

# Detekcija epileptičkih faza pedijatrijskih pacijenata singularnom dekompozicijom elektroencefalografskih signala

Tamara Skoric

Departman za Energetiku, elektroniku i telekomunikacije  
Fakultet tehnički nauka  
Novi Sad, Srbija  
tamara.ceranic@gmail.com

Dragana Bajic

Departman za Energetiku, elektroniku i telekomunikacije  
Fakultet tehnički nauka  
Novi Sad, Srbija  
dragana.bajic@gmail.com

*Sažetak*— Epilepsija je oboljenje koje pogada milione odraslih ljudi i dece. Detekcija i predikcija epileptičkih napada je važan dijagnostički segment. Dostupna rešenja podrazumevaju ekstrakciju karakteristika elektroencefalogramskog signala (EEG), najčešće zasnovana na veštačkoj inteligenciji. U ovom radu je ispitana mogućnost prepoznavanja različitih stanja EEG signala pedijatrijskih pacijenata obolelih od epilepsije: preiktalnog (stanje pre napada), iktalnog (napad), i postiktalnog (posle napada). Razvijena metoda je zasnovana na dekompoziciji EEG podataka na singularne vrednosti i testirana je na signalima 23 pedijatrijska pacijenta iz javno dostupne baze podataka CHB-MIT. Preiktalno stanje je detektovano u 92.25% slučajeva, što je važno jer pedijatrijski subjekti ne znaju uvek da prijave simptome napada pa im je uskraćena medicinska pomoć. Prednost metode je što nije potrebna baza podataka kao za tehnike mašinskog učenja.

*Gljučne riječi-dekompozicija matrice na singularne vrednosti; EEG; epilepsija; (key words)*

## I. UVOD

Po procenama Svetske zdravstvene organizacije preko 50 miliona ljudi u svetu ima epilepsiju, dok 70% od ukupnog procenjenog broja ne doživljava napade ukoliko je data odgovarajuća dijagnoza i terapija. Adekvatna terapija protiv epileptičnih napada zasniva se na subjektivnoj proceni ozbiljnosti napada koja je često netačna [1]. Dodatno, procenjeno je da preko 30% pacijenata pod terapijom nema efektivnu kontrolu aktivnih napada. Posebno ranjiva grupa su pedijatrijski pacijenti i novorođenčad, koji nisu u stanju da tačno predvide napade na osnovu subjektivnih simptoma kao što je umor, zamućen pogled, pospanost i da obaveste negovatelje [2]. Stoga je mogućnost predviđanja napada upravo za njih od velike važnosti, jer omogućava adekvatan medicinski odziv koji će ublažiti intenzitet nastupajućeg napada.

Razvoj algoritama za detekciju napada ili predviđanje napada koji su bazirani na tehnikama mašinskog učenja kod odraslih i kod pedijatrijskih slučajeva su tema mnogobrojnih studija (neke od njih su [3]-[6]). Predikcija i detekcija napada je

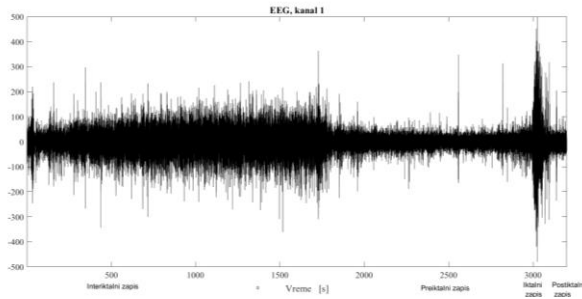
bazirana na elektroencefalogramu (EEG), koji može da se snima neinvazivno preko glave pacijenta (takozvani scalp EEG) ili invazivno iz kortikalnih i dubokih moždanih struktura (intrakranijalni EEG signal, iEEG). Iako iEEG zahteva jednostavnije algoritme za obradu zato što nema artefekte koji su posledica kontrakcije mišića lobanje, njegovo snimanje izvan kliničkih uslova nije moguće [2, 6].

Kod pacijenata sa epileptičnim napadima razlikujemo četiri stanja EEG signala: preiktalno stanje (period pre napada), iktalno stanje (period u kome traje napad), postiktalno stanje (period posle napada), interiktalno stanje (normalno stanje mozga, koje ne sadrži napade niti iktalna stanja pre i posle napada). Na Slici 1 prikazan je EEG signal koji sadrži sva četiri stanja, snimljen na prvom od 23 kanala EEG zapisa. Prikazani signal je preuzet iz javno dostupne baze podataka CHB-MIT [7, 8].

Radovi koji se bave detekcijom EEG stanja posvećeni su detekciji samog napada (iktalno stanje). Najčešće se primenjuju tehnike mašinskog učenja, a potrebni parametri se po pravilu procenjuju iz samo jednog kanala. Cilj ovog rada je da ispita mogućnost prepoznavanja i preiktalnog i postiktalnog stanja, i to na osnovu parametara procenjenih na bazi svih kanala snimljenog EEG signala. Kao osnova je iskorišćen rad [9] gde je razvijena metoda za detekciju iktalnog stanja na osnovu dekompozicija EEG podataka na singularne vrednosti. Ovakva metoda je pogodna jer paralelno višekanalno snimanje EEG podataka omogućava njihov matrični zapis. Za detekciju iktalnog stanja je iskorišćena razlika između Euklidske norme singularnih vrednosti EEG signala za vreme napada u odnosu na interiktalno stanje [9].

## II. SIGNALI

Elektroencefalografski signali koji se koriste u ovom radu neinvazivno su snimani na pedijatrijskim subjektima koji imaju epileptične napade. Subjekti su bili starosti od 2 do 22 godine. Snimanje je vršeno nekoliko dana nakon isključenja terapijskih lekova protiv epileptičnih napada da bi se okarakterisali napadi i procenila potreba za hirurškom intervencijom. Snimanja su



Slika 1. Prikaz EEG signala snimljenog prvim kanalom. Korišćena je baza CHB-MIT [7, 8].

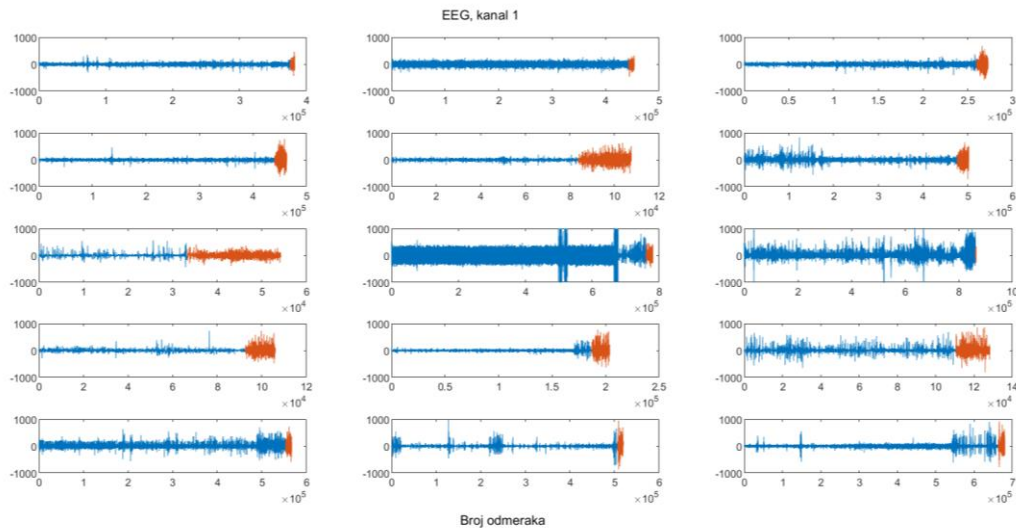
vršena i noću i danju. Podaci uključuju snimanje na 23 pedijatrijska pacijenta (18 ženskog roda i 5 muškog), od čega su 2 u periodu ranog detinjstva (između rođenja i 2 godine starosti), 12 su deca (od 2 do 12 godina), 6 adolescenti (od 12 do 17 godina) i 3 mladi odrasli (od 18 do 22 godine).

EEG signali su snimani u Dečijoj bolnici u Bostonu, sa 23 elektrode postavljene na glavu pedijatrijskih subjekata. Učestanost odabiranja je bila 256 Hz, a rezolucija 16 bita [7, 8]. Podaci su dostupni u otvorenom Evropskom format (edf), konvertovani u mat fajlove radi dalje analize. Ukupan broj edf fajlova je bio 664, od kojih je 129 sadržalo jedan ili više napada. Početak i kraj svakog napada označili su medicinski eksperti.

EEG podaci u ovom istraživanju deo su CHB-MIT baze [7, 8], a dostupni su na PhysioNet website: <http://physionet.org/physiobank/database/chbmit/>.

Predobrada signala vršena je uobičajenim filtrima, za niže učestanosti Butterworth-ovim filtrom prvog reda a za visoke učestanosti eliptičkim filterom šestog reda [10, 11].

Na Slici 2 prikazani su EEG podaci snimljeni na 15 pedijatrijskih subjekata. Narandžastom bojom označen je iktalni deo (period napada). Razlika amplituda EEG signala između preiktalnog i iktalnog stanja nije izražena kod nekih od pacijenata, tako da detekcija samo na osnovu amplituda ne predstavlja rešenje.



Slika 2. Prikaz EEG signala snimljenog prvim kanalom za 15 različitih pedijatrijskih subjekata. Narandžasta boja označava iktalno stanje (period napada).

### III. SINGULARNE VREDNOSTI EEG SIGNALA

Dekompozicija matrice na singularne vrednosti (SVD) se pokazala kao koristan alat za detekciju epileptičnih napada na osnovu EEG podataka [9]. EEG signali se snimaju paralelno sa  $M$  kanala, što omogućava da se formira matrica podataka. Naime, EEG podaci se dele na nepreklapajuće prozore dužine  $L$  odmeraka i tako se formira matrica  $\mathbf{A}$  dimenzija  $M \times L$ . Dekompozicija matrice  $\mathbf{A}$  na singularne vrednosti data je u skladu sa [12, 13]:

$$\mathbf{A} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{V}^T = \sum_{i=1}^r s_i \cdot \mathbf{U}_i \cdot \mathbf{V}_i^T, \quad r \leq \min(M, L). \quad (1)$$

U jednačini (1),  $T$  označava transponovanje a  $r$  rang matrice. Matrice  $\mathbf{U}$ ,  $\mathbf{V}$  i  $\mathbf{S}$  su:

$\mathbf{U}$  – ortogonalna matrica ( $M \times M$ ) sa kolonama  $\mathbf{U}_i$  –sopstveni vektor proizvoda  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^T$ ;

$\mathbf{V}$  – ortogonalna matrica ( $L \times L$ ) sa kolonama  $\mathbf{V}_i$  –sopstveni vektor proizvoda  $\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A}$ ;

$\mathbf{S}$  – matrica ( $M \times L$ ) se sastoji od singularnih vrednosti  $s_i$ ,  $i = 1, \dots, r$ , na glavnoj dijagonali, dok su ostali elementi matrice jednaki nuli. Singularne vrednosti su poredane od veće ka manjoj na glavnoj dijagonali.

Prvih  $r$  singularnih vrednosti matrice  $S$  predstavljaju raspodelu njene energije i mogu da prate promene koje nastaju usled epileptičnog napada u EEG signalu [9].

U analizu su uključeni svi paralelno snimljeni kanali jednog EEG signala. Dužina prozora je 1s, ( $L=256$ ). Ova vrednost je preporučena u [9] i obezbeđuje stacionarnost signala unutar prozora. Za razliku od [9] gde je posmatrano  $r$  singularnih vrednosti, u ovom radu Euklidska norma je računata u odnosu na prvu singularnu vrednost (najveću singularnu vrednost) svakog prozora posmatrane matrice.

Za referentni signal interiktalnog stanja na osnovu koga se prate promene na singularnim vrednostima odabran je EEG signal snimljen po danu, u budnom stanju normalne aktivnosti rada mozga.

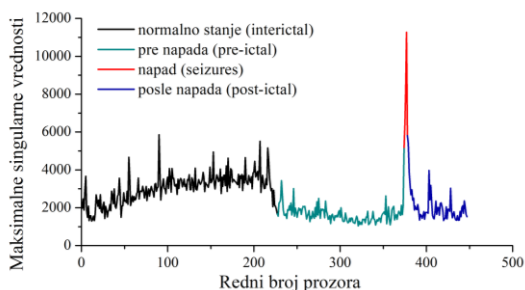
#### IV. REZULTATI

Maksimalne singularne vrednosti EEG signala čiji je prvi kanal prikazan na Slici 1 prikazane su na Slici 3, s tim što su interiktalni i preiktalni segmenti skraćeni da segment samog napada ne bi bio nesrazmerno kratak. Različita stanja su prikazana različitim bojama. Za ovaj sigal je karakteristično postojanje jasne razlike između interiktalnog, preiktalnog, iktalnog i postiktalnog stanja. Maksimalne singularne vrednosti najnižu vrednost imaju u periodu pre napada (preiktalno stanje), dok najveću vrednost imaju za vreme napada (iktalno stanje).

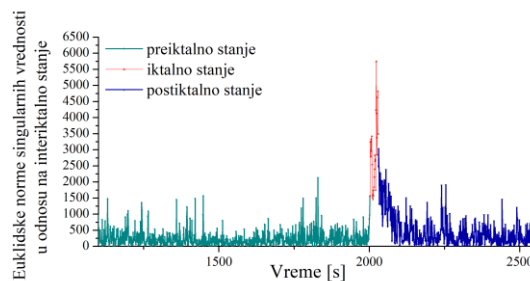
Euklidska norma u odnosu na interiktalno stanje za jedan signal prikazana je na Slici 4. Primetne su niže vrednosti relativnih Euklidskih normi kod preiktalnog stanja, dok je najviše odstupanje u periodu napada (iktalnog stanja).

Slika 5 prikazuje usrednjene Euklidske norme u odnosu na referentno interiktalno stanje za svaki signal posebno. Usrednjeni su prozori preiktalnog i postiktalnog stanja neposredno pre i posle napada, a broj prozora je ravan broju prozora tokom samog napada. Signali su sortirani prema rastućim normama za preiktalno stanje.

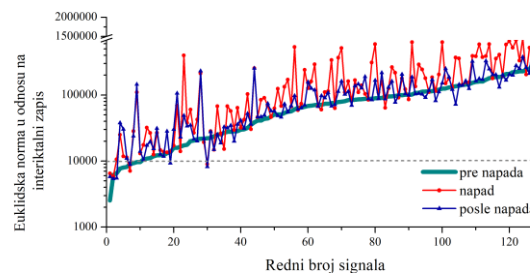
Za izabranu vrednost praga (na Slici 5 označeno sivom isprekidanom linijom), na podacima iz celokupne CHB-MIT baze podataka, preiktalno stanje se detektuje u 92.25% slučajeva. Kod subjekata sa uspešno detektovanim preiktalnim stanjem u 18.49% slučajeva epileptički napad ima manju



Slika 3. Prikaz maksimalne singularne vrednosti u interiktalnom stanju (crna boja), period pre napada (zeleno), period napada (crveno) i period posle napada (plavo).



Slika 4. Prikaz Euklidske norme u odnosu na interiktalno stanje za preiktalno stanje (zeleno), iktalno stanje (crveno) i postiktalno stanje (plavo).



Slika 5. Euklidske norme u odnosu na interiktalno stanje sortirane prema rastućim preiktalnim vrednostima za preiktalno stanje (zeleno), iktalno stanje (crveno) i postiktalno stanje (plavo). Siva isprekidana linija predstavlja prag na osnovu kojeg se detektuje preiktalno stanje.

Euklidsku normu što znači da neće biti detektovan. Postiktalno stanje ima manju Euklidsku normu u odnosu na preiktalno stanje u 33.61% slučajeva. Ako se poredi iktalno i postiktalno stanje, u oko 50% slučajeva postiktalne Euklidske norme su značajno manje nego iktalne, ali u 50% slučajeva nisu, pa njihovo poređenje ne dovodi do pouzdanog zaključka.

Na osnovu dobijenih rezultata može se uočiti da se preiktalno stanje detektuje sa velikom verovatnoćom. Verovatnoća detekcije epileptičnog napada je takođe visoka, a treba uzeti u obzir i da je obeležavanje napada na signalu subjektivna procena lekara koji posmatra signal, a ne pacijenta. Konačno, postiktalni period se detektuje sa manjom verovatnoćom ako se posmatraju samo Euklidske norme, ali ako se u detekciju uključi i prosečno trajanje napada, verovatnoća detekcije raste.

#### V. ZAKLJUČAK

Doprinos rada je ispitivanje mogućnosti upotrebe dekompozicije EEG podataka na singularne vrednosti sa ciljem prepoznavanja preiktalnog stanja (stanje pre napada), iktalnog stanja (stanje napada) i postiktalnog stanja (stanje posle napada). Najvažniji doprinos je da predložena metoda na ispitivom uzorku detektuje preiktalno stanje u 92.25% posmatranih EEG podataka pedijatrijskih slučajeva. Ovaj rezultat je od velikog

značaja jer bebe i mala deca ne mogu da primete ili shvate simptome nadolazećeg napada, pa samim tim ni da ih prijave. Detekovano preiktalno stanje omogućava medicinsku intervenciju koja sprečava napad ili umanjuje njegov intenzitet.

Prednosti ove metode su u tome što, nakon izbora referentnog signala, ne zahteva postojanje baze podataka koja bi bila neophodna za tehnike mašinskog učenja, već je dovoljan samo signal. Mana je što su za analizu potrebni signali sa svih EEG kanala.

Nastavak rada na ovom problemu uključuje optimizaciju broja elektroda, odnosno ispitivanje mogućnosti da se isti rezultat dobije sa manjim brojem kanala. Nadalje, radiće se na optimizaciji dužine prozora, kao i na optimizaciji dužine segmenata za usrednjavanje Euklidskih normi. Ispitaće se mogućnost uvođenja još nekog parametra, na primer entropije.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je delimično finansiran grantom 451-03-68/2023-14/200156 (TR32040) Ministarstva prosvete, nauke i tehnološki razvoj Republike Srbije. Istraživanje je izvršeno pod okriljem EU COST akcija CA20124 – Maximising impact of multidisciplinary research in early diagnosis of neonatal brain injury (AI-4-NICU) i CA20120 – Intelligence-Enabling Radio Communications for Seamless Inclusive Interactions (INTERACT) - VT-IoT-Health.

#### LITERATURA

- [1] P. Patel, V. Ferastraoaru, D. Gold, A. Lipnick, R. Jehle, SR Haut, "Clinical characterization of the pre-ictal state in the pediatric population: A caretaker's perspective," *Epilepsy Behavior*, pp. 193-197, May 2017.
- [2] A. Shoeb, John Gutttag. Application of Machine Learning to Epileptic Seizure Onset Detection. 27th International Conference on Machine Learning (ICML), June 21-24, 2010, Haifa, Israel.
- [3] S. M. Usman, S. Khalid and M. H. Aslam, "Epileptic seizures prediction using deep learning techniques," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 39998-40007, 2020.
- [4] A. Shahid, N. Kamel, A. S. Malik and M. A. Jatoi, "Epileptic seizure detection using the singular values of EEG signals," *ICME International Conference on Complex Medical Engineering*, pp. 652-655, 2013.
- [5] S. A. Raurale, G. B. Boylan, S. R. Mathieson, W. P. Marnane, G. Lightbody, and J. M. O'Toole, "Grading hypoxic-ischemic encephalopathy in neonatal EEG with convolutional neural networks and quadratic time-frequency distributions," *J Neural Eng.*, vol. 18, pp. 1-16, 2021.

- [6] S. M. Usman, S. Khalid, R. Akhtar, Z. Bortolotto, Z. Bashir, H. Qiu, "Using scalp EEG and intracranial EEG signals for predicting epileptic seizures: Review of available methodologies," *Seizure*, vol. 71, pp. 258-269, 2019.
- [7] A. Goldberger, L. Amaral, L. Glass, J. Hausdorff, P. C. Ivanov, R. Mark, "PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals," *Circulation [Online]*, vol. 101, pp. e215–e220.
- [8] A. Shoeb, Application of Machine Learning To Epileptic Seizure Detection. PhD thesis. Massachusetts Institute of Technology, 2009.
- [9] A. Shahid, N. Kamel, A. S. Malik and M. A. Jatoi, "Epileptic seizure detection using the singular values of EEG signals," *ICME International Conference on Complex Medical Engineering*, pp. 652-655, 2013.
- [10] J. Rasekhi, M. R. Mollaei, M. Bandarabadi, C. A. Teixeira, A. Dourado, "Preprocessing effects of 22 linear univariate features on the performance of seizure prediction methods," *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 217, pp. 9-16, 2013.
- [11] K. Palmu, N. Stevenson, S. Wikstrom, L. Hellstrom-Westas, S. Vanhatalo, J. M. Palva, "Optimization of an NLEO-based algorithm for automated detection of spontaneous activity transients in early preterm EEG," *Physiological measurement*, vol. 31, pp. N85-93, 2010.
- [12] K. Konstantinides, and K. Yao, "Statistical analysis of effective singular value in matrix rank determination," *IEEE Trans. Acoust., Speech Signal Process*, vol. 36, no. 5, pp.757-763, May 1988.
- [13] T. Skoric, D. Pantelic, B. Jelenkovic, D. Bajic, "Noise reduction in two-photon laser scanned microscopic images by singular value decomposition with copula threshold," *Signal Processing*, vol. 195, 2022, pp. 1-17, 2022.

#### ABSTRACT

Epilepsy is a disease that affects millions of adults and children. Detection and prediction of epileptic seizures is an essential diagnostic segment. Available solutions are most often based on artificial intelligence including the electroencephalogram (EEG) feature extraction. In this paper, the possibility of recognizing the preictal (state before a seizure), ictal (seizure), and postictal (after a seizure) states of EEG signals of pediatric patients with epilepsy was examined using the decomposition of EEG data into singular values. The publicly available CHB-MIT database recorded on 23 pediatric subjects was used. The preictal condition was detected in 92.25 percent of cases, which is important because young children do not know how to report the symptoms of an impending seizure, and they can remain without medical help. The advantage of the method is that it does not require a database as for machine learning techniques.

**Epileptic phases detection in pediatric patients using singular value decomposition of electroencephalographs**  
Tamara Skoric, Dragana Bajic