

DOI: <http://www.doi.org/10.36719/2707-1146/19/20-26>

Kamran Mehman oğlu Mürşüdoğlu
Azərbaycan Dövlət Neft və Səneye Universiteti
İnformasiya Texnologiyaları və İdarəetmə fakültəsi
mursudovkamran10@gmail.com

ARTEFAKTLARIN ARADAN QALDIRILMASI METODLARININ İŞLƏNMƏSİ

Xülasə

Beyin fəaliyyətini və davranışını müəyyən etməkdə elektroensefaloqramma (EEG) mühüm rol oynayır. Bununla belə, qeydə alınan elektrik aktivliyi həmişə artefaktlarla çirklənir və sonra EEG siqnalının təhlilinə təsir göstərir. Siqnal artefaktları qeyd sistemlərindən EEG məlumatlarının toplanması zamanı çox əhəmiyyətlidir. Bu artefaktlar EEG məlumatlarının keyfiyyətini çirkləndirə bilər. Bu baxımdan, artefaktları və ya səs-küyü effektiv şəkildə aradan qaldırmaq üçün artefakt növləri haqqında hərtərəfli bilik tələb olunur. Artefaktlar əsasən ətraf mühitin səs-küyündən, eksperimental xətdən və fizioloji artefaktlardan yaranan arzuolunmaz siqnallardır. Ensefaloqramma qeydləri zamanı təmiz EEG məlumatlarını effektiv şəkildə aşkar etmək və çıxarmaq üçün metodların işlənməsi vacibdir. Bu günə qədər artefaktların aşkarlanması və EEG siqnalının aradan qaldırılmasına yönəlmiş bir neçə üsul təklif edilmişdir, lakin artefaktın çıxarılması ilə bağlı araşdırmalar aktual problem olaraq qalır.

Bu məqalədə EEG məlumatlarının xüsusiyyətləri, müxtəlif artefaktların növləri və onların aradan qaldırılması üçün tətbiq edilən metodlar müzakirə edilmişdir. Daha sonra ən müasir metodların ümumi icmalı və onların ətraflı təhlili təqdim olunmuşdur. Nəhayət, müəyyən bir tətbiqə uyğun olaraq uyğun metodun seçilməsi üçün müqayisəli təhlil aparılıb.

Açar sözlər: artefakt, elektroensefaloqramma, fizioloji artefaktlar, artefaktların aradan qaldırılması, artefaktların növləri

Kamran Mehman Murshudov

Development of methods of elimination of artefacts

Abstract

Electroencephalogram (EEG) plays an important role in determining brain activity and behavior. However, the recorded electrical activity is always contaminated with artifacts and then affects the analysis of EEG signals. Signal artifacts are very important when collecting EEG data from recording systems. These artifacts can contaminate the quality of EEG data. In this regard, a thorough knowledge of the types of artifacts is required to effectively eliminate artifacts or noise. Artifacts are mainly undesirable signals from environmental noise, experimental error, and physiological artifacts. It is important to develop methods to effectively detect and extract pure EEG data during encephalogram recordings. To date, several methods have been proposed to detect artifacts and eliminate EEG signals, but research on artifact extraction remains a pressing issue.

This article discusses the characteristics of EEG data, the types of different artifacts and the methods used to eliminate them. Then a general overview of the most modern methods and their detailed analysis are presented. Finally, a comparative analysis was performed to select the appropriate method for a particular application.

Key words: artifact, electroencephalogram, physiological artifacts, artifact removal, types of artifacts

Giriş

Müasir elm və texnologiyaların sürətli inkişafı nəticəsində qeyri-invaziv üsulların ortaya çıxması nevrologiyada koqnitiv və idrak psixologiyasının tətbiqi elektroensefaloqraf (EEG), funksional yaxın infraqırmızı spektroskopiyaya (fNIRS), maqnitensefaloqrafiya (EMG) və digər əsas vasitələrlə inkişaf etdirildi. EEG beyin fəaliyyətini təhlil etmək üçün istifadə edilən alətlərdən biridir və baş dərisi üzərində bir neçə elektrod vasitəsilə siqnalı qeyd etmək mümkündür. Xüsusi və mürəkkəb bioloji elektrik siqnal kimi o, insanın psixi vəziyyəti ilə əlaqəli olan beynin funksional vəziyyətini əks etdirir, ondan

həyati vacib məlumatları çıxara və xəstənin sağlamlığını daha yaxşı izləyə, eyni zamanda müxtəlif beyin vəziyyətini diaqnoz tik müəyyən edə bilərik. Bununla belə, EEG yüksək müvəqqəti həllə malikdir və onun siqnalları arzuolunmaz səs-küylə asanlıqla çirklənir, bu da müxtəlif artefaktlarla nəticələnir [6]. Artefaktların səbəbi ölçmə alətlərindən və insan subyektlərindən yarana bilər: I - nasaz elektrodlar, xətt səs-küyü və yüksək elektrod empedansıdır ki, bunun da qarşısını daha dəqiq qeyd sistemi və ciddi qeyd prosedurları ilə almaq olar. Halbuki, fizioloji artefaktların aradan qaldırılması daha mürəkkəbdir. Məsələn, EEG siqnallarında baş verən göz hərəkətləri, göz qırpmaları, ürək fəaliyyəti və əzələ fəaliyyəti fizioloji artefaktların bəzi əsas növləridir.

Bu cür fizioloji artefaktlar sinir məlumatlarına müdaxilə edə bilər və hətta beyin-kompüter interfeysi kimi praktiki tətbiqi yanlış yönləndirmək üçün normal hadisələr kimi istifadə edilə bilər [9]. Bundan əlavə, artefaktlar idrak və ya patoloji fəaliyyəti təqlid edə bilər ki, nəticədə də yuxu nizamı, Alzheimer xəstəliyi və s. kimi klinik tədqiqatlarda vizual təfsir və diaqnozu poza bilər. Buna görə də, istər klinik diaqnostikada, istərsə də praktik tətbiqlərdə artefaktların müəyyən edilməsi və çıxarılması tələbi istifadə edilməzdən əvvəl ən vacib ön əməl mərhələsidir. Sadə yollardan biri, artefaktlara səbəb olan lazımsız hərəkətlərin qarşısını almaq üçün ehtiyat tədbirlərini tətbiq etməkdir. Lakin subyektlər bu cür əlavə göstərişlərə əməl edə bilmədikdə, problem yaranacaq və bundan əlavə bu üsul həm klinik, həm də məişət tətbiqləri üçün əlverişsizdir.

Artefaktan qaçmaq əvəzinə seqmentin əl ilə rədd edilməsi artefaktlarla çirklənmiş dövrləri birbaşa buraxır. Nəticə etibarilə, bu üsul faydalı sinir siqnallarını əhəmiyyətli dərəcədə itirəcək. Bu məqsədlə nəşr olunan ədəbiyyatda artefaktın, xüsusən də fizioloji artefaktların aradan qaldırılması üçün müxtəlif səmərəli üsullar təklif edilmişdir. Mövcud alqoritmləri təkmilləşdirmək, müxtəlif üsulları birləşdirmək və ya silinmə prosesini avtomatik etmək yolu ilə inkişaf etdirilən bu cür təklif edilmiş üsullar ilk növbədə iki kateqoriyaya bölünə bilər: ya istinad kanalından istifadə edərək artefakt siqnallarının qiymətləndirilməsi, ya da EEG siqnalının digər sahələrə parçalanması ilə. Alternativ olaraq, bu üsullar Reqressiya [12], Kor Mənbə Ayrılması (BSS) [13], Empirik Mode Dekompozisiya (EMD), Wavelet Transform alqoritmindən, onların hibrid üsullarına qədər müxtəlifdir.

Bu günə qədər ədəbiyyatda bildirilmiş artefaktların aşkarlanması və EEG siqnallarının çıxarılmasına yönəlmiş geniş tədqiqatlara baxmayaraq, bütün növ artefaktlar üçün optimal həll yoxdur.

Artefakt növləri. EEG beynin spontan elektrik fəaliyyətinin qeydidir və beyin fəaliyyətinin Gərginlik dalğalanmalarının ölçülməsini təmin edir [17, 18]. EEG siqnallarının tezliyi beş tezlik diapazonuna bölünə bilən 0,01 Hz ilə təxminən 100 Hz arasında dəyişir və dörd əsas növü Cədvəl 1-də ümumiləşdirilmişdir.

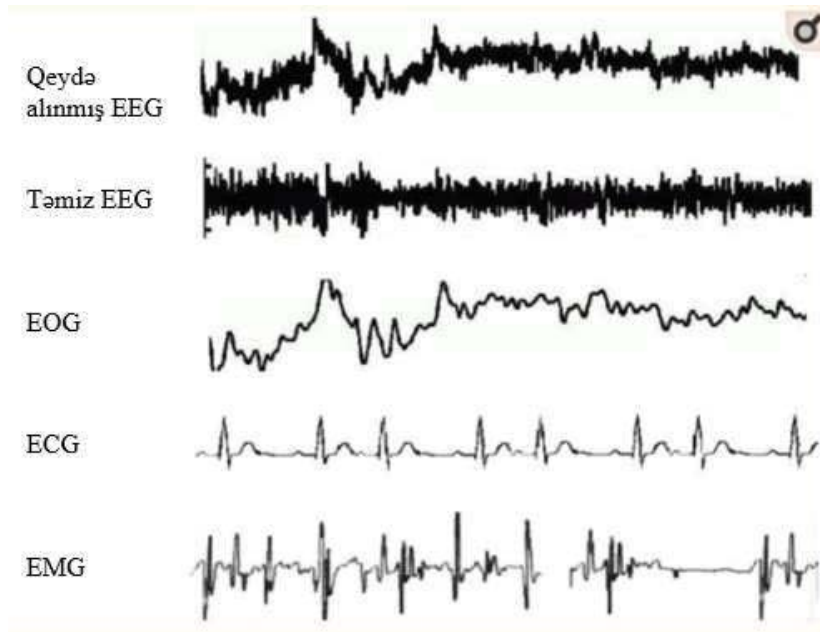
Cədvəl 1.

Tezlikləri ilə birlikdə əsas beyin dalğaları.

Qrup Adı	Tezlik (Hz)	Təfsir
Delta	4	Dərin yuxu
Teta	4-8	Rahat vəziyyət və meditasiya
Alfa	8-13	Rahat şüur vəziyyəti
Beta	13-30	Aktiv düşünmə

Qeyd sistemlərindən EEG məlumatlarının toplanması zamanı siqnal artefaktları daha əhəmiyyətlidir. Bu artefaktlar EEG məlumatlarının keyfiyyətini çirkləndirə bilər. Bu baxımdan, artefaktları və ya səs-küyü effektiv şəkildə aradan qaldırmaq üçün artefakt növləri haqqında hərtərəfli bilik tələb olunur. Artefaktlar əsasən ətraf mühitin səs-küyündən, eksperimental xətdən və fizioloji artefaktlardan yaranan arzuolunmaz siqnallardır. Bundan əlavə, xarici amillərdən qaynaqlanan ətraf mühit artefaktları və təcrübə xətası xarici artefaktlar kimi təsnif edilir, halbuki bədənin özündən gələn fizioloji artefaktlar (məsələn, göz qırpması, əzələ fəaliyyəti, ürək döyüntüsü) daxili artefaktlar kimi təsnif edilə bilər. Şəkil 2 üç əsas fizioloji artefaktı göstərir. Ətraf mühit artefaktları sadə bir filtrlə aradan qaldırıla bilər, çünki bu cür artefaktların tezliyi arzu olunan siqnallarla uyğun gəlmir. Düzgün prosedur və planlaşdırma eksperimental xətanı asanlıqla azalda bilər [19]. Buna baxmayaraq, fizioloji artefaktları çıxarmaq daha çətindir, çünki onlar xüsusi alqoritmlər tələb edir.

Şəkil 1. EEG siqnallarında mövcud olan fizioloji artefaktlar.



Sadə artefaktların aradan qaldırılması metodları

Regressiya metodu. EEG-dən artefaktların çıxarılmasının ənənəvi üsulu regressiyadır. Hər bir kanalın təmiz EEG məlumatlarının və artefaktların bir hissəsinin məcmu cəmi olduğu fərziyyəsi altında tətbiq edilir [13]. Regressiya təhlili əvvəlcə istinad kanalı ilə EEG kanalı arasındakı amplituda əlaqəni ötürmə faktorları ilə müəyyən edir və sonra EEG-dən təxmin edilən artefaktları çıxarır. Beləliklə, bu alqoritm müxtəlif artefaktları buraxmaq üçün ekzogen istinad kanallarını (yəni, EOG, ECG) tələb edir. Göz fəaliyyəti ilə məşğul olduqda, EEG məlumatları aşağıdakı kimi əldə edilə bilər:

$$EEG_{cor} = EEG_{raw} - \gamma F(HEOG) - \delta F(VEOG) \quad (1)$$

burada γ və δ EOG və EEG arasında ötürmə əmsalından asılıdır və EEG_{cor} və EEG_{raw} müvafiq olaraq düzəldilmiş EEG və emal edilməmiş EEG məlumatlarını təmsil edir. HEOG və VEOG üfüqi və şaquli EOG kanallarından olan qeydləri ifadə edir.

Hillyard və Gallambos ilk olaraq göz fəaliyyətini aradan qaldırmaq üçün zaman-domen (ing. time-domain) regressiyasına əsaslanan yanaşmalar təklif etdilər. Whitton et al tezlik domeninin regressiyasını təqdim etdi və bu üsulu müvafiq olaraq EEG aşkarlama proqramı ilə birləşdirdi. Bununla belə, istər zaman-domen, istərsə də tezlik-domenində belə regressiya yanaşmaları iki istiqamətli metodlardan təsirlənir. Bu, EEG məlumatlarını çirkləndirən göz potensialı ilə əlaqədardır, eynilə, EEG məlumatları da göz qeydini çirkləndirə bilər. Bu məqsədlə Wallstrom et al. Bayesian adaptiv regressiya splaynlarını tətbiq edərkən filtrləmə istifadə etmişdir. Bununla, iki istiqamətli çirklənmə məsələləri əhəmiyyətli dərəcədə azaldı.

Sadələşdirilmiş model və regressiya metodlarının hesablama tələblərinin azaldılmasına baxmayaraq, bir və ya bir neçə yaxşı regressiya istinad kanalına ehtiyac onların EOG və ECG-ni aradan qaldırmaq imkanlarını məhdudlaşdırır. Bundan əlavə, hər bir əzələ artefaktını aradan qaldırmaq üçün anastomoz regressiya kanalları həmişə mövcud deyil. Ancaq, tədqiqatçıların kor mənbə ayırmasına əsaslanan metodlara üstünlük vermələrinə baxmayaraq, regressiyaya əsaslanan alqoritmlər hələ də yeni yanaşmanın performansını qiymətləndirmək üçün qızıl standartdır.

Dalğacıq çevrilməsi metodu (ing. Wavelet Transform). Dalğacıq çevrilməsi zaman-domen siqnalını zaman və tezlik sahəsinə çevirərək, daha yaxşı tənzimlənən vaxt-tezlik mübadilə və qeyri-stasionar siqnal analizinin üstünlüyünə görə Furiye transformasiyasına nisbətən yaxşı vaxt-tezlik xüsusiyyətlərinə malikdir. Transformasiya “j” miqyasının alt çoxluqlarını və $\psi(t)$ ana dalğasının “k” vaxt sürüşməsinə seçməklə həyata keçirilir. Riyazi olaraq:

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k),$$

burada j və k tam ədədlərdir. Sonra dalğacık çevrilməsi aşağıdakılarla həyata keçirilə bilər:

$$W_\psi = \langle f, \psi_{j,k} \rangle,$$

hansı ki, zaman-domen siqnalının və dalğacık funksiyasının daxili məhsulu deməkdir. Davamlı dalğalardan əldə edilən DWT (diskret dalğa çevrilməsi) giriş siqnalı və parçalanma aşağıdakı kimi ifadə oluna bildikdə, tətbiq edilə bilər:

$$X_{a,L}[n] = \sum_{k=1}^N X_{a-1,L}[2n - k] g[k],$$

$$X_{a,H}[n] = \sum_{k=1}^N X_{a-1,L}[2n - k] h[k],$$

burada $g[n]$ aşağı tezlikli komponent yaratmaq üçün aşağı keçid filtridir və $h[n]$ yüksək tezlikli komponent əldə etmək üçün yüksək keçid filtridir. Dalğacık çevrilməsindən istifadə edərək EEG məlumatlarının parçalanmasından sonra, artefaktları ehtiva edən siqnalı ləğv etmək üçün eşikləmə (ing. thresholding) tətbiq olunur. Qalan detallar təmiz siqnalın yenidən qurulması üçün əlavə edilir. Artefaktın zəifləməsinin çox yönlü olmasına baxmayaraq, DWT spektral xüsusiyyətlərlə üst-üstə düşən artefaktları tamamilə müəyyən edə bilmir, buna görə də son iş DWT-nin ICA kimi digər üsullarla birləşməsinə üstünlük verir.

BSS metod. BSS metoduna qabaqcadan məlumat və əlavə istinad kanalları olmayan müxtəlif nəzarətsiz öyrənmə alqoritmləri daxildir. BSS-nin ümumi metodologiyasını aşağıdakı kimi təsvir etmək olar. X baş dərəcəsi elektrodlarından alınan siqnalları müşahidə edək. Həmçinin, S orijinal siqnalları və artefaktları ehtiva edən mənbə siqnalı olsun. Bu mənbə siqnalları naməlum A matrisi ilə xətti şəkildə qarışdırılır:

$$X = AS,$$

müşahidə olunan siqnalları əldə etmək üçün. BSS alqoritmı tərs versiyadır:

$$U = WX,$$

burada U mənbələrin təxmini, W isə X -in tərs qarışmasıdır. Sonra artefaktları təmsil edən komponentlər çıxarılır və qalan komponentlər səs-küyün aradan qaldırılması məqsədinə nail olmaq üçün EEG məlumatlarını yenidən qurur.

Filtrləmə metodu. EEG-dən artefaktların aradan qaldırılmasında çoxsaylı filtrləmə üsullarından istifadə edilmişdir. Məsələn, adaptiv filtrləmə, Wiener filtrasiyası və Bayes filtrasiyası. Burada müxtəlif optimallaşdırma prinsipləri ilə müxtəlif üsullar tətbiq edilir. Buna baxmayaraq, proqnozlaşdırılan EEG və əsas EEG arasında orta kvadrat xətanı minimuma endirmək məqsədi ilə W çəki əmsalı uyğunlaşdırılır.

Empirik rejim parçalanması (ERP, ing. Empirical mode decomposition (EMD)). Empirik rejim parçalanması (EMD) ilk dəfə 1998-ci ildə qeyri-stasionar və qeyri-xətti siqnal emalı üçün evristik üsul kimi müzakirə edilmişdir. EMD alqoritmı $x[n]$ siqnalını daxili rejim funksiyaları (DRF, ing. IMFs) adlanan amplituda-tezlik modullaşdırılmış $b[n]$ komponentlər dəstinə parçalayır. Bütün məlumat dəstində və bütün nöqtələrdə hər bir DRF ekstremumlarının sayının sıfır kəsişmələrin sayı ilə eyni olduğuna və ya ən çox bir dəfə fərqləndiyinə əmin olmalıdır və maksimum və minimumlarla müəyyən edilmiş zərfin orta dəyəri sıfır olmalıdır. Buna görə də, EMD texnikası empirik və verilənlərə əsaslanan

bir texnikadır, digər üsullar isə dalğacık analizi kimi əsas funksiyaların seçimindən asılıdır. Verilmiş siqnalların DRF-ni və aşağıda göstərilən addımları hesablamaq üçün süzmə proseduru aparılır:

- (1) $b[n]$ -ni $x[n]$ giriş siqnal ardıcılığına bərabər təyin edin.
- (2) Bütün yerli maksimumları və yerli minimumları hesablayın və onları kub spline interpolasiyası ilə ayrıca birləşdirin. Üst zərf $u[n]$ və aşağı zərf $l[n]$ alınır.
- (3) Orta dəyəri hesablayın: $\mu[n] = (u[n] + l[n])/2$ və onu orijinaldan çıxarın.
- (4) $b[n]$ -nin DRF olub-olmamasına yuxarıda təsvir edilən şərtə əsasən qərar verin.
- (5) DRF əldə olunana qədər prosesi 2-4-cü addımları təkrarlayın və $b[n]$ -ni $b_k[n]$ -ə təyin edin.
- (6) DRF əldə edildikdən sonra $r[n]$ qalığını aşağıdakı kimi yaradın: $r[n] = x[n] - b_k[n]$.
- (7) Son qalıq sabit, monoton funksiya və ya yalnız bir maksimum və bir minimum olan funksiya olana qədər giriş siqnalı ardıcılığı kimi qalıqda 1-5 addımları təkrarlayın.

Sonra orijinal siqnal yenidən qurula bilər:

$$x[n] = \sum_{k=1}^m b_k(n) + r(n),$$

burada $r(n)$ son qalıq siqnalını təmsil edir.

DRF müəyyən edildikdən sonra, EEG məlumatlarının artefakt komponentləri əks oluna və sonra seçilə və çıxarıla bilər. Nəhayət, təmiz EEG siqnalı yeni DRF-lər tərəfindən yenidən qurula bilər. EMD alqoritminin dezavantajlarından biri səsə həssaslığıdır ki, bu da rejim qarışdırma fəsadlarına səbəb olur. Bəzi hallarda, yenidən qurulmuş qalan DRF-lər EEG məlumatlarının keyfiyyətini artırmaq üçün əlavə artefaktların çıxarıla bilər. Digər dəyişdirilmiş EMD, MEMD, eyni zamanda çoxdəyişənli siqnalları çoxdəyişənli DRF-lərə parçalamaq təklif olunur. Kanallar üzrə daxili rejimlərin eyni vaxtda təhlili sayəsində MEMD artefaktları, xüsusən də genişzolaqlı əzələ artefaktları üçün daha səmərəli və dəqiq şəkildə aradan qaldıra bilər.

Yuxarıda qeyd olunan alqoritmlərdən başqa, hələ də bir çox səmərəli və innovativ üsullar mövcuddur. Hər bir metodun üstünlüyündən istifadə etmək üçün bu yaxınlarda bir neçə tədqiqatçı iki və ya daha çox metodun birləşməsindən ibarət hibrid strategiyadan istifadə etməyi üstün tutdu. Bəzi əsas hibrid üsullarına “EMD-BSS”, “Dalğacıq-BSS” və “BSS və Dəstək Vektor Maşın” metodlarını göstərmək olar.

Yuxarıda müzakirə edilən üsullar EEG artefaktının çıxarılmasında ən çox istifadə edilən metodlar arasındadırlar. Bu üsullardan bəziləri məlumatların toplanması zamanı göz hərəkətlərini məhdudlaşdırmaqla və yanıb-sönməklə və ya təhlil edilən məlumatlardan artefaktla çirklənmiş siqnalları istisna etməklə onların mövcudluğunu minimuma endirmək üçün artefakt toxumları ilə məşğul olur. Reqrəsiya da daxil olmaqla digər üsullar zaman və ya tezlik sahəsində, verilənlərdəki göz artefaktlarını düzəltməyə çalışır. Bundan əlavə, başqaları artefaktları EEG siqnallarından kor-koranə ayırırlar. Qeyd olunan texnikalar arasında ətraflı müqayisə Cədvəl 2-də verilmişdir. Hansı alqoritmin tətbiq ediləcəyi seçiminə təsir edən bir sıra amillər var ki, biz bunları sonra müzakirə etdik.

Cədvəl 2.

Yuxarıda qeyd olunan metodların müqayisəli təhlili.

Metodlar	Əlavə istinad	Avtomatik	Onlayn	Bir kanalda fəaliyyət göstərə bilər
Reqrəsiya	bəli	bəli	xeyr	xeyr
Dalğacıq	xeyr	bəli	xeyr	bəli
ICA	xeyr	xeyr	bəli	xeyr
CCA	xeyr	xeyr	bəli	xeyr
Adaptiv filtirləmə	bəli	bəli	bəli	bəli
Dalğacıq BSS	xeyr	xeyr	xeyr	bəli
EMD BSS	xeyr	xeyr	xeyr	bəli

EEG-ə əsaslanan praktik tətbiqlərin əksəriyyəti tez-tez real vaxt siqnalının işlənməsini tələb edir və artefaktlara davamlı ola bilər. Bu, həyata keçirilən artefaktların çıxarılması üsullarının avtomatik və aşağı hesablamaya dəyərini malik olmasını tələb edirdi. Avtomatik proses o deməkdir ki, seçilmiş metod əl müdaxiləsi olmadan artefakt komponentlərini müəyyən edib aradan qaldıra bilər. Reqrressiya və filtrləmə metodu istinad siqnalı olduqda, avtomatik olaraq icra edilə bilər.

BSS metodları arasında ICA ən çox istifadə edilən texnika olsa da, mənbələr daxilində müvəqqəti və ya məkan münasibətlərinə məhəl qoymamaq müvafiq məlumatın itirilməsi ilə nəticələnəcək. Lakin CCA alqoritmi bu problemi həll edə bilər və bir az hesablamaya vaxtına malikdir ki, bu da alqoritmi real vaxt performansını üçün səmərəli edir. Nəzərə alınmalı olan başqa bir amil qeyd kanallarının sayıdır. Daha çox kanalın daha yaxşı dəqiqlik gətirəcəyi BSS prinsipinə görə BSS alqoritmləri belə vəziyyətlərdə istifadə edilə bilməz. Lakin dalğacık çevrilməsi və EMD əsaslı metodlar tək bir kanalla icra oluna bilər, çünki o, tək qeydi çoxlu komponentlərə parçalaya bilər. Bununla belə, ölçmə kanallarının azalması hesablamaya mürəkkəbliyinin artmasına səbəb olacaq ki, bu da BCI və neurofeedback (NF) tətbiqləri üçün uyğun olmayacaq. Bundan əlavə, qeydlərdə mövcud olan bir çox növ artefakt olduğundan, avtomatik üsullar artefaktın çıxarılması üçün ümumiyyətlə ümumi deyildir. Beləliklə, istinad siqnallarının mövcudluğu qənaətbəxş tamamlayıcı məlumat təmin etməklə artefaktın çıxarılmasının dəqiqliyini və möhkəmliyini artıracaq. Həmçinin, istinad kanalı ilə əldə edilən artefaktların dövrləri haqqında məlumatlar hesablamaya xərclərini azaldacaq. Lakin EEG əzələ artefaktlarına töhfə verən hər bir əzələnin istinad kanalı mümkün deyil.

Nəticə. EEG siqnalları beyin qabığından yaranır və həmişə bəzi pozğunluqlarla çirklənir. İstənməyən artefaktların aradan qaldırılması üçün bir sıra üsulların işlənilməsinə baxmayaraq, yüksək dəqiqliyi və alqoritmik səmərəliliyi birləşdirən artefaktın aradan qaldırılması metodu hələ də müəyyən edilməlidir. Bu yazı dərc olunmuş ədəbiyyatda və məqalələrdə əldə edilən nəticələrə əsaslanan əsas texnikaları ümumiləşdirir. Hər bir metodun üstünlükləri olduğu kimi çatışmazlıqları da vardır. Silinmə alqoritmlərinin əksəriyyəti yaxşı performans təklif etsə də, yuxarıda sadalanan üsullar müəyyən bir EEG-əsaslı tətbiqdə istifadə edildikdə, fərqli məhdudiyətlərə məruz qalır. Həqiqətən, bəzi üsullar yalnız EOG, ECG, EMG kimi xüsusi artefaktların aşkarlanması və çıxarılmasına yönəldilmişdir. Artefaktın çıxarılmasının dəqiqliyini artırmaq üçün bəzi üsullar istinad kanallarına ehtiyac duyur, bu da bəzi xüsusi tətbiqlər üçün mümkün deyil. BSS və ya Wavelet kimi bəzi üsullar artefaktları böyük dəqiqliklə silir, lakin yüksək hesablamaya mürəkkəbliyi ilə işləyən üsullar onlayn tətbiqlər üçün uyğun olmaya bilər. Buna görə də, bütün növ artefaktları aradan qaldırmaq üçün optimal seçim yoxdur. Beləliklə, artefaktların effektiv zəiflədilməsinin gələcək məqsədlərindən biri daha yaxşı vaxt və dəqiqlik səmərəliliyi ilə tətbiq üçün xüsusi alqoritm hazırlamaqdır. Artefaktların aradan qaldırılmasının mövcud tendensiyasından belə qənaətə gəlmək olar ki, gələcək istiqamətlər artefaktın effektiv avtomatik çıxarılması üçün maşın öyrənməsi və ənənəvi yanaşmaları birləşdirəcək. Bundan əlavə, bir çox ssenarilərdə çoxsaylı artefakt növləri üçün yeni artefakt silmə alqoritmləri hələ də müəyyən edilməlidir.

Ədəbiyyat

1. Frederik V., Luca F., Esin K., Jitkomut S., Pedro A.V., Daniele M. Critical comments on EEG sensor space dynamical connectivity analysis. *Brain Topogr.* 2016;1–12. doi: 10.1007/s10548-016-0538-7.
2. principles, clinical applications, and related fields, fifth edition. *Neurology.* 2006;67:2092. doi: 10.1212/01.wnl.0000243257.85592.9a.
3. Hirsch L.J., Brenner R.P. *Atlas of EEG in Critical Care.* Volume 30. John Wiley and Sons; Hoboken, NJ, USA: 2010. pp. 187–216.
4. Nunez P.L., Srinivasan R. *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG.* 2nd ed. Oxford University Press; New York, NY, USA: 2005. pp. 154–169.
5. Wang H., Lei X., Zhan Z., Yao L., Wu X. A new fMRI informed mixed-norm constrained algorithm for EEG source localization. *IEEE Access.* 2018;6:8258–8269. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2792442.

6. Radüntz T., Scouten J., Hochmuth O., Meffert B. Automated EEG artifact elimination by applying machine learning algorithms to ICA-based features. *J. Neural Eng.* 2017; 14:8–15. doi: 10.1088/1741-2552/aa69d1.
7. Ge S., Yang Q., Wang R., Lin P., Gao J., Leng Y., Yang Y., Wang H. A brain-computer interface based on a few-channel EEG-fNIRS bimodal system. *IEEE Access.* 2017;5:208–218. doi: 10.1109/ACCESS.2016.2637409.
8. Fatourehchi F., Bashashati A., Ward R.K., Birch G.E. EMG and EOG artifacts in brain computer interface systems: A survey. *Clin. Neurophysiol.* 2007;118:480–494. doi: 10.1016/j.clinph.2006.10.019.
9. Naeem Mannan M., Ahmad K.M., Shinil K., Myung Y.J. Effect of EOG Signal Filtering on the Removal of Ocular Artifacts and EEG-Based Brain-Computer Interface: A Comprehensive Study. *Complexity.* 2018;2018:18–36. doi: 10.1155/2018/4853741.
10. Tamburro G., Fiedler P., Stone D., Haueisen J., Comani S. A new ICA-based fingerprint method for the automatic removal of physiological artifacts from EEG recordings. *PeerJ.* 2018;6 doi: 10.7717/peerj.4380.
11. Labate D., La Foresta F., Mammone N., Morabito F.C. Effects of Artifacts Rejection on EEG Complexity in Alzheimer's Disease. In: Bassis S., Esposito A., Morabito F., editors. *Advances in Neural Networks: Computational and Theoretical Issues.* Volume 37. Springer; Cham, Switzerland: 2015. pp. 129–136.
12. Hussein A.H., Emmanuel J., Sun L., Emmanuel I. Complexity Measures for Quantifying Changes in Electroencephalogram in Alzheimer s Disease. *Complexity.* 2018;2018:1–12. doi: 10.1155/2018/8915079.
13. Sweeney K.T., Ward T.E., McLoone S.F. Artifact removal in physiological signals practices and possibilities. *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 2012;16:488–500. doi: 10.1109/TITB.2012.2188536.
14. Somers B., Bertrand A. Removal of eye blink artifacts in wireless EEG sensor networks using reduced-bandwidth canonical correlation analysis. *J. Neural Eng.* 2016;13:066008. doi: 10.1088/1741-2560/13/6/066008.
15. Teixeira A., Tome A., Lang E., Gruber P., Martins da Silva A. Automatic removal of high-amplitude artefacts from single-channel electroencephalograms. *Comput. Methods Programs Biomed.* 2006;83:125–138. doi: 10.1016/j.cmpb.2006.06.003.
16. James C.J., Hesse C.W. Independent component analysis for biomedical signals. *Physiol. Meas.* 2005;26:15–39. doi: 10.1088/0967-3334/26/1/R02.
17. Niedermeyer E., Lopes da Silva F.H. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields.* 5th ed. Raven Press; New York, NY, USA: 2005. pp. 654–660.
18. Minguillon J., Lopez-Gordo M.A., Pelayo F. Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal. *Biomed. Signal Process. Control.* 2017; 31:407–418. doi: 10.1016/j.bspc.2016.09.005.
19. Johal P.K., Jain N. Artifact removal from EEG: A comparison of techniques; Proceedings of the 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques; Chennai, Indian. 3–5 March 2016.

Rəyçi: t.ü.f. d., dos. C.A.Ağamalhyeva

Göndərilib: 22.02.2022

Qəbul edilib: 28.03.2022