

**KLASIFIKACIJA POKRETA ŠAKE NA OSNOVU EMG SIGNALA
CLASSIFICATION OF HAND GESTURE BASED ON EMG SIGNALS**Ivana Miličić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom istraživanju realizovani klasifikatori za klasifikaciju pokreta šake na osnovu EMG signala mišića podlaktice u cilju realizacije komandnog interfejsa mioelektrične proteze šake bili su: mašina na bazi vektora nosača (engl. Support Vector Machine - SVM), klasifikator k – najbližih suseda (engl. K – Nearest Neighbors - KNN) i veštačke neuronske mreže (engl. Artificial Neural Network - ANN). Klasifikatori su obučavani za svakog ispitanika i za grupu. Redukcija dimenzionalnosti izvršena je primenom tehnike razlaganja na glavne komponente (engl. Principal Component Analysis - PCA) u cilju poboljšanja rezultata klasifikacije. Bolje performanse svih klasifikatora zabeležene su u pojedinačnim slučajevima, a PCA nije doprinela poboljšanju klasifikacije. SVM je u poređenju sa ostalim klasifikatorima kod većine ispitanika postizao najveće vrednosti tačnosti dok rezultati osetljivosti pokazuju da su SVM i kNN kod svih ispitanika prepoznavali kada je reč o pokretu istezanja ručnog zgloba. ANN u pojedinačnim slučajevima nakon PCA najmanja odstupanja među ispitanicima beleži prilikom klasifikacije pokreta istezanja ručnog zgloba.

Ključne reči: EMG, mioelektrične proteze šake, SVM, kNN, ANN, PCA

Abstract – This study implemented classifiers for hand movement classification based on EMG signals from the forearm muscles to create a command interface for a myoelectric hand prosthesis. The classifiers used were Support Vector Machine (SVM), K -Nearest Neighbors (KNN), and Artificial Neural Networks (ANN). The classifiers trained for each participant and the group as a whole. Principal Component Analysis (PCA) is used to improve classification results. All classifiers achieved better performance in individual cases. PCA did not contribute to the improvement of classification. SVM achieved the highest accuracy values for most participants compared to the other classifiers. Sensitivity results indicated that SVM and KNN can recognize wrist extension movements for all participants. After PCA, ANN showed low deviations among participants in classifying wrist extension movements.

Keywords: EMG, myoelectric hand prosthesis, SVM, kNN, ANN, PCA

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Nikola Jorgovanović.

1. UVOD

Amputacija gornjih ekstremiteta dovodi do ozbiljnih funkcionalnih i estetskih ograničenja što se prevazilazi korišćenjem protetičkih uređaja. U osnovi se njihov rad zasniva na snimanju elektromiografske aktivnosti mišića koja predstavlja električne impulse nastale tokom kontrakcija. Merenje signala omogućeno je postavljanjem površinskih elektroda iznad mišića od interesa, a nakon obrade mogu se dalje koristiti kao upravljački signali mioelektričnih proteza šaki.

Noviji pristupi za dobijanje komandnih signala zasnivaju se na primeni klasifikacionih algoritama koji omogućavaju prepoznavanje različitih pokreta na osnovu mišićne aktivnosti većeg broja mišića. Nekoliko komercijalnih rešenja, kao što su COAPT i Myo Plus, primenjuju klasifikacione algoritme kako bi generisali odgovarajuće komande za rad mioelektričnih proteza šaki, a ovakav pristup korisnicima omogućava da povrate deo izgubljene funkcionalnosti doprinoseći im veći stepen samostalnosti [1].

2. ANALIZA BAZE PODATAKA

U ovom radu korišćena je javno dostupna baza *GrabMyo* i u okviru nje posmatrani su EMG snimci mišića zabeleženih sa gornjeg dela podlaktice mereni pomoću 8 parova elektroda (slika 1). Signali su filtrirani Betervortovim filtrom propusnika opsega četvtog reda (10 – 500 Hz) i noć filtrom radi uklanjanja mrežnog šuma [2]. Posmatrana je grupa od 6 ispitanika koji su imali zadatak da izvedu 7 pokreta šake: bočni hvat (LP), istezanje ručnog zgloba (WE), savijanje ručnog zgloba (WF), supinacija podlaktice (FS), pronacija podlaktice (FP), otvaranje šake (HO) i zatvaranje šake (HC) (slika 2). Dodatni pokret predstavljao je EMG zabeležen u toku mirovanja. Izvođenje svakog pokreta trajalo je 5 sekundi, a ispitanici su imali 7 pokušaja da ih izvedu. Nakon svakog pokušaja sledila je pauza u trajanju od 10 sekundi.



Slika 1. Postavka elektroda za merenje (preuzeto iz [2])



Slika 2. Pokreti šake (preuzeto iz [2])

3. METOD

Na početku ovog rada navedeni su korišćeni klasifikacioni algoritmi. U nastavku poglavlja ukratko će biti navedene neke od glavnih karakteristika svakog od njih kao i karakteristike tehnike primenjene za redukciju dimenzionalnosti. SVM je efikasan algoritam koji pravi optimalne granice između posmatranih klasa i dovodi do postizanja visokih performansi klasifikatora i u visokodimenzionalnom prostoru obeležja. kNN donosi odluke zasnovane na najbližim susedima novog uzorka za klasifikaciju, dok ANN predstavlja model koji može naučiti kompleksne obrasce u podacima. PCA je tehnika redukcije dimenzionalnosti podataka koja izdvaja komponente koje sadrže najveći procenat varijanse u skupu podataka. Ova tehnika omogućava efikasno smanjenje broja obeležja dok čuva što više informacija, čime olakšava klasifikaciju [3].

U programskom okruženju *Python* implementirana su sva tri klasifikatora. Svih 7 pokušaja uzeto je u razmatranje za svakog ispitanika kao i za grupu. Za svakog ispitanika u bazu za trening ulazilo je prvih 5 pokušaja, a u bazu za test poslednja 2 pokušaja. Klasifikatori su se obučavali tokom 3 runde unakrsne validacije koja je za rezultat dala optimalne parametre za svakog od njih. Nakon obuke i testiranja izračunate su mere uspešnosti koje su posmatrane.

3.1. Mere uspešnosti klasifikatora

Tačnost je mera koja pokazuje udeo ispravno klasifikovanih uzoraka (engl. *True Positive - TP*) prema ukupnom broju uzoraka (engl. *True Negative - TN*, *False Positive - FP*, *False Negative - FN*) (jednačina 1) [3].

$$\text{Tačnost} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

Osetljivost (engl. *true positive rate*, *recall*) meri udeo ispravno klasifikovanih uzoraka iz klase pozitivna (engl. *True Positive - TP*) (jednačina 2). Visoka osetljivost ukazuje na sposobnost klasifikatora da identifikuje pozitivne slučajeve [3].

$$\text{Osetljivost} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

Računanje osetljivost može se vršiti na dva načina: primenom mikroprosečnih i makroprosečnih mera. Mikroprosečne mere svode se na sumiranje TP, FP i FN za sve klase, nakon čega se osetljivost računa na standardan način koji je prikazan jednačinom 2.

Mere uspešnosti su pokazatelji efikasnosti različitih klasifikacionih algoritama. Tačnost pruža opštu sliku koliko je klasifikator tačan, dok osetljivost ukazuje njegovu sposobnost da pronađe specifične slučajeve od interesa.

3.2. Izdvajanje obeležja

Obeležja dobijena iz frekvencijskog domena baziraju se na posmatranju spektra EMG signala. Promene unutar spektra koje nastaju usled izvođenja različitih pokreta mogu primenom odgovarajućih tehnika da pruže diskriminatorne informacije koje doprinose tačnijoj realizaciji klasifikacije [4]. Metoda koja je korišćena za dobijanje obeležja iz frekvencijskog domena naziva se tehnika frekvencijske podele (engl. *Frequency Division Technique - FDT*) [5].

EMG signal dobijen tokom trajanja svakog pokreta je segmentiran prozorom dužine 200 ms i preklapom od 150 ms. Zatim je za svaki prozor u okviru EMG signala jednog pokreta izračunata Furijeova transformacija čime je omogućen prelazak iz vremenskog u frekvencijski domen. Nakon toga je dobijena frekvencijska osa podeljena na 6 podopsega koji su redom: 20-92, 92-163, 163-235, 235-307, 307-378, 378-450 Hz [5]. Nakon toga se svaki od tih opsega predstavlja jednim brojem koji označava sumu amplituda svih frekvencijskih komponenta koje se nalaze unutar njega. Ukoliko vrednosti $f_{b,I}$ i $f_{b,E}$ predstavljaju gornju i donju vrednost frekvencije u okviru jednog podopsega, za svaki podopseg i -ta karakteristika se računa prema jednačini 3. L predstavlja broj podopsega na koje je spektar podeljen, $X(\cdot)$ označava amplitudu Furijeove transformacije za svaku i - tu frekvencijsku komponentu, a $\mathcal{F}[\cdot]$ je nelinearna transformacija koja se primenjuje radi izbegavanja malih vrednosti koje mogu uticati na rezultat klasifikacije. Ovaj postupak ponavlja se za svaki EMG signal pokreta i za svaki kanal, a kako ih je u ovom slučaju bilo 8 ukupan broj obeležja iznosi 48.

$$FDT_i = \mathcal{F} \left[\sum_{i=1}^{n_i} |X(f_{i,j})| \right], i = 1, 2, \dots, L \quad (3)$$

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Dobijeni rezultati ukazuju da su manje vrednosti i tačnosti, ali i osetljivosti dobijene u grupnom slučaju i to kod sva tri posmatrana klasifikatora. Ovakav rezultat je bio očekivan iz razloga što se u pojedinačnim slučajevima uzimaju u obzir individualne karakteristike svakog ispitanika koje se zanemaruju kada se posmatra grupa. Iz tog razloga se u daljem tekstu rezultati tačnosti i osetljivosti dobijeni za grupu ispitanika neće spominjati. Vrednosti tačnosti klasifikacije razlikovale su se od ispitanika do ispitanika, što je i očekivano jer to nastaje kao posledica individualnih karakteristika. Primećuje se da se kod većine po vrednostima tačnosti izdvaja SVM. Ovaj rezultat i ne čudi s obzirom da je poznato da je glavna karakteristika ovog klasifikatora upravo postizanje dobrih performansi u visokodimenzionalnom prostoru, kakav je bio prisutan i u ovom problemu. Efekat redukcije dimenzionalnosti u većini slučajeva nije doveo do poboljšanja rezultata, a tamo gde jeste ona nisu mnogo

velika. Na primeru ispitanika 1, 3 i 6 primećuje se da je i pre i nakon PCA kod svakog isti klasifikator postigao najveću tačnost, ali uz malo povećanje vrednosti nakon redukcije. Kod prvog ispitanika to je bio kNN koji je pre redukcije postizao tačnost od 91.56 %, a nakon nje 91.95 %; kod trećeg je to SVM koji je pre redukcije imao tačnost od 92.74 %, a nakon nje ona je bila 93.35 %. SVM je bio najbolji klasifikator kod šestog ispitanika i tačnost je pre PCA iznosila 92.41 %, a nakon nje 92.57 %. Dobijene vrednosti prikazane su u tabeli 1 i 2.

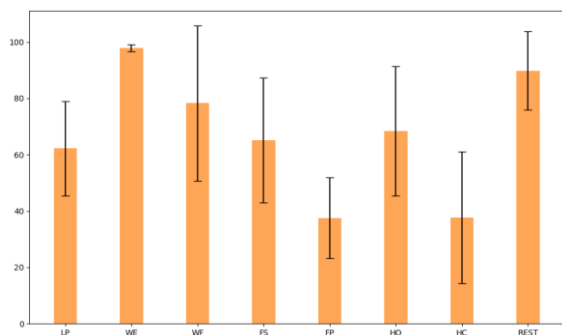
Klasifikator	Ispitanik 1	Ispitanik 3	Ispitanik 6
kNN	91.58 %	91.87 %	91.45 %
SVM	91.10 %	92.74 %	92.41 %
ANN	89.73 %	91.31 %	89.35 %

Tabela 1. Tačnosti klasifikatora za tri ispitanika pre primene PCA

Klasifikator	Ispitanik 1	Ispitanik 3	Ispitanik 6
kNN	91.95 %	91.36 %	92.05 %
SVM	91.47 %	93.35 %	92.57 %
ANN	91.74 %	92.02 %	91.53 %

Tabela 2. Tačnosti klasifikatora za tri ispitanika posle primene PCA

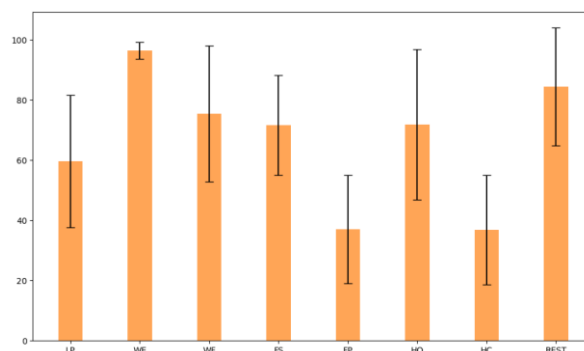
Postojeća literatura označava vrednosti osetljivosti veće od 80% kao kritične jer takve vrednosti obezbeđuju pouzdanost i ponovljivost klasifikacije i nad novim skupovima podataka [6]. Osetljivost predstavlja ključnu meru uspešnosti klasifikacije pokreta na osnovu EMG signala jer ukazuje na sposobnost klasifikatora da tačno prepozna određene pokrete. Analizirajući rezultate osetljivosti primećujemo da su SVM i kNN postigli visoku osetljivost kod svih ispitanika naročito u slučaju pokreta istezanje ručnog zgloba. Ovi rezultati prikazani su na grafikonima od 1 do 4, gde mala odstupanja vrednosti sugerišu da su ovi klasifikatori veoma dobro prepoznali ovaj pokret. Važno je istaći da je visoka osetljivost ostala i nakon primene PCA.



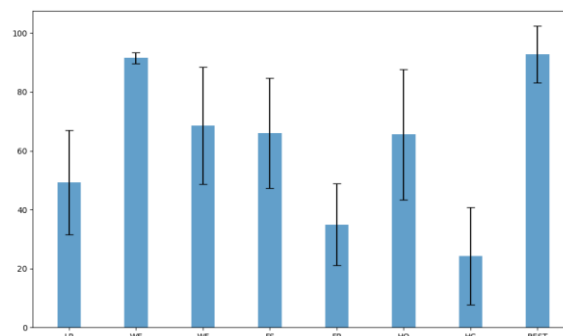
Grafik 1. Osetljivost SVM klasifikatora postignuta u pojedinačnim slučajevima za svaki pokret pre PCA

Pored toga, interesantno je da su SVM i kNN takođe pokazali visoku osetljivost prilikom detekcije EMG signala tokom mirovanja. Ovo je posebno važno jer ukazuje na njihovu sposobnost prepoznavanja stanja

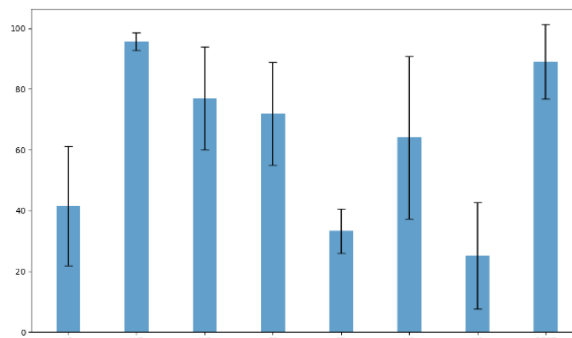
mirovanja mišića (na grafikonima pokret imenovan kao mirovanje (engl. *REST*)), što može biti korisno u medicinskim i kliničkim primenama. Međutim, za druge pokrete rezultati nisu pokazali tako visoke vrednosti osetljivosti.



Grafik 2. Osetljivost SVM klasifikatora postignuta u pojedinačnim slučajevima za svaki pokret posle PCA



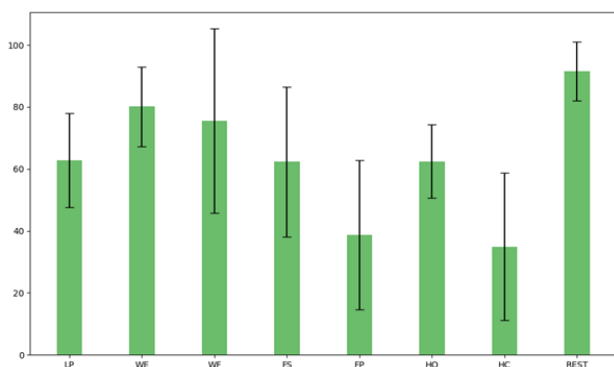
Grafik 3. Osetljivost kNN klasifikatora postignuta u pojedinačnim slučajevima za svaki pokret pre PCA



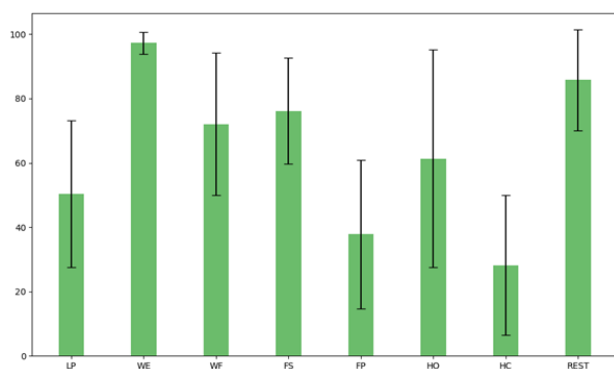
Grafik 4. Osetljivost kNN klasifikatora postignuta u pojedinačnim slučajevima za svaki pokret posle PCA

Analizirajući rezultate osetljivosti dobijene za ANN u pojedinačnim slučajevima primećeno je da nije izdvojen dominantan pokret kao što je to bio slučaj sa prethodno pomenutim klasifikatorima. Ovo sugeriše da ANN može biti manje specifičan u prepoznavanju određenih pokreta i da je prisutna veća varijabilnost u rezultatima. Interesantno je primetiti da su najmanja odstupanja u osetljivosti primećena u slučaju klasifikacije pokreta u mirovanju i to pre primene PCA (grafik 5) što ukazuje na sposobnost ovog klasifikatora za prepoznavanje stanja mirovanja mišića. Međutim, nakon primene PCA najmanja greška je zabeležena tokom klasifikacije pokreta

istežanja ručnog zgloba. Ovo sugerira da je PCA doprinela poboljšanju osjetljivosti ANN za ovaj pokret (grafik 6).



Grafik 5. Osetljivost ANN klasifikatora postignuta u pojedinačnim slučajevima za svaki pokret pre PCA



Grafik 6. Osetljivost ANN klasifikatora postignuta u pojedinačnim slučajevima za svaki pokret posle PCA

5. ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju realizovani su klasifikatori za klasifikaciju pokreta šake na osnovu EMG signala mišića podlaktice. Dobijeni rezultati su pokazali prednost prilagođavanja klasifikatora svakom ispitaniku što dovodi i do postizanja boljih vrednosti mera uspešnosti klasifikatora.

SVM i KNN su postigli visoku osjetljivost za pokret istežanja ručnog zgloba. Ovi rezultati ostaju i nakon primene PCA što ukazuje na njihovu stabilnost i pouzdanost. Takođe, zapaža se da su SVM i KNN efikasno detektovali EMG signal tokom mirovanja mišića. Međutim, za druge pokrete rezultati nisu bili dobri. Razlog tome može biti i korišćenje ograničenog skupa podataka što svakako u narednim istraživanjima treba uzeti u obzir u cilju poboljšanja rezultata klasifikacije.

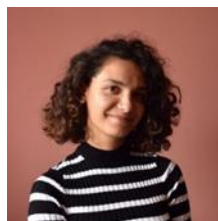
ANN je u odnosu na prethodna dva klasifikatora bio manje specifičan prilikom klasifikacije pokreta jer nije izdvojio jedan dominantan pokret kao što je to bio slučaj kod SVM i KNN klasifikatora. Primećeno je da je nakon PCA situacija bolja jer se značajno povećala osjetljivost za pokret istežanja ručnog zgloba kod svih ispitanika.

Personalizovan pristup klasifikaciji pokreta na osnovu EMG signala može biti od suštinskog značaja u dijagnostičkim i rehabilitacionim aplikacijama. Buduća istraživanja treba da se usmere na razvoj novih ili unapređenje postojećih modela klasifikatora i razumevanje faktora koji utiču na individualne razlike u EMG signalima kako bi se unapredila pouzdanost i preciznost klasifikacije. Primena ovakve tehnologije može dovesti do unapređenja kvaliteta života pacijenata i korisnika kroz personalizovanu medicinsku negu.

6. LITERATURA

- [1] A. M. Simon, K. L. Turner, L. A. Miller, L. J. Hargrove, and T. A. Kuiken, 'Pattern recognition and direct control home use of a multi-articulating hand prosthesis', in *2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2019, pp. 386–391.
- [2] Jiang, N., Pradhan, A., & He, J. (2022). Gesture Recognition and Biometrics ElectroMyogram (GRABMyo) (version 1.0.2). *PhysioNet*.
- [3] Tijana Nosek, Branko Brkljac, Danica Despotovic, Milan Secujski, Tatjana Loncar-Turukalo. Praktikum iz mašinskog ucenja, materijal sa predmeta Prepoznavanje oblika na osnovnim studijama Biomedicinskog inženjerstva
- [4] Angkoon Phinyomark, Pornchai Phukpattaranont, Chusak Limsakul (2012). Feature reduction and selection for EMG signal classification. *Expert Systems with Applications* 39, 7420–7431
- [5] A. Pradhan, N. Jiang, V. Chester, and U. Kuruganti, "Linear regression with frequency division technique for robust simultaneous and proportional myoelectric control during medium and high contraction-level variation," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 61, p. 101984, 2020.
- [6] Panyawut Sri-iesaranusorn, Attawit Chaiyaroj, Chatchai Buekban, Songphon Dummin, Ronachai Pongthornseri, Chusak Thanawattano and Decho Surangsrirat (2021). Classification of 41 Hand and Wrist Movements via Surface Electromyogram Using Deep Neural Network. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*

Kratka biografija:



Ivana Miličić rođena je u Kikindi 2000. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnika i računarstvo – Biomedicinsko inženjerstvo odbranila je 2023.god.
kontakt: i_milicic@hotmail.com