



Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Katedra za signale i sisteme



AES PROJEKAT

Human-computer-interface primenom elektrookulografskih signala (pokreta očiju)

Kandidat

Luka Carić 2020/0088

Petar Kovačević 2020/0428

Mentor

prof. dr Milica Janković

Beograd, *jul* 2023. godine

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	2
1 UVOD.....	3
2 METODOLOGIJA RADA.....	4
2.1 Akvizicija signala.....	4
2.2 Hardver.....	5
2.3 Softver.....	7
2.3.1 Kalibracija.....	7
2.3.2 Analiza signala i kontrola miša.....	9
3 Diskusija.....	11
4 ZAKLJUČAK.....	13
5 LITERATURA.....	14
PRILOG 1.....	15
PRILOG 2.....	17

1 UVOD

Elektrookulografija (EOG) je metoda detekcije i obrade elektropotencijala koji nastaju prilikom pomeranja očiju. U zavisnosti od pozicije očiju se detektuju karakteristični signali. Ima najčešće primene u dijagnostici i čovek-kompjuter interakciji. Za razliku od komercijalnih eye tracker uređaja EOG detektori su jeftini, ne zahtevaju kamere i mogu detektovati signale u očnim mišićima kod ljudi koji nisu u mogućnosti da značajno pokreću oči.

Merne elektrode se postavljaju u 4 tačke vertikalno i horizontalno u odnosu na oko. Pri različitim pokretima očiju dobijaju se odgovarajući naponski signali na elektrodama, na osnovu čega možemo da registrujemo tip pokreta koji je izvršen (u kom pravcu oko gleda). EOG merenja mogu biti od koristi u različitim akvizicionim sistemima. Često se prilikom snimanja elektroencefalograma (EEG) uporedo snimaju i EOG signali sa ciljem da se eliminišu poremećaji usled pokreta očiju. EOG se sve češće primenjuje u projektima koji se bave komunikacijom ljudskog mozga sa kompjuterom (engl. BCI – Brain Computer Interface), uglavnom zajedno sa EEG merenjima. Ovakvi projekti se najčešće zasnivaju na izazivanju evociranih potencijala i obradi dobijenih signala. Kod osoba sa smanjenom ili potpuno onemogućenom pokretljivošću tela javlja se potreba za uređajem koji bi u određenoj meri mogao da izvršava neke od funkcija ekstremiteta. Jedan od načina na koji bi ovo moglo da se ostvari je korišćenjem EOG signala zato što u većini slučajeva oči zadržavaju svoju funkcionalnost. Obradom ovih signala može da se realizuje komunikacija sa računarom, kontrola pomagala ili nekih drugih električnih uređaja. Programiranje mikrokontrolera je realizovano u Arduinu, a ostatak obrade u Python-u. Obrada se sastoji iz klasifikacije dobijenih signala i time određivanja koji pokret oka je izvršen.

Cilj našeg projekta je da unapredimo EOG pojačavač koji je bio tema jednog od prethodnih projekata na ovom predmetu, na osnovu čega projektujemo PCB koji je moguće lako reprodukovati u budućnosti. Kalibracija će biti izvršena pomoću komercijalnog eye tracker uređaja. Poredićemo merenja EOG signala novog i starog pojačavača, kao i preciznost merene pozicije očiju u odnosu na komercijalne uređaje.

2 METODOLOGIJA RADA

2.1 Alvizicija signala

EOG signal se meri pomoću elektroda koje su postavljene na kožu oko očiju. Postoje nekoliko uobičajenih postavki elektroda koje se koriste za EOG mjerenja.

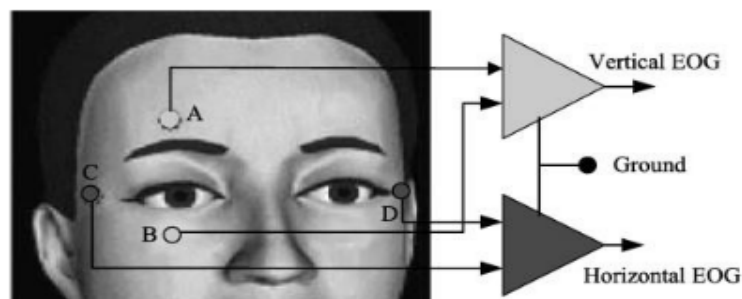
Najčešća postavka elektroda je bipolarni ili dvokanalni sistem. U ovom slučaju, dve elektrode su postavljene na prednju stranu lica, jedna iznad i druga ispod oka. Ove elektrode beleže razliku u potencijalu između ta dva mesta, što je povezano sa aktivnošću mišića oka.

Druga postavka elektroda koja se koristi je unipolarna ili referentna postavka. U ovom slučaju, jedna elektroda se postavlja na sredinu čela ili na mesto blizu oka, dok se druga elektroda postavlja na neaktivno područje tela, poput uha ili temena. Ova postavka omogućuje merenje potencijala između očne elektrode i referentne elektrode.

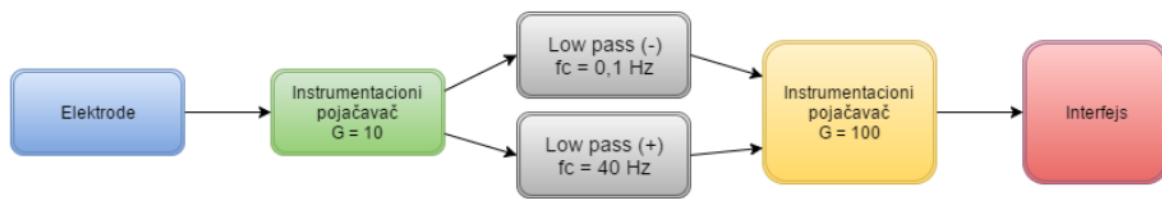
Kada su elektrode postavljene, EOG signal se meri pomoću elektroencefalografskog (EEG) ili elektromiografskog (EMG) sistema za snimanje. EEG/EMG sistem detektuje i beleži električne potencijale koji se generišu u mišićima oka tokom kretanja očiju.

Nakon snimanja, EOG signali prolaze kroz proces filtriranja kako bi se uklonili šumovi i neželjene komponente. Mogu se primeniti filtri niskih prolaza kako bi se eliminisali visokofrekventni artefakti i frekvencijski spektar ograničen na područje od interesa.

Važno je napomenuti da EOG signali ne daju precizne informacije o položaju očiju ili smeru pogleda, već pružaju relativne informacije o kretanju očiju. Za precizno praćenje pokreta očiju i detekciju položaja pogleda koriste se drugi senzori, poput infracrvenih kamera.



Slika 1. Postavka elektroda za merenje EOG-a.

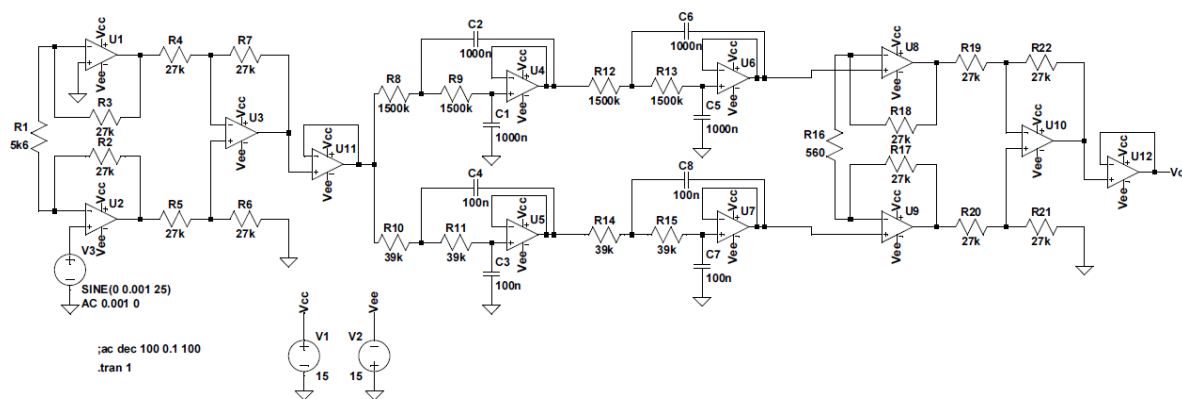


Slika 2. Blok sema sistema za akviziciju

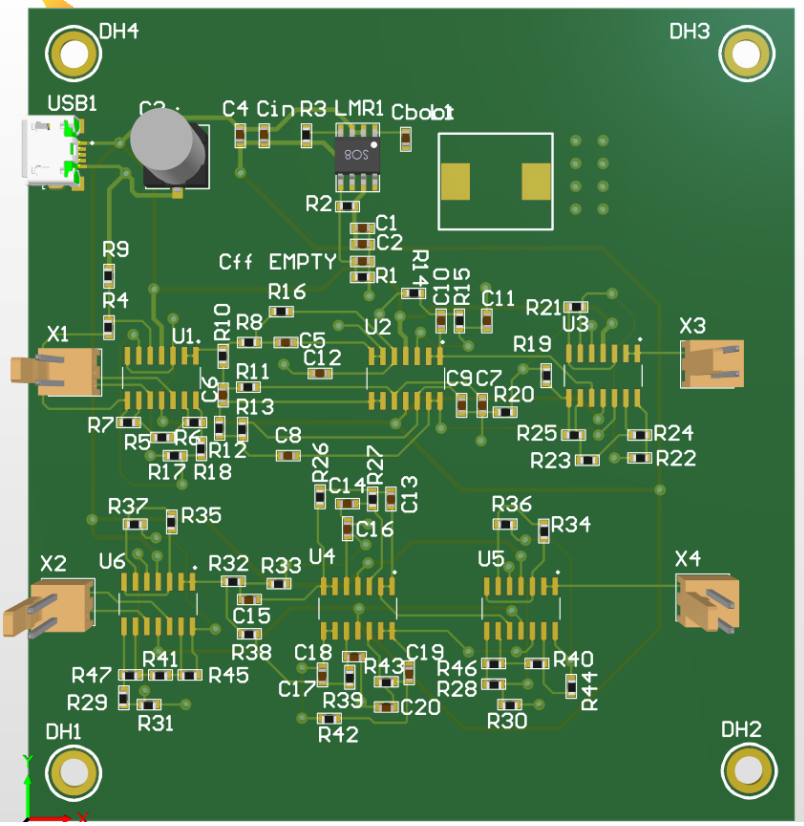
2.2 Hardver

Hardverski deo ovog projekta podrazumeva dizajn štampane ploče za EOG pojačavač. Njegova šema je osmišljena kao deo projekta u okviru ovog predmeta (Ćirić, Mijailović, Malešević).

Pojačavač EOG signala se sastoji od instrumentacionog pojačavača na ulazu, dva aktivna filtera signala koji obezbeđuju propusni opseg od 0.1Hz do 40Hz što je sasvim dovoljno za dalju obradu EOG signala, a eliminiše šum mreže. Izlazni signal se nalazi u opsegu od -1V do +1V Na kraju se nalazi još jedan instrumentacioni pojačavač. Do sada se ovo kolo nalazilo na proto bordu.



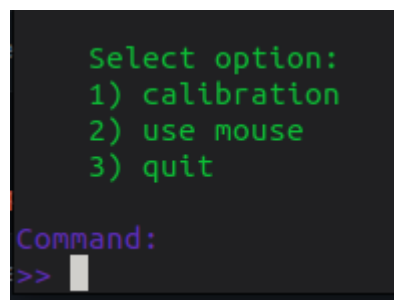
Slika 3. Šema pojačavačkog kola



2.3 Softver

Za akviziciju podataka korišćen je Arduino koji preko serijskog porta šalje podatke ostatku sistema koji je pisan u Python programskom jeziku. Korišćena su samo očitavanja sa dva analogna pina tako da se u nekom budućem projektu Arduino može zameniti nekim manjim je jednostavnijim mikrokontrolerom sto bi jos smanjilo cenu i veličinu celog sistema.

U Python-u napisan je jednostavan command-line interfejs koji za sada ima opcije kalibracije i kontrole miša u realnom vremenu na osnovu snimljenog eog-a.



Slika 5. command-line interfejs

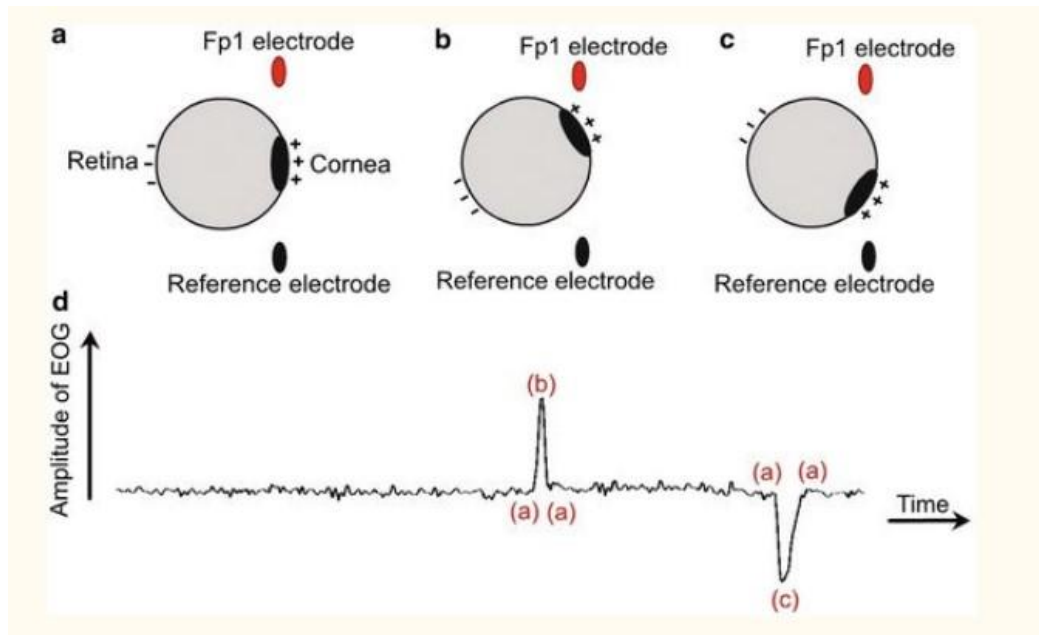
2.3.1 Kalibracija

Kalibracija započinje naredbom sa komandne linije da ispitanik pogleda u neku stranu na odredjen vremenski period (*"Look UP for 5 seconds"*), nakon čega ispitanik usmerava svoj pogled na tu stranu i eog se snima. Vremenski period koliko traje snimanje je hiperparametar koji treba varirati i naci period za koje je oko dovoljno dugo fiksirano u pravom smeru da se eog stabilise na nekoj vrednosti, a u isto vreme taj period treba da bude dovoljno kratak da oko nema mnogo neželjenih pokreta u drugim smerovima koji ce nam predstavljati problem za kalibraciju.

Kalibracija se vrši u četiri pravca gore, dole, desno i levo i za svaki pravac se traži prag iznad kog možemo zaključiti da ispitanik gleda u tom pravcu. Prvi kanal pojačavača snima pokrete oka na gore i dole a drugi na levo i desno.

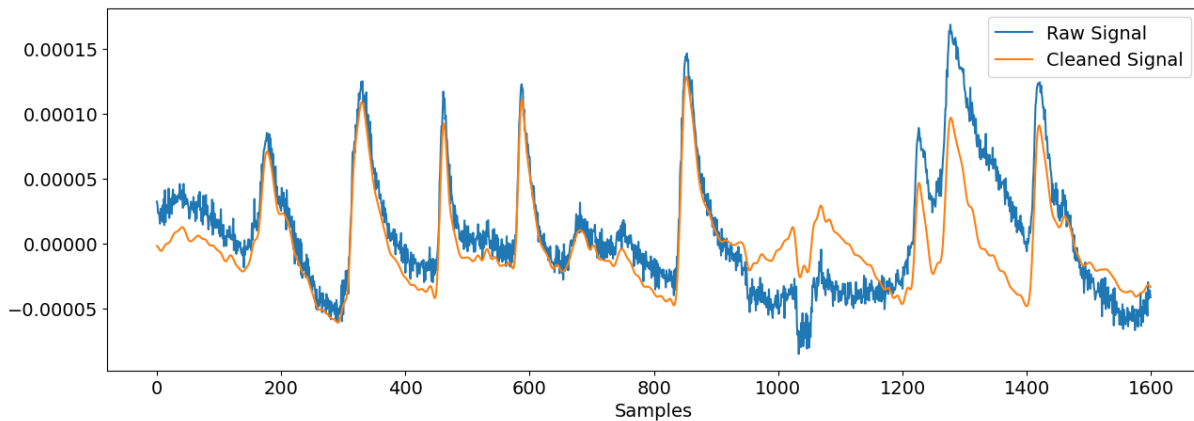
Rezultat kalibracije su četiri vrednosti koje predstavljaju pragove i oni se dobijaju uzimanjem nekog procenta srednje vrednosti signala koji je sniman tokom kalibracije i čuvaju se u csv fajlu. Procenat se uzima zbog toga sto se pri kalibraciji gleda maksimalno u neku stranu a mi kao pokret klasifikujemo i manja pomeranja oka. Ovo je takodje hiperparametar koji treba varirati i na koji najviše utiče pomeranje bazne linije usled promene osvetljenja koji je jedan od najproblematičnijih artefakata pri analizama eog-a i glavni razlog za čestu rekalkibraciju.

$$\text{classify}(\text{value}) \begin{cases} \text{value} \geq \text{Amplitude}_{\text{Threshold}} \cdot \text{Tolerance} \rightarrow \text{High} \\ \text{value} < \text{Amplitude}_{\text{Threshold}} \cdot \text{Tolerance} \rightarrow \text{Low} \end{cases}$$



Slika 6. Veza eog-a i pokreta oka

Pri snimanju i kalibraciji može se koristiti i dodatna filtracija, koja se omogućava u kodu u fajlu "calibration.py" tako što se promenljiva `FILTRATION` promeni iz `False` u `True`. Za dodatnu filtraciju eog signala koriscena je *NEURALKIT2* python biblioteka koja koristi 'butterworth' filter.



Slika 7. Primer ne filtriranog i filtriranog signala

2.3.2 Analiza signala i kontrola miša

Nakon kalibracije možemo vršiti klasifikaciju eog-a u realnom vremenu tako što snimljenu vrednost signala poredimo sa odgovarajućim pragovima nakon čega dobijamo estimaciju o tome gde ispitanik gleda. Klasifikacija se vrši nezavisno za svaki od kanala tako da možemo dobiti i dijagonalne pokrete a ne samo pokrete u 2 ose. Klasifikaciju vrši funkcija *analyse* u *analysis.py* fajlu i ona kao izlaz daje vektor sa dve vrednosti koje predstavljaju komande za gore, dole, desno i levo. Ne vrši se analiza amplituda signala već su sve vrednosti iznad praga smatraju odgovarajućim pokretom. Opravdanje za ovu pojednostavljenu analizu je to da pri gledanju u ekran, zbog njegovih relativno malih dimenzija, oko ne dolazi do maksimalne amplitude pri pokretima, već ako je prag dobro postavljen on će registrovati svaki pokret kao komandu a trajanje pokreta će biti srazmerno broju komandi koje će sistem zadati.

U našoj aplikaciji izlaz analize se koristi za kontrolu miša pokretima očiju. On za svaki pokret vrši pomeranje miša u odgovarajuću stranu. Ovaj sistem može omogućiti jednostavan i jeftin način za ljude sa invaliditetom da interaguju sa kompjuterom.

Kontrola miša se vrši pomoću *pyautogui* biblioteke i zavisi od dva hiperparametra *STRIDE* i *DURATION* koji se mogu podesavati u *mouseControl.py* fajlu. Stride se odnosi na broj piksela za koji će se miš pomeriti pri svakoj zadatoj komandi i on zavisi od rezolucije ekrana i

osetljivosti odziva na pokret koju želimo imati. Duration se odnosi na trajanje svakog pokreta i on zavisi od frekvencije odabiranja koja se podesava u kodu za Arduino.

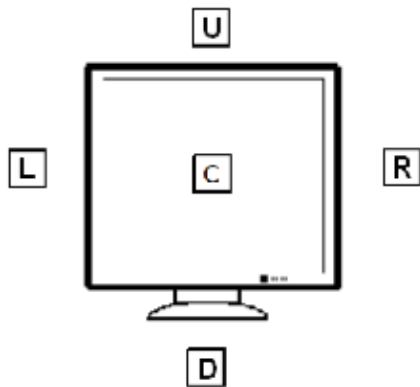


Figure 16. Targets of eyes movements.

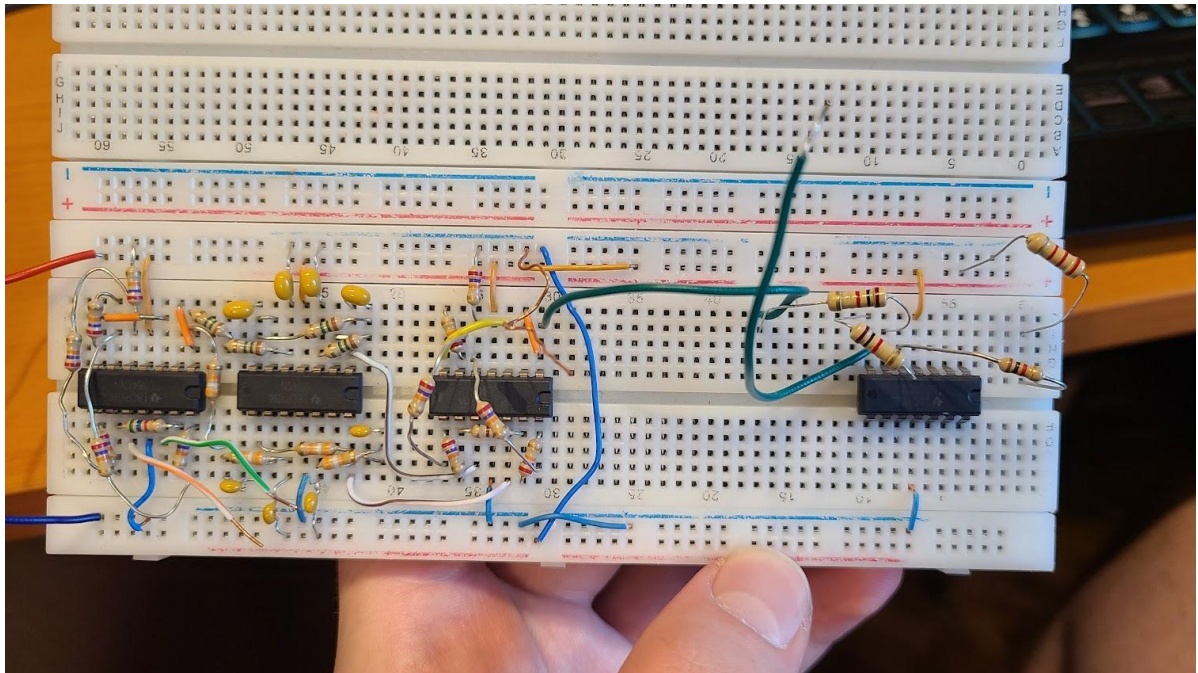


Figure 17. Eye movements.

Slika 8. Veza pokreta oka i pokreta miša

4 DISKUSIJA

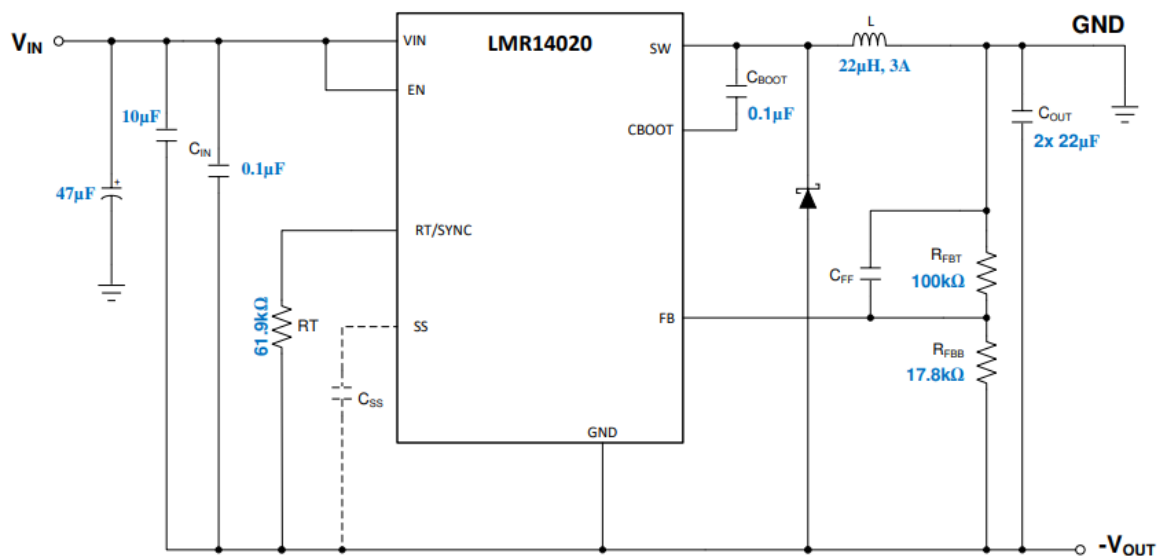
Postoji nekoliko nedostataka prethodne realizacije koje mogu uticati na kvalitet akvizicije signala kao što su neadekvatni kontakti proto borda, potreba za dužim vezama između komponenti u kojima se može indukovati šum, osetljivost na pomeranje, potreba za laboratorijskim generatorima i sama veličina.



Slika: Jedan kanal pojačavača na proto bordu

Na dizajniranom PCB-u su rešeni mnogi problemi:

- Upotrebom SMD komponenti je kolo smanjeno, a kraće su i veze između njih
- Svi kontakti su zalemljeni osim ulaznih i izlaznih za koje su obezbeđeni konektori
- Negativni napon za polarizaciju operacionih pojačavača obezbeđuje invertujući buck-boost konverter
- Rupe za M3 vijke za montažu u kućište



Slika: invertujući buck-boost konverter koji obezbeđuje -5V na izlazu

Glavni problem pri snimanju i klasifikaciji EOG-a je pomeranje bazne linije usled promene osvetljenja i slučajni pokreti oka tokom kalibracije. Ovi problemi se mogu otkloniti kontinualnom kalibracijom za koju bi nam bila neka povratna informacija o tačnosti kalibracije u realnom vremenu na osnovu koje možemo regulisati promenljivu baznu liniju, a slučajni pokreti oka pri kalibraciji se mogu odbaciti na osnovu njihovog trajanja.

U pogledu unapredjenja klasifikacije pokreta oka na osnovu eog signala može se probati uvođenje nekog neparametaskog klasifikatora kao na primer KNN ili neuralne mreže ali će se i oni zbog velike linearnosti problema svoditi na upoređivanje vrednosti signala sa nekim pragovima samo će od nas sakriti kompleksnost njihovog nalaženja. Čak i takvi sistemi bi se morali kalibrisati jer različiti ispitanici imaju različite nivoe bazne linije i promene amplitude pri pokretima očiju.

Sem kontrole miša izlaz analize se može koristiti za kontrolu mnogih pomagala koja imaju ograničen broj komandi, to jest koje se mogu mapirati na pokrete oka npr. kontrola invalidskih kolica. Većina funkcija u ovom projektu se može univerzalno koristiti za projekte vezane za *human computer interface* jer se sem pojačavača i opsega očitanoog signala ništa ne menja za EEG, EKG ili EMG.

5 ZAKLJUČAK

Testiranje funkcionalnosti ploče će biti izvršena kada pristigne sa izrade. Ovakva realizacija omogućava reprodukciju više ploča za kratko vreme pa se paralelno može vršiti više ispitivanja koja uključuju akviziciju EOG signala.

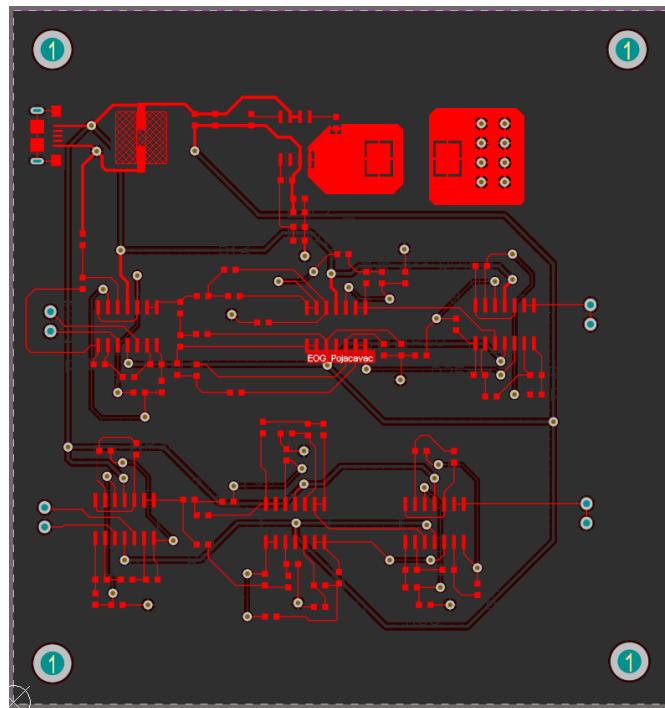
Ovaj projekat daje dobru hardversku i softversku osnovu za dalje poboljšavanje.

6 LITERATURA

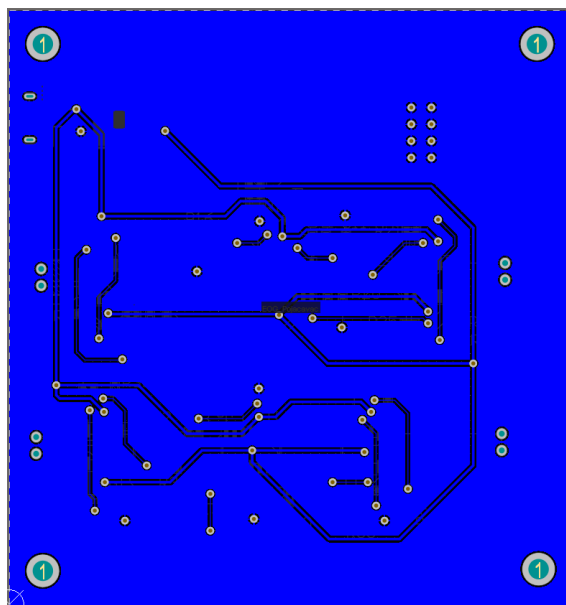
- [1] Majaranta, Päivi, ed. Gaze Interaction and Applications of Eye Tracking: Advances in Assistive Technologies: Advances in Assistive Technologies. IGI Global, 2011.
- [2] Chang, Won-Du. "Electrooculograms for human-computer interaction: A review." Sensors 19.12 (2019): 2690.
- [3] Kim, Do Yeon, Chang-Hee Han, and Chang-Hwan Im. "Development of an electrooculogram-based human-computer interface using involuntary eye movement by spatially rotating sound for communication of locked-in patients." Scientific Reports 8.1 (2018): 9505.
- [4] Ramkumar, S., et al. "A review-classification of electrooculogram based human computer interfaces." Biomedical Research 29.6 (2018): 1078-1084.
- [5] Thilagaraj, M., et al. "Eye movement signal classification for developing human-computer interface using electrooculogram." Journal of Healthcare Engineering 2021 (2021).
- [6] Hossieny, Radwa Reda, et al. "Development of electrooculogram based human computer interface system using deep learning." Bulletin of Electrical Engineering and Informatics 12.4 (2023): 2410-2420..
- [7] Jo, Ha Na, et al. "Development of an Electrooculogram (EOG) and Surface Electromyogram (sEMG)-Based Human Computer Interface (HCI) Using a Bone Conduction Headphone Integrated Bio-Signal Acquisition System." Electronics 11.16 (2022): 2561.
- [8] https://neuropsychology.github.io/NeuroKit/examples/eog_analyze/eog_analyze.html
- [9] https://www.ti.com/lit/an/snva856b/snva856b.pdf?ts=1684174440599&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [10] Realizacija upravljanja računarskom aplikacijom pomoću EOG signala, Uroš Rakonjac, Petar Kovačević, Filip Stojanovic

Dodatak 1

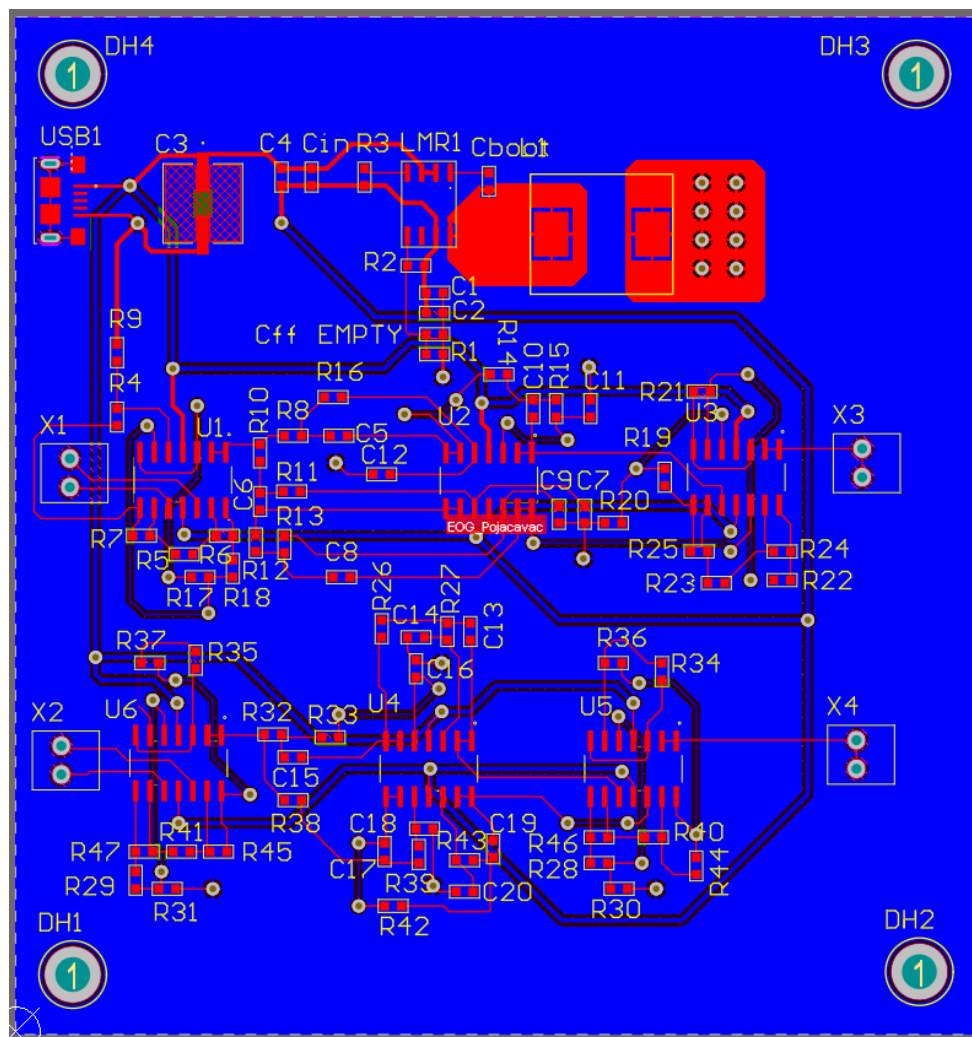
Izgled PCB-a:



Slika: 2D prikaz gornjeg sloja ploče



Slika: 2D prikaz donjeg sloja ploče



Slika: kombinovani 2D prikaz ploče

Dodatak 2

Spisak komponenti:

LibRef	Quantity
Cap_22uF	2
Cap_68uF_Alum	1
Cap_10uF	1
Cap_1uF	8
Cap_0.1uF	11
Ind_22uH	1
LMR14020	1
Res_100k	1

Res_61.9k	1
Res_17.8k	1
Res_27k	24
Res_5k6	2
Res_1.5M	8
Res_39k	8
Res_560R	2
TL084IDR	6
Con_microUSB	1
Con_Nylon_2x1, CONN_6M_3A_VERT_NYL	4