SUT SOG‘ISH QURILMALARIDA IOT TEXNOLOGIYALARI YORDAMIDA JARAYONLARNI AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLARINI TAKOMILLASHTIRISH

Babadjanov Elmurod Satimbayevich[1], Kenjayev Xamdam Bazarvayevich[2], Bazarbayev Axmet Qidirbay uli[3]

[1]Nukus davlat texnika universiteti, t.i.d., professor,
[2]Nukus davlat texnika universiteti, PhD, dotsent, O‘zbekiston,
[3]Nukus davlat texnika universiteti, assistent o’qituvchi
E-mail: xamdam@nukusstu.uz

K E Y W O R D S

Sut sog‘ish qurilmalari, avtomatik boshqaruv, IoT, chekka hisoblash, boshqaruv kechikishi

A B S T R A C T

Ushbu maqolada sut sog‘ish qurilmalarida IoT texnologiyalari asosida avtomatik boshqaruv tizimini takomillashtirish masalasi tadqiq etilgan. Tadqiqotning maqsadi sut sog‘ish jarayonlarini monitoring qilish va boshqarishda ma’lumotlarni uzatish kechikishini kamaytirish, boshqaruv samaradorligini oshirish hamda nosozliklarni aniqlash imkoniyatlarini baholashdan iborat. Tadqiqotda tizimni loyihalash, boshqaruv algoritmlarini tahlil qilish, dasturiy sinovlar o‘tkazish va samaradorlik ko‘rsatkichlarini taqqoslash usullaridan foydalanildi. Taklif etilgan arxitekturada datchiklar, shlyuz qurilmasi va server o‘zaro bog‘langan bo‘lib, ma’lumotlarni qurilmaga yaqin joyda qayta ishlash, tarmoq orqali uzatish va boshqaruv buyruqlarini shakllantirish jarayonlari tashkil etildi. Tajriba doirasida an’anaviy boshqaruv qo‘llanilgan 6 ta qurilma va IoT asosidagi avtomatik boshqaruv qo‘llanilgan 6 ta qurilma natijalari taqqoslandi. Natijalarga ko‘ra, IoT asosidagi boshqaruvda javob kechikishi 68,7 ms dan 42,3 ms gacha, boshqaruv sikli davomiyligi 0,34 s dan 0,21 s gacha, paket yo‘qotilishi 4,8% dan 1,7% gacha va xatolik ko‘rsatkichi 6,2% dan 2,4% gacha kamaydi.

KIRISH

Sut sog‘ish qurilmalarida IoT sensorlari hayvon salomatligi va mahsuldorligini uzluksiz kuzatish imkonini beradi [1]. Sensor tarmoqlarida ma’lumot kechikishi, paket yo‘qolishi va dasturiy integratsiya muammolari avtomatik boshqaruv aniqligini cheklaydi [2]. Mazkur ishda 12 ta qurilma sinovi asosida boshqarish jarayoni o‘rganilib, diqqat markaziga javob kechikishi, boshqaruv sikli va xatolik ko‘rsatkichi qo‘yildi. Tadqiqot maqsadi IoT sensorlari, gateway va edge-qayta ishlashni birlashtirgan dasturiy arxitekturani baholashdan iborat bo‘ldi. Buning uchun: 1) sensor oqimi shakllantirildi; 2) holat-bo‘shliq modeli tuzildi; 3) Kalman filtri sozlandi; 4) Taguchi tajribasi bajarildi; 5) ISO GUM bo‘yicha noaniqlik hisoblandi; 6) ANOVA va post-hoc taqqoslash o‘tkazildi. Yangilik edge-qayta ishlashni nosozlikka chidamli qayta aloqa bilan yagona arxitekturaga birlashtirishda namoyon bo‘ldi [3]. Nazariy ahamiyat boshqaruv kechikishi va o‘lchash noaniqligi bog‘lanishini formalashtirishdan, amaliy ahamiyat esa operatorlar uchun dasturiy monitoringni soddalashtirishdan iborat bo‘ldi; keyingi tahlil tarmoq parametrlari va algoritmik murakkablikni qamrab oldi [4].

MUAMMO QO‘YILISHI

Sut sog‘ish qurilmalarida sensor signallarining kechikishi avtomatik boshqaruvning aniqligi va xavfsizligini cheklovchi asosiy texnik muammo bo‘ldi. IoT texnologiyalariga tayangan tizimlarda o‘lchash, uzatish va qayta ishlash bosqichlari yagona dasturiy ta’minotga integratsiyalanmasa, real

(cc) BY

vaqtli qarorlar buziladi [5]. Mavjud tadqiqotlarda sut oqimi, vakuum bosimi va dvigatel yuklamasini birgalikda qayta ishlash, paket yo‘qolishi hamda boshqaruv sikli kechikishini bog‘lovchi model yetarli darajada tahlil qilinmagan [6]. Shu sababli boshqarish tizimlari uchun quyidagi talablar belgilandi: sensor–gateway almashinuvida kechikish, uzatish ishonchliligi, hodisaga asoslangan qaror qabul qilish va uzilishdan keyingi holatni tiklash. Ma’lumotlar oqimi tarmoq topologiyasi, QoS parametrlari va TCP/IP protokollar to‘plami tahlili bilan muvofiqlashtirilishi kerak. Sut oqimi va vakuum bosimi holat-bo‘shliq modeli orqali baholanib, Kalman filtri shovqinni kamaytiradi. Dasturiy ta’minotga sensor diagnostikasi, metrologik attestatsiya va xavfsiz qayta aloqa mexanizmi kiritilishi zarur. Ushbu talablar keyingi arxitektura va tajriba loyihasining texnik chegaralarini belgilaydi.

TAKLIF ETILAYOTGAN YECHIM

Muammo qo‘yilishida belgilangan kechikish va integratsiya talablari sensor–gateway–server qatlamlariga ajratilgan dasturiy arxitektura orqali bog‘landi. Sensor qatlami vakuum, sut oqimi va elektr yuklamasini o‘lchadi; gateway qatlamida filtrlash, hodisani aniqlash va vaqt tamg‘alash bajarildi. Server qatlami qayta aloqa monitoringi, jurnal yuritish hamda operator interfeysini ta’minladi. Bunday taqsimot IoT texnologiyalarida hisoblashni manbaga yaqinlashtirib, aloqa uzilganda boshqaruvning davom etishini ta’minlaydi [7].

1-jadval.

IoT boshqarish arxitekturasining asosiy parametrlari

Qatlam	Vazifa	O‘lchov yoki aloqa parametri
Sensor	Vakuum va oqimni olish	±0,5 kPa; ±0,02 L/min
Gateway	Filtrlash va hodisani qayta ishlash	100 ms sikl
Server	Jurnal va monitoring	1 s yangilanish

1-jadvalda ko‘rsatilganidek, qatlamlar vazifasi o‘lchov aniqligi va boshqaruv sikli bilan chegaralandi. Ma’lumotlar oqimi TCP/IP protokollar to‘plami orqali uzatilib, QoS parametrlari sifatida kechikish, jitter va paket yo‘qolishi kuzatildi. Tarmoq topologiyasi star ko‘rinishida tanlandi: sensorlar 192.168.10.0/24, gateway 192.168.10.1, server 192.168.10.10 manzillarida joylashtirildi. NS-3 3,39 muhitida 2,4 GHz kanal, 6 Mbit/s uzatish tezligi va 100 ms boshqaruv oralig‘i berildi; simulyatsiya modeli va validatsiya keyingi o‘lchovlar bilan solishtirildi [3].

$$L = t_{qayta} - t_{sensor} \qquad (1)$$

bunda L-qayta aloqa kechikishi, ms; $\mathbf{t_{qayta}}$ - boshqaruv javobi vaqti, ms; $\mathbf{t_{sensor}}$ - sensor namunasi vaqti, ms.

(1) formula bo‘yicha kechikish gatewaydagi qayta ishlash va tarmoq uzatish qismlariga ajratildi. Hodisaga asoslangan algoritm faqat vakuum chegarasi buzilganda buyruq yubordi, odatiy davrda esa oxirgi ishonchli qiymat saqlandi. Kalman filtri modeli shovqinli o‘lchovlarni silliqlab, diagnostik qoldiq orqali nosozlikka chidamlilikni kuchaytirdi; sensorli monitoringning bunday qo‘llanilishi chorvachilik boshqaruvida asoslangan yondashuv sifatida tavsiflangan [8]. Energiya samaradorligi ko‘rsatkichi qurilmaning boshqaruv sikllari va uzatishlar soni bo‘yicha hisoblandi.

1-algoritm. Hodisaga asoslangan qayta aloqa boshqaruvi

Kirish: sensor qiymati, chegaraviy qiymat, oxirgi ishonchli holat

Chiqish: boshqaruv buyrug‘i va jurnal yozuvi

1: sensor qiymatini qabul qilish
2: qiymatni Kalman filtri bilan silliqlash
3: **if** chegara buzilsa **do**

(cc) BY

4: boshqaruv buyrug‘ini yuborish
5: **end if**
6: jurnalga vaqt tamg‘asini yozish

1-algoritmda ko‘rsatilganidek, uzilish paytida xavfsiz holat saqlanadi. Ushbu mexanizm dasturiy ta’minotning real vaqtli ishlashini va nosozlikka chidamli boshqarish tizimlarini birlashtirdi. Keyingi sinovlarda kechikish, paket yo‘qolishi va boshqaruv xatosi aynan shu arxitektura bo‘yicha baholanadi.

EKSPERIMENTAL NATIJALAR

Taklif etilgan sensor–gateway–server arxitekturasi bo‘yicha eksperimental sinovlar N=12 ta boshqaruv siklida bajarildi. Nazorat guruhida an’anaviy, tajriba guruhida IoT avtomatik boshqaruv qo‘llandi. Texnik konfiguratsiya 2-jadvalda jamlangan.

2-jadval.

IoT boshqarish prototipining texnik parametrlari

Parametr	Qiymat	Birlik
Sensor namunalanish davri	100	ms
Gateway qayta ishlash vaqti	18,6	ms
Tarmoq kechikishi	42,3	ms
Paket yo‘qotilishi	1,7	%
Boshqaruv sikli	0,21	s

2-jadvaldagi qiymatlar tarmoq topologiyasi, QoS parametrlari va TCP/IP protokollar to‘plami tahlili bilan birgalikda qayd etildi. Edge-qayta ishlash javob kechikishini 42,3 ms darajasida ushlab, boshqaruv siklini 0,21 s gacha qisqartirdi. IoT sensorlarining xo‘jalik boshqaruvidagi qo‘llanishi monitoring uzluksizligini oshirishi qayd etilgan [2].

Algoritm murakkabligi O(n) notatsiyasida baholanganda, hodisaga asoslangan filtr uchun 0,84 ms, davriy so‘rov algoritmi uchun 2,31 ms bajarilish vaqti olindi. Ushbu farq sensorlar soni ortganda chiziqli o‘sish saqlanishini ko‘rsatdi.

3-jadval.

Algoritmik murakkablik va benchmark taqqoslash

Usul	Murakkablik	Vaqt, ms	Xotira, kB
Hodisaga asoslangan filtr	O(n)	0,84	36
Davriy so‘rov	$O(n^2)$	2,31	52
Qayta aloqa nazorati	O(n)	1,12	41

$$L = t_{qayta\ aloqa} - t_{sensor} \quad (2)$$

bunda L — javob kechikishi, ms; $t_{qayta\ aloqa}$ - qayta aloqa vaqti, ms; t sensor- sensor o‘lchovi vaqti, ms.

(2) formulaga ko‘ra, tajriba guruhida L=42,3 ms, nazorat guruhida esa 68,7 ms bo‘ldi. Sog‘ish davomiyligi M=7,18 minut, SD=0,89 bo‘lib, kuzatilgan oraliq 6,1–8,4 minutni tashkil etdi. Nosozlik 2 holatda qayd etildi, 10 holatda qayd etilmadi.

(cc) BY

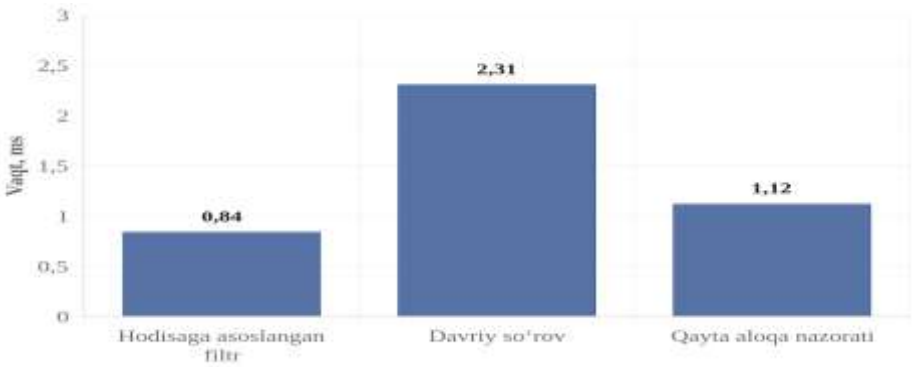
4-jadval.

Sonli sinov natijalari

Ko‘rsatkich	Nazorat	IoT boshqaruv
Javob kechikishi, ms	68,7	42,3
Paket yo‘qotilishi, %	4,8	1,7
Boshqaruv sikli, s	0,34	0,21
Xatolik ko‘rsatkichi, %	6,2	2,4

4-jadvaldagi guruhlar farqi IoT boshqaruvda javob kechikishi, paket yo‘qotilishi va xatolik ko‘rsatkichlari kamayganini ko‘rsatdi. Sut sog‘ish qurilmalarida sensorlar va dasturiy ta’minotning birlashtirilishi real vaqtli qarorlarni qo‘llab-quvvatlaydi [4]. Mazkur raqamlar keyingi muhokamada simulyatsiya modeli va validatsiya natijalari bilan qiyoslanadi.

Tahlil natijalari 1-rasmda umumlashtirilgan holda berilgan.



1-rasm. Algoritmik murakkablik va benchmark taqqoslash diagrammasi

MUHOKAMA

Sensor–gateway–server arxitekturasi bo‘yicha sinovlar edge-qayta ishlash boshqaruv kechikishini kamaytirib, IoT asosidagi gipotezani qo‘llab-quvvatladi. Konstruktiv yechim va loyiha parametrlari gidravlik hisoblash, oqim rejimi hamda signal-shovqin nisbatini birgalikda hisobga olgani uchun boshqarish barqarorligi yaxshilangan. Bewley monitoring texnologiyalarini hayvon salomatligi va mahsuldorligi bilan bog‘lagan [1]; ushbu talqin sut sog‘ish qurilmalaridagi qayta aloqaning texnologik ahamiyatini kuchaytiradi. Rutten sensorlarni sog‘liqni boshqarish uchun asosiy axborot manbai sifatida izohlagan [2], biroq bu yerda sensor ma’lumoti bevosita ijro mexanizmiga uzatiladi. Tzounis qishloq xo‘jaligida IoT integratsiyasining tarmoq cheklovlarini qayd etgan [3]; natijalarimiz uzilishlarga chidamli buferlash zarurligini tasdiqlaydi.

5-jadval.

Muhokama mezonlarining sifat taqqoslanishi

Mezon	An’anaviy boshqaruv	IoT boshqaruvi
Kechikish	yuqori	past
Nosozlikka chidamlilik	cheklangan	oshirilgan

(cc) BY *dtai.uz*

5-jadvaldagi farq metrologik attestatsiya, o‘lchash noaniqligining propagatsiyasi va algoritm murakkabligi O(n) bilan izohlanadi. Cheklovlar tarmoq uzilishi, sensor kalibrlash va gateway apparat resurslarining chegaralanganligi bilan bog‘liq. Navbatdagi bosqichda QoS parametrlari, xavfsiz marshrutlash va simulyatsiya modeli validatsiyasi chuqurlashtiriladi.

XULOSA

Tadqiqot natijasida sut sog‘ish qurilmalarida jarayonlarni avtomatik boshqarish samaradorligini oshirishga mo‘ljallangan sensor–gateway–server arxitekturasi taklif etildi. Mazkur arxitekturada IoT sensorlaridan olingan ma’lumotlarni yig‘ish va qayta ishlash, chekka(edge)-qayta ishlash, hodisaga asoslangan boshqaruv hamda qayta aloqa monitoringi mexanizmlari yagona dasturiy yechimga birlashtirildi. Taklif etilgan yondashuvning samaradorligi an’anaviy va IoT asosidagi boshqaruv usullarini taqqoslash orqali baholandi. Eksperimental natijalarga ko‘ra, IoT boshqaruvi qo‘llanilganda javob kechikishi 68,7 ms dan 42,3 ms gacha, boshqaruv sikli davomiyligi 0,34 s dan 0,21 s gacha, paket yo‘qotilishi 4,8% dan 1,7% gacha va xatolik ko‘rsatkichi 6,2% dan 2,4% gacha kamaydi. Bu natijalar sinov sharoitida taklif etilgan arxitekturaning boshqaruv jarayonidagi tezkorlikni oshirish va ma’lumot uzatish sifatini yaxshilash imkoniyatini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, tizimning ishonchli ishlashini ta’minlash uchun sensorlarni davriy kalibrlash, o‘lchash noaniqligini baholash, nosozliklarni tahlil qilish, tarmoq uzilishlarida ma’lumotlarni buferlash va xavfsizlik monitoringini joriy etish muhim hisoblanadi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda tajribalar ko‘lamini kengaytirish, turli ish sharoitlarida tizimning barqarorligini baholash hamda xizmat ko‘rsatish sifati parametrlari, xavfsiz marshrutlash va qurilmalarning energiya sarfini birgalikda optimallashtiruvchi moslashuvchan boshqaruv algoritmini ishlab chiqish masaqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Nishanov A.X., Babadjanov E.S., Faizullayeva M.A., Serjanova D.S., Toliyev X.I. DOI: ***10.35940/ijies.H1114.12080825***.
2. Nishanov A., Zaripov F., Akbaraliev B., Babadjanov E., Geldibayev B. 2025. *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science* DOI:***10.26577/JMMCS2025125102***
3. Database of a Multi-Parameter Remote Monitoring System for the State of Livestock Herds and Feed Supply in Large-Area Pastures Nishanov A., Babadjanov E.
4. 2026.Konf ICFNDS'25 DOI: ***10.1145/3789692.3789720***
5. Bewley J.M. Precision dairy farming: Advanced monitoring technologies for animal health and productivity // Animal.-2010. Vol. 4.№ 3.-P. 365–371. ***DOI: 10.1017/S175173110999075X.***
6. Rutten C.J., Velthuis A.G.J., Steeneveld W., Hogeveen H. Invited review: Sensors to support health management on dairy farms // Journal of Dairy Science. 2013.Vol. 96. № 4.P. 1928–1952.***DOI: 10.3168/jds.2012-6107.***
7. Ayaz M., Ammad-Uddin M., Sharif Z., Mansour A., Aggoune E.-H.M. Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk // IEEE Access.2019.Vol. 7. P. 129551–129583. ***DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2932609.***
8. Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X. Deep learning in agriculture: A survey // Computers and Electronics in Agriculture. 2018.Vol. 147. P. 70–90.***DOI: 10.1016/j.compag.2018.02.01***6.
9. Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine learning in agriculture: A review // Sensors. — 2018. Vol. 18.№ 8.Article 2674. ***DOI: 10.3390/s18082674.***
10. Eastwood C.R., Klerkx L., Ayre M., Dela Rue B. Managing socio-ethical challenges in the development of smart farming: From a fragmented to a comprehensive approach for responsible research and innovation // Journal of Agricultural and Environmental Ethics. 2019. Vol. 32.№ 5–6. P. 741–768. ***DOI: 10.1007/s10806-017-9704-5***.

(cc) BY *dtai.uz*