



Sveučilište u Rijeci  
**TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA**

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

**Automatizirana instrumentacija**  
**Seminarski rad**

*Određivanje fazne povezanosti korištenjem koherencije (MSC) u alfa području*

Studenti:

Daniel Đuranović

Natalija Ivoš

Rijeka, 5. 07. 2021. godine

## **Sadržaj:**

1. Uvod .....	1
2. Valni oblici EEG-a .....	2
3. Spektralna gustoća snage i funkcija autokorelacije.....	4
4. Kros-korelacija i kros-spektralna gustoća.....	4
5. Koherencija .....	5
6. 10-20 Sustav elektroda.....	6
7. Obrada EEG signala i dobiveni rezultati .....	7
7.1. Obrada podataka za otvorene oči.....	7
7.2. Obrada podataka za zatvorene oči .....	10
8. Zaključak.....	13
9. Literatura.....	14

## 1.Uvod

Elektroencefalografija ili skraćeno EEG je neinvazivna metoda kojom se proučavaju moždani procesi, tj. mjeri se spontana električna aktivnost mozga. Aktivnost mozga određena je različitim moždanim valovima koji su aktivni određenim frekvencijama. Dobiveni signali nisu baš jednostavni za razumijevanje i sadrže mnogo šuma koje je potrebno spektralno transformirati.

Definiciju koherencije prema Antonovskyom možemo opisati kao globalnu orijentaciju koja odražava u kojoj je mjeri prisutan prožimajući, trajan, ali istovremeno i dinamičan osjećaj sigurnosti da su podražaji iz nečije unutarnje i vanjske okoline strukturirani, predvidljivi i objašnjivi, da na raspolaganju ima resurse koji mogu zadovoljiti zahtjeve koji iz njih proizlaze, te da se ti zahtjevi doživljavaju kao izazovi kojima se je vrijedno baviti.

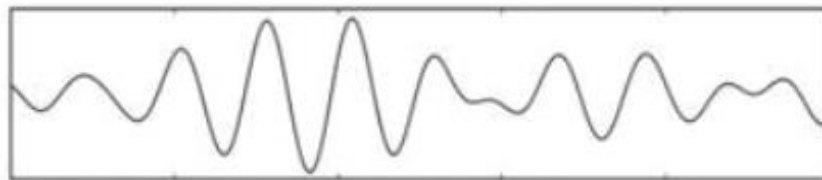
U ovome radu implementiran je algoritam u MatLabu-u koji za EEG signale na *10 Hz* (unutar alfa područja) određuje koherenciju (engl. „MSC- magnitude squared coherence“) i određuje par elektroda s najboljom/najgorom povezanosti pritom uzimajući određene uvjete (zanemaruje fizički susjedne elektrode i elektrode iz istog područja) te su rezultati priloženi u ovome radu.

## 2. Valni oblici EEG-a

Valne oblike EEG-a karakteriziraju određena frekvencija, amplituda i mjesto nastanka. Prema tim parametrima valne oblike dijelimo na:  $\alpha$ -valove,  $\beta$ -valove,  $\gamma$ -valovi,  $\theta$ -valovi i  $\delta$ -valovi.

- $\alpha$ -valovi

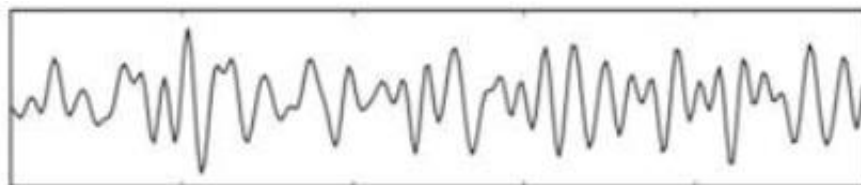
Amplituda  $\alpha$ -valova iznosi približno  $20\text{--}80\ \mu V$ , a frekvencija se kreće od  $8\text{--}12\ Hz$ . Dominiraju u okcipitalnoj regiji, no nisu isključeni i u frontalnom i parijetalnom području. Najčešće se javljaju u optimalnim količinama kada je pacijent opušten, a atenuiraju prilikom otvaranja očiju. Prevelika zastupljenost ukazuje na sanjarenje i nemogućnost koncentracije, dok premalom zastupljenosti dovodi do stresa, anksioznosti, nesanice i slično.



*Slika 2.1. Primjer  $\alpha$ -valova [1]*

- $\beta$ -valovi

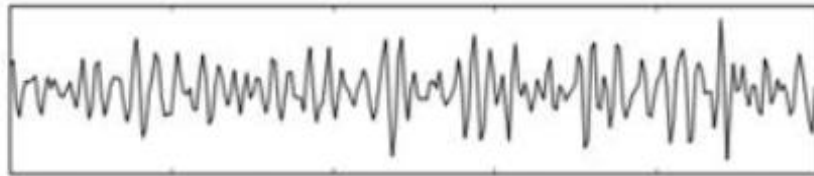
Amplituda  $\beta$ -valova je manja od  $\alpha$ -valova i iznosi oko  $20\ \mu V$ , a frekvencija se kreće od  $14\text{--}30\ Hz$ . Dominiraju najčešće u frontalnom i parijetalnom području. Optimalne količine javljaju se prilikom pojačane moždane aktivnosti (rješavanje problema, pamćenje...). Prevelika zastupljenost ukazuje na stres i uznemirenost, dok premala zastupljenost na depresiju, ADHD itd.



*Slika 2.2. Primjer  $\beta$ -valova [1]*

- $\gamma$ -valovi

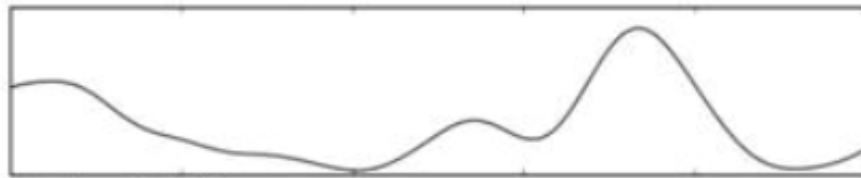
$\gamma$ -valovi spadaju u valove koji imaju najveću frekvenciju od  $30-100\text{ Hz}$ . Optimalna količina, prema istraživanjima, dovodi do visokih razina procesiranja informacija.



*Slika 2.3. Primjer  $\gamma$ -valovi [1]*

- $\delta$ -valovi

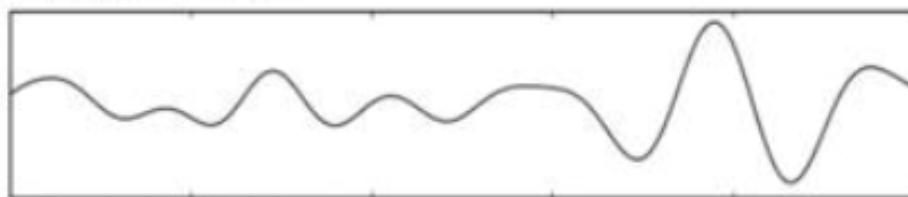
Amplituda  $\delta$ -valova iznosi oko  $60-100\text{ }\mu\text{V}$ , a frekvencijsko područje se nalazi od  $0-4\text{ Hz}$ . Pojavljuje se u velikom mozgu bez obzira na aktivnosti u nižim slojevima mozga. Najčešće se javlja u dubokom snu, no mogu se javiti i prilikom težih bolesti mozga.



*Slika 2.4. Primjer  $\delta$ -valova [1]*

- $\theta$ -valovi

$\theta$ -valovi imaju amplitudu oko  $70\text{ }\mu\text{V}$ , a frekvencijsko područje između  $4-8\text{ Hz}$ . Dominiraju u parijetalnim i temporalnim regijama. Javljaju se kod emocionalnih stresova, frustracija i napetosti kod mlađe do starije djece te odraslih. Mogu se javiti i kod poremećaja mozga.



*Slika 2.5. Primjer  $\theta$ -valovi [1]*

### 3. Spektralna gustoća snage i funkcija autokorelacije

Spektralna gustoća snage (engl. „PSD- Power spectral density“) je funkcija koja povezuje snagu valnog oblika s Fourierovom transformacijom. Pokazuje snagu varijacija (energije) u ovisnosti o frekvenciji. Drugim riječima, pokazuje na kojim su varijacijama frekvencije jake, a na kojim slabe. Spektralnu gustoću snage može se prikazati izrazom (3.1.):

$$P_{\omega}(f) \triangleq \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|W_T(f)|^2}{T} \quad (3.1.)$$

gdje  $w(t) \leftrightarrow W_t(f)$  prikazuje ograničeni signal.

Spektralna gustoća snage je pozitivna funkcija frekvencije i invarijantna je na spektar faze signala  $\omega(t)$  jer se prilikom izračuna apsolutne vrijednosti fazni dio izgubi. Funkcija autokorelacije  $R_{\omega}(\tau)$  može se prikazati izrazom (3.2.):

$$R_{\omega}(\tau) \triangleq \langle \omega(t)\omega(t + \tau) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \omega(t)\omega(t + \tau) dt \quad (3.2.)$$

Funkcija spektralne gustoće snage i autokorelacije su Fourierovi parovi, a ta veza se naziva Wiener - Khintchinov teorem (3.3.):

$$R_{\omega}(\tau) \leftrightarrow P_{\omega}(f) \quad (3.3.)$$

Zaključak je da spektralnu gustoću snage možemo izračunati pomoću proračuna funkcije autokorelacije i računanjem Fourierove transformacije  $P_{\omega}(f) = \mathcal{F}[R_{\omega}(\tau)]$ , vrijedi izraz (3.4.):

$$P = \langle \omega^2(t) \rangle = W_{rms}^2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{\omega}(f) df = R_{\omega}(0) \quad (3.4.)$$

### 4. Kros-korelacija i kros-spektralna gustoća

Funkcija kros-korelacije  $R_{xy}(\tau)$  je funkcija koja definira odnos između dva slučajna signala. Matematički možemo izraziti  $R_{xy}(\tau)$  prema izrazu (4.1.):

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t - \tau) dt \quad (4.1.)$$

Kros-spektralna funkcija gustoća (KSFG) je Fourierova transformacija funkcije kros-korelacije (KKF) te je dana izrazom (4.2.):

$$S_{xy}(f) = F \{R_{xy}(\tau)\} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (4.2.)$$

Kros-spektralna gustoća je spektralna analiza koja uspoređuje dva signala. Daje ukupnu spektralnu gustoću snage šuma dva signala. Jedini je uvjet da između ta dva signala postoji neka fazna razlika ili vremensko kašnjenje. KSFG analiza je najprikladnija za proučavanje učinka stacionarnih, ali stohastičkih signala.

## 5. Koherencija

Koherencija (engl. „MSC- magnitude squared coherence“) alat je za obradu signala koji pokazuje koliko se dobro podudaraju dva signala iz vremenske domene jedan s drugim prateći linearne ovisnosti u njihovom spektralnom raspadanju. Koherencija između dva signala  $x(t)$  i  $y(t)$  stvarna je vrijednost koja se definira prema izrazu (5.1.):

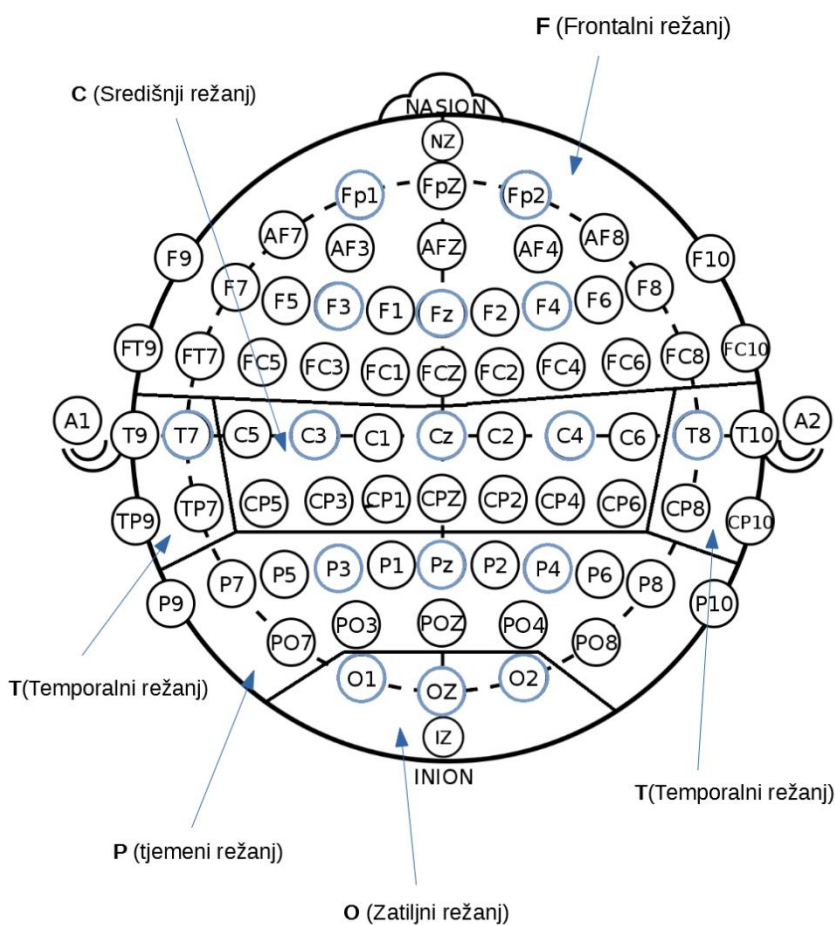
$$C_{xy}(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f) \cdot G_{yy}(f)} \quad (5.1.)$$

gdje je  $G_{xy}(f)$  kros-spektralna gustoća između  $x$  i  $y$ , a  $G_{xx}(f)$  i  $G_{yy}(f)$  autospektralne gustoće  $x$  i  $y$ .

Veličina spektralne gustoće označava se kao  $|G|$ . S obzirom na gore navedena ograničenja (ergodičnost, linearnost), funkcija koherentnosti procjenjuje do koje mjere se  $y(t)$  može predvidjeti iz  $x(t)$  pomoću optimalne linearne funkcije najmanjih kvadrata. Vrijednost koherencije kreće se između 0 i 1, gdje 1 predstavlja potpuno podudaranje signala.

## 6. 10-20 Sustav ekektroda

Za prikupljane EEG signala koristilo se 16 koje su prikazane na Slici 6.1. zaokružene plavom bojom i podijeljene prema sustavu 10-20. Svaka elektroda ima slovo koje označuje dio lubanje i broj za lokaciju. Slova koja se koriste su: F (*frontalni režanj*), T (*temporalni režanj*), C (*središnji režanj*), P (*tjemeni režanj*), O (*zatiljni režanj*). Parni brojevi (2, 4, 6, 8) odnose se na desnu stranu, a neparni brojevi (1, 3, 5, 7) odnose se na lijevu stranu lubanje. Slovo Z se odnosi na elektrode pozicionirane na središtu.



*Slika 6.1. – Pozicije elektroda [6]*

Prilikom implementacije algoritma kod usporedbe trebalo je uzeti u obzir da se zanemare elektrode koje se nalaze u istoj zoni (F, T, C, ...) i elektrode koje su ujedno i međusobno fizički susjedne. Imena elektroda s njihovim oznakama (brojevima) dana su u Tablici 6.1. te će se nadalje u tekstu elektrode referirati po brojevima.



Tablica 6.1. – Elektrode i njihove oznake

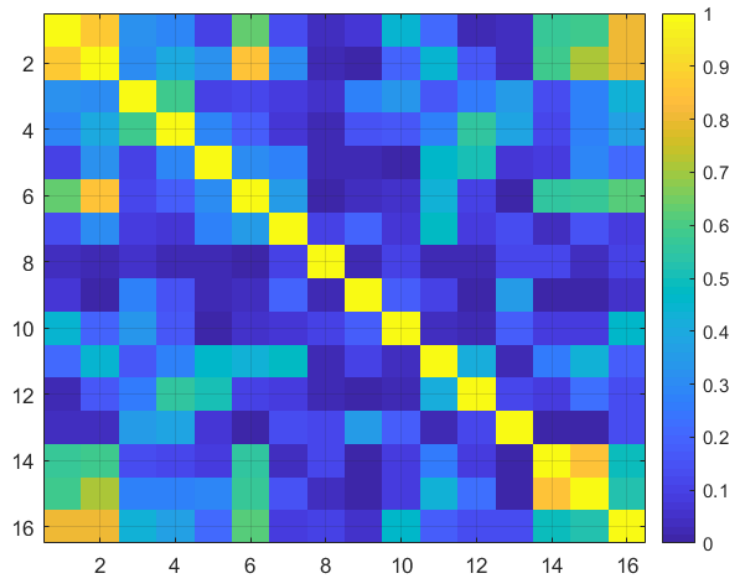
Elektroda	Oznaka
<i>Fp1</i>	<i>1</i>
<i>Fp2</i>	<i>2</i>
<i>F3</i>	<i>3</i>
<i>Fz</i>	<i>4</i>
<i>F4</i>	<i>5</i>
<i>T7</i>	<i>6</i>
<i>C3</i>	<i>7</i>
<i>Cz</i>	<i>8</i>
<i>C4</i>	<i>9</i>
<i>T8</i>	<i>10</i>
<i>P3</i>	<i>11</i>
<i>Pz</i>	<i>12</i>
<i>P4</i>	<i>13</i>
<i>O1</i>	<i>14</i>
<i>Oz</i>	<i>15</i>
<i>O2</i>	<i>16</i>

## 7. Obrada EEG signala i dobiveni rezultati

Dobiveni izmjereni EEG signali već su prethodno bili pretprocesirani (filtrirani, ispravljen „DC-offset“, ...) te je samo bilo potrebno filtrirati EEG signale od *10 Hz* u alfa području pojasno propusnim (PP) filtrom i odrediti povezanost. Usporedili su se podaci s elektroda za otvorene te zatim za zatvorene oči i zatim su prikazani dobiveni rezultati u daljnjem tekstu.

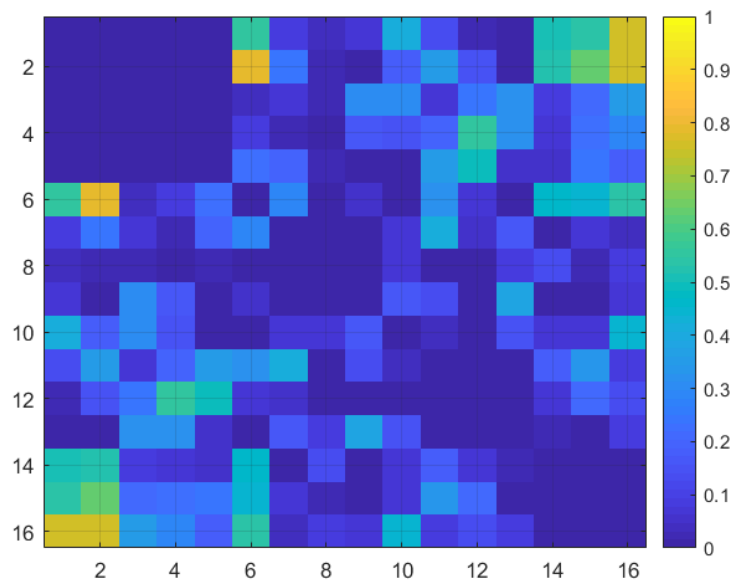
### 7.1. Obrada podataka za otvorene oči

Prvo je primijenjen algoritam na podatke za određivanje koherencije gdje su uzete u obzir sve elektrode (nisu se zanemarile elektrode iz istog područja) te su dobiveni rezultati prikazni u obliku histograma na Slici 7.1.



*Slika 7.1. – MSC koherencija između svih parova elektroda za otvorene oči na frekv. 10 Hz*

Promotri li se histogram sa Slike 7.1. može se primijetiti da „dijagonalne“ vrijednosti MSC koherencije su maksimalne (jedan), što predstavlja preklapanje između istih elektroda. Pošto su to identični signali oni bi trebali imati maksimalno preklapanje iz toga se može zaključiti da je algoritam dobro implementiran. Uvrsti li se u algoritam uvjeti da se zanemare i elektrode iz istog područja dobije se histograma sa Slike 7.2.



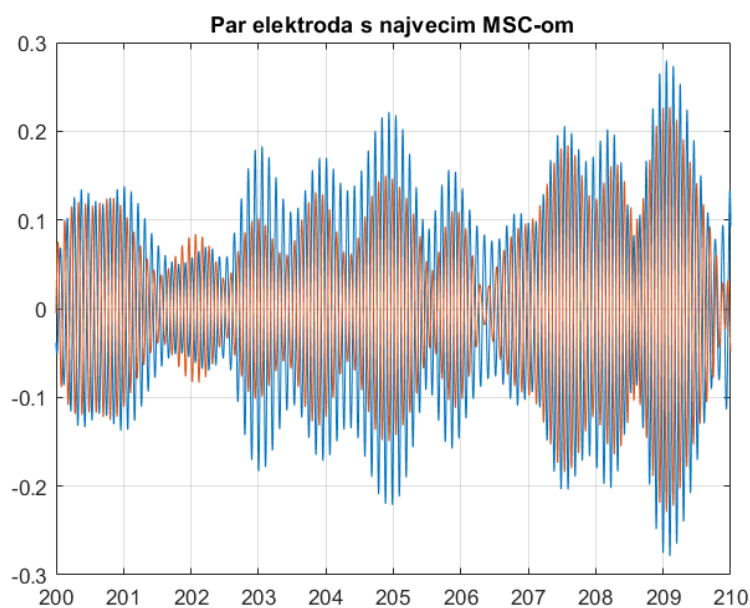
*Slika 7.2. – MSC koherencija uz zanemerene elektrode iz istog područja za otvorene oči na frekv. 10 Hz*

Algoritam za slučaj otvorenih očiju izbacila da najbolju MSC koherenciju (povezanost) na 10 Hz imaju *elektroda 2 (Fp2)* i *elektroda 6 (T7)* čiji je iznos koherencije  $MSC = 0.79$ , dok najgoru povezanost imaju elektrode *9 (C4)* i *15 (Oz)* čiji je iznos koherencije  $MSC$ -a višestruko manji. (Slika 7.3.). Također promatrajući histogram sa Slike 7.2. mogu se primijetiti isti rezultati.

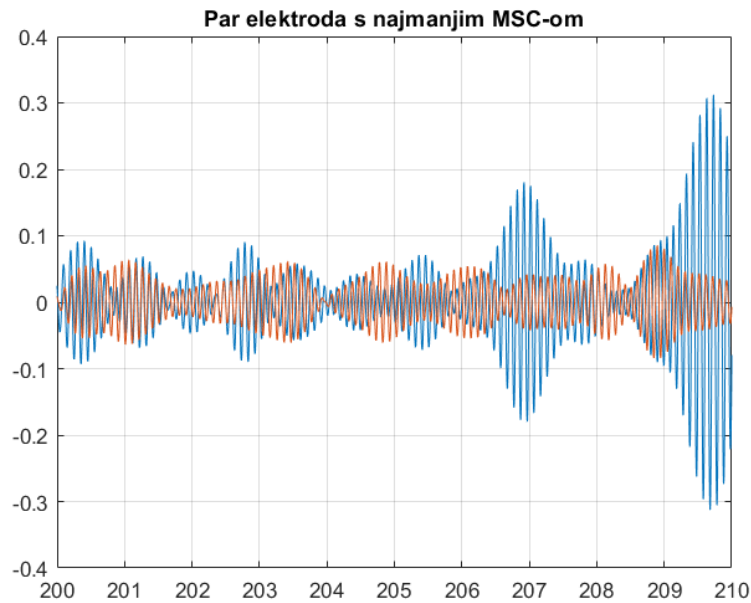
```
Elektroda 2 i elektroda 6 imaju najbolju povezanost (MSC :0.788850)
Elektroda 9 i elektroda 15 imaju najlosiju povezanost (MSC :0.000882)
```

*Slika 7.3. – Rezultat algoritma u MatLab-u za otvorene oči*

Na Slikama 7.4. i 7.5. prikazani su vremenski isječci dvaju filtriranih EEG signala od 10 Hz s najboljim i najlošijim koeficijentom MSC koherencije. Usporede li se te dvije slike može se primijetiti da na Slici 7.4. dva signala imaju puno veće podudaranje nego dva signala prikazana na Slici 7.5. koja imaju podosta manje podudaranje.



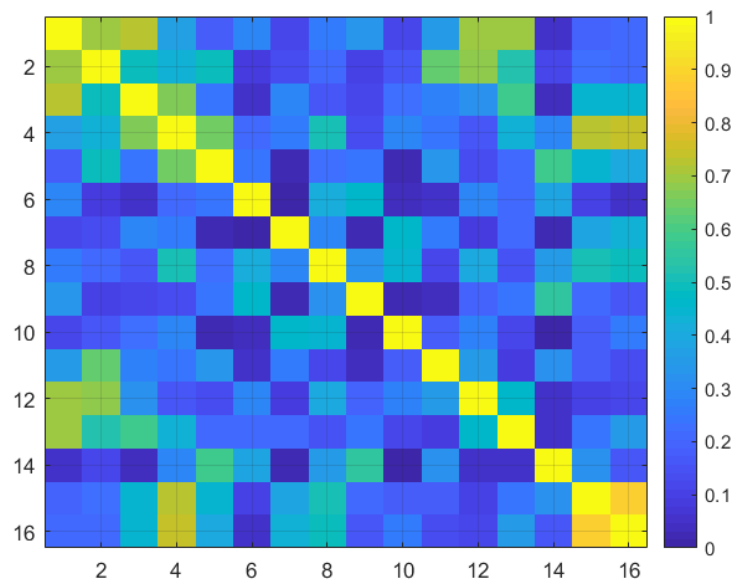
*Slika 7.4. – Vr. isječak EEG signala elektroda s najboljom povezanošću (elektrode 2 i 6)*



*Slika 7.5. – Vr. isječak EEG signala elektroda s najgorom povezanošću (elektrode 9 i 15)*

## 7.2. Obrada podataka za zatvorene oči

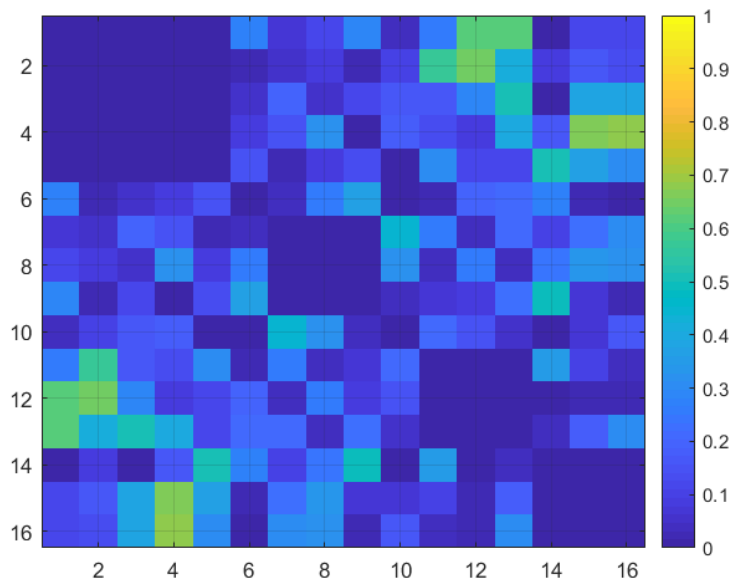
Kao u prethodnom slučaju prvo je primijenjen algoritam tako da su uzete u obzir sve elektrode i njihovi rezultati su prikazani u obliku histograma na slici 7.6.



*Slika 7.6. – MSC koherencija između svih parova elektroda za zatvorene oči na frekv. 10 Hz*

Promotri li se Slika 7.6. Može se doći odmah do zaključka da se povezanost između elektroda promijenila. Ponajviše u središnjem dijelu histograma iznos MSC koherencije između elektroda

se povećao dok se na kutovima (elektrode 1-4 i 12-16) većinom smanjio. Napravi li se ista usporedba, ali sada uz zanemarene elektrode iz istog područja dobiju se rezultati prikazani na slici 7.7.



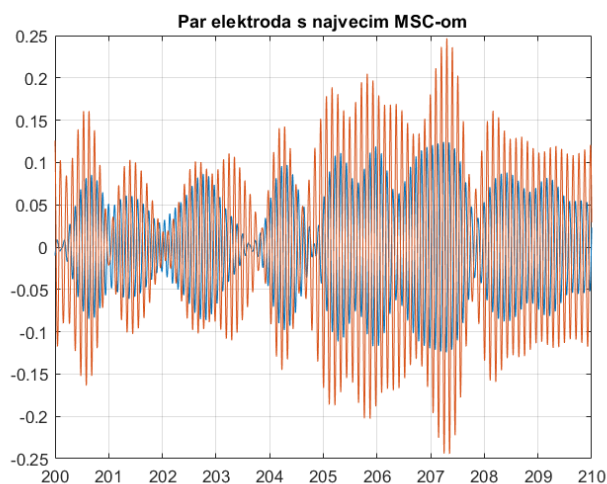
*Slika 7.7. – MSC koherencija uz zanemarene elektrode iz istog područja za zatvorene oči na frekv. 10 Hz*

Za slučaj zatvorenih očiju algoritam je odredio da najveću povezanost imaju elektrode 4 ( $F_z$ ) i 16 ( $O_2$ ) čiji je iznos  $MSC = 0.68$ , dok najmanju povezanost imaju elektrode 3 ( $F_3$ ) i 14 ( $O_1$ ) čiji je iznos  $MSC$ -a višestruko manji (Slika 7.8.).

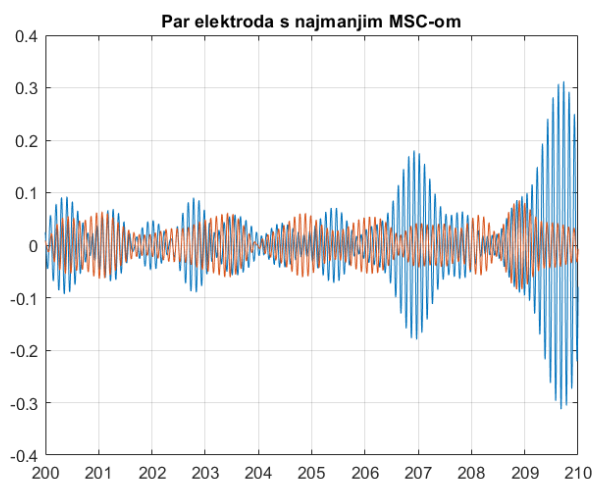
```
Elektroda 4 i elektroda 16 imaju najbolju povezanost (MSC :0.676999)
Elektroda 3 i elektroda 14 imaju najlosiju povezanost (MSC :0.001990)
```

*Slika 7.8. - Rezultat algoritma u MatLab-u za zatvorene oči*

Prikažu li se kao i za obradu signala otvorenih očiju vremenski isječci signala za zatvorene oči (Slike 7.9. i 7.10.) dolazi do istog zaključka da elektrode sa najvećim poklapanjem imaju najviše podudaranja. Iz rezultata sa zatvorene oči dviju elektroda sa najvećim koeficijentom MSC koherencije naspram rezultata za otvorene oči, može se zaključiti da kod rezultata za zatvorene oči imaju manji iznos što znači i manje preklapanje signala. Uz to generalno iz Slika 7.2. i 7.7. može se primijetiti da iznos koherencije između elektroda se smanjuje.



Slika 7.9. – Vr. isječak EEG signala elektroda s najboljom povezanošću (elektrode 4 i 16)



Slika 7.10. – Vr. isječak EEG signala elektroda s najgorom povezanošću (elektrode 3 i 14)

Za kraj, usporede li se rezultati najbolje povezanosti (najveći iznosi MSC koherencije) između dva para elektroda za slučajeve zatvorenih i otvorenih očiju (Tablica 7.1.), može se zaključiti da kod slučaja zatvorenih očiju dolazi do pada vrijednosti koeficijenta koherencije za 11% naspram slučaja otvorenih očiju.

Tablica 7.1. – Usporedba rezultata najboljih povezanosti za dva slučaja podataka

Slučaj	Otvorene oči	Zatvorene oči
Elektrode	2 ( <i>Fp2</i> ) i 6 ( <i>T7</i> )	4 ( <i>Fz</i> ) i 16 ( <i>O2</i> )
Vrijednost MSC koherencije	0.79	0.68

## 8. Zaključak

MSC koherencija predstavlja jedan od matematičkih alata kojim se određuje povezanosti mozga. Prema literaturi [2] MSC koherencija je linearna i funkcionalna, ali nije prigodna za upotrebu u svim situacijama. Prilikom implementacije algoritma za određivanje MSC koherencije u MatLab-u te primjenom tog istog na dva slučaja podataka (otvorene i zatvorene oči) i osmatranjem dobivenih rezultata, primjećeno je da je došlo do promjene vrijednosti koherencije te samim time i podudaranja između EEG signala između parova elektroda koji se u velikom broju slučaja smanjilo za slučaj zatvorenih očiju (uz to kada se zanemare elektrode iz istih područja).

## 9. Literatura

- [1] Greek Alphabet Soup-Making Sense of EEG Bands, <http://neurosky.com/2015/05/greek-alphabet-soup-making-sense-of-eeb-bands/>
- [2] V. Sakkalis, Review of advanced techniques for the estimation of brain connectivity measured with EEG/MEG, Computers in Biology and Medicine, Volume 41, Issue 12, 2011, Pages 1110-1117.
- [3] Sheida Malekpour, John A. Gubner, William A. Sethares, Measures of generalized magnitude-squared coherence: Differences and similarities, Journal of the Franklin Institute, Volume 355, Issue 5, 2018, Pages 2932-2950, ISSN 0016-0032.
- [4] Di Paola, Mario & Pinnola, Francesco. (2012). CROSS-POWER SPECTRAL DENSITY AND CROSS-CORRELATION REPRESENTATION BY USING FRACTIONAL SPECTRAL MOMENTS.
- [5] Power spectral density spectrum for noise modeling and filter desing, <https://resources.system-analysis.cadence.com/blog/msa2020-cross-power-spectral-density-spectrum-for-noise-modelling-and-filter-design>
- [6] International 10-20 system for EEG-MCN.svg, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:International\\_10-20\\_system\\_for\\_EEG-MCN.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:International_10-20_system_for_EEG-MCN.svg)
- [7] mscohere Matlab funkcija – Matlab On-line help, <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/mscohere.html>