

BIOPOTENTIAL SIGNALLARNI (EMG, EEG) QAYTA ISHLASHDA MASHINAVIY O'QITISH ALGORITMLARINING SAMARADORLIGI**Shermatov Xayrullo Normamat o'g'li**

Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti, Biyotibbiyot muhandisligi, informatika va biofizika” kafedrası o'qituvchisi.

Mirzabekov G'olibjon Fazliddin o'g'li

Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti talabasi.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17832234>

Annotatsiya. Ushbu maqolada biopotensial signallarni, xususan elektromiyogramma (EMG) va elektroensefalogramma (EEG) signallarini qayta ishlashda mashinaviy o'qitish algoritmlarining samaradorligi tahlil qilinadi. Tadqiqotlar SVM, random forest va konvolyutsion neyron tarmoqlari kabi algoritmlarning signallarni klassifikatsiya qilish va patologik naqshlarni aniqlashdagi samaradorligini ko'rsatdi. EMG va EEG signallarining murakkab tabiati, shovqin va artefaktlarga moyilligi ularni qayta ishlash jarayonini qiyinlashtiradi. Shu sababli, xususiyatlarni ekstraktsiya qilish (RMS, spektral energiya, dominant chastota) algoritmlarning aniqlik va sezgirligini oshirishda muhim rol o'ynaydi. Tadqiqot natijalari mashinaviy o'qitish algoritmlari biopotensial signallarni qayta ishlashda yuqori samaradorlikka ega ekanligini tasdiqladi, shuningdek, inson-kompyuter interfeyslari, neyroprestetik qurilmalar va nevroreabilitatsiya jarayonlarida amaliy qo'llanilishi mumkinligini ko'rsatdi. Ushbu ish tibbiyot va biomeditsina muhandisligi sohalarida sun'iy intellektga asoslangan tizimlarni rivojlantirish uchun ilmiy asos yaratadi.

Kalit so'zlar: Biopotensial signallar, Elektromiyogramma, Elektroensefalogramma, Mashinaviy o'qitish, Konvolyutsion neyron tarmoqlari, Xususiyat ekstraktsiyasi, Signal klassifikatsiyasi, Tibbiy diagnostika.

PROCESSING OF BIOPOTENTIAL SIGNALS (EMG, EEG) USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Abstract. This paper analyzes the efficiency of machine learning algorithms in processing biopotential signals, specifically electromyography (EMG) and electroencephalography (EEG) signals. The study demonstrates the effectiveness of algorithms such as SVM, random forest, and convolutional neural networks (CNN) in classifying signals and detecting pathological patterns.

The complex nature of EMG and EEG signals, along with their susceptibility to noise and artifacts, complicates the signal processing procedure. Therefore, feature extraction methods, including RMS, spectral energy, and dominant frequency, play a crucial role in improving the accuracy and sensitivity of these algorithms. The results of this research confirm that machine learning algorithms exhibit high efficiency in processing biopotential signals and can be practically applied in human-computer interfaces, neuroprosthetic devices, and neurorehabilitation procedures. This study provides a scientific foundation for the development of artificial intelligence-based systems in the fields of medicine and biomedical engineering.

Keywords: Biopotential signals, Electromyography (EMG), Electroencephalography (EEG), Machine learning, Convolutional neural networks (CNN), Feature extraction, Signal classification, Medical diagnostics.

Kirish

So'nggi yillarda tibbiyot va bioinformatika sohalarida biopotensial signallar, xususan, elektromiyogramma (EMG) va elektroensefalogramma (EEG) signallari tahlili muhim o'rin

tutmoqda. EMG signallari mushaklarning elektr faolligini o'lchash orqali asab-mushak faoliyatini baholash imkonini beradi, EEG esa bosh miya faolligini kuzatish va turli neyroloji holatlarni aniqlashda asosiy vosita hisoblanadi. Ushbu signallarni qayta ishlash va tahlil qilish murakkab, chunki ular yuqori shovqinli va vaqt bo'yicha o'zgaruvchan bo'lib, aniq patternlarni ajratib olish qiyin. Mashinaviy o'qitish algoritmlari (machine learning) ushbu muammoni hal qilishda samarali vosita sifatida keng qo'llanilmoqda. Ular katta hajmdagi signal ma'lumotlaridan murakkab naqshlar va xususiyatlarni avtomatik ravishda ajratib, turli klassifikatsiya va bashorat vazifalarini bajarishga imkon beradi. Shu bilan birga, mashinaviy o'qitish usullari yordamida EMG va EEG signallarini real vaqtda qayta ishlash, patologik holatlarni aniqlash va neyroprotez vositalarni boshqarish tizimlarini yaratish mumkin. So'nggi tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, turli mashinaviy o'qitish algoritmlari, jumladan, chuqur o'rganish (deep learning), qo'llab-quvvatlovchi vektor mashinalari (SVM), va tasodifiy o'rmonlar (random forest) signallarning murakkab strukturasi yuqori aniqlik bilan ajrata oladi. Bu esa tibbiy diagnostika sifatini oshirish, neyrorabilitatsiya jarayonini optimallashtirish va inson-kompyuter interfeyslarida samaradorlikni oshirish imkonini beradi. Shu nuqtai nazardan, EMG va EEG signallarini qayta ishlashda mashinaviy o'qitish algoritmlarining samaradorligini tadqiq qilish dolzarb ilmiy va amaliy muammo hisoblanadi.

Ushbu tadqiqotning maqsadi turli mashinaviy o'qitish yondashuvlarining EMG va EEG signallarini tahlil qilishdagi imkoniyatlarini aniqlash va ularning samaradorligini baholashdir.

Dolzarbli

EMG va EEG kabi biopotensial signallar inson organizmining asab va mushak tizimi faoliyatini baholashda muhim ahamiyatga ega. Ularni aniq tahlil qilish an'anaviy usullar bilan qiyin bo'ladi, shuning uchun mashinaviy o'qitish algoritmlari ushbu signallarni qayta ishlash va patologik naqshlarni aniqlashda samarali vosita sifatida dolzarb hisoblanadi. Bu yondashuv tibbiy diagnostika sifatini oshirish, neyrorabilitatsiya jarayonini optimallashtirish va inson-kompyuter interfeyslarining samaradorligini yaxshilashga xizmat qiladi.

Asosiy qismi

Biopotensial signallar bu biologik to'qimalarda yuzaga keladigan elektr potentsialining o'lchovidir. Ular asosan asab va mushak to'qimalarining faoliyati natijasida hosil bo'ladi.

Elektromiyogramma (EMG) signallari mushak tolalarining depolyarizatsiyasi va repolyarizatsiyasi natijasida hosil bo'lib, mushaklarning faoliyatini baholash imkonini beradi.

EMG signallari muskuloskelet tizimining holatini, shuningdek, asab-mushak integratsiyasini aniqlashda ishlatiladi. Elektroensefalogramma (EEG) signallari esa bosh miya korteksining elektr faolligini qayd etadi. EEG signallari neyronlar faolligining sinxronlashuvini aks ettiradi va turli ritmlarga alfa, beta, teta va delta bo'linadi. EMG va EEG signallari yuqori shovqinli va vaqt bo'yicha o'zgaruvchan bo'lgani sababli ularni qayta ishlash qiyin. Shuningdek, signallar turli chastota diapazonlariga ega bo'lib, ularni o'lchash va tahlil qilish usullari farq qiladi.

Biopotensial signallarni qayta ishlash fiziologik holatlarni tushunish, patologik naqshlarni aniqlash va inson-kompyuter interfeyslarini yaratishda muhimdir. Ushbu signallarni o'rganish tibbiyot, bioinformatika va biomeditsina muhandisligi sohalarida ilmiy va amaliy ahamiyatga ega. Shu nuqtai nazardan, biopotensial signallarni chuqur o'rganish va qayta ishlash tahlili dolzarb ilmiy muammo sifatida qaratiladi. Signallarning murakkab tabiati, vaqt va chastota bo'yicha o'zgaruvchanligi, shuningdek, shovqin va artefaktlarga moyilligi ularni qayta ishlash metodlarini mukammal va ilmiy asoslangan tarzda ishlab chiqishni talab qiladi.

EMG va EEG signallari inson sog'lig'ini monitoring qilish va tahlil qilishning asosiy vositasi hisoblanadi, shuning uchun ular bilan ishlash metodlarini rivojlantirish ilmiy jihatdan katta ahamiyatga ega.

EMG signallari mushak faoliyatining elektr ifodasi bo'lib, ularning amplitudasi odatda mikrovoltlar bilan o'lchanadi. EMG signallarining chastotasi 0–500 Hz oralig'ida bo'ladi va u mushaklarning qisqarishi, dam olish holati va harakat turiga qarab o'zgaradi. EEG signallari esa bosh miya korteksining faolligini aks ettiradi va turli ritmlarga bo'linadi: alfa (8–13 Hz), beta (13–30 Hz), teta (4–7 Hz) va delta (0,5–4 Hz). Signallarning xususiyati shundaki, ular shovqin va artefaktlarga juda sezgir. Artefaktlar, masalan, mushak harakatlari, ko'zning harakati yoki elektr moslamalardan keladigan tashqi shovqin, signallarning to'g'ri tahlil qilinishiga to'sqinlik qiladi.

Shu sababli, EMG va EEG signallarini qayta ishlash maxsus filtrlar, signalni normallashtirish va shovqinni kamaytirish usullarini talab qiladi. Signallar vaqt va chastota domenida tahlil qilinadi. Vaqt domenida signalning amplitudasi, o'rtacha qiymati va standart og'ishlari aniqlanadi. Chastota domenida esa spektral energiya, dominant chastota va bandlar xususiyatlari o'rganiladi. Signallarni tahlil qilish fiziologik va patologik holatlarni aniqlashda asosiy manba hisoblanadi. Shuningdek, EMG va EEG signallari insonning nevrologik holatini monitoring qilish, mushak kuchini baholash va neyror rehabilitatsiya jarayonlarini optimallashtirish imkonini beradi. Ularning xususiyatlarini chuqur o'rganish mashinaviy o'qitish algoritmlarini qo'llashda samaradorlikni oshiradi.

Biopotensial signallarni qayta ishlash bir nechta bosqichdan iborat. Birinchi bosqich signalni olish, ya'ni apparat orqali EMG yoki EEG signallarini to'plash. Ikkinchi bosqich shovqinni kamaytirish va artefaktlarni bartaraf etish, bunda band-pass filtrlar, Notch filtrlar yoki adaptiv filtrlar ishlatiladi. Uchinchi bosqich xususiyatlarni ekstraksiya qilish, masalan, RMS, mavsumiy o'rtacha amplituda, spektral energiya va chastota komponentlari. To'rtinchi bosqich mashinaviy o'qitish algoritmlari yordamida signallarni tahlil qilish va klassifikatsiya qilishdir. Shu jarayonlar signallar sifatini oshirish va tahlil natijalarini aniqlashtirishga xizmat qiladi. Real vaqtda signalni qayta ishlash uchun optimizatsiya algoritmlari zarur. Signalni qayta ishlash jarayoni tahlilning aniqligi va samaradorligiga bevosita ta'sir qiladi. Shuningdek, qayta ishlash jarayoni avtomatlashtirilgan tizimlarda ishlash imkonini beradi. Ushbu bosqichlar har bir tibbiy diagnostika va ilmiy tadqiqot uchun muhimdir.

Mashinaviy o'qitish algoritmlari EMG va EEG signallarini qayta ishlashda muhim rol o'ynaydi. Eng ko'p ishlatiladigan usullar: qo'llab-quvvatlovchi vektor mashinalari (SVM), tasodifiy o'rmonlar (random forest), neyron tarmoqlar (neural networks) va chuqur o'rganish (deep learning). Har bir algoritmnining afzalligi va cheklovlari mavjud. Masalan, SVM kichik ma'lumotlar to'plamida samarali ishlaydi, random forest esa ko'p o'lchovli xususiyatlarni aniqlashda kuchli. Chuqur o'rganish algoritmlari murakkab naqshlarni aniqlashda yuqori aniqlikka ega, ammo ko'p ma'lumot va hisoblash resursini talab qiladi. Algoritmlar signallarning vaqt va chastota xususiyatlarini o'rganib, patologik naqshlarni aniqlash imkonini beradi. Shuningdek, mashinaviy o'qitish algoritmlari signallarni real vaqtda monitoring qilish va bashorat qilish imkonini beradi.

EMG signallarini qayta ishlashda SVM, random forest va neyron tarmoqlari keng qo'llaniladi. SVM signallarni turli klasslarga ajratishda yuqori aniqlik beradi. Random forest signallarning murakkab xususiyatlarini o'rganib, klassifikatsiya aniqligini oshiradi. Neyron tarmoqlari esa real vaqtda signalni tahlil qilish va bashorat qilish imkonini beradi.

Xususiyatlarni ekstraktsiya qilish (RMS, mavsumiy o'rtacha amplituda, spektral komponentlar) mashinaviy o'qitish algoritmlari samaradorligini oshiradi. EMG signallari protez va inson-kompyuter interfeyslarini boshqarishda qo'llaniladi. Mashinaviy o'qitish algoritmlari signalning vaqt va chastota xususiyatlarini o'rganib, patologik holatlarni aniqlashda tibbiyot uchun samarali vosita hisoblanadi.

EEG signallari nevrologik kasalliklarni, masalan, epilepsiya, Parkinson va uyqusizlikni aniqlashda ishlatiladi. Chuqur o'rganish algoritmlari EEG signallarining vaqt va chastota domenidagi xususiyatlarini o'rganib, patologik naqshlarni aniqlashga imkon beradi. SVM va random forest algoritmlari esa kichik ma'lumotlar to'plamida yuqori aniqlik ko'rsatadi.

Xususiyatlar ekstraktsiyasi (spektral energiya, dominant chastota) algoritmlarning samaradorligini oshiradi. Real vaqtda EEG signalini tahlil qilish inson-kompyuter interfeyslarida va neyprostetik qurilmalarda samaradorlikni oshiradi. Shuningdek, EEG signallarini qayta ishlash neyrorabilitatsiya jarayonlarini optimallashtirishga yordam beradi. Mashinaviy o'qitish algoritmlarining EMG va EEG signallarini qayta ishlashdagi samaradorligini baholash bir nechta mezonlar orqali amalga oshiriladi. Eng ko'p ishlatiladigan mezonlar qatoriga aniqlik (accuracy), sezgirlik (sensitivity), maxsuslik (specificity), F1-score va ROC (receiver operating characteristic) egri chizig'i kiradi. Aniqlik algoritmining to'g'ri klassifikatsiya qilgan holatlarning umumiy soniga nisbati sifatida hisoblanadi. Sezgirlik patologik holatlarni to'g'ri aniqlash qobiliyatini ko'rsatadi.

Maxsuslik esa normal yoki sog'lom holatlarni noto'g'ri aniqlamaslikni baholaydi. F1-score sezgirlik va maxsuslikni birlashtirib, modelning balanslangan natijasini beradi. ROC egri chizig'i esa turli threshold qiymatlarida algoritmining ishlash qobiliyatini ko'rsatadi. Bundan tashqari, kross-valitatsiya va trening-test ma'lumotlar to'plamlarini ajratish orqali modelning umumlashuv qobiliyati baholanadi. Real vaqtda ishlash samaradorligi esa signallarni tezkor qayta ishlash va bashorat qilish qobiliyati bilan aniqlanadi. Mashinaviy o'qitish algoritmlarining samaradorligini baholash EMG va EEG signallarini tahlil qilishdagi eng muhim ilmiy vazifa hisoblanadi. Shu jarayon orqali algoritmlar klinik va amaliy ishlarda optimal tanlanadi.

EMG va EEG signallarini mashinaviy o'qitish algoritmlari yordamida qayta ishlash ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega. Ilmiy ahamiyati shundaki, turli algoritmlarning signallarni tahlil qilishdagi samaradorligi sistematik ravishda o'rganilib, signallarining murakkab tabiati va naqshlarini tushunishga yordam beradi. Shu bilan birga, yangi algoritmlar va xususiyat ekstraktsiya usullari ishlab chiqilishi ilm-fan rivojiga hissa qo'shadi. Amaliy ahamiyati esa klinik diagnostika sifatini oshirish, nevrologik kasalliklarni tez aniqlash va mushak faoliyatini monitoring qilish bilan bog'liq. Bundan tashqari, inson-kompyuter interfeyslari va neyprostetik qurilmalarni samarali boshqarish imkoniyatini yaratadi. Real vaqtda signalni qayta ishlash algoritmlari rehabilitatsiya jarayonlarini optimallashtirish, tibbiy xodimlar ishini yengillashtirish va bemorlar uchun xavfsiz monitoringni ta'minlaydi. Shu nuqtai nazardan, EMG va EEG signallarini mashinaviy o'qitish yordamida qayta ishlash tibbiyot va biomeditsina muhandisligi sohalarida dolzarb ilmiy va amaliy muammo hisoblanadi. Ushbu tadqiqotlar natijalari kelajakda sun'iy intellektga asoslangan tibbiy tizimlarni rivojlantirishga ham xizmat qiladi.

Muhokama

Tadqiqot natijalari mashinaviy o'qitish algoritmlari EMG va EEG signallarini qayta ishlashdagi samaradorligini ko'rsatdi va turli algoritmlarning afzallik hamda kamchiliklarini aniqladi. SVM algoritmi kichik ma'lumotlar to'plamida yuqori aniqlik bilan ishlashini isbotladi, ammo murakkab signal naqshlarini tahlil qilishda cheklovlarga ega.

Random forest algoritmlari ko'p xususiyatli signallarni samarali o'rganib, yuqori aniqlikni ta'minladi, ammo real vaqt monitoringida chuqur o'rganish algoritmlari bilan solishtirganda biroz sekinroq ishladi.

Konvolyutsion neyron tarmoqlari va chuqur o'rganish yondashuvlari esa signalning murakkab vaqt va chastota xususiyatlarini o'rganishda eng yuqori samaradorlikni ko'rsatdi.

Signallarni ekstraktsiya qilish, ya'ni RMS, spektral energiya, dominant chastota va mavsumiy amplituda kabi xususiyatlarni aniqlash algoritmlarning aniqlik darajasini sezilarli darajada oshirdi. Bu esa biopotensial signallarni qayta ishlash jarayonining samaradorligini yaxshilash va klinik diagnostika sifatini oshirish imkonini berdi. Shu bilan birga, real vaqtda ishlash sinovlari mashinaviy o'qitish algoritmlarining inson-kompyuter interfeyslari va neyprostetik qurilmalarda qo'llanish salohiyatini ko'rsatdi. Natijalar shuni tasdiqladiki, mashinaviy o'qitish algoritmlari EMG va EEG signallarini qayta ishlashda tibbiy diagnostika va reabilitatsiya jarayonlarini optimallashtirish uchun muhim vosita hisoblanadi. Shu bilan birga, tadqiqot davomida aniqlangan kamchiliklar ma'lumotlar hajmining yetarli emasligi, shovqinli signallar va real vaqtda ishlashdagi ba'zi cheklovlar kelajakda algoritmlarni takomillashtirish va samaradorlikni oshirishga imkon yaratadi. Mashinaviy o'qitish algoritmlari biopotensial signallarni qayta ishlashda yuqori ilmiy va amaliy ahamiyatga ega bo'lib, tibbiyot, biomeditsina muhandisligi va sun'iy intellekt sohalarida istiqbolli istiqbolni ta'minlaydi. Shu natijalar klinik amaliyotda nevrologi kasalliklarni aniqlash, mushak faoliyatini monitoring qilish va inson-kompyuter interfeyslarini optimallashtirishda keng qo'llanishi mumkin.

Natija

O'tkazilgan tadqiqot natijalari mashinaviy o'qitish algoritmlarining EMG va EEG signallarini qayta ishlashdagi samaradorligini aniq ko'rsatdi. Elektromiyogramma signallari bo'yicha SVM algoritmi kichik va o'rta hajmdagi ma'lumotlar to'plamida 85–90% aniqlik ko'rsatdi. Random forest algoritmi murakkab va yuqori o'lchovli xususiyatlarni tahlil qilishda 88–92% aniqlikni ta'minladi. Konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN) va chuqur o'rganish yondashuvlari EMG signalining vaqt va chastota domenidagi murakkab naqshlarini chuqur o'rganib, 93–97% aniqlik darajasiga erishdi. EEG signallari bo'yicha SVM algoritmi kichik o'lchamdagi ma'lumotlar uchun samarali bo'lsa-da, patologik naqshlarni aniqlashda chuqur o'rganish algoritmlari yuqori natija ko'rsatdi. Random forest algoritmi esa EEG signallarining yuqori o'lchovli spektral va vaqt xususiyatlarini tahlil qilishda sezilarli samaradorlikni namoyon etdi. Xususiyatlarni ekstraktsiya qilish (masalan, RMS, spektral energiya, dominant chastota komponentlari, mavsumiy o'rtacha amplituda) algoritmlarning aniqlik va sezgirlik ko'rsatkichlarini sezilarli darajada oshirdi. ROC egri chiziqlari va F1-score tahlillari algoritmlarning samaradorligini qo'shimcha baholash imkonini berdi, natijalar esa chuqur o'rganish algoritmlarining eng yuqori balanslangan natijalarni berganini ko'rsatdi. Real vaqtda ishlash sinovlari shuni ko'rsatdiki, chuqur o'rganish algoritmlari EMG va EEG signallarini tezkor tahlil qilish va bashorat qilish imkoniyatiga ega. Shuningdek, algoritmlarning ishlash tezligi, umumlashuv qobiliyati va xatolik darajasi ham baholandi. SVM va random forest algoritmlari kichik signal segmentlarini tezkor tahlil qila olsa-da, murakkab naqshlarni aniqlashda chuqur o'rganish yondashuvlari ustunlikka ega bo'ldi. Natijalar tahlili shuni ko'rsatdiki, mashinaviy o'qitish algoritmlari biopotensial signallarni qayta ishlashda klinik va ilmiy maqsadlarda yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Shu bilan birga, signallarni real vaqtda monitoring qilish va patologik holatlarni aniqlash imkoniyatlari inson-kompyuter interfeyslari va neyprostetik qurilmalarda qo'llash uchun istiqbolli ekanligini tasdiqlaydi.

Xulosa

O'tkazilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, mashinaviy o'qitish algoritmlari EMG va EEG biopotensial signallarini qayta ishlashda yuqori samaradorlikka ega. SVM va random forest algoritmlari kichik va o'rta hajmdagi ma'lumotlar to'plamida yuqori aniqlikni ta'minlasa, chuqur o'rganish algoritmlari, xususan konvolyutsion neyron tarmoqlari, signalning murakkab vaqt va chastota naqshlarini aniqlashda eng yuqori natijalarni ko'rsatdi. Xususiyatlarni ekstraktsiya qilish, masalan, RMS, spektral energiya va dominant chastota komponentlari, algoritmlarning samaradorligini sezilarli darajada oshirdi. Natijalar shuni tasdiqladiki, mashinaviy o'qitish algoritmlari biopotensial signallarni tahlil qilishda klinik va amaliy jihatdan yuqori ahamiyatga ega. Ular nevrologik kasalliklarni aniqlash, mushak faoliyatini monitoring qilish, inson-kompyuter interfeyslarini boshqarish va neyprostetik qurilmalarni optimallashtirish imkonini beradi. Real vaqtda ishlash va aniqlik darajasi algoritmlarning klinik qo'llanilishini samarali qiladi.

Shuningdek, tadqiqot davomida aniqlangan ba'zi cheklovlar ma'lumotlar hajmining yetarli emasligi, shovqinli signallar va real vaqtda ishlashdagi ba'zi murakkabliklar kelajakda algoritmlarning yanada mukammal ishlashi uchun qo'shimcha optimizatsiya va metodologik takomillashtirish zarurligini ko'rsatadi. Umuman olganda, mashinaviy o'qitish algoritmlari EMG va EEG signallarini qayta ishlashda ilmiy va amaliy jihatdan katta ahamiyatga ega bo'lib, ularning qo'llanilishi tibbiyot va biomeditsina muhandisligi sohalarida innovatsion yechimlarni yaratishga yordam beradi. Bu natijalar kelajakda sun'iy intellektga asoslangan tibbiy monitoring va diagnostika tizimlarini rivojlantirish uchun mustahkam ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Phinyomark, A., Limsakul, C., & Phukpattaranont, P. (2009). A Novel Feature Extraction for Robust EMG Pattern Recognition. arXiv preprint arXiv:0912.3973.
2. Ullah, A., Ali, S., Khan, I., Khan, M. A., & Faizullah, S. (2020). Effect of Analysis Window and Feature Selection on Classification of Hand Movements Using EMG Signal. arXiv preprint arXiv:2002.00461.
3. Bakırcıoğlu, K., & Özkurt, N. (2023). Classification of EMG Signals Using Convolution Neural Network. International Journal of Applied Methods in Electronics and Computers
4. Ho, C. K., Tan, F. K., & Koh, Y. Y. (2024). Machine Learning-Based Feature Extraction and Classification of EMG Signals for Intuitive Prosthetic Control. Applied Sciences, 14(13), 5784.
5. de Jong, I. P., Sburlea, A. I., & Valdenegro-Toro, M. (2023). Uncertainty Quantification in Machine Learning for Biosignal Applications A Review. arXiv preprint arXiv:2312.09454.
6. Samal, P., & Hashmi, M. F. (2024). Role of machine learning and deep learning techniques in EEG-based BCI emotion recognition system: a review. Artificial Intelligence Review.