

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

ЗОҲИРОВ ҚУДРАТЖОН РАФИҚОВИЧ

ҚЎЛ ҲАРАКАТЛАРИ БИОСИГНАЛЛАРИНИ ТАСНИФЛАШНИНГ
АЛГОРИТМЛАРИ ВА АППАРАТ-ДАСТУРИЙ МАЖМУАСИНИ
ИШЛАБ ЧИҚИШ

05.01.04 – Ҳисоблаш машиналари, мажмуалари ва компьютер
тармоқларининг математик ва дастурий таъминоти

ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Зоҳиров Қудратжон Рафиқович

Қўл ҳаракатлари биосигналларини таснифлашнинг алгоритмлари ва
аппарат-дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш..... 3

Зоҳиров Қудратжон Рафиқович

Разработка алгоритмов и аппаратно-программного комплекса
классификации биосигналов движений руки..... 21

Zohirov Kudratjon Rafikovich

Development of algorithms and hardware – software complex for the
classification of biosignals of hand movements..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works..... 43

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

ЗОҲИРОВ ҚУДРАТЖОН РАФИҚОВИЧ

ҚЎЛ ҲАРАКАТЛАРИ БИОСИГНАЛЛАРИНИ ТАСНИФЛАШНИНГ
АЛГОРИТМЛАРИ ВА АППАРАТ-ДАСТУРИЙ МАЖМУАСИНИ
ИШЛАБ ЧИҚИШ

05.01.04 – Ҳисоблаш машиналари, мажмуалари ва компьютер
тармоқларининг математик ва дастурий таъминоти

ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.3.PhD/T2375 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасида (www.tuit.uz) ва «Ziyonet» ахборот-таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Турғунов Адилбек Мухтарович**
техника фанлари номзоди, доцент

Расмий оппонентлар: **Зайнидинов Ҳакимжон Насиридинович**
техника фанлари доктори, профессор

Рахматов Фурқат Абдираззоқович
техника фанлари номзоди


Етакчи ташкилот: **Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети**


Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «29» октябрь да соат 14:00 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).


Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (2270 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43).

Диссертация автореферати 2021 йил «18» октябрь куни тарқатилди.
(2021 йил «04» октябрь даги 30 рақамли реестр баённомаси).




Р.Х.Хамдамов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, техника фанлар доктори, профессор


Ф.М.Нуралиев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлар доктори, доцент


М.А.Рахматуллаев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси, техника фанлар доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда, сўнги йилларда тиббий сигналларга рақамли ишлов бериш алгоритмларини такомиллаштириш, сигнал параметрлари асосида таснифлаш ва уларни амалга оширишга мўлжалланган аппарат-дастурий воситаларни ишлаб чиқишга бағишланган илмий ишлар салмоғи ўсиб бормоқда. Бунга асосий сабаблар сифатида, ҳаракат функцияси бузилган беморларни реабилитация қилишда инсон танасидаги биосигналлардан фойдаланишдир. Биосигналларга асосланган реабилитация қилиш усуллари ва қурилмалари реал вақт режимида беморларнинг ҳолатини айна шу пайтда юқори аниқликда таҳлил қилишга имкон беради. Ушбу йўналишнинг муҳим даражадаги вазифаларидан бири – бу реал вақт режимида биосигналларга ишлов бериш, сигналдан керакли параметрларни ажратиб олиш, таснифлаш ва натижаларни қурилмаларга интеграция қилиш. Шу боис, ривожланган мамлакатларда ушбу соҳада янги усуллар, алгоритмлар, қурилмалар яратиш илгарилаб кетмоқда, жумладан, ҳаракатларни таснифлаш орқали инсон ҳаракат тизимини реабилитациялаш соҳасида Италия, Швеция, АҚШ, Буюк Британия, Япония, Хитой, Португалия, Россия Федерацияси каби давлатларда жуда катта ишлар олиб борилмоқда.

Жаҳонда инсонларнинг ҳаракат тизимларини реабилитация қилиш, бунинг учун сифатли замонавий реабилитацион қурилмаларни ишлаб чиқиш ва шу орқали ампутант ёки ногиронлиги мавжуд беморлар ёки ҳаракат функцияси қисман ёки тўлиқ бузилган инсонларни одатий ҳаётга қайтаришга ёрдам бериш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда. Электромиография сигналлари асосида ҳаракатларни таснифлаш орқали ампутантларнинг ҳаракат аъзоларини ўрнини босадиган миобошқарувли протезларни яратиш имкониятини ҳам беради. Демак, электромиография сигналини қайта ишлаш ва инсон ҳаракат функциясини баҳолаш, электромиография сигналининг актив потенциал чегарасини аниқлаш алгоритминини, реал вақт режимида электромиография сигналининг ўқув танланмасини автоматик ташкил этиш алгоритминини, қўл ҳаракатларини машинали ўқитиш усуллари асосида реал вақт режимида таснифлаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва шуларга асосланган аппарат-дастурий воситаларни ишлаб чиқиш муҳим илмий-амалий, долзарб масалалардан бири ҳисобланади.

Республикамызда ахборот-коммуникация технологиялари, биосигналларни рақамли ишлаш воситаларини яратиш, қўл ҳаракатларини таснифлаш воситаларни такомиллаштириш асосида реабилитация қилиш сифатини яхшилашга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналишлари бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... соғлиқни сақлаш соҳасини, энг аввало, унинг аҳолига тиббий ва ижтимоий-тиббий хизмат кўрсатиш қулайлиги ҳамда сифатини оширишга қаратилган дастлабки

бўғинини, тиббиёт муассасаларининг моддий-техника базасини мустаҳкамлаш, ижтимоий соҳа, бошқарув тизимида ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш» вазифалари белгиланган¹. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, хусусан реабилитация соҳасида замонавий усул ва аппарат-дастурий воситаларни қўллаган ҳолда ногиронлиги мавжуд беморларнинг реабилитация қилиш воситалари асосида даволаш давомийлигини камайтириш энг муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 30 июндаги ПФ-5099-сон «Республикада ахборот технологиялари соҳасини ривожлантириш учун шарт-шароитларни тубдан яхшилаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 2 августдаги ПҚ-3894-сон «Ўзбекистон Республикасида соғлиқни сақлашни бошқаришнинг инновацион моделини жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори ва Ўзбекистон республикасининг 2020 йил 15 октябрдаги «Ногиронлиги бўлган шахсларнинг ҳуқуқлари тўғрисида»ги ЎРҚ-641-сонли Қонунида келтирилган ампутант бўлган кишиларнинг қўл-оёқларининг ёки танасининг бошқа қисмларининг ўрнини босиш учун мўлжалланган, организмнинг бузилган ёки йўқолган функцияларини компенсация қилувчи мосламаларни ёки реабилитация қилишда ёрдамчи воситаларни ишлаб чиқиш орқали уларни жамиятда ўз ўрнини топишга кўмаклашиш каби вазифалари амалга оширишда ушбу тадқиқот муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот Республика фан ва технологиялари ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация тадқиқотнинг ўрганилганлик даражаси. ЭМГ сигналлари асосида қўл ҳаракатларини таснифлаш, аппарат-дастурий мажмуаларини, маълумотлар тўпламларини ишлаб чиқиш, сигнал параметрларини таҳлил қилиш, сигнал маълумотларини таҳлил қилиш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва уларни амалиётга қўллаш бўйича дунёда А.Phinyomark, D.Farina, H.Zhang, J.Taylor, M.Ferrari, M.Oskoei, P.Phukupattaranont, R.Khushaba, B.Hudgins, H.Silva, G.Tsenov, A.Gydikov, O.C.Сушкова, Д.А.Краснобаев, Д.Р.Сафин, Г.В.Дмитров, Д.А.Аббасова каби олимлар илмий тадқиқотлар олиб боришган.

Республикада маълумотларга интеллектуал ишлов бериш соҳасининг таниб олиш алгоритмлари йўналишида М.М.Камилов, хусусиятларни аниқлаш ва танлаш алгоритмлари йўналишида Ш.Х.Фозилов, нутқ сигналларини таниб олиш йўналишида М.М.Мусаев, тиббий сигналлар ва

¹ Ўзбекистон Республикаси Президенти 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

тасвирларга ишлов бериш йўналишида Х.Н.Зайнидинов каби олимлар илмий тадқиқот олиб бориб, ушбу йўналишнинг ривожини учун ўз хиссаларини қўшиб келишмоқда.

Адабиётларни ўрганиш ва таҳлил қилиш натижасида электромиография сигналлари асосида қўл ҳаракатларини реал вақт режимида таснифлаш алгоритмлари, таснифлашда юқори аниқликни таъминловчи сигнал параметрларини аниқлаш, аппарат-дастурий мажмуа ишлаб чиқиш ҳамда ҳаракат функцияси бузилган беморларни реабилитациясида қўллаш масалалари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг Erasmus+ доирасида бажарилган 561621-EPP-1-2015-1-IT-EPPKA2-SBHE-JP «Тиббиётда реабилитация» (2016-2018) лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади электромиография сигнали асосида қўл ҳаракатларини машинали ўқитиш усуллари ёрдамида таснифлаш алгоритмлари ва аппарат-дастурий мажмуасини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

мавжуд биосигналларни, уларнинг бошқа сигналлардан асосий фарқларини, қайд қилиш қурилмаларини, ишлов бериш алгоритмларини ва машинали ўқитиш алгоритмлари асосида таснифлаш усулларини таҳлил қилиш;

электромиография сигналининг фаол потенциал қисмини аниқловчи алгоритм ишлаб чиқиш ҳамда қўл ҳаракатларини таснифлашда юқори аниқлик берувчи параметрларни аниқлаш;

электромиография сигналларини таснифлаш учун фойдаланиладиган сигналнинг ўқув танламасини ҳосил қилувчи алгоритм ишлаб чиқиш;

реал вақт режимида машинали ўқитиш усуллари асосида қўл ҳаракатларини таснифлаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

қўл ҳаракати биосигналларини таснифловчи аппарат-дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш, функционал лойиҳалаш, протез ўртасида маълумот алмашилиш алгоритминини ишлаб чиқиш ва интеграция масаласини ечиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида турли инсонлардан ёзиб олинган электромиография сигналлари ва улардан ҳосил қилинган параметрлар тўпламлари, машинали ўқитиш алгоритмларини ўқитиш жараёни қаралган.

Тадқиқотнинг предмети сифатида электромиография сигналларининг ўқув танланмасини шакллантириш усуллари, маълумотларни интеллектуал таҳлил қилиш усуллари ва алгоритмлари, электромиография сигналларини қайд қилувчи қурилмалар, қўл ҳаракатларини таснифловчи аппарат-дастурий воситаси технологиялари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари сигналларга рақамли ишлов бериш усуллари, статистик таҳлил усуллари, маълумотларга ишлов беришнинг интеллектуал усуллари, сигнал параметрларини ажратиб олиш усуллари, ҳамда дастурлаш технологиялари ташкил қилади.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйдагилардан иборат:

сигналнинг ўртача оғишини ҳисобга олган ҳолда реал вақт режимида электромиография сигналининг фаол потенциал чегарасини аниқловчи алгоритм ишлаб чиқилган;

таркибида AD8232 аналог-рақамли ўзгартириш қурилмаси мавжуд бўлган бир каналли Биталино қурилмаси асосида электромиография сигналларининг реал вақт режимида ўқув танламасини автоматик шакллантирувчи алгоритм ишлаб чиқилган;

электромиография сигналининг муҳим параметрлари асосида қўлнинг бирор предметга таъсир қилувчи ҳаракатларини реал вақт режимида машинали ўқитиш усуллари ёрдамида таснифлаш алгоритми ишлаб чиқилган;

қўл ҳаракатларини таниш учун электромиография сигналларга асосланган аппарат-дастурий мажмуасининг функционал модуллари ва протез ўртасида маълумот алмашилиш алгоритми ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйдагилардан иборат:

қўл ҳаракатлари биосигналларини таснифловчи аппарат-дастурий таъминотининг функционал тузилмаси лойиҳаланган;

қўл ҳаракатларини таснифлаш жараёнини амалга ошириш мақсадида сигналнинг ўқув танланмаси шакллантирилган;

электромиография сигнали асосида қўл ҳаракатларини таснифлашнинг реал вақт режимида ишлаш алгоритми таклиф этилган ва дастур ишлаб чиқилган;

реал вақт режимида қўл ҳаракатларини таснифлаш дастури ампутант ва ногиронларни реабилитация қилиш мақсадида тадбиқ қилинган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ЭМГ сигналинини қайта ишлаш кетма-кетлиги, ЭМГ сигналнинг фаол потенциал чегарасини аниқлаш усуллари, ЭМГ сигналининг ўқув танланмаларини ташкил этиш қоидалари, қўл ҳаракатларини таснифлашда фойдаланилган кирувчи параметрларнинг математик аппарати, олинган натижаларни қурилмада тестлаш натижалари билан солиштирилганлиги ҳамда ўтказилган тажрибалар орқали асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти электромиография сигнали асосида қўл ҳаракатларини таниб олиш ёрдамида Ўзбекистонда миоэлектрик протезларни тадбиқ этиш масалалари назарий асосларининг истиқболли ривожланишида ишлаб чиқилган усул ва алгоритмларнинг ҳисса қўшиши билан изоҳланади;

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган усул ва алгоритмлар асосида таянч-ҳаракат аъзоларида муаммоси бор беморларни реабилитация қилиш жараёнида қўлланилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Реал вақт режимида электромиография сигналига асосланган қўл ҳаракатларини таснифлаш муаммосини ҳал қилиш билан боғлиқ илмий натижаларга асосланиб:

реал вақт режимида электромиография сигнали асосида қўлнинг бирор предметга таъсир этувчи асосий ҳаракатларини таснифлаш бўйича яратилган аппарат - дастурий мажмуа Қашқадарё вилояти ногиронлиги бўлган шахсларни реабилитация қилиш ва протезлаш марказида жорий қилинди (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 29 июл 33-8/5407-сонли ва Тиббий-ижтимоий хизматларни ривожлантириш агентлигининг 2021 йил 27 август 09-01-12/437-сонли маълумотномалари). Илмий тадқиқот натижаси тиббиёт муассасаларининг SCI (spinal cord injury, орқа мия шикастланиши) касаллигига чалинган (C5-C8 даражалари) беморларида синаб кўрилди, беморлар устида ўтказилган тажрибалар натижасида касалланган қўлнинг ҳаракатлари сонини 3 баробаргача ошириш орқали физиотерапия усулининг кўпфункционаллигига эришилди ва беморнинг реабилитация қилиш муддатини тахминан 2-3 мартагача камайтириш имконини берган;

машинали ўқитиш алгоритмлари асосида электромиография сигнали ёрдамида ҳаракатларни таснифлаш бўйича яратилган дастурий модуллар Республика ихтисослаштирилган терапия ва тиббий реабилитация илмий – амалий тиббиёт марказида жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 29 июл 33-8/5407-сонли маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаси тиббиёт муассасаларининг SCI (spinal cord injury, орқа мия шикастланиши) касаллигига чалинган (C5-C8 даражалари) беморларда олиб бориладиган реабилитация усули шахсан физиотерапевт иштирокида ва унинг қўл ҳаракатлари асосида олиб борилди шунинг учун беморлар устида ўтказилган тажрибалар натижасида касалланган қўлнинг ҳаракатлари сонини 2-3 мартагача ошириш имкониятини яратилди ва беморнинг реабилитация қилиш муддатини тахминан 2-3 мартагача камайтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 16 та, жумладан 6 та халқаро ва 10 та Республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 23 та илмий иш жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестацияси комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 8 та мақола, жумладан 1 та чет эл ва 7 та Республика журналларида нашр этилган, шунингдек 2 та ЭҲМ учун дастурий маҳсулотларга гувоҳномалар олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, шартли белгилар ва атамалар рўйхати ҳамда иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 118 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурийлик даражаси асослаб берилган, мақсад ва вазифалар шакиллантирилган, тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари тараққиётининг устувор йўналишига мослиги белгиланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари кўрсатиб ўтилган, олинган натижаларнинг ҳаққонийлиги асослаб берилган, олинган натижалар назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга тадбиқ этилиши рўйхати, ишни синаш натижалари, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилмаси тўғрисидаги маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Биосигналларга ишлов берувчи замонавий аппарат-дастурий воситалар ва усуллар таҳлили**» деб номланган биринчи бобида биосигналларнинг турлари, табиати, характеристикалари, инсоннинг нейро-мушак тизимининг тузилиши, биосигналларни қайд қилишда замонавий қурилмаларнинг таҳлили, электромиография сигнаolini таснифлашда фойдаланиладиган алгоритмлар таҳлили масалалари кўрилган.

Мушакларнинг электр потенциални ўлчайдиган сигнал электромиография (ЭМГ) сигналидир. Ҳаракатнинг мушакларга алоқасини тўғри аниқлаган ҳолда сигнални қайд қилинса, сигнал маълумотлари ортиб кетиши ва натижада ҳисобланиш жараёнларини қийинлашувининг олдини олган бўламиз.

1-жадвал.

Билак мушаклари ва қўл ҳаракатлари боғлиқлиги

	Тирсак: букиш	Кафт ҳаракати: (кафтни 180 градусага буриш)	Қўл билаги: Кафтни олдинга букиш	Қўл билаги: кафтни орқага букиш	Кафт ҳаракати: қўлни мушт қилиш	Кафт ҳаракати: 1-2-3 бармоқлар билан ушлаш	2-5 бармоқларни 2-суяқдан букиш ҳаракати	2-5 бармоқларни орқага эгиш	Кафт ҳаракати: кафтни ёйиш
flexor carpi radialis	X	X	X		X	X			X
palmaris longus	X	X	X						
pronator teres	X	X							
flexor digitorum superficial			X				X		
flex carpi ulnaris			X	X					
Flexor pollicis longus								X	

Қўл ҳаракатларини асосан билак мушаклари вужудга келишини билган ҳолда, билак мушаклари ёки уларнинг комбинацияси қўл ҳаракатларига боғлиқлик жадвалини ҳосил қилишимизни тақозо этади. Бу биринчидан,

ампутант максимал қайси ҳаракатларни қила олишини ва ЭМГ сигнални қайд қилиш учун электродларни керакли мушакка жойлаштириш каби муҳим омилларни тўғри бажаришимизга боғлиқ бўлади. Инсон билагида ҳаракатни таъминловчи олти асосий мушаклар мавжуд. Улар баъзи ҳаракатларда якка ўзи иштирок этса, баъзи мураккаб ҳаракатларда бир нечта мушаклар комбинацияси иштирок этади (1-жадвал).

Диссертациянинг «Электромиография сигналлари ёрдамида қўл ҳаракатларини таснифлаш усуллари» деб номланган иккинчи бобида ЭМГ сигналларини таснифлашда сигнал параметрларидан таҳлил қилиш ва танлаш, электромиография сигналининг фаол потенциал чегарасини аниқлаш алгоритминини ишлаб чиқилган. ЭМГ сигналини таснифлашда машинали ўқитиш алгоритмлари каби масалалар ва олинган натижалар келтирилган.

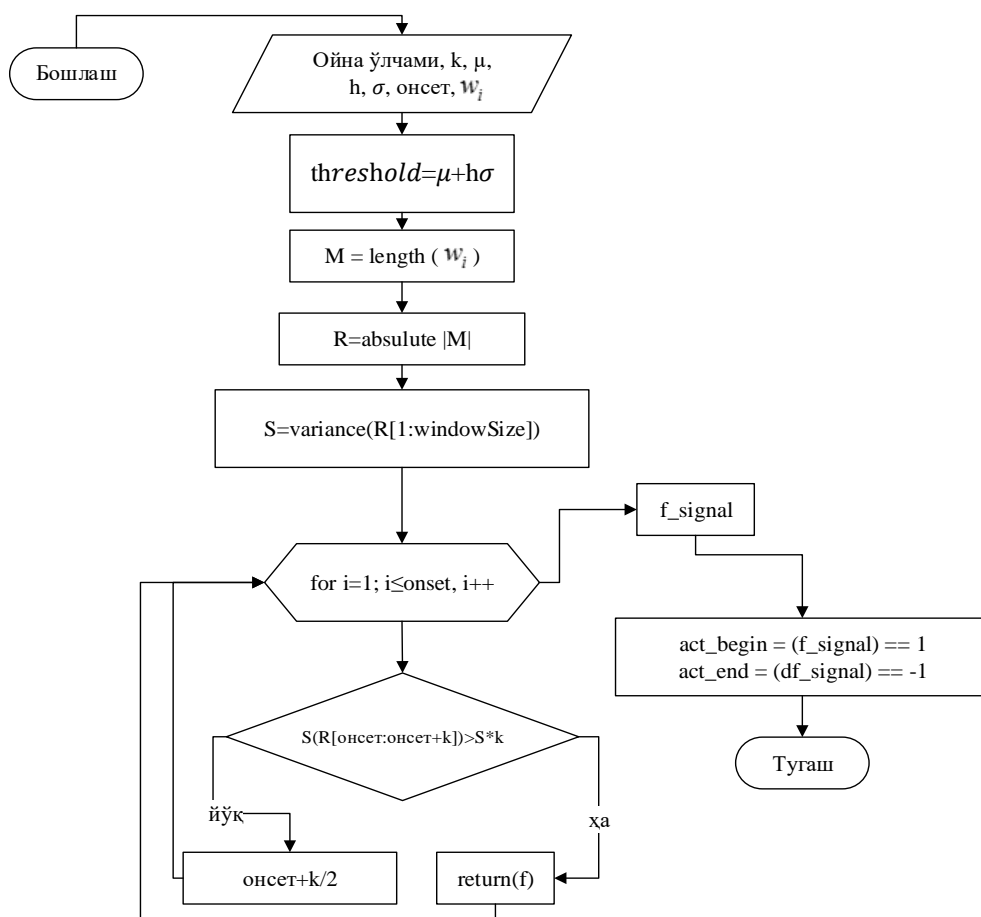
ЭМГ сигналини таснифлашнинг умумий процедураси қуйида келтирилган: маълумотларни йиғиш, маълумотларга дастлабки ишлов бериш, параметрларга ажратиш, параметрларни танлаш ва ёки қисқартириш, таснифлаш моделини танлаш, таснифлагични ўқитиш ва баҳолаш. Тадқиқотда, ЭМГ сигналларининг параметрлари таҳлили амалга оширилган бўлиб, вақт соҳаси (ВС), частота (ЧС) ҳамда вақт-частота соҳа (ВЧС) параметрларини таҳлил қилиш орқали аниқлик ва тезкорликни таъминлайдиган 9 та параметрлар ажратиб олинди.

2-жадвал.

ЭМГ сигналининг энергиясини тавсифловчи вақт соҳасидаги параметрлари

ЭМГ сигнал параметрлари	Математик ифодаси
Ўртача абсолют қиймат	$MAV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i $
Тўлқин узунлиги	$WL = \sum_{i=1}^N (x_i - x_{i-1})$
Ўртача амплитуда ўзгариши	$ACC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} x_{i+1} - x_i $
Бирлашган ЭМГ	$IEMG = \sum_{i=1}^N x_i $
Сигнал энергияси	$SSI = \sum_{i=1}^N x_i ^2$
Нолдан кесиб ўтувчилар сони	$ZC = \sum_{i=0}^{N-1} f(x_i * x_{i+1}),$ $f(x) = \{1 \text{ иф } x \geq \kappa; 0 \text{ акс ҳолда}\}$
Ўртача квадратик илдиз	$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i^2}$
Логарифмик детектор	$\log D = e^{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log(x_i)}$
Вилсон амплитудаси	$WAMP = \sum_{i=1}^{N-1} f(x_{i+1} - x_i)$ $f(x) = \{1 \text{ иф } x > \epsilon; 0 \text{ акс ҳолда}\}$

Берилган сигнал параметрлари сигнал энергиясини тадқиқ этувчи вақт соҳасидаги параметрлар ҳисобланади (2-жадвал). Берилган параметрларни ҳисоблаш мушакларнинг қисқариш вақтидаги сигнал соҳасидан ажратиб олиш муҳим саналади. Мушакларнинг фаол чегарасини аниқлашнинг бир усули визуал текширишдир. Визуал текширув аниқ бўлиши мумкин, аммо мураккабдир, шу билан бирга реал вақт режимида бу усулнинг самарадорлиги камлиги боис автоматик фаол потенциалларни аниқловчи бир нечта алгоритмлар ишлаб чиқилган.



1-расм. ЭМГ сигналнинг фаол соҳасини аниқлаш алгоритм блок схемаси

3-жадвал.

ЭМГ сигналини турли алгоритмлар орқали фаол чегарасини аниқлаш алгоритмларининг қиёсий таҳлили

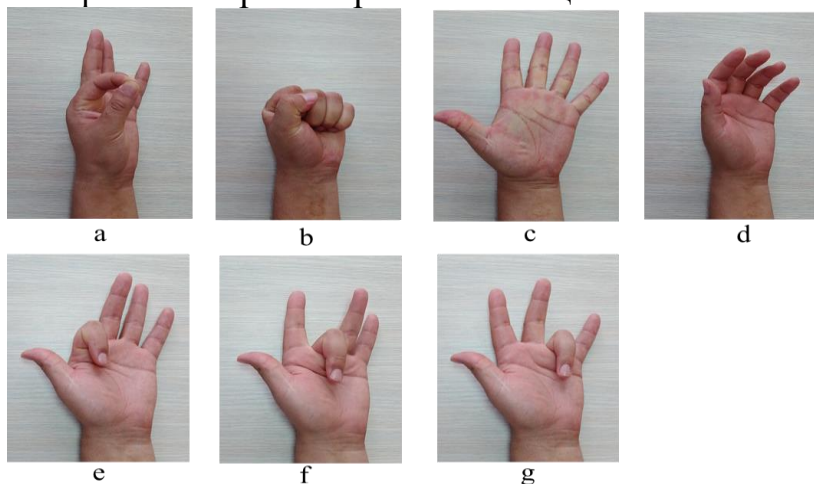
Алгоритм	Ўртача квадратик четланиш	Ўртача дисперсия	Жорий сигнал тартиби
Ягона чегара алгоритми	3,1%	32.2	98
Икки чегарали алгоритми	2,56%	22.6	156
Таклиф этилаётган алгоритм	1,54%	18.9	352
ТКЕО алгоритми	2,02%	27.5	402
Белгиларни ўзгартириш алгоритми	2,48%	25.8	718
Коми алгоритми	2,95%	32.8	956

Куйида ЭМГ сигналнинг фаол потенциал қисмини автоматик аниқловчи алгоритмлар ва таклиф этилган алгоритмнинг солиштирма таҳлили келтирилган (3-жадвал). Таклиф этилганда Сигналнинг бошланиш нуқтаси (онсет) белгиланган, ЭМГ сигналнинг onset ва ойна узунлиги бўйича дисперцияси, чегара билан дисперциянинг кўпайтмасидан катта бўлгунга қадар цикл бажарилади. Ҳосил бўлган сигнал (f_{signal}) да қийматлар 0 дан 1 га қадар ўзгариши таъминланган соҳа ЭМГ сигналнинг фаоллашув бошланиши пайтини аниқлатса, қийматлар 1 дан 0 га қадар ўзгарган соҳаси ЭМГ сигналнинг фаоллашув тугашини назарда тутди (1-расм).

Таклиф этилаётган алгоритмда ўртача квадратик хатолик 1,54%, ўртача дисперция қиймати 18.9 ни ташкил этди.

Таҳлиллар шуни кўрсатдики, реал вақт режимида қўл ҳаракатларини таснифлашда машинали ўқитиш модели бошқа таснифлаш усулларидан кам сонли кирувчи параметрлар орқали юқори таснифлаш натижасини таъминлашда ҳамда қурилмага интеграция масаласини ечиш каби омиллар туфайли устунлигини кўрсатди.

Диссертациянинг «**Электрмиография сигналларини машинали ўқитиш асосида қўл ҳаракатларини таснифлаш алгоритминини ишлаб чиқиш**» деб номланган учинчи бобида ЭМГ сигналнинг ўқув танланмасини реал вақт режимида ташкил этиш алгоритми ва реал вақт режимида қўл ҳаракатини таснифлаш алгоритмлари ишлаб чиқилган.



2-расм. Фойдаланилган қўл ҳаракатлари.

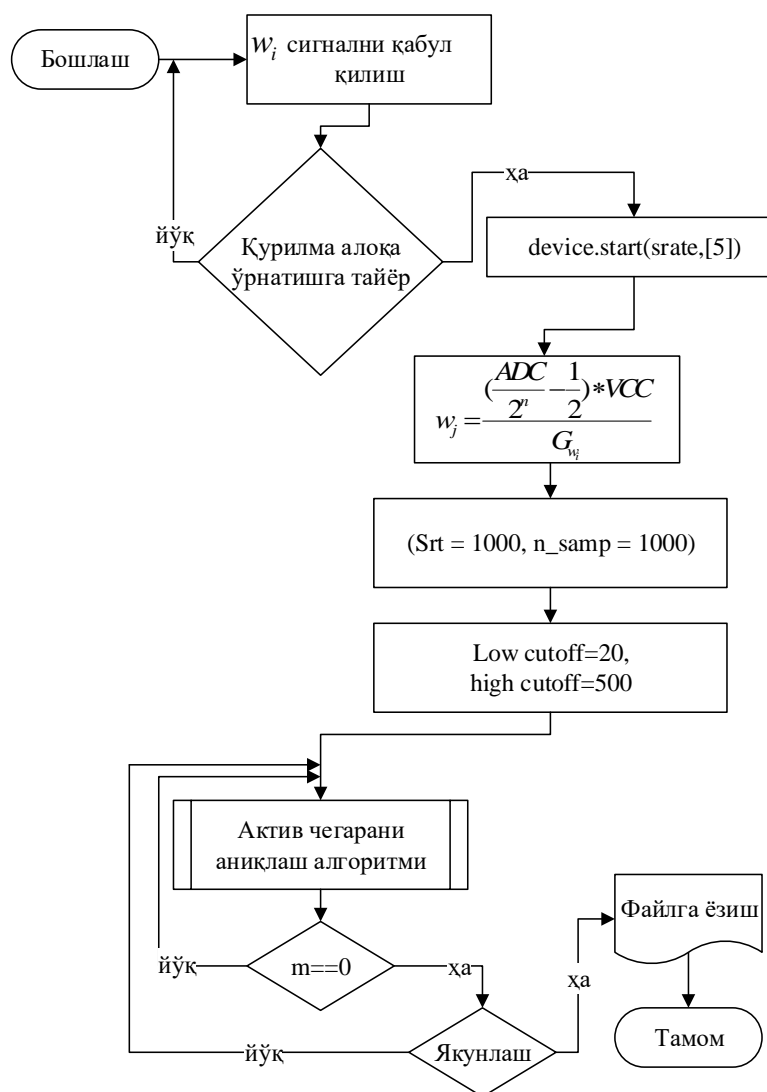
Таснифлаш моделини ўқитиш учун ишлатиладиган ўқув танланма ташкил этилган. Ўқув танланмада 42 та инсоннинг қўлларидан 7 та ҳаракат учун ёзиб олинган сигналлардан ташкил этилди. Қўл ҳаракатларини таснифлашда фойдаланилган қўл ҳаракатлари 2-расмда келтирилган.

Тадқиқотлар давомида реал вақт режимида ЭМГ сигналнинг ўқув танланмасини ташкил этувчи алгоритм ишлаб чиқилди (3-расм).

Тадқиқотда ЭМГ сигнални таснифлаш масаласини ечишда машинали ўқитиш усулларидан, яъни RF (random forest, тасодикий ўрмон), SVM (support vector machine, қўллаб-қувватловчи векторли машина) и k-NN (k-nearest neighbors, k - энг яқин қўшнилар) лардан фойдаланилди. Ушбу алгоритмлар кам сонли кирувчи сигнал параметрлари орқали қўл

ҳаракатлари натижасида ҳосил бўладиган сигналларни юқори аниқликда таснифлашни тақдим этиб, миобошқарув тизимларида фойдаланилганда кам вақт сарфини таъминлайди ва қурилмалар билан интеграциялашуви ўта мослашувчан ҳисобланади.

Қўл ҳаракатларини таснифлашнинг аппарат-дастурий таъминотида асосий меъзон жавоб бериш вақти (response time) ҳисобланади.



3-расм. Реал вақт режимида ЭМГ сигналнинг ўқув танланмасини ҳосил қилиш алгоритми блок схемаси

Жавоб бериш вақти иккита омил билан баҳоланади: сигнал маълумотларини йиғиш вақти (data collection time), маълумотларни таҳлил қилиш вақти (data analysis time). Маълумотларни йиғиш вақти сигнални қайд қилиш ва унга дастлабки ишлов бериш жараёнларига кетган вақтни характерлайди, маълумотларни таҳлил қилиш вақти эса сигналнинг параметрларини ҳисоблаш ва таснифлашга кетадиган вақт сарфини ҳисоблайди. Жавоб бериш вақтини минималлаштириш учун ҳозирда икки хил усул мавжуд: параллел алгоритмлар асосида вақтни камайтириш, параметрлар муҳандислиги (features engineering) усули ёрдамида вақтни оптималлаштириш. Параллел алгоритмлар асосан аппарат таъминотининг

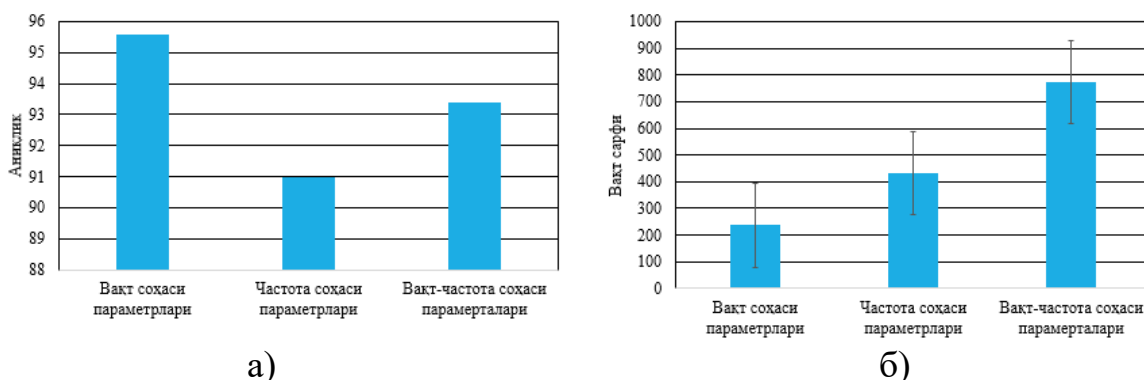
ички имкониятларининг даражасидан келиб чиқиб ишлатилади. Иккинчи усулда (features enjineering) эса сигнал параметрларининг натижага максимал таъсир этишига қараб амалга оширилади. Қўл ҳаракатларини таснифлашнинг аниқлиги бир нечта метрик кўрсаткичлар асосида самарадорлиги баҳоланади. Шулардан энг асосийси таснифлаш аниқлиги ҳисобланади, у қуйидагича ҳисобланади:

$$Аниқлик_{тизим} = \frac{\sum_{i=1}^u \sum_{j,k=1}^g n_{i,j,k}}{\sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^g \sum_{k=1}^g n_{i,j,k}}$$

Ҳар бир фойдаланувчининг аниқлилик кўрсаткичи эса қуйидагича ҳисобланади:

$$Аниқлик_{фойдаланувчи(i)} = \frac{\sum_{j,k=1}^g n_{i,j,k}}{\sum_{j=1}^g \sum_{k=1}^g n_{i,j,k}}$$

бу ерда $n_{i,j,k}$ - i фойдаланувчиси томонидан қилинган қўл ҳаракатлари сони, модель j деб синфлаган, аммо аслида k бўлган, $i \in I = i_1, i_2, \dots, i_u$ тестланган фойдаланувчилар тўплами, $j \in J = j_1, j_2, \dots, j_u$ - башорат қилинган синфлар тўплами, $k \in K = k_1, k_2, \dots, k_u$ - ҳақиқий синфлар тўплами, u - тармоқда тестланган уринишлар сони ва g - синф номери.



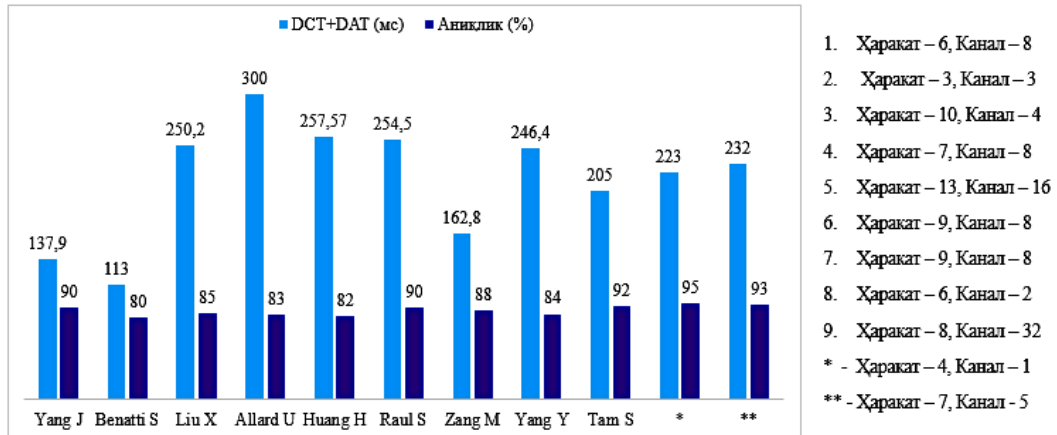
4-расм. ЭМГ сигнални таснифлаш аниқлигининг турли соҳалардаги натижалари (а) ҳамда ЭМГ сигнални таснифлашдаги вақт сарфи баҳоланиши (б)

Ушбу ҳаракатда сигналнинг учта соҳасидаги параметрлари бўйича эришилган ўртача аниқлилик кўрсаткичлари ВС учун 98%, ЧС учун 92% ва ВЧС учун эса 97 фоиз бўлди. Умумий равишда эса ушбу уч соҳа тўпламлари ВС – 95%, ЧС – 91%, ВЧС – 93% аниқликка эришилди (4 (а)-расм).

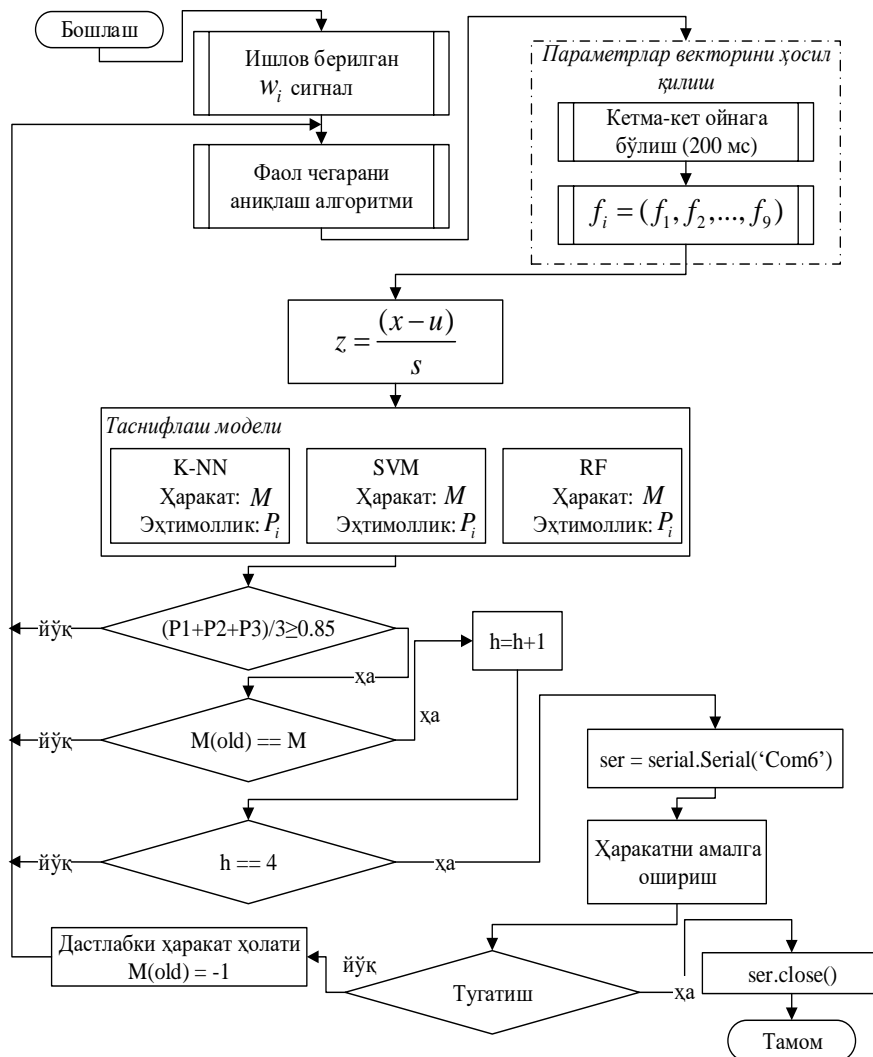
Тажрибалар шуни кўрсатдики, ЭМГ сигналнинг вақт соҳаси параметрлари вақт сарфи камлиги бўйича самарали натижа кўрсатди (4 (б) - расм). Тадқиқотда кам сонли сенсорлардан фойдаланган ҳолда кўп сонли қўл ҳаракатларини таснифлаш ҳамда таснифлаш аниқлиги ва реакция вақти эътиборга олинган. Бунда ДСТ (data collection time) ва ДАТ (data analysis

time) қийматлари имкон қадар минималлаштирилган. Реал вақт режимида таснифлаш аниқлиги бошқа тадқиқот натижаларидан юқорироқ. Қурилмада тестлаш ўрнатилган тизимлар (Embedded System) да олиб борилган.

Келтирилган диаграммада олиб борилган тадқиқотларни бошқа илмий натижалар билан солиштирилганлиги келтирилган (5-расм).



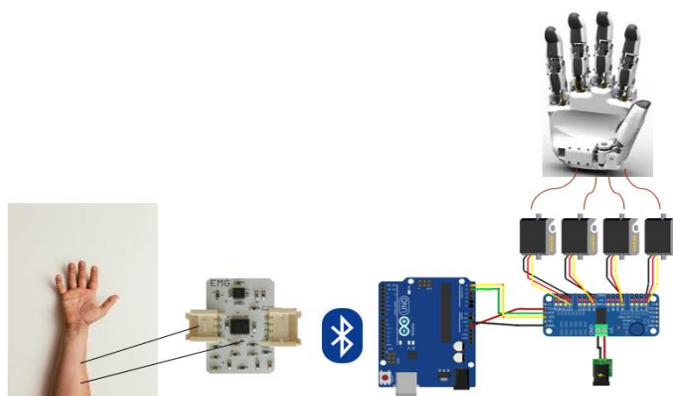
5-расм. Олиб борилган тадқиқотнинг солиштирма графиги



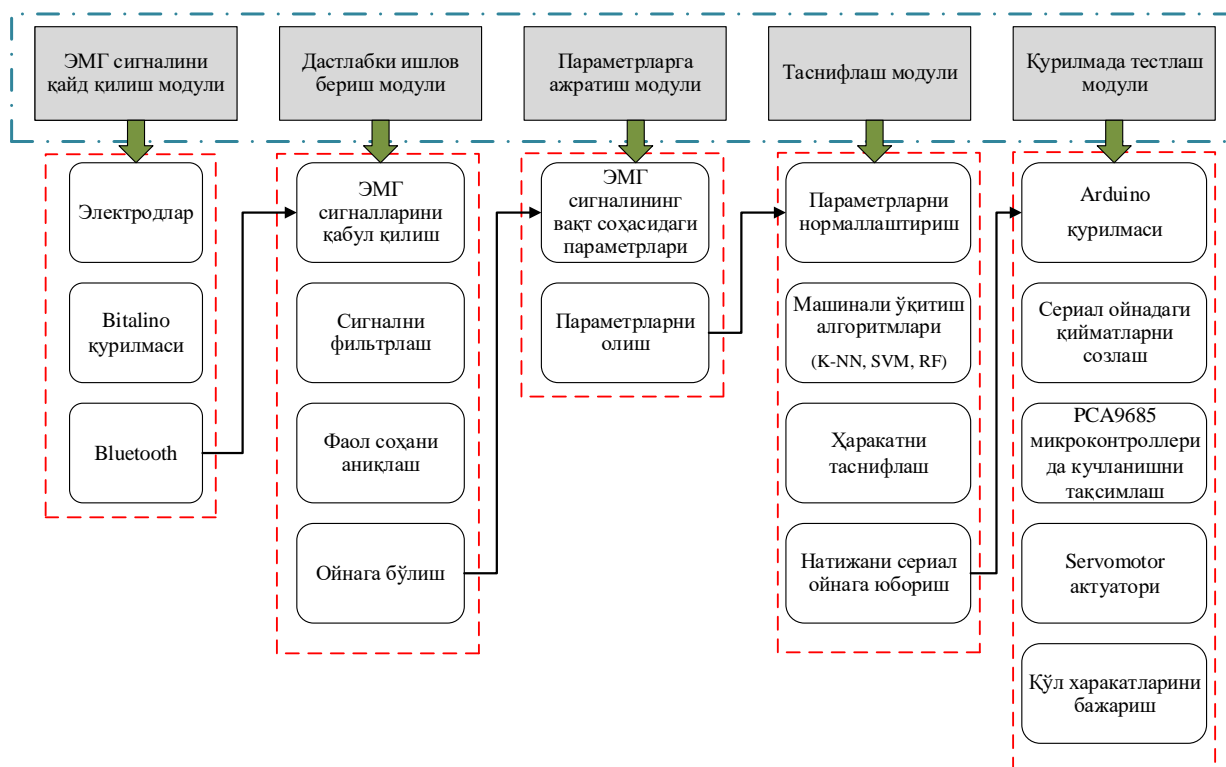
6 - расм. Реал вақт режимида қўл ҳаракатларини таснифлаш алгоритм блок схемаси

Реал вақт режимида қўл ҳаракатларини таснифлаш алгоритми дастлабки ишлов берилган сигналнинг актив соҳасини аниқлаш, актив соҳадан параметрларни ажратиш, таснифлаш модели орқали ҳаракатларни таниш ва таниш натижаларини буйруқ ҳолатига ўтказиш ва амалга ошириш босқичларидан иборат (6-расм).

Диссертациянинг «ЭМГ сигнали асосида қўл ҳаракатларини танишнинг аппарат-дастурий мажмуаси ва амалиётга тадбиқи» деб номланган тўртинчи бобида ишлаб чиқилган ЭМГ сигналлари асосида қўл ҳаракатларини танишнинг аппарат-дастурий мажмуасининг имкониятлари, модуллари, маълумот алмашининг алгоритми ҳамда амалиёт тадбиқи бағишланган. Аппарат-дастурий мажмуасининг структураси қуйида келтирилган (7 -расм).

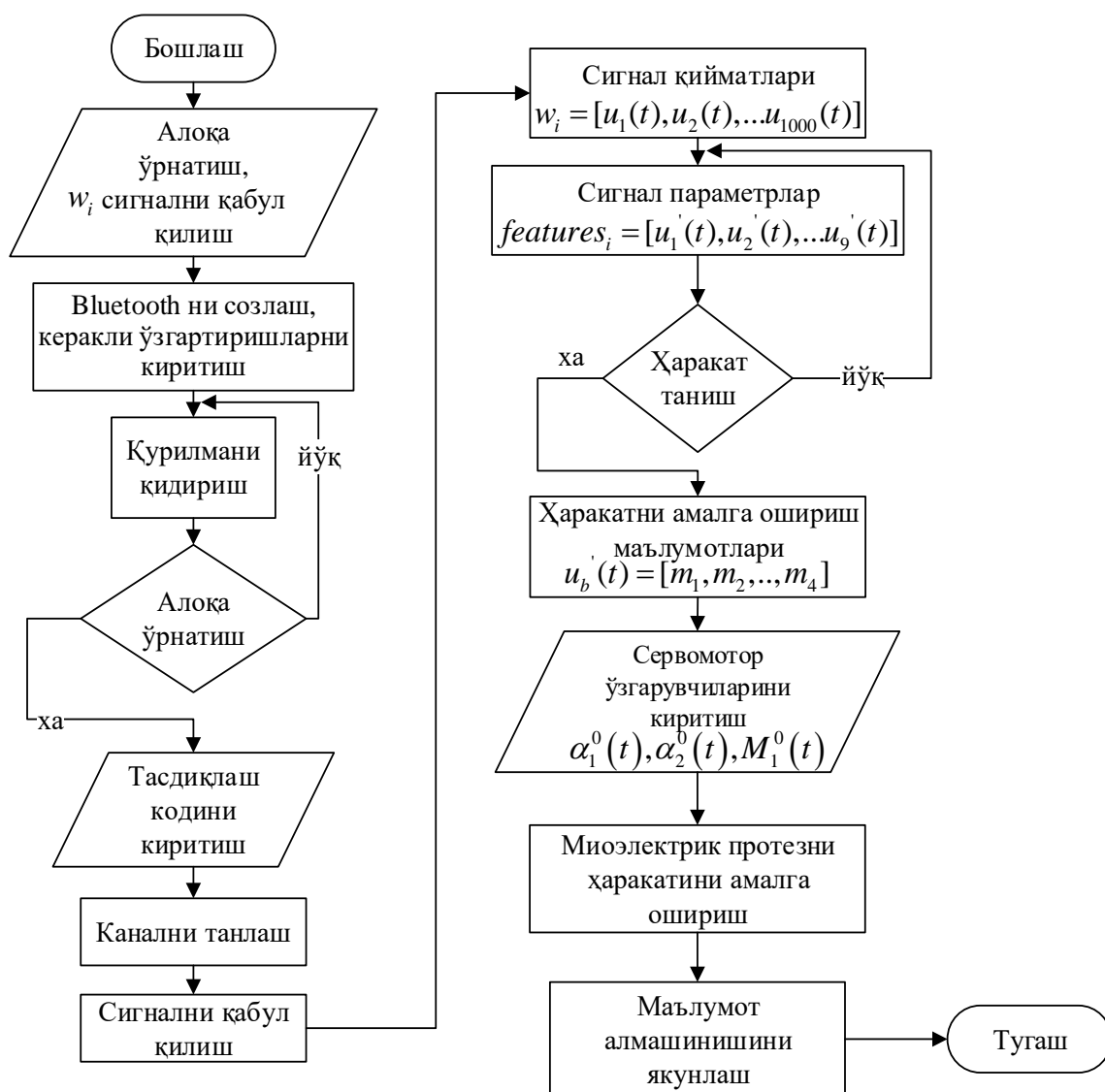


7-расм. ЭМГ сигнали асосида қўл ҳаракатларини танишнинг аппарат-дастурий мажмуасининг умумий структураси



8-расм. Аппарат-дастурий мажмуанинг функционал модуллари

Ушбу мажмуа ЭМГ сигналини қайд қилиш модули, сигналга дастлабки ишлов бериш модули, сигнал параметрларини олиш модули, ҳаракатни таснифлаш модули, қурилмада тестлаш модулларидан иборат (8-расм).



9-расм. Миоэлектрик протез ва инсон ўртасидаги маълумот алмашиниш алгоритм блок схемаси

Протез ва инсон ўртасидаги маълумот алмашинишни ташкил этишда асосий маълумотлар сифатида ЭМГ сигнали, сигналдан олинган параметрлар қийматлари, параметрларнинг қийматларига мос ҳаракат буйруқлари ва ҳаракат буйруларини ҳосил қилувчи сервомотор ўзгарувчилари олинади (9-расм).

ХУЛОСА

“Биосигналларга асосида қўл ҳаракатини таснифлаш алгоритмлари, аппарат-дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш” мавзусидаги диссертация бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар олинди:

1. ЭМГ сигналини қайд қилишда, ўрганилаётган соҳа (тана аъзоси, масалан биллак) анатомиясини ўрганиш, ундаги мавжуд мушаклар қайси ҳаракатларни бажара олиши мумкинлиги аниқланди. ЭМГ сигнални қайд этиш қурилмаси сифатида ВITalino қурилмаси тизими танланди. Чунки, ушбу қурилма бошқа ЭМГ сигнал қайд қилувчи қурилмалардан ўлчов частотасининг кўп танловлиги билан ажралиб туради. Қурилманинг сигналга сезгирлиги ва шовқинга бардошлилиги каби параметрлари билан ҳар жиҳатдан тадқиқотимиз учун мос келади.

2. Сигналга дастлабки ишлов бериш процедурасида илмий тадқиқотлардаги натижаларга таянган ҳолда кетма-кет ойнада ишлов бериш маъқул топилди ва унинг ўлчами 200мс танлаб олинди. ЭМГ сигналлари асосидаги таснифлаш масаласида тезкорлик ва кечикиш вақти кичик бўлиши муҳим омиллар бўлганлиги сабабли машинали ўқитиш усуллари асосида таснифлаш алгоритмлари ишлаб чиқиш тадқиқот учун мос келиши аниқланди. Ушбу усуллар миобошқарув тизимларида фойдаланилганда кам вақт сарфини таъминлайди ва қурилмалар билан интеграциялашуви ўта мослашувчан ҳисобланади.

3. ЭМГ сигнални реал вақт режимида фаол потенциал чегарасини аниқлаш учун алгоритм ишлаб чиқилди. Таклиф этилаётган алгоритмда ўртача хатолик 1.54%, ўртача оғиш қиймати 18.9 ни ташкил этди.

4. Таснифлаш алгоритмига кирувчи сигнал параметрлари содда ва осон ҳисобланишни таъминлаши керак. ЭМГ сигналнинг энегиясини таъминловчи вақт соҳасининг 9 та параметрлари ҳисобланиши ва кўриниши соддалиги билан юқоридаги муаммони ҳал қилади.

5. ЭМГ сигнали асосида қўл ҳаракатларини таниб олиш самарадорлиги кўп жиҳатдан қурилган ЭМГ ўқув танланманинг ҳажми ва сифатига боғлиқ. Ушбу муаммони ҳал этиш учун ЭМГ сигналнинг ўқув танланмасини реал вақт режимида автоматик тарзда шакллантирадиган алгоритм ишлаб чиқилди.

6. Қўл ҳаракатлари ва сенсорлар (каналлар) сонининг боғлиқлиги аниқланди. Қўлнинг ҳаракатлари сонига қараб максимал сенсорлар сонининг заруратини кўрсатади. Бир каналли қурилмада 3-4 тагача қўл ҳаракатларини таснифлаш мумкин эканлигини исботлаган ҳолда, 7 та қўл ҳаракатини юқори аниқликда таснифлаш учун 5 та сенсор (канал) дан фойдаланиш етарли.

7. Реал вақт режимида қўл ҳаракатларини таснифлаш алгоритми ишлаб чиқилди. Шунини таъкидлаш керакки, сигналнинг вақт соҳасидаги параметрлари таснифлашда 93% ва 95% натижани берди. Реакция вақти мос равишда 223мс ва 232мс ни ташкил етди.

8. Ишлаб чиқилган алгоритмлар асосида яратилган аппарат-дастурий мажмуасининг функционал тузилиши, умумий архитектураси ва ҳар бир модули ишлаб чиқилган. Мажмуада интеграция ишлаб чиқилган бўлиб, физиологик сигнални электр сигнал кўринишидаги буйруқ шаклигача келтиришда интерфейс ва интеграция қоидалари ва созиламалари амалга оширилди.

9. Ишлаб чиқилган мажмуанинг амалиётда қўлланилиши бўйича орқа мия шикастланиши касаллиги билан оғриган беморларнинг қўл ҳаракатларини реабилитация қилишда янги усул яратилган. Беморлар устида ўтказилган тажрибалар натижасида касалланган қўлнинг ҳаракатлари сонини 3 мартагача ошириш орқали физиотерапия усулининг кўпфункционалликка эришилди ва беморнинг реабилитация қилиш муддатини тахминан 2-3 мартагача камайтириш имконини берди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

ЗОХИРОВ КУДРАТЖОН РАФИКОВИЧ

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО
КОМПЛЕКСА КЛАССИФИКАЦИИ БИОСИГНАЛОВ ДВИЖЕНИЙ
РУКИ**

05.01.04 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин,
комплексов и компьютерных сетей

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Тошкент – 2021

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в последние годы становится все больше научных работ, посвященных разработке аппаратно-программных средств совершенствования цифровой обработке медицинских сигналов, классификации сигналов на основе параметров и их реализации. Основной причиной этого является использование биосигналов организма человека при реабилитации пациентов с двигательными дисфункциями. В настоящее время методы и устройства реабилитации на основе биосигналов позволяют с высокой точностью осуществлять анализ состояния больных в режиме реального времени. Важнейшими задачами в этом направлении являются обработка биосигналов в режиме реального времени, извлечение из сигнала необходимых параметров и интеграция результатов с соответствующими устройствами. В этой связи, в развитых странах в данной области динамично развивается разработка новых методов, алгоритмов, устройств, в частности, в таких странах как Италия, Швеция, США, Великобритания, Япония, Китай, Португалия, Российская Федерация ведется большая работа в сфере реабилитации двигательной системы человека посредством классификации движений.

В мире ведутся научные изыскания по содействию реабилитации двигательных функций людей, разработке современных качественных устройств реабилитации, что позволяет вернуть к привычной жизни ампутантов, инвалидов, а также людей с частичным или полным нарушением двигательных функций. Классификация движений на основе сигналов электромиографии позволила создать ментально управляемые протезы, которые могут заменить органы движения ампутантов. Таким образом, актуальными научно-прикладными проблемами являются вопросы обработки сигнала электромиографии, оценки двигательных функций человека, алгоритм определения границы активности сигнала электромиографии, алгоритм автоматической учебной выборки сигнала электромиографии в режиме реального времени, разработки алгоритмов классификации движений руки в режиме реального времени на основе методов машинного обучения, а также разработки аппаратно-программных средств на их основе.

В Республике особое внимание уделяется улучшению качества реабилитации на основе информационно-коммуникационных технологий, создания средств цифровой обработки биосигналов, совершенствования средств классификации движения рук. В Стратегии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан по пяти приоритетным направлениям в 2017-2021 годах определены такие задачи как «...обеспечение обязательных социальных гарантий населению, усиление социальной защиты уязвимых слоев населения и государственной поддержки пожилым людям и лицам с ограниченными возможностями, улучшение социального обслуживания, ... внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику,

социальную сферу, системы управления»². Одним из важных вопросов при реализации данных задач в сфере реабилитации является, в частности, сокращение продолжительности лечения на основе реабилитации пациентов с инвалидностью с применением современных методов и аппаратно-программных средств.

Данное диссертационное исследование в определенной мере служит осуществлению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», от 30 июня 2017 года №УП-5099 «О мерах по коренному улучшению условий для развития отрасли информационных технологий в республике», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 2 августа 2018 года №ПП-3894 «О мерах по внедрению инновационной модели управления здравоохранением в Республике Узбекистан», Законом Республики Узбекистан от 15 октября 2020 года №ЗРУ-641 «О правах лиц с инвалидностью», по содействию социальной адаптации инвалидов посредством разработки средств, способствующих реабилитации, или устройств, компенсирующих частично или полностью потерянные функции конечностей ампутантов, а также другими нормативно-правовыми документами, касающимися данной сферы.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии республики IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. A.Phinyomark, D.Farina, H.Zhang, J.Taylor, M.Ferrari, M.Oskoei, P.Phukpattaranont, R.Khushaba, B.Hudgins, H.Silva, G.Tsenov, A.Gydikov, O.C.Сушкова, Д.А.Краснобаев, Д.Р.Сафин, Г.В.Дмитров, Д.А.Аббасова проводили научные исследования, посвященные классификации движений рук на основе сигналов ЭМГ, разработке множеств данных, аппаратно-программных комплексов, анализу параметров сигналов, разработке алгоритмов анализа данных сигнала.

В нашей Республике ряд отечественных ученых вели научные исследования и внесли свой вклад в развитие данной сферы, в частности, М.М.Камилов вел изыскания по разработке алгоритмов распознавания в области интеллектуальной обработки данных, в работах Ш.Х.Фозилова рассматривались алгоритмы определения и выбора признаков, М.М.Мусаев осветил вопросы распознавания речевых сигналов, Х.Н.Зайнидинов вел изыскания в области обработки медицинских сигналов и изображений.

В результате изучения и анализа литературы выявлено, что в недостаточной мере изучены вопросы разработки аппаратно-программного комплекса определения параметров сигнала, обеспечивающих высокую

² Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

точность при классификации, алгоритмов классификации движений рук на основе сигналов электромиографии.

Связь темы диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках международного проекта 561621-EPP-1-2015-1-IT-EPPKA2-SVNE-JP «Реабилитация в медицине» программы Erasmus+ (2016-2018), плана научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Целью исследования является разработка аппаратно-программного комплекса и алгоритмов классификации движений рук с помощью методов машинного обучения на основе сигналов электромиографии.

Задачи исследования:

анализ существующих биосигналов, их основные отличия от других сигналов, записывающих устройств, алгоритмов обработки, а также методов классификации на основе алгоритмов машинного обучения;

разработка алгоритма определения потенциала активности сигнала электромиографии и выявление параметров высокой точности при классификации движений рук;

разработка алгоритма получения учебной выборки сигнала, используемого для классификации сигналов ЭМГ;

разработка алгоритма классификации движений рук на основе методов машинного обучения в режиме реального времени;

функциональное проектирование и разработка аппаратно-программного комплекса классификации биосигналов движений рук, разработка алгоритма обмена информацией и решение задачи интеграции с протезом.

Объектом исследования являются сигналы ЭМГ, полученные на основе записей данных разных людей, множества параметров по их результатам, а также процесс обучения алгоритмов машинного обучения.

Предмет исследования – методы формирования учебной выборки сигналов ЭМГ, методы и алгоритмы интеллектуального анализа данных, устройства записи сигналов ЭМГ, процессы интеграции, технологии аппаратно-программных средств, классифицирующих движения рук.

Методы исследования. В ходе исследования использовались методы цифровой обработки сигналов, методы статистического анализа, интеллектуальные методы обработки данных, методы разделения параметров сигналов, технологии программирования.

Научная новизна заключается в следующем:

разработан алгоритм определения границы потенциала активности электромиографического сигнала в режиме реального времени учитывая среднего отклонения сигнала;

разработан алгоритм формирования учебной выборки сигналов электромиографии в режиме реального времени на основе одноканального устройства Биталино с аналого-цифровым преобразователем AD8232;

разработан алгоритм классификации движений руки, воздействующих на определенные предметы, посредством методов машинного обучения в режиме реального времени на основе значимых параметров сигналов электромиографии;

разработан алгоритм обмена информацией с функциональными модулями аппаратно-программного комплекса на основе сигналов электромиографии для распознавания движений руки.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

спроектирована функциональная структура аппаратно-программного обеспечения классификации биосигналов движений руки;

сформирована учебная выборка сигнала для осуществления процесса классификации движений руки;

разработана программа и предложен алгоритм классификации движений рук на основе сигнала ЭМГ в режиме реального времени;

для реабилитации ампутантов, лиц с инвалидностью внедрена программа классификации движений руки в режиме реального времени.

Достоверность результатов исследования обоснована последовательностью обработки сигнала ЭМГ, методами определения границы активного потенциала сигнала ЭМГ, правилами организации учебной выборки сигнала ЭМГ, математическим аппаратом используемых входящих параметров при классификации движений руки, проведенным экспериментом и сопоставлением результатов тестирования с результатами, полученными с помощью устройства.

Научная и практическая значимость результатов. Научная значимость результатов исследования обоснована вкладом разработанных методов и алгоритмов в перспективное развитие теоретических основ внедрения миоэлектрических протезов в Узбекистане на базе движений руки посредством сигналов электромиографии.

Практическая значимость результатов исследования подтверждается возможностью применения разработанных методов и алгоритмов в процессе реабилитации пациентов с проблемами опорно-двигательного аппарата.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, связанных с решением задачи классификации движений рук на основе сигнала ЭМГ в режиме реального времени:

разработанный аппаратно-программный комплекс по классификации основных движений руки, оказывающих воздействие на какой-либо предмет, на основе сигнала ЭМГ в режиме реального времени внедрен в деятельность Центра реабилитации и протезирования лиц с инвалидностью Кашкадарьинской области (справки Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 29 июля 2021 года №33-8/5407 и Агентства по развитию медико-социальных услуг от 27 августа 2021 года №09-01-12/437). Результаты научного исследования испытаны на пациентах медицинских учреждений с заболеваниями SCI (spinal cord injury, травмы спинного мозга) (уровни C5-C8), что позволило достигнуть

многофункциональности метода физиотерапии путем трехкратного увеличения движений больной руки в результате проведенных с пациентами экспериментов и сократить примерно в 2-3 раза срок реабилитации больных;

разработанные программные модули для классификации с помощью сигнала ЭМГ на основе алгоритмов машинного обучения внедрены в деятельность Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра терапии и медицинской реабилитации (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 29 июля 2021 года №33-8/5407). В результате научного исследования при проведении реабилитации пациентов медицинских учреждений с заболеваниями SCI (spinal cord injury, травмы спинного мозга) (уровни C5-C8) с личным участием физиотерапевта и их движениями руки, осуществлены испытания, которые позволили в 2-3 раза увеличить количество движений больной руки и примерно в 2-3 раза сократить срок реабилитации пациентов.

Апробация результатов исследования. Результаты обсуждены на 6 международных и 10 Республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликованы всего 23 научные работы, из них 8 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией к публикации основных научных результатов докторских диссертаций, 8 статей - в научных журналах, из них 1 - в зарубежном журнале и 7 - в Республиканских журналах. Получены 2 свидетельства Агентства интеллектуальной собственности о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, списка условных обозначений, терминов и приложений. Объем диссертации составляет 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна, практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрывается теоретическая и практическая значимость результатов исследования, приведены внедрение результатов исследования, сведения об опубликованности результатов и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Анализ современных аппаратно-программных средств и методов обработки биосигналов**» описаны виды, происхождение, характеристики биосигналов, строение нейро-мышечной

системы, анализ современных устройств записи биосигналов, анализ алгоритмов, использованных в классификации сигналов электромиографии.

Сигнал электромиографии (ЭМГ) является сигналом, определяющим электрический потенциал мышц, и основным критерием движения. При записи сигнала с правильным определением связи движения с мышцами, можно упредить увеличение данных сигнала, тем самым и сложность процессов вычисления.

Таблица 1.

Связь движений руки и мышц запястья

	Локоть: сгибание	Движение ладони: (поворот ладони на 180 градусов)	Запястье: Сгиб ладони вперед	Локоть: сгиб ладони назад	Движение ладони: собрать в кулак	Движение ладони: Взять 1-2-3 пальцами	Сгибающие движения 2-5 пальцев от 2-й кости	Сгибание 2-5 пальцев назад	Движение ладони: крАЗжать кулак
flexor carpi radialis	X	X	X		X	X			X
palmaris longus	X	X	X						
pronator teres	X	X							
flexor digitorum superficial			X				X		
flex carpi ulnaris			X	X					
flexor pollicis longus								X	

С учетом того, что движения руки осуществляются с помощью мышц локтя, можно составить таблицу связей движений рук с мышцами руки или их комбинацией. Это, в первую очередь, зависит от правильной реализации таких важных факторов, как фиксирование электродов к нужным мышцам для определения максимальных двигательных возможностей ампутанта и записи сигнала ЭМГ. В локте человека существует шесть основных мышц, обеспечивающих движения рук. Некоторые движения выполняются самостоятельно одной мышцей, другие же движения осуществляются комбинацией мышц (Табл. 1).

Во второй главе диссертации «**Методы классификации движений руки с помощью сигналов электромиографии**» описаны методы анализа и выбора параметров сигнала при классификации сигналов ЭМГ, приводятся данные по разработке алгоритмов определения границы потенциала активности сигнала электромиографии. Представлены алгоритмы машинного обучения при классификации сигнала ЭМГ, а также полученные результаты по ним.

Общая процедура классификации сигнала ЭМГ следующая: сбор данных, первичная обработка данных, выделение параметров, отбор и/или

сокращение параметров, отбор модели классификации, обучение и оценка классификатора.

В рамках исследования проведен анализ параметров сигнала ЭМГ, посредством анализа параметров промежутков времени (ПВ), частоты (ЧС) и параметров временно-частотной области (ВЧС) выделены 9 параметров, обеспечивающих оперативность и точность данных. Математическое выражение данных параметров нашло отражение в таблице 2:

Таблица 2.

Временные параметры, характеризующие энергию сигнала ЭМГ

Параметры сигнала ЭМГ	Математическое выражение
Среднее абсолютное значение	$MAV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i $
Длина волны	$WL = \sum_{i=1}^N (x_i - x_{i-1})$
Среднее изменение амплитуды	$ACC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} x_{i+1} - x_i $
Объединенная ЭМГ	$IEMG = \sum_{i=1}^N x_i $
Энергия сигнала	$SSI = \sum_{i=1}^N x_i ^2$
Количество параметров пересекающих ноль	$ZC = \sum_{i=0}^{N-1} f(x_i * x_{i+1}),$ $f(x) = \{1 \text{ если } x \geq \kappa; \text{ иначе } 0\}$
Средний квадратический корень	$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i^2}$
Логарифмический детектор	$\log D = e^{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log(x_i)}$
Амплитуда Вилсона	$WAMP = \sum_{n=1}^{N-1} f(x_{i+1} - x_i)$ $f(x) = \{1 \text{ если } x > \varepsilon; \text{ иначе } 0\}$

Приведенные параметры сигнала являются параметрами времени, описывающими его энергию. При вычислении данных параметров значимым является выделение сигнала в период сокращения мышц. Один из методов определения границы активности мышц – визуальная проверка. Данный метод может быть точным, но в то же время сложным. Вместе с тем, поскольку в режиме реального времени этот метод отличается низкой

эффективностью, разработаны несколько алгоритмов, определяющих автоматический потенциал активности.

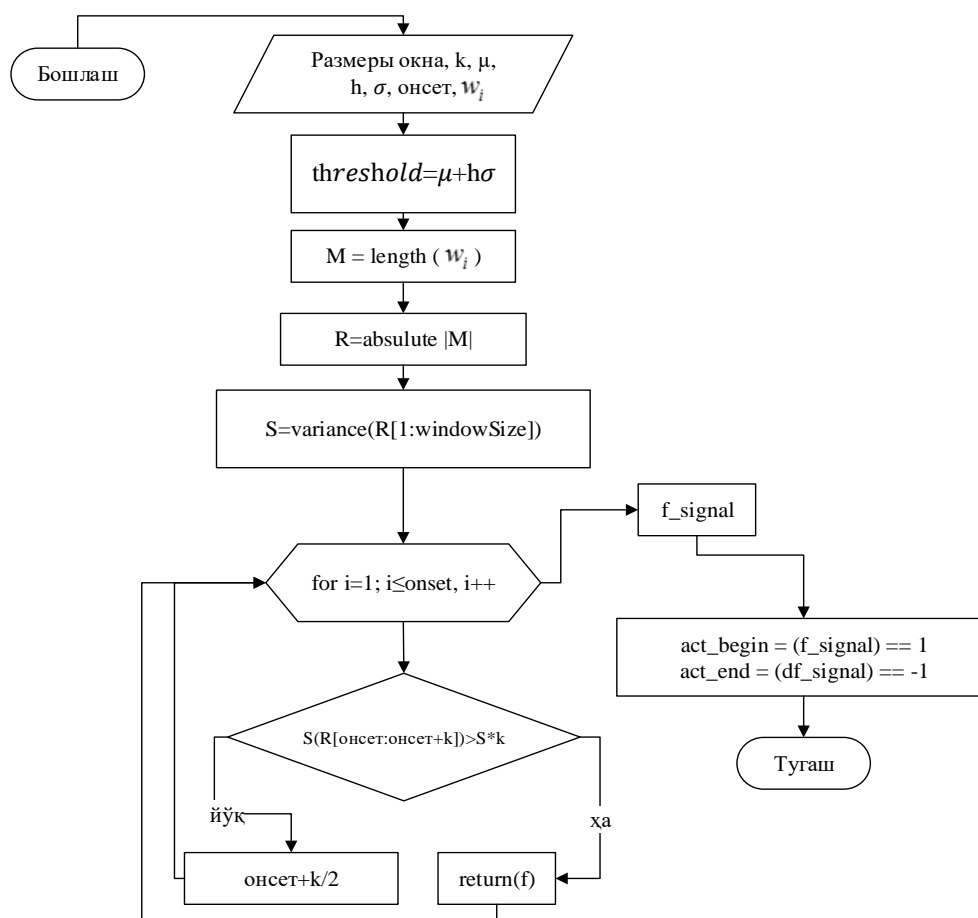


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения области активности сигнала ЭМГ

Таблица 3. Сравнительный анализ алгоритмов определения активной границы сигнала ЭМГ с помощью различных алгоритмов

Алгоритм	Среднее отклонение	Средняя дисперсия	Порядок текущего сигнала
Алгоритм единой границы	3,1%	32.2	98
Алгоритм с двумя границами	2,56%	22.6	156
Предлагаемый алгоритм	1,54%	18.9	352
Алгоритм ТКЕО	2,02%	27.5	402
Алгоритм изменения признаков	2,48%	25.8	718
Алгоритм Коми	2,95%	32.8	956

Ниже приводится сравнительный анализ предложенного алгоритма и алгоритмов автоматического определения потенциала активности сигнала ЭМГ (таблица 3). В предложенном алгоритме определена точка начала сигнала (онсет), выполняется цикл до изменения дисперсии по длине окна и onset сигнала ЭМГ до того момента, пока не превысит производное дисперсии с границей. Если в полученном сигнале (f_signal) участок,

обеспечивающий изменение значения от 0 до 1, обозначает момент начала активности сигнала, участок изменения значений от 1 до 0 подразумевает активизацию сигнала ЭМГ (рис. 1).

В предлагаемом алгоритме значение среднего отклонения составляет 1,54%, а значение средней дисперсии - 18.9.

Анализы показали, что модель машинного обучения при классификации движений рук в режиме реального времени на основе параметров имеет преимущество перед другими методами классификации за счет таких факторов, как решение задач интеграции с устройством и обеспечение успешного результата классификации посредством малочисленных входных параметров.

В третьей главе диссертации «**Разработка алгоритма классификации движений руки на основе машинного обучения сигналов электромиографии**» разработаны алгоритм организации учебной выборки сигнала ЭМГ и алгоритмы классификации движений руки в режиме реального времени.

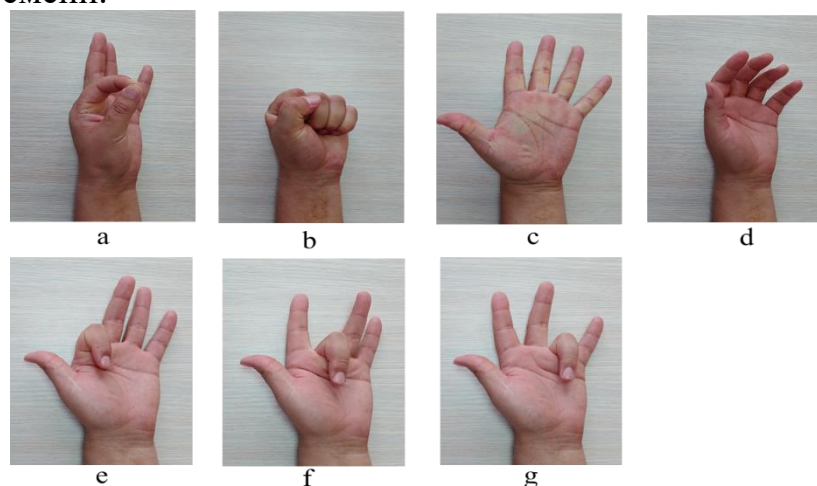


Рис. 2. Используемые движения руки.

Организована учебная выборка, используемая для обучения модели классификации. В учебной выборке имеются сигналы, записанные для 7 видов движения рук 42 человек. Движения рук, использованные при их классификации, приводятся на рис. 2.

В ходе исследования разработан алгоритм организации учебной выборки сигнала ЭМГ в режиме реального времени (рис. 3).

В исследовании для решения задач классификации сигнала ЭМГ использованы методы машинного обучения, т.е. методы RF (random forest, случайный лес), SVM (support vector machine, машина опорных векторов) и k-NN (k-nearest neighbors, k-ближайших соседей). Данные алгоритмы предоставляют возможности точной классификации сигналов, получаемых в результате движения рук, посредством малочисленных входных параметров сигнала, обеспечивают экономию времени при использовании в системах ментального управления, а также являются наиболее адаптивными при интеграции с соответствующими устройствами.

В аппаратно-программном обеспечении классификации движений рук основным критерием является время отклика (response time).

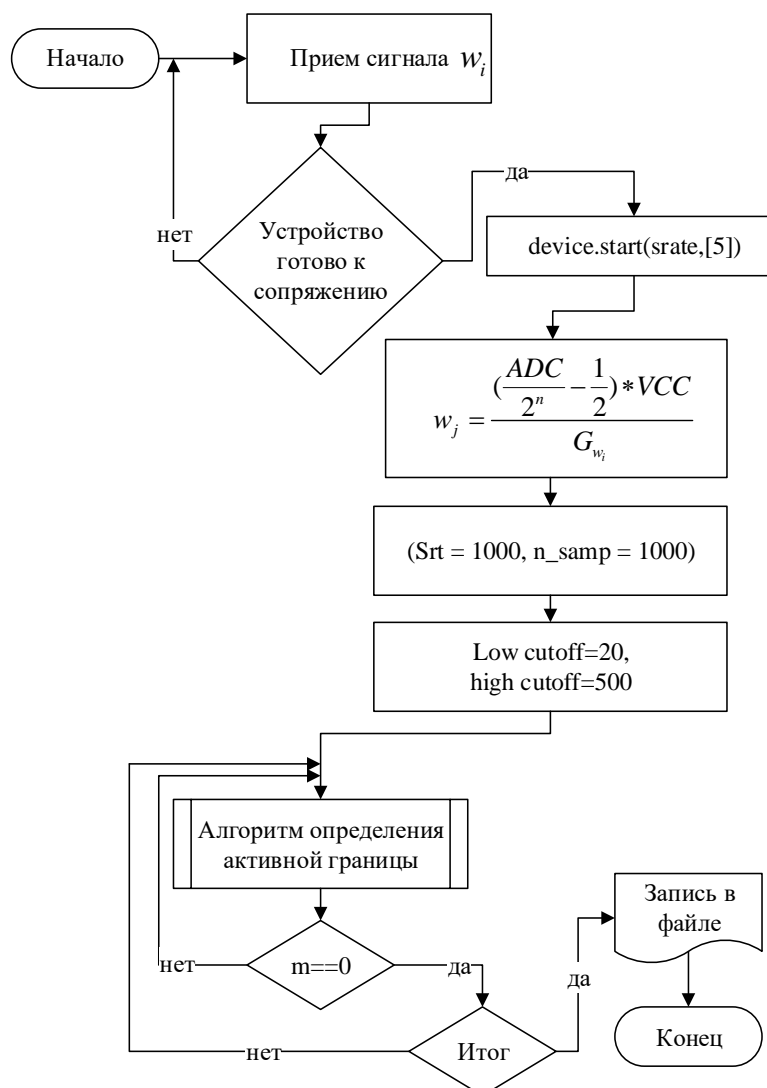


Рис. 3. Блок-схема алгоритма получения учебной выборки сигнала ЭМГ в режиме реального времени

Время отклика оценивается по двум факторам: время сбора данных сигнала (data collection time), время анализа данных (data analysis time). Время сбора данных характеризуют процессы записи и первичной обработки сигналов, время анализа данных определяет время, затрачиваемое на вычисление и классификацию параметров сигналов. Для минимизации времени отклика на сегодня существуют два метода: метод сокращения времени на основе параллельных алгоритмов и метод оптимизации времени с помощью метода инжиниринга параметров (features engineering). Параллельные алгоритмы, в основном, используются, исходя из уровня внутренних возможностей аппаратного обеспечения. Второй метод (features engineering) осуществляется в зависимости от максимального воздействия на параметры сигнала. Точность классификации движений руки определяется

по нескольким метрическим показателям. Основным из них является точность классификации, которая вычисляется следующим образом:

$$Точность_{система} = \frac{\sum_{i=1}^u \sum_{j,k=1}^g n_{i,j,k}}{\sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^g \sum_{k=1}^g n_{i,j,k}}$$

Показатель точности каждого пользователя определяется следующим образом:

$$Точность_{пользователь(i)} = \frac{\sum_{j,k=1}^g n_{i,j,k}}{\sum_{j=1}^g \sum_{k=1}^g n_{i,j,k}}$$

здесь $n_{i,j,k}$ - количество движений руки, которые выполнены пользователем i , модель классифицируется как j , но на деле является k , $i \in I = i_1, i_2, \dots, i_u$ - множество протестированных пользователей, $j \in J = j_1, j_2, \dots, j_u$ - множество спрогнозированных классов, $k \in K = k_1, k_2, \dots, k_u$ - множество истинных классов, u - количество тестированных попыток в сети и g - номер класса.

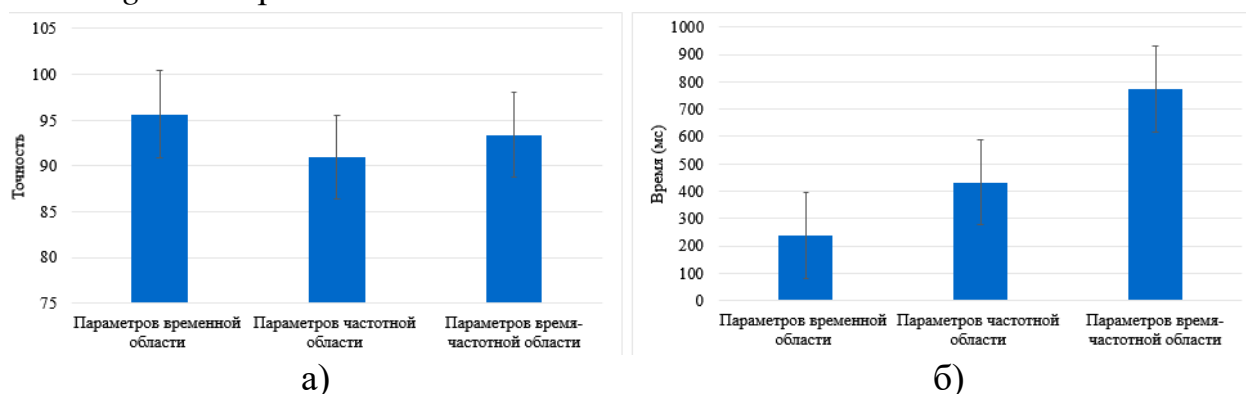


Рис. 4. Оценка классификации сигнала ЭМГ в разных областях (а) и результаты временных затрат при классификации сигнала ЭМГ (б)

При этом движении средние показатели точности, достигнутой по параметрам в трех участках сигнала, для ПВ составляют 98%, для ЧС – 92% и для ВЧС – 97%. В общей сложности в множествах этих трех участков достигнута точность ПВ – 95%, ЧС – 91%, ВЧС – 93% (рис. 4(а)).

Эксперименты показали, что параметры промежутков времени сигнала ЭМГ эффективны по минимальным временным затратам (рис. 4 (б)). В исследовании учитывались в основном классификация большого количества движений рук при использовании меньшего количества сенсоров, а также точность классификации и время реакции. При этом по возможности минимизированы значения DCT (data collection time) и DAT (data analysis time). Точность классификации в режиме реального времени выше, чем в

результатах других исследований. Тестирование устройства производилось на встроенных системах (Embedded System).

В приводимой ниже диаграмме описано сопоставление научных результатов исследования с результатами других изысканий (рис. 5).

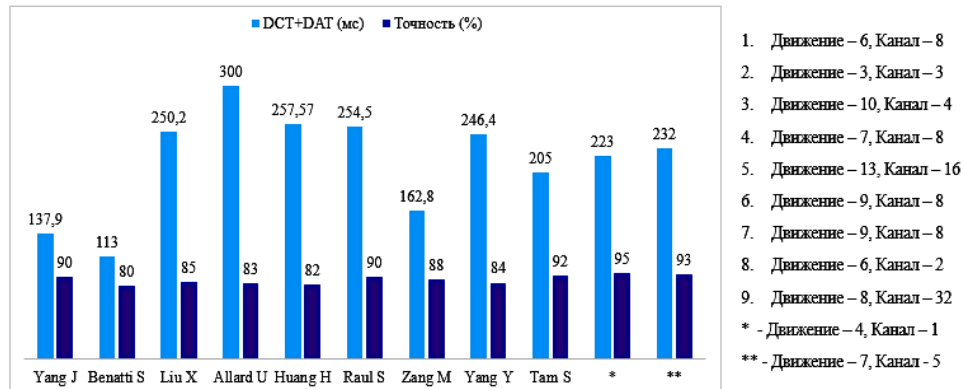


Рис. 5. Сравнительный график результатов проведенных исследований

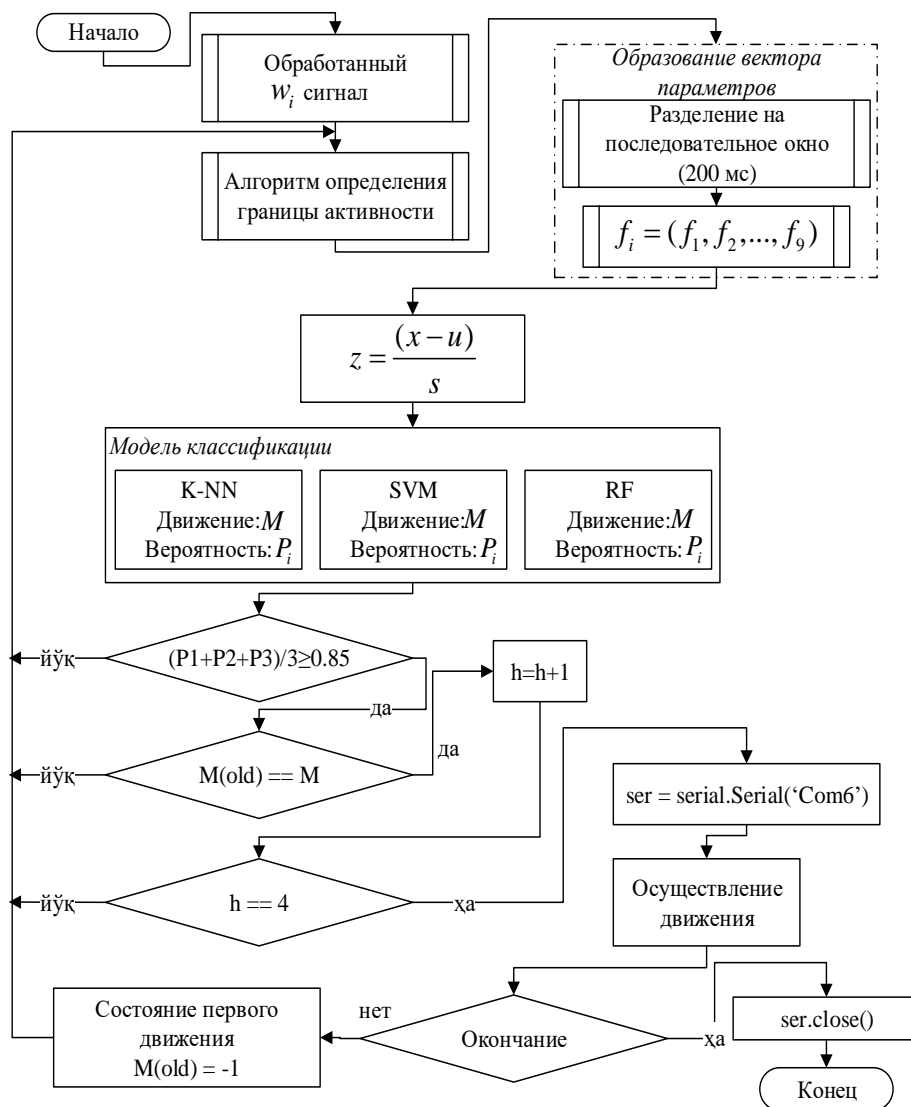


Рис. 6. Блок-схема алгоритма классификации движений руки в режиме реального времени

Алгоритм классификации движений руки в режиме реального времени включает в себя этапы определения активной области сигнала после первичной обработки, выделения параметров из активной области, распознавания движений посредством модели классификации, преобразование результатов распознавания в приказы и реализации (рис. 6).

Четвертая глава диссертации «**Аппаратно-программный комплекс распознавания движений руки на основе сигнала ЭМГ и его внедрение**» посвящена возможностям, модулям алгоритма обмена данными разработанного аппаратно-программного комплекса распознавания движений руки на основе сигналов ЭМГ, а также его внедрению в практику. Структура аппаратно-программного комплекса приводится на (рис. 7).

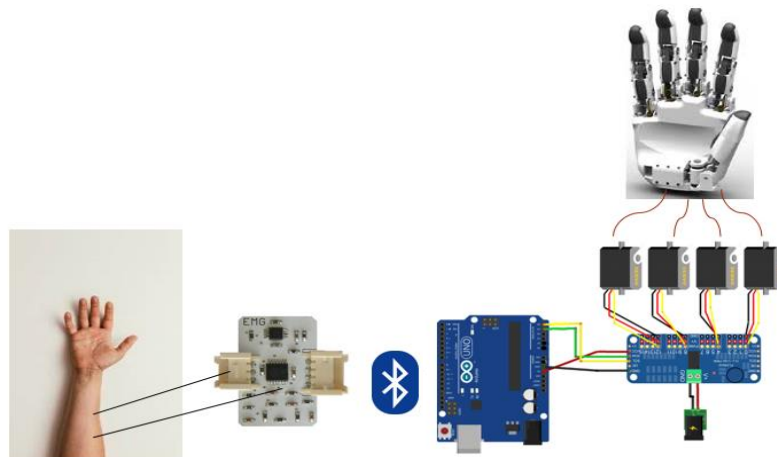


Рис. 7. Общая структура аппаратно-программного комплекса распознавания движений рук на основе сигнала ЭМГ

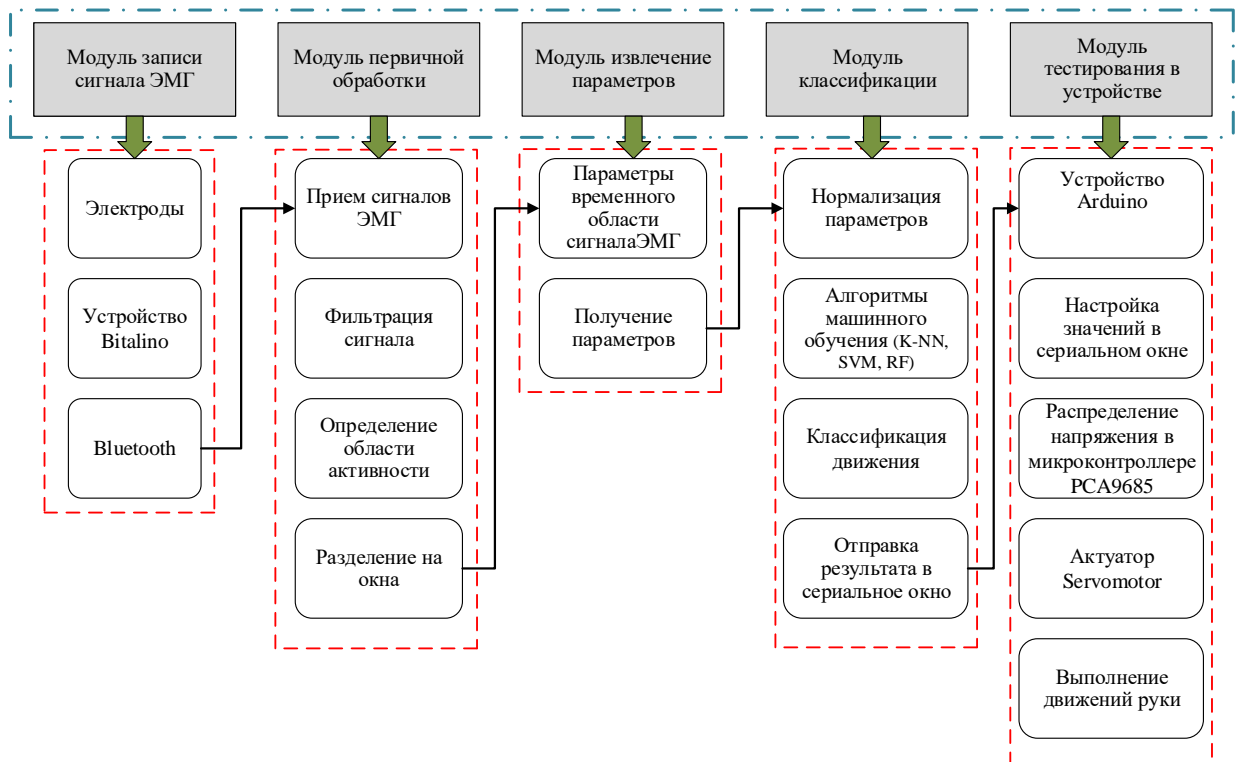


Рис. 8. Функциональные модели аппаратно-программного комплекса

Данный комплекс состоит из следующих модулей: модуль записи сигналов ЭМГ, модуль первичной обработки сигнала, модуль получения параметров сигнала, модуль классификации движений, модуль тестирования на устройстве (рис. 8).

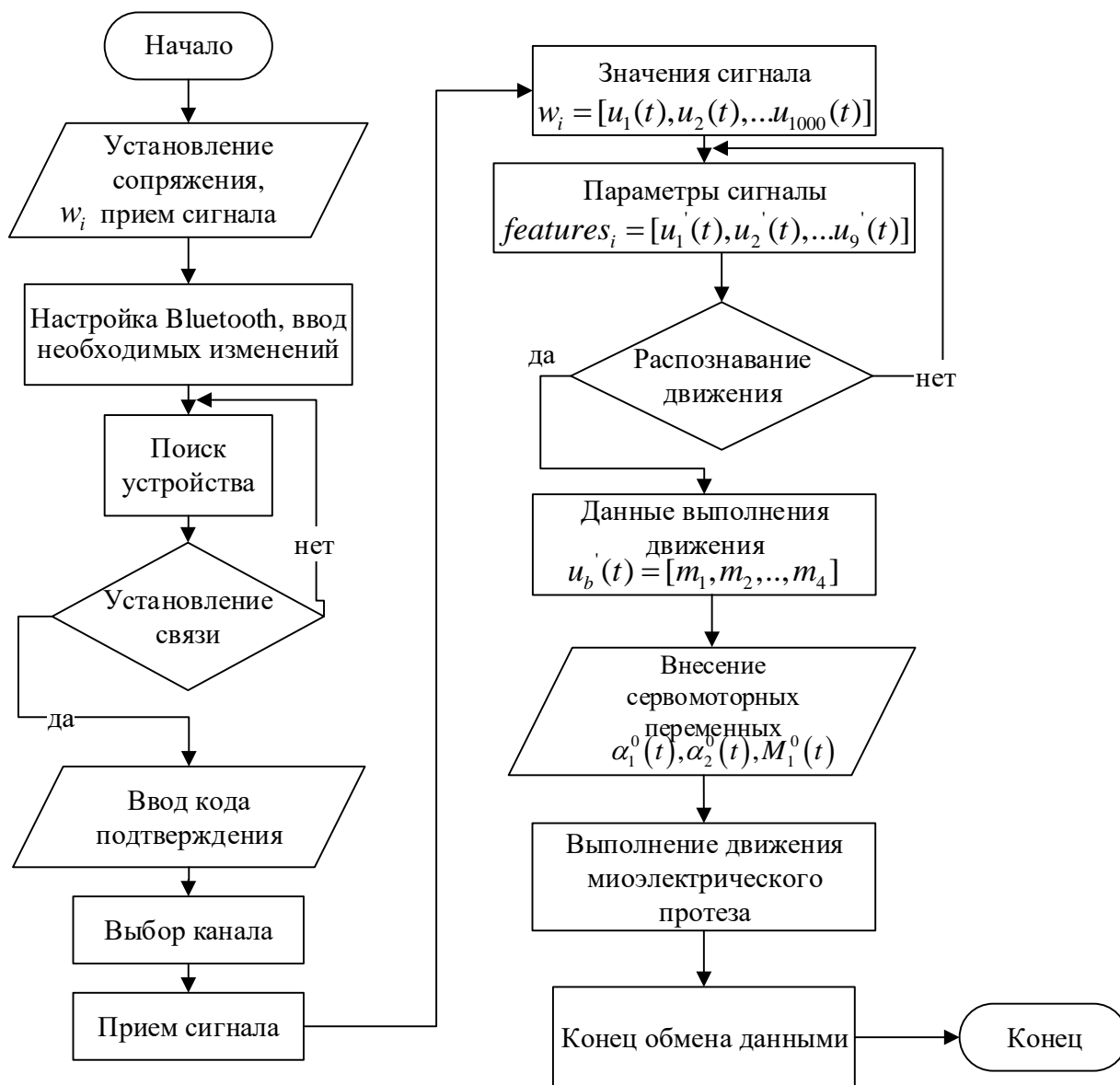


Рис. 9. Блок-схема алгоритма обмена информацией между миоэлектрическим протезом и человеком

При составлении между протезом и человеком обмена информацией в качестве основных данных взяты сигнал ЭМГ, значения параметров сигнала, приказы на выполнение движений, соответствующие значениям параметров, а также сервомоторные переменные, создающие двигательные приказы (рис. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований в рамках диссертационной работы по теме «Разработка алгоритмов и аппаратного-программного комплекса классификации биосигналов движений руки» представлены следующие выводы:

1. Выявлена возможность изучения анатомии рассматриваемой области (части тела, например, локтя) при записи сигнала ЭМГ, выполнения существующими мышцами определенных движений при этом. В качестве устройства записи сигнала ЭМГ выбрано устройство ВITalino, поскольку этот прибор выделяется среди других устройств возможностью большого выбора частоты измерения. Кроме того, такие параметры прибора, как чувствительность к сигналам и устойчивость к шуму, соответствуют в определенной степени данному исследованию.

2. В ходе процедуры первичной обработки сигнала с опорой на результаты научных исследований выбрана обработка в последовательном окне, размеры которого составили 200 мс. Определено, что поскольку при классификации сигналов ЭМГ важными факторами являются оперативность и минимальное время задержки по времени, для данного исследования целесообразна разработка алгоритмов классификации на основе методов машинного обучения. Данные методы обеспечивают минимальные временные расходы при использовании в системах ментального управления и являются наиболее адаптируемыми к интеграции с устройствами.

3. Разработан алгоритм для определения границы потенциала активности сигнала ЭМГ в режиме реального времени. В предложенном алгоритме среднее отклонение и средняя дисперсия составляют 1,54% и 18,9% соответственно.

4. Необходимо обеспечить упрощенное и оптимальное вычисление параметров сигнала, входящего в алгоритм классификации. Данная проблема решается вычислением 9 параметров и простотой отображения отрезка времени, обеспечивающих энергию сигнала МГ сигнала.

5. Эффективность распознавания движений руки на основе сигнала ЭМГ во многом связана с объемом и качеством учебной выборки построенной ЭМГ. Для решения этой проблемы разработан алгоритм автоматического формирования учебной выборки сигнала ЭМГ в режиме реального времени.

6. Определена взаимосвязь движений руки и количества сенсоров (каналов). Количество движений руки показывает необходимость использования максимального количества сенсоров. Доказано, что в одном одноканальном устройстве можно классифицировать до 3-4 движений руки, то для классификации с высокой точностью 7 движений руки достаточно применение 5 сенсоров (каналов).

7. Разработан алгоритм классификации движений руки в режиме реального времени. Следует отметить, что классификация параметров

сигнала по времени показала результаты в 93% и 95%. Время реакции составило, соответственно, 223мс и 232мс.

8. Разработаны функциональная структура, общая архитектура и каждый модуль аппаратно-программного комплекса на основе разработанных алгоритмов. В комплексе разработана интеграция, осуществлены настройки и правила интеграции и интерфейса преобразования физиологического сигнала в приказ в форме электрического сигнала.

9. В рамках применения на практике разработанного комплекса разработан новый метод реабилитации движений руки пациентов с травмами спинного мозга. Достигнута многофункциональность метода физиотерапии путем повышения в 3 раза количества движений больной руки в результате проведенных с пациентами экспериментов, а также появилась возможность сократить в 2-3 раза сроки реабилитации пациентов.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

ZOHIROV KUDRATJON RAFIKOVICH

**DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AND HARDWARE – SOFTWARE
COMPLEX FOR THE CLASSIFICATION OF BIOSIGNALS OF HAND
MOVEMENTS**

05.01.04 – Mathematical and software of computers, complexes and computer networks

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2021

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2021.3.PhD/T2375.

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website (www.tuit.uz) and on the website of «Ziyonet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Turgunov Adilbek Muhtarovich**
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Official opponents: **Zaynidinov Hakimjon Nasiridinovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Rakhmatov Furkat Abdirazzokovich
candidate of technical sciences


Leading organization: **Tashkent state technical university named after Islam Karimov**


The defense will take place “29” october 2021 at 14:00 at the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).


The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 2270). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on “18” october 2021 y.
(Dispatching protocol No. 30 on “04” october 2021 y.).




R.Kh.Khamdamov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor


F.M.Nuraliev
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Docent


M.A. Rakhmatullaev
Chairman of the academic seminar under the
scientific council awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is to develop algorithms and a hardware-software complex for the classification of hand movements by electromyographic signals using machine-learning methods.

The object of the research work is electromyographic signals recorded from different people and a set of parameters generated from them, the process of learning machine-learning algorithms is considered.

The scientific novelty of the research work:

an algorithm for determining the limit of the activity potential of an electromyographic signal in real time was developed, taking into account the average deviation of the signal;

an algorithm was developed based on a single-channel Bitalino device containing an analog-to-digital conversion device AD8232, which automatically generates a real-time reading dataset of electromyographic signals;

an algorithm has been developed for classifying hand movements affecting certain objects using machine learning methods in real time based on significant parameters of electromyography signals;

an algorithm for information exchange with functional modules of the hardware-software complex based on electromyography signals for recognizing hand movements has been developed.

Implementation of the research results. Based on scientific results related to solving the problem of classifying hand movements based on an electromyographic signal in real time:

the hardware-software complex for classification of the main movements of the hand acting on an object on the basis of real-time electromyographic signal is introduced in the Kashkadarya regional center of rehabilitation and prosthetics of disabled people (certificates of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of July 29, 2021 No. 33-8/5407 and references of the Agency for the Development of Medical and Social Services dated August 27, 2021 (09-01-12 / 437). The results of the study were tested in patients with SCI (spinal cord injury) (levels of C5-C8) of medical institutions, the multifunctionality of the physiotherapy method was achieved by increasing the number of movements of the diseased hand up to 3 times as a result of experiments on patients, and the patient's rehabilitation time was approximately 2-3 times reduced;

software modules for the classification of movements using electromyographic signals based on machine learning algorithms were introduced at the Republican Scientific-Practical Medical Center of Specialized Therapy and Medical Rehabilitation (certificates of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of July 29, 2021 No. 33-8/5407). The results of the research showed that the method of rehabilitation of patients with SCI (spinal cord injury) (levels of C5-C8) in medical institutions was carried

out in the presence of a physiotherapist and his hand movements, so the number of movements of the affected hand increased by 2-3 times as a result of experiments on patients was created and allowed to reduce the rehabilitation period of the patient to about 2-3 times.

Publication of research results. The results of the dissertation were recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan in 23 scientific articles, including the main scientific results of the dissertation in a total of 8, 1 foreign and 7 national journals. Also received two certificates for software products designed for computers.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, a bibliography, references and applications. The volume of the dissertation is 118 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (1 часть; part 1)

1. Қ.Р.Зоҳиров., Б.А. Шаропова. Электромиография сигналини қайд қилишда сирт электродлари жойлашувининг таҳлили. “МУҲАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ АВЛОДЛАРИ” Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали. № 2(12), 2020. Тошкент.- Б.47-52. (05.00.00; №10).

2. А.М.Тургунов, Қ.Р.Зоҳиров, Б.О.Мухторов. Замонавий ахборот-коммуникацион технологиялар ёрдамида реабилитация қилиш босқичлари. “ТАТУ ХАБАРЛАРИ” журнали. №1(49)/2019.- Б.17-30. (05.00.00; №31).

3. А.М.Тургунов, Қ.Р.Зоҳиров, Б.А.Шаропова. Замонавий биоинтерфейс яратиш учун бармоқларнинг баъзи нозик ҳаракатларини таснифлаш. “ИННОВАЦИОН ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛИ” Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали. № 3(39), 2020. Қарши.- Б.29-35. (05.00.00; №38).

4. А.М.Турғунов., Қ.Р.Зоҳиров. Электромиография сигналини таснифлаш учун маълумотлар тўпламини ташкил этиш. “ТАТУ ХАБАРЛАРИ” журнали. №2(54)/2020.- Б.109-120. (05.00.00; №31).

5. А.М.Турғунов, Қ.Р.Зоҳиров. Биосигналларни қайта ишлашда фойдаланиладиган аппарат-дастурий комплексларнинг қиёсий таҳлили. “МУҲАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ АВЛОДЛАРИ” Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали. № 3(9), 2019. Тошкент.- Б.27-32. (05.00.00; №10).

6. А.М.Тургунов., Қ.Р.Зоҳиров. Биосигналларни қайта ишлашда замонавий биталино қурилмасидан фойдаланиш. “МУҲАММАД АЛ-ХОРАЗМИЙ АВЛОДЛАРИ” Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали. № 2(4), 2018. Тошкент.- Б.47-52. (05.00.00; №10).

7. Қ.Р.Зоҳиров. Сунъий интеллект алгоритмлари ёрдамида бармоқ ҳаракатларини таснифлаш. “ТАТУ ХАБАРЛАРИ” журнали. ТАТУ хабарлари. №1(53)/2020.- Б.2-13. (05.00.00; №31).

8. A. Turgunov, K. Zohirov, S. Rustamov and B. Muhtorov. "Using Different Features of Signal in EMG Signal Classification," 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). –Tashkent. 2020. pp. 1-5. (ОАК раёсатининг қарори 30.10.2020, № 287/9).

II бўлим (2 часть; part 2)

9. A. Turgunov, K. Zohirov and B. Muhtorov. A new dataset for the detection of hand movements based on the SEMG signal. 2020 IEEE 14th International Conference on Application of Information and Communication Technologies”. 2020. Tashkent. - P.1-4.

10. A. Turgunov, K. Zohirov, A. Ganiev and B. Sharopova. Defining the Features of EMG Signals on the Forearm of the Hand Using SVM, RF, k-NN

Classification Algorithms. 2020 Information Communication Technologies Conference. 2020. China. - P.260-264.

11. Қ.Р.Зоҳиров, Биосигналларнинг турлари ва таъбиати. Ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш шароитида инновациялар. Республика миқёсидаги илмий-техник конференция. Қарши-2019. - Б.535-538.

12. А.Тургунов, Ш.Норматов, Қ.Зоҳиров. Замонавий ахборот технологияларини тиббиётда қўллаш имкониятлари. Ахборот-коммуникация технологияларининг ривожланиш истиқболлари. Республика миқёсидаги илмий-техник конференция. Қарши-2018. - Б.85-87.

13. K.R.Zohirov., Implantation of information technologies in rehabilitation. STEMM: Science - Technology - Education - Mathematics – Medicine. Abstracts of Uzbek-Israel joint international conference. // Bukhara-Samarkand-Tashkent-2019. - P.171-173.

14. Қ.Р.Зоҳиров, Шарапова Б.Н, Одинаев М.Х. Электромиография усули асосида билак ҳаракатини ўрганиш. Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти. Республика миқёсидаги илмий-техник конференция. Тошкент-2020. - Б.13-15.

15. А.М.Турғунов, Қ.Р.Зоҳиров., Биосигналларни қайта ишлашда мўлжалланган замонавий биталино қурилмасини қиёсий таҳлили. Актуальные проблемы математического моделирование, алгоритмизация и программирования. Республиканской конференции с участием зарубежных ученых. Тошкент-2018. - С.411-417.

16. Қ.Р.Зоҳиров, Ш.Ф.Зувайтов. Биосигналларни қайта ишлаш усул ва воситалари. Ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш шароитида инновациялар. Республика миқёсидаги илмий-техник конференция. Қарши-2019. - Б.533-535.

17. Қ.Р.Зоҳиров, Б.А.Шарапова, Н.Гадойбоева. Электромиография сигнали асосидаги бошқарув тизимлари. Иқтисодиётнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти. Республика миқёсидаги илмий-техник конференция. Тошкент-2020. - Б.155-156.

18. А.М.Турғунов, Қ.Р.Зоҳиров. Қўл ҳаракатларини таснифлаш дастурий-аппарат мажмуаси. Худудларда рақамли иқтисодиётни ривожлантириш истиқболлари: муоммолари ва ечимлари. Республика миқёсидаги илмий-техник конференция. Қарши-2021. - Б. 432-434.

19. А.М.Тургунов, К.Р.Зоҳиров, Б.А.Шаропова, Б.О.Мухторов. The intellectual analysis of the state of cognitive and physical development of children on modern biotechnological equipment. Медэлектроника-2018. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии. Сборник научных статей. XI Международной научно-технической конференции. Минск-2018. - С.275-279.

20. Q.R. Zohirov. Biosignallarga asoslangan boshqaruv tizimlarini tashkil etishda mashinali o'qitish algoritmlaridan foydalanish. Actual problems and prospects of the development of intelligent information and communication systems IICS-2020. Proceedings of the Scientific Online International Conference, Tashkent-2020. - P.170-171.

21. А.М.Тургунов, Қ.Р.Зоҳиров. Биталино мобил қурилмалари ёрдамида биосигналларни қайта ишлаш дастурий-техник воситалари ёрдамида диагностик воситаларни яратиш. Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва оптималлаштиришнинг долзарб муаммолари". Халқаро илмий-техникавий конференция маърузалар тўплами. Қарши-2017. - Б.149-152.

22. Турғунов А.М., Зоҳиров Қ.Р., Ғаниев А.И., Шарапова Б.А. Реал вақт режимида мускул активлиги ва функционал кўрсаткичларини мониторинг қилувчи дастур. // Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги гувоҳнома № DGU 07420. 20.11.2019.

23. Зоҳиров Қ.Р., Мирзахалилов С.С. Реал вақт режимида қўл ҳаракатларини таснифловчи аппарат-дастурий мажмуа. // Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги гувоҳнома № DGU 11360. 05.05.2021.

«ТАТУ хабарлари» илмий журнали
таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз
тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

