

ПРИМЕНА И ИНЖЕЊЕРСКИ АСПЕКТИ ИНТЕРФЕЈСА МОЗАК-РАЧУНАР**APPLICATION AND ENGINEERING ASPECTS OF BRAIN-COMPUTER INTERFACE**Нађа Килибарда, *Факултет Техничких Наука, Нови Сад***Област – БИОМЕДИЦИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО**

Кратак садржај – Овај рад приказује најзначајније инжењерске аспекте актуелног интерфејса између мозга и машине. Дат је кратак осврт на најзначајнији човјеков орган као и на методе његовог електричног снимања. Приказан је широк спектар примјене БЦИ-а у области биомедицинског инжењерства.

Кључне речи: мозак, рачунар, електроде, ЕЕГ, БЦИ

Abstract – This paper features the most significant engineering aspects of Brain-Computer Interface. A brief overview of the most important human organ as well as the methods of its electrical recording is given. A wide range of BCI applications in the field of biomedical engineering is also presented.

Keywords: brain, machine, electrodes, EEG, BCI

1. УВОД

Интерфејс између мозга и рачунара је комуникациони систем у реалном времену који повезује мозак и спољне уређаје. Другим ријечима, БЦИ је систем заснован на рачунару који добија мождане сигнале, анализира их и преводи у команде које се преносе на излазни уређај како би извршио жељену акцију. Сликвито би се могло рећи да овај интерфејс омогућава корисницима да дјелују на свијет користећи мождане сигнале.

Док БЦИ апликације дијеле исти циљ а то су брза и прецизна комуникација и контрола, оне се увелико разликују по својим улазима, екстракцији карактеристика и методама, алгоритмима превођења, излазима и оперативним протоколима. Упркос неким од својих ограничења, БЦИ системи се брзо селе из лабораторија и постају практични системи корисни и за комуникацију, контролу и аутоматизацију.

Краткорочне примјене БЦИ су првенствено оријентисане на задатке и усмјерене су на избјегавање најтежих препрека у развоју. У даљем смислу, интерфејси мозак-рачунар ће омогућити широк спектар апликација оријентисаних на задатке и опортунистичких апликација коришћењем продорних технологија за откривање и спајање задатих информација о мозгу, понашању, задацима и животној средини.

НАПОМЕНА:

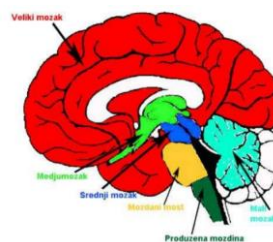
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био проф. др Платон Совиљ.

2. МОЗАК

Мозак представља најзначајнији и најсложенији орган у тијелу човјека, а дио је централног нервног система. Од спољашње средине заштићен је лобањом као чврстом структуром и цереброспиналном течношћу у коју је урођен а која има улогу амортизера односно спречавања трауме. Мозак управља свим виталним активностима које су неопходне како бисмо преживјели, контролише људске емоције и шаље и прима безброј сигнала од свих осталих дјелова тијела и спољашње средине.

2.1. Структура мозга

Мозак се дијели на велики мозак, мали мозак, средњи мозак, међумозак, мождани (Варолијев) мост и продужену мождину.



Slika 1. Основна структура мозга

2.2. Мождани таласи

Мождани таласи су шаблони који се издвајају из неуралне активности, повезане са специфичним понашањем, степеном узбуђења или стадијумом спавања. Најбоље проучени су они у области хипокампуса, таламуса и неокортекса мозга. ЕЕГ ритмови се могу подијелити на оне који су повезани са активним (будним) стањем мозга и на оне који су повезани са фазама спавања. Другим ријечима, мождани талас представља синхронизован електрични импулс или осцилацију који се јавља када нервне ћелије користе електрицитет како би комуницирале у групама. Постоје α , β , γ , δ и θ таласи.

3. СНИМАЊЕ МОЖДАНЕ АКТИВНОСТИ

Снимање мождане активности дакле региструје ове мождане таласе. Када је ријеч о начинима на којим се неуронски подаци добијају и користе, БЦИ се може разгранати да активан, реактиван, пасиван и хибридни БЦИ. Електрични сигнали које мозак генерише одражавају стање, не само мозга, него и читавог људског организма.

3.1. Евоцирани потенцијали

У ширем смислу, под ЕП се подразумејева и одзив мозга као резултат когнитивних процеса и

механизма припремања који претходи моторним акцијама. Другим ријечима, евоцирани потенцијали (ЕП) представљају промјене у електричној активности нервног система изазване неким догађајем или побудом. ЕП је врло мале амплитуде од 0.5 до 100 μV . Фреквенцијски спектар ЕП преклапа се са спектром ЕЕГ сигнала. Најчешћи метод за обраду је усредњавање више секвенцијалних одзива синхронизовано у односу на понављане стимулусе или догађаје.

3.1.1. Визуелни евоцирани потенцијали

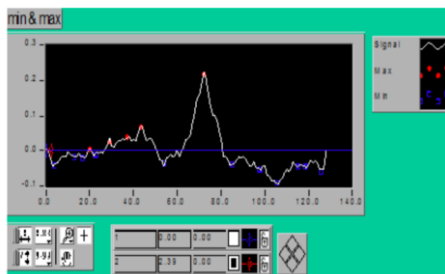
Визуелни евоцирани потенцијал (ВЕП) представља највећи ЕП који је уједно и најосјетљивији на промјене узроковане неуролошким обољењима. ВЕП се користи да би се открили поремећаји у провођењу оптичких нерава. То је неинвазивна дијагностичка процедура при којој се стимулише мрежњача ока треперавом свјетлошћу. Визуелни евоцирани потенцијали могу се подијелити у двије групе, и то на уобичајене и неубичајене визуелне стимулусе.

3.1.2. Аудитивни евоцирани потенцијали

Аудитивни евоцирани потенцијали (АЕП) су одговори можданог стабла кратке латенције који се јављају 10 до 15 ms након одговарајућег звучног стимулуса код здравих испитаника. Користе се за процјену функције слушног нерва и аудитивних путева у можданом стаблу. За снимање се користе три или више електрода, а амплитуда је мања од 1 μV за АЕП можданог стабла. АЕП је погодан за испитивање аудитивних путева, почев од унутрашњег уха па до коре мозга.

3.1.3. Соматосензорни евоцирани потенцијали

Соматосензорни евоцирани потенцијали (СЕП) стимулишу периферни нерв који се региструје у предјелу соматосензорне коре. Регистровањем соматосензорних евоцираних потенцијала над кичменом мождином може се добити увид у стање сензитивних система од екстремитета до нивоа регистровања. Ријеч је о биполарној електричној стимулацији периферних нерава, референтна електрода се поставља због смањења артефакта стимулације.



Slika 2. Једно од снимања евоцираних потенцијала

3.2. Електрокортикографија

Електрокортикографија је процес снимања електричне активности у мозгу постављањем електрода у директан контакт са можданом кором или површином мозга. Ова метода може укључивати електричну стимулацију појединачних електрода како би се оцртала подручја моторичке, сензорне и језичке функције које неурохирургија може избјећи. Слично

томе, евоцирани потенцијали се могу снимити коришћењем тракастих електрода интраоперативно да би се идентификовала роландична фисура. Стога, ЕцГ пружа прилику да се мапирају важне функционалне области мозга, пружајући неурохирургу сигурносну маргину за успијешну ресекцију. Дакле, електрокортикограм подразумијева снимање електрофизиолошких сигнала мозга, али на инвазиван начин – помоћу електрода које се постављају директно на мозак. За њихово постављање је неопходно отварање лобање и операција се врши на отвореном мозгу.

3.3. Електроенцефалографија

Електроенцефалографија је метода којом се региструје електрична активност мозга. То је дијагностичка, неинвазивна, неурофизиолошка метода у чијој основи лежи стална промјена потенцијала на нивоу мембране ганглијских ћелија централног нервног система. Ова метода омогућава регистрацију разлике потенцијала између двије тачке на лобањи човјека у функцији времена. Конвенционални распоред електрода које се постављају на главу испитаника при ЕЕГ снимању је дефинисан интернационалним стандардом 10/20. Постоје биполарна и монополарна регистрација. Разлог зашто је ЕЕГ толико популаран у истраживањима је то што има високу темпоралну резолуцију, лак је за примјену и јефтин, у поређењу са другим методама. Такође, ЕЕГ је веома добро проучен.

3.4. Магнетоенцефалографија

Магнетоенцефалографија уз помоћ магнетне индукције, региструје магнетну активност мозга. Услед електричне активности мозга, МЕГ мјери јачину магнетног поља. У односу на енцефалографију, МЕГ је мање осјетљива на нелинеарности и неуниформност можданог ткива. Додатно, магнетно поље мање изобличује лобању од електричног поља. МЕГ може рјешавати догађаје са прецизношћу од 10 ms. Такође, тачно одређује изворе у примарним слушним, соматосензорним и моторним областима. Ипак, упркос свим позитивним странама ове технике, она се веома ријетко користи у интерфејсу мозак-рачунар јер је превише гломазна и скупа за свакодневно тестирање и употребу.

3.5. Бежични уређаји

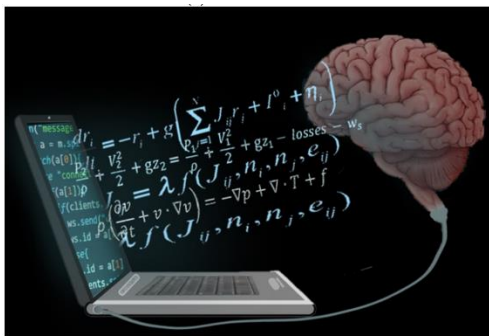
Класа бежичних БЦИ уређаја је дизајнирана као чипови величине пилуле од електрода имплантираних на кортекс. У тако малој запремини смјештен је читав систем за обраду сигнала и то: литијум-јонска батерија, интегрисана кола ултра мале снаге за обраду и конверзију сигнала, бежични радио и инфрацрвени предајници и бакарни калем за пуњење. Сви бежични сигнали и сигнали за пуњење пролазе кроз електромагнетно-провидни сафирни прозор. Нису сви бежични БЦИ системи интегрисани и у потпуности се могу имплантирати. Важно је напоменути да интракортикалне протезе морају задовољити строга ограничења дисипације снаге како не би оштетиле кортекс. БЦИ технологија може да оснажи појединца да директно контролише електронске уређаје који се

налазе у паметним кућама/канцеларијама и асоцијативним роботима преко својих мисли. Овај процес захтијева ефикасан пренос ЕЦоГ сигнала са имплантираних електрода унутар мозга до спољашњег пријемника који се налази споља на скалпу.

4. BRAIN-COMPUTER INTERFACE

4.1. Опште карактеристике

Ова технологија фокусирана је на предузећа за истраживање и развој која се брзо развијају. Она користи систем вјештачке интелигенције који може да препозна одређени скуп образаца у сигнаlima у пет фаза. Прва фаза је аквизиција сигнал која подразумијева снимање можданих сигнала на основу чега је могуће отклонити потенцијалне шумове који могу нанјети штету квалитету сигнала. Такође, у овој фази врши се обрада артефакта. Друга фаза представља обраду сигнала у којој се сигнал преводи у одговарајући облик који је потребан за даљу обраду. Издвајање карактеристика је следећа фаза гдје се информације од значаја идентификују у већ снимљеним можданим сигнаlima. Класификација, као четврта фаза, подразумијева пресликавање сигнала на вектор који садржи ефективна својства посматраног сигнала након чега се класификују сигнали, а у обзир се узимају вектори карактеристика. Пета и уједно завршна фаза, је управљачки интерфејс који врши превод класификованих сигнала у смислене команде које се повезују на одговарајући уређај.



Slika 3. БЦИ технологија

4.2. Модалитет интеракције

Ефикасна употреба БЦИ уређаја подразумијева затворену петљу детекције, обраде и активирања. У процесу сенсинга, биоелектрични сигнали се детектују и дигитализују прије него што се прослијеђују рачунарском систему. Аквизиција сигнала се може реализовати кроз бројне технологије и кређе се од неинвазивних до инвазивних.

У фази обраде, рачунарска платформа тумачи флукуације у сигнаlima кроз разумијевање неурофизиологије како би разликовала намјеру корисника од сигнала који се мијења.

Последњи корак јесте активирање такве намјере, у којој се она преводи у специфичне команде које рачунар или роботски систем треба да изврши. Корисник тада може да прими повратну информацију како би прилагодио своје мисли, а затим генерише нове и прилагођене сигнале за тумачење БЦИ система.

4.3. Синхрона и асинхрона интеракција

У синхроним протоколима, добијени сигнали су временски закључани према екстерним сигнаlima који се понављају сваки пут (систем контролише корисника), док у асинхроним протоколима корисник може да смисли неке менталне задатке у било ком тренутку (корисник контролише систем). Асинхрони БЦИ захтијевају опсежну обуку, њихов учинак зависи од корисника, а њихова прецизност није тако висока као код синхроног. С друге стране, синхрони БЦИ захтијевају минималну обуку и имају стабилне перформансе и високу прецизност.

4.3. Технике преобrade и обраде

Уклањање артефаката је кључна функција за БЦИ апликације за побољшање његове робусности. Данас се могу користити различити алати да би се постигла корекција артефаката трептаја у аквизицији ЕЕГ сигнала. Избор најпогодније коришћене методе зависи од специфичне примјене и од ограничења саме методе. Заправо, методе засноване на регресији захтијевају најмање један канал за електроокулографију (ЕОГ) и на њихов учинак утиче међусобна контаминација између ЕЕГ и ЕОГ сигнала. За апликације велике пропусности као што су БЦИ, когнитивна неуронаука или клинички неуромониторинг, од велике је важности да се слијепо одвајање извора ефикасно изведе у реалном времену. Да би се побољшала пропусност БЦИ-а, може се искористити оптимално окружење паралелизма које хардвер пружа.

5. УПОТРЕБА БЦИ

Рана примјена БЦИ била је на нервним протетичким имплантатима, што је показало неколико потенцијалних употреба за снимање неуронске активности и стимулацију централног нервног система као и периферног нервног система. Кључни циљ многих неуропротетика је операција кроз БЦИ системе затворене петље (петља је од мјерења мождане активности, класификације података, повратне информације субјекту и ефекта повратне спреге на мождану активност), са каналом за преношење тактилних информација.

Да би били ефикасни, такви системи морају бити опремљени неуронским интерфејсима који раде на конзистентан начин што је дуже могуће. Поред тога, такви неуропротетски системи морају бити у стању да прилагоде снимање промјенама у неуронским популацијама и да толеришу физичке факторе животне средине у стварном животу.

Развој визуелне протетике има један од највећих приоритета у области биомедицинског инжењерства. Потпуно слепило од дегенерације мрежњаче настаје услед болести као што је макуларна дегенерација повезана са узрастом, која изазива дистрофију фоторецепторских ћелија, од оклузије артерије или вене, и од дијабетичке ретинопатије. Тренутни развој се појављује у облику побољшаних алгоритама за обраду слике и приступа преносу података, у комбинацији са нано-фабрикацијом и проводљивом полимеризацијом.

5.1. Напредак у примјени интерфејса за контролу и аутоматизацију

Последњих година, БЦИ су потврђени у различитим бучним структурираним окружењима као што су куће, болнице и изложбе, што је резултирало директном применом БЦИ-а који је стекао популарност код редовних потрошача. Такође, учињени су неки истраживачки напори на његовој употреби о паметним окружењима, паметним системима управљања, брзом и глатком кретању прототипова роботских руку, планирању кретања аутономних или полуаутономних инвалидских колица, као и контрола ортоза и протеза. Бројни истраживачки подухвати потврдили су да различити уређаји као што су инвалидска колица или роботска могу бити контролисани путем БЦИ уређаја.

5.2. Примјена у паметним кућама

У паметним домовима појављују се апликације интерфејса мозак-рачунар заснованих на ЕЕГ-у. БЦИ технологију могу користити особе са инвалидитетом да побољшају своју независност и максимизирају своје преостале способности код куће. Последњих година развијени су нови БЦИ системи за контролу кућних апарата. У таквим студијама циљ је био побољшање квалитета живота особа са инвалидитетом путем БЦИ контролних система током неких свакодневних животних активности попут отварања/затварања врата, паљење и гашење свијетла, управљање телевизором, коришћење мобилних телефона, слање порука у њиховој заједници и руковање видео камером.

5.3. Апликација за мобилну роботску и интеракцију са роботском руком

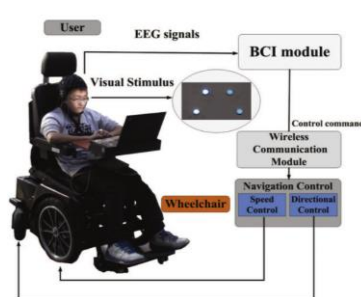
У вези са појединцима погођеним неуролошким инвалидитетом, рад спољне роботске руке за олакшавање активности руковања могао би да искористи предности ових нових модалитета комуникације између људи и физичких уређаја. Неке функције као што су оне повезане са могућношћу одабира ставки на екрану померањем курсора у тродимензионалној сцени су једноставне помоћу контроле засноване на БЦИ. Главна карактеристика мобилних роботских система контролираних мозгом је да ови мобилни роботи захтијевају већу безбједност пошто се користе за превоз особа са инвалидитетом. У контроли заснованој на БЦИ, ЕЕГ сигнали се преводу у наміјере корисника.

5.4. Примјена за контролу инвалидских колица

Не посједују све особе које би могле да доживе повећану покретљивост коришћењем инвалидских колица са електричним погоном неопходан когнитивни и неуромишићни капацитет потребан за навигацију у динамичном окружењу помоћу дојстика.

За ове кориснике је назначен приступ „дијелене“ контроле у комбинацији са алтернативним интерфејсом. Представљени су радови који се баве минимизирањем учешћа корисника, кроз нову стратегију полуаутономне навигације. Умјесто да захтијева команде за контролу корисника у сваком кораку, робот предлаже акције (нпр. скретање лијево или напријед) на основу информација о животној

средини. Субјект може одбити радњу коју је предложио робот ако се не слаже са њом. С обзиром на одбацивање људског субјекта, робот доноси другачију одлуку на основу наміјере корисника.



Слика 4. Инвалидска колица и БЦИ

6. НЕДОСТАЦИ

Општа ограничења БЦИ технологије могу се препознати као: непрецизност у погледу класификације неуронске активности; ограничена способност читања можданих сигнала за оне системе постављене изван лобање; гломазна природа система што доводи до потенцијално непријатног корисничког искуства, сигурност личних података која није загарантована. Друга ограничења могу бити повезана са методама које се користе за снимање мождане активности.

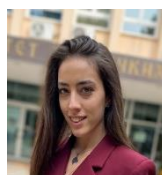
5. ЗАКЉУЧАК

Ова технологија помаже људима са високим степеном инвалидитета, било да они пате од неке говорне или моторне дисфункције. Код особа које су потпуно непокретне (нпр. као посљедица неке полинеуропатије), или имају недостатак мишићне контроле (нпр. усљед церебралне парализе), БЦИ систем може да им омогући да на нека једноставна питања брзо одговоре, да контролишу окружење, да се изводи спора обрада ријечи или чак да се управља неуралном протезом или ортозом. Последњих година учињени су неки истраживачки напори на његовој употреби о паметним окружењима, паметним системима управљања, брзом и глатком кретању прототипова роботских руку, планирању кретања аутономних или полуаутономних инвалидских колица, као и контрола ортоза и протеза. Бројни истраживачки подухвати потврдили су да различити уређаји попут инвалидских колица или роботске руке могу бити контролисани посредством интерфејса мозак-рачунар.

6. LITERATURA

- [1] Sanei, S.; "Adaptive Processing of Brain Signals".
- [2] Frank, M. G.; "Brain Rhythms. Encyclopedia of Neuroscience".
- [3] "Brain computer interface: control signals review", Department of Computer Engineering, Cairo, Egypt

Кратка биографија:



Нађа Килибарда рођена је у Никшићу 1998. год. Дипломирала је на Факултету техничких наука у Новом Саду на модулу биомедицинског инжењерства 2021. године.
контакт: nadjakilibarda68@gmail.com