

05.00.00

UDK 636:004.7:004.8

CHORVACHILIKDA IoT EKOTIZIMI ARXITEKTURASI**¹Mamaraufov O.A., ²Boyxorova G.A.**¹*Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti**Samarqand filiali, Kompyuter tizimlari kafedrasi dotsenti,*ORCID: 0000-0002-7879-3069 o.mamaraufov@samuit.uz²*Samarqand agroinnovatsiyalar va tadqiqotlar instituti.**Raqamli texnologiyalar, turizm va gumanitar fanlar kafedrasi assistenti,*ORCID: 0009-0002-5550-5375 boyxorovagulruxsora@gmail.com 973930121

Annotatsiya. Chorvachilikda IoT ekotizimi (yoqa/tana datchiklari, muhit sensorlari, ferma infratuzilmasi) hayvon farovonligi va ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Maqolada IoT'ni fog–cloud arxitekturasini bilan integratsiyalab, real vaqt monitoringi va prediktiv analitikani joriy etish yondashuvlari tizimlashtirilgan. Platforma LoRaWAN/NB-IoT orqali kelgan ma'lumotlarni edge/fogda filtrlab (anomaliya, issiqlik stressi, lameness), bulutda chuqur tahlil qiladi (erta ogohlantirish, yem/harakat profili, reproduktiv sikl). Natijalar samaradorlik ko'rsatkichlari – FCR/ADG, erta ogohlantirish aniqligi, yo'qotishlarning kamayishi va kutiladigan iqtisodiy samara bilan baholanadi; platforma esa bosqichma-bosqich - avval pilot sinovlar, so'ng miqyoslash va yakunda ERP tizimlari bilan integratsiya holatida joriy etish taklif qilinadi.

Kalit so'zlar. Narsalar interneti (IoT), chorvachilik, edge/fog hisoblash, bulutli analitika, LPWAN, LoRaWAN, NB-IoT, BLE, monitoring, prediktiv tahlil, chorva salomatligi, FCR, ADG.

Аннотация. Экосистема IoT в животноводстве (датчики на ошейнике/теле, датчики окружающей среды, инфраструктура фермы) служит повышению благополучия животных и эффективности производства. В статье систематизированы подходы к реализации мониторинга в реальном времени и предиктивной аналитики путем интеграции IoT с архитектурой «туман-облако».

Платформа фильтрует данные, полученные через LoRaWAN/NB-IoT на периферии/в тумане (аномалии, тепловой стресс, хромота), и проводит их глубокий анализ в облаке (раннее предупреждение, профиль кормления/перемещения, репродуктивный цикл). Результаты оцениваются по показателям эффективности: FCR/ADG, точности раннего предупреждения, сокращению потерь и ожидаемому экономическому эффекту. Платформу предлагается внедрять поэтапно: сначала пилотные испытания, затем масштабирование и, наконец, интеграция с ERP-системами.

Ключевые слова: Интернет вещей (IoT), животноводство, периферийные/в тумане вычисления, облачная аналитика, LPWAN, LoRaWAN, NB-IoT, BLE, мониторинг, предиктивная аналитика, здоровье скота, FCR, ADG.

Abstract. The IoT ecosystem in livestock farming (collar/body sensors, environmental sensors, farm infrastructure) serves to increase animal welfare and production efficiency. The article systematizes approaches to implementing real-time monitoring and predictive analytics by integrating IoT with fog–cloud architecture. The platform filters data received via LoRaWAN/NB-IoT at the edge/fog (anomaly, heat stress, lameness) and analyzes it in depth in the cloud (early warning, feed/movement profile, reproductive cycle). The results are evaluated in terms of performance indicators - FCR/ADG, early warning accuracy, loss reduction and expected economic impact; the platform is proposed to be implemented in stages - first pilot tests, then scaling and finally integration with ERP systems.

Keywords. Internet of Things (IoT), livestock, edge/fog computing, cloud analytics, LPWAN, LoRaWAN, NB-IoT, BLE, monitoring, predictive analytics, livestock health, FCR, ADG.

Kirish. Qishloq xo‘jaligining chorvachilik tarmog‘ida raqamli transformatsiya jarayoni tezlashib, Narsalar Interneti (IoT) qurilmalari hayvonlar farovonligini saqlash, ishlab chiqarish jarayonlarini barqarorlashtirish va boshqaruvni shaffof qilishda muhim vositaga aylanmoqda [1]. Amaliyotda ko‘plab xo‘jaliklarda sog‘liqni kuzatish va texnologik intizom asosan vizual kuzatuv va kechikkan reaksiya asosida olib boriladi; bu

esa kasalliklarni erta aniqlash, yemlanish rejimini moslashtirish va yo'qotishlarning oldini olishda yetarli samara bermaydi. Shuningdek, uzoq masofali fermalarda doimiy aloqa kanallari, past quvvat sarfi va ishonchli ma'lumot uzatish talab etiladi; ma'lumotlar esa turli qurilmalarda parokanda ko'rinishda to'planib, tahlilning tizimliliigi susayadi.

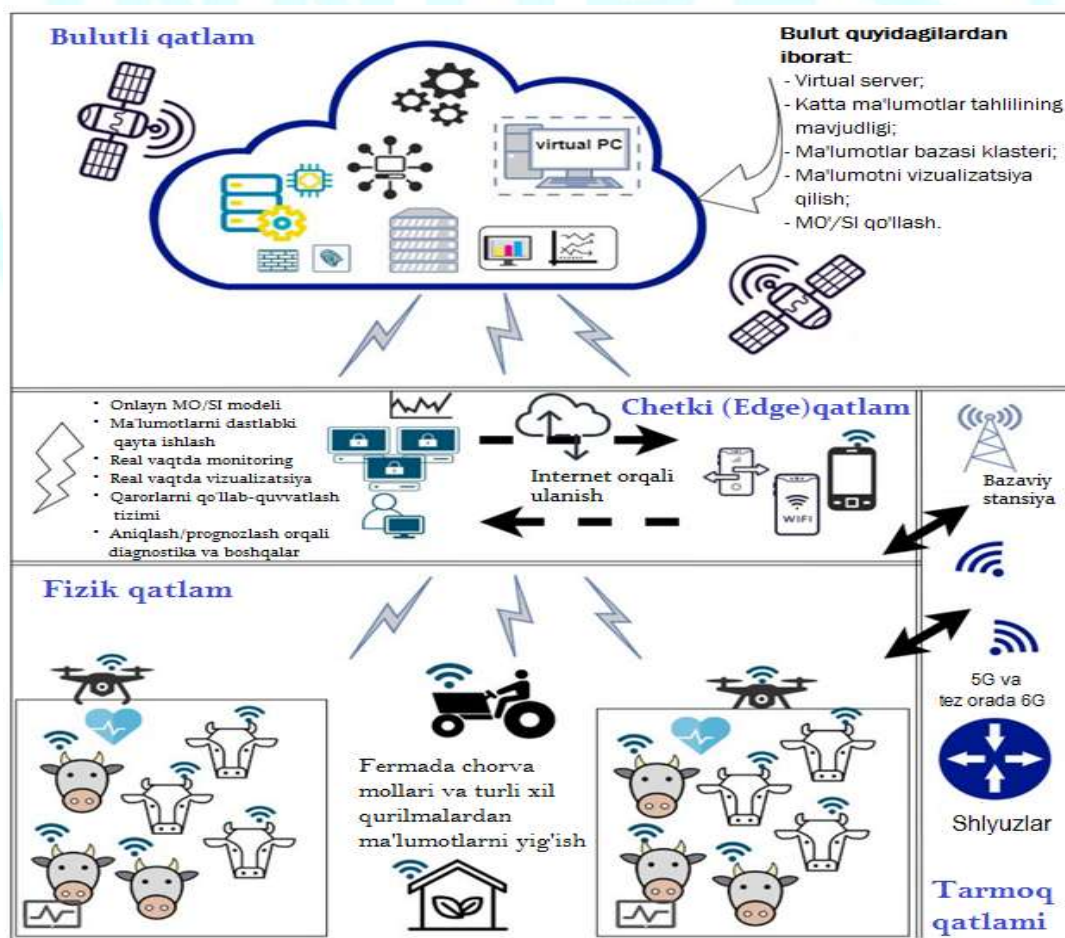
Ushbu holat chorvachilikda IoT qurilmalarini fog–cloud analitikasi bilan integratsiyalashgan yagona platformada jamlash zaruratini tug'diradi [2]. Past quvvatli keng hududli tarmoqlar (LPWAN) – xususan, LoRaWAN (mahalliy shlyuzlar orqali, litsenziyasiz diapazonda) va NB-IoT (mobil operator infratuzilmasi asosida) – uzoq masofadan, kam energiya sarfi bilan sensor ma'lumotlarini uzatishga imkon beradi; BLE/UWB esa yaqin masofadagi aniqlik va ichki joylashuvni ta'minlaydi. Edge/fog qatlamida dastlabki filtr va anomaliyani ajratish amalga oshirilsa, bulutda vaqt qatorlari bo'yicha chuqur tahlil, bashorat va boshqaruv qarorlarini qo'llab-quvvatlash yo'lga qo'yiladi. Shu tariqa ma'lumotlar oqimi datchik → shlyuz → edge/fog → bulut zanjiri bo'yicha izchil boshqariladi, ERP va xo'jalik buxgalteriya tizimlari bilan integratsiya esa boshqaruvni markazlashtiradi.

Ma'ruzada chorvachilik xo'jaliklari sharoitida IoT sensorlari, LPWAN aloqalari va fog–cloud analitikasi sinteziga tayangan, real vaqt monitoringi va prediktiv ogohlantirish (estrus, lameness, issiqlik stressi va b.) imkonini beruvchi platforma konsepsiyasini taklif etish va uning ma'lumotlar bazasi hamda baholash mezonlarini tizimli yoritishdir. Taklif etilayotgan yondashuv hayvon darajasida (individual profil), podada (suruv dinamikasi) hamda xo'jalik kesimida (operatsion va iqtisodiy ko'rsatkichlar) boshqaruv qarorlarini tezkor va dalillarga asoslangan tarzda qabul qilishga xizmat qiladi.

Tizim arxitekturasini va aloqa qatlami. Chorvachilikda IoT yechimi bir-birini to'ldiruvchi uch qatlamdan tashkil topadi: edge, fog va cloud. Edge qatlamida hayvonlarga taqiladigan yoqa datchiklari (akselerometr, harorat/ruminatsiya), joylashuv va muhit sensorlari uzluksiz o'lchovlarni yig'adi. Gateway orqali ma'lumotlar fog tuguniga uzatiladi; bu yerda shovqinni filtrlash, paketlarni buferlash (aloqa uzilganda saqlab turish) va sodda qoidalar asosida dastlabki anomaliyani aniqlash bajariladi [2,3]. Cloud qatlamida esa vaqt qatorlarini saqlash, chuqur tahlil va prediktiv modellash (estrus,

lameness, issiqlik stressi risk skollari) amalga oshirilib, boshqaruv paneli hamda ERP tizimlari bilan integratsiya qilinadi.

Aloqa qatlami LPWAN yechimlariga tayanadi: LoRaWAN mahalliy shlyuzlar orqali litsenziyasiz diapazonda uzoq masofaga kam quvvatda uzatishni ta'minlaydi va fermadagi geofensing hamda suruv harakatini kuzatishda qulay. NB-IoT esa mobil operator infratuzilmasidan foydalangan holda keng qamrov va barqaror kanal beradi; bu sog'liq monitoringi kabi yuqori ishonchlilik talab qiluvchi oqimlar uchun foydali. Yaqin masofada BLE/UWB ichki joylashuv aniqligini oshiradi. Amaliyotda ushbu texnologiyalar kombinatsiyasi qamrov–kechikish–batareya hayotiyligini ta'minlaydi. Energiya samaradorligi va ishonchlilik uchun datchiklar “duty-cycling” (o'lchash va uzatish chastotasini moslash), “edge buffering” (tarmoq yo'qligida vaqtincha saqlash) hamda “adaptiv sampling” (faollik/harorat o'zgarsa tez-tez o'lchash) rejimlarida ishlaydi. Ma'lumotlar xavfsizligi TLS shifrlash, qurilma autentifikatsiyasi va rollarga asoslangan kirish (RBAC) bilan ta'minlanadi (1-rasm).

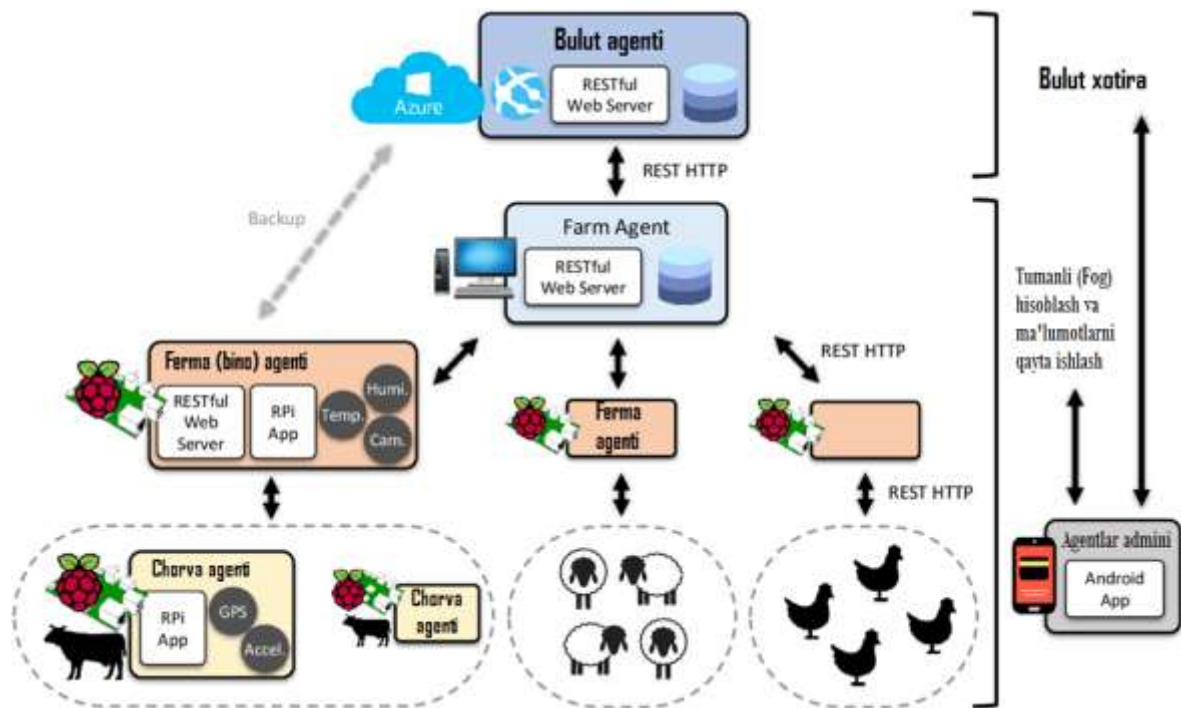


1-rasm. Chorrachilikni boshqarish uchun ko'p qatlamli IoT yondashuvi tasviri[3].

Mazkur arxitektura real vaqt monitoringi va tezkor qaror qabul qilishni qo'llab-quvvatlaydi: erta ogohlantirishlar (estrus, issiqlik stressi, chuloqlik), yemlanish rejimini moslashtirish, yo'qolishning oldini olish va operatsion ko'rsatkichlarni (FCR/ADG va h.k.) yaxshilash uchun zarur ma'lumotlar uzluksiz va tizimli ko'rinishda taqdim etiladi. IoT-ni qo'llab-quvvatlaydigan ozuqa monitoringi tizimlari hayvonlarning individual ozuqaviy moddalarini iste'mol qilish haqida tushuncha beradi. Bu ma'lumotlar fermerlarga oziqlantirish jadvalini to'g'rilash imkonini beradi, har bir hayvon o'ziga kerakli ozuqa moddalarini olishini ta'minlaydi. Oziqlanishni optimallashtirish o'sish sur'atlarini yaxshilashga, sut ishlab chiqarishni ko'paytirishga va umuman hayvonlarning mahsuldorligini oshirishga yordam beradi [3].

Chorvachilikdagi IoT yechimi uzoq masofali, energiya tejamkor aloqa va izchil ma'lumotlar tahliliga tayangan kompleks platforma sifatida loyihalanadi: past quvvatli keng hududli tarmoqlar (LPWAN) – xususan, LoRaWAN va NB-IoT – sensorlardan keladigan oqimni barqaror uzatadi (LoRaWAN litsenziyasiz diapazonda mahalliy shlyuzlar orqali geofensing va ferma ichida qulay ishlasa, NB-IoT mobil operator infratuzilmasi asosida sog'liq monitoringi kabi yuqori ishonchlilik talab qiluvchi holatlarda keng qamrov beradi), yaqin masofada esa BLE/UWB ichki joylashuv aniqligini oshiradi.

Kombinatsiyalangan qo'llash kechikish, qamrov va batareya umrini muvozanatlashtirishga xizmat qiladi, tanlov mezonlari sifatida esa qamrov (km), kechikish (ms), quvvat sarfi (mAh/kun), xizmat narxi va servis imkoniyati olinadi. Ma'lumotlar bazasi datchik → gateway → edge/fog → bulut zanjiri bo'yicha ishlaydi: edge/fog qatlamida shovqin filtrlash, sensor fusion va dastlabki anomaliya qoidalari bajarilib, uzilishlarda buffering qo'llanadi; bulutda oqimli ingest, tozalash/normalizatsiya, vaqt qatorlari ombori (TSDB) va metadata (hayvon ID, zootexnik voqealar, yemlanish rejimi) boshqariladi hamda API orqali boshqaruv paneli va ERP tizimlari bilan integratsiya ta'minlanadi (2-rasm).



2-rasm. Tizim arxitekturasini va amalga oshirilishi.

Analitik qismda harakat va ruminatsiya profilidagi chetga chiqishlar Isolation Forest/LOF yoki qoidaviy chegaralar bilan aniqlanadi, issiqlik stressi baholashda THI hamda faollikdagi pasayish kombinatsiyasi qo'llanadi; prediktiv modellar sifatida XGBoost/Random Forest (tabulyar xususiyatlar) va LSTM/Seq2Seq (vaqt qatorlari) asosida estrus va lameness risk skori, shuningdek sut hajmi va ADG prognozi hisoblanadi. Natijalar F1 va AUC kabi erta ogohlantirish sifati ko'rsatkichlari, kasallikdan oldin xabar berish muddati (lead-time), bekor ogohlantirish ulushi, FCR/ADG o'zgarishi, yo'qotishlarning kamayishi va ROI bilan baholanadi; taqdimot esa ferma, qoid (koy) va individual hayvon kesimida jadval hamda grafiklar orqali, mavsumiy trendlar bilan beriladi. Pilot tadqiqot 2-3 fermada 100-300 bosh (sigir/qo'y) bilan, yoqa akselerometri va harorat/ruminatsiya sensorlari, LoRaWAN shlyuz(lar)i hamda NB-IoT SIM'lari ishtirokida kamida 8-12 hafta davom ettiriladi; o'lchovlar qatoriga F1, lead-time, FCR/ADG, bekor ogohlantirish ulushi, sensor uptime, paket yo'qotilishi va batareya umrining prognozi kiritiladi, etik rozilik va ma'lumotlar egaligi/privacy siyosati yozma tartibda rasmiylashtiriladi. Xavfsizlik arxitekturasini qurilma autentifikatsiyasi, kalitlarni boshqarish va TLS shifrlash, rollarga asoslangan kirish (RBAC) va audit loglari bilan mustahkamlanadi; cheklangan internet sharoitida

edge buffering ma'lumotlar yaxlitligini ta'minlaydi, ma'lumotlar egaligi xo'jalik egasida bo'lib, modelni qayta o'qitishda anonimlashtirish qo'llanadi. Muhokamada sensor ishonchliligi, qamrovdagi "ko'r nuqtalar", servis xarajati va kadrlar tayyorlash ehtiyoji hisobga olinadi; dastlab eng katta qiymat beruvchi use-case'lar (estrus, issiqlik stressi) ustuvor joriy etilib, keyin geofensing va yo'qolishni oldini olish qo'shiladi, masshtablash bosqichida esa MLOps – model versiyalash, monitoring, doimiy qayta o'qitish – va ko'p-ferma konfiguratsiyasini standartlashtirish orqali ko'rsatkichlar paneli yagona formatda yuritiladi [4,5].

Ko'pgina afzalliklarga qaramay, dastlabki investitsiya xarajatlari, ma'lumotlar xavfsizligi muammolari va fermerlarni o'qitish zarurati kabi muammolar saqlanib qolmoqda. Biroq, texnologiya rivojlanishi bilan kelajak IoT qurilmalarini chorvachilikka integratsiya qilish uchun ajoyib imkoniyatlarni taqdim etadi [6]. Manfaatdor tomonlar o'rtasidagi hamkorlik, ma'lumotlar formatlarini standartlashtirish va foydalanuvchilarga qulay interfeyslarni ishlab chiqish keng miqyosda qabul qilish va muvaffaqiyatga erishishga yordam beradi.

Zamonaviy fermer xo'jaliklarida raqamli transformatsiya texnologiyalarning rivojlanishi bilan bog'liq. Bu ko'payib borayotgan sensorlar va IoT qurilmalari ma'lumotlaridan foydalangan holda chorva mollarini kuzatish va hayvonlarning farovonligini baholash imkonini beradi. Ushbu tadqiqot fermerlarga noinvaziv IoT sensorlari asosida sigirlarning sog'lig'i tasnifi, shuningdek sigirning mikro va makro muhiti haqida ma'lumot olishga yordam beradi. Turli manbalardan to'plangan ma'lumotlar taklif qilingan ish jarayoniga muvofiq qayta ishlanadi, modellashtiriladi va birlashtiriladi [7,8]. Bir nechta Mashinaviy o'qitish (MO') va Sun'iy intellekt (SI) modellari sigirlarning sog'lig'ini uchta toifaga tasniflash uchun o'qitiladi va sinovdan o'tkaziladi. Natijalar fermer tomonidan foydalanish uchun vizual tarzda taqdim etiladi. Ushbu yondashuv boshqa tadqiqotlardan farq qiladi, chunki biz mikromuhit, makro muhit va sigir ma'lumotlari sigirning sog'lig'i holatiga qanday ta'sir qilishini va ularning kombinatsiyasi tasniflash jarayonining aniqligi va ishonchliligini qo'llab-quvvatlashi va yaxshilashi mumkinligini tekshiramiz. Bu, ayniqsa, chorvachilik sanoati uchun mos bo'lgan yirik fermer xo'jaliklarini monitoring qilish uchun amaliy yechim beradi.

Adabiyotlar

1. Abdullayeva I. Qishloq xo‘jaligini raqamlashtirishning afzalliklari // “O‘zbekiston statistika axborotnomasi” ilmiy elektron jurnali. 2021, №2.
2. Babajanov E.S. Odiljonov U. Raqamli chorvachilikda Big Data va Machine Learning ahamiyati // International scientific and technical conference “Digital technologies: problems and solutions of practical implementation in the industry”. April 2023. TUIT. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7856375>. P.344-347.
3. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
4. Calabrò, S., et al. (2019). Precision livestock farming in pig production: A review on sensors. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1), 1-9.
5. Villari, M., Celesti, A., & Fazio, M. (2016). A survey of the integration of cloud computing in Internet of Things. *Future Generation Computer Systems*, 56, 684-700.
6. Bewley, J., et al. (2018). A 100-Year Review: Lactating dairy cattle housing management. *Journal of Dairy Science*, 101(12), 10555-10575.
7. Kamilaris, A., Prenafeta-Boldú, F. X., & Founti, M. A. (2017). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90.
8. Nishnov A.Kh., Babajanov E.S., Samandarov B.S. Mathematical model of diagnosing diseases among cattle with multiple parameters // International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). 2023. September.