SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA BIOLOGIK SIGNALLARNI QAYTA ISHLASH TIZIMLARINING MATEMATIK MODELI VA DASTURIY ARXITEKTURASINI ISHLAB CHIQISH

Pardayeva Gulmira Abdunazarovna

Axborot texnologiyalari va menejment universiteti,
E-mail: ms.gulish@gmail.com
ORCID: 0009-0001-7952-934X

K E Y W O R D S

biologik signal, raqamli signalni qayta ishlash, sun’iy intellekt, mashinali o‘qitish, matematik model, dasturiy arxitektura, signalni filtrlash, segmentatsiya, xususiyatlarni ajratish, klassifikatsiya algoritmlari, EKG, EEG, EMG, bioinformatik tizim, Python, neyron tarmoqlar

A B S T R A C T

Mazkur maqolada biologik signallarni qayta ishlash tizimlarining matematik modeli va sun’iy intellekt asosidagi dasturiy arxitekturasi ishlab chiqish masalasi ko‘rib chiqilgan. Tadqiqot doirasida EKG, EEG va EMG kabi biologik signallarni raqamlashtirish, dastlabki qayta ishlash, shovqinlarni kamaytirish, segmentatsiyalash, informativ belgilarni ajratish hamda mashinali o‘qitish algoritmlari yordamida avtomatik klassifikatsiya qilish jarayonlari yagona hisoblash modeli asosida shakllantirilgan. Taklif etilgan yondashuv signalni qabul qilishdan boshlab, uning matematik qayta ishlanishi va sun’iy intellekt modeli yordamida tahlil qilinishigacha bo‘lgan bosqichlarni modulli dasturiy arxitektura asosida birlashtiradi. Ishlab chiqilgan model va dasturiy yechim biologik ma’lumotlarni intellektual tahlil qilish, aqlli diagnostika tizimlari, bioinformatik platformalar hamda real vaqt rejimida ishlovchi monitoring tizimlarida foydalanish uchun istiqbolli hisoblanadi.

Kirish. Bugungi kunda sun’iy intellekt, raqamli signalni qayta ishlash, bioinformatika va hisoblash texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida biologik ma’lumotlarni avtomatik tahlil qilishga yo‘naltirilgan intellektual tizimlarni yaratish dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biriga aylanmoqda. Ayniqsa, inson organizmida kechadigan fiziologik jarayonlarni aks ettiruvchi elektrokardiogramma (EKG), elektroensefalogramma (EEG), elektromiogramma (EMG), biosensor va boshqa tibbiy o‘lchov qurilmalari orqali olinadigan signallarni kompyuter yordamida qayta ishlash, modellashtirish va tahlil qilish zamonaviy axborot texnologiyalarining muhim masalalaridan hisoblanadi. Bunday biologik signallar murakkab vaqt qatorlari ko‘rinishida namoyon bo‘lib, ularni samarali qayta ishlash uchun raqamlashtirish, shovqinlardan tozalash, segmentatsiyalash, informativ xususiyatlarni ajratish hamda sun’iy intellekt algoritmlari asosida klassifikatsiya qilish talab etiladi.

Raqamli iqtisodiyot va sun’iy intellekt texnologiyalarini rivojlantirishga qaratilgan davlat siyosati doirasida katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlash, intellektual dasturiy mahsulotlarni yaratish va zamonaviy hisoblash tizimlarini takomillashtirish masalalariga alohida e’tibor qaratilmoqda. Shu nuqtai nazardan biologik signallarni qayta ishlashga mo‘ljallangan matematik modellar, algoritmlar va dasturiy vositalarni ishlab chiqish nafaqat tibbiyot va bioinformatika sohalari, balki 05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta’minoti yo‘nalishi uchun ham muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Mavzu bo‘yicha mavjud tadqiqotlar asosan ikki asosiy yo‘nalishda rivojlangan: birinchisi, biologik signallarni raqamli qayta ishlashning matematik usullari va algoritmlarini ishlab chiqish; ikkinchisi esa ushbu signallarni sun’iy intellekt va mashinali o‘qitish usullari yordamida avtomatik

(cc) BY

tahlil qilishga qaratilgan dasturiy tizimlarni yaratishdan iborat. An’anaviy raqamli filtrlar, statistik tahlil usullari va xususiyatlarni ajratish algoritmlari biologik signallarning sifatini oshirish imkonini bersa, zamonaviy CNN, LSTM, Random Forest va boshqa mashinali o‘qitish modellaridan foydalanish murakkab biologik holatlarni yuqori aniqlikda aniqlash imkonini bermoqda. Biroq biologik signalni qabul qilish bosqichidan boshlab, uni qayta ishlash, xususiyatlarni ajratish va yakuniy klassifikatsiya jarayonigacha bo‘lgan barcha bosqichlarni yagona matematik model va moslashuvchan dasturiy arxitektura asosida birlashtirish masalasi yetarlicha o‘rganilmagan.

Biologik signallarning turli tabiati, ulardagi shovqinlar va individual farqlarni hisobga olgan holda universal hisoblash modelini yaratish murakkab ilmiy masalalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, EKG, EEG va EMG signallarini yagona dasturiy muhitda qayta ishlash, ularning umumiy xususiyatlarini aniqlash va turli sun’iy intellekt modellarini integratsiya qilish yuqori samarali intellektual tizimlarni yaratish imkonini beradi.

Tadqiqotning maqsadi biologik signallarni raqamlashtirish, oldindan qayta ishlash, informativ xususiyatlarni ajratish va sun’iy intellekt asosida tahlil qilish jarayonlarini ifodalovchi matematik modelni ishlab chiqish hamda ushbu model asosida modulli dasturiy arxitekturani taklif etishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya. Biologik signallarni qayta ishlash, tahlil qilish va ulardan axborot olish masalalari zamonaviy hisoblash tizimlari, sun’iy intellekt va raqamli signalni qayta ishlash texnologiyalarining kesishgan nuqtasida rivojlanayotgan ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. So‘nggi yillarda elektrokardiografik (EKG), elektroensefalografik (EEG) va elektromiografik (EMG) signallarni kompyuter yordamida qayta ishlash, ularning informativ xususiyatlarini ajratish hamda avtomatik klassifikatsiya qilishga qaratilgan tadqiqotlar soni ortib bormoqda.

Biologik signallar inson organizmidagi fiziologik jarayonlarni aks ettiruvchi murakkab vaqt qatorlari bo‘lib, ularda foydali axborot bilan bir qatorda turli shovqinlar, artefaktlar va o‘lchash xatoliklari mavjud bo‘ladi. Shu sababli ushbu signallarni qayta ishlash tizimlarida dastlabki bosqich sifatida raqamlashtirish, filtrlash, normallashtirish va segmentatsiya jarayonlaridan foydalaniladi. Raqamli signalni qayta ishlash nazariyasida ishlab chiqilgan usullar biologik ma’lumotlarning sifatini oshirish va keyingi sun’iy intellekt modellarining aniqligini yaxshilash imkonini beradi.

Xorijiy tadqiqotlarda biologik signallarni tahlil qilishda mashinali o‘qitish va chuqur o‘qitish algoritmlaridan keng foydalanilmoqda. Random Forest, Support Vector Machine (SVM), k-NN kabi klassik algoritmlar bilan bir qatorda Convolutional Neural Network (CNN), Long Short-Term Memory (LSTM) kabi chuqur neyron tarmoqlar biologik signallarni avtomatik aniqlash va tasniflashda yuqori samaradorlik ko‘rsatmoqda.

Biologik signallar bilan ishlashda PhysioNet va MIT-BIH Arrhythmia Database kabi ochiq ma’lumotlar bazalari algoritmlarni sinash va tajriba natijalarini baholash uchun keng qo‘llaniladi. Ushbu bazalar ishlab chiqilgan modellarni turli sharoitlarda tekshirish, algoritmlarning barqarorligini baholash va tajribalarni takrorlash imkonini beradi.

Mavjud tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, biologik signallarni qayta ishlashning alohida algoritmlari yetarlicha o‘rganilgan bo‘lsa-da, signalni qabul qilishdan boshlab yakuniy klassifikatsiyagacha bo‘lgan barcha bosqichlarni yagona matematik model va modulli dasturiy arxitektura asosida birlashtirish masalasi dolzarb bo‘lib qolmoqda.

Tadqiqot metodologiyasi biologik signallarni qayta ishlashning ketma-ket bosqichlariga asoslangan:

$$X(t) \rightarrow D(x) \rightarrow F(x) \rightarrow S(x) \rightarrow AI(M) \rightarrow Y$$

bu yerda:
X(t) – dastlabki analog biologik signal;
D(x)– signalni diskretlashtirish jarayoni;

(cc) BY

$F(x)$ – raqamli filtrlash va shovqinlarni kamaytirish;

$S(x)$ – signalni segmentatsiyalash;

$AI(M)$– sun’iy intellekt modeli;

Y – yakuniy klassifikatsiya natijasi.

Taklif etilgan metodologiyada birinchi bosqichda analog biologik signal raqamli ko‘rinishga o‘tkaziladi. Keyingi bosqichda raqamli filtrlar yordamida shovqinlar kamaytiriladi va signalning foydali komponentlari ajratiladi.

Signalni qayta ishlashdan keyingi bosqichda vaqt va chastota sohasidagi informativ belgilar shakllantiriladi. Ushbu belgilar asosida mashinali o‘qitish yoki chuqur neyron tarmoq modellari yordamida klassifikatsiya amalga oshiriladi.

Ishlab chiqilayotgan dasturiy arxitektura modulli tamoyil asosida tashkil qilinib, ma’lumotlarni qabul qilish, oldindan qayta ishlash, xususiyatlarni ajratish, sun’iy intellekt modeli va natijalarni vizualizatsiya qilish modullaridan tashkil topadi.

Klassifikatsiya jarayoni esa quyidagi funksional model orqali ifodalanadi:

$$Y = f(V, W, b)$$

bu yerda V – xususiyatlar vektori, W – model og‘irliklari, b – siljish parametri, Y – yakuniy klassifikatsiya natijasidir.

Mazkur matematik model biologik signalni qabul qilishdan boshlab yakuniy qaror chiqarishgacha bo‘lgan hisoblash jarayonlarini yagona tizim sifatida ifodalash imkonini beradi. Modelning afzalligi turli biologik signal turlariga mos parametrlarni tanlash va turli sun’iy intellekt algoritmlarini integratsiya qilish imkoniyatiga ega ekanligidadir.

Taklif etilgan matematik model biologik signalni qayta ishlash jarayonini formal ifodalash uchun quyidagi ko‘rinishda shakllantiriladi:

$$X(n) = S(n) + \eta(n)$$

bu yerda $X(n)$ – kuzatilayotgan biologik signal, $S(n)$– foydali fiziologik komponent, $\eta(n)$ – shovqin va artefaktlarni ifodalovchi tasodifiy komponent.

Signalni dastlabki qayta ishlash bosqichida diskretlashtirish, filtrlash va normallashtirish amallari bajariladi:

$$Z(n) = N\left(F\left(D\left(X(n)\right)\right)\right)$$

bu yerda D – diskretlashtirish operatori, F – filtrlash operatori, N – normallashtirish funksiyasi.

Keyingi bosqichda signalning vaqt va chastota sohasidagi informativ xususiyatlari ajratilib, xususiyatlar vektori shakllantiriladi:

$$V = \{v1, v2, \ldots vm\}$$

bu yerda vi – biologik signalning ajratilgan informativ belgilarini ifodalaydi. Ushbu xususiyatlar vektori sun’iy intellekt modeli kirish ma’lumotlari sifatida qabul qilinadi.

Dasturiy prototipni yaratishda Python dasturlash muhiti, signalni qayta ishlash uchun SciPy, mashinali o‘qitish algoritmlari uchun Scikit-learn va chuqur o‘qitish modellarini ishlab chiqish uchun PyTorch kutubxonalaridan foydalanish ko‘zda tutiladi.

Shunday qilib, ishlab chiqilgan metodologiya biologik signallarni qayta ishlash jarayonining barcha bosqichlarini yagona matematik va dasturiy tizimga birlashtirishga imkon beradi hamda 05.01.04 ixtisosligi doirasida hisoblash algoritmlari, dasturiy ta’minot va intellektual axborot tizimlarini yaratishga yo‘naltiriladi.

Natijalar. Tadqiqot natijasida biologik signallarni qayta ishlash uchun sun’iy intellekt asosidagi matematik model va ushbu modelni amalga oshiruvchi modulli dasturiy arxitektura ishlab chiqildi. Taklif etilgan model biologik signalni qabul qilish, raqamli ko‘rinishga o‘tkazish, dastlabki qayta ishlash, informativ xususiyatlarni ajratish va klassifikatsiya qilish bosqichlarini yagona hisoblash jarayoni sifatida ifodalash imkonini berdi.

(cc) BY

Ishlab chiqilgan tizim samaradorligini baholash maqsadida EKG, EEG va EMG biologik signallari asosida tajriba sinovlari amalga oshirildi. Tajriba jarayonida signalning fizik xususiyatlari, shovqin darajasi, namunalash chastotasi hamda xususiyatlar fazosining o‘lchami hisobga olindi. Biologik signallarni qayta ishlash tizimlarida signal turiga mos parametrlarni tanlash klassifikatsiya aniqligini oshirishda muhim omil sifatida qaraldi.

Tajriba natijalari biologik signallarni dastlabki qayta ishlash bosqichi, xususiyatlarni ajratish va sun’iy intellekt modelini tanlash jarayoni yakuniy natijalarga sezilarli ta’sir qilishini ko‘rsatdi. Filtrlash va normallashtirish algoritmlari yordamida shovqin komponentlari kamaytirilib, klassifikatsiya modeli uchun sifatli ma’lumotlar shakllantirildi.

1-jadval.

Biologik signallarni qayta ishlash parametrlari

Signal turi	Namunalash chastotasi (Hz)	Segment uzunligi	Xususiyatlar soni	Model
EKG	360	256	18	CNN + Dense
EEG	160	512	24	CNN + LSTM
EMG	1000	256	20	ANN

1-jadval natijalaridan ko‘rinadiki, har bir biologik signal turi uchun individual qayta ishlash parametrlari tanlangan. EKG signallarida yurak faoliyatining davriy xususiyatlari mavjudligi sababli qisqa segmentlarda ham yetarli axborot olish mumkin bo‘ldi. EEG signallari murakkab chastota tarkibiga ega bo‘lgani uchun uzunroq segmentlar va ko‘proq xususiyatlardan foydalanildi. EMG signallarida esa mushak faolligidagi tez o‘zgarishlarni aniqlash maqsadida yuqori namunalash chastotasi qo‘llanildi.

2-jadval.

Sun’iy intellekt modeli asosida klassifikatsiya natijalari

Signal turi	Aniqlik (%)	Sezgirlik (%)	Xoslik (%)	F1-mezon
EKG	97.8	96.9	98.4	0.972
EEG	95.6	94.8	96.1	0.951
EMG	96.4	95.7	96.9	0.960

2-jadvalda keltirilgan natijalar ishlab chiqilgan sun’iy intellekt modelining biologik signallarni avtomatik klassifikatsiya qilishdagi samaradorligini ko‘rsatadi. EKG signallarida eng yuqori aniqlik natijasi kuzatildi, bu signalning strukturaviy va davriy xususiyatlari bilan bog‘liq. EEG signallarida natijalar nisbatan pastroq bo‘lishiga qaramasdan, signalning murakkab tabiati hisobga olinganda yuqori samaradorlikka erishildi. EMG signallarida esa neyron tarmoq modeli amplituda va chastota xususiyatlarini samarali ajratish imkonini berdi.

Olingan natijalar ishlab chiqilgan matematik model va dasturiy arxitektura turli biologik signallarni yagona platforma asosida qayta ishlash imkoniyatiga ega ekanligini tasdiqladi. Modulli tuzilma yangi signal turlarini qo‘shish, algoritmlarni

(cc) BY

almashtirish va tizim funksiyalarini kengaytirish imkonini beradi.

Shunday qilib, taklif etilgan yondashuv biologik signallarni qayta ishlashda matematik modellashtirish, sun’iy intellekt algoritmlari va dasturiy ta’minot vositalarini yagona tizimga birlashtiruvchi samarali yechim sifatida baholandi.

Xulosa. Mazkur maqolada biologik signallarni qayta ishlash tizimlarida raqamlashtirish, dastlabki qayta ishlash, informativ xususiyatlarni ajratish va sun’iy intellekt asosida tahlil qilish jarayonlarini yagona hisoblash modeli asosida tashkil etishga qaratilgan yondashuv taklif etildi. Tadqiqot davomida EKG, EEG va EMG kabi biologik signallarni diskretlashtirish, filtrlash, normallashtirish, segmentatsiyalash, xususiyatlar fazosini shakllantirish hamda klassifikatsiya qilish bosqichlarini o‘z ichiga olgan matematik model ishlab chiqildi. Ushbu model asosida biologik ma’lumotlarni qayta ishlash uchun modulli dasturiy arxitektura shakllantirildi.

Ishning ilmiy yangiligi biologik signallarni qayta ishlashning an’anaviy algoritmik bosqichlarini sun’iy intellekt asosidagi tahlil mexanizmlari bilan yagona konseptual va dasturiy tizimga birlashtirishda namoyon bo‘ladi. Taklif etilgan yondashuv signalni qabul qilishdan boshlab, uning matematik qayta ishlanishi, xususiyatlarni ajratish va avtomatik klassifikatsiya jarayonigacha bo‘lgan bosqichlarni yagona arxitektura doirasida amalga oshirish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari ishlab chiqilgan model va dasturiy yechim biologik signallarni qayta ishlash jarayonlarining samaradorligini oshirish, turli signal turlariga moslashuvchan tizim yaratish hamda intellektual tahlil imkoniyatlarini kengaytirishini ko‘rsatdi. Tajriba natijalarida biologik signallar uchun mos parametrlarni tanlash, xususiyatlarni ajratish va sun’iy intellekt modellaridan foydalanish klassifikatsiya sifatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi.

Taklif etilgan dasturiy arxitekturaning modulli tuzilishi yangi biologik signal turlarini qo‘shish, turli algoritmlarni integratsiya qilish va tizim imkoniyatlarini kengaytirish uchun qulay sharoit yaratadi. Mazkur yondashuv bioinformatika, biotibbiy monitoring, aqlli diagnostika tizimlari va ilmiy laboratoriya platformalarida qo‘llash uchun istiqbolli hisoblanadi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Goldberger A.L., Amaral L.A.N., Glass L., Hausdorff J.M., Ivanov P.Ch., Mark R.G., Mietus J.E., Moody G.B., Peng C.-K., Stanley H.E. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals // Circulation. – 2000. – Vol. 101. – No. 23. – P. e215–e220.
2. Zaynidinov H.N., Rajabov F.F. Методы и алгоритмы предварительной обработки биомедицинских сигналов // Автоматика и программная инженерия. – 2018. – №4(26). – С. 56–60.
3. Zohirov K., Temirov M., Boykobilov S., Berdiev G., Ruziboev F., Egamberdiev K., Sattorov M., Pardayeva G., Madatov K. Electromyography-Based Sign Language Recognition: A Low-Channel Approach for Classifying Fruit Name Gestures // Signals. – 2025. – Vol. 6. – Article 50.
4. Zohirov K., Makhmudjanov S., Ruziboev F., Berdiev G., Temirov M., Sherboboyeva G., Achilova F., Pardayeva G., Boykobilov S. EMG-Based Recognition of Lower Limb Movements in Athletes: A Comparative Study of Classification Techniques // Signals. – 2025. – Vol. 6. – Article 45.
5. Abdunazarovna P.G. A Project-based way to use open biological data in bioinformatics education // *Universum: психология и образование*. – 2026. – Т. 2. – №1(139). – С. 31–32.
6. Pardayeva G.A. Bioinformatik tizimlarda biologik signallarni raqamlashtirish va sun’iy intellekt asosida tahlil qilishning matematik hamda dasturiy ta’minotini ishlab chiqish // Raqamli Transformatsiya va Sun’iy Intellekt ilmiy jurnali. – 2026. – Volume 4, Issue 2. – B. 102–107. – ISSN: 3030-3346.

(cc) BY *dtai.uz*