

UOT 004.5

DOI: 10.25045/jpit.v12.i1.04

Həşimov M.A.

AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
mamedhashimov@gmail.com

BEYİN KOMPÜTER İNTERFEYSİ: PERSPEKTİVLƏRİ, TƏTBİQLƏRİ VƏ PROBLEMLƏRİ

Daxil olmuşdur: 30.12.2020 Düzəliş olunmuşdur: 06.01.2021 Qəbul olunmuşdur: 12.01.2021

Uzun illərdir ki, bir çox tədqiqat mərkəzlərində insan beyni ilə müxtəlif cihazlar arasında birbaşa əlaqənin qurulması istiqamətində intensiv tədqiqat işləri aparılır. Bu tədqiqatlar beyin siqnalları vasitəsilə insan beyni ilə kompüterlər, əlil arabaları, protez cihazları və digər alətlərin idarə olunması məqsədilə həyata keçirilmişdir. Məhz buradan "Beyin-kompüter interfeysi" (BKİ) termini meydana gəlmişdir. BKİ bir-birini qarşılıqlı şəkildə tamamlayan insan beyni ilə kompüter arasında əlaqə sistemidir. Bu interfeys insan bədəninin sinir-əzələ sistemi ilə deyil, onun zehni fəaliyyətinin köməyi ilə əlaqənin qurulmasına imkan verir. Məqalədə BKİ-nin inkişaf mərhələləri, mövcud vəziyyəti və gələcək perspektivləri barədə məlumat verilmişdir. BKİ-nin arxitekturası təhlil edilmiş, beyindən siqnalların alınması üsulları və texnikaları araşdırılmış, həmin siqnallar vasitəsilə cihazların işləmə prinsipi təqdim edilmişdir. BKİ tətbiqləri ilə bağlı həyata keçirilən təcrübələr və onlardan əldə olunan nəticələr göstərilmişdir. BKİ-nin laboratoriya mühitindən real həyat tətbiqetmələrinə keçməsi üçün bu sahədə mövcud olan problemlər analiz edilmiş və çatışmazlıqlar müəyyənləşdirilmişdir. BKİ-nin inkişafına dair müəyyən təkliflər verilmişdir.

***Açar sözlər:** beyin kompüter interfeysi, elektroensefaloqrafiya, beyin kompüter interfeysinin arxitekturası, beyin kompüter interfeysi tətbiqləri, beyin kompüter interfeysi problemləri.*

Giriş

İnsan beyni təqribən 100 milyard neyrondan ibarət mürəkkəb bir şəbəkədən təşkil olunmuşdur. İnsan düşünərkən, hərəkət edərkən, nəyisə hiss edərkən və ya xatırlayarkən neyronlar işləyir və elektrik siqnallarını göndərməklə beynə və ya beyindən məlumatın ötürülməsini həyata keçirir. Həmin elektrik siqnallarını müxtəlif texnologiyaların köməyi ilə aşkar edib cihazın, maşının, kompüterin idarə olunması məqsədilə istifadə etmək olar [1].

Bu sahədə tədqiqatlar hələ ötən əsrin 20-ci illərindən aparılmağa başlanmışdır. İnsan beyninin bioelektrik hərəkətlərini qeydə alan elektroensefaloqrafiya (*ing. Electroencephalography, EEG*) metodunun ixtiraçısı sayılan alman psixiatri Hans Berqer (*ing. Hans Berger*) 1924-cü ildə beyindən ötürülən 8–12 Hz tezliyindəki alfa dalğaları kəşf etməyə nail olmuşdur. Daha sonralar bu dalğalar onun şərəfinə Berqer dalğaları adlandırılmışdır. Beş il davam edən tədqiqatlardan sonra 1929-cu ildə Berqer EEG klinik diaqnoz və beyin tədqiqatı üçün yaradılmış əsas vasitə haqqında yazılan 14 məqalədən birincisini nəşr etdi. Berqer beyin dalğalarını bütövlükdə kəllə beyindən birbaşa qeyd etmək imkanını nümayiş etdirdi [2].

1950-ci illərdə ispaniyalı professor Xose Delqado (*ing. José Manuel Rodríguez Delgado*) canlı heyvanların (daha sonra isə insanların) beyninə elektrodları implant etdiyinə və onları kəllə sümüyünün altında yerləşdirdiyi radioqəbuledicidən istifadə etməklə stimullaşdırdığına görə məşhurlaşmışdı. Delqado beynin elektron stimullaşdırılması (*ing. Electronic Stimulation of the Brain, ESB*) adlanan metodun köməyi ilə elektrodlar vasitəsilə göndərilən siqnallardan istifadə etməklə insan və heyvanlarda sakitləşmə və ya aqressivləşmə kimi əsas davranış effektlərinin yaradılmasına nail olmuşdur. Bu tədqiqat ilk beyin implantı olaraq beynə siqnalların ötürülməsi imkanlarının olmasını bir daha sübut etdi [3].

Protez cihazlarının idarə edilməsi üçün birbaşa beyindən alınan siqnallardan istifadə konsepsiyası 1960-cı illərin sonunda yaradılmışdır. Reabilitasiya sahəsində çalışan tədqiqatçılar iflic olmayan əzələlərin potensiallarının süni üzvlərin idarə olunması üçün faydalı ola biləcəyi

fikrini irəli sürmüşdülər [4].

1970-ci illərdə tədqiqatçılar baş beyindən əldə edilən elektrik fəaliyyətinə əsaslanan ibtidai idarəetmə sistemlərini yarada bildilər. Pentaqonun elmi araşdırmalarının inkişafı agentliyi (*ing. Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA*) əsgərlərə yardım edəcək bionik cihazların yaradılmasına yönəlmiş tədqiqatları maliyyələşdirməyə başladı. Corc Laurens (*ing. George Lawrence*) və həmkarları tərəfindən aparılan erkən araşdırmalar yüksək zehni əmək tələb edən işlərlə məşğul olan əsgərlərin beyin fəaliyyətini yaxşılaşdırmaq üçün yeni cihazların yaradılmasına yönəldilmişdi. Onlar tərəfindən aparılan araşdırmalar bir sıra üsulların yaradılmasına töhfə vermiş, lakin heç bir cihazın istehsalına səbəb olmamışdır [5].

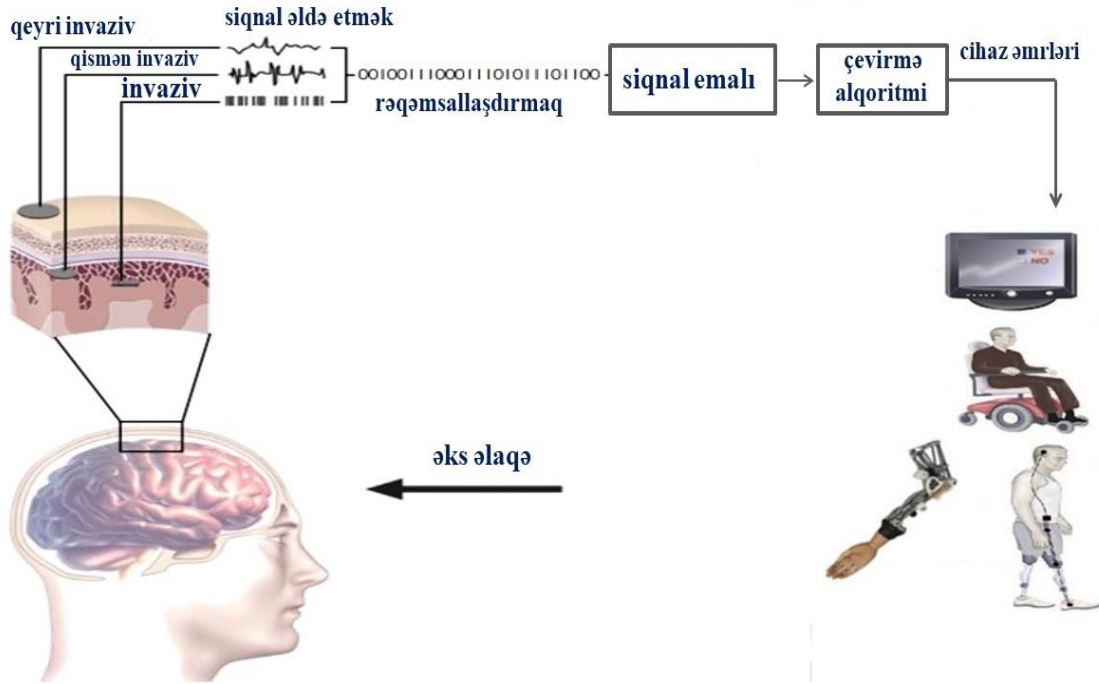
1973-cü ildə belçikalı professor Jak Vidal (*ing. Jacques J. Vidal*) insanın görmə istiqamətini təyin etmək üçün beyin siqnallarından istifadə edərək sistem hazırladı. Həmin sistemin köməyi ilə görmə əngəlli insanın hərəkət etmək istədiyini istiqaməti təyin etmək mümkün oldu. Elə həmin dövrdə də Vidal BKİ terminini elmə təqdim etdi. BKİ termini bu tədqiqatlardan sonra çap olunmuş məqalələrdə ilk dəfə istifadə edilmiş və beləliklə, elmi ədəbiyyata daxil olmuşdur [6].

Beyin kompüter interfeysi haqqında

BKİ müəyyən bir obyekt və ya cihazın insan beyni vasitəsilə birbaşa idarə edilməsi məqsədilə əlaqəni təmin edir. Beyində baş verən fiziki prosesləri dəqiq şəkildə izləyən sensorların köməyi ilə beyindən məlumatın əldə edilməsi və istənilən cihazın proqram təminatı vasitəsilə idarə olunması mümkündür [1].

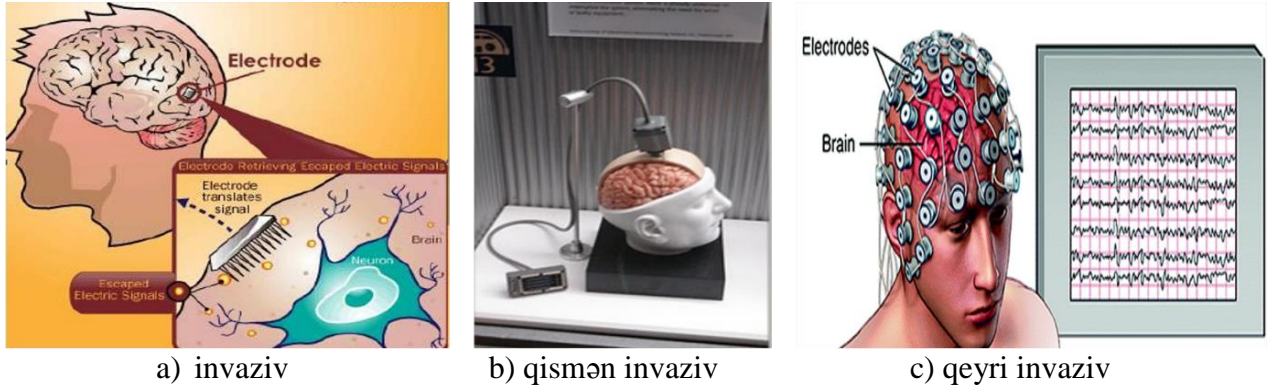
BKİ, xüsusilə fiziki məhdudiyətli insanların müəyyən hərəkətləri yerinə yetirə bilməsi üçün faydalı platforma təqdim edir. Bu platformada insan və maşın arasındakı kommunikasiya keyfiyyətinin artırılmasına yardım edən beyin təsviri texnologiyalarından istifadə olunur [7]. BKİ beyin-maşın interfeysi, insan-kompüter qarşılıqlı əlaqəsi, ağıl-maşın interfeysi, birbaşa sinir interfeysi və s. kimi bir çox başqa terminlərlə də tanınır.

BKİ-nin arxitekturası. BKİ 4 əsas mərhələdən ibarətdir: siqnalın alınması, siqnal emalı, çevirmə algoritmi və yekun cihaz [8, 9] (şəkil 1).



Şəkil 1. Beyin kompüter interfeysinə arxitekturası

Birinci mərhələ: Siqnalın alınması mərhələsində müəyyən üsul və texnikalardan istifadə edərək beyin siqnallarının ölçülməsi prosesi həyata keçirilir. Bunun üçün şəkil 2-də qeyd olunan üç üsuldan istifadə olunur [10, 11].



Şəkil 2. Beyindən siqnalların alınması üsulları

İnvaziv. Bu üsulda elektrodlar beyni deşərək boz maddənin içərisində yerləşdirilir (şəkil 2a). Elektrodlar neyronlarla əlaqələnir və beləliklə, hər bir elektrod beyindən gələn elektrik siqnallarını birbaşa qeyd edir. İnvaziv metodlar çox yaxşı siqnal keyfiyyətinə (yüksək amplituda, aşağı səs-küy) malikdir. Lakin invaziv üsul beyinə kompleks cərrahi müdaxilə tələb etdiyindən insan sağlamlığı üçün zərərli hesab olunur. Bundan əlavə, tamamilə fiziki baxımdan beyin içərisinə yerləşdirilən elektrodlar vasitəsilə siqnalların qeyd edilməsi üzrə uzun müddət davam edən tədqiqatlar problemlidir. Çünki, elektrodlar bədəndəki mayeyə reaksiya verir. Bu isə ölçülən siqnalların keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə aşağı sala bilər.

Qismən invaziv. Burada implantlar beyni deşmədən kəllə sümüyünün altına yerləşdirilir (şəkil 2b). Bu zaman siqnalların keyfiyyəti aşağı olsa da, beyindən gələn siqnalların qəbul edilməsi invaziv üsulla müqayisədə insan sağlamlığına ziyan vurmur. Buna elektrokortikografiyanı (*ing. Electrocorticography, ECoG*) misal göstərmək olar. Bu üsulda beyin qabığından elektrik aktivliyini qeyd etmək üçün elektrodlar birbaşa beyin açıq səthinə yerləşdirilir. Neyro görüntülmə zamanı elektrodların kəllənin içərisinə yerləşdirilməsi üçün cərrahi kəsiyin həyata keçirilməsi tələb olunur.

Qeyri-invaziv. Bu cür BKİ sistemləri xəstənin beyində heç bir implantasiya olmadan siqnalları yüksək keyfiyyətlə qeyd edir (şəkil 2c). Qeyri-invaziv üsulda sensorlar baş dərisinə yerləşdirildiyindən invaziv üsulla müqayisədə onun istifadəsi daha asandır. Bunun üçün əsasən aşağıdakı üsullardan istifadə olunur [12, 13]:

➤ Maqnetoensefaloqrafiya (*ing. Magnetoencephalography, MEG*) beyində təbii olaraq meydana gələn elektrik cərəyanlarının yaratdığı maqnit sahələrini qeyd etməklə beyin fəaliyyətini təsvir etmək üçün istifadə edilən qeyri-invaziv neyro görüntülmə üsuludur. 1968-ci ildə İllinoys Universitetinin (*ing. University of Illinois*) fiziki David Cohen (*ing. David Cohen*) ilk dəfə olaraq MEG siqnalını ölçmüşdür.

➤ Funksional maqnit rezonans görüntülmə (*ing. Functional magnetic resonance imaging, fMRI*) insanların beyindəki və ya onurğa beyindəki sinir aktivliyi ilə əlaqəli hemodinamik reaksiyanı (qan axınının dəyişməsi) ölçmək üçün istifadə olunan bir növ ixtisaslaşdırılmış maqnit rezonans tomoqrafiya (MRT) müayinəsidir. Ən son inkişaf etmiş neyro görüntülmə formalarından biridir. 1990-cı illərin əvvəllərindən bəri fMRI nisbətən aşağı invazivliyi, radiasiyaya məruz qalmaması və nisbətən geniş mövcudluğu səbəbindən beyin xəritələşdirmə sahəsində üstünlük təşkil etmişdir. fMRI vasitəsilə elektrik və ya maqnit ölçmə üsulu ilə toplanan bilməyən beyin dərin hissələrindəki məlumatlar toplanır.

➤ Funksional yarım-infraqırmızı spektroskopiyaya (*ing. gunctional near-infrared spectroscopy, fNIRS*) neyron aktivliyin aşkarlanması məqsədilə beyindəki qanın axın dinamikasını ölçən qeyri-invaziv üsuldur. Qan axınını təyin etmək üçün yarım-infraqırmızı zolaqdakı işıqdan istifadə edilir. fMRI ilə müqayisədə fNIRS daha ucuzdur, lakin daha az görüntüləmə qabiliyyətinə malikdir.

➤ EEG beynin bioelektrik aktivliyini qeyd edən və qiymətləndirmək üçün istifadə olunan ilk qeyri-invaziv neyro görüntüləmə texnikasıdır. İstifadəsi, qiyməti və yüksək həlli sayəsində EEG günümüzdə BKİ-lərdə ən geniş tətbiq olunan üsuldur. EEG – BKİ üçün ən çox yayılmış siqnal əldə etmə metodudur. Baş beynin elektrik aktivliyi çox aşağı olduğuna görə, onu qeydə almaq üçün xüsusi yüksək həssaslığa malik EEG qurğularından və gücləndiricilərdən istifadə olunur. Tipik olaraq EEG qurğularında 6 ilə 64 arası elektroddan istifadə olunur. Müasir EEG, eyni zamanda 256 elektrod sahəsindən gələn siqnalları ölçmək kimi üstünlüyə malikdir [14].

EEG epilepsiya, yuxu pozğunluqları, baş travması, beyin şişləri, şüur pozğunluqları və digər beyin vəziyyətlərini izləmək və diaqnoz qoymaq üçün çox faydalıdır. Müayinənin özü xəstə üçün xoşagəlməz deyil və 15–20 dəqiqə davam edir. Sınaq zamanı xəstə rahatlıqla oturur və ya baş dərisinə yapışmış elektrodlarla yatır. Xəstənin tutduğu mövqe müayinənin məqsədindən asılıdır. Ümumiyyətlə, elektrodlar yapışqan pastadan (geldən) istifadə edərək bağlanılır və gücləndirici vasitəsilə qeyd cihazına bərkidilir. Ölçülmüş EEG siqnalı əsasən fərdi xüsusiyyətdir və insanın psixofizioloji vəziyyətindən asılı olaraq dəyişir. Sağlam insan beyninin 0,5 Hz-dən 100 Hz-ə qədər tezliklərdə dalğalar və bir neçə yüz μ V-lik amplitudalar meydana gətirdiyi ehtimal olunur.

Beynin fəaliyyəti zamanı yaranan elektrik siqnalları yuxarıda qeyd olunduğu kimi beynin daxilində, kəllə sümüyünün altında və ya baş dərisində yerləşdirilən elektrodlar vasitəsilə qeydə alınmaqla aşkarlanır. Daha sonra siqnallar elektron emala uyğun səviyyələrə qədər gücləndirilir, rəqəmsallaşdırılır və kompüterə ötürülür. Orada isə siqnalların emalı prosesi həyata keçirilir.

İkinci mərhələ: Siqnalın emalı mərhələsi beyində baş verən mürəkkəb proseslər səbəbindən BKİ-nin ən vacib və çətin tərəfidir. Siqnal emalı, müvafiq siqnal xüsusiyyətlərinin (yəni, şəxsin niyyəti ilə əlaqəli siqnal xüsusiyyətləri) kənar məzmunundan ayrılması üçün rəqəmsal siqnalların təhlili və onların yekun əməllərə çevrilməsi məqsədilə uyğun kompakt formada təqdim olunmasıdır. Bu xüsusiyyətlər istifadəçinin məqsədi ilə əlaqəli olmalıdır. Beyin siqnallarının xüsusiyyətlərinin dəqiq ölçülməsini təmin etmək üçün ətrafdakı faktlar və elektromioqrafik siqnallar kimi fizioloji faktlar nəzərə alınmır və ya çıxarılır. Yaranan siqnal xüsusiyyətləri daha sonra çevirmə alqoritmi mərhələsinə ötürülür.

Üçüncü mərhələ: Çevirmə alqoritmi mərhələsində siqnal xüsusiyyətlərinin cihazın anlayacağı müvafiq əməllərə (yəni, istifadəçinin niyyətini yerinə yetirən əməllərə) çevrilməsi həyata keçirilir. Hər bir problem üçün uyğun alqoritmlər seçilməlidir, əks halda istifadəçinin niyyətini yerinə yetirmək üçün ölçülmüş siqnalların səhv proqramlaşdırılması əməliyyat səhvləri ilə nəticələnə bilər.

Dördüncü mərhələ: Çevirmə alqoritmindən gələn əməllər yekun cihazı işə salır, hərfin seçilməsi, kursora nəzarət, robot qolun istifadəsi və s. kimi funksiyaları təmin edir. Cihazın fəaliyyəti istifadəçi ilə əks əlaqə yaradır, beləliklə də, idarəetmə tamamlanır.

BKİ tətbiqləri

1970-ci illərdən başlayaraq bir çox tədqiqat mərkəzlərində BKİ-nin tətbiqi ilə bağlı çoxlu layihələr həyata keçirilməyə başladı. Bunlara misal olaraq aşağıdakıları göstərmək olar:

Görmə qabiliyyətinin müalicəsi üçün hazırlanmış ilk BKİ prototipi amerikalı alim Vilyam Do Bel (*ing. William H. Dobelle*) tərəfindən 1978-ci ildə yetkinlik yaşlarında görmə qabiliyyətini itirmiş Cerri (*ing. Jerry*) adlı şəxsə implantasiya edilmişdir. Cerri asanlıqla gözə və böyük hərfləri oxuya bilmişdi. Hazırlanmış süni görmə sistemi kiçik kamera vasitəsilə görüntü çəkməklə və hər biri günəş eynəyinin bir obyektivinə quraşdırılmış ultrasəs sensor vasitəsilə məsafədən məlumatları əldə etməklə fəaliyyət göstərirdi. Bu siqnallar 5 kiloqramlıq portativ kompüter

tərəfindən emal edilir, daha sonra isə insanın beyninə yerləşdirilmiş 68 platin elektroda yeni siqnal göndərilirdi. Elektrodlar beynin görmə qabığının səthində olub, əşyaların çıxıntılarını göstərən işıq ləkələrinin, yəni fosfenlərin (gözə işıq daxil olmadan işığın qəbul edilməsi) vizuallaşdırılmasına imkan verirdi. Bu layihə tədqiqatçı, neyrocərrah və Mərkəzi Prosessor Modulu (*ing. Central Processor Unit, CPU*) istehsalçılarının birgə həyata keçirdiyi ilk tədqiqat işi idi. Bu, o zaman hələ çox gənc tədqiqat sahəsi hesab olunurdu. İndiyədək bu sahədə bir sıra tədqiqat işləri həyata keçirilmişdir [15].

“BrainGate” (beyin qapısı) adlanan digər bir ixtira ABŞ-ın Braun Universitetinin (*ing. Brown University*) Neyroşünaslıq şöbəsində kiber kinetika sahəsində fəaliyyət göstərən biotexnologiya şirkəti tərəfindən yaradılan protezdir. Ümumiyyətlə, BrainGate onurğa beynin zədələnməsi nəticəsində hər hansı hərəkət qabiliyyətini itirmiş, beyin insultu keçirmiş və ya yan amiotrofik skleroz (sinir sistemi xəstəliyi) xəstələrinə yardım məqsədilə yaradılmışdır. İlk dəfə BrainGate BKİ-nin tətbiqi 9 aylıq sınaqlardan sonra 2005-ci ildə tetraplegiya (qolun və ayağın tam hərəkətsizliyi) xəstəliyi olan Matt Neyql (*ing. Matthew Nagle*) üzərində sınaqdan keçirilmişdir. O zaman neyrotexnoloji BrainGate çip-implantını insanın beyninə yerləşdirməklə insan beynini idarə etməyə nail olmuşdular. Neyqlin sağ presentral nayihəsinə (sağ əlin hərəkətini icra edən beyin hissəsi) yerləşdirilmiş 96 elektrodlu BrainGate implantı təfəkkür vasitəsilə onun robot əlini hərəkət etdirməyə, kompüter kursunu, televizor pultunu işlətməyə imkan vermişdir [15, 16].

2008-ci ildə Amerika Birləşmiş Ştatlarının Pitsburq Universitetinin (*ing. University of Pittsburgh*) Neyrobiologiya fakültəsinin professoru Andryu Şvartzın (*ing. Andrew Schwartz*) rəhbərlik etdiyi qrup “Meymun beyni ilə idarə edilən robot qol” tədqiqat işini təqdim etmişdir. Bu tədqiqat işində meymunun onun beyni ilə elektron şəkildə bağlanan robot qolun köməyi ilə qidalandığı nümayiş etdirilmişdir. Meymunun öz qolları isə plastik borularla saxlanmışdır. Bu zaman robot qolun idarə edilməsi üçün beyin hərəkətə məsul olan bölgəsinə insan saçından da nazik 96 elektrod bağlanmışdır [17].

Əyləncə tətbiqləri sahəsində BKİ neyro-oyun formasında ən müasir oyun texnologiyalardan ibarətdir. Bu növ oyun texnologiyalarında oyunun idarə olunması üçün insanın beyin siqnalları, oyunçunun ürək döyüntüləri və üz ifadələri kimi fizioloji funksiyalardan istifadə olunur. Bu, yalnız beyindəki elektrik siqnallarını qeydə alan EEG qurğularının köməyi ilə mümkündür. 2009-cu ildə Emotiv şirkəti oyunçunun əhval-ruhiyyəsini təyin etmək üçün başa geyinilə bilən EEG əsaslı qurğular istehsal etdi [18]. Həmin qurğuların köməyi ilə istifadəçilər oyun zamanı öz təfəkkürləri vasitəsilə virtual oyunçunun hər hansı əşyanı qaldırmaq və ya atmaq kimi bacarıqlarını balanslaşdırmaqla və hərəkətlərini təsəvvür etməklə yüksək xal toplaya bilirlər. Bu növ oyunlara "Throw trucks with your mind", "Mind Balance video game", "NeuroRacer" and "NeuroMage" aiddir [1].

Tesla və SpaceX-in icraçı direktoru İlon Mask (*ing. Elon Reeve Musk*) kompüterləri birbaşa insan beyninə bağlamaq niyyəti ilə 2016-cı ildə “Neyrolink” (*ing. Neuralink*) şirkətini yaratdı. İlk mərhələdə onun məqsədi insan beyni vasitəsilə mobil cihazların və kompüterlərin istifadəsini təmin etməkdir. Maskın gələcək planlarında isə insanları daha ağıllı etmək, yaddaşlarını gücləndirmək, yeniləmək və nəticədə insan aqlının genişlənməsini təmin etməkdir. Bunun üçün artıq bir neçə təcrübə və sınaqlar həyata keçirilib. Şirkətin mütəxəssisləri 4×5 mm ölçüsündə olan sensorları kəllə qutusunda 8 mm diametrində dəlik açmaqla beyin boşluğuna yerləşdirməyi planlaşdırırlar. Bu sensorların 4–10 ədədi beynə yerləşə bilər. Sensorların hər birinə 4–6 mikron diametrdə 1024 elektrod lifi birləşəcək. Bu elektrodların hər biri eyni zamanda 10-dan–1000-ə yaxın neyronu idarə edə biləcək. Bu liflər xüsusi yerləşdirici robot vasitəsilə beyin toxumasına elə dəqiqliklə yerləşdiriləcək ki, hətta ürək döyüntülərinə uyğun beyin titrəyişlərində belə, ən kiçik damar da zədələnməsin. Robotu neyrocərrah idarə etsə də, işin əsas hissəsi insanın iştirakı olmadan həyata keçəcək. Elektrod-liflərin köməyi ilə sensorlara toplanan məlumatlar baş dərisinin altında yerləşən çox nazik naqillərlə qulağın arxasında, dəri altında yerləşən qurğuya ötürüləcək. Həmin qurğunun işi sensorlardan gələn məlumatları toplayıb “bluetooth” vasitəsilə telefona ötürməkdən ibarət olacaq. Bununla da insanlar telefonlarını beyinlə idarə edə biləcəklər [19].

BKİ sahəsində mövcud olan problemlər

Hal-hazırda inkişaf mərhələsində olan BKİ-nin maraqlı və dinamik gələcəyinə baxmayaraq, əlbəttə ki, texnoloji problemləri və riskləri də vardır. İnsan beyni ilə birbaşa əlaqəli olan BKİ sistemi düzgün istifadə edilməməsi halında istifadəçilərinə mənfi təsir göstərə bilər. BKİ ilə əlaqəli bəzi potensial risklər aşağıdakılardır [1, 10, 20, 21] :

İnsan beyninin dərk edilməsi. Qeyri-tibbi sferada fəaliyyət göstərən insan üçün, xüsusilə də mühəndislər üçün, insan beyninin fəaliyyətinin dərk edilməsi həddən artıq mürəkkəb vəzifədir. İnterfeysli qurğu hazırlanarkən isə insan beyninin fəaliyyəti dərk edilməlidir. Bunun üçün ilk növbədə protez və ya hər hansı BKİ qurğusunun hazırlanması üçün əsas sahələr öyrənilməlidir

Nəticələrin qeyri-dəqiqliyi. İnsan beyni olduqca mürəkkəb bir orqandır. İnsan tərəfindən yaradılan BKİ texnologiyasının bütün beyin siqnallarını düzgün şərh etməsini gözləmək düzgün deyil. BKİ istifadəçinin fikirlərini bəzən səhv şərh edə bilər. Məsələn, baş barmağını qaldırmaq istəyən protezli əlilin fikirləri BKİ tərəfindən düzgün təyin edilmədiyi halda orta barmağın qaldırılması ilə nəticələnə bilər. Belə qeyri-dəqiq nəticənin əldə edilməsi BKİ texnologiyasının ən böyük çatışmazlıqlarından biridir.

İstifadə rahatlığı. İstifadəçi əsasən sistemin asan şəkildə istifadə edilməsi arzusunda olur. Həddən artıq mürəkkəb sistemin idarə olunması da arzuolunmazdır. Lakin belə bir mürəkkəb sistemin asan istifadəsini təmin etmək də böyük səy tələb edir. BKİ sistemi beyin ilə kompüter arasındakı qarşılıqlı əlaqədə bir neçə kabelin birləşdirilməsindən ibarət olduğundan, bəzi əlverişsiz nəticələrə səbəb ola bilər. BKİ sisteminin həddən artıq həcmli olması sistemin əsas mənfi cəhətlərindən biri hesab edilir, çünki həddən artıq kabelin istifadəsi istifadəçi üçün həm zehni, həm də fiziki cəhətdən ağır ola bilər.

Texniki təminat problemləri. BKİ-nin laboratoriyadan real həyat tətbiqetmələrinə keçməsi üçün bir sıra çətinliklərin öhdəsindən gəlmək lazımdır. BKİ tədqiqatlarının əksəriyyəti ağır nəzarət altında olan bir mühitdə aparılır. Sistemin laboratoriyadan kənar yerlərdə, həmçinin problemlə yerlərdə normal fəaliyyətini təmin etmək məqsədilə bir çox texniki təminatların təkmilləşdirilməsi tələb olunur. Bu sistemlər həddən artıq səs-küylü yerlər kimi müxtəlif mühitdə istifadə edilməsi üçün kifayət qədər intellektual olmalıdır. Misal üçün, Dyuk Universitetinin (*ing. Duke University*) Nikolelis Laboratoriyasının (*ing. Nicolelis Laboratory*) kollektivi tərəfindən həyata keçirilən tədqiqat işinin nəticələri 2014-cü ildə futbol üzrə dünya kubokunda təqdim edilmişdir. Belə ki, braziliyalı əlil Yuliano Pinto (*ing. Juliano Pinto*) oyunların simvolik olaraq açılışını etmək məqsədilə neyprostetik ekzoskeletini taxmışdı. Onun əlil arabasından qalxıb, futbol topunun yanına gedəcəyi və sonra insan köməyi olmadan topu vuracağı gözlənilirdi. Elmi araşdırmalar üçün tarixi və son dərəcə vacib bir an olmasına baxmayaraq, o, yalnız topa ayağı ilə toxuna bilmişdi və beləliklə, təcrübə uğursuz nəticələnmişdi [22].

Təhlükəsizlik problemləri. BKİ – proqram tətbiqi olub, xarici cihaza məlumat göndərir. Ötürülən məlumatlar mənfi məqsədlər üçün istifadə edilə bilər. Bu səbəbdən də, BKİ texnologiyasında təhlükəsizlik məsələləri xüsusilə vacibdir, çünki BKİ birbaşa şəxsin sinir sistemindən gələn siqnalları əldə edir. BKİ hazırda bir istifadəçinin niyyətləri, şəxsi düşüncələri, oxuduqları və ya baxdıqları haqda məlumatların əldə edilməsi üçün istifadə edilir. Lakin bu texnologiya, həm də istifadəçinin sağlamlığına daha çox xələl gətirmək kimi risklərə səbəb ola bilər [23].

Yuxarıda qeyd olunan problemləri ümumiləşdirərək BKİ-nin çatışmazlıqlarını aşağıdakı kimi göstərmək olar [24]:

- Tədqiqatlar hələ ilkin mərhələdədir;
- Avadanlıq tam olaraq portativ deyil;
- İstifadəçi BKİ qurğularından istifadə etməzdən əvvəl geniş təlimlər keçməlidir;
- Beyində aparılan əməliyyatlar riskli ola bilər və beynin fəaliyyətinin dayanmasına səbəb ola bilər;

- Siqnallar zəifdir və onlara müdaxilə etmək mümkündür;
- Beyində BKİ cihazlarının götürə bilmədiyi kimyəvi reaksiyalar mövcuddur;
- Etik məsələlər sistemin inkişafına mane ola bilər;
- Kəllə xaricindəki elektrodlar beyindən çox az siqnal ala bilər;
- Kəllə içərisinə yerləşdirilmiş elektrodlar beyində toxumaları zədələyir;
- BKİ texnologiyası və onun quraşdırılması çox xərc tələb edir;
- Virus hücumları beyində pis təsirlərə səbəb ola bilər;
- BKİ texnologiyasının sürətlə fəaliyyət göstərə bilməsi üçün hələ bir sıra texnologiyaların inkişaf etdirilməsi tələb olunur.

Nəticə

BKİ insan beyni ilə xarici cihazlar arasında real vaxtda qarşılıqlı əlaqəyə imkan verən rabitə və ya idarəetmə sistemidir. BKİ tətbiqləri, əsasən laboratoriya şəraitində nümayişlərlə məhdudlaşdırılmışdır və hələlik gündəlik həyatda tam istifadə edilmir. Yaxın gələcəkdə BKİ tətbiqləri kompüter, mobil telefon və bir sıra digər texnologiyalar kimi gündəlik fəaliyyətdə insanların istifadəsinə veriləcəkdir. Bu səbəbdən BKİ-nin inkişafının müxtəlif komponentləri ilə bağlı tədqiqatlar ardıcıl və sürətli şəkildə davam etdirilir. Bu tədqiqatlara faydalı beyin siqnallarının araşdırılması, siqnalları qeydə alan texnikalar, siqnal emalı və tərcümə metodları, performansını optimallaşdırmaq üçün istifadəçi ilə sistem arasında qısa və uzunmüddətli uyğunlaşma metodları və s. aiddir. BKİ – sinir elmləri mütəxəssisləri, mühəndisləri, tətbiqi riyaziyyatçılar, kompüter elmləri alimləri, psixoloqlar, nevroloqlar və klinik reabilitasiya mütəxəssislərinin iştirak etdiyi çoxşaxəli bir sahədir. Qeyd olunan sahələr üzrə mütəxəssislərin birgə fəaliyyəti müvəffəqiyyət üçün çox vacibdir.

Yaxın gələcəkdə insan beyninə implantasiya olunan elektron avadanlıqlar adıləşə bilər. Futuroloqların proqnozuna görə, implantlar mərkəzi sinir sistemini əlavə güclə təmin edəcək və insanın düşünmə qabiliyyətini xeyli genişləndirməyə kömək edəcək. Bundan başqa, insanlar beyinlərində olan informasiyanı kompüterə yükləyə biləcəklər. Bu neyrotexnologiya insanlar arasında daha mürəkkəb qarşılıqlı əlaqələrin qurulmasına, ağır dərəcədə əlil, lakin idrak baxımından sağlam xəstələrin xarici dünya ilə daha yaxşı ünsiyyət qurmasına kömək edə bilər.

Ədəbiyyat

1. Aroosa U., Ureeba A., Muhammad G.K. Recent Trends, Applications, and Challenges of Brain-Computer Interfacing // International Journal of Intelligent Systems and Applications, 2017, vol.9, no.2, pp.58–65.
2. Jonathan W., Elizabeth W.W. Brain-Computer Interfaces: Something New under the Sun // Oxford Scholarship Online, 2012, pp.3–12.
3. Horgan J. The Forgotten Era of Brain Chips // Scientific American, 2005, vol.293, no.4, pp.66–73.
4. Donald R.H., Leigh R.H. Intracortical Recording of Brain Activity for Control of Limb Prostheses / Proceedings of the Rehabilitation Engineering Society of North America, 1995, pp.650–658.
5. Jonathan R.W., Niels B., William J.H., Dennis J.M., Hunter P.P., Gerwin S., Emanuel D., Louis A.Q., Charles J.R., Theresa M.V. Brain-Computer Interface Technology: A Review of the First International Meeting // IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering , 2000, vol.8, no.2, pp.164–173.
6. Jonathan R.W., Niels B., Dennis J.M. , Gert P., Theresa M.V. Brain-computer interfaces for communication and control // Clinical Neurophysiology, 2002, pp.767–791.
7. Luis F.N., Jaime G. Brain Computer Interfaces, a Review // Sensors, vol.12, no.2, pp.1211–1279.

8. Joseph N.M., Jonathan R.W. Clinical Applications of Brain-Computer Interfaces: Current State and Future Prospects // *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 2009, vol.2, pp.187–199.
9. Jerry J.S., Dean J.K., Jonathan R.W. Brain-Computer Interfaces in Medicine // *Mayo Clinic Proceedings*, 2012, vol.87, no.3, pp.268–279.
10. Alessandro L.S.F., Leonardo C.M., Erica E.C.M., Sarah G.S. A Survey of Interactive Systems based on BrainComputer Interfaces // *Journal on Interactive Systems*, 2013, vol.4, no.1, pp.3–13.
11. Remigiusz J.R., Marcin K., Andrzej M. Brain-Computer Interface as measurement and control system the review paper // *Metrology and Measurement Systems*, vol.19, no.3, 2012, pp.427–444.
12. Sarah N.A., Ayman A., Mostafa S.M.M. Brain computer interfacing: Applications and challenges // *Egyptian Informatics Journal*, 2015, vol.15, pp.213–230.
13. Satyajit S.P., Jain V.K., Sardana H.K. Topical Review: A Review of Various Techniques Used for Measuring Brain Activity in Brain Computer Interfaces // *Advance in Electronic and Electric Engineering*, 2014, vol.4, no.5, pp.513–522.
14. Jesus M., M. Angel L.G., Francisco P. Trends in EEG-BCI for Daily-Life: Requirements for Artifact Removal // *Biomedical Signal Processing and Control*, 2017, pp.407–418.
15. Postelnicu C.C., Talaba D., Toma M. Brain computer interfaces for medical applications // *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*, 2010, vol.3, no.52, pp.99–106.
16. BrainGate gives paralysed the power of mind control.
<https://www.theguardian.com/science/2011/apr/17/brain-implant-paralysis-movement>
17. Monkeys move robotic arm using brain power.
<https://www.nature.com/news/2008/080528/full/news.2008.861.html>
18. Prajakta S.R. Survey on Brain Computer Interface // *Advances in Computational Sciences and Technology*, 2017, vol.10, no.5, pp.1463–1470.
19. Abhinav K., Abhineet A., Anupam L. Neuralink- An Elon Musk Start-up Achieve symbiosis with Artificial Intelligence / *International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems*, 2019, pp.105–109.
20. Hongmei C., Qin J., Wenzhang L., Xiujun L. Review article: the key technologies of brain-computer interface / *Journal of Physics: Conference Series*, 5th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing, 2020, vol.1544.
21. QianQian L., Ding D., Mauro C. Brain-Computer Interface Applications: Security and Privacy Challenges / *IEEE Conference on Communications and Network Security*, 2015, pp.663–666.
22. Claire W. The successes and limitations of brain-computer interface technology.
<http://incubator.rockefeller.edu/the-successes-and-limitations-of-brain-computer-interface-technology/>
23. Exploring the benefits and risks of brain computer interface,
<https://www.allerin.com/blog/exploring-the-benefits-and-risks-of-brain-computer-interface>
24. Praveena P., Bogineni S.S., Bhargavi P.S. A Brief Study of Brain Computer Interface Advantages & Its Disadvantages / *International Conference on Science, Technology and Management*, 2017, pp.565–572.

УДК 004.5

Гашимов Мамед А.

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан

mamedhashimov@gmail.com

Нейрокомпьютерный интерфейс: перспективы, применение и проблемы

На протяжении долгих лет многие исследовательские центры проводят интенсивные исследования, чтобы установить прямую связь между человеческим мозгом и различными устройствами. Эти исследования были направлены на управление компьютерами, инвалидными колясками, протезами и другими устройствами с помощью сигналов человеческого мозга. Отсюда и появился термин «Нейрокомпьютерный интерфейс» (НКИ). НКИ - это система связи между мозгом и компьютером, которые дополняют друг друга. Интерфейс позволяет человеческому телу общаться не с нервной системой, а с его умственной деятельностью. В статье представлена информация об этапах развития, текущем состоянии и перспективах НКИ. Проанализирована архитектура НКИ, изучены методы и приемы получения сигналов от мозга, представлен принцип работы устройств по этим сигналам. Показаны эксперименты, проведенные в связи с приложениями НКИ, и полученные результаты. Анализируются некоторые существующие проблемы в этой области и выявляются недостатки для перехода НКИ из лабораторной среды в реальные приложения. Сделаны определенные предложения по дальнейшему развитию НКИ.

***Ключевые слова:** Нейрокомпьютерный интерфейс, электроэнцефалография, архитектура нейрокомпьютерного интерфейса, приложения нейрокомпьютерного интерфейса, проблемы нейрокомпьютерного интерфейса.*

Mammad A. Hashimov

Institute of Information Technology of ANAS, Baku, Azerbaijan

mamedhashimov@gmail.com

Brain-computer interface: perspectives, applications and challenges

For many years, many research centers have been conducting intensive research to establish a direct connection between the human brain and various devices. These studies aimed at controlling computers, wheelchairs, prosthetic devices and other devices with the human brain via brain signals. This is where the term "brain-computer interface" (BCI) came from. BCI is a system of communication between the brain and computer that complement each other. This interface allows the human body to communicate not with the neural system, but with its mental activity. The article provides information on the stages of development, current status and future prospects of the BCI. The architecture of the BCI is analyzed, methods and techniques for obtaining signals from the brain are studied, and the principle of operation of devices through these signals is presented. The experiments carried out in connection with BCI applications and the results obtained are shown. Some existing problems in this area are analyzed and shortcomings are identified for the transition of BCI from laboratory environment to real life applications. Certain proposals are made for the further development of BCI.

***Keywords:** Brain computer interface, electroencephalography, brain computer interface architecture, brain computer interface applications, brain computer interface problems.*