

YAYLOV CHORVA PODALARINI BAHOLASHDA ILG'OR TEXNOLOGIK USULLARINING RETROSPEKTIV TAHLILI

Babadjanov Elmurod Satimbayevich¹, Faizullayeva Manzura Azimjanovna², Serjanova Dilbar Saatbayevna²

¹Nukus davlat texnika universiteti,

²Muhammad Al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

E-mail: elmurbes@gmail.com¹, fayzullaeva7117@gmail.com²

KEYWORDS

Edge Computing, IoT sensorlari, RFID, GPS, Reference reader, active, passive, Leader-based, yaylov podalari, real vaqt monitoringi, chorvachilik monitoringi.

ABSTRACT

Mazkur tadqiqotda ilg'or sensor qurilmalari va chekka hisoblash (Edge Computing) texnologiyalari yordamida yaylov sharoitidagi chorva podalarini real vaqt rejimida monitoring qilishning retrospektiv tahlili amalga oshirilgan. Uzoq masofali, ochiq hududlarda monitoring samaradorligini oshirish maqsadida Reference Reader gibrid modeli taklif etilgan. Mazkur arxitekturaning o'ziga xosligi - barcha obyektlarni qimmatbaho sensorlar bilan jihozlash o'rniga, tayanch obyekt tanlanib, unga

ma'lumot yig'uvchi (reference) qurilma va qolgan guruh a'zolariga passiv RFID teglar o'rnatish orqali iqtisodiy tejamkorlikka erishilganligidir. Adabiyotlar tanlash va saralash jarayoni PRISMA protokoli asosida olib borilgan bo'lib, RSSI asosidagi lokalizatsiya modellari, IoT sensor tarmoqlari (WSN) va Edge Computing yondashuvlari qiyosiy tahlil qilingan. Tadqiqotda Long-Distance Path Loss modeli asosida RSSI – masofa konversiyasi, Moving Average Filter yordamida signalni silliqlashtirish va poda dispersiyasini hisoblashning matematik asoslari keltirilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, Edge qurilmalari mahalliy darajada ma'lumotlarni filtrlash va birlashtirish orqali kechikishlarni sezilarli kamaytiradi va yuzlab gektarli, internet infrastrukturasini cheklangan yaylovlarda - xususan Qoraqalpog'istonning cho'l va tuzli iqlim sharoitida obyektlarni identifikatsiya, inventarizatsiya va aniq lokalizatsiya qilishda samarali yechim bo'la oladi.

I. Kirish

Hozirgi kunda simsiz texnologiyalarning jadal rivojlanishi natijasida Internet buyumlari (IoT-Internet of Things) vositalari va sensor qurilmalari deyarli barcha sohalarda ommalashib bormoqda. So'nggi o'n yillikda katta hajmdagi ma'lumotlarni saqlash va qayta ishlashda Cloud Computing asosiy yechim bo'lib kelgan bo'lsa-da, bugungi kunda IoT, Radiochastota identifikatsiyasi (RFID- Radio Frequency IDentification) kabi texnologiyalarning o'sishi butunlay yangi talablarni yuzaga keltirdi. Endilikda asosiy e'tibor ma'lumotlarni nafaqat saqlashga, balki real vaqt rejimida tezkor javob olish, vaziyatni to'g'ri baholash va foydalanuvchi harakatchanligini ta'minlashga qaratilmoqda. Xususan, real vaqt rejimida joylashuvni aniqlash tizimlari (RTLS) ob'ektlar xavfsizligini ta'minlash va samarali boshqaruv mexanizmlarini joriy etishda asosiy texnologik yechim bo'lib xizmat qilmoqda. Cloud Computing paradigmasining

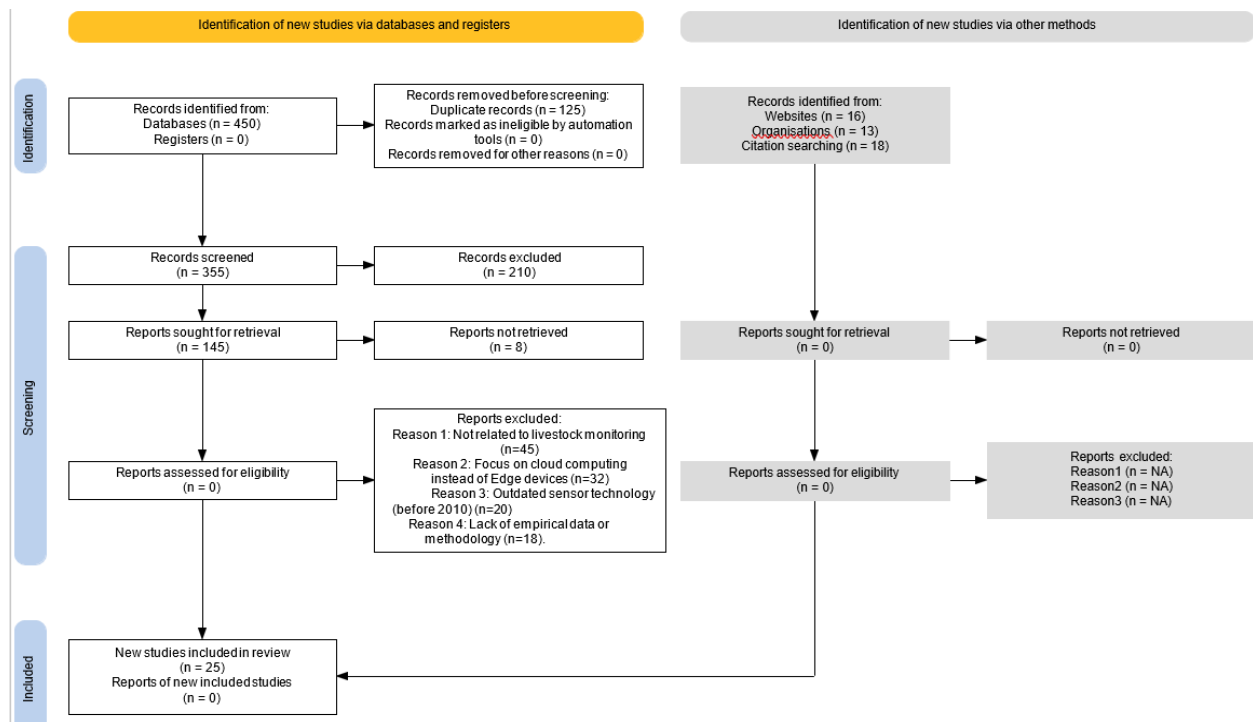
asosi optik tarmoqlar orqali bog'langan va yakuniy foydalanuvchiga yagona resurs bo'lib ko'rindigan ma'lumot markazlari tarmoqlariga (DCN) tayansa-da, IoT tizimlari ushbu yaxshi o'rnatilgan yechimlar oldiga yangi muammolarni qo'ydi. Chekka hisoblash (EC- Edge Computing) aynan shu qiyinchiliklarni yengib o'tish uchun uzoq masofada joylashgan qurilmalar va bulutli hisoblash o'rtasidagi oraliq qatlamni ta'minlaydi hamda Internetga ulangan ko'p sonli IoT qurilmalarining hisoblash imkoniyatlaridan unumli foydalanadi. Ushbu qurilmalar orqali ba'zi so'rovlarning mahalliy darajada qayta ishlanishi ma'lumotlar markazlaridagi yuklamani kamaytiradi, natijada so'rovlarni hal qilishdagi kechikishlar bartaraf etilib, real vaqt rejimida ishlov berish imkoni tug'iladi. IoT texnologiyalarida chekka hisoblashni qo'llash qurilmalardan olingan ma'lumotlarni markazlashgan holda birlashtirish, ularni dastlabki qayta ishlash va yuklash, shuningdek, joylashuvni aniqlash imkoniyatlarini kengaytirdi. Shu bilan

birga, resurslarni virtuallashtirish va proaktiv keshlash texnologiyalari tizimlarning ishlash samaradorligini sezilarli darajada oshirish imkonini yaratdi [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]. Avvalgi ishimizda har xil sensorlardan olingan ma'lumotlar asosida ob'ektlarning holati va harakatini tahlil qilish masalalarini ko'rib chiqqan edik [11]. Mazkur tadqiqotda Edge Computing imkoniyatlaridan foydalangan holda, sensor ma'lumotlarini bevosita tarmoqning chetki qatlamida birlashtirish va filtrlash mexanizmini taklif etiladi. Ushbu yondashuvni amalga oshirish doirasida Reference Reader (Leader-based) tamoyiliga asoslangan gibrid tizimni ishlab chiqish maqsad qilingan. Tizimning o'ziga xosligi shundaki, iqtisodiy samaradorlikni ta'minlash uchun bitta asosiy ob'ektga tayanch (reference) teg, qolgan barcha ob'ektlarga esa passiv RFID teglar o'rnatiladi. Mazkur tadqiqotda Edge qurilmalaridan foydalanishimizning asosiy sababi – uzoq masofadagi ochiq yaylov sharoitida ko'p sonli ob'ektlarni identifikatsiya, inventarizatsiya va aniq lokalizatsiya qilishda yuqori tezlikni ta'minlashdir. Bu kabi keng maydonlarda ma'lumotlarni mahalliy darajada qayta ishlash nafaqat resurslarni virtuallashtirish orqali xizmat ko'rsatish sifatini (QoE) yaxshilaydi, balki favqulodda vaziyatlarda qaror qabul qilish tezligini maksimal darajada oshiradi. Shu sababli, ilg'or sensorlar va edge qurilmalar yordamida yaylov podalari hamda ularning holatini baholashning retrospektiv tahlili o'tkazildi. Ushbu tahlil uchun adabiyotlarni tanlab olish va saralash jarayoni PRISMA protokoli asosida amalga oshirildi (1-rasm).

Adabiyotlarni qidirish jarayoni Web of Science, Google Scholar, IEEE Xplore va MDPI kabi elektron ma'lumotlar bazalarida 2018–2025 yillar oralig'idagi nashrlar qamrab olingan. Qidiruvda “RFID livestock monitoring”, “IoT texnologiyalari Edge Computing vositalari bilan”, “Wireless sensor network cattle” va “Leader-based

tracking system” kalit matnlari qo'llanildi. Dastlabki qidiruvda ma'lumotlar bazalari va registrlardan 450 ta yozuv aniqlandi. Bundan tashqari, veb-saytlardan 16 ta, tashkilotlardan 13 ta va iqtibos qidiruvidan 18 ta qo'shimcha manba topildi. Dublikatlar ($n = 125$) chiqarib tashlanganidan so'ng, sarlavha va annotatsiya bo'yicha saralash bosqichida 355 ta yozuv ko'rib chiqildi. Ulardan 210 tasi mavzuga mos kelmaganligi sababli rad etildi. Umumiy 145 ta maqoladan 8 tasi topilmadi va qolganlarining ichidan tanlab olish uchun quyidagicha aniq shartli mezonlar belgilandi: chorvachilik monitoringiga aloqasi yo'q ($n = 45$), Edge qurilmalar o'rniga bulutli hisoblashga yo'naltirilgan ($n = 32$), eskirgan sensor texnologiyasi, ya'ni 2010 yilgacha ($n = 20$) va empirik ma'lumot yoki metodologiya yo'qligi ($n = 18$). Natijada mezonlarga to'liq javob bergan 25 ta maqola yakuniy tahlil uchun olindi. Ushbu maqolalar adabiyotlar sharhining asosiy metodologik bazasini tashkil etadi. Adabiyotlarni tanlash jarayoning PRISMA oqim diagrammasi 1-rasmدا keltirilgan.

Mavjud tadqiqotlarning aksariyati asosan ferma ichidagi monitoringga qaratilgan. Ochiq yaylov podalarini kuzatishda GNSS (Global Navigatsiya Sun'iy Yo'ldosh Tizimi) asosidagi yechimlar foydalaniladi [12], [13]. Lekin, bunday GPS quloq teglari hayvon boshiga nisbatan juda qimmat bo'lib, bu ko'pchilik fermerlarda o'zini oqlamaydi. Fermerlar qoramollarni boqishda davriy, mavsumiy yaylovlardan foydalanishadi, natijada ular ko'p vaqtini fermadan uzoqda o'tkazishadi. Bu esa ularni qo'lda nazorat qilish, veterinariya ko'rigda ko'p vaqt va resurs talab etadi. Inson mehnati va resurs tejamlorligi uchun ushbu jarayonni avtomatlashtirish lozim. Ishda taklif etiladigan Edge Computing va passiv RFID asosidagi gibrid tizim aynan shu kabi keng maydonlarda samarali bo'lib, hayvonlarning harakatini real vaqt rejimida monitoring qilish va joylashuvini aniqlash imkonini beradi.



1-rasm. PRISMA asosida adabiyotlarni tanlab olish jarayoni.

II. Adabiyotlar sharhi

Ushbu bo'lim PRISMA tahlili asosida tanlangan 25 ta maqola va sohaviy-texnik asoslarni yorituvchi qo'shimcha manbalar sharhning asosiy metodologik bazasini tashkil etadi. Qaralayotgan mavzuni mantiqiy va tizimli ravishda chuqur yoritish zarurati sababli adabiyotlar sharhi uch qismga ajratildi. Jumladan, 1-qism mavzuning umumiy nazariy asoslarini, xususan, yetakchiga ergashish va ko'p agentli

2.1 Chegaralangan hududda harakatdagi obyektlarni kuzatish.

Zamonaviy intellektual tizimlarda ob'ektlar harakatini masofadan nazorat qilish va ularning joylashuvini real vaqt rejimida aniqlash (RTLS) global miqyosdagi ustuvor vazifalardan biri hisoblanadi. Xususan, transport harakatini boshqarish nazoratida keng qo'llaniladigan texnologiyalar resurslarni tejash va guruhli harakatni optimallashtirish bo'yicha baza shakllangan. Ushbu sohada ishlab chiqilgan modellari nafaqat texnik vositalar, balki murakkab biologik tizimlar, xususan, yaylov sharoitidagi chorva mollarining guruhli harakatini nazorat qilish uchun ham fundamental asos bo'la oladi.

tizimlarda konsensus modellari kabi fundamental yondashuvlarni; 2-qism tayanch obyektga asoslangan aloqa mexanizmlari, mayoq signallari, RSSI asosidagi masofa baholash va passiv RFID texnologiyalarining fizik-matematik tamoyillarini; 3-qism esa mavjud chorvachilik monitoring yechimlarini qiyosiy tahlil qilish orqali sohadagi texnologik bo'shliqlar va taklif etilayotgan gibril modelning afzalliklarini ilmiy jihatdan asoslab beradi. Bu tuzilma adabiyotlarni bosqichma-bosqich chuqurlashtirib, taklif etilayotgan Leader-Tag modeliga poydevor yaratadi.

Ushbu bo'limda mayoq signallarini uzatish tahlili, obyektning kuzatish modeli va aloqa muhitida ulangan ko'p obyektli tizimlar tahlili keng yoritilgan. Jumladan, Qin, Yu va Liu turli sharoitlarda yetakchiga ergashish (leader-following) konsensusini tahlil qilishdi [14], [15], [16]. You va Zhang ko'p agentli tizim konsensusi uchun zaruriy va yetarli shartlarni taqdim etishdi [17], [18]. Bu tadqiqotlar nafaqat yetakchi va ergashuvchi transport vositalari o'rtasida, balki platondagi har bir juft transport vositasi o'rtasida ham aloqa bog'lanishini talab qiladi, bu esa aloqa yukini oshirib, samaradorlikni pasaytiradi. Yuqorida tahlil qilingan transport platonlari va ularning aloqa topologiyalari asosan yuqori

aniqlikdagi sensorlar va doimiy ma'lumot almashinuviga tayanadi.

Xususan, RFID asosidagi monitoring tizimlarida signal kuchi ko'rsatkichi yordamida masofani aniqlash va ob'ektlarni lokalizatsiya qilish keng o'rganilmoqda [19]. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, Reference Reader va passiv teglardan foydalanish tizim tannarxini sezilarli darajada kamaytiradi, ammo signalning tashqi muhit ta'sirida so'nishi va ko'p yo'nalishli tarqalishi aniqlik darajasiga ta'sir qiladi [20]. Shu nuqtai nazardan, transport sohasidagi Leader-Follower algoritmlarini yaylov sharoitiga transformatsiya qilib, bunda bitta intellektual Reference Reader "Leader" obyekt tanlanib olinadi. Uning qamrov maydonidagi RSSI ko'rsatkichlari asosida hayvonlar koordinatalari aniqlanadi. Bu yondashuv transport tizimlaridagi markazlashmagan boshqaruv mantiqini qishloq xo'jaligi WSN tarmoqlari va edge vositalari bilan uyg'unlashtirib, katta hududlarda kam energiya sarfi bilan yuqori samaradorlikka erishish imkonini beradi. Zamonaviy chorvachilikda IoT texnologiyalarini qo'llash nafaqat hayvonlar salomatligini masofadan nazorat qilish, balki ularning oziqlanishi va o'sish dinamikasini aniq ma'lumotlar asosida tahlil qilish imkonini beradi. Mazkur texnologiyalar yordamida olingan real vaqtdagi ma'lumotlar kasalliklarning oldini olish, energiya va ozuqa sarfini kamaytirish hamda fermer xo'jaliklarining iqtisodiy barqarorligini ta'minlashda muhim vosita bo'lib xizmat qiladi [21], [22], [23]. O'zbekistonda chorvachilik sohasida E.Babadjanov, X.Toliyev ilg'or texnologiyalarga asoslangan "aqlli chorva" fermalarini shakllantirish va qoramol kasalliklarini aniqlash borasida, shuningdek, iqtisodiy tomonidan S.Abdullaeva kabi olimlar ish olib borayotganini sir emas [24]. Lekin, ularning tadqiqotlari asosan fermada olib borilgan bo'lib, inson kuzatishi qiyin bo'lgan uzoq masofadagi yaylovlarda ob'ektlarni monitoring qilish masalasi ko'rilmagan.

Arifin va Se-yeon o'z tadqiqotlarida aqlli chorvachilikni rivojlantirish uchun chuqur o'rganish (deep learning) texnologiyalari yordamida hayvonlar monitoringini avtomatlashtirish imkoniyatlarini batafsil tahlil qilganlar [25]. Tadqiqotda hayvonlarning faoliyatini aniqlash, bioxavfsizligini ta'minlash va mahsuldorlikni optimallashtirish maqsadida tasvirlar orqali aniqlash (detection), ularning

harakatini kuzatish (tracking), tana holatini baholash (pose estimation) va murakkab harakatlarni tasniflash (behavior classification) kabi asosiy texnik yo'nalishlar yoritilgan. Neyron tarmoq modellari real vaqt rejimida yuqori aniqlikni ta'minlashda, ma'lumotlarni yig'ish va modellarni har xil hayvon turlariga moslashtirish jarayonidagi qiyinchiliklar asosiy muammo bo'lib qolmoqda [25]. Biroq, katta masshtabli yaylovlarda chorva mollarini monitoring qilishda har bir obyektga qimmatbaho uskunalar o'rnatish iqtisodiy jihatdan samarasizdir. Shu sababli, simsiz sensor tarmoqlari (WSN) va RFID texnologiyalarini qishloq xo'jaligiga moslashtirish bo'yicha tadqiqotlar alohida ahamiyat kasb etadi. Yuqorida sanab o'tilgan texnologik yondashuvlar va nazariy asoslar quyida ikkita yo'nalish: mayoqqa asoslangan aloqa va ob'ektni kuzatish modeli ketma-ket tahlil qilinadi.

2.2 Tayanch boshqaruv obyektiga asoslangan ma'lumot almashinuvi.

Katta ochiq hududlarda ob'ektlarni real vaqt rejimida kuzatishda asosiy muammo - ma'lumotlarni ishonchli va energiya tejamkor tarzda uzatishdir. Shu sababli, simsiz tizimlarda mayoq signallari keng qo'llaniladi: har bir qurilma o'z joylashuvi, tezligi va holatini davriy ravishda atrofdagi qabul qiluvchilarga uzatadi. Transport tizimlarida bu mexanizm yaxshi o'rganilgan [26]. Bitta tayanch obyektga o'rnatilgan qurilma yordamida qolganlariga uzatish va "xabardor qilishi" tamoyilidan kelib chiqib RFID asosidagi chorvachilik monitoringida ham qo'llanilishi mumkin. Bunda Reference Reader mayoq sifatida ishlaydi, passiv teglar esa uning signalini qaytaradi. Transport ma'lumotlarini davriy ravishda tarqatish uchun mayoq joylashuvi, tezligi, yo'nalishlarini aniqlashda va mayoq uzatish samaradorligini tahlil qilishda qo'llaniladi [26]. CSMA/CA mexanizmiga ko'ra, kanalda faqat bitta mayoq uzatiladi, ya'ni uchta holat bo'yicha: agar kanal bo'sh bo'lsa mayoq uzatilmaydi, faqat bitta mayoq muvaffaqiyatli uzatiladi va bir nechta transport vositalari to'qnashuvlari yuzaga kelishi mumkin bo'lgan kanalda tayanch obyektga signal yuborish orqali ularning xavfsizlik choralari qoralgan (2-rasm).

$$T_s = \frac{T_h + \frac{L}{R} + T_{AIFS}}{\sigma};$$
 bu erda σ mayoqni tahlil qilishni osonlashtirish uchun slot vaqti (vaqt birligi) deb

belgilangan, T_s - muvaffaqiyatli uzatishning slot vaqti hisobidagi davomiyligi, bu yerda T_h - fizik qatlam konvergensiya protokoli (PLCP) preambulasi va sarlavhasining davom etish vaqti, L - mayoq uzunligi, R - ma'lumot uzatish tezligi va T_{AIFS} - uzatilayotgan kadrlar orasidagi vaqt oralig'i. $T_c = (T_h + L/R + T_{EIFS})/\sigma$ - ma'lumotlar to'qnashuvining vaqt davomiyligi, bu yerda T_{EIFS} - fizik qatlam mayoqning muvaffaqiyatsiz uzatilganligini ko'rsatadigan xarajat vaqti. Bundan tashqari, $T = (T_{CCH} - T_g - T_h - L/R)/\sigma - T_\omega$ - foydali davomiylilik, bu yerda T_{CCH} va T_g - mos ravishda boshqaruv tarmog'i (CCH-control channel) intervalining davomiyligi va himoya vaqti. T_ω - bu ω bahs oynasidan tasodifiy tanlangan o'chirish vaqti. Dastlab, mayoq T_ω tasodifiy kechikish bilan kutishi kerak va t vaqtda l nshi slotga uzatiladi. Shunga ko'ra, $p(T_t = t) = 1/W$ uzatishning boshlanish vaqti ehtimoli sifatida aniqlanadi. $p(l, N, W, k)$ ehtimollik aloqa tarmog'idagi N ta transport vositasi W ichidan kutish vaqtini tanlaydi, lekin faqat k ta transport vositasi l shi slotda ma'lumot uzatishni amalga oshiradi. Demak, bizda

$$p(l, N, W, k) = \left[1 - \sum_{t=0}^{l-1} p(T_t = t) \right]^N \binom{N}{k} \left[\frac{p(T_t = l)}{1 - \sum_{t=0}^{l-1} p(T_t = t)} \right]^k * \left[1 - \frac{p(T_t = l)}{1 - \sum_{t=0}^{l-1} p(T_t = t)} \right]^{M-k} \quad (1)$$

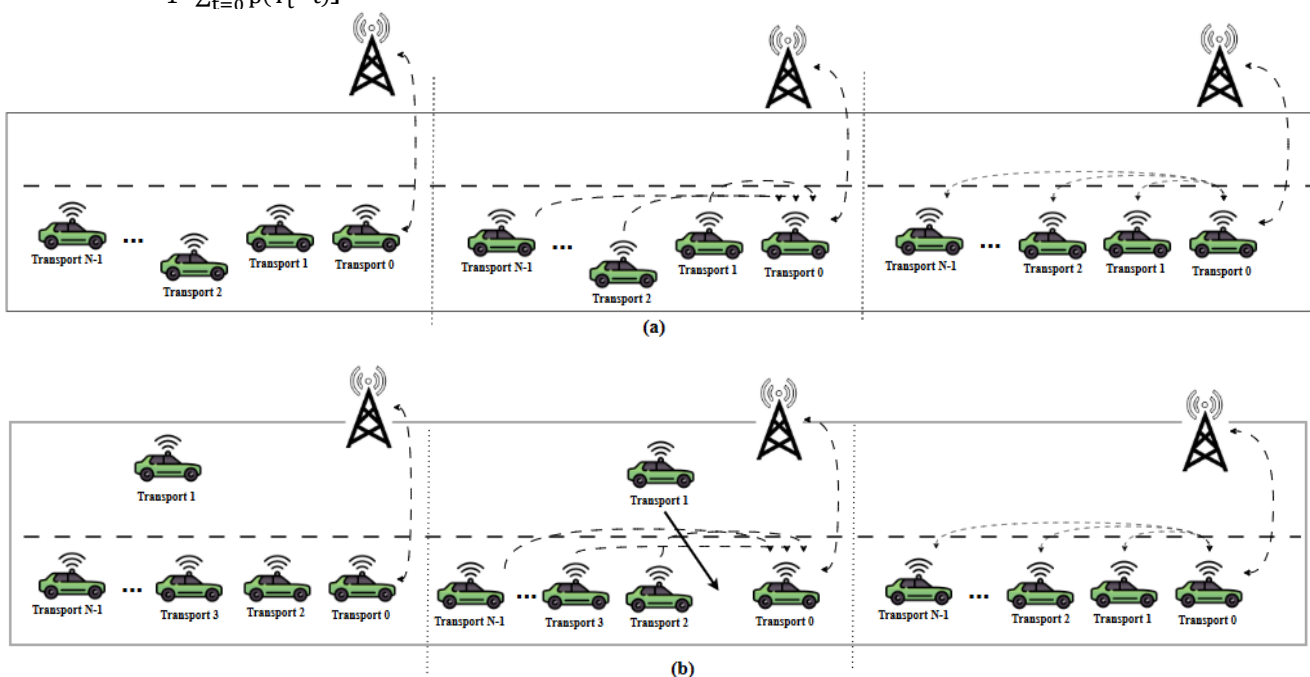
bunda $\sum_{t=0}^{l-1} p(T_t = t)$ birinchi uzatish urinishigacha $(l - 1)$ ta slot o'tishi ehtimolligini anglatadi va $p(T_t = l)/1 - \sum_{t=0}^{l-1} p(T_t = t)$ qolgan $(T + W - 1)$ slotlarda istalgan slotni tanlash ehtimolini bildiradi. (1) ga asosan, $X(t, N)$ har bir CCH oralig'ida mayoqlarni muvaffaqiyatli uzatuvchi N ta transport vositasining o'rtacha soni sifatida aniqlanadi. Shuni ta'kidlash kerakki, t - bu oraliqda qolgan tirqishlar va $X(t, N)$ ni quyidagicha hisoblash mumkin:

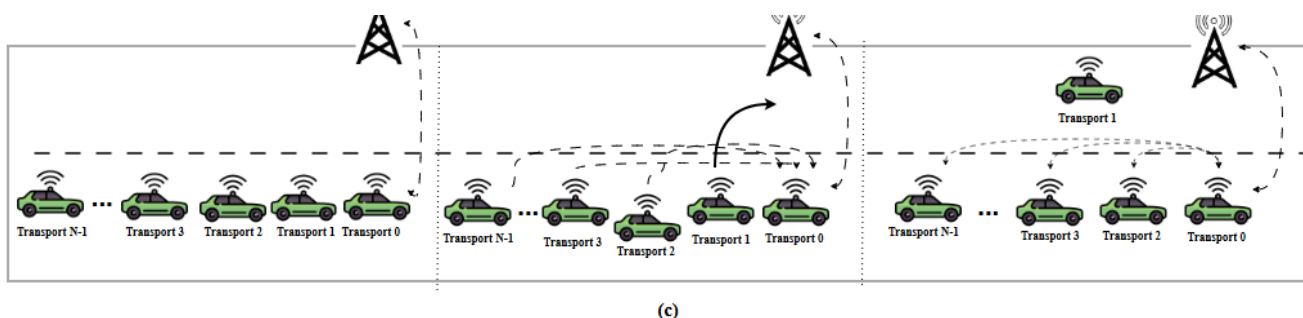
$$X(t, N) = \sum_{l=0}^t \{ p(l, N, W, 1) [1 + X(t - l + 1 - T_s, N - 1)] + \sum_{k=2}^M p(l, N, W, k) X(t - l + 1 - T_c, N - k) \} \quad (2)$$

bu yerda (2) dagi dastlabki ikkita had N ta transport vositasidan biri W slotlardan teskari uzilish tanlangan holda l -chi slotda uzatish ehtimolini bildiradi. $X(t - l + 1 - T_s, N - 1)$ - qolgan $t - l + 1 - T_s$ slotlaridagi muvaffaqiyatli uzatishlarning o'rtacha soni. Uchinchi qo'shiluvchi N ta transport vositasining k tasi l -bo'shliqda uzatishini va shu bilan to'qnashuvlarni keltirib chiqarishini bildiradi [54].

$$p_j = \frac{X(t, N-1)}{N-1} \quad (3)$$

Etibor bering $p_j = 1$ agar $p_j > \omega$ bo'lsa; aks holda, $p_j = 0$, $\omega = 0.6$ chegaraviy qiymat.





2-rasm. Uchta ssenariyning aloqa topologiyalari. (a) Platon tuzish. (b) Transport vositalarini birlashtirish. (c) Transport vositasining tarqalishi.

1-izoh: Chegaraviy qiymatni tanlash, ehtimollik yetarlicha yuqori bo'lganda, CV kontekstida transport ma'lumotlarini muvaffaqiyatli almashish mumkinligini ko'rsatishga intiladi. Ushbu tadqiqotda, agar $p_j \geq \omega$ bo'lsa, transport vositalari o'rtasida ishonchli ma'lumot almashinuvi sodir bo'lishini ta'minlash maqsadida $\omega = 0.6$ belgilangan. Masalan, agar $p_j = 0,1$ bo'lsa, mayoqni muvaffaqiyatli yetkazib berish ehtimoli axborot almashinuvini kafolatlash uchun juda kichik.

2-izoh: Campolo ishiga ko'ra, T_{vaqt} - mayoq transmissiyasining maksimal kutish vaqti, $2 < N < W$ bo'lganda $T_{vaqt} = (N - 1) \cdot T_s + [W - (N - 1) - 1]$ bo'ladi, bu yerda N - transport vositasi raqami va W - bahs oynasi o'lchami. Tajribalarda $W = 8$ va $N = 4$ tanlangan [19]. Demak, $T_{vaqt} = 26,81$ slot. Agar slot vaqti $16 \mu s$ bo'lsa, u taxminan $4,29 \times 10^{-4} s$ ni tashkil qiladi. Bundan tashqari, IEEE 802.11p da o'rtacha oxirgi aloqa kechikishi soniyaning yuzdan bir ulushlari tartibida (ya'ni 10–2s) [20]. Amaliy qo'llanishda olingan vaqtga asoslanib, ushbu tadqiqot T_{vaqt} va aloqa kechikishini hisobga olmaydi.

Montanaro tomonidan UHF-RFID texnologiyasining elektromagnit xususiyatlaridan foydalangan holda, ochiq maydonlarda ishchilar xavfsizligini ta'minlash va ularning joylashuvini monitoring qilish tizimi ishlab chiqilgan [26]. Mazkur ishda 125 kGs past chastotali (LF) va 13,56 MGs yuqori chastotali (HF) tizimlardan foydalanilgan. Ikkala tizim ham reader va teg o'rtasida deyarli yaqin aloqani talab qiladi, chunki ular induktiv bog'lanish tamoyiliga asoslangan, ayniqsa LF tizimlari. Shu sababli ularni mahalliyashtirish maqsadida qo'llash mumkin emas. HF teglari bir necha santimetr masofadan o'qiladi va yaqinlikni lokalizatsiya qilish

printsipidan foydalangan holda robotlarni ichki lokalizatsiya qilish uchun ishlatilgan [1]. Bunday yondashuv tashqi muhitda amalga oshirib bo'lmazligi, yuqori infratuzilma xarajatlari va texnik xizmat ko'rsatishni talab qiladi. UHF tizimlari 433 MGs, 860-960 MGs va 2,4 GGs chastotalarda ishlaydi, shu sababli UHF teglarini elektromagnit signal uzatish orqali kattaroq masofalarda ham aniqlash imkonini mavjud. Akkumulyator bilan jihozlangan faol teglar o'ndan bir metr masofaga yetadi, ammo quvvat manbaining mavjudligi texnik xizmat ko'rsatish va ko'piroq xarajat talab qiladi. Shu sababli passiv UHF-RFID teglardan foydalanish ancha samarali. Ular modulyatsiyalangan teskari sochilish printsipi orqali aloqa qiladi, reader qabul qilgan signal kuchining ko'rsatkichi va teskari tarqalgan signalning fazasi ularning yaqin yoki uzoqda ekanligini anglatadi [28], [29], [30], [31]. Garchi fazali algoritmlar faza parametrining yuqori sezgirligi tufayli juda yaxshi ishlashni ko'rsatsada, ularning tashqi muhitda qo'llanilishi hali chuqur o'rganilmagan. Qabul qilingan quvvat quyidagicha ifodalanadi [29]:

$$P_{RX} = P_{TX} G_R^2 G_T^2 X^2 K \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^4 |H^4| \quad (4)$$

bu yerda P_{RX} – reader tomonidan qabul qilinadigan quvvat, G_R va G_T – mos ravishda reader va teg antennalarining kuchaytirish koeffitsiyentlari, x – reader va teg antennalari orasidagi qutblanish nomuvofiqiligini hisobga oluvchi depolyarizatsiya koeffitsiyenti, λ – elektromagnit signal tashuvchisining to'lqin uzunligi, d – reader va teg antennalari orasidagi masofa hamda K – teg tomonidan foydali signalga qayta tarqaladigan tushayotgan quvvat miqdorini hisobga oluvchi parametrlarni bildiradi. H esa aloqa muhiti javobini tavsiflovchi murakkab omilni ifodalaydi. H kanalning javob reaksiyasini ifodalovchi kompleks omilni bildiradi. To'g'ridan-

to'g'ri ko'rinish (LOS) sharoitida $H = 1$ bo'lsa-da, teskari sochilishning kuchayish koeffitsiyenti K ning mavjudligi va noma'lum aloqa kanalining ta'siri reader qurilma va teg orasidagi masofani qabul qilingan quvvatdan bevosita aniqlashga to'sqinlik qiladi. Tizim har bir ishchi, to'siq yoki haydovchining o'zi turli balandliklarda bir xil model va yo'nalishga ega bo'lgan kamida ikkita RFID teg bilan jihozlanishini talab qiladi. Har xil teglardan foydalangan holda, qaytuvchi tarqalishni kuchaytirish koeffitsiyenti K ni yo'q qilish va r_k masofasini mavjud RSSI ma'lumotlari yordamida, hech qanday oldindan oflayn sozlash bosqichisiz o'lchash mumkin bo'ladi. Kuzatuv tizimining har bir bosqichida pozitsiya baholanadigan va oldingi holatlar haqida hech qanday xotiraga ega bo'lmagan oddiy joylashuvni aniqlash tizimidan afzalligi, izning yo'qolganligini baholash imkoniyatidir. Agar ishchi xavfli joyda bo'lsa yoki haydovchi ko'rinmay qolsa, signal berish jarayoni ishga tushiriladi. Katta ehtimol bilan, eng yuqori RSSI qiymatiga ega ma'lumotlarni to'plagan antenna teg joylashgan yo'nalishni aniqlab beradi.

2.3 Obyektlarni kuzatishning mavjud yondashuvlar tahlili.

Sarzosa, Rocha va Yoo tomonidan o'tkazilgan tadqiqot qoramollar kuzatuv uchun RFID teglar, GPS halqalar, dronlar va biosensorlar kabi texnologik yechimlarni PRISMA metodologiyasi asosida tizimli tahlil qilishga bag'ishlangan [32]. Mualliflar Scopus va Web of Science kabi nufuzli bazalardan olingan ma'lumotlarni sintez qilib, monitoring tizimlarini baholash uchun sakkizta muhim mezonni (aniqlik, energiya samaradorligi, narx, ishonchlik va boshqalar) taklif etadilar. Ushbu tadqiqotda ESP32 asosidagi maxsus qurilmalar va RFID kombinatsiyasi eng istiqbolli yechim sifatida alohida ta'kidlangan bo'lib, bu bizning tadqiqotimizda RR (ESP32+RFID+GPS) pog'onini tanlashimiz uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Shu bilan birga, maqolada statsionar RFID o'quvchi qurilmalarisiz inventarizatsiya qilish jarayoni sohadagi ochiq masala sifatida qayd etilgan.

Modak va boshqalar tomonidan IET Wireless Sensor Systems jurnalida chop etilgan tadqiqot chorvachilik salomatligini monitoring qilishda IoT texnologiyalarining o'rni va ularni tatbiq etish usullarini tizimli tahlil qiladi [33]. Mazkur ishda akselerometrlar, harorat va yurak

urishi sensorlarini Raspberry Pi, ESP8266 hamda ESP32 kabi mikrokontrollerlar bilan integratsiya qilishning samarali modellari ko'rib chiqilgan. Mualliflar, xususan, ESP32 va Raspberry Pi kombinatsiyasini IoT sensor ma'lumotlarini markaziy serverga uzatishda eng optimal arxitektura sifatida e'tirof etadilar. Shuningdek, ma'lumotlar uzatishda WiFi va GSM bilan bir qatorda, uzoq masofalar (5–15 km) uchun LoRa protokolining afzalliklari hamda vaqt qatori tahlilida LSTM modellarining yuqori bashoratlash aniqligi asoslab berilgan. Ushbu tadqiqot bizning loyihamızda ChR (Raspberry Pi 4B) va RR (ESP32) pog'onlarini tanlashimiz uchun nazariy poydevor vazifasini o'taydi, chunki bu arxitektura sensorlar tarmog'ini markaziy boshqaruv tizimi bilan bog'lashda eng ishonchli va keng tarqalgan yechim ekanligi ilmiy jihatdan tasdiqlangan [33].

Nishanov Axram va Babadjanov Elmurod tomonidan taqdim etilgan tadqiqot chorva fermasi hududidagi axborot oqimlarini boshqarish tizimiga bag'ishlangan bo'lib, statsionar infratuzilma sharoitida RFID teglar, sensorlar va o'quvchi qurilmalar integratsiyasini ko'rib chiqadi [34]. Mualliflar tizimning sensor qatlami, gateway (Raspberry Pi) va bulutli serverdan iborat uch pog'onali arxitekturasini hamda hayvonlar kasalliklarini erta aniqlashning zamonaviy algoritmlarini taklif etadilar. Mazkur yondashuv bizning tadqiqotimiz uchun muhim metodologik asos bo'lib, tizim pog'onalari va funksional vazifalarning taqsimlanishini belgilashda xizmat qiladi. Biroq, Babadjanovning statsionar fermaga mo'ljallangan ushbu modeli bizning ishimizda "harakatlanuvchi podani raqamlashtirish" konsepsiyasiga kengaytirilgan bo'lib, u ko'chma yaylov sharoitidagi Leader-Tag tizimi uchun asosiy benchmark (taqqoslash nuqtasi) vazifasini bajaradi.

Wrzecinska, Czerniawska-Piatkowska va hammualliflarining tadqiqotida qishloq xo'jaligini raqamlashtirishning global tendensiyalari tahlil qilinib, chorvachilik nazoratida sun'iy intellekt, IoT, kompyuter ko'rishi va mashinali o'qitish texnologiyalarining o'rni keng yoritilgan [35]. Mualliflar sohadagi asosiy taraqqiyot yo'nalishi sifatida energiya samaradorligi yuqori, arzon va ma'lumotlarni bevosita qurilmaning o'zida qayta ishlash (edge computing) imkoniyatiga ega tizimlarni ko'rsatib o'tadilar. Ushbu ilmiy qarash bizning tadqiqotimiz uchun muhim ahamiyatga ega bo'lib, biz ishlab chiqqan RR pog'oni aynan

zamonaviy texnologik talablarga javob beruvchi, energiya tejankor va intellektual chekka hisoblash imkoniyatiga ega amaliy yechim ekanligini tasdiqlaydi.

Garcia-Sanchez A.J. va hammualliflari o'z tadqiqotlarida IoT va RFID texnologiyalarining aqlli qishloq xo'jaligidagi o'rmini tizimli ravishda tahlil qilib, faol va passiv RFID teglarni o'qish masofasi, energiya sarfi, xarajat va ishonchlilik mezonlari bo'yicha qiyoslaydilar [36]. Ayniqsa, ISO 18000-6C (EPC Gen2 UHF) standartining texnik imkoniyatlari maqolada batafsil asoslab berilgan. Mazkur ilmiy xulosalar bizning tadqiqotimizdagi RTag pog'onasi uchun fundamental asos bo'lib xizmat qildi. Tizimdagi ISO 18000-6C standart passiv teglarning tanlanishi hamda RC522 RFID modulining amaliy qo'llanilishi (o'qish masofasi $r \leq 5$ m chegarasida) ushbu xalqaro standart talablari va mualliflar tomonidan ko'rsatilgan nazariyaning amalda o'z tasdig'ini topishidir.

Nolasco-Jáuregui O.A. va hammualliflari tomonidan *MDPI Sustainability* jurnalida chop etilgan ushbu maqola 2018–2023-yillar oralig'ida ishlab chiqilgan IoT asosidagi chorvachilik monitoring tizimlarini keng qamrovli tahlil qiladi [37]. Tadqiqotda turli mikrokontrollerlar (Arduino, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi), sensorlar (harorat, akselerometr, GPS, RFID) va zamonaviy kommunikatsiya protokollari (WiFi, Zigbee, LoRa, NB-IoT) hamda ularning mashinali o'qitish bilan integratsiyasi ko'rib chiqilgan. Maqolaning bizning tadqiqotimiz uchun ahamiyati shundaki, mualliflar sohadagi mavjud "arxitektura bo'shlig'ini" aniq ko'rsatib berishgan, xususan, "ko'chma muhitda oflayn ishlash qobiliyati" va "geterogen ma'lumotlar birlashuvi" kabi masalalar hali ham ochiq muammo bo'lib qolayotgani ta'kidlangan. Biz taklif etayotgan 4 pog'onali arxitektura aynan ushbu texnologik bo'shliqlarni to'ldirishga va tizimning avtonom sharoitlarda barqaror ishlashini ta'minlashga yo'naltirilgan.

Nishanov, Babadjanov va Faizullayeva tomonidan OUCI ma'lumotlar bazasida taqdim etilgan tadqiqot yirik va borish qiyin bo'lgan hududlarda chorvachilikni masofadan turib monitoring qilishda GPS, IoT va NDVI (Normalizatsiyalangan vegetatsiya indeksi) texnologiyalarini integratsiyalashga qaratilgan [11]. Tadqiqotda Arduino, GPS va GPRS modullari yordamida hayvonlarni geofensing (virtual chegara) asosida kuzatish hamda yaylov

unumdorligini NDVI ko'rsatkichlari orqali baholash metodikasi ishlab chiqilgan. Ushbu yondashuv hayvonlar harakati bilan yaylov degradatsiyasi o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlashda innovatsion yechim hisoblanadi. Biroq, Nishanov va Faizullayeva yondashuvida har bir hayvon uchun qimmatbaho GPS bo'yinbog'lari talab etilsa, biz taklif etayotgan RTag+RR kombinatsiyasi xuddi shu funktsionallikni iqtisodiy jihatdan ancha tejankor va samarali ko'rinishda amalga oshirish imkonini beradi.

Zhang J. va hammualliflari tomonidan olib borilgan tadqiqot aqlli qishloq xo'jaligida "bulut-edge-qurilma" (cloud-edge-device) hamkorlikdagi hisoblash paradigmasini tahlil qilishga qaratilgan bo'lib, unda real vaqt rejimida qaror qabul qilish, resurslarni optimallashtirish va aloqa uzilishi muammolari ko'rib chiqiladi [39]. Maqolada ushbu modelning beshta asosiy sohasi, jumladan, chorvachilik nazorati va kasalliklarni aniqlashdagi samaradorligi asoslab berilgan. Tadqiqotchilar tomonidan ko'tarilgan "edge-cloud sinxronizatsiya" muammosi bizning tadqiqotimizdagi σ avtomat modelini yaratishda asosiy motivatsiya bo'lib xizmat qildi. Biz Zhang va boshqalarning uch qatlamli modelini yanada takomillashtirib, unga alohida hayvon identifikatsiyasi uchun mas'ul bo'lgan RTag qatlamini qo'shish orqali to'rt qatlamli arxitekturani ishlab chiqdik.

Torrent-Moreno M. va hammualliflari tomonidan olib borilgan tadqiqot avtomobillararo aloqa tarmoqlarida (VANET) uzatish quvvatini adolatli taqsimlash va ko'chma tugunlar o'rtasidagi interferensiyani (halaqitlarni) minimallashtirish masalalarini ko'rib chiqadi [39]. Maqolaning metodologik asosi sifatida markaziy koordinatsiyasiz, taqsimlangan boshqaruv g'oyasi ilgari surilgan bo'lib, unda har bir tugun faqatgina lokal ma'lumotlar (qo'shni tugunlar va signal kuchi) asosida qaror qabul qiladi. Ushbu yondashuv biz taklif etayotgan "Leader-Tag" konsepsiyasining nazariy asosi bo'lib xizmat qildi. Biroq, Torrent-Moreno tadqiqotida ko'rilgan V2V tarmoqlari tekis (flat) tuzilishga ega bo'lsa, biz energiya samaradorligini oshirish maqsadida RTag (passiv) $\rightarrow$ RR (aktiv, reader) $\rightarrow$ ChR (gateway) $\rightarrow$ Server ko'rinishidagi ierarxik tizimni taklif etamiz. Bunday ko'p pog'onali ierarxiya V2V tarmoqlaridagi "adolatli energiya" muammosini hal qiladi: passiv RTag'lar energiya sarflamaydi,

RR tugunlari esa DeepSleep rejimi orqali energiya iste'molini optimallashtiradi.

Xususan, Casas va boshqalar tomonidan ishlab chiqilgan LPWAN asosidagi aqlli wearable tizim energiya tejamkorlik nuqtai nazaridan yuqori samaradorlikni namoyish etadi: Li-SOCl₂ batareyasi bilan oddiy beacon rejimida qurilma 9 yilgacha ishlash muddatiga ega bo'lib, hattoki harakatni kuzatish va IMU ma'lumotlarini uzatish rejimlari faol bo'lganda ham 1 yildan ortiq avtonomlik ta'minlanadi. Bundan tashqari, qurilma edge computing tamoyilini to'liq amalga oshiradi: xom akselerometr ma'lumotlari (12-bit, 3 o'lchamli (x, y, z), 10 Hz da soatiga 1,25 Mb dan ortiq) bulutga uzatilmasdan, to'g'ridan-to'g'ri qurilmaning o'zida Vector Quantization (VQ) algoritmi yordamida siqiladi va faqat kerakli indeks uzatiladi. Bu yondashuv LoRaWAN tarmoqlarining qattiq vazifa sikli cheklovlariga rioya etish imkonini beradi hamda energiya sarfini keskin kamaytiradi. Shunday qilib, ushbu tizim zamonaviy aqlli qishloq xo'jaligi texnologiyalari bilan jihezlangan, lekin uni joriy etish xarajatlari nisbatan yuqori.

Yuqoridagi adabiyotlarni, aniqroq aytganda, ko'chma chorvachilik monitoringi sohasidagi asosiy manbalar hamda taklif etilayotgan tizim tahlili 1-jadvalda keltirilgan.

Tadqiqot doirasida o'rganilgan adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, sohadagi mavjud yechimlar ko'chma offlayn muhitda barqaror inventarizatsiya qilish, iqtisodiy tejamkor individual kuzatuvni yo'lga qo'yish, iqlimiy o'zgarishlarga moslashgan sun'iy intellekt bashoratlarini ishlab chiqish hamda to'liq integratsiyalashgan ierarxik arxitekturani yaratish kabi dolzarb texnologik ehtiyojlarni qondira olmaydi. Ushbu mavjud bo'shliqlarni bartaraf etish maqsadida RTag → RR → ChR → MT ko'rinishidagi to'rt pog'onali Leader-Tag gibrid IoT arxitekturasi ishlab chiqilmoqda. Taklif etilayotgan ushbu tizim Qoraqalpog'istonning cho'l-yaylov sharoitida ko'chib yuruvchi chorva podalarini kam harajatli, ishonchli va intellektual usulda monitoring qilish imkonini beradi. Shu bilan birga, yaylov sharoitida hayvonlarning Reference Reader qurilmasiga nisbatan masofasini aniqlashda qo'llaniladigan Leader-based modelining nazariy va amaliy asoslarini yanada mustahkamlaydi.

III. Yaylov chorvachilik monitoringida kompleks Leader-Tag yondashuvi

Ushbu bo'limda taklif etilayotgan Reference Reader (RR) va RSSI asosidagi lokalizatsiya tizimining texnik va matematik asoslari keltiriladi. Bunda obyektlarni inventarizatsiya va lokalizatsiya masalalari ko'riladi. Reference Reader va passiv teglar orasidagi RSSI qiymatlari real vaqt rejimida filtrlanib, quydagi formulalar yordamida masofaviy koordinatalari aniqlanadi.

Kompleks axborot yig'ish va ierarxik boshqaruv nazariyasi. Kompleks monitoring nazariyasi hayvonlar guruhini boshqarishda yetakchi obyekt (Leader-based) tamoyiliga asoslanib, tizimning ierarxik funksional tuzilmasini belgilab beradi.

Faraz qilaylik bir ferma xo'jaligiga tegizshli N ta obyekt yaylovda boqilmoqda. Ularda har turdagi yoki har xil qiymatlarda podalar bor, masalan: qoramollar podasi, qo'y-echkilar podasi kabi. Ushbu podadagi elementlar soni S_i -deb belgilansa, 1-poda S_1 , 2-poda S_2 va S_n bo'lsin. Poda ichidan yetakchi obyekt tanlanib, unga Reference reader o'rnatilib, har biri mos ravishda l_j deb belgilanadi. Identifikatsiya va inventarizatsiya jarayonlarini amalga oshiruvchi yetakchi qurilmalar guruh harakatini boshqarish uchun emas, balki ma'lumotlarni yig'ish va lokalizatsiya masalalarini yechish uchun xizmat qiladi. Xususan, har 30–40 bosh hayvonga bitta RR nisbati ($l_j \ll f_i$) o'rnatiladi. Kuzatuv ostidagi obyektlar f_i bilan belgilanadi yaniy ular passive RFID teglardir. Axborot oqimi RTag'lar (f_i) tomonidan lokal holatni (ID, signal kuchi) qayd etishdan boshlanib, yetakchi element (l_j) darajasida o'z qamrovidagi obyektlarni (S_i) inventarizatsiya qiladi va ma'lumotlarni quyidagi agregatsiya funksiyasi orqali birlashtiradi:

$$\text{Aniqlik} = \frac{\sum_{j=1}^n n(l_j)}{N} * 100\%,$$

bu yerda 1-RR o'qigan teg ma'lumotin 2-RR ham o'qish ehtimoli bor, shuning uchun matematik to'plamlarni birlashtiruvshi uniondan foydalanamiz, bu erda N^* aniqlangan obyektlar soni:

$$N^* = \bigcup_{j=1}^n n(l_j),$$

endi o'qilmagan teglarning soni quydagicha aniqlaymiz:

Jadval 1.

Adabiyotlar qiyosiy tahlili

Manba	Asosiy yo'nalish	Apparat (Hardware)	Aloqa protokoli	AI/ML	Offline rejim	Individual kuzatuv	Ishlab chiqilayotgan tizim bilan farqi
[32]	RFID, GPS, dron, biosensor tizimlarini PRISMA asosida tizimli tahlil	ESP32, RFID, GPS, dron	WiFi, GSM	Yo'q	Yo'q	Statsionar RFID (muammo)	Ko'chma muhit, offlayn inventarizatsiya, Leader-Tag arxitekturasi – bu maqoladagi ochiq muammoni yechadi
[33]	IoT texnologiyalarini chorvachilik salomatligini monitoring qilishda tizimli tahlil	ESP32, ESP8266, Raspberry Pi, akselerometr, harorat, yurak urishi sensorlari	WiFi, GSM, LoRa (5-15 km)	LSTM (vaqt qatori)	Qisman (LoRa)		ChR (RPI4B) + RR (ESP32) arxitekturasi shu ishga asoslanadi; bundan tashqari RFID orqali inventarizatsiya va Qoraqalpog'iston ekosistemasiga moslashuv qo'shilgan
[34]	Statsionar ferma uchun axborot oqimlarini boshqarish: RFID + sensor + Raspberry Pi	RFID, sensorlar, Raspberry Pi (gateway)	Bulutli server	Kasallikni aniqlash algoritmlari	Yo'q	Statsionar	Ushbu statsionar model ko'chma yaylov sharoitiga kengaytirilgan (Leader-Tag); offlayn rejim va GPS tracking qo'shilgan
[35]	Qishloq xo'jaligini raqamlashtirishning global tendensiyalari: AI, IoT, kompyuter ko'rishi, ML	Edge computing qurilmalari (umumiy)	Turli (umumiy tahlil)	ML, CV	Tavsiya etilgan	Aytilmagan	Mualliflar tavsiya etgan energiya tejamkor edge computing RR pog'onida (DeepSleep + lokal hisoblash) amalda tatbiq etilgan
[36]	IoT va RFID texnologiyalarining aqlli qishloq xo'jaligidagi o'rni; faol/passiv RFID taqqoslash	RFID (faol/passiv), ISO 18000-6C (EPC Gen2 UHF), RC522	RFID protokollari	Yo'q	Yo'q	Passiv (chegara $r \leq 5m$)	ISO 18000-6C passiv teglar (RTag) va RC522 modul shu asosda tanlangan; Leader-Tag tizimi esa o'qish masofasini amaliy jihatdan optimal qilgan
[37]	2018–2023 yillardagi IoT asosidagi chorvachilik monitoring tizimlarini keng qamrovli tahlil	Arduino, ESP8266, ESP32, RPi; harorat, akselerometr, GPS, RFID	WiFi, Zigbee, LoRa, NB-IoT	ML integratsiyasi	Arxitektura bo'shlig'i (muammo)	Qisman	Maqolada qayd etilgan 'ko'chma muhitda offlayn ishlash' va 'geterogen ma'lumotlar birlashuvi' muammolari 4 pog'onali arxitektura orqali hal qilingan

[11]	GPS, IoT va NDVI integratsiyasi: geofensing, yaylov unumdorligini baholash	Arduino, GPS bo'yinbog', GPRS moduli	GPRS	NDVI tahlil	Qisman	GPS bo'yinbog'	Xuddi shu funktsionallik RTag+RR kombinatsiyasi orqali har bir hayvonga qimmat GPS o'rniga arzon RFID qo'llash bilan tejamkor amalga oshirilgan
[38]	Aqlli qishloq xo'jaligida bulut-edge-qurilma hamkorlikdagi hisoblash paradigmasi	Edge qurilmalar (umumiy), bulut server	WiFi, LoRa (umumiy)	Real vaqt qaror qabul qilish	edge	Uch qatlam	Zhangning 3 qatlamli modeli to'rt qatlamga (RTag qatlami qo'shildi) kengaytirildi; σ avtomat modeli edge-cloud sinxronizatsiya muammosini hal qiladi
[39]	VANET tarmoqlarida taqsimlangan boshqaruv va interferensiyani minimallashtirish	Ko'chma tugunlar (avtomobillar)	V2V (DSRC/WAVE)	Lokal qaror qabul qilish	Taqsimlangan	Tekis (flat) tuzilish	Taqsimlangan boshqaruv g'oyasi Leader-Tag konsepsiyasiga asos bo'ldi; biroq V2V tekis tuzilishi o'rniga ierarxik RTag→RR→ChR→MT tizimi qo'llanilib energiya samaradorligi oshirildi
[43]	LPWAN wearable va LoRaWAN infratuzilmasi yordamida keng yaylovlarda real vaqt chorvachilik monitoringi	GPS/GNSS, IMU akselerometr, harorat sensori, LoRa/FSK wearable, Raspberry Pi gateway	LoRaWAN, FSK (12 km gacha)	Yo'q	To'liq (RPI oflayn gateway)	GPS (hayvon boshiga \$150–200)	GPS asosida uzoq masofa va oflayn rejim kuchli; biroq RFID identifikatsiya va inventarizatsiya yo'q; hayvon boshiga narx juda yuqori. Taklif etilayotgan tizim bu bo'shliqni passiv RFID orqali arzon va to'liq inventarizatsiya bilan to'ldiradi
Taklif	4 pog'onali Leader-Tag hybrid IoT tizimi: ko'chma poda inventarizatsiyasi, iqlim bashorati, yaylov baholash	RTag (ISO 18000-6C passiv RFID), RR (ESP32+ RFID+GPS+ sensor), ChR (Raspberry Pi 4B), MT (bulut server)	LoRa (5-15km), Satellite, WiFi/GSM	LSTM + Random Forest (iqlim, yaylov, harakat)	To'liq	passiv RFID teg orqali	Barcha manbalardagi texnologik bo'shliqlarni to'ldiradi: ko'chma oflayn muhit, arzon inventarizatsiya, Orol ekosistemasiga moslashtirilgan AI, to'liq 4 pog'onali ierarxik arxitektura

Izoh: Yo'q – mavjud emas; Qisman – cheklangan darajada amalga oshirilgan

$$Q = N - N^*$$

RSSI asosidagi lokalizatsiya va masofa modeli. Izdosh elementlarning (RTag) yetakchi elementga (RR) nisbatan masofasini aniqlash uchun Log-Distance Path Loss modelidan foydalaniladi:

$$RSSI(d) = P_0 - 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma.$$

Olingan natijalar ochiq maydonlardagi elektromagnit shovqinlarni kamaytirish uchun Moving Average Filter yordamida silliqashtiriladi:

$$\overline{RSSI}_k = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} RSSI_{k-i}.$$

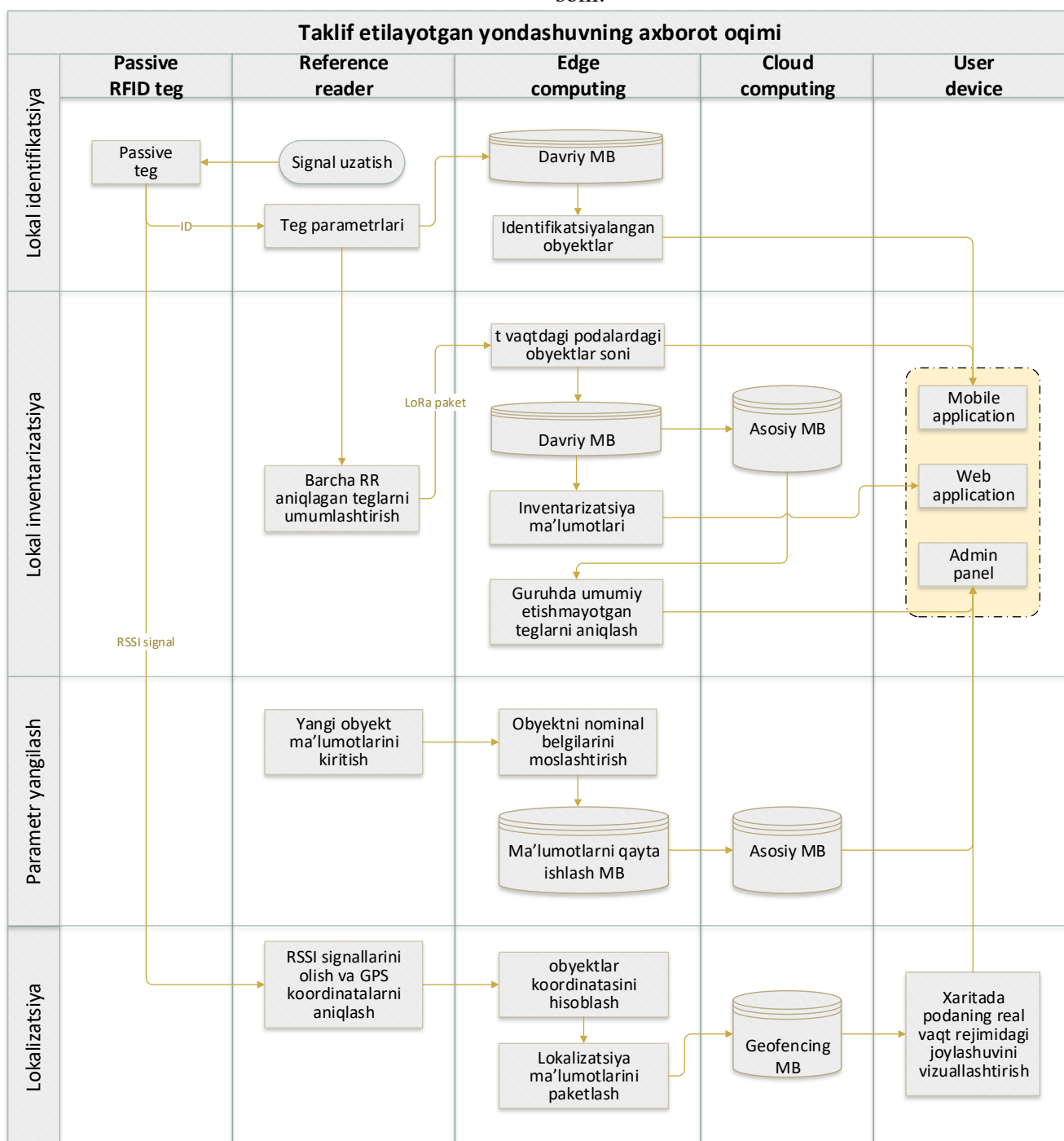
Poda sonini taxmin qilish jarayonida RR tomonidan o'qilgan teglarning vaqt bo'yicha miqdori S_t va o'qish ehtimolligi P_d hisobga olinib, bir nechta yetakchi elementlar mavjud bo'lganda umumiy son:

$$\tilde{N} = \frac{S_t}{P_d} * \frac{N}{N_{RR}},$$

yoki bir nechta RR bo'lsa:

$$N = \sum_{i=1}^{N_{RR}} \frac{S_{t,i}}{P_{d,i}},$$

bu yerda $S_{t,i} - i - RR$ tomonidan o'qilgan teglar soni.



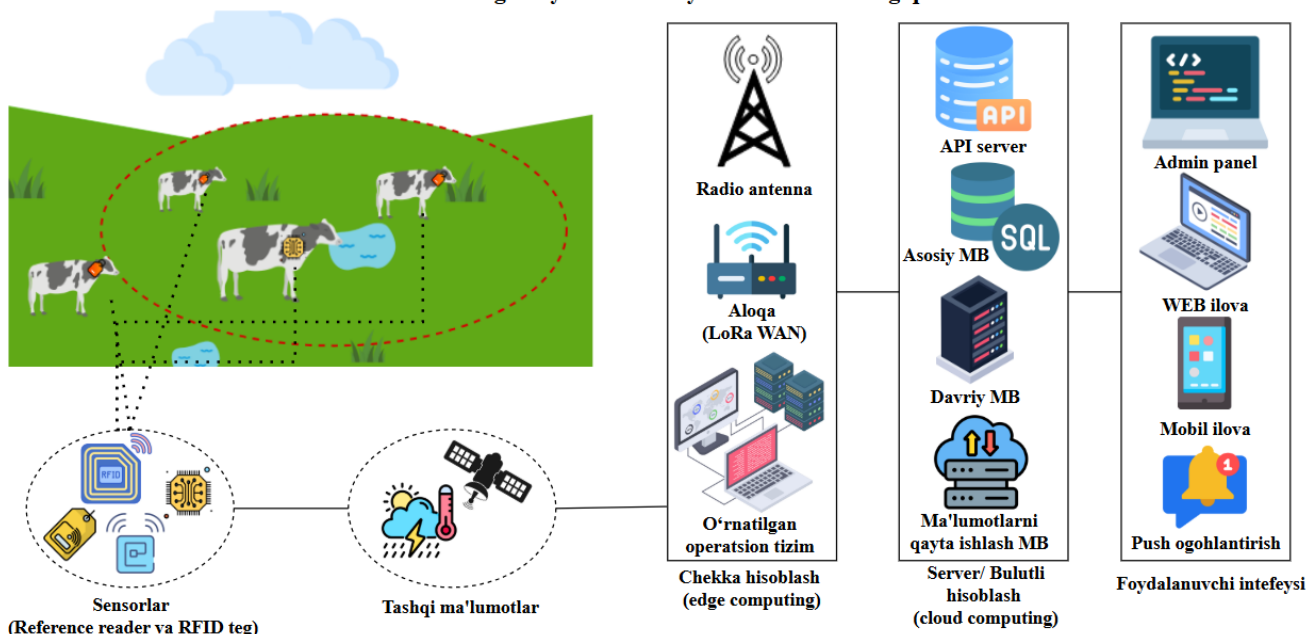
4-rasm. Ishlab chiqilayotgan yondashuvning ma'lumot almashuv jarayoni.

Xulosa

Mazkur tadqiqotda ilg'or sensorlar va edge qurilmalar yordamida yaylov podalari hamda ularning holatini baholashning retrospektiv tahlili o'tkazildi. Adabiyotlar tahlil qilindi va bir-biri bilan solishtirildi. Ushbu ishning asosiy maqsadi – an'anaviy bulutli hisoblash tizimlarining cheklovlarini yengib o'tish va real vaqt rejimida ma'lumotlarni qayta ishlash imkoniyatlarini oshirish orqali chorvachilik sohasida samarali monitoring mexanizmlarini taklif etish. Tadqiqot jarayonida IoT texnologiyalari, RTLS tizimlari va Edge Computingning poda holatini baholashdagi roli batafsil ko'rib chiqildi. Retrospektiv tahlil natijasida aniqlanganidek, edge qurilmalar mahalliy darajada ma'lumotlarni filtrlash va birlashtirish orqali kechikishlarni sezilarli darajada kamaytiradi, bu esa katta ochiq yaylov sharoitida podalarning joylashuvi va holatini aniq nazorat qilish imkonini beradi. Taklif etilayotgan tizimdagi o'z-aro axborot almashish jarayoni 4-rasmda keltirilgan.

Ushbu yondashuvni amalga oshirish doirasida biz Reference Reader (Leader-based) usuliga

Katta mashtabdagi maydonlarda obyektlarni monitoring qilish



5-rasm. Gibrad tizim arxitekturası

Shu bilan birga, tadqiqotning ochiq maydonlarda signal kechikishlari va energiya sarfi masalalari hali to'liq hal etilmagan. Hozirgi vaqtda O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 14-oktabrdagi "Sun'iy intellekt texnologiyalarini 2030-yilga qadar rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida" PQ-358-son qaroriga 1-

asoslangan gibrad tizimni ishlab chiqishni maqsad qilganmiz. Tizimning ishlash prinsipi va ob'ektlar o'rtasidagi aloqa sxemasi 5-rasmda keltirilgan. Tizimning o'ziga xosligi shundaki, iqtisodiy samaradorlikni ta'minlash maqsadida har bir poda ichidan bitta yetakchi ob'ekt tanlanib, unga Reference Reader qurilmasi, qolgan barcha ob'ektlarga esa energiya talab etmaydigan passiv RFID teglar biriktiriladi. Ushbu gibrad yondashuv nafaqat apparat xarajatlarini minimallashtirish, balki real vaqt rejimida tezkor qaror qabul qilish imkoniyatini ham sezilarli darajada oshiradi. Keyingi tadqiqot bosqichlarida sun'iy intellekt algoritmlari, xususan, anomaliyalarni aniqlash va xatti-harakat tahlili modellari bilan integratsiya qilish hamda uni chorvachilikdan tashqari logistika, ombor boshqaruvi va ekologik monitoring kabi sohalarga moslashtirishni ko'rib chiqish rejalashtirilmoqda. Adabiyotlar sharhi va tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, edge texnologiyalari chorvachilikda, ayniqsa, Qoraqalpog'istonning cho'l va tuzli iqlimidagi katta mashtabli hududlarida qo'llanish istiqbolli yechimdir.

ilovaning 3-bobi 2-paragrafida belgilangan vazifalar bo'yicha qishloq xo'jaligi, bank, transport, logistika, sanoat va xizmat ko'rsatish, jamoat xavfsizligini ta'minlash, geologiya va energetika, sog'liqni saqlash va farmatsevtika, ta'lim, madaniyat va turizm hamda raqamli hukumat sohalarida sun'iy intellekt

texnologiyalarini joriy qilish va ustuvor loyihalarni amalga oshirish maqsadida Ilmiy faoliyatga oid davlat dasturlari doirasida bajariladigan amaliy tadqiqotlar tanloviga "Aral Digital Poda – katta yaylov-cho'l hududlarida chorva podalarini raqamli monitoring qilish va real holatlarni SI asosida baholash tizimi" nomli loyiha topshirilgan bo'lib, dastlabki ikki bosqichdan o'tib keying bosqich jarayonida turibdi. Umuman olganda, ushbu retrospektiv tahlil edge texnologiyalarining chorvachilikni raqamlashtirishdagi potensialini tasdiqlaydi va amaliy qo'llanish uchun yangi imkoniyatlar ochadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yhati

1. Koustabh Dolui, Soumya Kanti Datta "Comparison of Edge Computing Implementations: Fog Computing, Cloudlet and Mobile Edge Computing". IEEE [2017 Global Internet of Things Summit \(GIoTS\)](#). DOI: [10.1109/GIOTS.2017.8016213](#)
2. M. Aazam and E.-N. Huh, "E-hamc: Leveraging fog computing for emergency alert service," in Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015, pp. 518–523.
3. Y. Cao, S. Chen, P. Hou, and D. Brown, "Fast: A fog computing assisted distributed analytics system to monitor fall for stroke mitigation," in Networking, Architecture and Storage (NAS), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015, pp. 2–11.
4. O. T. T. Kim, N. D. Tri, N. H. Tran, C. S. Hong et al., "A shared parking model in vehicular network using fog and cloud environment," in Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 2015 17th Asia-Pacific. IEEE, 2015, pp. 321–326.
5. N. B. Truong, G. M. Lee, and Y. Ghamri-Doudane, "Software defined networking-based vehicular adhoc network with fog computing," in Integrated Network Management (IM), 2015 IFIP/IEEE International Symposium on. IEEE, 2015, pp. 1202–1207.
6. S. K. Datta, C. Bonnet, and J. Haerri, "Fog computing architecture to enable consumer centric internet of things services," in 2015 International Symposium on Consumer Electronics (ISCE), June 2015, pp. 1–2.
7. E. Bastug, M. Bennis, and M. Debbah, "Living on the edge: The role of proactive caching in 5g wireless networks," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 8, pp. 82–89, 2014.
8. E. Bastug, M. Bennis, E. Zeydan, M. A. Kader, I. A. Karatepe, A. S. Er, and M. Debbah, "Big data meets telcos: A proactive caching perspective," Journal of Communications and Networks, vol. 17, no. 6, pp. 549–557, 2015.
9. C. Pahl and B. Lee, "Containers and clusters for edge cloud architectures—a technology review," in Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2015 3rd International Conference on. IEEE, 2015, pp. 379–386.
10. C. Pahl, S. Helmer, L. Miori, J. Sanin, and B. Lee, "A container based edge cloud paas architecture based on raspberry pi clusters," in Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW), IEEE International Conference on. IEEE, 2016, pp. 117–124.
11. Nishanov. A.X., Babadjanov. E.S., Faizullayeva. M.A., Serjanova. D.S., Toliev. Kh. I. Monitoring of Livestock on Large-Scale Areas using Aerospace Data and IoT Technologies. International Journal of Inventive Engineering and Sciences (IJIES) ISSN: 2319-9598 (Online), Volume-12 Issue-8, August 2025. DOI:[10.35940/ijies.H1114.12080825](#)
12. Lomillos Pérez, J.M.; de la Varga, M.E.A.; García, J.J.; Gaudioso Lacasa, V.R. Monitoring Lidia Cattle with GPS-GPRS Technology - A Study on Grazing Behaviour and Spatial Distribution. Vet. México 2018, 4, 1–17. [\[CrossRef\]](#)
13. Llaría, A.; Terrasson, G.; Arregui, H.; Hacala, A. Geolocation and Monitoring Platform for Extensive Farming in Mountain Pastures. In Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, Seville, Spain, 17–19 March 2015; pp. 2420–2425.
14. X. Yu and L. Liu, "Distributed formation control of nonholonomic vehicles subject to velocity constraints," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 63, no. 2, pp. 1289–1298, Feb. 2016.
15. M. Defoort, T. Floquet, A. Kokosy, and W. Perruquetti, "Sliding-mode formation control for cooperative autonomous mobile

- robots,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 11, pp. 3944–3953, Nov. 2008.
16. J. Qin, C. Yu, and H. Gao, “Coordination for linear multiagent systems with dynamic interaction topology in the leader-following framework,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 5, pp. 2412–2422, May 2014.
17. K. You and L. Xie, “Network topology and communication data rate for consensusability of discrete-time multi-agent systems,” IEEE Trans. Autom. Control, vol. 56, no. 10, pp. 2262–2275, Oct. 2011.
18. H. Zhang, H. Jiang, Y. Luo, and G. Xiao, “Data-Driven optimal consensus control for discrete-time multi-agent systems with unknown dynamics using reinforcement learning method,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 64, no. 5, pp. 4091–4100, May 2017.
19. C. Campolo, A. Vinel, A. Molinaro, and Y. Koucheryavy, “Modeling broadcasting in IEEE 802.11p/WAVE vehicular networks,” IEEE Commun. Lett., vol. 15, no. 2, pp. 199–201, Feb. 2011.
20. W. Alasmay and W. Zhuang, “Mobility impact in IEEE 802.11p infrastructureless vehicular networks,” Ad Hoc Netw., vol. 10, no. 2, pp. 222–230, Mar. 2012.
21. Julius Kakooza Kawemba. Design and Implementation of an IoT Smart Farming System. Rivier Academic Journal, Vol. 15, No. 1, 2019.
22. Bernard Ijesunor Akhigbe et al. IoT Technologies for Livestock Management: A Review of Present Status, Opportunities, and Future Trends. Big Data and Cognitive Computing, 5, 10, 2021.
23. Bunyarat Umsura et al. Enhancing Smart Farming Capabilities for Small-Scale Cattle Farmers in Chiang Rai, Thailand. ECTI Transactions on Computer and Information Technology, Vol. 18, No. 1, 2024.
24. Babadjanov E.S., Utemuratov R, Toliyev.X.I “The problem of predicting milk yield in smart livestock farms and its solutions”AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2025. International Scientific and Practical Conference on “Actual Problems of Mathematical Modeling and Information Technology”, Vol. 3377, №1. P.060013-1-060013-8
25. Rial Arifin Rajagukguk, Se-yeon Lee, Ji-yeon Park, Kehinde Favour Daniel, Chae-rin Lee, Zheng Chen, Dong Liu, Tomas Norton, Jinseon Park, Se-woon Hong. “Deep learning for visual animal monitoring (detection, tracking, pose estimation, and behavior classification): A comprehensive review”. Received 25 September 2025; Received in revised form 13 October 2025; Accepted 14 October 2025 Available online 15-October 2025, journal homepage: www.journals.elsevier.com/smart-agricultural-technology.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101539>
26. Montanaro, T.; Sergi, I.; Motroni, A.; Buffi, A.; Nepa, P.; Pirozzi, M.; Catarinucci, L.; Colella, R.; Chietera, F.P.; Patrono, L. An IoT-Aware Smart System Exploiting the Electromagnetic Behavior of UHF-RFID Tags to Improve Worker Safety in Outdoor Environments. Electronics 2022, 11, 717. <https://doi.org/10.3390/electronics11050717>
27. Landi, L.; Buffi, A.; Stecconi, A.; Marracci, M.; Di Leone, P.; Bernardini, F.; Di Donato, L. Localization systems for Safety Applications in Industrial Scenarios. In Proceedings of the 2021 31th European Safety and Reliability Conference (ESLER), Angers, France, 19–23 September 2021.
28. RFID Handbook: Radio-Frequency Identification Fundamentals and Applications. In RFID Handbook: Radio-Frequency Identification Fundamentals and Applications; JohnWiley & Sons, Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2003. [CrossRef]
29. Nikitin, P.V.; Martinez, R.; Ramamurthy, S.; Leland, H.; Spiess, G.; Rao, K.V.S. Phase based spatial identification of UHF RFID tags. In Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on RFID (IEEE RFID 2010), Guangzhou, China, 17–19 June 2010; pp. 102–109. [CrossRef]
30. Koch, A.; Zell, A. RFID-enabled location fingerprinting based on similarity models from probabilistic similarity measures. In Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Stockholm, Sweden, 16–21 May 2016; pp. 4557–4563. [CrossRef]
31. Motroni, A.; Buffi, A.; Nepa, P. A Survey on Indoor Vehicle Localization Through

- RFID Technology. IEEE Access 2021, 9, 17921–17942. [[CrossRef](#)]
32. M. D. Bernardo, A. Salvi, and S. Santini, “Distributed consensus strategy for platooning of vehicles in the presence of time-varying heterogeneous communication delays,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 16, no. 1, pp. 102–112, Feb. 2015.
33. Modak M., Pritom M.M., Banik S.C., Rabbi M.S. Internet of Things-Based Health Surveillance Systems for Livestock: A Review of Recent Advances and Challenges // IET Wireless Sensor Systems. — 2025. DOI: 10.1049/wss2.70013 <https://doi.org/10.1049/wss2.70013>
34. Nishanov A.X., Babadjanov E.S., Toliev Kh. Modern Concept of Management of Information Flows (Life farms as an example) // XLIII International Multidisciplinary Conference 'Prospects and Key Tendencies of Science in Contemporary World'. — 2024. DTAI-2024, Vol.1, pp.79-84. <https://dtai.tsue.uz/index.php/DTAI2024/article/view/elmurod2>
35. Wrzecinska M., Czerniawska-Piatkowska E. et al. Agriculture in the Face of New Digitization Technologies // Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science. — 2023. — Vol.27, No.3. — pp.9-17. DOI: 10.56407/bs.agrarian/3.2023.09 <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/3.2023.09>
36. Garcia-Sanchez A.J. et al. A Systematic Review of IoT Technology and Applications in Animals // KVFD Kafkas Univ Vet Fak Derg. — 2022. — Vol.28(1). — pp.9483-9505. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3142848 <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3142848>
37. Nolasco-Jauregui O.A. et al. Systematic Review on Internet of Things in Smart Livestock Management Systems // Sustainability. — 2023. — Vol.16, No.10. — Art.4073. DOI: 10.3390/su16104073 <https://doi.org/10.3390/su16104073>
38. Zhang J. et al. Cloud-Edge-Device Collaborative Computing in Smart Agriculture: Architectures, Applications, and Future Perspectives // Frontiers in Plant Science. — 2025. DOI: 10.3389/fpls.2025.1668545 <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1668545>
39. M. Torrent-Moreno, J. Mittag, P. Santi, and H. Hartenstein, “Vehicle-to-vehicle communication: Fair transmit power control for safety-critical information,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 58, no. 7, pp. 3684–3703, Sep. 2009.
40. Ruiz-Garcia, L., & Lunadei, L. (2011). The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges
41. Wang, J., et al. (2020). RSSI-based localization algorithms in Wireless Sensor Networks for Smart Farming.
42. Qianqian Ren, Yang Zhang, Ioanis Nikolaidis, Jinbao Li, Yu Pan “RSSI quantization and genetic algorithm based localization in wireless sensor networks” <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102255>
43. Casas, R.; Hermosa, A.; Marco, Á.; Blanco, T.; Zarazaga-Soria, F.J. Real-Time Extensive Livestock Monitoring Using LPWAN Smart Wearable and Infrastructure. Appl. Sci. 2021, 11, 1240. <https://doi.org/10.3390/app11031240>