

“ILMIY TAFAKKUR VA ZAMONAVIY TADQIQOTLAR: MUAMMOLAR, YECHIMLAR VA ISTIQBOLLAR” MAVZUSIDAGI RESPUBLIKA ILMIY KONFERENSIYASI
Qabul qilindi: 24-sentabr 2026-yil • Ma’qullandi: 29-sentabr 2026-yil • Nashr qilindi: 05-oktabr 2026-yil

ТИКУВ МАШИНАЛАРИ ИШ РЕЖИМИНИ IOT СЕНСОРЛАРИ АСОСИДА РЕАЛ ВАҚТДА КУЗАТИШ ВА МАЪЛУМОТЛАР ТЎПЛАШНИНГ ТАКОМИЛЛАШТИРИЛГАН ТИЗИМИ

Абдулхақов Дадахон Саъдулло ўғли
TEXTILE PRO GROUP MCHJ Конструктор технолог
Наманган Давлат Техника Университети Магистранти
abdulhaqov.dadaxon@gmail.com

Аннотация. Мақолада тикув машиналарининг иш режимини реал вақтда кузатиш учун арзон IoT сенсор тугуни ва маълумотлар тўплаш тизими таклиф этилган. Тугун ESP32 микроконтроллери, ток, тебраниш ва Холл сенсорларидан иборат бўлиб, хом сигнални машина ёнида қайта ишлайди ва серверга MQTT орқали 1 секундлик белгилар пакетини юборади. Бу тармоқ юкламасини хом сигнал узатишга нисбатан тахминан 20 марта камайтиради. Машина ҳолатини («ўчиқ», «бўш туриш», «тикиш», «носозлик») аниқлаш учун ток ва тебраниш белгиларига асосланган Random Forest классификатори ишлатилди. Саккиз хил машина профили бўйича моделлаштирилган сигналларда классификатор 99,4 % аниқликка эришди, фақат токка асосланган бўсаға қоидаси эса 84,4 % аниқлик кўрсатди ва носозлик ҳолатини умуман ажрата олмади.

Калит сўзлар: тикув машинаси, IoT, сенсор, реал вақт мониторинги, MQTT, чекка ҳисоблаш, ҳолат классификацияси.

КИРИШ

Тикув цехида маҳсулот ҳажми ва сифати бевосита тикув машиналарининг қанча вақт ҳақиқатан ишлаганига боғлиқ. Амалиётда машинанинг «ёқилган» ҳолати унинг «тикаётган» ҳолатини англатмайди: оператор деталларни тайёрлаш, ипни алмаштириш ёки кутиш билан банд бўлиши мумкин. Шу сабабли смена давомида

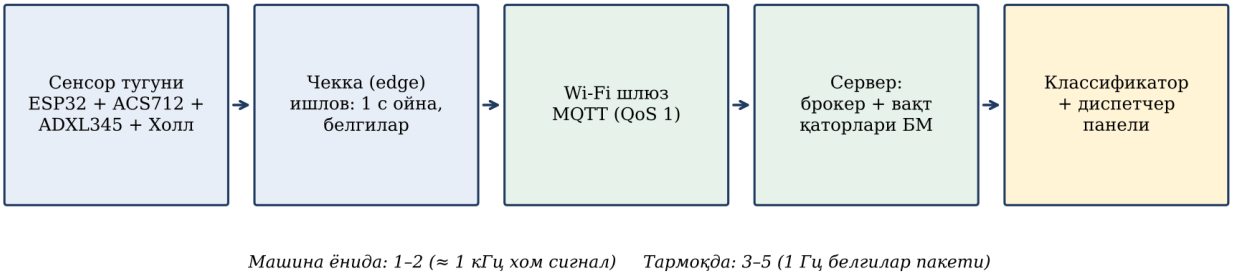
машиналарнинг ҳақиқий иш вақти улуши кўпинча раҳбарият тахмин қилганидан анча паст бўлади, бироқ қўлда юритиладиган ҳисоботларда бу кўринмайди.

Индустрия 4.0 доирасида ускунага сенсорлар ўрнатиш ва маълумотни реал вақтда йиғиш кибер-физик тизимларнинг асосий шарти ҳисобланади [1]. IoT қурилмаларидан ишлаб чиқаришда фойдаланиш катта ҳажмли маълумот оқимини ҳосил қилади [2, 3], шу сабабли сигнални қурилманинг ўзида дастлабки қайта ишлаш, яъни чекка ҳисоблаш (edge computing) [4] тобора кенг қўлланилмоқда. Тикувчилик соҳасида автоматлаштиришга оид ишлар [5] асосан технологик жиҳозга қаратилган. Мавжуд эскирган машиналарни арзон сенсорлар билан жиҳозлаб, уларнинг иш режимини аниқлаш масаласи эса кам ўрганилган.

Тадқиқот мақсади — мавжуд тикув машиналарига конструкциясини ўзгартирмасдан ўрнатиладиган, иш режимини реал вақтда аниқлайдиган IoT сенсор тугуни ва маълумотлар тўплаш тизимини ишлаб чиқиш ҳамда унинг ҳолатни аниқлаш алгоритмини баҳолаш.

УСУЛЛАР

Тизим тузилиши. Тизим беш бўғиндан иборат (1-расм). Сенсор тугуни машина ёнида сигнални ўлчайди ва 1 секундлик ойналарга бўлиб, ҳар бир ойнадан статистик белгиларни ҳисоблайди. Белгилар пакети Wi-Fi орқали MQTT протоколида [6] QoS 1 сифат даражаси билан, яъни етказиб берилиши кафолатланган ҳолда брокерга юборилади. Серверда маълумотлар вақт қаторлари базасида сақланади, классификатор эса ҳар бир машина учун жорий ҳолатни аниқлаб, диспетчер панелига узатади.



1-расм. Маълумотлар тўплаш тизимининг тузилиши

Аппарат таъминоти. Сенсор тугуни таркиби 1-жадвалда келтирилган. Ток

сенсори машина электр двигатели занжирига уланади. Хавфсизликни ошириш учун ўрнига симни узмасдан ўрнатиладиган трансформатор типидаги (split-core) ток сенсорини ҳам ишлатиш мумкин. Тебраниш сенсори машина корпусига, Холл сенсори эса қўл ғилдираги ёнига ўрнатилади ва ғилдиракка маҳкамланган магнит ёрдамида игна валининг айланишлари, яъни чоклар сони ҳисобланади.

1-жадвал

Сенсор тугуни таркиби

Компонент	Модель	Асосий тавсифи	Вазифаси
Микроконтроллер	ESP32-WROOM-32 [7]	2 ядро, 240 МГц, Wi-Fi 802.11 b/g/n	Белгиларни ҳисоблаш, узатиш
Ток сенсори	ACS712-05B [8]	±5 А, 185 мВ/А, Холл эффектига асосланган	Двигатель юкламаси
Акселерометр	ADXL345 [9]	3 ўқ, ±2…16 g, 3200 Гц гача	Корпус тебраниши
Холл калити	A3144	Рақамли чиқиш, магнит майдони	Игна вали айланишлари
Таъминот	AC/DC 5 В модули	Машина тармоғидан	Автоном ишлаш

Маълумот модели. Ҳар бир тугун ўз пакетларини машина идентификатори асосида тузилган MQTT мавзусига юборади, бу цех, линия ва машина даражасида маълумотларни фильтрлашни осонлаштиради. Пакет тузилиши 2-жадвалда келтирилган. Тармоқ узилганда тугун пакетларни ички хотирада буферлайди ва уланиш тиклангач вақт тамғаси билан қайта юборади, шу сабабли маълумот йўқолмайди.

2-жадвал

MQTT мавзуси ва белгилар пакетининг тузилиши

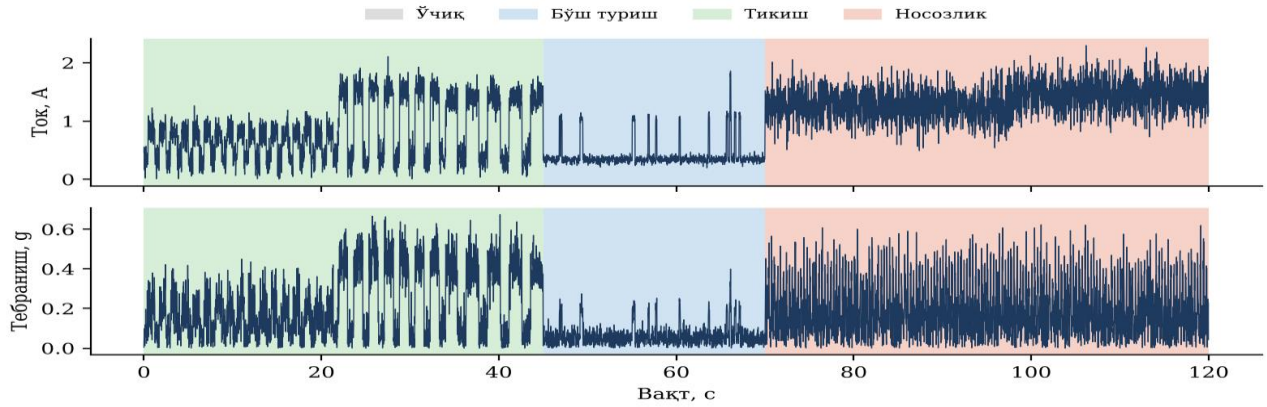
Майдон	Тури	Мисол	Изоҳ
Мавзу (topic)	матн	factory/sew/L03/M12/features	Цех / линия / машина
ts	бутун сон	1759574400	Unix вақти, NTP орқали синхронланган
i_feat	5 та сон	[0.84, 0.41, 0.93, 1.72, 1.35]	Ток белгилари, A
v_feat	5 та сон	[0.21, 0.15, 0.26, 0.58, 0.44]	Тебраниш белгилари, g
stitches	бутун сон	47	1 с даги игна вали айланишлари
rssi	бутун сон	−61	Wi-Fi сигнали кучи, дБм

Белгилар ва классификация. Ток ва тебраниш сигналларининг ҳар бир 1 секундлик ойнасидан бештадан белги олинади: ўртача қиймат, стандарт оғиш, ўрта квадратик қиймат (RMS), максимум ва 90-перцентиль. Шундай қилиб, ҳар бир ойна 10 ўлчамли вектор билан ифодаланади. Тўрт ҳолат белгиланди: *ўчиқ* (двигатель ўчирилган), *бўш туриш* (серво-двигатель ёқилган, тикиш йўқ), *тикиш* ва *носозлик* (тиқилиш ёки ўта юкламада юқори ток, бироқ нормал бўлмаган тебраниш).

Классификатор сифатида 200 та дарахтдан иборат Random Forest [10] scikit-learn кутубхонаси [11] ёрдамида қўлланилди. Таққослаш учун амалиётда кенг тарқалган оддий усул — фақат ток RMS қийматига асосланган бўсаға қоидаси олинди. Унинг бўсағалари ўқув тўпламида тўр бўйича қидириш орқали оптималлаштирилди.

Маълумотлар. Алгоритмни дастлабки баҳолаш учун 200 Гц частотали ток ва тебраниш сигналлари моделлаштирилди. Ҳар бир 40 сегментда машина профили (бўш туриш токи 0,15–0,35 А, сенсор силжиши) ўзгартирилиб, саккиз хил машина шароити ҳосил қилинди. Тикиш ҳолатида юклама 0,25–1,8 А оралиғида тасодифий танланди, бу секин ва тез тикишни акс эттиради. Бўш туриш ҳолатига эса пресс-оёқни кўтариш ва ип кесиш импульслари қўшилди. Сигнал намунаси 2-расмда кўрсатилган.

Жами 6672 ойна олинди. Улар вақт бўйича 70:30 нисбатда ўқув ва синов тўпламига ажратилди (синов — 2002 ойна).



2-расм. Ток ва тебраниш сигналлари ҳамда машина ҳолатлари (моделлаштирилган намуна)

НАТИЖАЛАР

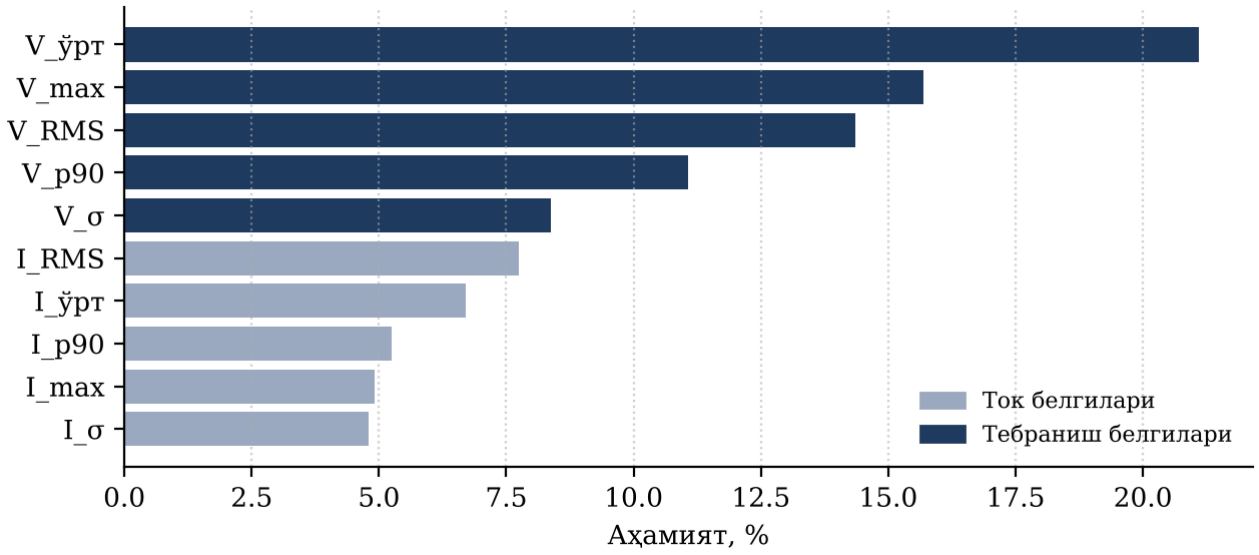
Иккала усулнинг синов тўпламидаги натижалари 3-жадвалда келтирилган. Random Forest классификатори барча ҳолатларни юқори аниқлик билан ажратди. Бўсаға қоидаси эса «бўш туриш» ва «тикиш» ҳолатларида кўп адашди ва «носозлик» ҳолатини тўлиқ «тикиш» деб баҳолади.

3-жадвал

Ҳолатни аниқлаш усулларининг синов тўпламидаги натижалари

Кўрсаткич	Ток бўсағаси	Random Forest (ток + тебраниш)
Умумий аниқлик (accuracy), %	84,4	99,4
Макро-F1	0,68	0,996
«Ўчиқ» — тўғри / жами	188 / 188	188 / 188
«Бўш туриш» — тўғри / жами	717 / 822	811 / 822
«Тикиш» — тўғри / жами	784 / 870	868 / 870
«Носозлик» — тўғри / жами	0 / 122	122 / 122

Random Forest моделидаги белгиларнинг аҳамияти (3-расм) классификация асосан тебраниш белгиларига таянганини кўрсатди: уларнинг умумий улуши 70,5 % ни ташкил этди. Энг аҳамиятли белгилар тебранишнинг ўртача қиймати (21,1 %) ва максимуми (15,7 %) бўлди. Ток белгилари орасида эса RMS қиймати энг катта ҳиссага эга (7,8 %).



3-расм. Random Forest классификаторида белгиларнинг аҳамияти

Маълумот ҳажми бўйича ҳисоб-китоб 4-жадвалда келтирилган. Тугун хом сигнални эмас, балки белгиларни юборгани учун тармоқ юкламаси тахминан 20 марта камаяди. 100 машинали цех учун сменалик маълумот ҳажми 0,6 ГБ атрофида бўлади, бу оддий сервер ва стандарт Wi-Fi тармоғи имкониятлари доирасида.

4-жадвал

Бир машина учун маълумот оқими ҳажми (смена — 8 соат)

Узатиш усули	Тезлик, байт/с	Смена учун, МБ	100 машина, ГБ
Хом сигнал (1 кГц, 2 канал, 16 бит)	4 000	115,2	11,5
Белгилар пакети (1 Гц, ≈200 байт)	200	5,8	0,58

МУҲОКАМА

Натижалар ток сигналининг ўзи машина ҳолатини ишончли аниқлаш учун етарли эмаслигини кўрсатди. Секин тикишдаги ток бўш туриш токига яқин, ип кесиш импульслари эса қисқа муддатли тикишга ўхшайди. Энг муҳими, носозлик ҳолатида двигатель катта ток олади ва бўсаға қоидаси уни интенсив тикиш деб қабул қилади. Тебраниш белгиларини қўшиш бу ҳолатларни ажратиш имконини беради, чунки тикишдаги тебраниш токдаги юкламага мутаносиб ўзгаради, носозликда эса бу боғлиқлик бузилади.

Белгилар аҳамияти таҳлили шуни кўрсатадики, фақат ток сенсорига асосланган арзонроқ вариант оддий «ишлаяпти/ишламаяпти» мониторинги учун етарли бўлиши мумкин, лекин носозликни эрта аниқлаш учун тебраниш сенсори зарур. ADXL345 акселерометрининг нархи паст бўлгани учун уни қўшиш тугун таннархини деярли оширмайди. Холл сенсори маълумотлари классификацияда ишлатилмади, бироқ у чоклар сонини ҳисоблаш орқали тикилган маҳсулот ҳажмини билвосита баҳолаш имконини беради.

Таклиф этилган ечимнинг амалий афзаллиги — машина конструкциясига аралашмаслик ва компонентларнинг арзонлиги. Бу Ўзбекистон корхоналаридаги турли ишлаб чиқарувчиларга тегишли, ҳар хил ёшдаги машина паркига тизимни жорий этишни енгиллаштиради. Холл сенсори орқали ҳисобланган чоклар сони операция бажарилганини тасдиқловчи қўшимча манба бўлиб хизмат қилади ва келгусида бажарилган ишни автоматик ҳисоблашга асос бўлади.

Тадқиқотнинг асосий чеклови шундаки, классификатор моделлаштирилган сигналларда баҳоланди. Реал корхонада машина турлари, электр тармоғидаги шовқинлар ва операторларнинг иш услуби хилма-хиллиги аниқликни пасайтириши мумкин. Шу сабабли кейинги босқичда пилот цехда йиғилган ва видео орқали белгиланган сигналлар асосида моделни қайта ўқитиш ҳамда синаш режалаштирилган.

ХУЛОСА

Тикув машиналари иш режимини реал вақтда кузатиш учун ESP32 асосидаги,

ток, тебраниш ва Холл сенсорларини бирлаштирувчи IoT тугуни ва MQTT асосидаги маълумотлар тўплаш тизими ишлаб чиқилди. Чекка ҳисоблаш тармоқ юкламасини тахминан 20 марта камайтиради. Ток ва тебраниш белгиларига асосланган Random Forest классификатори моделлаштирилган маълумотларда тўрт ҳолатни 99,4 % аниқлик билан ажратди ва фақат ток бўсағасига асосланган усулдан (84,4 %) сезиларли устун бўлди. Тизим тикувчилик корхонасида СИ асосидаги мониторинг ва бошқарувнинг маълумот базасини ташкил этади.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing Letters. – 2015. – Vol. 3. – P. 18–23.

2. Mourtzis D., Vlachou E., Milas N. Industrial Big Data as a result of IoT adoption in manufacturing // Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 55. – P. 290–295.

3. Babiceanu R. F., Seker R. Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook // Computers in Industry. – 2016. – Vol. 81. – P. 128–137.

4. Shi W., Cao J., Zhang Q., Li Y., Xu L. Edge computing: Vision and challenges // IEEE Internet of Things Journal. – 2016. – Vol. 3, No. 5. – P. 637–646.

5. Nayak R., Padhye R. (eds.) Automation in Garment Manufacturing. – Duxford: Woodhead Publishing, 2018.

6. OASIS. MQTT Version 5.0. OASIS Standard. – 2019.

7. Espressif Systems. ESP32-WROOM-32 Datasheet. – Shanghai: Espressif Systems.

8. Allegro MicroSystems. ACS712: Fully integrated, Hall-effect-based linear current sensor IC. Datasheet.

9. Analog Devices. ADXL345: 3-axis, ±2 g/±4 g/±8 g/±16 g digital accelerometer. Datasheet.

10. Breiman L. Random forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, No. 1. – P. 5–32.

11. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. et al. Scikit-learn: Machine learning in Python // Journal of Machine Learning Research. – 2011. – Vol. 12. – P. 2825–2830.