

**RAZVOJ MERNO-INFORMACIONOG EEG SISTEMA ZA ISTRAŽIVANJE UTICAJA KOGNITIVNIH STANJA NA PROSTORNO RAZMIŠLJANJE I LOGIČKO REZONOVANJE****DEVELOPMENT OF A MEASUREMENT AND INFORMATION EEG SYSTEM FOR INVESTIGATING THE INFLUENCE OF COGNITIVE STATES ON SPATIAL THINKING AND LOGICAL REASONING**

Nemanja Peruničić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO**

**Kratak sadržaj** – *Ovaj rad se bavi analizom EEG (elektroencefalografskih) signala izmerenih tokom igranja video igrice Minolovac. Istraživanje se fokusira na inovativan pristup razumevanju toga kako kognitivni procesi utiču na performanse u igrici Minolovac. Podaci prikupljeni putem EEG-a korišćeni su za obuku modela baziranog na veštačkoj inteligenciji; tačnije na mašinskom učenju. Ovaj model ima zadatak da na osnovu EEG signala predviđa performanse igrača, konkretno: ishod igrice (pobeda ili poraz) i vreme potrebno za završetak (u sekundama).*

**Ključne reči:** *EEG talasni opsezi, mašinsko učenje, Python, kognitivna neuronauka*

**Abstract** – *This paper focuses on the analysis of EEG (electroencephalographic) signals measured during gameplay of the video game "Minesweeper". The research explores an innovative approach to understanding how cognitive processes influence performance in the "Minesweeper" game. Data collected through EEG were used to train an Artificial Intelligence model, specifically a Machine Learning model. This model's task is to predict player performance based on EEG signals, specifically: the game outcome (win or loss) and the completion time (in seconds).*

**Ključne reči:** *EEG bandwidth, machine learning, Python, cognitive neuroscience,*

**1. UVOD**

Video igrice su postale popularna forma zabave i kognitivnog izazova, čineći ih idealnim za proučavanje kognitivnih procesa, pažnje, regulacije emocija i učenja u dinamičnom okruženju.

Ovo istraživanje se fokusira na korišćenje EEG (elektroencefalografija) signala tokom igranja video igre Minolovac (*Minesweeper*) za predviđanje ishoda igre (pobeda ili poraz) i vremena potrebnog za završetak. Korišćen je AI (*Artificial Intelligence*) model baziran na ML (*Machine Learning*).

U svojoj celosti proces istraživanja je obuhvatao dizajn eksperimenta, prikupljanje EEG podataka tokom igranja, predobradu podataka radi uklanjanja šuma i artefakata,

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Platon Sovilj, red. prof.**

ekstrakciju relevantnih obeležja iz obrađenih EEG signala, te naprednu matematičku analizu za izvlačenje zaključaka.

Ovakav integrisani pristup omogućava bolje razumevanje veza između kognitivnih procesa i performansi tokom igranja video igrice, kao i razvoj metodologije za analizu kognitivnih stanja na osnovu EEG signala.

**2. EEG U VIDEO IGRICAMA****2.1 Značaj EEG-a u igricama**

EEG-a pomaže u unapređenju svih mogućih vrsta dizajna u video igricama, prilagođavanjem iskustava igračima, a isto tako doprinosi dijagnostikovanju i lečenju neuroloških oboljenja kao što su poremećaji pažnje i poremećaji vezani za stres.

Primena EEG-a u analizi video igrice donosi mnoge koristi. Omogućava nam da razumemo dubinu uronjenosti igrača i emocionalne reakcije kao što su uzbuđenje i stres. Takođe, analiza u realnom vremenu omogućava prilagođavanje igrice igračevom mentalnom stanju.

Iako puna potencijala, analiza EEG signala u video igricama nosi izazove, uključujući visoku varijabilnost podataka i etička pitanja privatnosti igrača.

*Brain-Computer Interface* pružaju viši nivo uronjenosti igračima, omogućavajući im kontrolu igre mislima. Analiza EEG-a pruža uvide u reakcije igrača u realnom vremenu, pomažući developerima da održe visok nivo angažovanosti igrača i ravnotežu između izazova i kognitivnog napora. Takođe, postoje i *neurofeedback* igre koje koriste EEG signale u terapeutske svrhe za poboljšanje kognitivnih funkcija.

Sve navedeno, a i više, može se videti u [1-6].

**2.2 EEG talasni opsezi**

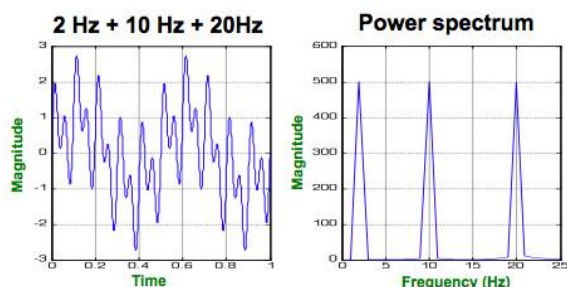
EEG koristi različite frekvencije električnih oscilacija za analizu moždane aktivnosti. Svaki opseg ima specifične karakteristike i povezan je sa različitim stanjima svesti i mentalnim procesima.

- *Alfa talasi* (8-13 Hz) su prisutni kada je osoba budna, ali opuštena, često se povezuju sa stanjem "lutajućeg uma" ili opuštenosti. Zatvaranje očiju ih pojačava.
- *Beta 1 talasi* (13-20 Hz) ukazuju na fokusiranu pažnju i kognitivnu angažovanost, posebno kod rešavanja problema i finih motoričkih veština.

- *Beta 2 talasi* (20-30 Hz) označavaju visoki nivo kognitivne obrade, strategijsko razmišljanje i preciznu motoričku kontrolu.
- *Gama talasi* (30-100 Hz) poboljšavaju percepciju, pažnju i memoriju, igrajući ključnu ulogu u senzornom procesiranju i integrisanju informacija.
- *Delta talasi* (0.5-4 Hz) se obično javljaju tokom dubokog sna, ali mogu ukazivati na umor ili oštećenu kognitivnu funkciju tokom budnih stanja.
- *Teta talasi* (4-8 Hz) su povezani sa opuštanjem, kreativnošću i procesima pamćenja.

### 2.3 Snaga EEG signala

Snaga EEG signala je ključna jer kvantifikuje jačinu neuronskih oscilacija u različitim frekventnim opsezima (Sl. 1), dok amplituda samo pruža opštu meru jačine signala bez razlikovanja doprinosa različitih frekventnijskih komponenti. Analiza snage u specifičnim frekventnijskim opsezima pruža uvid u relativno angažovanje različitih kognitivnih i neuronskih procesa.



Slika 1. EEG amplituda (vremenski domen) i snaga (frekventni domen)

Takođe, snaga EEG signala ima važnu temporalnu dinamiku, što znači da pokazuje kako se snaga neuronskih oscilacija menja tokom vremena. Ovo je ključno za proučavanje procesa kao što su pažnja, pamćenje i emocionalni odgovori, koji se dinamički menjaju tokom vremena.

Osim toga, EEG signali otkrivaju kompleksne interakcije između različitih frekvencija, što pomaže u razumevanju složenih odnosa između različitih kognitivnih procesa. To je posebno važno za razumevanje moždane aktivnosti tokom izazovnih zadataka kao što su video igre.

## 3. RESURSI ZA MERENJE – MINOLOVAC I EMOTIV

### 3.1 Osnovno o Minolovcu

Minolovac je klasična igra za jednog igrača koja zahteva logiku i dedukciju. Igra se na tabli sa kvadratima, a cilj je otkriti sve kvadrate bez mina. Igrači koriste brojeve na otkrivenim kvadratima kao tragove za lokaciju mina.

Ključ Minolovca je korišćenje brojeva za određivanje lokacije mina – koristi se proces eliminacije, putem logičke dedukcije bazirane na vizuelnom uočavanju i kratkoročnom pamćenju – za otkrivanje sigurnih kvadrata [7].

### 3.2 Uvek rešivi Minolovac

Ovakve verzije igrice garantuje da je svaka igrice rešiva bez nagađanja; igra se oslanja na logiku i dedukciju, omogućavajući igračima da pristupe svakoj igri sa uverenjem da postoji logičan put do pobeđe.

Analiziranje moždane aktivnosti tokom igre može pružiti uvid u kognitivne procese i rešavanje problema igrača. EEG podaci mogu otkriti kognitivno opterećenje, obrasci u neuronskoj aktivnosti i emocionalne reakcije igrača.

ML omogućava računarima da prave predviđanja na osnovu otkrivenih obrazaca u EEG podacima i statistici igrice. Korišćenje ML-a za predviđanje ishoda igre i vremena završetka uključuje prikupljanje podataka, prethodnu obradu, ekstrakciju obeležja i obuku modela.

Postoje izazovi kao što su odabir obeležja, modela i interpretacija rezultata, ali ML svakako može pružiti kvantitativne procene ishoda igre.

### 3.3 Emotiv

*Emotiv EPOC* je napredan neurotehnološki uređaj za snimanje i analizu moždanih signala. Ima verzije za istraživanje i potrošače, s naprednim karakteristikama za istraživače. Koristi se u igrama, virtualnoj realnosti, kognitivnim istraživanjima i neurofeedback terapiji. Omogućava kontrolu virtualnih objekata i interfejsa pomoću moždane aktivnosti. Specifikacije uključuju broj elektroda, senzore, bežično povezivanje, frekvenciju odabiranja, rezoluciju, žiroskop, akcelerometar, baterije i kompatibilnost s različitim platformama. *EmotivPRO* je specijalizovan softver za prikupljanje, analizu i istraživanje EEG podataka, s alatima za obradu i vizualizaciju.

## 4. PROCESIRANJE SIGNALA

### 4.1 Prozoriranje

Prozoriranje i matrica obeležja su ključni koncepti u analizi EEG-a i ML-u. Prozoriranje je tehnika koja se koristi za segmentaciju EEG signala, tj. za deljenje signala na manje segmente, ili "prozore", koji se mogu, ali ne moraju, preklapati. Ova tehnika omogućava analizu EEG signala u zasebnim vremenskim intervalima, što je posebno korisno jer EEG signali mogu obuhvatiti duže periode. U opštem slučaju, prozoriranje omogućava izdvajanje specifičnih događaja ili stimulusa iz signala radi analize, čime se pruža dublji uvid u moždanu aktivnost tokom određenih događaja.

### 4.2 Matrica obeležja

Matrica obeležja, s druge strane, igra ključnu ulogu u organizaciji numeričkih EEG informacija za primenu ML-a. U ovoj matrici, svaki red predstavlja različiti uzorak EEG podataka, dok svaka kolona predstavlja određeno obeležje ili karakteristiku tog uzorka. Obeležja mogu uključivati statističke merne vrednosti ili druge informacije izvedene iz EEG podataka.

Kada se koristi u kombinaciji sa vektorima klasa, koji označavaju kategorije ili klase kojima svaki uzorak pripada, matrica obeležja omogućava obučavanje ML modela da nauči kako da klasifikuje ili predviđa određene ishode na osnovu EEG podataka.

### 4.2 Klasifikacija i regresija

Klasifikacija i regresija su dve osnovne tehnike u analizi podataka i ML-u – obe tehnike su moćni alati bazirani na sličnim osnovama, ali se primenjuju u različitim scenarijima u zavisnosti od prirode problema.

Klasifikacija se koristi kada želimo da dodelimo ili klasifikujemo uzorke ili podatke u diskretne kategorije ili

klase. Ova tehnika je idealna kada je ishod problema koji želimo da rešimo kategoričan ili diskretan, kao što su "da" ili "ne", "A", "B", ili "C", ili "bolesno" ili "zdravo".

U kontekstu Minolovac igrice: klasifikacija se može koristiti za predviđanje ishoda igre; da li će igrač pobediti ili izgubiti.

Regresija se primenjuje kada želimo da predviđamo numeričke vrednosti ili kontinuirane rezultate. Ova tehnika je korisna kada je ishod problema numerički, kao što su npr. vreme, temperatura, cena ili udaljenost.

U kontekstu Minolovac igrice: regresija se može koristiti za predviđanje vremena (u sekundama) koje je potrebno igraču da završi igru.

Razlika u upotrebi ove dve tehnike može se najbolje razumeti na jednostavnom primeru:

- Klasifikacija – ako želimo da predviđamo da li će sutra padati kiša ili ne, koristili bismo klasifikaciju – ona bi nas svrstala u dve klase, npr. "kiša" ili "bez kiše".
- Regresija – ako želimo da predviđamo koliko centimetara kiše će pasti sutra, koristili bismo regresiju – koja bi nam dala npr. "25 cm kiše".

## 5. IMPLEMENTACIJA SISTEMA

### 5.1 Modeli za predikciju ishoda igre

U okviru istraživanja predviđanja ishoda partija Minolovca, jedan od fokusa je bio na primeni različitih modela kako bi se analizirale i uporedile njihove performanse. Dalje slede tri ključna klasifikaciona modela koja su bila korišćena:

- Klasifikator na bazi potpornih vektora SVC (*Support Vector Classifier*) je model koji se oslanja na princip maksimizacije razmaka između različitih klasa podataka. U našem eksperimentu, SVC je pokazao pristojne rezultate u predviđanju ishoda partija.
- Klasifikator na bazu stabla odlučivanja DTC (*Decision Tree Classifier*) je model koji se bazira na stablu odlučivanja i koristi hijerarhijski pristup za klasifikaciju podataka. U našem istraživanju, ovaj model je takođe pokazao solidne rezultate, ali nije se izdvajao kao najbolji izbor. DTC može biti sklon preprilagođavanju podacima, što može rezultirati manjom tačnošću na novim podacima.
- Klasifikator baziran na slučajnoj šumi RFC (*Random Forest Classifier*) je ansambl model koji se sastoji od više stabala odlučivanja. U našem eksperimentu, RFC se izdvojio kao ubedljivo najbolji model za predviđanje ishoda partija. Pokazao je visoku tačnost i generalizaciju na novim podacima. RFC ima sposobnost da izbegne preprilagođavanje i pruža stabilne performanse.

### 5.2 Modeli za predikcija vremena završetka

U delu za predviđanje vremena završetka partije, detaljno su se analizirala tri različita regresiona modela:

- *Theil-Sen* regresija (TSR) je jednostavan, neparametarski pristup, koji se oslanja na rangiranju podataka. Ovaj model se ističe po svojoj sposobnosti da se efikasno nosi s prisustvom *outlier*-a i prilagođava nehomogenim varijacijama u podacima.

Ova karakteristika je ključna s obzirom na raznolikost u trajanju i složenosti partija.

- Regresija na bazi gradijentnog pojačanja GBR (*Gradient Boosting Regressor*) predstavlja ansambl tehniku koja kombinuje više slabih modela kako bi se formirao snažniji prediktivni model. U kontekstu predviđanja vremena završetka, ovaj model se pokazao korisnim zbog svoje sposobnosti za hvatanje složenih interakcija između različitih faktora koji utiču na trajanje partije.
- Regresivna neuronska mreža sa višeslojnim perceptronima MLP (*Multiple Layer Perceptron*) – neuronske mreže su dubinski modeli koji su u mogućnosti da nauče složene neparametarske funkcije iz podataka. Međutim, u našem eksperimentu primetili smo da je MLP davao ubedljivo najslabije rezultate.

## 5.3 Dodatna podešavanja modela

U eksperimentu su preduzeti razni koraci kako bi se poboljšale performanse svih modela. Rađena je optimizacija hiperparametara u cilju sistematskog pronalaženja najboljih parametara kroz pretragu različitih kombinacija. Skalirani su i obeležja radi standardizacije i normalizacije ulaznih podataka.

Balansiranje podataka – generisani su veštački podaci dodavanjem malih varijacija postojećih podataka. Time se postiže bolja ravnoteža između klasa, poboljšavajući sposobnost modela da predviđa obe klase ishoda.

Na Sl. 2 su prikazane evaluacije rezultata samo jednog od mnogih pokretanja eksperimenta. U tom konkretnom slučaju korišćeni su DTC i TSR. U realnosti, izbor modela zavisiće od obima i kvaliteta dostupnih podataka, željene preciznosti predikcije i raspoloživih računarskih resursa za obuku i primenu modela.

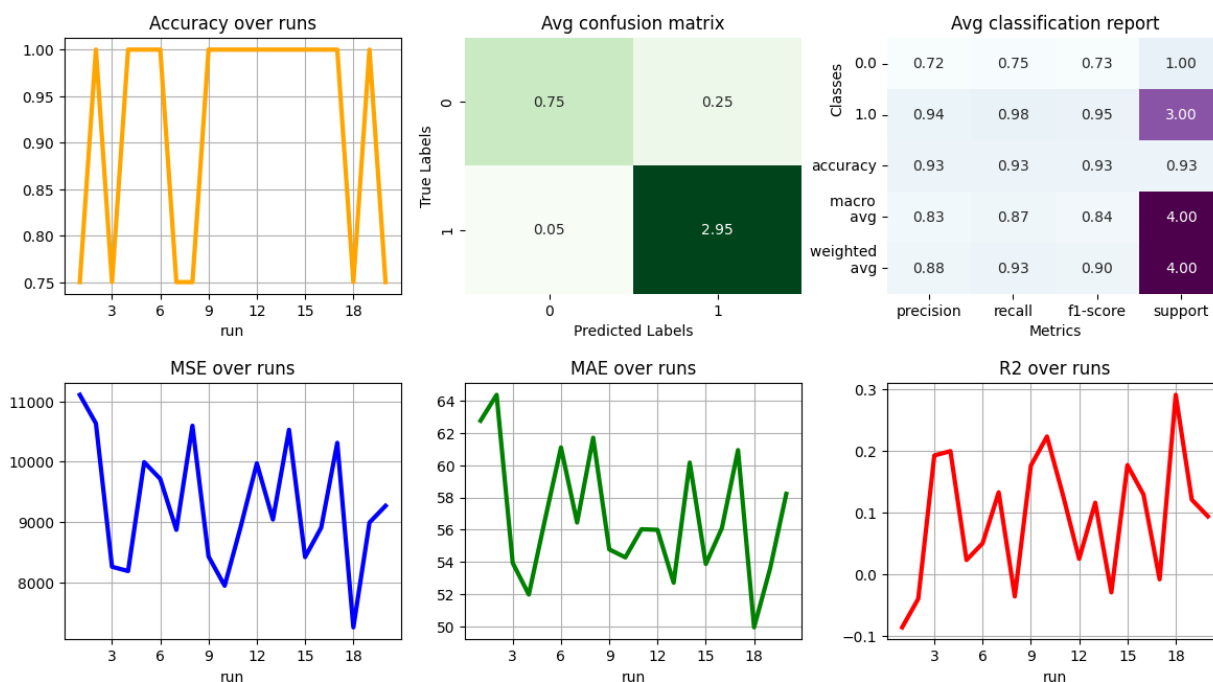
Svi modeli su realizovani putem programskog jezika Python – i u kodu postoji mnoštvo dodatnih parametara, koji služe da omoguće još detaljniju kontrolu modela. Upotreba određenih parametara, kao što su stratifikacija i kontrola pseudoslučajnog generatora, igra ključnu ulogu u uticaju ovih modela. Stratifikacija je korisna za očuvanje proporcija klasa u skupu podataka, dok kontrola generatora doprinosi reproducibilnosti eksperimenta.

Tu se mora uzeti u obzir da li je neka kombinacija raznih parametara realna, tj. validna – na spomenutoj slici su prikazani "realniji" rezultati (kroz 20 iteracija) – pošto je putem koda bilo veoma lako doći idealne klasifikacije.

Što se tiče regresije, problem je bio u jako malom skupu podataka – te je jedno konkretno merenje (koje je dosta odstupalo od ostalih) uvek pravilo probleme modelima. Njegovo postojanje vuče sve metrike nadole, iako su zapravo modeli bili u stanju da predvide vremena završetka za sve ostale podatke – kod njih je prosečno odsupanje bilo na oko 20 %, tj. model bi npr. predvideo 120 s, dok je stvarna vrednost bila 100 s.

## 6. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja pokazuju da EEG signali itekako mogu biti pokazatelji određenih ishoda.



Slika 2. Grafički prikaz rezultata evaluacije predikcije klasifikatora (gore) i regresora (dole)

Pored toga, uspešna primena ML-a za predviđanje ishoda igre i vremena završetka pruža mogućnost razvoja personalizovanih sistema povratnih informacija. Ovi sistemi mogu pomoći igračima da unaprede svoje veštine i donose bolje odluke tokom igre.

Analiza EEG signala izmerenog tokom igranja Minolovca može otvoriti vrata novim mogućnostima u interaktivnoj zabavi i pružiti vredne uvide u različite aspekte interakcije čoveka i računara. EEG tehnologija se potvrđuje kao pouzdan alat za praćenje kognitivnih aktivnosti, što je korisno u različitim aplikacijama, uključujući napredne sisteme za interakciju sa mozgom, procenu mentalnog zdravlja i rehabilitaciju.

## 7. LITERATURA

- [1] Jihyeon Ha, Wanjo Park, Sang In Park, Chang-Hwan Im, Laehyun Kim, EEG response to game-craving according to personal preference for games, *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, Volume 16, Issue 9, October 2021, Pages 995–1005, <https://doi.org/10.1093/scan/nsaa131>
- [2] Choi E, Shin SH, Ryu JK, Jung KI, Kim SY, Park MH. Commercial video games and cognitive functions: video game genres and modulating factors of cognitive enhancement. *Behav Brain Funct.* 2020 Feb 3;16(1):2. doi: 10.1186/s12993-020-0165-z. PMID: 32014027; PMCID: PMC6996164.
- [3] Liao, Lun-De & Chen, Chi-Yu & Wang, I-Jan & Chen, Sheng-Fu & Li, Shih-Yu & Chen, Bo-Wei & Chang, Jyh-Yeong & Lin, Chin-Teng. (2012). Gaming control using a wearable and wireless EEG-based brain-computer interface device with novel dry foam-based sensors. *Journal of neuroengineering and rehabilitation.* 9. 5. 10.1186/1743-0003-9-5.
- [4] Chen, D., James, J., Bao, F.S., Ling, C., Fan, T. (2016). Relationship Between Video Game Events and Player Emotion Based on EEG. In: Kurosu, M. (eds) *Human-Computer Interaction. Novel User Experiences. HCI 2016. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 9733. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39513-5\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39513-5_35)
- [5] Ren, Shen & Babiloni, Fabio & Thakor, Nitish & Bezerianos, Anastasios. (2016). Real-Time Workload Assessment Using EEG Signals in Virtual Reality Environment. 10.1007/978-3-319-32703-7\_259.
- [6] L. Wang, X. Ding, W. Zhang and S. Yang, "Differences in EEG Microstate Induced by Gaming: A Comparison Between the Gaming Disorder Individual, Recreational Game Users and Healthy Controls," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 32549-32558, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3060112.
- [7] Becerra, D.J. (2015). Algorithmic Approaches to Playing Minesweeper.

### Kratka biografija



**Nemanja Peruničić** rođen je u Kruševcu 1998. godine. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na smeru Biomedicinsko Inženjerstvo 2021. godine. Master rad iz oblasti sistema mašinskog učenja u kognitivnim neuronaukama, odbranio je 2023. godine.