

IMO-ISHORA TILINI TANIB OLISH: USULLAR VA MODELLAR TAHLILI

Qudratjon Rafiqovich Zohirov¹, Mamadiyor Egamberdiyevich Sattorov¹, Sardor Xoliqul o'g'li Boyqobilov¹, Mirjaxon Mirzoxid o'g'li Temirov², Feruz Yusufboy o'g'li Ro'ziboyev², Quvonchbek Geldiyor o'g'li Madatov³

¹*Qarshi davlat texnika universiteti,*

²*Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU,*

³*Qarshi iqtisodiyot va pedagogika universiteti*

E-mail: qzohirov@gmail.com,

ORCID ID: 0000-0003-0170-1098

ORCID ID: 0009-0007-6191-0605

ORCID ID: 0009-0008-1096-2103

ORCID ID: 0009-0006-0014-4321

ORCID ID: 0009-0000-6354-1638

KEYWORDS

imo-ishora tilini aniqlash, elektromiografiya, qo'l imo-ishoralari aniqlash, tanib olish aniqligi, xususiyatlarni ajratib olish va tasniflash

ABSTRACT

Ushbu maqolada imo-ishora tilini elektromiografik signallari asosida tanib olish sohasidagi asosiy usullar va modellar tahlil qilinib, imo-ishora tilining turli modellari va ularning o'zaro farqlari batafsil ko'rib chiqilgan. Shuningdek, EMG signallarini qayd etuvchi qurilmalar tasnifi keltirilib, ularning texnik xususiyatlari taqqoslangan. Maqola doirasida imo-ishora tilini tanib olishga oid ilmiy adabiyotlarning yillar kesimidagi rivojlanishi tahlili amalga oshirilgan. EMG orqali imo-ishora tilini tanib olish metodlarining qo'llanilishi tahlili ushbu sohaning zamonaviy tendensiyalarini ko'rsatadi. Mazkur tahlillar imo-ishora tilini tanib olishda samarali modellarni aniqlash va ularni real amaliyotga tatbiq etishda muhim ilmiy asos yaratadi.

KIRISH

Imo-ishora tili (SL - Sign language) - qo'l, tana harakatlari va yuzning imo-ishoralari tashkil topgan mustaqil til bo'lib, ularning har biri qo'llar va yuz ifodalari, og'iz va lablarning shakli yoki harakati, shuningdek, tana harakati bilan birgalikda amalga oshiriladi. Ushbu til asosan kar va eshitish qobiliyati past odamlarda muloqot qilish uchun ishlatiladi. Jahon karlar federatsiyasi (WDF - World Deaf Federation) ma'lumotlariga ko'ra, eshitish qobiliyatini yo'qotgan insonlar hozirda 70 milliondan ortiq va bu qiymat ortib bormoqda [1]. O'zbekistonda esa bu ko'rsatgich 2019-yil holatiga ko'ra, 21212 nafarni tashkil etadi [2]. 2050 yilga kelib har 10 kishidan biri bu muammoga duch kelishi mumkin [3]. Imo-ishora tili tarjimonlari imo-ishora tilini nutqqa va matnga tarjima qilish orqali eshitish qobiliyati past odamlar va sog'lom odamlar o'rtasida muloqot qilish muammosini bartaraf etishda muhim rol

o'ynashi mumkin. Biroq, bu yechim imo-ishora tili tarjimonlarining yetishmasligi va dunyo bo'ylab kar va nutqi zaif odamlar sonining tobora ortib borayotgani sababli to'liq yechim bo'la olmaydi.

ASOSIY QISM

Hozirda tadqiqotchilar inson va kompyuterning o'zaro ta'siri (HCI - Human-computer interaction) ni yaxshilash uchun tabiiy va samarali qo'l imo-ishoralari aniqlash (HGR - Hand gesture recognition) tizimlarini ishlab chiqishmoqda. SLning tarjimon tizimlari eshita oluvchilar va karlar o'rtasidagi aloqa qilish uchun amaliy yechim topishga ko'mak beradi. Bu esa muloqotda faqat qo'l imo-ishoralari tayanadiganlarga foyda keltiradi. HGR - imo-ishoralarni tanib, ularni matn yoki nutqqa aylantiruvchi texnologiyadir. Bu texnologiya qo'l harakatlarini qanday usulda qayd etilishiga qarab ikki turga bo'linadi: ko'rish asosidagi tizimlar va maxsus qurilmalar orqali ishlovchi tizimlar.

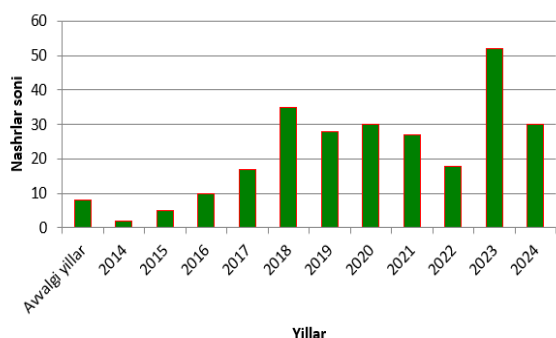
So'nggi yillarda RGB tasvir, skelet tasviri, Elektromiografiya (EMG), Elektroensefalografiya (EEG) kabi yo'nalishlar orqali imo-ishorani tanib olish natijalari sifati oshdi.

Bizning kundalik muloqotimizda imo-ishoralar ham muhim rol o'ynaydi, u orqali inson xabarlarining taxminan 65% ni uzatadi [4],[5]. SLRga bosh harakati, yuz ifodalari, bosh silkitish, bosh chayqash, og'iz harakatlari, ko'z qisish, ko'zni qarash yo'nalishi, tana harakatlari, qo'l imo-ishoralari kabi tana imo-ishoralari kiradi. Zamonaviy imo-ishora tilini tanib olish tizimlari (SLR – Sign language recognition) sichqoncha va klaviatura kabi an'anaviy vositalarga muqobillarni taklif qilib, inson va kompyuterning mustahkam o'zaro ta'sirini ta'minlaydi [5]. SLR ayniqsa, SLsiz aloqa qilish, ta'lim va rehabilitatsiya uchun muhim bo'lgan qo'l harakatlarini nutq yoki matnga tarjima qilish orqali eshitish qobiliyati zaif va sog'lom odamlar o'rtasidagi tafovutni bartaraf etishda sezilarli ta'sirga ega. Turli xil ilovalar uchun statik va dinamik SLR tizimlari bo'yicha keng qamrovli tadqiqotlarga qaramay, bir qator

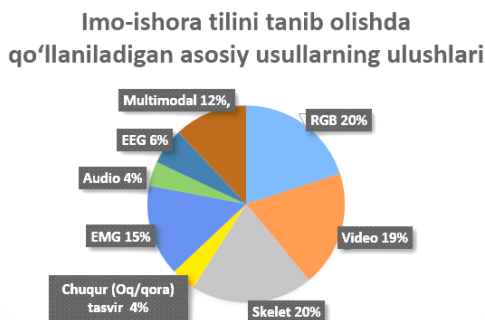
muammolar mavjud. Bu qiyinchiliklarga atrof-muhit shovqini, imo-ishora tilida muloqot qiluvchilarning o'zgarishi til farqlari va turli xil ma'lumotlarga moslashish kabi omillar kiradi.

2014-yildan avvalgi tadqiqotlarda qurilmaga asoslangan va ko'rishga asoslangan tizimlar keng qo'llanilgan [6]. Garchi ko'rishga asoslangan tizimlar real hayotdagi turli sohalarda qo'llash uchun qulay bo'lsa-da, qurilmaga asoslangan tizimlar imo-ishoralarni aniq va ishonchli tarzda tanib olish imkonini beradi. Bu turdagi tizimlar qo'l harakati, holati va barmoq egilishlarini sezuvchi maxsus qurilmalar — masalan, sensorli qo'lqoplar, akselerometrlar yoki elektromiografik (EMG) sensorlar yordamida ishlaydi va ushbu usul yuqori aniqlik va real vaqtda ishlov berishni ta'minlaydi.

Jungpil Shin ilmiy tadqiqotlarida [7] 250 dan ortiq o'rgangan adabiyotlar kelib chiqqan holda imo-ishora tilini turli xil modellar yordamida tanib olish yillar kesimida ancha ortganini ko'rishimiz mumkin (1-rasm).



1-rasm. Imo-ishora tilini tanib olish bo'yicha adabiyotlarning yillar kesimidagi tasviri




2-rasm. Imo-ishorani tanib olish usullari tasnifi




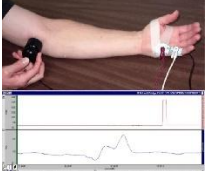

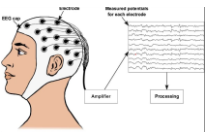
2-rasmda imo-ishora tilini tanib olishda qo'llaniladigan turli xil usullarning o'zaro ko'rsatgichlari keltirilgan va bu ularning har biri

o'ziga xos xususiyatlarga ega, ularning har biri 1-jadvalda umumlashtirilgan o'ziga xos afzallik va kamchiliklarga ega.

1-jadval.

SLRning turli modellarining o'zaro farqi

Modallik	Misol	Afzalliklari	Kamchiliklari
RGB rasm		Statik ma'lumotlarni beradi. Rang taqsimoti, asosiy rang va umumiy tuzilmani beradi.	Faqat statik ma'lumotlarni ko'rish mumkin.

RGB Video		Harakat haqida ma'lumot beradi.	Fikrlarga bog'liq.
		Ko'rinish haqida batafsil ma'lumotlar beradi.	Kontekstga sezgir.
		Foydalanish oson va ko'p sonli ma'lumot olish mumkin.	Yorug'lik ta'siriga sezgir.
3D Skelet		Subyektning 3D tuzilmasi haqida ma'lumot beradi.	Tashqi ko'rinish haqida ma'lumot yetarli emas.
		Oddiy, lekin tushunarli.	To'liq shakl haqida ma'lumot yo'q.
Chuqur (Oq-qora) tasviri		3D tuzilmasi haqida ma'lumot beradi.	Rang va tuzilma haqida ma'lumot yetarli emas.
		Geometrik shakllar haqida ma'lumot beradi.	Amaliy masofasi cheklangan.
EMG signali		EMG mushak qisqarish ma'lumotlarini beradi. Yorug'lik, rang yoki fon zarur emas.	Mushak kuchini boshqarish qiyin. Ba'zida kerakli ma'lumotni olish qimmatga tushadi.
Audio		Harakatlarni vaqt ketma-ketligida aniqlash oson.	Vizual ma'lumotning yo'qligi.
EEG signali		EEG mushak qisqarish ma'lumotlarini beradi. Yorug'lik, rang yoki fon zarur emas.	Mushak kuchini boshqarish qiyin.

EMGga asoslangan SLR

HGRdagi so'nggi yutuqlar RGB, skelet yoki chuqur (oq-qora) tasvir ma'lumotlar to'plami bilan bog'liq cheklovlarni bartaraf etish uchun elektromiyografiya (EMG) signallaridan foydalandi. EMG ma'lumotlaridan foydalangan holda imo-ishoralarni aniqlash tibbiyot, jismoniy fanlar, muhandislik va protez oyoq-qo'llarni boshqarish kabi turli sohalarda katta qiziqish uyg'otdi [8]. Mushaklarning qisqarishi natijasida hosil bo'lgan elektr faolligini aks ettiruvchi EMG signallari SLR uchun istiqbolli muqobil variantni taklif qiladi [9], [10]. Shunga qaramay, EMGga asoslangan HGRni amalga oshirish qulayligi ushbu yordamchi texnologiyalarning samaradorligini ta'minlashda hal qiluvchi omil bo'lib qolmoqda [11], [12], [13].

Ma'lumotlar omborini shakllantirish

EMG nerv-mushaklarni baholash usuli bo'lib, ixtiyoriy yoki ixtiyoriy bo'lmagan harakatlar paytida mushak to'qimasi ichidagi harakat birliklari tomonidan ishlab chiqarilgan biopotensiallarni aniqlash, kuzatish va baholashni o'z ichiga oladi. Qabul qiluvchi sensorning qabul qilish usuli asosida ikkita yondashuvli bo'lishi mumkin: mushak ichiga va teri yuzasiga o'rnatiladigan EMG [14,15]. Bu mushaklarning muayyan faollashuvini samarali o'rganish imkonini beradi va shuning uchun ortopediya, jarrohlik muolajalar, asab tizimini o'rganish, yurish va postural baholash kabi tibbiy tadqiqotlarda ham foydalanish mumkin [16,17]. Sportchilar mashg'ulot faoliyatini baholashda va mushaklarning shikastlanishini oldini olish uchun EMG dan foydalanadilar [18]. EMG signali operatsiyadan oldingi va keyingi holatni monitoring va rehabilitatsiyada mushaklarning charchoq o'lchovlarini tahlili uchun ishlatilishi mumkin [19]. So'nggi yillarda EMG jismoniy

reabilitatsiya [20] hamda neyrorabilitatsiya tadqiqotlarida keng qo'llanila boshlandi [21].

EMG bir nechta mushak guruhlaridan to'liq mushak signallarini yozib olish imkonini beradi. Ushbu yondashuv noinvaziv elektrodlardan foydalanishga imkon beradi, og'riqni va monitoring xavfini yo'q qiladi. EMG nevrologik yoki elektrokimyoviy stimulyer mushak tolalarini ishga tushirganda hosil bo'lgan biopotensiallarni aniqlaydi va nazorat qiladi. Shu bilan birga, EMG uskunalarning jadal texnik o'sishi kuzatildi, bu esa ushbu texnologiyadan tibbiyotning turli sohalarida, asosan reabilitatsiyada foydalanish uchun tobora ko'proq yangi imkoniyatlar yaratdi. Masalan, EMG ma'lumotlaridan bilak va barmoqlar kinematikasini bashorat qilish uchun foydalaniladi. Reabilitatsiya va fizioterapiya tadqiqot sohasida va klinik sharoitda EMG dan foydalanishning ortib borishi, uning qo'llanilishini, xususan, EMG diagnostika va davolash vositasi sifatida ishlatila boshlandi.

EMG signali qisqarish paytida mushaklarda ishlab chiqarilgan elektr toklarini o'lchash orqali nerv-mushak faolligini ifodalaydi [22]. EMG signallari chastota diapazoni 20 dan 2000 Hz gacha va amplitudasi taxminan 50 mV dan 200 mV gacha. Inson skelet mushaklari yoki faollik darajalarining biomexanikasini EMG signallarining xususiyatlar tahlili yordamida kuzatish va o'rganish mumkin, bu esa mushaklar faolligi, masalan, fitnes, charchoq va chidamlilik darajasi, shuningdek imo-ishora kabi ma'lumotlarni taqdim etishi mumkin. Turli darajadagi jismoniy faoliyat davomida mushaklarning ishlashi nogironlik va funksional o'zgarishlar haqida muhim ma'lumot berishi mumkin. EMG reabilitatsiya tibbiyotida, inson-mashina interfeysini loyihalashda, biotibbiyot tadqiqotlarida protezlar kabi turli xil ilovalarda qo'llaniladi [23]. EMG fiziologik tekshiruvlar, nevrologik kasalliklar monitoringi, terapiyani rejalashtirish, aralashuvni baholash va protezlar va robototexnika nazorati uchun ishlatiladi. EMGda ikki turdagi: invaziv va invaziv bo'lmagan elektrodlar qo'llanadi. Invaziv bo'lmagan elektrodlar mushakning umumiy faolligini kuzatish uchun ishlatiladi, invaziv elektrodlar esa neyronning elektr faolligini aniqlash uchun ishlatiladi. EMG signallari skelet mushaklari harakati va asab tizimini boshqarish ma'lumotlarini ifodalovchi oyoq-qo'l mushaklari

faolligi holatini ko'rsatadi va insultni reabilitatsiya qilish dasturlarida juda foydalidir. EMG signallari oyoq-qo'llarning turli harakatlarini aniqlash va ajratish uchun ishlatilishi mumkin, bu esa oyoq-qo'llarning harakatlarini va ularning xususiyatlarini aniqlash, tadqiq qilishda yordam beradi. Xususan, EMG mushaklar faolligini invaziv bo'lmagan va turli mushaklarning faollashuv namunalari haqida ma'lumotni tahlil qiladi. EMG yondashuvi bir nechta alohida harakat bloklarini o'z ichiga olishi mumkin bo'lgan kengroq yuzaga tegishli ma'lumotlarni oladi. Keng tarqalgan qo'llanilishi va amalga oshirish qulayligiga qaramay, invaziv bo'lmagan usul kamchiliklarga ega. Masalan, o'ta chuqur mushaklardan signal olish mumkin emas. Bundan tashqari, elektrodning keng qabul qilish hududidan kelib chiqadigan xato manbalari, masalan, artefakt va shovqinlar noto'g'ri signallarni yozib olishga olib kelishi mumkin. Innervatsiya zonasi yoki tendon hududiga yaqin elektrodlar signal amplitudasining sezilarli o'zgarishini keltirib chiqarishi mumkinligi sababli, ularni sirtning to'g'ri joylariga joylashtirish juda muhimdir. Signal olish paytida teri va elektrod ostidagi mushakning harakati ham sirt EMG signaliga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin [24].

SLR bosqichlari

SLR uchun EMG signallaridan foydalanish SLR uchun mushaklarning faolligini aniqlashni o'z ichiga oladi. Ushbu jarayon odatda signalni olish, xususiyatlarni ajratib olish va imo-ishoralarni dekodlash uchun tasniflash algoritmlarini o'z ichiga oladi. EMG namunalari tahlil qilish protezlar va inson-kompyuter interfeyslari kabi ilovalarda ishlatiladi. Mashinali o'qitish (ML – Machine Learning) va chuqur o'qitish (DL – Deep Learning)dan foydalanish, murakkab namunalarni tanib olishda va EMGga asoslangan HGRni ishlab chiqishda ham keng foydalaniladi.

1. Signallarni qabul qilish (Data Acquisition)

FreeEMG real vaqt rejimida tayanch-harakat a'zolari faoliyatini tahlil qiluvchi portativ elektromiografiya tizimidir [25]. Uni qayd qilish uchun FreeEMG, BITalino, Biosignalsplux, MyoArmband kabi qurilmalardan foydalaniladi

(2-jadval). FreeEMG simsiz, yengil va kichik o'lchamli sensorlar tufayli ma'lumotlar ishonchliligi ta'minlaydigan, 4G texnologiyasiga ega EMG monitoring qurilmasi hisoblanadi. Ortopedik va nevrologik muammolar, farmakologik muolajalar, harakat buzilishlarining rivojlanishi, qayta tayyorlash va kuzatish, sport ko'rsatkichlariga moslashish kabi jarayonlarda keng qo'llaniladi. Ushbu tizimdan yugurish yo'lakchasida yurish paytida sog'lom odamlarning oyoq-qo'llari pastki segmentining dinamik nosimmetrikligini o'rganish uchun ishlatiladi.

BITalino - real vaqtda biosignallarni olish va simsiz uzatish uchun ishlatish uchun qulay qurilmadir. BITalino (r)evolyutsion to'plami ko'p funksiyali plata bo'lib, u oldindan ulangan va qurilmadan tashqarida foydalanish mumkin bo'lgan barcha qismlarni, shuningdek, Bluetooth ulanishini o'z ichiga oladi [26]. U invaziv bo'lmagan EMG elektrodleri uchun maxsus yaratilgan. Bipolyar dizayn to'plangan ma'lumotlardagi shovqinni cheklash uchun juda mos keladi, filtrlanmagan signalni uzatishi esa uni HCI va biologik ilovalar uchun mos qiladi.

Biosignalsplux - bu yuqori aniqlikdagi biosignal ma'lumotlarini yig'ish va tahlil qilish uchun simsiz asboblardan to'plami [27]. U turli xil

simli va taqiladigan sensorlar bilan birga keladi. Mushaklar haqida ma'lumot to'plash uchun Biosignalsplux EMG sensori minimal shovqinli va yuqori samarali bipolyar sensordir. Ushbu sensorning bipolyar arxitekturasi mushaklar faolligini aniqlash uchun past shovqinli ma'lumotlarni olish uchun javob beradi. Ishlov berilmagan ma'lumotlar tibbiy darajada bo'lib, uni murakkab tibbiy biomexanika va atletika tadqiqotlari uchun ishlatishga imkon beradi. Ushbu tizimning asosiy xususiyatlari bipolyar differensial aniqlashdan foydalanish, oldindan qayta ishlangan analog chiqishning mavjudligi, yuqori signal shovqin nisbati (SNR – Signal-to-noise ratio) va tibbiy darajadagi filtrlanmagan chiqish ma'lumotlari bo'lib, ulardan foydalanish juda kichik va sodda.

ArmBAND mushaklarni doimiy monitoring qilish uchun portativ bir kanalli EMG qurilmasidir. Bu mushak faolligi va harakat ma'lumotlarini yig'ish uchun uch o'lchovli akselerometr va magnetometr ega bo'lgan bitta kanalli EMG sensori va ikkita Bluetooth moduli. O'rnatilgan batareya qurilmani yetarli darajada ishlashini, ma'lumotlarning uzoq muddatli uzatilishini ta'minlaydi va 1000 Hz gacha bo'lgan namuna olish tezligida 16 bitli ruxsatda ma'lumotlarni yig'ishga imkon beradi.

2-jadval.

EMG signali qayd etuvchi qurilmalar tasnifi

Xususiyat	BITalino	BioSignalsPlux	FreeEMG	Thalnic Armband
Maqsad	Biologik signalni o'lchash (EMG, EKG, EEG)	Biologik signalni o'lchash (EMG, EKG, EEG)	EMG signallarini o'lchash	Muskul faoliyatini kuzatish (EMG)
Sensor turlari	EMG, EKG, EEG va boshqa biologik signallar	EMG, EKG, EEG va boshqa biologik signallar	EMG	EMG
Qurilma turi	Modul tizimi (turli sensorlar birgalikda qo'llanishi mumkin)	Modul tizimi (turli sensorlar bilan birgalikda qo'llanishi mumkin)	EMG uchun maxsus qurilma	To'liq raqamli armband
Portativlik	Portativ, lekin kichik qurilmalar birlashtirilgan	Portativ, kichik o'lchamda	Portativ, lekin o'lchamlari katta bo'lishi mumkin	Juda yengil, taqilishi oson
Ma'lumotni uzatish	Bluetooth yoki USB orqali	Bluetooth orqali	Bluetooth orqali	Bluetooth orqali

Ishlash muhiti	Laboratoriya va klinik sharoitlar	Laboratoriya va klinik sharoitlar	Sport va tibbiyotda o'rganish	Fiziologik monitoring, sport va fitnes
Foydalanish sohasi	Tibbiyot, ilmiy tadqiqotlar, ilmiy tadqiqotlar	Tibbiyot, ilmiy tadqiqotlar, ilmiy tadqiqotlar	Sport, fizioterapiya, ilmiy tadqiqotlar	Fiziologik monitoring, sport, o'yinlar
Afzalligi	Keng ko'lamda biologik signal-larni o'lchash	Keng ko'lamda biologik signallarni o'lchash	Maxsus EMG tahlili uchun optimallashtirilgan	Yengil va qulay foydalanish
Kamchiliklar	Kengroq ishlatilishi uchun o'rganish va sozlash kerak	Narxi nisbatan yuqori, o'rganish va sozlash kerak	Faqat EMG signallarini o'lchaydi	Faqat EMG signallarini o'lchaydi
Narxi	O'rta daraja narx	Yuqori daraja narx	O'rta daraja narx	O'rta daraja narx

EMG signalining ochiq ma'lumotlar to'plami hozirda internet saytlarda uchraydi (3-jadval). Shunga ko'ra, 9 ta ma'lumotlar to'plamidan (Ninapro DB1 dan Ninapro DB9 gacha) iborat Ninapro DB seriyasi o'rnatilgan sensorlar bilan Cybergloves texnologiyasidan foydalangan holda yozib olingan [28]. Ushbu ma'lumotlar to'plamlari odatda tadqiqotchilar tomonidan qo'l va barmoq SLR uchun ML modellarini o'rgatish va baholash uchun ishlatiladi (4-jadval). Ninapro DB1 DB9 ushbu sohada taqqoslovchi ma'lumotlar to'plami hisoblanadi. Kim va uning jamoasi [29] tomonidan olib borilgan tadqiqotda 50 ta subyektdan 400 ta EMG ma'lumotlar namunalari to'plami to'plangan, har bir namuna 8 ta kanaldan iborat va 1 soniyani tashkil qiladi. EMG ma'lumotlari min-max

normalizatsiya qilindi va DL modelini o'qitish uchun 50x8 ikki o'lchovli formatga aylantirildi. Li [30] o'zining tadqiqotida o'nta qo'l imo-ishorasini, shu jumladan yettita individual barmoq imo-ishorasini bajaruvchi o'nta sog'lom subyekt ishtirok etdi, natijada ularning tadqiqoti uchun ma'lumotlar to'plami paydo bo'ldi. Zhang esa Myo Armbanddan foydalangan holda 13 subyekt tomonidan 21 ta qisqa muddatli qo'l imo-ishoralarning 30 ta takrorlanishidan iborat bo'lgan modelni tayyorlash uchun maxsus ma'lumotlar to'plamini yaratdilar. Kolli Alfaro va Trexos [31] foydalanuvchining mustaqil SLR uchun EMG va inersial o'lchov birligi (IMU) ma'lumotlaridan foydalangan, ammo ma'lumotlar to'plamining o'lchami haqida aniq tafsilotlar berilmagan.

3-jadval.

EMG asosidagi HGR usuli uchun ma'lumotlar to'plamlari.

Nomi	Yil	Datas et turi	Sensorlar	Ishoral ar soni	Qatnashc hilar soni	Namun alar soni	Kanallar soni	So'nggi natijalar aniqligi
DB1	2014	HGR	EMG, Kinmatics	52	27	-	10 Otto Bock	96.87
DB2	2014	HGR	EMG, Kinmatics	50	40	-	12 Delsys Trigno	92.28
DB3	2014	HGR	EMG, Kinmatics	50	11	-	12 Delsys Trigno	91.11
DB4	2017	HGR	EMG, Kinmatics	52	10	-	12 Cometa	93

DB5	2017	HGR	EMG, Inersial	41	10	-	16ta elektrod 2ta Thalmic Myo Armband	87
DB6	2017	HGR	EMG, Kinmatiks	8	10	-	14 Delsys Trigno	80.62
DB7	2017	HGR	EMG, Inersial	41	22	-	12 Delsys Trigno	96.76
DB8	2019	HGR	EMG, kinematik	9	12	-	16 Delsys Trigno	90
DB9	2020	HGR	EMG, kinematik	40	77	-	-	89.47
DB10	2020	HGR	EMG, Inersial	45	45	-	12 Delsys Trigno	80
Mayo Armband	2016	HGR	EMG	13	21	-	8	88.92
UC2018	2018	HGR	EMG	20	8	-	20	85.34
Arm Band	2019	HGR	EMG	36	6	-	8	90
EMG-EPN-612	2022	HGR	EMG	5	612	183600	-	94.6
EMG-5	2023	HGR	EMG	5	10	7500	-	89.72
EMG High Density	2021	HGR	EMG	5	41	-	256	81.74
DualMyo	2022	HGR	EMG	8	1	880	-	99
EMG36	2023	HGR	EMG	8	36	4237907	-	97
ISRMyo-i	2023	HGR	EMG	4	6	-	-	85.75
CapgMyo DB-b DB-d	2017	HGR	EMG	4	10	-	-	82.43 84.75
SEU	2022	HGR	EMG	4	20	-	-	83.57 84.75

4-jadval.

EMGga asoslangan SLRning ma'lumotlar to'plami

Muallif	Yil	Ma'lumotlar ombori nomi va turi	EMG kanallar soni	Klass	Namunal ar	Xususiyatlar ni ajratib olish	Tasniflagich	Ko'rsatgich
Kote-Allerd	2019	Amerika SL	8	7	52	CNN	CNN	97.81
Vei	2019	Amerika SL	16	41	-	CNN	DL	90.00

Jang	2023	Amerika SL	8	20	-	RNN	RNN	89.60
Yang	2023	Amerika SL	16	52	10000	MResLSTM	MResLSTM	93.52
Li	2022	Amerika SL	3	7	-	RMS, VAR, MAV, SSC, ZC, WL	ANN	94.00
Kolli Alfaro	2022	Amerika SL	5	7	-	MAV, MAVS, WL, AR, ZC	LS-SVM MLP	92.90
Kruz	2023	EMG-IMU-EPN-100+	12	6	300	DQN	Softmax	97.45 88.05
Kim	2023	Myo Armband	8	10	37.000	CRNN	Softmax	96.57 (o'qitish) 95.10 (testlash)
Kerdrij	2023	EMG dataset	8	36	40.000	Vaqt sohasi	k-NN	98
Chen	2023	EMG-EPN-612	6	-	-	Neyron xususiyatlariga ajratish	O'qituvchiligi o'qitish	94.60
Jang	2023	HGR1, OUHANDS	25, 10	12, 23	899, 3000	BaseNet, MSS, LAS	LHGR-Net	HGR1:93.36 OUHANDS:9857
Hu	2023	DB4 DB5	53	12 16	30.000	SE-CNN	Softmax	89.54 77.61
Zabihi	2023	DB2	12	17	30.000	HDCConv MHSAtten	HDCam	XXsmall: 81.73 Xsmall: 82.61 small: 82.91
Zabihi	2023	DB2	12	9	30	Tnet, Fnet	TraHGR	93.84
Kim	2023	Amerika SL	8	10	50	CNN	CRNN	96.04
Baroni	2024	Qo'l ishoralari	5-612	-	183.600	CNN-LSTM	CRNN	90.45
Vang	2024	EMG dataset	5	10	7500	BP Neyron tarmog'i	Softmax	89.72
Li	2024	NinaProD B5 Myo	10	-	7500	CNN	Softmax	91.64
Abdelaziz	2024	DaulMYO EMG36	8 8	8 8	880 4237907	CNN+LSTM	Softmax	99.00 97.00

2. Signallarga dastlabki ishlov berish (Signal preprocessing)

Ma'lumotlarni dastlabki ishlov berish normallashtirish va keyingi tahlil qilish uchun

olingan ma'lumotlarning sifati va qulayligini oshirish uchun segmentatsiya va filtrlash kabi usullarni o'z ichiga oladi. Signalni normalizatsiya qilish jarayoni signallarni yagona o'lchov tizimiga keltirib, muskullar faolligi darajasini yanada

aniqroq baholashga yordam beradi. EMG signalini normalizatsiya qilishning maqsadi signalning o'lchamiga, amplitudasiga va boshqa xususiyatlariga turli omillar ta'sir qilmasligiga ishonch hosil qilishdir.

EMG signallarini filtrlashga ta'sir qilishi mumkin bo'lgan beshta asosiy shovqin quyidagilar:

Elektr shovqini – bu elektr tarmog'idan, elektromagnit maydonlar va elektron komponentlar kabi tashqi manbalardan keladi. Ushbu shovqinni notch filtr yoki yuqori sifatli uskunalar yordamida olib tashlash mumkin.

Harakat artefaktlari esa elektrodlarning teriga nisbatan istalmagan harakatlari natijasida yuzaga keladi. O'zaro so'zlashuv kontaminatsiyasi - bu bitta mushak signali bilan qo'shni mushak signali o'rtasidagi interferensiya hodisasi hisoblanadi.

Kesish (Clipping) EMG signalining haddan tashqari amplitudasi tufayli elektrodning to'yinganligini tavsiflaydi.

Fiziologik shovqin tananing boshqa qismlari signallaridan kelib chiqadigan shovqinlardir.

Ko'pgina filtrlar EMG signali bilan ishlatiladi va ularning har biri ma'lum bir maxsus maqsadiga ega. Eng ko'p ishlatiladigan filtrlar Butterworth, Chebyshev, teskari Chebyshev, Bessel, Elliptik va Equi-Ripple filtrlari bo'lib, ular to'rtta: past o'tish filtri, yuqori o'tish filtri, band stop filter (tarmoqli to'xtash filtri) va band pass filter (tarmoqli o'tish filtri) bilan birga qo'llanadi.

Mushak kuchini aniq baholash uchun harakat artefaktlarini olib tashlash uchun odatda EMG signallari 10-30 Hz kesish chastotasi bilan yuqori o'tkazuvchan filtrlangan bo'lishi kerak. Yuqori o'tish filtri EMG signalidan elektrokardiografik (EKG) ifloslanishni olib tashlash, amplitudani pasaytirish va signalni optimal kesish chastotasi 30 Hz bilan tekislash uchun ham ishlatiladi.

Past o'tish filtrlari chastota komponentlarini kesish yoki to'xtatish diapazoni chastotasi ustidagi signalga to'sqinlik qilish uchun ishlatiladi va kesish yoki Band pass chastotasi ostidagi

signalning minimal buzilish miqdori bilan o'tishiga imkon beradi.

Past o'tish filtrlash signal konvertini chiqarish uchun signalni to'g'irlashdan keyin ham qo'llaniladi. Band pass filtr va notch filtr - bu yuqori o'tish va past o'tish filtrlarning kombinatsiyasi.

Band pass filtri signaldan past va yuqori chastotalarni olib tashlaydi. Harakat artefaktlari va DC ofset bilan bog'liq bo'lgan bazaviy siljish odatda 5 dan 20 Gts gacha bo'lgan tarmoqli o'tish filtrlarning past chastotali kesilishi bilan olib tashlanishi mumkin. Odatda 200 - 1000 Gts chastotali band pass filtrlarning yuqori chastotali uzilishi yuqori chastotali shovqinlarni olib tashlaydi va boshqa nomlashni oldini oladi.

Notch filtri tirqish chastotasi ostidagi va undan yuqori chastotali komponentlarning tor diapazonini olib tashlash uchun ishlatiladi. U elektr uzatish liniyalari chastotasini (50 yoki 60 Gts) olib tashlash yoki tizimlardan rezonansni olib tashlash uchun ishlatilishi mumkin.

Shunday qilib, filtrlash signal xususiyatini ajratib olish va tasniflashdan oldingi muhim bosqichdir.

Filtrlash, harakatni aniqlash, chastotani nazorat qilish va shovqinni kamaytirish ushbu ma'lumotlar usulida eng muhim qayta ishlashdir. Oldingi tadqiqotlarda [32] tasvirlangan dastlabki ishlov berish metodologiyasiga rioya qilgan holda, mushaklarning elektr faolligi ma'lumotlarini susaytirish uchun 1-darajali past diapazonli Butterworth filtri ishlatilgan.

EMG signallari yordamida qo'l imo-ishoralarini tanib olish, vaqt o'tishi bilan shaxslar o'rtasida va bir odam ichida o'zgaruvchanlik tufayli sezilarli qiyinchiliklarga duch keladi. Bundan tashqari, harakat yoki atrof-muhit shovqinidan kelib chiqqan EMG ma'lumotlaridagi shovqin imo-ishoralarni sifatli aniqlashga to'sqinlik qiladi va shovqinni kamaytirishning samarali usullarini talab qiladi. Kelajakdagi tadqiqotlar doimiy ravishda o'rganadigan va individual EMG signallarining o'zgarishiga moslashtiriladigan, uzatishni o'rganish kabi usullardan foydalangan holda moslashtirilgan, moslashtirilgan modellarga e'tibor qarashi

mumkin. Bu yordamchi texnologiyalar, virtual reallik va inson-robot hamkorligi uchun aniqroq va foydalanuvchilarga qulay tizimlarga olib kelishi mumkin.

3. Xususiyatlarni ajratib olish (Feature extraction)

SLRda EMG signallarining tasnifi keng qamrovli tadqiqotlar mavzusidir. 5-jadvalda EMGga asoslangan imo-ishora tilini tanib olish uchun keng qo'llaniladigan xususiyatlar to'plami keltirilgan.

5-jadval.

EMGga asoslangan imo-ishora tilini tanib olish xususiyatlari

Xususiyat	Maqolalar soni	Xususiyat soxasi	Jami maqolalar soni
Dispersiya (VAR)	17	Vaqt sohasi	138
O'rtacha absolyut qiymat (MAV)	46		
O'zgartirilgan absolyut qiymat (MMAV)	4		
O'rtacha kvadrat ildiz (RMS)	27		
Standart og'ish (SDV)	20		
O'rtacha amplituda o'zgarishi (AAC)	8		
Maksimum (MAX)	6		
Minimum	4		
Median	4		
O'rtacha quvvat	2		
O'zgartirilgan o'rtacha chastota (MMF)	3	Chastota sohasi	30
O'rtacha chastota (MFR)	7		
O'zgartirilgan o'rtacha chastota	2		
Mediana chastotasi	5		
Aks ettirish koeffitsienti	1		
Quvvatning spektral zichligi	2		
Diskret Furye o'zgarishi	2		
Spektral o'rtacha qiymat	1		
Spektral standart og'ish	1		
Spektral qiyalik	1		
Maksimal energiya chastotasi	2		
Kanaldagi quvvat	2		
Standart og'ish (SDV)	2		
Vaqt va chastota bo'yicha momentlar	2	Vaqt-chastota sohasi	6
Suriluvchi (harakatlanuvchi) dispersiya	2		
Qisqa vaqtli Furye o'zgarishi	2		

Ushbu xususiyatlardan foydalangan holda, tadqiqotchilar mo'ljallangan belgilarni yuqori aniqlik bilan izohlay oladigan mustahkam tasniflash modellarini ishlab chiqishga muvaffaq bo'lishdi. Shuni ta'kidlash kerakki, xususiyatlarni tanlash va kombinatsiyasi SLRning o'ziga xos talablariga va ko'rib chiqilayotgan EMG signallarining xususiyatlariga qarab farq qilishi mumkin.

Ko'pgina tadqiqotchilar statistik va matematik xususiyatlarni ajratib olish usullaridan foydalanganlar. Ular orasida, Li va uning jamoasi 6 ta vaqt sohasi xususiyatlaridan foydalanadi, jumladan, RMS, VAR, MAV, qiyalik qiymatining o'zgarishi (SSC), nol kesishma (ZC) va to'lqin shakli uzunligi (WL). [31] da keltirilgan tadqiqotda har bir EMG kanalidan MAV, o'rtacha absolyut qiymat qiyaligi (MAVS), to'lqin shakli uzunligi (WL), 4-tartibdagi avtoregressiv

koeffitsientlar (AR) va nol kesishmalar (ZC) olinadi. Keyin bu matematik xususiyatlar chiziqli diskriminant tahlili (LDA) [33] va SVM kabi an'anaviy ML texnikasiga kiradi, EMG signallari yordamida HGR uchun ishlatilgan. Li va boshqalar imo-ishoralar uchun moslashtirilgan tasniflagichlarni yaratish uchun ANN, SVM, tasodifiy o'rmon (RF – Random Forest) va logistik regressiya (LR – Logistic Regression) kabi to'rtta ML usuli bilan tajriba o'tkazdilar.

4. Tasniflash (Classification)

olingan xususiyatlarni oldindan belgilangan sinflarga tasniflash uchun ML algoritmlarini qo'llaydi, bu tizimga imo-ishoralarni aniq tanib olish va talqin qilish imkonini beradi. Zamonaviy kompyuter sohalarning bir tarmog'i sifatida sun'iy intellektdan foydalanish tabiiy tilni talqin qilish, namunalarni tanib olish va qarorlar qabul qilishda muhim ahamiyatga ega. Miyoelektrik boshqaruvga asoslangan interfeyslarni ishlab chiqish uchun eng qiyin qism EMG signallarini qo'llash sohasi talablariga mos keluvchi tasniflashdir. Bu yoshga, mushaklarning faolligiga, harakat birligining yo'lga va imo-ishora uslubiga qarab turli xil belgilarga ega bo'lgan EMG signallarining katta farqlari bilan bog'liq.

Hozirda biosignallarni qayta ishlash uchun sun'iy neyron tarmog'idan (ANN – Artificial Neural Networks) keng foydalanilmoqda. ANN biologik neyronlarning past darajadagi funksiyalarini taqlid qiluvchi hujayradan hosil bo'ladi, ayniqsa murakkab namunalarni aniqlash va tasniflash vazifalari uchun foydalidir. Misollardan o'rganish qobiliyati, kirishning ixtiyoriy chiziqli bo'lmagan funksiyalarini takrorlash qobiliyati va ANNning parallel va muntazam tuzilishi ularni namuna tasniflash vazifalari uchun ayniqsa mos qiladi.

EMG signallari yordamida SLRda ANN yuqori aniqlik va samaradorlikni ta'minlab, buning natijasida u muloqot jarayonini sezilarli darajada yaxshilaydi. Bunga sabab, ANNlar bir qator afzalliklarga ega, jumladan, EMG signalini tahlil qilishda juda muhim bo'lgan aniq va noaniq ma'lumotlarni qayta ishlash qobiliyati. Bundan tashqari, ANN ajoyib umumlashtirish qobiliyatlari bilan mashhur bo'lib, ular turli murakkab ma'lumotlarni tahlil qilishda yuqori samaradorlikni ko'rsatadi.

Koreyalik olimlar Kim va uning tadqiqot jamoasi [34] tomonidan tadqiqotda sakkizta sEMG sensoriga ega simsiz Armband ishlab chiqilgan va 600 Gts chastotada sEMG signallarini yozish uchun mo'ljallangan. Armband o'ng bilakka o'rnatildi va koreys imo-ishora tilida (KSL) 38 ta qo'l shakli bilan bog'liq bo'lgan EMG signallarini, shu jumladan 14 undosh, 17 unli va 7 ta raqamni olish uchun ishlatilgan. Tadqiqotchilar bir nechta ANN tasniflagichlarini birlashtirishni o'z ichiga olgan E-ANN tuzilishiga asoslangan yondashuvni taklif qilishdi. Ushbu yondashuv 97,4% aniqlikka erishdi. Jeyn va uning jamoasi [35] o'z tadqiqotlarida IMU, giroskop va EMG sensoridan foydalanadigan tizimni taqdim etdi. Myo Armband har biri 100 marta takrorlangan 48 ta noyob so'zni tasniflash uchun xizmat qildi. Tadqiqotda Teager-Kaiser energiya operatori (TKEO) chegaralaridan foydalangan holda to'liq yo'qotish usullaridan va amaliy segmentatsiyadan foydalanildi. Ular xitoy imo-ishora tili(CSL)da 48 ta so'zni tanib olish uchun xususiyatga asoslangan ANN foydalanishdi va 97,12% muvaffaqiyatga erishdilar.

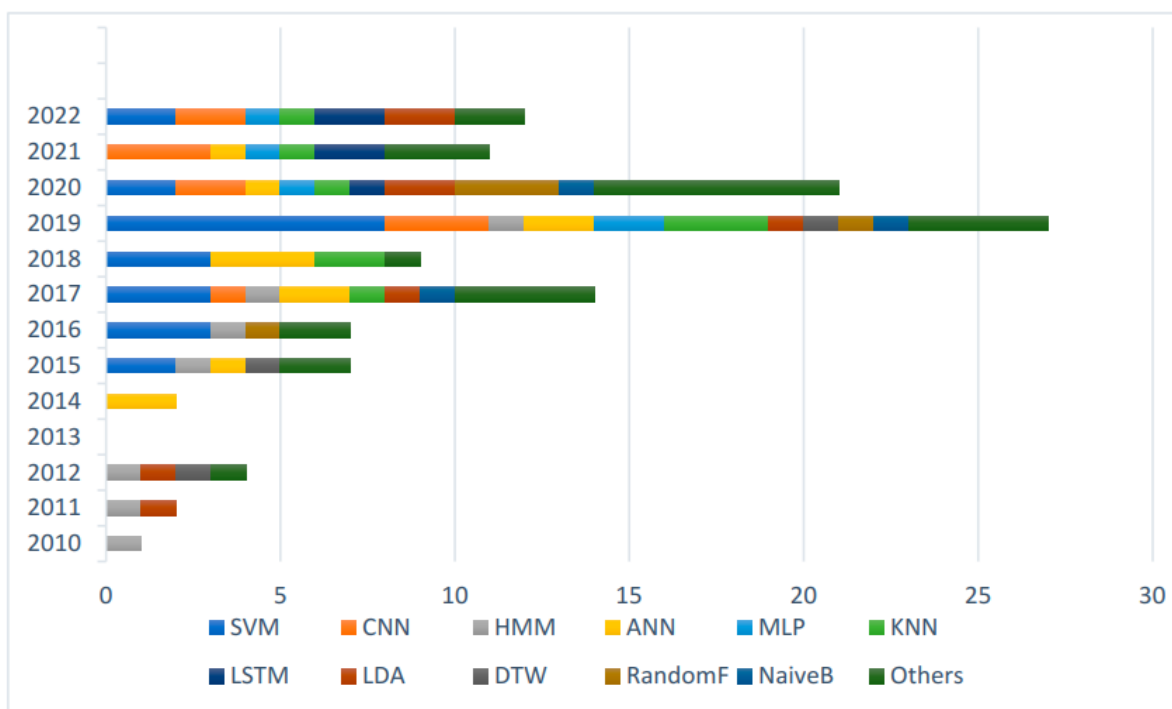
K-eng yaqin qo'shnilar (KNN – K-Neural Networks) algoritmi tasniflash va regressiya vazifalari uchun foydalaniladigan nazorat ostida o'rganish algoritmidir. Uning vazifasi berilgan kirishga k-eng yaqin ma'lumotlar nuqtalarini aniqlash va kirishni ushbu qo'shnilar orasida ko'pchilik sinfiga qarab tasniflashni o'z ichiga oladi. EMG signallari sohasida KNNlar to'plangan EMG ma'lumotlari asosida har xil turdagi harakatlarni tasniflash uchun ishlatilishi mumkin. Kim, J. [36] tomonidan SLR uchun, xususan, nemis imo-ishora tilida (GSL) yettita so'zni tanib olish uchun qo'llanilgan. KNN va SVM algoritmlaridan foydalanganlar. Ular 2 ta EMG sensori va qo'lga birlashtirilgan 3 o'lchovli akselerometr yordamida 8 foydalanuvchidan 560ta namunadan iborat ma'lumotlar to'plamini to'plashdi. Mualliflarning fikricha, KNN klassifikatori tanib olish natijalari bo'yicha SVM klassifikatoridan ustun bo'lib, 96,31% aniqlik ko'rsatdi. Misol uchun, Amor [37] bilakda joylashgan sakkizta EMG sensorini o'z ichiga olgan Myo Armbanddan foydalangan holda inson-mashina interfeysi (HMI – Human-machine interface)ni ishlab chiqdilar. Ular real vaqtda fransuz imo-ishora tili(FSL)da yettita qo'l konfiguratsiyasini tanib olish uchun KNN

klassifikatori bilan birga MFCC va TDW texnikasidan foydalangan holda tadqiqot o'tkazdilar. Ushbu tadqiqot uchun ma'lumotlar to'plami 4 ta sog'lom subyektdan olingan 2480 ta namunadan iborat bo'lib, o'rtacha 90% aniqlikka erishdi.

So'nggi paytlarda vektorli mashinani qo'llab-quvvatlash (SVM - Support vector machine) EMG signallari yordamida SLRda EMG namunalarini aniqlash vazifalarini qayta ishlash uchun keng qo'llanilmoqda [38-39]. SVMlar yuqori o'lchamli ma'lumotlarni qayta ishlashda va hatto cheklangan o'quv namunalarida ham yuqori tasniflash aniqligiga erishishda ustun bo'lgan mustahkam tasniflash usulidir. SVM yuqori o'lchamli ma'lumotlar va o'qitish namunalarining kamligi bilan tavsiflangan SLR vazifalari uchun juda mos keladi. Cassandra va uning jamoasi [38] EMG signallari va akselerometrda foydalanadigan SLRni ishlab chiqdilar. Ushbu tizim amerika imo-ishora tili(ASL)dagi 50 ta tez-tez ishlatiladigan so'zlar to'plamini taniy oladi. Ularning tadqiqotida foydalanilgan ma'lumotlar to'plami 10 ta subyektdan to'plangan, ularning har biri bilaklariga ikkita Myo Armbandni kiygan holda 20 martadan bajarishdi. Ma'lumotlar to'plamiga uchta tasdiqlash texnikasi qo'llanildi. Birinchidan, modelning ishlashini baholash uchun o'quv tanlanmasida 5 marta o'zaro tekshirish o'tkazildi. Ikkinchidan, to'xtatib turish tekshiruvini faqat o'quv subyektlaridan olingan ma'lumotlardan foydalangan holda amalga oshirildi. Uchinchidan, modelning umumlashtirish darajasini aniqlash uchun, har bir subyekt alohida tarzda test to'plamiga ajratilib, u holda o'qitilmasdan qoldiruvchi tekshirish o'tkazildi. Erishilgan aniqlik 33,66% ni tashkil etdi. Hindistonlik olimlar Divya va jamoasi [39] oltita mavzudan olingan beshta hind imo-ishora tili (ISL) so'zlarini tanib olish uchun SVMdan foydalanganlar. Turli belgilarni ifodalovchi signallar BIOPACMP-45 yordamida olingan va ushbu tadqiqotda foydalanilgan ma'lumotlar to'plami 250 ta namunadan foydalanildi va bu yondashuv o'rtacha 90% aniqlikka erishdi.

Yashirin Markov modeli (HMM - Hidden Markov model) ketma-ket ma'lumotlarni, jumladan nutq va SLni modellashtirish uchun keng qo'llaniladigan statistik vositalardir. Ular imo-ishoralar orasidagi o'tish kabi ma'lumotlardagi namunalarni aniqlash uchun ishlatilgan. SLR sohasida HMMlar ko'pincha mushaklar harakatini tahlil qilish, qo'l imo-ishoralari haqida tushunchaga ega bo'lish va SLRni yaxshilash uchun EMG signallari bilan birlashtiriladi. Xu va uning jamoasi [40] CSLda SLR uchun ko'p kanalli EMG va uch o'lchovli akselerometr (ACC) sensorlarining samaradorligini ko'rsatdi. Ular 72 ta so'zni tanib olish uchun ko'p oqimli yashirin Markov modellari va qarorlar daraxtidan foydalanganlar, bu ikki usul bo'yicha 95,3% va 96,3% aniqlikka erishgan. Ularning uzluksiz imo-ishora tilini tanib olish tizimi (CSLR - Continuous sign language recognition) 40 ta jumla turi uchun 72,5% aniqlikka va umumiy so'z aniqligi uchun 93,1% erishdi.

EMG signallari yordamida SLdagi belgilar tasnifi asosan ML va DL kabi bir qator texnikalarni o'z ichiga oladi. Ushbu yondashuvlar keng qamrovli signal ma'lumotlar to'plami bilan ishlashda turli tasniflagichlardan foydalanadi. Eng mos algoritmi tanlash muayyan vazifa va mavjud ma'lumotlar to'plamiga tayanadi, ko'pincha berilgan maqsad uchun optimal tanlovni aniqlash uchun bir nechta algoritmlar bilan tajriba o'tkazish zarur bo'ladi. 4-rasmdan olingan ma'lumotlarga asoslanib, EMG signallari yordamida SLR uchun turli yondashuvlar va ular bo'yicha tadqiqotlar sonini yillar kesimida ko'rishimiz mumkin. 2010 va 2014 yillar orasida HMM va KNN bu sohada qo'llanilgan asosiy usullar bo'lgan. Ushbu algoritmlar o'sha davrda EMG ma'lumotlari asosida vaqtinchalik bog'liqliklarni qo'lga kiritish va belgilar imo-ishoralarni tasniflashda samarali bo'ldi. Biroq, vaqt o'tishi bilan 2014 va 2018 yillar orasida ANNgga va SLR uchun SVMga o'tish sodir bo'ldi. Ushbu o'tish, ehtimol, yanada kengroq ma'lumotlar to'plamining mavjudligi va hisoblash resurslaridagi o'zgarishlar tufayli yuzaga keldi, bu esa yanada murakkab modellarni qo'llash imkonini beradi.



4-rasm. EMG orqali SLRni 2010-2022-yillar kesimida qo‘llanilishi

2018 va 2023 yillar oralig‘ida konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN – Convolutional Neural Networks) va uzoq qisqa muddatli xotira (LSTM) modellari EMG asosidagi SLRning mashhur yondashuvlari sifatida paydo bo‘ldi. CNN va LSTMlardan foydalanish EMG signallaridan mazmunli xususiyatlarni olish va belgilar imo-ishoralari aniq tasniflash uchun DL texnikasi kuchidan foydalanishga qiziqish ortib borayotganidan dalolat beradi. Ushbu kuzatishlar vaqt o‘tishi bilan SLR texnikasining rivojlanayotganini ko‘rsatadi, bu MLdagi yutuqlar va EMG signallarini qayta ishlashni tushunishning ortishi bilan izohlanadi. EMG signaliga asoslangan ma’lumotlar to‘plamining hajmi oshdi, chunki EMG signalining kanallari soni va vaqti oldingi ma’lumotlar to‘plamidan kattaroq va an’anaviy ML algoritmi bilan yaxshi ishlash aniqligini olish qiyin. Muammolarni bartaraf etish uchun ko‘plab tadqiqotchilar DL texnologiyasini qo‘llash ustida ishlamoqda. Ular orasida Wei va boshqalar imo-ishoralarni tasniflash uchun DL texnikasidan foydalanadilar. Kim va boshqalar vaqt sohasi xususiyatlarini ajratib olish uchun konvolyutsion neyron tarmoq (CNN - Convolutional Neural Network) dan foydalanadilar. Murakkab xususiyatlarni qo‘lga kiritish uchun filtrlar soni neyron qatlamlari bo‘ylab, xususan, 16, 32 va 64 tagacha ko‘payadi.

Yaqinda tadqiqotchilar CNN, RNN, ko‘p oqimli qoldiq tarmoq (MResLSTM) dan foydalandilar. Kote-Allard va uning jamoasi tasniflash uchun CNN arxitekturasidan foydalanadilar, bu aniqlikni oshirish uchun uzatishni o‘rganish usullari yordamida yanada takomillashtiriladi. Kim va boshqalar qo‘l imo-ishoralari tasnifini o‘rgatish va sinab ko‘rish uchun konvolyutsion takroriy neyron tarmoq (CRNN) tuzilishini qabul qiladi.

Ninapro ma’lumotlarining kichik to‘plamlari bo‘yicha o‘qitilgan DNNlar ko‘rinmas takrorlashlarda istiqbolli ishlashni namoyish etadi. Biroq, kamroq o‘rganilgan takrorlashlar uchun aniqlik pasayadi. Chjan EMG xomashyosi ma’lumotlaridan o‘rganish va real vaqtda HGRni bashorat qilish uchun maxsus ishlab chiqilgan takroriy neyron tarmoq (RNN - Recurrent Neural Networks) modelidan foydalanishgan. Xitoylik olim Chjan [40] EMG signallaridan foydalangan holda imo-ishoralarni dinamik aniqlash uchun ko‘p oqimli qoldiq tarmog‘ini (MResLSTM) joriy qiladi. MResLSTM modeli har xil turdagi imo-ishoralarni tasniflash uchun qoldiq modelni ham, konvolyutsion qisqa muddatli xotira komponentlarini ham birlashtiradi.

CNN yordamida olingan fazoviy takomillashtirish xususiyati unchalik samarali emasligi sababli, tadqiqotchilar vaqtinchalik

modellashtirish EMG signaliga asoslangan HGR uchun hal qiluvchi xususiyat ekanligini aniqladilar [41]. Yaqinda Tsinganos va uning tadqiqot jamoasi [42] HGR tasniflash muammosini ketma-ketlashtirishga qaratilgan vaqtinchalik konvolyutsion tarmoqlar (TCN – Temporal Convolution Networks) modulini qo'lladilar. Ninapro DB1 ma'lumotlar to'plami bilan o'z modellarini baholagandan so'ng, ular 89,76% eng yaxshi aniqlik haqida xabar berishdi. Umumlashtirilgan holatlarda faqat vaqtinchalik xususiyat unchalik samarali emas va u xususiyat samaradorligining yetishmasligi tufayli yaxshi ishlash aniqligiga erishishda qiyinchiliklarga duch kelishi mumkin. Muammolarni bartaraf etish uchun Rahimian [43] TCNni diqqat moduli bilan birlashtirish orqali bir necha qisqa o'rganish usulini taklif qildilar. Ular cheklangan ma'lumotlar bilan ishlashda DNN duch keladigan qiyinchiliklarga e'tibor qaratishdi va Few-Shot learning HGR (FS-HGR) deb nomlanuvchi yangi yondashuvni joriy qilishdi. FS-HGR modeli vaqtinchalik konvolyutsiyalar va tanlab ishlov berish mexanizmlarini birlashtiradi, bu esa uni minimal o'qitish misollari bilan samarali umumlashtirishga imkon beradi. FS-HGR kam sonli o'rganishdan foydalanish orqali oz sonli o'quv tanlanma asosida natijalarni samarali tarzda aniqlaydi va bu katta ma'lumotlar to'plamlari mavjud bo'lmagan real hayot ilovalari uchun amaliy va istiqbolli yechimga aylanadi. Zahihi va boshqalar EMGga asoslangan HGRni tan olish uchun ierarxik chuqurlikdagi konvolyutsiya (HDWC - Hierarchical Depth-wise Convolution) va diqqat mexanizmini (HDCAM) taklif qildilar, bu yerda ular DB2 ma'lumotlar to'plami bilan 82,91% aniqlik haqida xabar berishdi. Zahibe va boshqalar [44] yana TraHGR: HGR moduli uchun o'zgartirgichni taklif qilishdi, bu yerda ular Ninapro DB2 ma'lumotlar to'plami uchun 93,84% aniqlik haqida xabar berishdi. TrAGR asosan Tnet va Fnetdan iborat bo'lib, vaqt va chastota sohasi xususiyatlarini ajratib olishga va o'zgartirgich arxitekturasi asosida gibrid tizim yaratishga qaratilgan. EMG ma'lumotlari yordamida SLR sohasini moslashtirish texnikasidan foyda keltiradi. Biroq, turli xil signal bo'shliqlari va pozitsiyalariga moslashishda qiyinchiliklar saqlanib qolmoqda va cheklangan mashg'ulot ma'lumotlari bilan ishlash noaniq bo'lib qolmoqda.

Xulosa

Maqolada SLni elektromiografik signallar asosida tanib olish sohasidagi mavjud yondashuvlar va modellar tahlil qilindi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, SLRda RGB, video, skelet, chuqur tasvir, audio, EEG kabi bir nechta yondashuvlar mavjud bo'lib, ular orasida EMG signallari asosidagi yondashuvlar 15% ulushga ega. Bu ko'rsatkich EMG signalining ushbu sohadagi muhim o'rni va salohiyatini namoyon etadi. SLRda EMG signallaridan foydalanishning asosiy afzalligi yorug'lik, rang yoki fon kabi tashqi omillarga bog'liq bo'lmagan holda mushak harakatlari haqida aniq axborot taqdim etishi hisoblanadi. Shu bilan birga, texnik va iqtisodiy cheklovlar, signalni to'g'ri qayd etishdagi murakkabliklar ushbu yo'nalishda tadqiqotlar olib borishni davom ettirish zarurligini ko'rsatadi.

Tahlil qilingan qurilmalar orasida BioSignalsPlux eng ilg'or variant sifatida ajralib turadi. U aynan EMG signallarini o'lchash uchun mo'ljallangan. Qurilma yuqori aniqligi va portativligi bilan ajralib turadi. BioSignalsPlux texnik imkoniyatlari va real vaqt rejimida boshqa qurilmalarga ma'lumot uzatganligi uchun ilmiy tadqiqotlar ishlarida ishlatish tavsiya qilinadi.

Maqolada EMG asosida SLRda qo'llaniladigan texnologiyalar, xususiyatlarni ajratib olish va tasniflash modellari, hamda ularning samaradorligi yoritildi. Tahlil natijalariga ko'ra, vaqt sohasi xususiyatlari SLni EMG signaliga asoslangan holda aniqlashda eng ko'p qo'llaniladigan soha hisoblanadi. Bu esa ularning hisoblashdagi soddaligi va real vaqt tizimlar uchun mos kelishiga bog'liq. Chastota va vaqt-chastota sohalari esa ko'proq murakkab tahlillar talab qilinadigan hollarda qo'llaniladi.

EMG signallariga asoslangan SLRda ishlatiladigan algoritmlardan ba'zilarining tahlili amalga oshirildi. Tahlil natijalariga ko'ra KNN, SVM, va CNN algoritmlari SLRda eng ko'p va muvaffaqiyatli qo'llanilgan metodlar hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. <https://wfdeaf.org>
2. <https://www.gazeta.uz/oz/2020/09/24/sign-language/>
3. <https://www.who.int/>

4. A. S. M. Miah, J. Shin, M. A. M. Hasan, Y. Okuyama, and A. Nobuyoshi, "Dynamic hand gesture recognition using effective feature extraction and attention based deep neural network," in *Proc. IEEE 16th Int. Symp. Embedded Multicore/ Many-Core Syst.-Chip (MCSoc)*, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 2023, pp. 241–247.
5. A. S. M. Miah, M. A. M. Hasan, Y. Tomioka, and J. Shin, "Hand gesture recognition for multi-culture sign language using graph and general deep learning network," *IEEE Open J. Comput. Soc.*, vol. 5, pp. 144–155, 2024.
6. D. Sarma and M. K. Bhuyan, "Methods, databases and recent advancement of vision-based hand gesture recognition for HCI systems: A review," *Social Netw. Comput. Sci.*, vol. 2, no. 6, p. 436, Nov. 2021.
7. Jungpil Shin, Abu Saleh Musa Miah, Humaun Kabir, Abdur Rahim, Abdullah Al Shiam. A Methodological and Structural Review of Hand Gesture Recognition Across Diverse Data Modalities. 9 September 2024 *Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2024.3456436*
8. N. Jiang, S. Dosen, K. R. Müller, and D. Farina, "Myoelectric control of artificial limbs-is there a need to change focus," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 29, no. 5, pp. 150–152, May 2012.
9. A. S. M. Miah, M. R. Islam, and M. K. I. Molla, "EEG classification for MI-BCI using CSP with averaging covariance matrices: An experimental study," in *Proc. Int. Conf. Comput., Commun., Chem., Mater. Electron. Eng. (IC4ME2)*, vol. 59, Jul. 2019, pp. 1–5.
10. M. M. H. Joy, M. Hasan, A. S. M. Miah, A. Ahmed, S. A. Tohfa, M. F. I. Bhuaiyan, A. Zannat, and M. M. Rashid, "Multiclass MI-task classification using logistic regression and filter bank common spatial patterns," in *Proc. Int. Conf. Comput. Sci., Commun. Secur. Singapore: Springer, 2020*, pp. 160–170
11. A. S. M. Miah, M. A. M. Hasan, and J. Shin, "Motor-imagery classification using Riemannian geometry with median absolute deviation," *Electronics*, vol. 9, no. 10, p. 1584, Sep. 2020.
12. M. Montazerin, E. Rahimian, F. Naderkhani, S. F. Atashzar, S. Yanushkevich, and A. Mohammadi, "Transformer-based hand gesture recognition from instantaneous to fused neural decomposition of high-density EMG signals," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, p. 11000, Jul. 2023
13. G. Li, D. Bai, G. Jiang, D. Jiang, J. Yun, Z. Yang, and Y. Sun, "Continuous dynamic gesture recognition using surface EMG signals based on blockchain-enabled Internet of Medical Things," *Inf. Sci.*, vol. 646, Oct. 2023, Art. no. 119409
14. Mills, K.R. The basics of electromyography. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* **2005**, *76*, ii32–ii35. [CrossRef] [PubMed]
15. Mizrahi, J. *Advances in Applied Electromyography*; IntechOpen: London, UK, 2011; ISBN 978-953-307-382-8. Available online: <https://www.intechopen.com/books/359> (accessed on 20 December 2022). [CrossRef]
16. Flaxman, T.E.; Alkjaer, T.; Smale, K.B.; Simonsen, E.B.; Krogsgaard, M.R.; Benoit, D.L. Differences in EMG–moment relationships between ACL-injured and uninjured adults during a weight-bearing multidirectional force control task. *J. Orthop. Res.* **2019**, *37*, 113–123. [CrossRef] [PubMed]
17. Wu, C.W.; Liu, X.; Barczyński, M.; Kim, H.Y.; Dionigi, G.; Sun, H.; Chiang, F.Y.; Kamani, D.; Randolph, G.W. Optimal stimulation during monitored thyroid surgery: EMG response characteristics in a porcine model. *Laryngoscope* **2017**, *127*, 998–1005. [CrossRef] [PubMed]
18. Fukuhara, S.; Kawashima, T.; Oka, H. Indices reflecting muscle contraction performance during exercise based on a combined electromyography and mechanomyography approach. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 21208. [CrossRef] [PubMed]
19. Ficek, K.; Gołas, A.; Pietraszewski, P.; Strózik, M.; Krzysztolik, M. The Effects of a Combined Pre- and Post-Operative Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Rehabilitation Program on Lower Extremity

- Muscle Imbalance. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 7411. [CrossRef]
20. Lee, K. EMG-Triggered Pedaling Training on Muscle Activation, Gait, and Motor Function for Stroke Patients. *Brain Sci.* **2022**, *12*, 76. [CrossRef] [PubMed]
21. Osborne, J.A.; Botkin, R.; Colon-Semenza, C.; DeAngelis, T.R.; Gallardo, O.G.; Kosakowski, H.; Martello, J.; Pradhan, S.; Rafferty, M.; Readinger, J.L.; et al. Physical therapist management of parkinson disease: A clinical practice guideline from the American Physical Therapy Association. *Phys. Ther.* **2021**, *102*, pzb302. [CrossRef] [PubMed]
22. J. Pu, W. Zhou, and H. Li, "Iterative alignment network for continuous sign language recognition," in *Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, Jun. 2019, pp. 4165–4174.
23. A. Amir, B. Taba, D. Berg, T. Melano, J. McKinstry, C. Di Nolfo, T. Nayak, A. Andreopoulos, G. Garreau, M. Mendoza, J. Kusnitz, M. Debole, S. Esser, T. Delbruck, M. Flickner, and D. Modha, "A low power, fully event-based gesture recognition system," in *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR)*, Honolulu, HI, USA, Jul. 2017, pp. 7388–7397
24. S. Zhao, W. Yang, and Y. Wang, "A new hand segmentation method based on fully convolutional network," in *Proc. Chin. Control Decis. Conf. (CCDC)*, Shenyang, China, Jun. 2018, pp. 5966–5970
25. D. Li, C. R. Opazo, X. Yu, and H. Li, "Word-level deep sign language recognition from video: A new large-scale dataset and methods comparison," in *Proc. IEEE Winter Conf. Appl. Comput. Vis. (WACV)*, Mar. 2020, pp. 1448–1458
26. O. M. Sincan and H. Y. Keles, "AUTSL: A large scale multi-modal Turkish sign language dataset and baseline methods," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 181340–181355, 2020
27. S. Jiang, B. Sun, L. Wang, Y. Bai, K. Li, and Y. Fu, "Skeleton aware multimodal sign language recognition," in *Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Workshops (CVPRW)*, Jun. 2021, pp. 3413–3423.
28. F. Stival, S. Michieletto, M. Cognolato, E. Pagello, H. Müller, and M. Atzori, "A quantitative taxonomy of human hand grasps," *J. NeuroEng. Rehabil.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–17, Dec. 2019.
29. E. Kim, J. Shin, Y. Kwon, and B. Park, "EMG-based dynamic hand gesture recognition using edge AI for human–robot interaction," *Electronics*, vol. 12, no. 7, p. 1541, Mar. 2023.
30. K. H. Lee, J. Y. Min, and S. Byun, "Electromyogram-based classification of hand and finger gestures using artificial neural networks," *Sensors*, vol. 22, no. 1, p. 225, Dec. 2021.
31. J. G. C. Alfaro and A. L. Trejos, "User-independent hand gesture recognition classification models using sensor fusion," *Sensors*, vol. 22, no. 4, p. 1321, Feb. 2022
32. W. Wei, Y. Wong, Y. Du, Y. Hu, M. Kankanhalli, and W. Geng, "A multi-stream convolutional neural network for EMG-based gesture recognition in muscle-computer interface," *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 119, pp. 131–138, Mar. 2019.
33. D. Esposito, E. Andreozzi, G. D. Gargiulo, A. Fratini, G. D'Addio, G. R. Naik, and P. Bifulco, "A piezoresistive array armband with reduced number of sensors for hand gesture recognition," *Frontiers Neurorobotics*, vol. 13, p. 114, Jan. 2020.
34. Kim, S.; Kim, J.; Ahn, S.; Kim, Y. Finger language recognition based on ensemble artificial neural network learning using armband EMG sensors. *Technol. Health Care* **2018**, *26*, 249–258. [CrossRef]
35. Jane, S.P.Y.; Sasidhar, S. Sign language interpreter: Classification of forearm emg and imu signals for signing exact english. In *Proceedings of the 2018 IEEE 14Th International Conference on Control and Automation (ICCA)*, Anchorage, AK, USA, 12–15 June 2018; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018; pp. 947–952.
36. Kim, J.; Wagner, J.; Rehm, M.; André, E. Bi-channel sensor fusion for automatic sign language recognition. In *Proceedings of the*

- 2008 8th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition, Amsterdam, The Netherlands, 17–19 September 2008; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2008;
37. Amor, A.B.H.; El Ghouli, O.; Jemni, M. Sign language handshape recognition using Myo Armband. In Proceedings of the 2019 7th International Conference on ICT & Accessibility (ICTA), Hammamet, Tunisia, 13–15 December 2019; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2019; pp. 1–5.
38. Derr, C.; Sahin, F. Signer-independent classification of American sign language word signs using surface EMG. In Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Banff, AB, Canada, 5–8 October 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; pp. 665–670.
39. Divya, B.; Delpha, J.; Badrinath, S. Public speaking words (Indian sign language) recognition using EMG. In Proceedings of the 2017 International Conference on Smart Technologies for Smart Nation (SmartTechCon), Bengaluru, India, 17–19 August 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; pp. 798–800.
40. Zhang, X.; Chen, X.; Li, Y.; Lantz, V.; Wang, K.; Yang, J. A framework for hand gesture recognition based on accelerometer and EMG sensors. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part A Syst. Hum.* **2011**, *41*, 1064–1076. [CrossRef]
41. M. Zia ur Rehman, A. Waris, S. O. Gilani, M. Jochumsen, I. K. Niazi,
42. M. Jamil, D. Farina, and E. N. Kamavuako, “Multiday EMG-based classification of hand motions with deep learning techniques,” *Sensors*, vol. 18, no. 8, p. 2497, Aug. 2018.
43. P. Tsinganos, B. Cornelis, J. Cornelis, B. Jansen, and A. Skodras, “Improved gesture recognition based on sEMG signals and TCN,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP)*, May 2019, pp. 1169–1173.
44. A. S. M. Miah, M. A. M. Hasan, and J. Shin, “Dynamic hand gesture recognition using multi-branch attention-based graph and general deep learning model,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 4703–4716, 2023.
45. S. Zabihi, E. Rahimian, A. Asif, and A. Mohammadi, “TraHGR: Transformer for hand gesture recognition via electromyography,” *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 31, pp. 4211–4224, 2023.