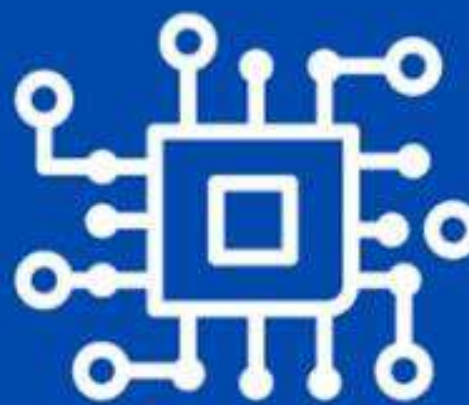




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 9 (4) 2026

BOSH MUHARRIR:

ABBAZOV ILHOM ZAPIROVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich — Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Adizov Bobirjon Zamirovich – Texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O'zbekiston;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax, O'zbekiston;

Eshonkulov Ravshan Abdurazakovich — Texnika fanlari doktori, dotsent, Qashqadaryo, O'zbekiston;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro, O'zbekiston;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax, O'zbekiston;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax, O'zbekiston;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro, O'zbekiston.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika instituti.

TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA**FANLARINING DOLZARB****MASALALARI** elektron jurnali

15.09.2023-yilda 130343-sonli

guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik

Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huquqlar himoyalangan.

© Scienceproblems team, 2026-yil

© Mualliflar jamoasi, 2026-yil

MUNDARIJA

Ataboyeva Shaxrizoda

EMPIRIK TAHLILLAR ASOSIDA OLIY TA'LIM BOSHQARUVI VA INDIVIDUAL
TA'LIM JARAYONLARINI TAKOMILLASHTIRISHDA SUN'YI INTELLEKTGA
ASOSLANGAN OPTIMALLASHTIRISH ALGORITMLARI 4-11

Turgunbaev Rashid

METAEXTRACT - KO'P TILLI ILMIY JURNALLARDAN BIBLIOGRAFIK
METAMA'LUMOTLARNI QOIDALARGA ASOSLANGAN EKSTRAKSIYA QILISH TIZIMI 12-18

Muqimova Anaxon

ADVANCED REAL-TIME TRAFFIC SIGN SEGMENTATION AND CLASSIFICATION USING
HYBRID DEEP CONVOLUTIONAL ARCHITECTURES ON GTSDB AND BENCHMARK
DATASETS 19-24

Pulatov G'iyos, Kabildjanov Aleksandr, Pulatova Gulxayo

SUST SHAKLLANGAN JARAYONLARNI BASHORATLASHDA INTELLEKTUAL
ALGORITMLARNI QIYOSIY TAHLILI 25-33

Usarkulova Feruza

AN INTEGRATED MODEL FOR AI-BASED FORECASTING OF TECHNICAL SERVICE
DEMAND AND OPTIMAL RESOURCE ALLOCATION IN AGRO-INDUSTRIAL
COMPLEXES 34-43

Botirov Munisbek

NUMERICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF GROUNDWATER FILTRATION
PROCESSES USING COMPUTATIONAL ALGORITHMS 44-53

Гулямов Шухрат, Зайниддинова Зебинисо, Караханова Алсу

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ 54-61

Каршиев Хумоюн, Хасанов Абдирашид

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ
ОТХОДОВ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА 62-73

Xaytbayev Aybek

TAKOMILLASHTIRILGAN KUZATUVCHI QIDIRUV ALGORITMI ASOSIDA SIMSIZ SENSOR
TARMOQLARIDA ENERGIYA SAMARADOR KLASSTER BOSH TUGUNINI TANLASH 74-88

Zokirov Islomjon, Nurillaev Ahadullo, Abdullaev Shavkat

INTEGRATED MATLAB/SIMULINK-SIMSCAPE MODELING AND PI-BASED CLOSED-LOOP
CONTROL OF A MICRO-HYDROPOWER PLANT 89-101

Qarshiboyev Asqar, Tursunov Ilhom

KOMPRESSOR USKUNALARINING OPTIMAL ISH REJIMINI ANIQLASH VA ELEKTR ENERGIYASI
ISTE'MOLI SAMARADORLIGINI BAHOLASH 102-112

TAKOMILLASHTIRILGAN KUZATUVCHI QIDIRUV ALGORITMI ASOSIDA SIMSIZ SENSOR TARMOQLARIDA ENERGIYA SAMARADOR KLASSTER BOSH TUGUNINI TANLASH

Xaytbayev Aybek Fayzullayevich

PhD v.b. dotsent

Muhammad al Xorazmiy nomidagi

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

Email: xaytbaev.aybek.81@gmail.com

Tel: +998946158341

Annotatsiya. Simsiz sensorlar tarmoq (SST) larida tugunlar cheklangan energiya manbasiga ega bo'lib, asosiy muammo — ma'lumot uzatishda energiyani tejash va tarmoqning umumiy yashash muddatini uzaytirishdan iborat. Shu maqsadda, ushbu maqolada klaster boshini tanlashda differensial evolyusiya algoritmi bilan integratsiyalangan takomillashtirilgan kuzatuvchi qidiruv algoritmi (TKQA) taklif etilgan. U qoldiq energiya, tugunlar soni va o'tkazish qobiliyatini hisobga olib, energiyani samarali taqsimlashni ta'minlaydi. Taqqoslanuvchi algoritmlar bilan solishtirganda, taklif etilgan gibrid model yuqori samaradorlik va uzoqroq yashash muddatiga erishishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: klaster, simsiz sensor tarmoq, bosh tugun, energiya samaradorlik, tayanch stansiya.

SELECTION OF AN ENERGY-EFFICIENT CLUSTER HEAD IN WIRELESS SENSOR NETWORKS BASED ON AN IMPROVED OPTIMIZED SEARCH ALGORITHM

Khaytbayev Aybek

PhD, docent

Tashkent University of Information Technologies

named after Muhammad al-Khwarizmi

Annotatsiya. This paper describes the experience of implementing the proposed neural network (NN) based routing protocol algorithm. This approach aims to improve the clustering efficiency. Energy consumption is an important factor for wireless sensor networks (WSNs). Our solution based on the neural network tool and the LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) routing protocol introduces the energy consumption criterion for the cluster head (CHH) selection process. The sensor node with the highest energy level is selected as the cluster head. The simulation results show that the proposed solution performs better than the classic LEACH.

Keywords: cluster, wireless sensor network, cluster head, energy efficiency, base station.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v4i9y2026N09>

Kirish

Elektronika va kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi natijasida simsiz aloqa tizimlarining qo'llanish doirasi sezilarli darajada kengayib, simsiz sensor tarmoqlari (SST) zamonaviy axborot-kommunikatsiya infratuzilmasining muhim yo'nalishlaridan biriga aylanib bormoqda. Simsiz sensor tarmog'i muayyan hudud yoki fazoda taqsimlangan ko'p sonli kichik o'lchamli sensor tugunlar majmuasidan tashkil topadi. Ushbu tugunlar o'zaro aloqa

kanallari orqali axborot almashib, markazlashmagan holda avtonom ishlash imkoniyatiga ega bo'lgan yaxlit tarmoq muhitini shakllantiradi.

SST tarkibidagi har bir sensor tugun odatda hisoblash va aloqa imkoniyatlari cheklangan, kam quvvat sarflaydigan qurilma sifatida faoliyat yuritadi. Bunday tugunlar atrof-muhit yoki nazorat qilinayotgan obyekt holatini kuzatuvchi sensorlar, ma'lumotlarni dastlabki qayta ishlash vositalari, aloqa moduli hamda zarur hollarda ijrochi mexanizmlardan tashkil topishi mumkin. Tugunlarning energiya manbai cheklanganligi sababli tarmoqning uzoq vaqt davomida barqaror va uzluksiz ishlashini ta'minlashda mavjud energiya resurslaridan oqilona va samarali foydalanish alohida ahamiyat kasb etadi. Ayniqsa, ko'p sonli sensor tugunlari qo'llaniladigan amaliy tizimlarda energiya sarfini kamaytirish SSTning ishlash muddatini uzaytiruvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi.

Shu sababli simsiz sensor tarmoqlarida sensor tugunlarning cheklangan energiya zaxirasi asosiy muammolardan biri sifatida qaraladi. Mazkur muammoni bartaraf etish, energiya sarfini muvozanatli taqsimlash hamda tarmoqda xizmat ko'rsatish sifatini (Quality of Service — QoS) yaxshilash maqsadida ilmiy adabiyotlarda turli tamoyil va funksiyalarga asoslangan ko'plab klasterlashtirish protokollari taklif etilgan. Klasterlashtirish yondashuvida tarmoqdagi sensor tugunlar ma'lum mezonlar asosida alohida guruhlariga, ya'ni klasterlarga birlashtiriladi. 1-rasmda ko'rsatilganidek, ushbu guruh tarkibidagi oddiy sensor tugunlar klaster a'zolari (KA) sifatida faoliyat yuritadi.

Har bir shakllantirilgan klaster uchun ma'lumotlar almashinuvini boshqaruvchi klaster bosh tuguni (BT) tanlanadi. BT klaster a'zolaridan kelayotgan ma'lumotlarni qabul qilish, ularni birlashtirish va zarur hollarda qayta ishlash vazifalarini bajaradi. Shundan so'ng jamlangan ma'lumotlar keyingi qayta ishlash va tahlil qilish uchun tayanch stansiyaga (TS) uzatiladi. Bunday klasterli tuzilma alohida sensor tugunlarning bevosita uzoq masofaga ma'lumot uzatish ehtiyojini kamaytirib, tarmoqdagi umumiy energiya sarfini optimallashtirish va SSTning ishlash muddatini uzaytirish imkonini beradi.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya

Simsiz sensor tarmoqlarida (SST) energiya samaradorligini oshirish va tarmoqning ishlash muddatini uzaytirish masalalari ko'plab tadqiqotlarda keng o'rganilgan. Y. Yue va boshqalar [1; 8-10b.] tomonidan yirik masshtabli mobil simsiz sensor tarmoqlarida ma'lumotlarni yig'ish uchun sun'iy asalari koloniyasi algoritmiga asoslangan optimallashtirish algoritmi taklif etilgan. Mazkur yondashuvda mobil sensor tarmog'ining o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda ma'lumotlarni samarali yig'ish masalasi ko'rib chiqilgan va tugunlarning energiya resurslaridan samarali foydalanish imkoniyati yaratilgan.

L. Malathi va boshqalar [2, 360-365 b.] simsiz sensor tarmoqlarida energiya samarador ma'lumot yig'ish uchun gibrid notekis klasterlashga asoslangan usulni taklif qilgan. Klasterlarning notekis tuzilmasidan foydalanish tugunlarning energiya sarfini kamaytirish va tarmoqning ishlash davomiyligini oshirish imkonini beradi.

SSTlarda keng qo'llaniladigan klasterlash protokollaridan biri W.R. Heinzelman va boshqalar [3; 45-48 b.] tomonidan taklif etilgan LEACH protokolidir. Ushbu protokolda klaster bosh tugunlarini davriy ravishda tasodifiy tanlash va yig'ilgan ma'lumotlarni klaster bosh tugunlari orqali tayanch stansiyaga uzatish tamoyili qo'llaniladi. Biroq, klaster bosh tugunlarining tasodifiy tanlanishi energiya yuklamasining tugunlar o'rtasida notekis taqsimlanishiga va ayrim tugunlarning muddatidan oldin ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin.

J. Lian va boshqalar [4;125-130 b.] tomonidan sensor tugunlarning notekis joylashuvining simsiz sensor tarmoqlarining o'tkazish qobiliyatiga ta'siri tadqiq etilgan. Tadqiqot natijalari tugunlarning fazoviy joylashuvi hamda ular orasidagi masofa ma'lumotlarni uzatish samaradorligi va tarmoqning umumiy ishlash ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir ko'rsatishini ko'rsatadi.

N.A. Latiff va boshqalar [5; 88-94 b.] simsiz sensor tarmoqlarini klasterlashda zarrachalar to'dasi yordamida optimallashtirish (PSO) algoritmgiga asoslangan energiya samarador yondashuvni taklif qilgan. Mazkur yondashuvda klaster bosh tugunlarini tanlash jarayoni tugunlarning energiya holatini hisobga olgan holda amalga oshiriladi. Natijada klasterlashning energiya samaradorligini oshirish va tarmoqning ishlash muddatini uzaytirish imkoniyati yaratiladi.

S. Hussain va boshqalar [6; 102-108 b.] simsiz sensor tarmoqlarining ierarxik tuzilmasini shakllantirishda genetik algoritmdan foydalanish imkoniyatlarini tadqiq etgan. Evolyutsion yondashuvdan foydalanish klasterlarni shakllantirish hamda klaster bosh tugunlarini tanlashning samarali variantlarini izlash imkonini beradi.

Mavjud tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, metaevristik optimallashtirish algoritmlaridan foydalanish klaster bosh tugunlarini tanlash samaradorligini oshirish va energiya sarfining notekis taqsimlanishini kamaytirish imkonini beradi. Biroq, alohida optimallashtirish algoritmlaridan foydalanish qidiruv fazosini tadqiq etish va topilgan yechimlardan samarali foydalanish o'rtasidagi muvozanatni har doim ham yetarli darajada ta'minlay olmaydi. Shu sababli, ushbu tadqiqotda energiya samarador klaster bosh tugunini tanlash uchun takomillashtirilgan kuzatuvchi qidiruv algoritmini (TKQA) differensial evolyutsiya (DE) algoritmi bilan integratsiyalashgan gibrid yondashuv taklif etiladi.

Taklif etilayotgan yondashuvda sensor tugunlarning qoldiq energiyasi, klasterdagi tugunlar soni, tugun va klaster bosh tuguni orasidagi masofa hamda klaster bosh tugunidan tayanch stansiyagacha bo'lgan masofa hisobga olinadi. Ushbu parametrlar asosida maqsad funksiyasi shakllantirilib, klaster bosh tuguni vazifasini bajarish uchun eng maqbul tugun aniqlanadi. TKQA va DE algoritmlarining integratsiyasi optimal yechimni izlash samaradorligini oshirish, ma'lumotlarni uzatish jarayonidagi energiya sarfini kamaytirish va simsiz sensor tarmog'ining umumiy ishlash muddatini uzaytirishga qaratilgan.

Taklif etilayotgan metodologiya sensor tugunlarning dastlabki populyatsiyasini shakllantirish, maqsad funksiyasi qiymatini hisoblash, qidiruv va optimallashtirish amallarini bajarish hamda maqsad funksiyasining eng yaxshi qiymatini ta'minlovchi tugunni klaster bosh tuguni sifatida tanlash bosqichlaridan iborat. Bunda DE algoritmi qidiruv populyatsiyasining xilma-xilligini oshirishga, TKQA esa yechimlar fazosini samarali tadqiq etish va mavjud yaxshi yechimlardan foydalanishga xizmat qiladi. Mazkur gibrid yondashuv an'anaviy tasodifiy klaster bosh tuguni tanlash usuliga nisbatan global optimal yechimni aniqlash ehtimolini oshiradi hamda SSTning energiya samaradorligini yaxshilashga imkon beradi.

Simsiz sensor tarmoqda klasterni shakllantirish

Simsiz sensor tarmoqlarda tugunlarning joylashuvi va harakatlanish xususiyati klasterlarni shakllantirish jarayoniga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Tarmoqning qo'llanilish sohasi va ishlash sharoitiga qarab sensor tugunlar hamda tayanch stansiya (TS) statik yoki mobil holatda bo'lishi mumkin.

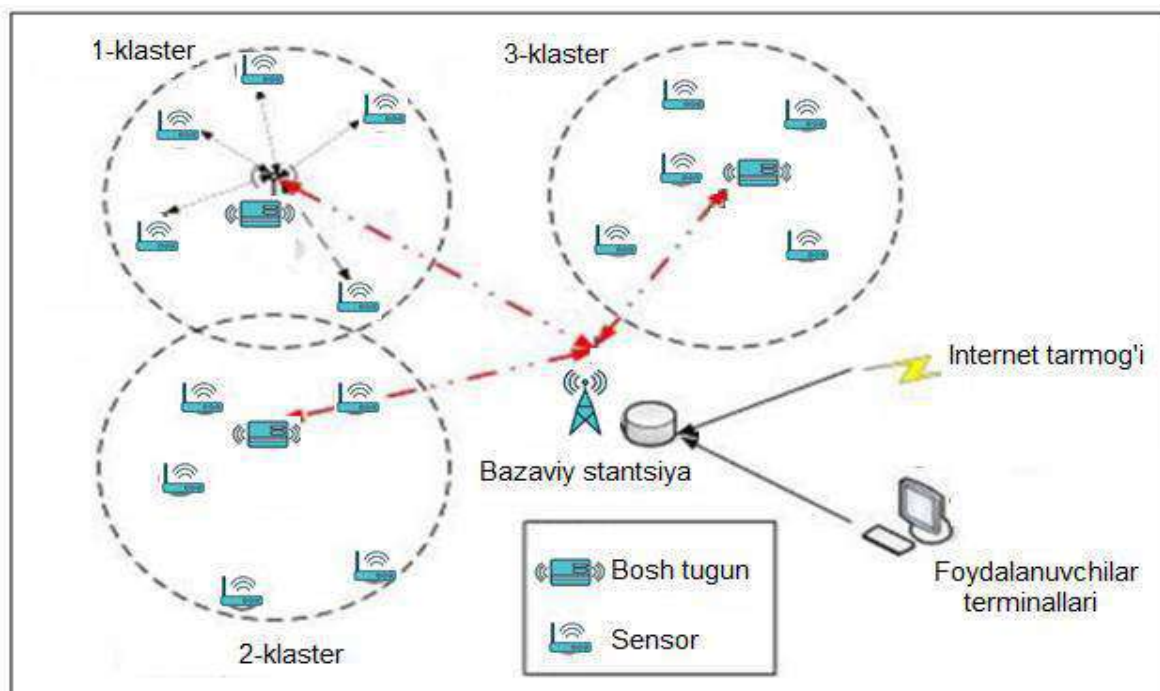
Statik sensor tugunlar oldindan belgilangan hududda o'z joylashuvini o'zgartirmagan holda faoliyat yuritadi va atrof-muhit parametrlarini kuzatish, o'lchash hamda olingan

ma'lumotlarni tarmoq orqali uzatish vazifalarini bajaradi. Bunday tugunlardan tashkil topgan tarmoqlarda klaster tuzilmasi nisbatan barqaror bo'lib, klaster bosh tugunlarini tanlash va ma'lumotlarni uzatish marshrutlarini shakllantirish jarayoni soddaroq amalga oshiriladi.

Mobil sensor tugunlar esa tarmoq faoliyati davomida o'z joylashuvini o'zgartirishi mumkin. Tugunlarning harakatlanishi natijasida ular orasidagi masofa, aloqa sifati va tarmoq topologiyasi dinamik ravishda o'zgaradi. Shu sababli mobil simsiz sensor tarmoqlarda klasterlarni davriy ravishda qayta shakllantirish, klaster bosh tugunlarini qayta tanlash va ma'lumot uzatish yo'nalishlarini moslashtirish talab etiladi.

Tayanch stansiya ham statik yoki mobil ko'rinishda tashkil etilishi mumkin. Statik TS ma'lum bir joyda o'rnatilib, sensor tugunlardan kelayotgan ma'lumotlarni qabul qiladi va qayta ishlash markaziga uzatadi. Mobil TS esa tarmoq hududi bo'ylab harakatlanib, sensor tugunlar yoki klaster bosh tugunlaridan ma'lumotlarni yig'ishi mumkin. Tayanch stansiyaning harakatlanish imkoniyati ma'lumot uzatish masofasini kamaytirish, ayrim tugunlarning ortiqcha energiya sarfini cheklash va tarmoqning umumiy ishlash muddatini oshirishga xizmat qilishi mumkin.

Shunday qilib, klasterlarni shakllantirishda tugunlarning harakatchanligi, ularning o'zaro masofasi, qoldiq energiyasi, aloqa sifati va tayanch stansiyaigacha bo'lgan masofa kabi parametrlarni hisobga olish energiya samarador va barqaror simsiz sensor tarmoqni tashkil etishda muhim ahamiyatga ega.



1- rasm. Klasterni shakllantirish arxitekturası

Taqsimlangan (tekis) va ierarxik (klasterli) arxitekturalardan foydalanish simsiz sensor tarmoqlarda energiya sarfini optimallashtirish, ma'lumotlarni samarali uzatish hamda tarmoqning ishlash muddatini oshirish bilan bog'liq muammolarni hal etishning muhim yondashuvlaridan biri hisoblanadi. Ayniqsa, klasterli arxitektura klaster bosh tugunini (BT) optimal tanlash tarmoqning umumiy energiya samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi.

Ushbu maqolaning asosiy ilmiy hissalari quyidagilardan iborat:

1. Simsiz sensor tarmoqlarda energiya samarador klaster bosh tugunini tanlash uchun differensial evolyutsiya modeli bilan takomillashtirilgan kuzatuvchi qidiruv algoritmi asoslangan gibrid yondashuv taklif etiladi. Mazkur yondashuv klaster bosh tugunlarini tanlash jarayonini optimallashtirish va tarmoq tugunlari o'rtasida energiya sarfini yanada muvozanatli taqsimlashga yo'naltirilgan.

2. Klaster bosh tugunini tanlash jarayonida tugunlarning qoldiq energiyasi, qo'shni tugunlargacha bo'lgan masofa, tayanch stansiyagacha (TS) bo'lgan masofa va tarmoqning boshqa muhim ko'rsatkichlarini hisobga oluvchi yaroqlilik funksiyasi shakllantiriladi. Taklif etilgan algoritmnining hisoblash murakkabligini maqbul darajada saqlagan holda barqaror yechimlarni aniqlash imkoniyati klasterlash jarayonining samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

3. Energiya samarador klaster bosh tugunlarini tanlash orqali tarmoq tugunlarining energiya sarfi muvozanatlashtiriladi va natijada tarmoqning ishlash muddati uzaytiriladi. Shuningdek, ma'lumotlar paketlarini uzatish jarayonida energiya sarfining kamaytirilishi tugunlarning uzoqroq vaqt faoliyat ko'rsatishiga hamda tayanch stansiyaga muvaffaqiyatli yetkazib beriladigan ma'lumotlar paketlari umumiy sonining ortishiga imkon beradi.

Kuzatuvchi qidirish algoritmi (KQA)

Kuzatuvchi qidiruv algoritmi (KQA) har bir kuzatuvchi optimallashtirish masalasining qidiruv fazosidagi muayyan yechimni ifodalaydi. Kuzatuvchilarning boshlang'ich pozitsiyalari (P) matritsa ko'rinishida shakllantiriladi va (1)-tenglama orqali ifodalanadi. Bunda (n) — qidiruv jarayonida ishtirok etuvchi kuzatuvchilar sonini, (d) esa optimallashtiriladigan o'zgaruvchilar sonini, ya'ni masalaning o'lchamini bildiradi. Shunday qilib, har bir kuzatuvchining pozitsiyasi (d) o'lchamli qidiruv fazosidagi potensial yechim sifatida qoraladi.

$$P = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & \dots & P_{1,d} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & \dots & P_{2,d} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ P_{n,1} & P_{n,2} & \dots & \dots & P_{n,d} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Kuzatuvchilar populyatsiyasini shakllantirish jarayonida (2) tenglamadan foydalaniladi. Bunda har bir kuzatuvchining boshlang'ich holati d -o'lchovli qidiruv fazosida belgilangan quyi va yuqori chegaraviy qiymatlar oralig'ida tasodifiy ravishda aniqlanadi:

$$P_{i,j} = LB_j + (UB_j - LB_j) * \text{tasodifiy} (1, d) \quad (2)$$

(2) tenglama asosida kuzatuvchilar populyatsiyasining boshlang'ich pozitsiyalari d -o'lchovli qidiruv fazosida belgilangan quyi va yuqori chegaralar oralig'ida tasodifiy ravishda shakllantiriladi.

Keyingi bosqichda kuzatuvchining yangi pozitsiyasini aniqlash uchun uning joriy pozitsiyasi va algoritmnining tegishli qidiruv parametrlari hisobga olinadi. Bunda $j = 1, 2, \dots$ qiymatlar bo'yicha hisoblash amalga oshiriladi, $\alpha \in [0,1]$ esa berilgan oraliqdan tasodifiy tanlanadigan parametрни ifodalaydi. Imax algoritmi bajarilishining maksimal iteratsiyalar sonini belgilaydi, i va d indeksleri esa mos ravishda i -kuzatuvchi hamda uning d -o'lchovdagi holatini ifodalaydi. Shuningdek, Q normal taqsimot qonuniga muvofiq hosil qilinadigan tasodifiy qiymatni, L esa elementlari 1 ga teng bo'lgan $1 \times d$ o'lchamli matritsani anglatadi.

$$P_{i,j}^{(t+1)} = \begin{cases} P_{i,j}^t \cdot \exp\left(\frac{-i}{\alpha \cdot l_{max}}\right) & \text{agar } AV < ST \\ P_{i,j}^t + Q \cdot L & \text{agar } AV \geq ST \end{cases} \quad (3)$$

$$P_{i,j}^{(t+1)} = \begin{cases} Q \cdot \exp(P_{Worst}^t - P_{ij}^t) & \text{agar } i > \frac{n}{2} \\ P_{Best}^{t+1} + |P_{j,j}^t - P_{Best}^{(t+1)}| \cdot A^+ \cdot L & \text{aks holda} \end{cases} \quad (4)$$

Kuzatuvchining qidiruv jarayonidagi dastlabki pozitsiyasi (5) tenglama orqali matematik jihatdan ifodalanadi.

$$P_{i,j}^{(t+1)} = \begin{cases} P_{GBest}^t + \beta \cdot |P_{j,j}^t - P_{GBest}^t| & \text{if } f_i > f_{gb} \\ P_{i,j}^t + K \cdot \left(\frac{|P_{i,j}^t - P_{Worst}^t|}{(f_j - f_w) + \varepsilon} \right) & \text{if } f_i = f_{gb} \end{cases} \quad (5)$$

Bu yerda P_{GBest} — qidiruv jarayonining joriy bosqichida aniqlangan global eng yaxshi (optimal) pozitsiyani ifodalaydi. $K \in [-1,1]$ β oraliqda o'zgaruvchi parametr bo'lib, (β) o'rtacha qiymati 0 va dispersiyasi 1 ga teng bo'lgan normal taqsimot asosida hosil qilinadigan tasodifiy kattalik hisoblanadi hamda qidiruv qadamining o'lchamini boshqarishda qo'llaniladi. (f_i) — (i)-kuzatuvchining moslashuv (fitness) qiymatini bildiradi. Shuningdek, f_{gb} va f_w mos ravishda joriy qidiruv jarayonida qayd etilgan global eng yaxshi va eng yomon moslashuv ko'rsatkichlarini ifodalaydi. (ε) esa hisoblash jarayonida maxrajning nolga teng bo'lib qolishi natijasida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan xatolikning oldini olish uchun kiritilgan juda kichik musbat doimiy qiymatdir. Agar $f_i > f_{gb}$ sharti bajarilsa, tegishli kuzatuvchi guruhning chegaraviy sohasida joylashgan deb qaraladi.

Optimallashtirish jarayonining barcha iteratsiyalarida populyatsiya tarkibidagi kuzatuvchilar soni o'zgarmas holda saqlanadi. Shu asosda $P_{i,g}$ pozitsiyasi (6) tenglamaga muvofiq aniqlanishi mumkin. Bunda populyatsiya $P = \{x_1; \dots; x_N\}$, $i = 1, 2, \dots, N$; ko'rinishida ifodalanib, ($i=1,2,\dots,N$) indeksleri populyatsiya tarkibidagi alohida kuzatuvchilarni belgilaydi.

$$P_{i,g}^D = LB + R(UP - LB) \quad (6)$$

Differensial evolyusiya yordamida takomillashtirilgan kuzatuvchini qidirish algoritmidan (TKQA) foydalanish bilan energetik samarador klasterni tanlash

Dastlabki bosqichda differensial evolyusiya (DE) usulini kuzatuvchini qidirish algoritmi bilan birlashtirish qidiruv jarayonidagi yechimlar xilma-xilligini oshirish hamda algoritmnining qidiruv imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qiladi. Gibrid optimallashtirish yondashuvining asosiy mohiyati ikki yoki undan ortiq algoritmnining o'ziga xos afzalliklarini yagona hisoblash mexanizmida birlashtirishdan iborat. Bunday yondashuv har bir algoritmnining samarali xususiyatlaridan foydalanish bilan birga, ularning alohida qo'llanilishida yuzaga keladigan ayrim kamchiliklarni kamaytirish imkonini beradi.

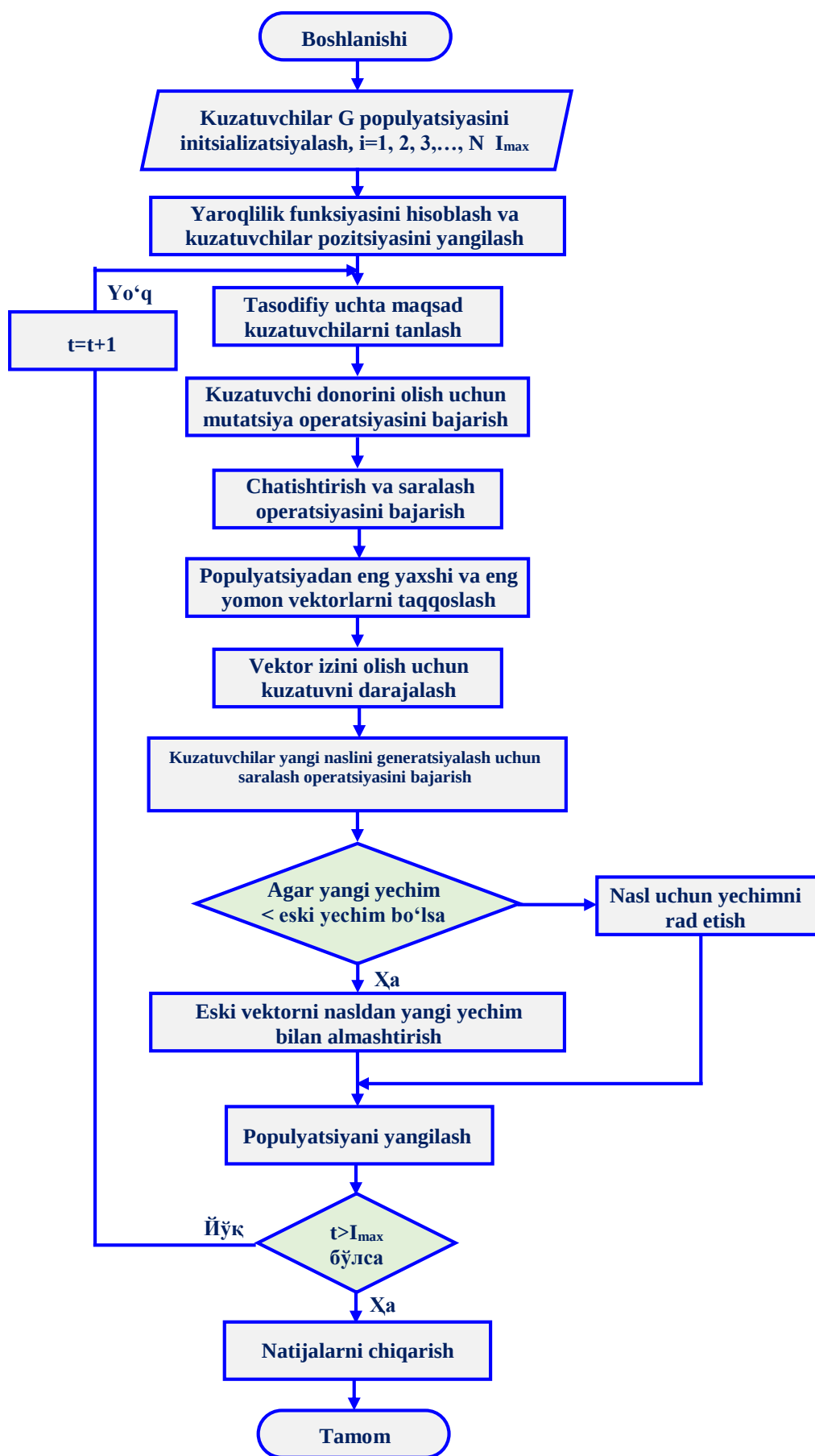
Takomillashtirilgan kuzatuvchini qidirish algoritmi (TKQA) ayrim holatlarda global optimal yechimni izlash jarayonida ko'p sonli iteratsiyalarni talab qilishi va qidiruv vaqtining ortishiga olib kelishi mumkin. Bu esa murakkab qidiruv fazosida algoritmnining global qidiruv imkoniyatlarini cheklaydi. Differensial evolyusiya (DE) algoritmi esa populyatsiyadagi

yechimlarning xilma-xilligini saqlash va qidiruv fazosining turli sohalarini kengroq o'rganish xususiyatiga ega. DE algoritmining nisbatan sekin yaqinlashish xususiyati ayrim holatlarda kamchilik sifatida qaralsa-da, global optimum joylashgan istiqbolli sohalarini aniqlash hamda lokal optimal yechimlarda muddatidan oldin to'xtab qolish ehtimolini kamaytirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

TKQA va DE algoritmlarini gibridlashtirish natijasida d -o'lchovli qidiruv fazosida optimal yechimni aniqlash samaradorligini oshirish imkoniyati yuzaga keladi. Bunda TKQAning yuqori yaqinlashish tezligi va barqarorligi DE algoritmining qidiruv fazosini keng qamrovda o'rganish imkoniyati bilan uyg'unlashtiriladi. Natijada global va lokal qidiruv jarayonlari o'rtasidagi muvozanat yaxshilanib, optimal yechimni aniqlash samaradorligi oshadi. DE algoritmi klasterlashtirish masalalarida optimal yechimlarni izlash uchun ham samarali optimallashtirish vositasi sifatida qo'llanadi. Mazkur algoritmdan klasterlashtirish masalalarini mustaqil ravishda yechishda yoki boshqa optimallashtirish yondashuvlari bilan birgalikda gibrid shaklda foydalanish mumkin.

TKQA va DE algoritmlariga xos bo'lgan dinamik qidiruv mexanizmlari klaster bosh tugunini (BT) tanlash jarayonida global qidiruv (exploration) va lokal qidiruv (exploitation) bosqichlari o'rtasidagi muvozanatni ta'minlashga imkon beradi. Bunda DE algoritmining qidiruv fazosini keng qamrovda o'rganish imkoniyati TKQAning istiqbolli yechimlar atrofida aniqroq qidiruv olib borish xususiyati bilan uyg'unlashadi. Natijada ikkala algoritmning imkoniyatlari o'zaro bir-birini to'ldirib, optimal BTni aniqlash jarayonining samaradorligi va barqarorligini oshirishga xizmat qiladi. Takomillashtirilgan kuzatuvchini qidirish algoritmining (TKQA) asosiy ishlash bosqichlarini ifodalovchi blok-sxema 2-rasmda keltirilgan.

Taklif etilayotgan modelda potensial yechimlarni vektor ko'rinishida ifodalash uchun TKQA mexanizmidan foydalaniladi. Dastlab kuzatuvchilarning boshlang'ich pozitsiyalari qidiruv fazosi uchun belgilangan chegaraviy qiymatlar oralig'ida tasodifiy ravishda generatsiyalanadi. Hosil qilingan pozitsiyalar (10) tenglamaga muvofiq matritsa ko'rinishida shakllantiriladi.



2-rasm. Takomillashtirilgan kuzatuvchini qidirish algoritmi (TKQA) ning blok-sxemasi

Boshlang'ich yechim vektorining elementlari (Rand[0,1]) oralig'idagi tasodifiy qiymatlar asosida hosil qilinadi. Shakllantirilgan matritsaning har bir satri optimallashtirish masalasining alohida nomzod yechimini ifodalaydi va ushbu yechimning samaradorligi tegishli moslashuv (fitness) funksiyasi yordamida baholanadi.

$$f(x) = \begin{bmatrix} f(SP_{1,1} & SP_{1,2} & \dots & SP_{1,d} \\ f(SP_{2,1} & SP_{2,2} & \dots & SP_{2,d} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(SP_{n,1} & SP_{n,2} & \dots & SP_{n(k),d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{obj_1} \\ f_{obj_2} \\ \vdots \\ f_{obj_n} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Matritsaning har bir satri optimallashtirish masalasining alohida nomzod yechimiga mos keladi. Ushbu yechimlarning samaradorligi maqsad (fitness) funksiyasi yordamida baholanadi va har bir kuzatuvchi uchun tegishli f_{obj_n} qiymati aniqlanadi. Mazkur jarayon matematik jihatdan (10) tenglama orqali ifodalanadi.

Differensial evolyusiya jarayonida yangi nomzod yechimlarni shakllantirish uchun populyatsiya tarkibidan turli vektorlar tasodifiy ravishda tanlanadi. Ushbu jarayon $r1r_1$, $r2r_2$ va $r3r_3$ indeksleri orqali aniqlanadigan uchta o'zaro farqli tasodifiy vektorga asoslanadi. Mutatsiya operatorini amalga oshirishda tanlangan vektorlar orasidagi farqdan foydalanish yangi yechimning qidiruv fazosidagi yo'nalishi va o'zgarish miqdorini belgilash imkonini beradi. Bunda hosil qilingan yangi vektor komponentlarining ruxsat etilgan $[0,1][0,1]$ chegaradan tashqariga chiqib ketish ehtimoli ham mavjud. Shu sababli algoritm mutatsiya natijasida shakllantirilgan vektorlarning har bir komponenti belgilangan qidiruv diapazoni chegaralarini qanoatlantirishini ta'minlashi lozim.

Optimallashtirish jarayonida har bir kuzatuvchi uchun mutatsiya, chatishtirish va tanlash kabi evolyusion amallar ketma-ket bajariladi. Mazkur operatsiyalar populyatsiyaning har bir iteratsiyada bosqichma-bosqich yangilanishini ta'minlaydi. Jarayon belgilangan to'xtash mezoniga erishilgunga qadar davom ettirilib, natijada maqsad funksiyasi bo'yicha eng maqbul yechim aniqlanadi.

$$SP_{g+1} = SP_{r_1} + MR * (SP_{r_2} - SP_{r_3}) \quad (11)$$

Tanlangan kuzatuvchi va eng yaxshi kuzatuvchi orasidagi SPbest_{ij} evklid masofasi (12) tenglama bo'yicha hisoblanadi:

Tanlangan kuzatuvchining joriy pozitsiyasi bilan populyatsiyada aniqlangan eng yaxshi kuzatuvchi pozitsiyasi o'rtasidagi masofani baholash uchun Evklid masofasi mezonidan foydalaniladi. Ushbu masofa **SPbest_{ij}** orqali ifodalanib, kuzatuvchilarning dd-o'lchovli qidiruv fazosidagi o'zaro joylashuvini tavsiflaydi va uning qiymati (12) tenglama asosida hisoblanadi:

$$dist = \sqrt{\sum_{i=1}^N (SP_{i,j} - SP_{best_{i,j}})^2} \quad (12)$$

Differensial evolyusiya algoritmidagi yangi nomzod yechimlarni shakllantirish jarayonida oldindan belgilangan kesishish ehtimolligi CPRCPR asosida binomial kesishuv operatoridan foydalaniladi. Ushbu parametr mutant vektor komponentlarining yangi sinov vektoriga o'tish ehtimolini belgilab, populyatsiyadagi yechimlarning xilma-xilligini boshqarishga xizmat qiladi. DE algoritmidagi masshtablash koeffitsiyenti SFSF va kesishish ehtimolligi CPRCPR asosiy boshqaruv parametrlari hisoblanadi. Mazkur parametrlarning qiymatlari optimallashtirish jarayoni boshlanishidan oldin belgilanadi va algoritmning barcha nomzod yechimlari uchun bir xil qiymatlarda qo'llaniladi.

$$SP_{ij,g+1} = \begin{cases} BestDV_j \text{ agar } (r \leq CPR) \\ BestTaV_j \text{ agar } (r > CPR) \end{cases} \quad (13)$$

Yaratuvchilarning yangi joylashuvi (14) tenglamadagidek beriladi, bu yerda $j = 1, 2, \dots, d$, $\alpha \in [0, 1]$, $SP_{i,j}^t$ – t-iteratsiyadagi i-chi kuzatuvchilarni **j-o'lchovdagi** tezligi. $AV \in [0, 1]$ - avariya qiymati va $ST \in [0,5, 1,0]$, xavfsizlik bo'sag'asi, Q - oddiy taqsimotdan foydalanadigan tasodifiy qiymat hisoblanadi va L esa barcha elementlar uchun $1 \times d$ matritsani bildiradi

Har bir yechim o'ziga xos xususiyatlarga ega, ularning funksiyalari har bir bosqichda rivojlanishi mumkin, lekin ulardan bir nechitasi chekli bo'lishi mumkin.

$$SP_{i,j}^{(t+1)} = \begin{cases} SP_{i,j}^t \cdot \exp\left(\frac{-i}{\alpha \cdot l_{max}}\right) \text{ agar } AV < ST \\ SPTV_{i,j}^t + Q \cdot L \text{ agar } AV \geq ST \end{cases} \quad (14)$$

Kuzatuvchining yangi pozitsiyasini shakllantirish jarayonida qidiruv qadamining kattaligi β boshqaruv parametri yordamida aniqlanadi. Mazkur parametr o'rtacha qiymati 0 ga va dispersiyasi 1 ga teng bo'lgan normal taqsimot asosida hosil qilinadi. Algoritmnining bajarilish jarayoni l_{max} bilan belgilangan maksimal iteratsiyalar sonigacha davom etadi, kuzatuvchining tegishli pozitsiyasi esa (15) tenglama asosida hisoblanadi:

$$SP_{i,j}^{(t+1)} = SP_{GBest}^t + \beta \cdot |SP_{j,j}^t - SP_{GBest}^t|^{(t+1)} \quad (15)$$

Tarmoq tarkibidagi barcha tugunlarning joriy holati har bir raund davomida l_{max} bilan belgilangan maksimal iteratsiyalar soniga yetgunga qadar ketma-ket hisoblanadi va olingan natijalar asosida yangilanib boriladi. Optimallashtirish jarayoni yakunida (15) tenglama bo'yicha aniqlangan eng maqbul yechim klaster bosh tugunlarini (BT) ifodalovchi kk indekslar to'plami sifatida qabul qilinadi. Ushbu indekslar tarmoqdagi mavjud sensor tugunlari orasidan BT vazifasini bajarish uchun eng maqbul nomzodlarni belgilaydi.

Har bir raundda tanlangan BT o'z klasteri tarkibidagi barcha klaster a'zolaridan (KA) uzatilgan ma'lumotlarni qabul qiladi va jamlaydi. To'plangan ma'lumotlar BTda birlashtirilib, zarur qayta ishlash jarayonlaridan o'tkazilgandan so'ng tayanch stansiyaga (BS) uzatiladi. Bunday ma'lumot almashish mexanizmi alohida KA tugunlarining uzoq masofaga bevosita uzatishlarini kamaytirib, tarmoqdagi energiya sarfini samarali boshqarishga xizmat qiladi.

Modellashtirish va natijalar

BTni tanlash jarayonida tugunning qoldiq energiyasi muhim mezonlardan biri sifatida hisobga olinadi. Klaster tarkibidagi qo'shni tugunlarning energetik holati baholanib, energiya zaxirasi yuqori bo'lgan tugunlarga BT sifatida tanlanish uchun ustuvorlik beriladi. Har bir kuzatuvchining optimallashtirish jarayonidagi samaradorligi uning moslashuv (fitness) qiymati asosida aniqlanadi. Ushbu qiymat yuqorida keltirilgan maqsad funksiyasi yordamida hisoblanib, tugunlarning qoldiq energiyasi, shakllantiriladigan BTlar soni, klaster ichidagi tugunlar orasidagi aloqa masofasi hamda BT bilan tayanch stansiya (BS) o'rtasidagi masofa kabi asosiy parametrlarni o'z ichiga oladi. Mazkur mezonlarni birgalikda hisobga olish energiya sarfini muvozanatlashtirish va tarmoqning ishlash muddatini uzaytirishga yo'naltirilgan.

1-jadval

Modellashtirish parametrlari

Parametrlar	Qiymat
Sensorli maydon maydoni	200x200 m ²
Tugunlar soni (n)	100
Klaster boshi foizi	5-10%

Radio to'lqinlarining tarqalishi modeli	Erkin fazo
BS minimal va maksimal pozitsiyasi	[0,200]
Antenna modeli	Ko'p yo'nalishli antenna
Dastlabki energiya (Y_{e0})	0,5 J
Elektron energiyasi (E_{elec})	70 nJ/bit
Erkin fazo energiyasi (E_{fs})	10 pJ/bit/m²
Ko'p nurlilik energiyasi (E_{mp})	0,0013 pJ/bit/m⁴
Paket hajmi	4096 bit
Energiya haqidagi ma'lumotlarini argresiyalash (ED_A)	5 nJ/bit/signal
MAC	802.11
Raundlar soni (I_{max})	2000
Masshtablashtirish koeffitsienti (ϵ)	0,5
Kesishish ehtimolligi koeffitsienti	0,5

Klasterlararo ma'lumot almashish bosqichida agregatsiyalangan ma'lumotlarni BSga uzatish vazifasi asosan BT tomonidan bajariladi. Shu sababli BT radiokanal bilan faol aloqada bo'lib, kanalga kirishni boshqarish uchun CSMA/CA mexanizmidan foydalanadi. Klaster a'zolari (KA) esa ma'lumot uzatishda bevosita ishtirok etmaydigan vaqt oralig'ida energiya sarfini kamaytirish maqsadida uyqu (sleep) holatiga o'tishi mumkin. CSMA/CA mexanizmi klaster ichidagi ma'lumot almashinuvida hamda BTlar orqali amalga oshiriladigan klasterlararo aloqada radiokanalga kirishni muvofiqlashtirish uchun qo'llaniladi.

Tarmoqning ishlash jarayonida BS tarmoq holati to'g'risidagi tegishli ma'lumotlarni qabul qilib boradi. Har bir sensor tugun MAC sathida CSMA/CA mexanizmidan foydalanadi hamda o'zining noyob identifikatori (ID) orqali tarmoqda farqlanadi. Tugunlardan olingan ma'lumotlar belgilangan baholash mezonlari asosida qayta ishlanib, har bir tugun uchun tegishli ustuvorlik darajasi shakllantiriladi. Musbat butun son bilan ifodalanuvchi ushbu daraja keyingi raundda yangi klaster bosh tugunini tanlash jarayonida qo'shimcha mezon sifatida qo'llaniladi.

Klaster bosh tugunini (BT) aniqlash jarayonida asosiy optimallashtirish mezoni sifatida maqsad funksiyasining minimal qiymatiga erishish qabul qilinadi. Ya'ni, nomzod tugunlar orasidan maqsad funksiyasi qiymatini eng kichik darajaga keltiruvchi yechim BT sifatida tanlanadi. Mazkur optimallashtirish mezoni matematik jihatdan (17) tenglama orqali ifodalanadi. Bunda $SF \in [0,1]$ — differensial evolyusiya algoritmda vektorlar orasidagi farqning ta'sir darajasini boshqaruvchi masshtablash koeffitsiyenti bo'lib, yangi nomzod yechimlarni shakllantirish jarayonidagi qidiruv qadamining kattaligini belgilaydi.

$$F(X) = SF \times F_1 + (1 - SF) \times F_2 \quad (17)$$

Maqsad funksiyasining F_1 komponenti (18) tenglamaga muvofiq tarmoqdagi aloqa masofalarini baholashga xizmat qiladi. Ushbu mezonni hisoblashda klaster bosh tuguni (BT) bilan tayanch stansiya (BS) o'rtasidagi, shuningdek, tegishli klasterlar tarkibidagi tugunlar orasidagi Evklid masofalari hisobga olinadi. Tugunlar uchun umumiy tarmoq xarajatini baholashda aloqa masofasi bilan bir qatorda energiya sarfi va ma'lumot uzatishdagi kechikish vaqti kabi muhim parametrlar ham e'tiborga olinadi. Natijada F_1 qiymatini minimallashtirish

ma'lumotlarni uzatish masofasini qisqartirish va tarmoq resurslaridan samaraliroq foydalanishga xizmat qiladi.

Maqsad funksiyasining ikkinchi komponenti F_2 esa tugunlarning energetik holatini baholash uchun qo'llaniladi. (19) tenglamaga muvofiq, F_2 joriy raundda faol va ishlashga yaroqli bo'lgan tugunlarning boshlang'ich energiyasi bilan BTlarning umumiy energiyasi o'rtasidagi nisbat asosida aniqlanadi. Ushbu energetik mezonni maqsad funksiyasiga kiritish BTlarni tanlashda tugunlarning mavjud energiya resurslarini hisobga olish, energiya yuklamasini tarmoq bo'ylab muvozanatli taqsimlash hamda SSTning umumiy ishlash muddatini uzaytirish imkonini beradi.

$$F_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \text{Dist}(\text{agar}_i, \text{BT})}{\text{tugunlar}_{C+1}} \quad (18)$$

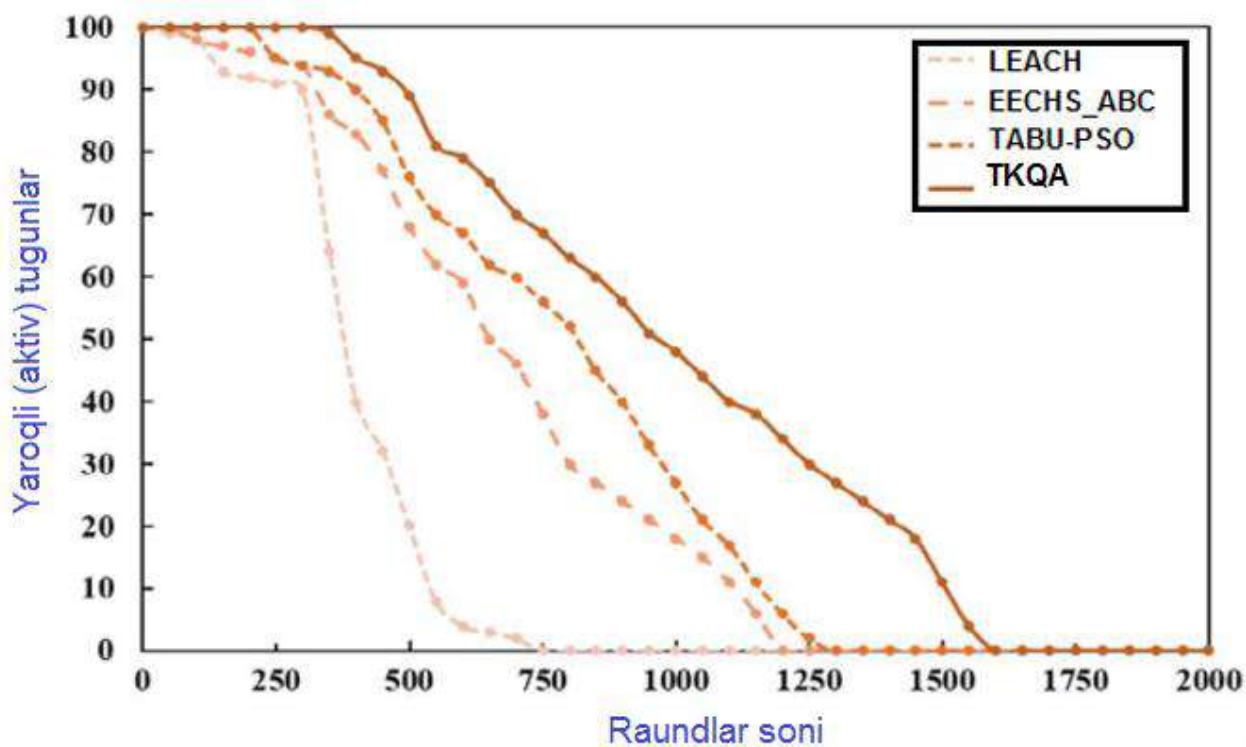
$$F_2 = \frac{\sum_{i=1}^N E_{\text{init} \text{tugun}}}{\sum_{i=1}^N E_{\text{BT}}} \quad (19)$$

Tugunning $F(X)$ yaroqlilik funksiyasi (20) tenglamada bo'lganidek, BT ni optimal tanlashga asoslanadi, bu yerda (Max_{Dist}) (BS; BT) - BTdan BS gacha bo'lgan maksimal o'rtacha masofa. KAlar va BT o'rtasidagi maksimal o'rtacha masofa - $\text{Max}_{\text{Dist}}(\text{CM}_{ij}, \text{CH}_j)$. Tugunlarning v umumiy soni har doim BT lar sonidan katta bo'ladi.

$$F(X) = \frac{\text{Max}(\text{tugun}_{\text{RE}})}{\text{Min}((\text{Max}_{\text{Dist}}(\text{BS}, \text{BT})) + (\text{Max}_{\text{Dist}}(\text{CM}_{ij}, \text{BT}_j)))} \quad (20)$$

Sensor tugunlari dastlab bir xil energiya zaxirasiga ega bo'lishiga qaramasdan, tarmoqning ishlash jarayonida ularning energiya sarfi bir xil kechmaydi. Buning asosiy sabablaridan biri tugunlarning tayanch stansiya (BS) yoki klaster bosh tuguniga (BT) nisbatan turli masofalarda joylashganligidir. Aloqa masofasining ortishi ma'lumotlarni uzatish uchun talab qilinadigan energiya miqdorining ko'payishiga olib keladi. Natijada ayrim tugunlarning energiya zaxirasi boshqalariga nisbatan tezroq kamayib, tarmoq bo'ylab energiya iste'molining notekis taqsimlanishi yuzaga keladi.

3-rasmda eksperimental modellastirish natijalari asosida tarmoqdagi faol tugunlar sonining raundlar davomida o'zgarishi tasvirlangan. Modellastirish jarayoni 0 dan 2000 raundgacha bo'lgan oraliqda amalga oshirilib, har bir bosqichda ishlash qobiliyatini saqlab qolgan tugunlar soni baholangan. Algoritmning yaqinlashish jarayoni barqarorlashgandan so'ng faol tugunlar sonining o'zgarish sur'ati nisbatan kamayadi. Taklif etilgan gibrid optimallashtirish sxemasida energiya zaxirasi yetarli bo'lgan faol tugunlardan samarali foydalanish qidiruv jarayonining tezroq yaqinlashishiga va maqbul yechimni qisqa vaqt ichida aniqlashga yordam beradi.

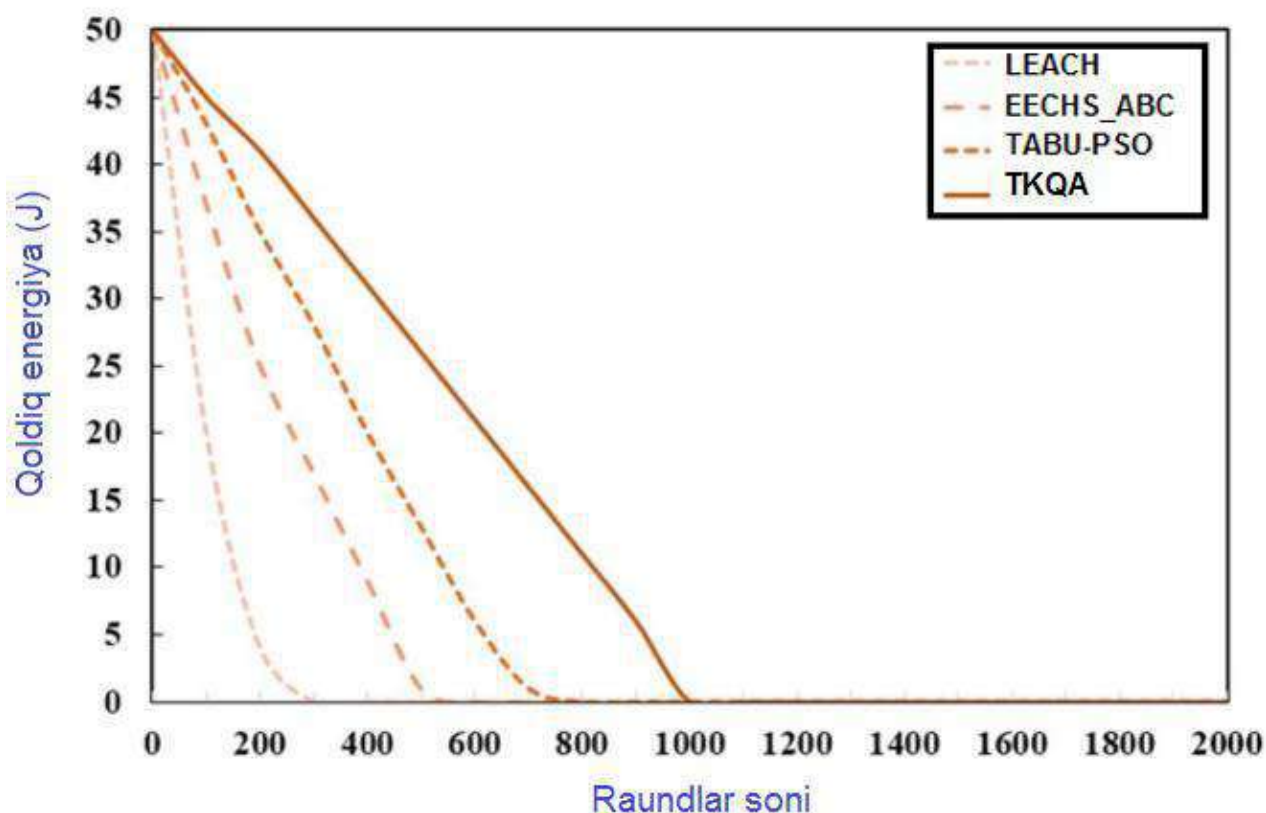


3- rasm. Tarmoqdagi yaroqli (aktiv) tugunlar

Bundan tashqari, taklif etilgan yondashuv energiya zaxirasi kamaygan tugunlarning klaster bosh tuguni (BT) sifatida tanlanish ehtimolini cheklaydi. Natijada energiya yuklamasi tarmoq tugunlari o'rtasida nisbatan muvozanatli taqsimlanib, ayrim tugunlarning muddatidan oldin ishdan chiqishi kamayadi va tarmoqning umumiy ishlash muddati uzayadi.

Modellashtirish natijalariga ko'ra, LEACH protokolida 50-raunddan boshlab faol tugunlar sonining kamayishi kuzatiladi va 770-raundga kelib tarmoqdagi faol tugunlar soni nolga tushadi. EECHS-ABC protokolida esa tugunlarning faol holatda ishlash davri nisbatan uzoqroq davom etib, 1210-raundga kelib barcha tugunlarning energiya zaxirasi tugaydi. Ushbu natijalar turli klasterlashtirish yondashuvlarida tugunlarning energiya sarfi va tarmoqning ishlash davomiyligi sezilarli darajada farq qilishini ko'rsatadi.

4-rasmda TKQA asosidagi klasterlashtirish usuli qo'llanilganda tarmoq tugunlarining qoldiq energiyasi raundlar soniga bog'liq ravishda qanday o'zgarishi keltirilgan. Mazkur ko'rsatkich algoritmnining energiya resurslaridan foydalanish samaradorligini hamda tarmoqning ishlash davomiyligiga ta'sirini baholash imkonini beradi.



4-rasm. Qoldiq energiya tahlil qilish

4-rasmda turli klasterlashtirish algoritmlari qo'llanilganda tarmoqning qoldiq energiyasi raundlar soniga bog'liq ravishda o'zgarishi keltirilgan. LEACH algoritmda klaster bosh tugunlari sensor tugunlari orasidan ehtimollik asosida tanlanishi sababli energiya yuklamasining tugunlar o'rtasida yetarlicha muvozanatli taqsimlanmasligi kuzatiladi. Natijada tarmoqning umumiy qoldiq energiyasi bosqichma-bosqich kamayib, 290-raundga kelib nol qiymatga yetadi.

EECHS-ABC algoritmi energiya resurslaridan foydalanish nuqtai nazaridan LEACH protokoliga nisbatan yaxshiroq natijalarni namoyon etib, tarmoqning ishlash muddatini 503-raundgacha uzaytiradi. Shunga qaramay, raundlar sonining ortishi bilan tugunlarning energiya zaxirasi kamayib borishi ushbu yondashuvning ham uzoq muddatli ishlash imkoniyatini cheklaydi.

TABU-PSO algoritmda esa optimal yechimni izlash jarayonida qidiruv fazosidagi bir yechimdan boshqasiga samarali o'tish mexanizmlaridan foydalanilishi energiya samaradorligini yanada oshirish imkonini beradi. Modellashtirish natijalariga ko'ra, mazkur algoritm qo'llanilganda tarmoqning qoldiq energiyasi taxminan 730-raundgacha saqlanib qoladi. Biroq TABU-PSOda global qidiruv (exploration) va lokal qidiruv (exploitation) jarayonlari o'rtasida optimal muvozanatni ta'minlash murakkab vazifalardan biri bo'lib qoladi. Qidiruv fazosida maqbul yechimni aniqlash uchun ko'proq hisoblash bosqichlari talab qilinishi algoritmning yaqinlashish vaqtini oshirishi mumkin.

Xulosa

Ushbu maqolada simsiz sensor tarmoqlarida energiya samaradorligini oshirish va tarmoqning ishlash muddatini uzaytirish maqsadida takomillashtirilgan kuzatuvchi qidiruv algoritmi (TKQA) va differensial evolyutsiya (DE) algoritmgiga asoslangan gibril yondashuv taklif etildi. Klaster bosh tugunlarini tanlashda tugunlarning qoldiq energiyasi, ular orasidagi

masofa, klasterdagi tugunlar soni va tayanch stansiyagacha bo'lgan masofa hisobga olindi. Modellashtirish natijalari taklif etilgan yondashuv energiya sarfini kamaytirish, faol tugunlar sonini saqlab qolish va tarmoqning yashash muddatini uzaytirishda samarali ekanligini ko'rsatdi. TKQA va DE algoritmlarining integratsiyasi optimal klaster bosh tugunlarini tanlash imkonini berib, SSTning umumiy ishlash samaradorligini oshirdi.

Adabiyotlar/Литература/References:

1. Yue Y., Li J., Fan H., et al. Optimization-based artificial bee colony algorithm for data collection in large-scale mobile wireless sensor networks. J Sens. 2016,Article ID 7057490, p.12
2. Malathi L., Gnanamurthy R.K., Channdrasekaran K. Energy efficient data collection through hybrid unequal clustering for wireless sensor networks. Comput Electr Eng. 2015;48, pp.358-370.
3. Heinzelman W.R., Chandrakasan A., Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In: Proceedings of the 33rd IEEE Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2000 Jan 4-7; Maui, HI, USA.
4. Lian J., N 9aik K., Agnew G.B. Data capacity improve- ment of wireless sensor networks using non-uniform sensor distribution. Int J Distrib Sens Netw.,pp. 121-145.
5. Latiff N.A., Tsimenidis C.C., Sharif B.S. Energy-aware clustering for wireless sensor networks using particle swarm optimization. In: Proceedings of the 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007 Sep 3-7; Athens, Greece.
6. Devi Rita, Kumar Amit, and Dhawan Vinay, "A Node Prioritization Based Load Balancing Approach To Improve Cluster Head Selection In Wireless Sensor Network," vol. III, no.8 – 12, February 2017.
7. Xiaopeng WANG, "Improved Routing Protocol of Wireless Sensor Network
8. Ahmad, Khan Zaki and Samad Abdus, "A Study of Machine Learning in Wireless Sensor Network," vol. IV, July-August 2017.
9. Hussain S., Matin A.W., Islam O. Genetic algorithm for hierarchical wireless sensor networks. JNW, pp. 87-97.

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 9 (4)-2026

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika instituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com