

Razvoj virtuelne instrumentacije za monitoring kognitivnih parametara zasnovan na merenju EEG signala

Jelena Rafailović, Sanja Mandić, Platon Sovilj, *Member, IEEE*

Apstrakt—Elektroencefalografija (EEG) je neurofiziološka elektrografska metoda registrovanja moždane aktivnosti putem površinskih elektroda postavljenih na glavi. Potpuno je bezbolna dijagnostička metoda i najviše se koristi u neurologiji za ispitivanje epileptičnih stanja, tumora, poremećaja spavanja, upala mozga i drugih oboljenja na mozgu. Istraživanja u ovoj oblasti daju sve više rezultata u razumevanju emocija i pažnje ispitanika. Pored toga, praćenje električne aktivnosti mozga našlo je svoju primenu i u biomedicinskom inženjerstvu u okviru instrumentacije za mozak-računar interfejs (engl. Brain Computer Interface, BCI). Cilj ovog rada je da se na osnovu EEG signala i virtuelne instrumentacije LabVIEW programa omogući razvoj platforme za praćenje osnovnih kognitivnih parametara.

Cljučne reči— EEG, virtuelna instrumentacija, LabVIEW, EMOTIV, kognitivni parametri

I. UVOD

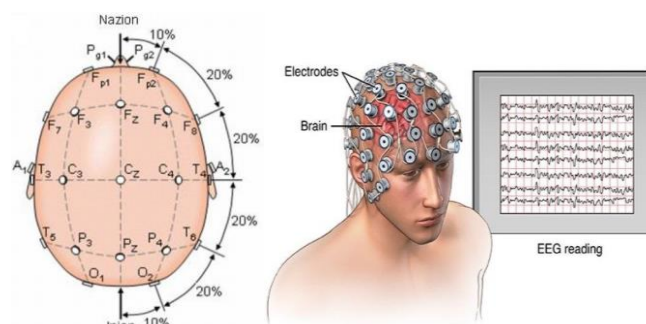
ELEKTROENCEFALOGRAFIJA je neinvazivna metoda merenja električne aktivnosti mozga koja za svoj rezultat daje snimak koji omogućava analizu talasnih oblika za koje se zna kojim stanjima svesti i aktivnostima pripadaju i u kojoj meri odstupaju od normalnih talasnih oblika za ta stanja. Moždani talasi EEG signala nastaju usled komunikacije neurona. Oni na taj način proizvode električnu aktivnost i frekvencija tog signala daje informacije o moždanim funkcijama. Tipičan EEG signal imaće amplitudu od oko $10 \mu V$ do $100 \mu V$ sa frekvencijom u opsegu od 1 Hz do oko 100 Hz [1][2].

Bioelektrični potencijal se javlja u ćelijama, tkivima i organima kao rezultat promene membranskog potencijala. Nastanak električne aktivnosti koja se beleži kao EEG signal objašnjava se kao suma svih inhibitornih i ekscitatornih potencijala koji na taj način stvaraju tok struje van ćelija [2]. Uprkos impedansi koju stvaraju lobanjske kosti, rezultujuća struja koja prolazi kroz piramidalne ćelije korteksa postaje merljiva [2]. Električnu aktivnost snimaju elektrode koje su uglavnom postavljene na kapi koja se stavlja na glavu ispitanika. Lokacije elektroda su određene standardnim internacionalnim sistemom 10-20 kao na Sl 1. Na ovaj način, svaka elektroda prikuplja promenu električne aktivnosti zone korteksa (lat. Korteks, kora) velikog mozga iznad koje je

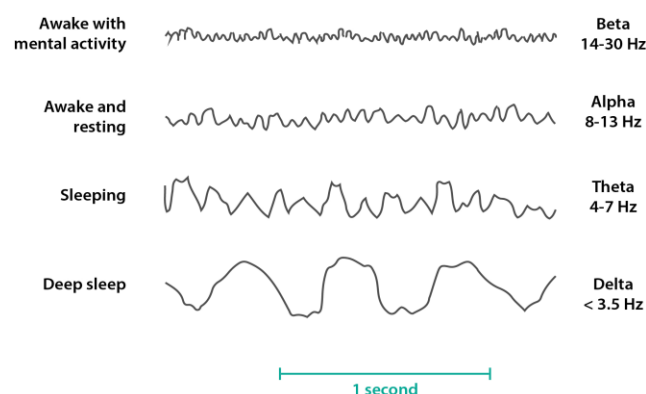
pozicionirana. Poznato je da se pojedini talasi mogu javiti samo u određenim zonama korteksa [3].

Moždani signali su veoma složeni i u velikoj meri zavise od pojedinca, starosti i psihičkog stanja. Vrlo je teško dobiti korisne informacije posmatrajući EEG signal direktno u vremenskom domenu. Važne karakteristike signala za postavljanje dijagnoze bolesti mogu se dobiti tek nakon obrade signala. EEG signal karakterišu alfa, beta, teta i delta talasni oblici koji se mogu videti na Sl.2, te se stoga filtriranje može raditi veoma precizno [3].

Delta aktivnost predstavlja fazu dubokog sna kod normalnih odraslih osoba. Prisustvo visoke teta aktivnosti kod budnih osoba ukazuje na abnormalna i patološka stanja [2]. Uglavnom dominira na potiljačnim delovima skalpa sa većom amplitudom na dominantnoj strani. Predstavlja osnovni, glavni ritam kod normalnih i opuštenih odraslih osoba [1]. Beta ritam je prisutan kod budnih ili anksioznih osoba. Dominira u frontalnom delu korteksa [1][2].



Sl. 1. Internacionalni sistem 10-20 postavljanja elektroda (levo) i postavljanje elektroda prilikom akvizicije EEG signala (desno)



Sl. 2. Talasni oblici karakteristični za EEG signal: beta talas karakteriše mentalnu aktivnost tokom budnog stanja, alfa ima nižu frekvenciju i dešava se tokom odmora, teta talas beleži se tokom spavanja, a najnižu frekvenciju ima delta talas i događa se u toku faze dubokog sna

Jelena Rafailović – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: jelenarafailovic@uns.ac.rs), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0003-3465-7417>)

Sanja Mandić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: sanja.mandic@uns.ac.rs), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0002-9156-4471>)

Platon Sovilj – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, (e-mail: platon@uns.ac.rs), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0002-3274-9337>)

A. Virtuelna instrumentacija

Virtuelna instrumentacija predstavlja metodologiju za projektovanje instrumenata koja koristi standardni PC računar, specijalne hardverske komponente za akviziciju i digitalnu konverziju signala kao i računarske programe koji omogućavaju prikupljanje, obradu i prikaz signala na računaru [4]. Virtuelna instrumentacija donela je fundamentalni zaokret u odnosu na tradicionalne instrumentacione sisteme. Izrađuju se sistemi usmereni na softver koji koriste računarsku snagu, produktivnost, prikaz, mogućnosti povezivanja desktop računara i radnih stanica.

Prednosti virtuelne instrumentacije su fleksibilnost softvera koji se koristi i jednostavnost. U bilo kom trenutku moguće je na različite načine prikazati rezultate i memorisati ih, izmeniti funkcije instrumenta, kao i detektovati grešku koja se može dogoditi prilikom rada. Ovi sistemi merenja i automatizacije odgovaraju potrebama korisnika i nisu ograničeni kao tradicionalni instrumenti koji imaju fiksno definisanu funkciju, koji su skupi i mogu se pokvariti. Uz pomoć virtuelne instrumentacije omogućeno je da korisnici imaju identičnu interakciju kao i sa namenski dizajniranim tradicionalnim električnim instrumentom ili čak vršiti simulaciju instrumenta ili sistema [5].

U obradi biomedicinskih signala ključan faktor čini uklanjanje šuma, odnosno filtriranje signala. Kao što je već u radu spomenuto, za EEG signal je karakteristično da ima malu amplitudu (reda μV). Samim tim, ogroman problem predstavljaju drugi biopotencijali, a najviše električna aktivnost mišića. Pokreti očiju, otvaranje ili zatvaranje kapaka, mimika lica i govor mogu vidno narušiti izgled elektroencefalograma. Nakon uspešno snimljenog EEG signala, neophodno je izdvojiti kanale i posmatrati prethodno opisane talasne oblike. U ovom radu, za potrebe obrade i prikaza podataka korišćen je LabVIEW [5] čiji se program zove upravo virtuelni instrument, a programiranje se vrši grafičkim povezivanjem terminala i blokova funkcija [6].

II. MERNO-INFORMACIONI SISTEM

Savremena oprema koja se koristi za potrebe eksperimentalnog ispitivanja kognitivnih funkcija i interfejsa mozak-računar na osnovu EEG signala olakšala je postavljanje elektroda i postupak merenja. Podaci koji su korišćeni u radu preuzeti su sa petokanalnog uređaja „*EMOTIV Insight*“ koji se bežično povezuje na računar gde se šalju digitalizovani EEG signali [6][7].



Sl. 3. „EMOTIV Insight“ EEG uređaj (levo) i izgled polusivih polimernih elektroda (desno)

Krajnje poglavlje rada daje primenu LabVIEW-a i njegovu sposobnost da iščitavanjem .csv fajlova koji se dobijaju akvizicijom na *EMOTIV* uređaju prikazuje podatke i vrši spektralnu analizu.

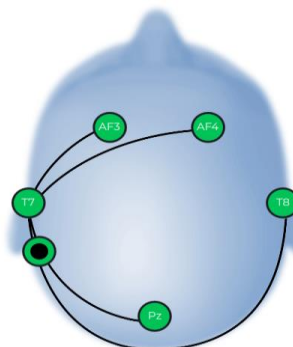
A. Hardver

Uređaj kompanije „*EMOTIV*“ ima punjivu bateriju i

16-bitni A/D konvertor koji vrši odabiranje EEG signala frekvencijom uzorkovanja od 2048 Hz. Problem šuma na 50 Hz i 60 Hz rešen je implementacijom notch filtra u okviru uređaja. Osim seta elektroda, uz uređaj se dobija i provodni gel, USB kabel za punjenje i priključak za računar. Uz to, u okviru uređaja nalazi se akcelerometar, žiroskop i magnetometar sa po tri ose. Time je omogućeno praćenje pokreta glave korisnika uređaja [6][7].

Postavka uređaja je takva da raspored elektroda odgovara međunarodnom standardu 10-20. Posедуje polimerne hidrofilne elektrode koje su pristupačnije za upotrebu od onih na starijim uređajima, jer ne zahtevaju obimno i neprestano dodavanje provodnog gela. Samim tim, uređaj se lakše postavlja nego kape koje čine osnovu starijih uređaja.

Elektrode su pozicionirane tako da pokrivaju frontalni-čeonni režanj (lat. Anterior-frontal, AF), temporalni-slepoočni režanj (lat. Temporal, T) i parijetalni-temeni režanj (lat. Parietal, P). Kao što se može videti na Sl. 4. elektrode su označene kao AF3 i AF4, T7 i T8 i Pz. Neparni brojevi označavaju da se elektrode nalaze na levoj hemisferi, dok elektrode sa parnim brojevima u oznaci snimaju električnu aktivnost desne hemisfere mozga. Crna tačka koja se nalazi kod elektrode T7 predstavlja referentnu elektrodu (uzemljenje uređaja) i pri postavljanju uređaja ona se postavlja na mastoidnu kost [6][7].



Sl. 4. Raspored elektroda EEG uređaja „EMOTIV Insight“ na glavi ispitanika

B. Softverski paketi

U okviru softvera *EMOTIV* raspolaže sa pet različitih softverskih paketa, a na sajtu kompanije se nalaze i drugi *third party* paketi koji se mogu koristiti [6][7].

EmotivPRO je jedan od paketa koji omogućava pravljenje neuronaučnih eksperimenata, prikupljanje i analizu EEG podataka u jednom integrisanom softverskom okruženju. Moguće je pristupiti neobrađenom EEG signalu, prikazu frekvencijske analize jednog odabranog kanala, metrike učinka za kognitivna stanja: stres, angažovanost, interesovanje, uzbuđenje, fokus i relaksacija. Osim toga, moguće je prikazati tok podataka u realnom vremenu ili prikaz snimljenih podataka [7].

EmotivLABS omogućava povezivanje sa *EMOTIV* uređajem, proveru kvaliteta konekcije i kvaliteta EEG signala. Nakon ove provere, realizuje se neki od već formiranih eksperimentalnih scenarija. Signali koji su upotrebljeni za potrebe ovog rada dobijeni su eksperimentalnom igricom „*Rainbow Receptors*“ [6][7].

„*Rainbow Receptors*“ je eksperimentalni scenario koji je sadržan u okviru *EmotivLABS* paketa. Ovaj eksperiment vrši ispitivanje razlike u brzini prepoznavanja boje i značenja

reči. Poznato je da čovek brže čita nego što prepoznaje boju ispisane reči. Usled te činjenice, prvo se registruje značenje. Ovaj efekat poznat je u psihologiji kao Strupov efekat. Strupov efekat dolazi do izražaja kada su boja i značenje reči različiti i značajan je u potiskivanju automatizovanog ponašanja, planiranju i donošenju odluka [6].



Sl. 5. Uputstvo za igricu "Rainbow Receptors" koja zahteva od ispitanika da pritisne dugme koje odgovara boji kojom je reč napisana, a ne koju opisuje značenje reči (ispitivanje Strupovog efekta)



Sl. 6. Prikaz reči različitim bojama u okviru eksperimenta „Rainbow Receptors“

Da bi se realizovao eksperiment Strupovog efekta neophodno je da ispitanik postavi prste na tastere R,G,O,P koji odgovaraju bojama *red*, *green*, *orange* and *purple* [6]. Ukoliko je na ekranu prikazana reč *orange* ljubičastom bojom, kao na Sl. 6, ispitanik što pre treba da pritisne taster P koji označava boju kojom je reč napisana [6]. Po završetku igrice prikazuje se izveštaj sa rezultatima eksperimenta na osnovu kojih se određuje vreme reakcije, tačnost, uspešnost u odnosu na druge ispitanike iz iste starosne grupe i kognitivni parametri [6].

III. RAZVOJ VIRTUELNOG INSTRUMENTA

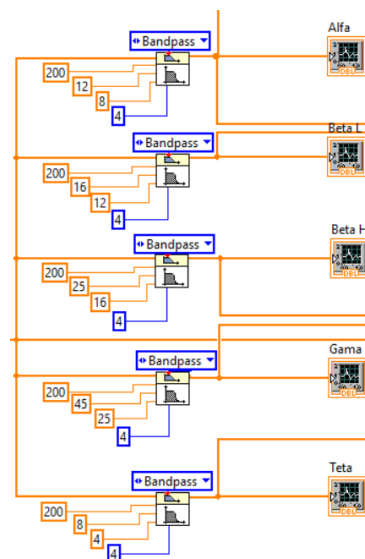
Elektroencefalografija se najviše koristi u neurologiji za otkrivanje i ispitivanje epileptičnih stanja, tumora, poremećaja spavanja, upala mozga i drugih oboljenja na mozgu. Pored ogromne primene u neurologiji, ova metoda sve veći doprinos daje u ispitivanju kognitivnih parametara, virtuelne stvarnosti, mozak-računar interfejsa. Za analizu i dijagnostiku bilo kog poremećaja ili u eksperimentalnim ispitivanjima moderne nauke nužno je izdvojiti pojedinačne talase sa svakog kanala EEG uređaja.

Signali dobijeni opisanim eksperimentom "Rainbow Receptors" bili su upotrebljeni za razvoj virtuelnog instrumenta o kome će biti reči u nastavku, a čiji je izgled dat na Sl.10. Upravo zbog toga nije bilo potrebe za dodatnim filtriranjem radi uklanjanja šuma, kao ni za dodatnim pojačanjem, jer to prethodno urađeno.

Obrada podataka započeta je učitavanjem .csv dokumenta u kome su prethodno sačuvane informacije o datumu, vremenu, kanalima EEG signala, markeri reakcija prilikom pritiska tastera tokom eksperimenta itd. Za potrebe trenutne aplikacije ekstrahovani su podaci od značaja za dalji razvoj virtuelnog instrumenta i to su signali pet kanala označenih kao EEG.AF3, EEG.AF4, EEG.T7, EEG.T8 i EEG.Pz. Ovi signali odgovaraju elektrodama sa Sl. 4. Kao što se može videti na Sl. 10. korisnički interfejs prikazuje ove oznake na indikatoru *Ime odabranog kanala*.

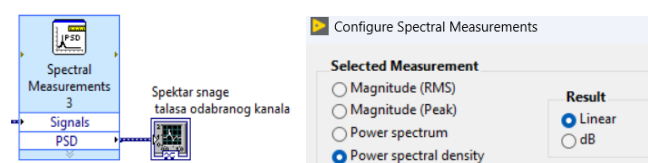
Korisnički panel virtuelnog instrumenta pruža mogućnost

biranja kanala enum kontrolom *Odabir kanala*. Kada se izabere kanal, sledi dalja obrada podataka. S obzirom na to da se znaju tačni frekventni opsezi EEG signala filtriranje je moguće podesiti veoma precizno tako da se izdvoje talasni oblici koji karakterišu EEG signal. Kao što je prikazano na Sl. 7. filtriranje se vrši filtrom propusnika opsega četvrtog reda. Granične frekvencije su podešene na intervale od 4 Hz do 8 Hz za teta talas, od 8 Hz do 12 Hz za alfa talas, od 12 Hz do 25 Hz za beta talas i od 25 Hz do 45 Hz za gama talas. Svi talasni oblici dati su na graficima na Sl. 10.

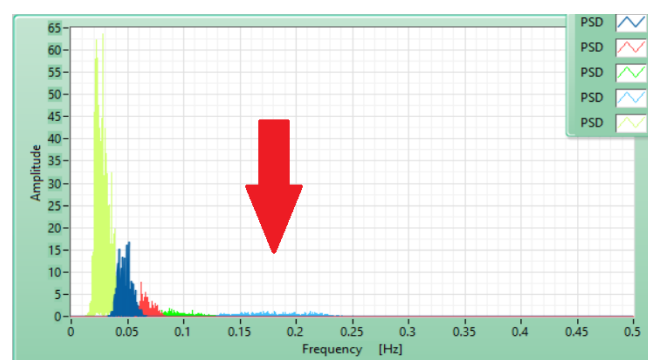


Sl. 7. Prikaz dela *block diagrama* koji se odnosi na filtriranje signala odabranog kanala nakon čega se izdvajaju alfa, beta visoki i beta niski talasi, gama i teta talas

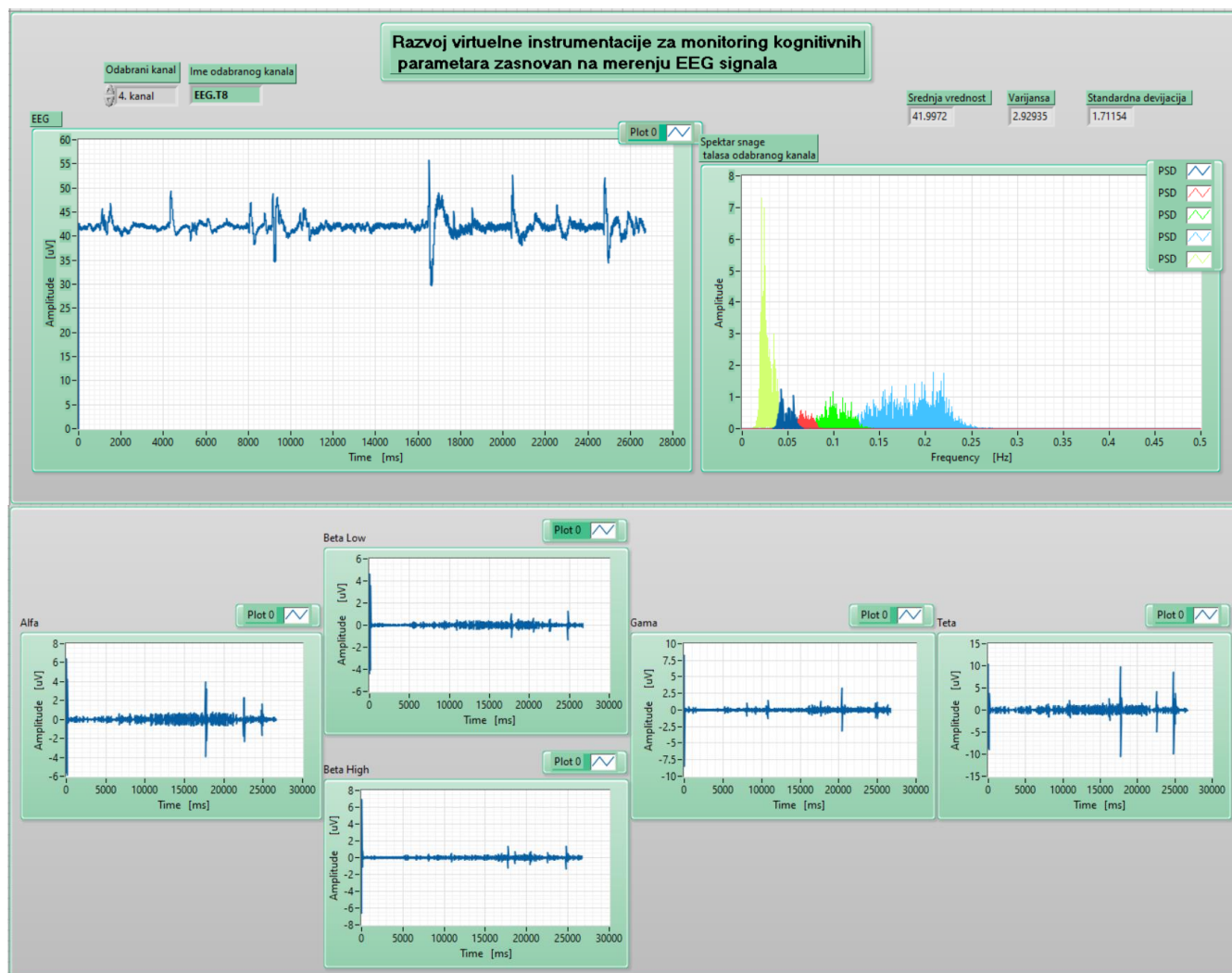
Za monitoring kognitivnih parametara najvažniji podatak čini upravo spektar snage izdvojenih talasa i odnos njihovih amplituda. Express funkcija *Spectral Measurements* data na Sl. 8. izračunava i prikazuje više parametara. Odabirom *Power spectral density* korisnik virtuelnog instrumenta ima uvid u gustinu spektra snage svih talasnih oblika odabranog kanala.



Sl. 8. Prikaz dela *block diagrama* express funkcije korišćene za računanje spektra snage talasa (levo) i konfigurisanje parametara funkcije (desno)



Sl. 9. Prikaz grafika spektra snage talasa na front panelu gde je gama talas (svetloplavom bojom) značajno manje zastupljen u odnosu na poziciju sa Sl. 10. kanala T8



Sl. 10. Prikaz glavnog dela virtuelnog instrumenta sa bazičnim informacijama o snimljenom EEG signalu

Na Sl. 9. može se primetiti da amplituda talasnih oblika nije ista na svim delovima mozga. Primeti se da je teta talasa dominantan u temporalnom području elektroda T7 i T8 u odnosu na ostale kanale (Sl. 10.).

Za vremenske sekvence signala vrši se izračunavanje Furijeove transformacije (engl. Fast Fourier transform, FFT) nakon čega se dobija grafik frekventnog spektra signala.

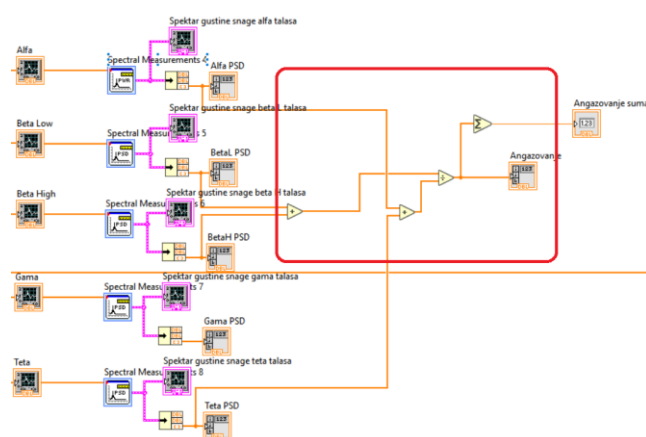
Virtuelnom instrumentu pridodata je i funkcija za izračunavanje osnovnih statističkih parametara-srednja vrednost, standardna devijacija i varijansa. Programsko okruženje LabVIEW poseduje razne vrste reprezentacija grafika, dodavanje markera, podešavanja prikaza i merenih veličina na osama grafika.

A. Monitoring kognitivnih parametara

Za monitoring kognitivnih parametara potrebno je prema već postojećim proračunima odrediti odnose spektra snage talasa EEG signala i jednostavnim spajanjem terminala za sabiranje i deljenje prikazati te vrednosti (Sl. 11.). Brojni su parametri koji se mogu pratiti na osnovu amplitude i frekvencije talasa.

Angažovanje (engl. Engagement index) je najčešće posmatran parametar i predstavlja količinu truda koju ispitanik ulaže da reši zadatak koji se pred njega postavlja. Indeks angažovanja EEG signala računa se kao $\beta/(\alpha+\theta)$ [8]. Pored angažovanja, zanimljivi parametri za analizu jesu i indeks kognitivnog opterećenja (engl.

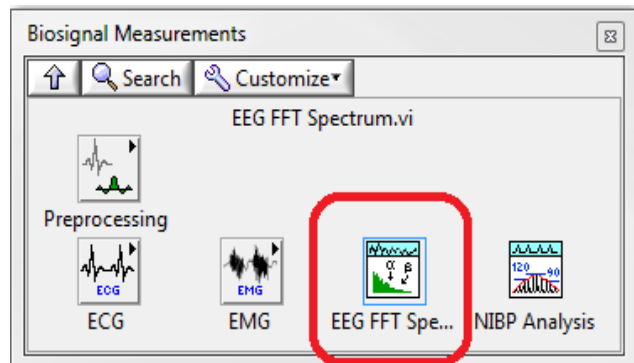
Cognitive load index, CLI) koji predstavlja proračun $\beta+\theta/\alpha$, i indeks mentalnog opterećenja (engl. Mental workload index, MWI) izražen kao $\text{frontalni teta talas}/\text{parijetalni alfa talas}$ [8].



Sl. 11. Prikaz block diagrama primera izračunavanja angažovanja na osnovu spektra gustine snage (PSD) i poznatih odnosa određenih talasa označen crvenom bojom

Budući razvoj virtuelnog instrumenta podrazumevao bi poboljšanje vizuelnog prikaza podataka i informacija vezanih za EEG signal. U daljoj realizaciji virtuelnog instrumenta osim .csv fajla mogao bi se učitavati i standardni .edf format koji je dizajniran za čitanje vremenskih sekvenci medicinskih

fajlova. Takođe, postojeći LabVIEW alati koji su upotrebljeni u spektralnoj analizi vremenskih sekvenci signala mogu se zameniti sa LabVIEW alatima specifično namenjenim potrebama biomedicinskog inženjerstva, a neke od njih prikazane su na Sl. 11. Na primer, funkcija prilagođena EEG signalu (*EEG FFT Spectrum*) u sebi ima već predefinisane frekventne opsege i proračune Furijeove transformacije.



Sl. 11. Prikaz funkcija dostupnih u Biomedical Toolkit paketu LabVIEW-a

IV. ZAKLJUČAK

Razvoj virtualne instrumentacije u velikoj meri pomaže eksperimentalna ispitivanja kognitivnih parametara. Zahvaljujući LabVIEW virtuelnom instrumentu za prikaz podataka učitanih EEG signala i podacima sa *EMOTIV* uređaja započet je razvoj aplikacije za monitoring ovih parametara koje *EMOTIV* prikazuje već kao gotove rezultate.

Krajnji cilj monitoringa kognitivnih parametara bio bi virtuelni instrument koji uspešno razlikuje angažovanje, pažnju, kognitivni stres, tačnost kao uspešnost u davanju odgovora, emocija, aktivnosti tokom učenja itd. Razvijanje aplikacije za monitoring kognitivnih parametara testirao bi i uporedio ovu aplikaciju sa već postojećim softverom kompanije „*EMOTIV*“. Za razliku od zatvorenih algoritama softvera *EMOTIV* uređaja, ovakav virtuelni instrument bi omogućio modifikacije i poboljšanja u bilo kom momentu što bi značajno uticalo na kvalitet i cenu istraživanja.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija kroz projekat broj 451-03-47/2023-01/200156: "Inovativna naučna i umetnička istraživanja iz domena delatnosti FTN-a".

LITERATURA

- [1] Subha Puthankattil D., Joseph K.P., Acharya U R., Min Lim C., *EEG Signal Analysis: A Survey*, 2008., DOI 10.1007/s10916-008-9231-z
- [2] Domazet I., *Merenje moždanih ERP potencijala*, Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, 2014.
- [3] Dumitrescu C., Costea Madalina I., Banica Karl C., Potlog S., *LabVIEW Brain Computer Interface for EEG Analysis During Sleep Stages*, University POLITEHNICA of Bucharest, Romania, 2015.
- [4] Garović I., Koprivica B., Milovanović A., *Primena virtuelne instrumentacije u realizaciji laboratorijskih vežbi iz oblasti električnih merenja*, Tehnički fakultet, Čačak, 2011.
- [5] Internet stranica: <https://www.ni.com/en-rs/shop/labview.html>, posećeno 30.04.2023
- [6] Internet stranica: <https://www.emotiv.com/glossary/electroencephalogram/>, posećeno 30.04.2023.
- [7] Mandić S., Pejanović V., Đerić J., Evetović N., Miljuš S., Sovilj P., *Razvojna i eksperimentalna platforma u nastavnim aktivnostima iz oblasti interfejsa mozak-računar*, Univerzitet tehničkih nauka u Novom Sadu, 2023.
- [8] Internet stranica: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0242857>, posećeno 30.04.2023.

ABSTRACT

Electroencephalography (EEG) is a neurophysiological electrographic method of recording brain activity through surface electrodes placed on the head. It is a completely painless diagnostic method and is mostly used in neurology to examine epileptic conditions, tumors, sleep disorders, inflammation of the brain and other brain diseases. Research in this area is giving more and more results in understanding the emotions and attention of respondents. In addition, monitoring the electrical activity of the brain has found its application in biomedical engineering as part of brain-computer interface instrumentation (Brain Computer Interface, BCI). The goal of this work is to enable the development of a platform for monitoring basic cognitive parameters based on EEG signals and virtual instrumentation of the LabVIEW program.

Development of virtual instrumentation for monitoring cognitive parameters based on EEG signal measurement

Jelena Rafailović, Sanja Mandić, Platon
Sovilj