press, 2018. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812729-2.00002-1

113. Klein Selle, N., Verschuere, B., Kindt, M., Meijer, E., & Ben-Shakhar, G. (2016). Orienting versus inhibition in the concealed information test: Different cognitive processes drive different physiological measures. Psychophysiology 2016; 53, 579e590. https://doi.org/10.1111/psyp.12583.

114. Klein Selle, N., Verschuere, B., Kindt, M., Meijer, E., & Ben-Shakhar, G. Unraveling the roles of orienting and inhibition in the concealed information test. Psychophysiology 2017; 54, 628e639. https://doi.org/10.1111/psyp.12825

115. Landis C, Dewick HN. The electrical phenomena of the skin (psychogalvanic reflex). Psychological Bulletin 1929; 26(2):64–119. https://doi.org/10.1037/h0072074

116. Landis C. Electrical phenomena of the skin. Psychological Bulletin 1932; 29(10):693–752. https://doi.org/10.1037/h0070960

117. Levinson DF, Edelberg R. Scoring criteria for response latency and habituation in electrodermal research: A critique. *Psychophysiology* 1985;22:417–426, https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1985.tb01626.x

118. Lim CL, Gordon E, Rennie C, Wright JJ, Bahramali H, Li WM, Clouston P, Morris JG. Dynamics of SCR, EEG, and ERP activity in an oddball paradigm with short interstimulus intervals. Psychophysiology. 1999 Sep; 36(5):543-51. PMID: 10442022.

119. Lim CL, Rennie C, Barry RJ, Bahramali H, Lazzaro I, Manor B, Gordon E. Decomposing skin conductance into tonic and phasic components. Int J Psychophysiol. 1997 Feb; 25(2):97-109. https://doi.org/10.1016/s0167-8760(96)00713-1.

120. Lubow R E, Fein O. Pupillary size in response to a visual guilty knowledge test: new technique for the detection of deception. Journal of Experimental Psychology: Applied 1996; 2:164-177.

121. Lukács G, Ansorge U. Response time concealed information test using fillers in cybercrime and concealed identity scenarios. Memory. 2023 Jul;31(6):767-783. https://doi.org/10.1080/09658211.2023.2195179.

122. Lykken DT. The GSR in the detection of guilt. Journal of Applied Psychology 1959; 43(6):385-388, https://doi.org/10.1037/h0046060

123. Lykken DT. The validity of the guilty-knowledge technique: the effects of faking. J Appl Psychol 1960; 44(4):258–262, https://doi.org/10.1037/h0044413

124. M. Khezri, M. Firoozabadi, A.R. Sharafat, Reliable emotion recognition system based on dynamic adaptive fusion of forehead biopotentials and physiological signals, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 122:2 (2015) 149-164, https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2015.07.006.

125. Marvin Minsky, Seymour A. Papert. Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry. The MIT Press 2017. https://doi.org/10.7551/mitpress/11301.001.0001

126. Mathôt S. Pupillometry: Psychology, Physiology, and Function. J Cogn. 2018 Feb 21;1(1):16. https://doi.org/10.5334/joc.18.

127. Meijer EH, Ben-Shakhar G, Verschuere B, Donchin E. A comment on Farwell (2012): brain fingerprinting: a comprehensive tutorial review of detection of concealed information with event-related brain potentials. Cogn Neurodyn 2012; https://doi.org/10.1007/ s11571-012-9217-x

128. Meijer EH, Verschuere B, Merckelbach H. Detecting Criminal Intent with the Concealed Information Test, The Open Criminology Journal 2010; 3:44-47, https://doi.org/10.2174/1874917801003010044

129. Meijer W, Selle N, Elber L, et al. Memory detection with the Concealed Information Test: A metaanalysis of skin conductance, respiration, heart rate, and P300 data. *Psychophysiology* 2014;51(9), https://doi.org/10.1111/psyp.12239

130. Meijer, E. H., Klein Selle, N., Elber, L., & Ben-Shakhar, G. (2014). Memory detection with the concealed information test: A meta analysis of skin conductance, respiration, heart rate, and P300 data. Psychophysiology, 51, 879-904. https://doi.org/10.1111/ psyp.12239.

131. Mitchell DA, Venables PH. The relationship of EDA to electrode size. Psychophysiology 1980; 17:408–412.

132. Montagu JD, Coles E M. Mechanism and measurement of the galvanic skin response. Psychological Bulletin 1966; 65:261–279, https://doi.org/10.1037/h0023204

133. Morling B. Research Methods in Psychology. New York: W. W. Norton & Company, 2018.

134. Munsterberg, H. On the witness stand. New York: The McClure Company 1908.

135. N. Ganapathy, Y.R. Veeranki, R. Swaminathan. Convolutional neural network based emotion classification using electrodermal activity signals and time-frequency features, Expert Systems with Applications, 159 (2020), 113571, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113571.

136. Nakayama M. Practical use of the concealed information test for criminal investigation in Japan. In M. Kleiner (Ed.), Handbook of polygraph testing (pp. 49–86). San Diego: Academic Press 2002.

137. National Research Council. The Polygraph and Lie Detection, Committee to Review the Scientific Evidence on the Polygraph, Division of Behavioral and Social Sciences and Education, Washington: The Nat. Acad. Press 2003, https://doi.org/10.17226/10420

138. Neumann DL, Waters AM. The use of an unpleasant sound as an unconditional stimulus in a human aversive Pavlovian conditioning procedure. Biol Psychol. 2006 Aug; 73(2):175-85. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.03.004.

139. Neumann DL, Waters AM, Westbury HR, Henry J. The use of an unpleasant sound unconditional stimulus in an aversive conditioning procedure with 8 to 11year-old children. Biological Psychology 2008; 79(3):337-342, https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2008.08.005

140. Neumann E, Blanton R. The early history of electrodermal research. Psychophysiology 1972; 6: 453-475. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1970.tb01755.x

141. Nies KJ, Sweet JJ. Neuropsychological assessment and malingering: A critical review of past and present strategies. Archives of Clinical Neuropsychology 1994; 9:501–552.

142. Nieuwenhuis S, de Geus E J, Aston-Jones G 2011 The anatomical and functional relationship between the P3 and autonomic components of the orienting response Psychophysiology 48 162–75, https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01057.x

143. Ohman A. Electrodermal activity and vulnerability to schizophrenia: a review. Biological Psychology 1981; 12, 87-145.

144. Ohman A. The orienting response, attention, and learning: An information processing perspective. In H. D. Kimmel, E. H. van Olst, & J. F. Orlebeke (Eds.), The orienting reflex in humans (pp. 443-472). Hillsdale, N. J.: Erlbaum, 1979.

145. Osugi A. Daily application of the concealed information test: Japan. In: Verschuere, B., Ben-Shakhar, G., Meijer, E. (Eds.), Memory Detection: Theory and Application of the Concealed Information Test. Cambridge University Press 2011, pp. 253–275. https://doi.org/10.1017/CBO9780511975196.015.

146. Palmiero M., Piccardi L. Frontal EEG Asymmetry of Mood: A Mini-Review. Frontiers in Behavioral Neuroscience 2017; 11, https://doi.org/10.3389/fnbeh.2017.00224

147. Pardilla-Delgado E, Payne JD. The Deese-Roediger-McDermott (DRM) Task: A Simple Cognitive Paradigm to Investigate False Memories in the Laboratory. J Vis Exp. 2017;(119):54793. https://doi.org/10.3791/54793.

148. Pavlidis I, Eberhardt NL, Levine JA. Seeing through the face of deception. Nature 2002; 415 , 35.

149. Pavlov IP (1897) The work of the digestive glands (translated by W. H. Thompson, 1902). Classics of Medicine Library, Birmingham (reprinted 1982)

150. Pavlov, I. P. (1927). Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex. Translated by G. V. Anrep. Oxford University Press. https://doi.org/10.5214/ans.0972-7531.1017309

151. Pedregosa F, Varoquaux G, Gramfort A, et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research* 2011; 12: 2825—2830.

152. Peth J, Suchotzki K, Gamer M 2016 Influence of countermeasures in the validity of the Concealed Information Test Psychophysiology 53 1429–40 10.1111/psyp.12690

153. Pollina DA, Dollins AB, Senter SM, Brown TE, Pavlidis I, Levine JA, Ryan AH. Facial skin surface temperature changes during a “concealed information” test. Annals of Biomedical Engineering 2006; 34:1182–1189.

154. Python 3.7.1 documentation. https://docs.python.org/3.7/. Accessed: 1 October, 2020.

155. Qasim MS, Bari DS, Martinsen ØG. Influence of ambient temperature on tonic and phasic electrodermal activity components. Physiol Meas. 2022 Jun 28;43(6). https://doi.org/10.1088/1361-6579/ac72f4.

156. Randjelovic V. Adaptive stimulation method in lie detection, The Intellectual Property Office of Serbia 2012; P-2012/0141.

157. Randjelovic V. Adaptivna stimulacija – nova metoda za psihofiziološko ispitivanje i detekciju laži. Bezbednost 2016; 2:54-72, https://doi.org/10.5937/bezbednost1602032R

158. Randjelovic V. Uređaj i metod za psihološko ispitivanje i detekciju laži primenom uslovljavanja adaptivnom stimulacijom, Zavod za intelektualnu svojinu Srbije, 2015; P-2015/0725, broj patenta: 57351.

159. Randjelovic V. Conditioning to True Content and Artificial Intelligence in Intention Recognition. International Journal of Psychophysiology 2024; 197, 112296, https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.112296

160. Randjelovic V. Interactive Slide Selection Algorithm and Machine Learning in Psychophysiological Memory Testing, Physiological Measurement 2023; 44 (2) 025004, https://doi.org/10.1088/1361-6579/acb756

161. Rao, C.R. The Utilization of Multiple Measurements in Problems of Biological Classification. Journal of the Royal Statistical Society 1948: Series B, 10:159-203.

162. Raskin, D.C. (1986). The polygraph in 1986: Scientific, professional, and legal issues surrounding applications and acceptance of polygraph evidence. Utah Law Review, 60, 29-74.

163. Roediger HL, McDermott KB. Creating false memories: Remembering words not presented in lists. J Exp Psychol: Learn Mem Cogn. 1995;21(4):803–814.

164. Rosenblatt F. The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. Psychological Review 1958; 65(6):386–408. https://doi.org/10.1037/h0042519

165. Rosenfeld JP, Cantwell B, Nasman VT, Wojdac V, Ivanov S, Mazzeri L. A modified, event-related potential-based guilty knowledge test. Int J Neurosci 1988; 42:157–161

166. Rosenfeld P. P300 in detecting concealed information and deception: A review. *Psychophysiology* 2019;57(7), https://doi.org/1111/psyp.13362

167. Roy JC, Boucsein W, Fowles DC, Gruzelier JH. *Progress in electrodermal research.* Plenum Press, 1993. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2864-7

168. Rumelhart D, Hinton G, Williams R. Learning representations by back-propagating errors. Nature 1986; 323:533–536. https://doi.org/10.1038/323533a0

169. Rushby JA, Barry RJ, Doherty RJ. Separation of the components of the late positive complex in an ERP dishabituation paradigm. Clinical Neurophysiology 2005; 116:2363–2380. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.06.008

170. Rushby JA, Barry RJ, Doherty RJ. Separation of the components of the late positive complex in an ERP dishabituation paradigm. Clinical Neurophysiology 2005, 116, 2363–2380. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.06.008

171. Sadeghi R et al. Sleep quality prediction in caregivers using physiological signals Comput. Biol. Med. 2019; 110:276–288, https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2019.05.010

172. Sato K, Leidal R, Sato F. Morphology and development of an apoeccrine sweat gland in human axillae. Am J Physiol. 1987 Jan; 252(1 Pt 2):R166-80. https://doi.org/10.1152/ajpregu.1987.252.1.R166.

173. Sato K, Sato F. Sweat secretion by human axillary apoeccrine sweat gland in vitro. Am J Physiol. 1987 Jan; 252(1 Pt 2):R181-7, https://doi.org/10.1152/ajpregu.1987.252.1.R181.

174. Saxe L, Ben-Shakhar G. Admissibility of polygraph tests: the application of scientific standards post-Dauber. Psychology, Public Policy and Law 1999; 5:203-223. https://doi.org/10.1037/1076-8971.5.1.203

175. Schnur DB, Bernstein AS, Yeager A, Smith S, Bernstein P. The relationship of the skin conductance and finger pulse amplitude components of the orienting response to season of birth in schizophrenia and depression. Biological Psychiatry 1995; 37:34-41.

176. Scikit-learn 0.23 documentation. https://scikit-learn.org/0.23/user_guide.html/. Accessed: 1 October, 2020.

177. SciPy 1.15.0 documentation. https://docs.scipy.org/doc/scipy-1.5.0/reference/. Accessed: 1 October, 2020.

178. Sechenov IM. Reflexes of the brain. Cambridge, Mass., M.I.T. Pres, 1965.

179. Shearer D, Mikulka P. Effect of facial familiarity and task requirement on electrodermal activity, American Journal of Psychology 1996; 109:131-137, https://doi.org/10.2307/1422930

180. Siddle D A T 1991 Orienting, habituation, and resource allocation: an associative analysis Psychophysiology 1991; 28:245–59, https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1991.tb02190.x

181. Skinner, B. F. Science and human behavior. New York: The Free Press, 1953.

182. Skinner, B. F. The Behavior of Organisms: An Experimental Analysis. New York: Appleton-Century, 1938.

183. Sokolov EN. Higher nervous functions: the OR. Annual Review of Physiology 1963; 25:545–580. https://doi.org/10.1146/annurev.ph.25.030163.002553

184. Sokolov EN. Perception and the Conditioned Reflex. Pergamon, Oxford, 1963.

185. Sokolov EN. The orienting reflex, its structure and mechanisms. In Orienting Reflex and Exploratory Behavior (Eds. Voronin, L. G., Leontiev, A. N., Luria, A. R., Sokolov, E. N. & Vinogradova. O. S.). (1965).

186. Squires NK, Squires KC, Hillyard SA. Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1975; 38(4):387–401. https://doi.org/10.1016/0013-4694(75)90263-1.

187. Sutton S, Braren M, Zubin J, John ER. Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. Science 1965; 150:1187–8 https://doi.org/10.1126/science.150.3700.1187

188. Sutton S, Braren M, Zubin J, John ER. Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. Science 1965; 150:1187–1188. https://doi.org/10.1126/science.150.3700.1187

189. Synnott J, Dietzel D, Ioannou M. A review of the polygraph: history, methodology and current status, Crime Psychology Review 2015, 1(1):59-83, https://doi.org/10.1080/23744006.2015.1060080

190. Tanner B, Aversive shock issues: Physical danger, emotional harm, effectiveness and “dehumanization”. Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry 1973; 4(2):113-115. https://doi.org/10.1016/0005-7916(73)90054-2.

191. Tarchanoff, J. Decharges e´lectriques dans la peau de l’homme sous l’influence de l’excitation des organes de sens et de differentes formes d’activite´ psychique´. *Comptes Rendus des Seances de la Societe de Biologie* 1889;41:447–451.

192. Tashfia A, Qassem M, Kyriacou P. Physiological monitoring of stress and major depression: a review of the current monitoring techniques and considerations for the future Biomed. Signal Process. Control 2022; 75, 103591, https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.103591

193. Taylor NA, Machado-Moreira CA. Regional variations in transepidermal water loss, eccrine sweat gland density, sweat secretion rates and electrolyte composition in resting and exercising humans. Extrem Physiol Med. 2013; 2(1):4, https://doi.org/10.1186/2046-7648-2-4

194. Tomash J, Reed P. The generalization of a conditioned response to deception across the public/private barrier. Learning and Motivation 2013; 44(3):196-203. https://doi.org/10.1016/j.lmot.2012.12.001

195. Tomash J, Reed P. Using conditioning to elicit skin conductance responses to deception. Learning and Motivation 2015; 49:31-37, https://doi.org/10.1016/j.lmot.2015.02.002

196. van der Schaaf ME, Schmidt K, Kaur J. et al. Acquisition learning is stronger for aversive than appetitive events. Commun Biol 2022; 5,302. https://doi.org/10.1038/s42003-022-03234-x

197. Venables PH, Mitchell DA. The effects of age, sex and time of testing on skin conductance activity. Biological Psychology 1996; 43(2):87-101, https://doi.org/10.1016/0301-0511(96)05183-6.

198. Verbaten MN. The influence of information on habituation of cortical, autonomic and behavioral components of the orienting response. In A. W. K. Gailard & W. Ritter (Eds.), Tutorials in ERP Research: Endogenous Components 1983; (pp. 201–216). Amsterdam: Elsevier

199. Verscheure B., Crombez G, Koster E, Clercqet A. Antisociality, underarousal and the validity of the Concealed Information Polygraph Test. Biological Psychology 2007; 74(3):309-318, https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.08.002

200. Verschuere B, Ben-Shakhar G, Meijer E, eds. Memory Detection: Theory and Application of the Concealed Information Test. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. https://doi.org/10.1017/CBO9780511975196

201. Verschuere B, Crombez G, Koster EH, Van Bockstaele B, De Clercq A. (2007). Startling secrets: Startle eye blink modulation by concealed crime information. Biological Psychology 2007; 76, 52-60. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2007.06.001.

202. Verschuere B, Crombez G, Smolders L, De Clercq A. Differentiating defensive and orienting responses to concealed information: The role of verbalization. Applied Psychophysiology and Biofeedback 2009; 34:237-244. https://doi.org/10.1007/s10484- 009-9093-2.

203. Vigouroux R. De la resistance Electrique comme signe clinique. *Progres Medicate,* 1879; 7:336.

204. Wang D, Miao D, Blohm G. A New Method for EEG-Based Concealed Information Test, IEEE Transactions on Information Forensics and Security 2013; 8(3): 520-527, https://doi.org/10.1109/TIFS.2013.2244884.

205. Z. Yin, M. Zhao, Y. Wang, et al. Recognition of emotions using multimodal physiological signals and an ensemble deep learning model. Comput. Methods Prog. Biomed. 140 (2017), 93–110, https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2016.12.005

206. Zheng X, Zhang M, Li T, Ji C, Hu B. A novel consciousness emotion recognition method using ERP components and MMSE. J Neural Eng. 2021 Apr 18;18(4). https://doi.org/10.1088/1741-2552/abea62. PMID: 33636711.

207. Zimmermann V, Wittmann J, Sparrer D, Mühlberger A, Shiban Y. The generalization of conditioned startle responses from known to unknown lies. Learning and Motivation 2017; 59:64-69. https://doi.org/10.1016/j.lmot.2017.05.002

208. Zimmermann V, Wittmann J, Sparrer D, Mühlberger A, Shiban Y. The generalization of conditioned startle responses from known to unknown lies. Learning and Motivation 2017; 59:64-69. https://doi.org/10.1016/j.lmot.2017.05.002

1.Prilog: ML modeli

Sledeći primer Python koda primenjen je za difinisanje modela koji su korišćeni u ovoj disertaciji.

```
# Metoda koja vraća listu definisanih modela
def get_models():
    models = list()

    # Definicija MLP modela
    models.append(MLPClassifier(hidden_layer_sizes=(16, 8),
                                    activation='relu',
                                    solver='adam',
                                    alpha=0.0001,
                                    batch_size='auto',
                                    learning_rate='constant',
                                    learning_rate_init=0.001,
                                    power_t=0.5,
                                    max_iter=2000,
                                    shuffle=True,
                                    random_state=None,
                                    tol=0.0001,
                                    verbose=False,
                                    warm_start=False,
                                    momentum=0.9,
                                    nesterovs_momentum=True,
                                    early_stopping=False,
                                    validation_fraction=0.1,
                                    beta_1=0.9,
                                    beta_2=0.999,
                                    epsilon=1e-08,
                                    n_iter_no_change=10,
                                    max_fun=15000))

    # Definicija kNN modela
    models.append(neighbors.KNeighborsClassifier(n_neighbors=5))

    # Definicija LDA modela
    models.append(LinearDiscriminantAnalysis())

    # Definicija RF modela
    models.append(RandomForestClassifier(random_state=8))
    return models
```

2. Prilog: Izračunavanje važnosti obeležja

Sledeći primer Python koda omogućava izračunavanje i prikaz važnosti obeležja koji je korišćen u ovoj disertaciji.

```
# Definisanje modela slučajne šume
model = RandomForestClassifier()
model.fit(trainX, trainY)
featureImportances = model.feature_importances_


# Sortiranje n abazi značaja obeležja
indices = range(len(feature_importances))
sorted_indices = sorted(indices, key=lambda i: feature_importances[i], reverse=True)


# Štampanje značaja obeležja
print("Značaj obeležja:")
for i in sorted_indices:
    print(f"Obeležje {i + 1}: {feature_importances[i]}")


# Istrtavanje grafika značaja obeležja
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.bar(range(X.shape[1]), feature_importances[sorted_indices], align="center")
plt.xticks(range(X.shape[1]), [f"Feature {i + 1}" for i in sorted_indices])
plt.xlabel("Obeležje")
plt.ylabel("Skor značaja obeležja")
plt.title("Značaj obeležja n abazi slučajne šume")
plt.show()
```

3. BIOGRAFIJA

Opšti podaci

Vladimir Ranđelović rođen je 05.10.1972. godine u Nišu. 1987. godine završio je osnovnu školu „21. maj“, dok je 1991. godine završio prirodno-matematičku gimnaziju „Svetozar Marković“ u Nišu. Osnovne studije završio je 2015. godine na Fakultetu informacionih tehnologija, Univerziteta Metropolitan i stekao zvanje inženjer informacionih tehnologija. 2018. godine stekao je zvanje diplomirani inženjer elektrotehnike i računarstva na Univerzitetu Singidunum, a zatim i zvanje master informatičara na istom univerzitetu.

Od 1991. godine radi na nizu projekata vezanih za biomedicinski inženjering, počev od medicinskog softvera za upravljanje zdravstvenim institucijama, preko razvoja hardvera i softvera za uređaje u fizikalnoj medicini, sve do razvoja hardvera i softvera na kompleksnim uređajima za neurofiziologiju i psihofiziologiju. Autor je više novih biomedicinskih metoda i uređaja koji su dobili međunarodne i nacionalne patente. Takođe, autor je i velikog broja biomedicinskih uređaja od domaćeg i međunarodnog značaja, kao i većeg broja naučnih radova.

Patenti

Međunarodni patenti

1. Ranđelović V., Apparatus For Underwater Muscle Stimulation, European Patent Office: EP 2 167 191 B1/2010.

Nacionalni patenti

1. Randjelovic V., Apparatus and Method for Adaptive Stimulation Conditioning in Psychological Examination and Lie Detection, The Intellectual Property Office of Serbia, 2015; P-2015/0725, patent number: 57351.
2. Ranđelović V., Apparatus For Relaxation Analysis In Bathtubs, The Intellectual Property Office of Serbia, 2007; P-2007/0308, patent number: 51589.

Mali patenti

1. Ranđelović V., USB therapy laser, Serbian Patent Office: MP-837/2006.
2. Ranđelović V., Light guide holder for laser probe, Serbian Patent Office: MP-836/2006.

Objavljene knjige

1. Ranđelović V. UNI Database System. Niš, Serbia: Ei Bull HN, 1994.
2. Ranđelović V, Tatić D, Ranđelović J. Computer Controlled Laser. Niš, Serbia: Ei Bull HN, 1994.

Poglavlja u knjigama

1. Ranđelović V, Tatić D, Ranđelović J. Kompjuterom kontrolisana terapija laserom, In: Jelena Mihaljev Martinov, urednik. Medicinska Informatika, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Novi Sad 1996. p.230-237.

Objavljeni radovi

1. Randjelovic V. Conditioning to True Content and Artificial Intelligence in Intention Recognition. International Journal of Psychophysiology 2024; 197, 112296, https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.112296
2. Randjelovic V. Interactive Slide Selection Algorithm and Machine Learning in Psychophysiological Memory Testing, Physiological Measurement 2023; 44 (2) 025004, https://doi.org/10.1088/1361-6579/acb756
3. Randjelovic V. Adaptivna stimulacija – nova metoda za psihofiziološko ispitivanje i detekciju laži. Bezbednost 2016; 2:54-72, https://doi.org/10.5937/bezbednost1602032R
4. Ranđelović V., Lazovć M. Biološki efekti magnetnog polja, Acta Fac.Med.Naiss. 1999; 16(4):209-216.
5. V. Ranđelović and A. Jevremović, Distributed Laser Therapy System, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2020, https://doi.org/10.15308/Sinteza-2020-120-127
6. V. Randjelovic, A. Jevremovic, "IoT Based Laser Therapy System and Multilayer Perceptron for the Recognition of the Therapy Protocols," 2019 14th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS), Nis, Serbia, 2019, pp. 129-132, https://doi.org/10.1109/TELSIKS46999.2019.9002023.
7. Lazarevi, Lj. B., Randjelović, V., Knežević, G., Ćeran, A., & Orlić, A. *The role of emotions in implicit processes*. 17th European Conference on Personality (ECP17). Lausanne, Switzerland, 15 -July 19, July 2014. Book of abstracts, p. 218.
8. Knežević, G., Randjelović, V., Lazarević, Lj. B., Ćeran, A., & Opačić, G. *Relations between basic personality traits and electro-dermal reactions on negative emotions provoking stimuli*. 17th European Conference on Personality (ECP17). Lausanne, Switzerland, 15 -July 19, July 2014. Book of abstracts, p. 217.
9. Ranđelović V., Vukuć D. Laser induced neural regeneration. Journal of the Neurological Sciencies 1997, 150(1):S326, https://doi.org/10.1016/S0022-510X(97)86496-9
10. Ranđelović V., Mladenović S., Grozdanović Z. Radioaktivnost vode Niške Banje, Balneoklimatologija 1996, Sup 2.
11. Ranđelović V., Tatić D. Primena kompjutera u terapiji nisko-reaktivnim laserom, Simpozijum o računarskoj nauci i informatici – YU INFO, 1995., Brezovica, Srbija.
12. Ranđelović V., Tatić D. *Computer Controlled Laser Therapy*, Yugoslav Congress of Medical Informatics, 1994, Novi Sad, Serbia.
13. Ranđelović V., Tatić D. *UNI Database System in Medical Applications*, Yugoslav Congress of Medical Informatics, 1994, Novi Sad, Serbia.

Realizovana nova tehnička rešenja na međunarodnom nivou

1. BathRelax BR33
   Kompanija: Kolpa, Slovenija, 2009.

Uređaj za za kontrolu različitih boja i intenziteta podvodnog svetla u zavisnosti od relaksacije koisnika.

2. WaterStim WS36
   Kompanija: Kolpa, Slovenija, 2009.
   Uređaj za podvodnu mišićnu stimulaciju.
3. ControlPanel CP31
   Kompanija: Kolpa, Slovenija, 2009.
   Uređaj za kontrolu hidromasažnih kada.
4. PsyCom PSY12
   Kompanija: Alon d.o.o. Ljubljana, Slovenija, 2012.
   Uređaj za biofeedback na bazi elektrodermalne aktivnosti.
   Povezuje se na računar preko USB porta. Softver pisan u Delphi 7 okruženju.
5. PsyCom PSY151
   Kompanija: Alon d.o.o. Ljubljana, Slovenija, 2012.
   Uređaj za psihofiziološko testiranje na bazi elektrodermalne aktivnosti, primenom predefinisanih testova. Povezuje se na računar preko USB porta. Softver pisan u Delphi 7 okruženju.

Realizovana nova tehnička rešenja na nacionalnom nivou

1. Computer Controlled Laser – CLL
   Kompanija: Ei Bull HN, 1995.
   Uređaj za laseroterapiju. Sastoji se iz ISA računarske ploče na koju se povezuje laserska sonda. Softver pisan u UNI Database System okrženju. Uređaj je dobio nagradu Diskobolos od JISA – Jedinstveni Informatički savez Srbije 1995 godine.
2. Computer Controlled Magnet – CCM
   Kompanija: Ei Bull HN, 1996.
   Uređaj za magnetoterapiju u fizikalnoj medicine. Uređaj se povezuje na računar preko ISA slota. Softver pisan u UNI Database System okruženju.
3. Myoscope M3
   Kompanija: Labra d.o.o., 2000.
   Uređaj za mišićnu i magnetnu stimulaciju. Povezuje se na računar preko paralelnog LPT porta. Softver je pisan u programskom Delphi 5 okruženju.
4. CentralStim v2.0
   Kompanija: ArtMedico d.o.o., 2000.
   Uređaj za aferentnu električnu stimulaciju za tretman šake pacijenata posle šloga. Povezuje se na računar preko paralelnog LPT porta. Softver pisan u Delphi 5 okruženju.
5. Laser Heal LH301 i ML 201
   Kompanija: ArtMedico d.o.o., 2003.

Uređaj za laseroterapiju. Povezuje se na računar preko serijskog RS232 porta. PC softver pisan u Delphi 6 okruženju. Mikrokontrolerski softver pisan u MikroC okruženju.

6. MagStim MS10 i ML10
   Kompanija: ArtMedico d.o.o., 2004.
   Uređaj za magnetoterapiju u magnetnom obruču. Povezuje se na računar preko RS232 porta. PC softver pisan u Delphi 6 okruženju. Mikrokontrolerski softver pisan u MikroC okruženju.
7. WaveStim WS20
   Kompanija: ArtMedico d.o.o., 2005.
   Uređaj za neuromišićnu i transkranijalnu magnetnu stimulaciju. Povezuje se na računa preko RS232 porta. Softver pisan u MikroC okruženju.
8. BioScope ES70
   Kompanija: ArtMedico d.o.o., 2006.
   Uređaj za neurološku i fizijatrijsku dijagnostiku i terapiju. Uključuje različite forme električne stimulacije, EMG, myofeedback, elektrodijagnostiku sa I-t krivom. Povezuje se na računar preko RS232 porta. Softver pisan u MikroC okruženju.

Interaktivni test skrivenih informacija: Nova metoda u psihofiziološkom testiranju sa primenom veštačke inteligencije

ORIGINALITY REPORT

1 %
SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	hdl.handle.net Internet	51 words — < 1%
2	Antonio Banganho, Marcelino Santos, Hugo Placido da Silva. "Electrodermal activity: Fundamental principles, measurement, and application", IEEE Potentials, 2022 Crossref	24 words — < 1%
3	Vladimir Randjelovic. "Conditioning to true content and artificial intelligence in psychophysiological intention recognition", International Journal of Psychophysiology, 2024 Crossref	19 words — < 1%
4	"Chapter 303135 PDQ-39SI", Springer Science and Business Media LLC, 2023 Crossref	11 words — < 1%
5	www.mdpi.com Internet	11 words — < 1%
6	www.researchgate.net Internet	11 words — < 1%

7	"El grado histológico es un mejor predictor de sobrevida específico que KI67 en cáncer de mama localizado RH+/HER2-: Un estudio del mundo real", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2023 Crossref Posted Content	9 words — < 1%
8	ipf.unbi.ba Internet	9 words — < 1%
9	fedorabg.bg.ac.rs Internet	8 words — < 1%
10	iopscience.iop.org Internet	8 words — < 1%
11	ir.canterbury.ac.nz Internet	8 words — < 1%
12	link.springer.com Internet	8 words — < 1%
13	IFMBE Proceedings, 2015. Crossref	7 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES	ON	EXCLUDE SOURCES	OFF
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY	ON	EXCLUDE MATCHES	OFF