ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 10

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

DALA MAYDONIDA SENSOR TUGUNLARINI JOYLASHTIRISH MODELI

Jo‘rayev Mansurbek Mirkomilovich
FarDTU Dasturiy injiniring va kiberxavfsizlik kafedrasi katta o‘qituvchisi
E-mail: jurayevmansurbek99@gmail.com

Annotatsiya. IoT sensorlarini samarali joylashtirish asosiy muammo hisoblanadi, chunki u birinchi navbatda IoT tarmog‘ining ishlashini belgilaydi. Sug‘orish paytida tuproqda namlikni haddan ziyod ortishi, sug‘orishlar orasidagi vaqtning uzoqligi tuproq qurib ketishiga sabab bo‘ladi va o‘simlikni suvsiz qoldiradi. Bunday tizimlarning markaziy muammolaridan biri - tugunlarni maydonga ratsional joylashtirishdir. Tugunlar to‘g‘ri va ilmiy asoslangan holda joylashtirilsa, tizimning qamrovi to‘liq bo‘ladi, energiya sarfi kamayadi va real vaqt monitoring yuqori aniqlikda amalga oshiriladi.

Kalit so‘zlar: tugun, sug‘orish, joylashtirish, IoT, simsiz tarmoq, qamrov.

Аннотация. Эффективное размещение датчиков IoT является ключевым вопросом, поскольку оно в первую очередь определяет производительность сети IoT. Избыточная влажность почвы во время полива, длительные интервалы между поливами приводят к высыханию почвы и оставляют растения без воды. Одной из центральных проблем таких систем является рациональное размещение узлов на поле. Если узлы размещены правильно и научно обоснованно, охват системы будет полным, энергопотребление снизится, а мониторинг в реальном времени будет осуществляться с высокой точностью.

Ключевые слова: узел, полив, размещение, IoT, беспроводная сеть, охват.

Abstract. Effective placement of IoT sensors is a key issue, as it primarily determines the performance of the IoT network. Excessive soil moisture during irrigation, long intervals between irrigations cause the soil to dry out and leave the plant without water. One of the central problems of such systems is the rational placement of nodes in the field. If the nodes are placed correctly and scientifically, the coverage of the system will be complete, energy consumption will be reduced, and real-time monitoring will be carried out with high accuracy.

Keywords: node, irrigation, placement, IoT, wireless network, coverage.

KIRISH.

IoT sensorlarini samarali joylashtirish asosiy muammo hisoblanadi, chunki u birinchi navbatda IoT tarmog‘ining ishlashini belgilaydi. Fermerlar o‘z xo‘jaligining istalgan hududi uchun suvning to‘g‘ri taqsimlanishiga ishonch hosil qilishlari mumkin. Sug‘orish paytida tuproqda namlikni haddan ziyod ortishi, sug‘orishlar orasidagi vaqtning uzoqligi tuproq qurib ketishiga sabab bo‘ladi va o‘simlikni suvsiz qoldiradi. Raqamli texnologiyalar jadal rivojlanayotgan hozirgi

ISSN 3030-3907

davrda qishloq xo‘jaligini avtomatlashtirish va resurslardan samarali foydalanish dolzarb masalaga aylangan. Xususan, simsiz sensor tarmoqlari yordamida avtomatik monitoring va sug‘orish tizimlarini yaratish orqali suv, energiya va ishchi kuchini tejalishi mumkin. Bunday tizimlarning markaziy muammolaridan biri - tugunlarni maydonga ratsional joylashtirishdir. Tugunlar to‘g‘ri va ilmiy asoslangan holda joylashtirilsa, tizimning qamrovi to‘liq bo‘ladi, energiya sarfi kamayadi va real vaqt monitoring yuqori aniqlikda amalga oshiriladi.

ADABIYOTLAR TAHLILI. Tuproq namligi sensorlari qishloq xo‘jaligi yerlarining suvga bo‘lgan ehtiyojini aniqlash uchun tadqiqotlarda qo‘llaniladi [1]. Datchiklar tomonidan olingan ma’lumotlar qaysi hududlarni sug‘orish kerakligini aniqlash uchun ishlatiladi, shuning uchun suv sarfini kamaytiradi. Bu yerda muammo qancha datchiklardan foydalanish kerakligini va sensorlar qayerda joylashganligini aniqlashdir. Ushbu ikki parametr sensorga asoslangan mintaqaviy sug‘orish tizimining samaradorligi va narxiga ta’sir qiladi. Sensor tugunining boshqa sensor tuguni yoki markaziy tugunga ulanishi sensor tarmog‘i deb ataladi. Simsiz sensor tarmog‘i odatda mintaqasida joylashtirilgan ko‘plab simsiz qurilmalardan iborat bo‘lib, ularning har biri atrof-muhit haqidagi ma’lumotlarni to‘plash, qayta ishlash va qo‘shni qurilmalar bilan aloqa qilish imkoniyatiga ega [2]. Sensor tarmoqlari odatda miqdorni o‘lchashni talab qiladigan ilovalar uchun tanlanadi. Raqamlar va joylashuv ichki/tashqi ilovalar uchun eng muhim masaladir. Ushbu muammo tadqiqotchilar tomonidan evolyutsion optimallashtirish algoritmlariga asoslangan qarorlarni qo‘llab-quvvatlash tizimidan foydalanish orqali hal qilinadi. WSN bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar doimiy ravishda ma’lumotlarni jo‘natish/qabul qilish, tizimning ishlash muddatini oshirish, kelish vaqtini optimallashtirish va sensorli tugunlar sonini kamaytirish kabi ma’lum parametrlarga qaratilgan. Shunday qilib, sensorni joylashtirish va sensorlar soni WSNlarni o‘rganishning asosiy maqsadiga erishish uchun hal qilinishi kerak bo‘lgan muhim masalalardir [3]. Ushbu tadqiqotda yerning bir xil qismlarini haqiqiy namlik ma’lumotlari bilan aniqlash uchun bir hil sug‘orish nuqtai nazaridan sensorni joylashtirish o‘rganiladi. Sug‘orish miqdori bir hil sug‘orishni olish uchun ko‘rib chiqilgan turli xil parametrlarga (masalan, namlik, harorat, tuproq xususiyatlari va daraxtning) ta’sir qiladi.

Kaliforniya universiteti (UCLA) olimlari tomonidan olib borilgan tadqiqotda sensor tugunlari qamrovini matematik jihatdan tahlil qilishga bag‘ishlangan. Mualliflar sensor tugunlarni maydonda joylashtirishda “eng yaxshi qamrov yo‘li” algortimni taklif qilishgan[4]. Tugunlar *Voronoi diagrammasi* asosida joylashtiriladi, har bir sensor uchun qo‘shni tugunlar bilan chegaralanuvchi hududlar Voronoi ko‘pburchaklari shaklida aniqlanadi. Ushbu

ISSN 3030-3907

yondashuvda har bir P(x, y) nuqtasi eng eng kamida bitta sensor tomonidan kuzatilishi shart deb faraz qilinadi.

AQSh olim Ian Akyildiz va hammualliflar [5] uchta sensor tugunlarini joylash paradigmasini ko‘rib chiqishgan bo‘lib, 1) Deterministik joylashda tugunlar oldindan hisoblangan koordinatalarga qo‘lda yoki robotlar yordamida o‘rnatiladi. 2) tasodifiy joylashda tugunlar maydon bo‘ylab tasodifiy tarzda joylanadi, katta maydonlar uchun qulay ammo qamrov kafolatlanmaydi. 3) gibrid joylashtirishda tasodifiy joylashtirilgan tugunlardan so‘ng mobil to‘ldiruvchi tugunlar qo‘llanilgan. Mualliflar energiya samaradorligi uchun klaster ierarxik arxitekturani tavsiya qilgan maydondagi oddiy tugunlar klaster boshliqlari orqali bosh tugunga ma’lumotlar yuboriladi.

Ispaniyaning Valensiya Politexnika Universiteti tadqiqotchilari apelsin bog‘lari va sabzavot dalalarida haqiqiy dala tajribasini o‘tkazishgan [6]. Tugunlar uch xil balandlikda joylashtirilgan. 1) yerga tegib turadigan tuproq namligini bevosita o‘lchash uchun sensorlar joylashtirishgan ammo o‘simlik poyalari signal zaiflashuvini oshiradi. 2) yerga yaqin signal sifati va namlik o‘lchovi o‘rtacha muvozanatda bo‘ladi. 3) yerdan bir metr balandda signal sifati eng yuqori ammo tuproq namligini aniq o‘lchash samaradorligi past bo‘ladi. Tugunlar to‘rtburchak shaklda, orasidagi masofa 10-30 metr oralig‘ida o‘zgartirib sinab ko‘riladi. Zich bo‘lgan o‘simlik qatorlarida signal ~15-20 dB zaiflashgani kuzatilgan. Xususan, to‘siqlar sensor signalini so‘nishi modelining amaliy asoslanishini ko‘rsatishgan.

Xitoyning Guangxi Fan-texnologiya universiteti olimi Yinjun Zhang moslashuvchan oltiburchak shaklda tugunlarni joylashtirish modelini taqdim etadi [7]. Ushbu modelda har bir tugun uning olti qo‘shnisiga teng masofada joylashtirishni ta’minlaydi. Bu modeldagi asosiy yangilik moslashuvchan chastota sakrash tarqalish spektri (Adaptive Frequency-Hopping Spread Spectrum, AFHSS) mexanizmi tugunlar atmosfera shovqini, metallkontruksiyalar yoki boshqa to‘siqlar tufayli signal sifati pasayganda avtomatik tarzda chatota kanalini almashtiradi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Amaliyotda simsiz sensor tarmoqni loyihalashda kuzatuv maydonlarida to‘siqlar(binolar, uskunalar, texnik obyektlar) bo‘lishi mumkin. Bunday sharotida sensor tugunlarini samarali joylashtirish uchun to‘siqlarni hisobga oluvchi algoritm talab etiladi. Yer maydonining eni va bo‘yi mos ravishda *L* va *W* o‘lchamli to‘rtburchak maydonda to‘siq mavjud holda oltiburchak shaklida sensor tugunlarini joylashtirish masalasi ko‘rib chiqiladi. Masalani sharti quyidagicha: 1) maydon: to‘g‘riburchak shaklda bo‘ladi. 2) sensor: tugunining qamrovi *r,* qo‘shni tugunlar orasidagi eng katta masofa ham *r* ga teng. 3) To‘siq: bitta aylana shakldagi to‘siq, markazi va radiusi berilgan. Sensor tugunlari to‘siq ichiga yoki unga tegib joylashtirilmaydi. (x_o, y_o) - to‘siq

ISSN 3030-3907

markazining koordinatalari, R_o - to‘siq radiusi, N - joylashtirilgan sensor tugunlarini soni.

Shu o‘rinda to‘siqlar haqida. To‘siqlar (masalan: daraxtlar, binolar, metall konstruksiyalar) – simsiz sensor tarmoqlari va ayniqsa IoT tizimlarida signal tarqalishiga sezilarli ta’sir qiluvchi omillardan biridir. Ular signalni so‘ndiradi, aks ettiradi, singdiradi, yo‘naltiradi. 1-jadvalda to‘siqlarni turi, ularning tavsifi va signalga ta’siri keltirilgan.

1-jadval.

To‘siqlar tasnifi

To‘siqlar turi	Tavsifi	Signalga ta’siri
Daraxtlar	Bargli yoki ignabargli daraxtlar	Signalni so‘ndiradi, namlik ko‘p bo‘lsa, so‘nish koeffitsent ortadi
Binolar	G‘sht, beton, metall	Signalni yutadi yoki to‘sib qo‘yadi, ayniqsa metall
Yerdagi notekisliklar	Qiya yer, tepalar, sug‘orish kanallari	Radio to‘lqin yo‘nalishini o‘zgartiradi
O‘simliklar	Qo‘ng‘ir bargli ekinlar, toklar va boshqalar	Namlikka qarab signalni susaytiradi

Sizmsiz sensor tarmoqlarida signalning tarqalishi muhitning fizik xususiyatlariga sezilarli darajada bog‘liq bo‘ladi. Ayniqsa, qishloq xo‘jaligi maydonlarida radio signalning zaiflashuvi tuproq turi, uning namligi, zichligi hamda dielektrik o‘tkazuvchanligiga qarab o‘zgaradi. Signalning so‘nish darajasi odatda α bilan belgilanadigan signal yo‘qotish koeffitsiyenti orqali ifodalanadi va u radio to‘lqinlarning muhitda tarqalish modelida asosiy parametr hisoblanadi. Tadqiqotlarga ko‘ra, qumli va quruq tuproqlarda signalning so‘nishi nisbatan kichik, loy yoki nam tuproqlarda esa signal kuchliroq yutiladi.

Tuproq tarkibidagi suv miqdori ortishi bilan elektr o‘tkazuvchanlik ham oshadi, bu esa radio signalning qo‘shimcha yo‘qolishiga olib keladi. Shu sababli, simsiz sensor tugunlarini joylashtirishda tuproq turiga bog‘liq signal zaiflashuvi koeffitsiyentini hisobga olish tarmoq qamrovini to‘g‘ri aniqlash va aloqa barqarorligini ta’minlash uchun muhim hisoblanadi. Ushbu yondashuv radio to‘lqinlarning tarqalish nazariyasi hamda simsiz sensor tarmoqlarini loyihalash bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlarda keng qo‘llaniladi. Tuproqning fizik xususiyatlari simsiz signal tarqalishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi [8]. Masalan: qumli $\alpha = 1.1$, loyqa $\alpha = 1.5$, gil $\alpha = 1.3$.

Sensor tugunlarini eng ixcham va bir tekis taqsimlash uchun oltibuchak (asalari uyasi) shakli sxemasi qo‘llaniladi. Bu sxema bir xil qamrov radiusidagi

ISSN 3030-3907

kvadrat panjara bilan solishtirilganda taxminan 13.4% kam tugun bilan maydonni to‘liqroq qamrab oladi [9].

Sensor tugunlarining gorizontal va vertikal qadamlari:

$$x = r \quad (2.1)$$

$$y = (\sqrt{3}/2) \cdot r \approx 0.866 \cdot r \quad (2.2)$$

bu yerda; r – tugunlar orasidagi ulanish masofasi. (2.2) – formuladagi koeffitsient $\sqrt{3}/2$ teng tomonli uchburchakdan kelib chiqadi.

Oltiburchakli panjaradan foydalanishni taklif qiluvchi ushbu joylashtirish usuli sensor tugunlarini panjara ichidagi hisoblangan koordinatalarga strategik joylashtirishni o‘z ichiga oladi. Har bir sensor tugunlarining koordinatalari (i, j) indekslari bo‘yicha yer maydonining oxigacha takrorlanadi va keyin quyida keltirilgan formulalarni qo‘llash orqali aniqlanadi [10]. Quyidagi formulalar yordamida sensor tugunlari maydon chegarasidan $\frac{r}{2}$ masofada joylashtiriladi, bu esa qamrov hududining tashqi chegaradan chiqib ketmasligini ta’minlaydi.

$$x = \begin{cases} r * j + \frac{r}{2}\ bo‘ladi, agar\ i\ juft\ bo‘lsa \\ r * j + r\ bo‘ladi, agar\ i\ toq\ bo‘lsa \end{cases} \quad (2.3)$$

$$y = i * \frac{\sqrt{3}}{2} * r + \frac{r}{2} \quad (2.4)$$

Bu yerda, x va y sensor tugunlarining Dekart koordinatalarini bildiradi, i va j esa oltiburchakning qatorlar va ustunlardagi o‘rnini ko‘rsatadi. Natijaviy hisoblash iteratsiylar shaklida bajariladi va hisoblangan koordinatalar sensor tugunlarining muvozanatli taqsimlanishini ta’minlab, oltiburchakli panjara ichida qamrov va ulanuvchanlik optimallashadi.

Qator va ustun sonlari:

$$N_qator = L / y,\ N_ustun = W / x \quad (2.5)$$

Maydon chegara sharti. Generatsiya qilingan har bir (x, y) koordinata juftligi berilgan maydonning ichida ekanligini tekshirish uchun quyidagi shart qo‘llaniladi:

$$0 \le x < W\ va\ 0 \le y < L \quad (2.6)$$

Shart bajarilmagan tugunlar ya’ni maydon tashqarisiga chiqib ketuvchi tugunlar ro‘yhatga kiritilmaydi.

To‘siqdan qochish sharti. Aylana shaklidagi to‘siq markazi $O(x_o, y_o)$ va radiusi R_o bilan berilgan. $P(x, y)$ nuqatasidagi potensial sensor tugundan to‘siq markazigacha bo‘lgan Evklid masofasi:

$$d(P, O) = \sqrt{(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2} \quad (2.7)$$

Sensor tugunni joylashtirish mumkin bo‘lish sharti:

$$d(P, O) > R_o \quad (2.8)$$

ISSN 3030-3907

Ya’ni tugun markazi to‘siq doirasining tashqarisida bo‘lishi shart. Ushbu model to‘siqning sensor signalini to‘liq bloklashi holatini aks ettiradi. Agar to‘siq qisman o‘tkazuvchan bo‘lsa, (2.8) –formuladagi R_o o‘rniga kengaytirilgan radiusi $R_o + r/2$ ishlatiladi (xavfsizlik chegarasi bilan) [5].

Qamrov samaradorligi koeffitsienti. Maydonning sensor tugunlar tomonidan qoplanish ulushi quyidagi formular bilan baholanadi:

$$\eta = (N \cdot \pi \cdot r^2)/(W \cdot L) \qquad (2.9)$$

N-joylashtirilgan tugunlar soni, $\pi \cdot r^2$-bir tugunning qamrov yuzasi. Amalda $\eta > 1$ bo‘lishi mumkin, chunki qamrov doiralari bir-birini qisman qoplaydi, bu esa to‘liq qamrovni kafolatlash uchun zaruriy shart hisoblanadi [12].

Ushbu ilmiy ishda dala maydonining shakl (uchburchak, to‘rtburchak, oltiburchak) va mavjud to‘siqlar (masalan: daraxt, inshoot, texnik yo‘llari) hisobga olingan holda tugunlarni joylashtirish algoritmi ishlab chiqildi. Algoritm blok sxema ko‘rinishda ifodalangan bo‘ib to‘siqli zonalarni ajratib, faqat erkin zonalarga tugun joylashtirishni ko‘zda tutadi. Bu esa umumiy qamrovni maksimal darajada oshirishga xizmat qiladi.

2-jadval.

Taklif etilayotgan modelni taqqoslanish jadvali

Xususiyat	**Meguerdichian**	**Akyildiz**	**García**	**Zhang**	**BIZNING MODEL**
Heksagonal panjara	~ Voronoi	~ Nazariy	Yo‘q	Ha	**Ha (x=r, y=$\sqrt{3}$/2·r)**
To‘siq hisobi	~ Voronoi	Yo‘q	~ O‘simlik	Ha (AFHSS)	**Ha, d(P,O)>R$_o$**
Chegara masofasi	Yo‘q	Yo‘q	Yo‘q	Yo‘q	**Ha, sozlanuvchi**
Aniq tugun soni	Taxminiy	Taxminiy	Eksperimental	Simulyatsiya	**Ha, dasturiy aniq**
Ekin koeffitsienti	Yo‘q	Yo‘q	Yo‘q	Yo‘q	**Ha, parametr**

ISSN 3030-3907

Tuproq turi hisobi	Yo‘q	Yo‘q	Qisman	Yo‘q	**Ha, parametr**

Yuqoridagi 2-jadvalda Ha-hususiyati to‘’liq amalga oshirilganligini, ~-qisman yoki bilvosita mavjudligini, Yo‘q-xususiyat butunlay yo‘qligini bildiradi.

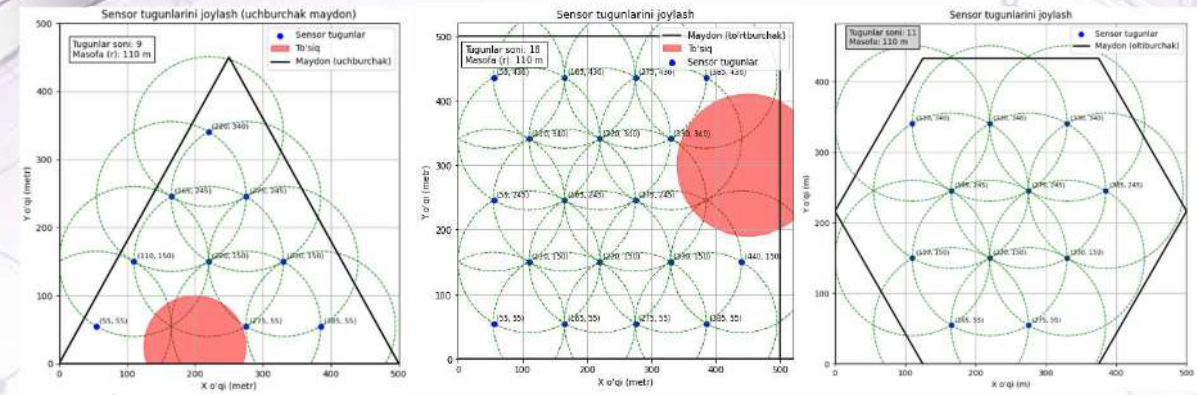
Ilmiy tadqiqolarda sensor tugunlarini joylashtirish masalasi ko‘pincha qamrov darajasi maksimal qilish, tugunlar sonini minimallashtirishga qaratilgan ko‘p maqsadli algoritmlar yordamida yechiladi. Masalan, [13]da simsiz tarmoqlarini joylashtirish jarayonida qamrov, energiya va ulanish samaradorligi kabi parametrlar asosiy mezonlar sifadida qaralgan. Biroq ushbu yondashuvlar ko‘pincha ideal monitoring hududi uchun ishlab chiqilgan bo‘lib, qishloq xo‘jaligi dalalarining real sharoitlarini to‘liq hisobga olmaydi. Taklif etilayotgan algoritmda esa sensor tugunlarini joylashtirish jarayoni dala maydonining geometrik shakli, to‘siqlar koordinatalari tuproq turi hamda ekinlarning suvga bo‘lgan talabi kabi omillar ham hisobga olingan. Natijada sensor tugunlarining joylashuvi qishloq xo‘jaligi monitoring tizimlari uchun yanada aniq va samarali bo‘ladi hamda suv tejamkor sug‘orish tizimini boshqarishda ishonchli ma’lumotlar olish imkonini beradi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR. Sensor tugunlarini joylashtirish uchun ishlab chiqilgan algoritmning ishlash chiqilgan bo‘lib. unda yer maydonining shakli, o‘lchami, tugun qamrov radiusi va aloqa masofasi kabi parametrlari asosida hisoblash bosqichlari ko‘rsatilgan. Algoritm kirish ma’lumotlari asosida monitoring hududini qamrab olish uchun zarur bo‘lgan sensor tugunlar koordinatalarini aniqlaydi.

Ushbu algoritmning maqsadi, tugunlarning sonini minimallashtirish, butun maydonni qamrab olish. To‘siqlar $O_j = (x_j, y_j, R_j)$ aylana shaklida bo‘ladi. Oxirgi qadamda natija vizual ko‘rinishdagi koordinatalar belgilab beriladi. Ushbu algoritm IoT asosida suv tejamkor sug‘orishda yer naydonlariga tugunlarni joylashtirish vazifasini bajaradi. Yer maydoni uchburchak, to‘rtburchak yoki oltiburchak shaklida bo‘lishi mumkin. Maydon ichida doira shaklda va o‘lchamdagi to‘siqlar mavjud bo‘lishi ehtimoli ham hisobga olingan.

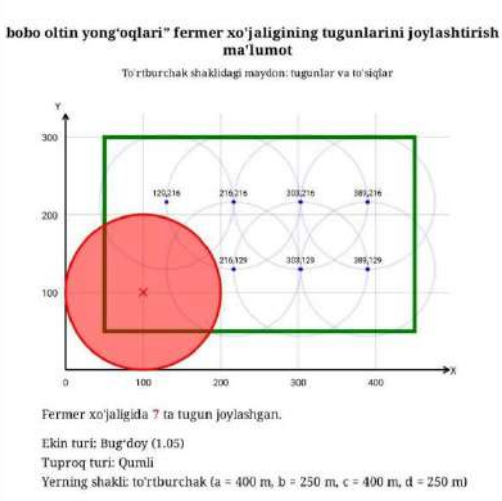
1-rasmdagi qizil rang bilan belgilangan sohalar to‘siqlar mavjud bo‘lgan hududlarni bildiradi. Ushbu to‘siqlar signal tarqalishiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkinligi sababli, algoritm tugunlarni joylashtirishda bu hududlarni hisobga olgan holda optimal nuqtalarni tanlaydi. Natijada sensor tugunlar to‘siqlar bilan keishmaydigan va maksimal qamrovni ta’minlaydigan tarzda joylashtirilgan.

ISSN 3030-3907



1-rasm. Uchburchak, to‘rtburchak va oltiburchak shaklidagi maydonga tugunlar joylashtirilgan.

Ushbu 1-rasmda algoritm sensor tugunlarning qamrov radiusi va aloqa masofasini hisobga olgan holda tugunlarning koordinatalarni aniqlaydi. Ko‘rsatilgan natijalar ishlab chiqilgan algoritm uchburchak, to‘rtburchak va oltiburchak shakllardagi murakkab hududlarni ham sensor tugunlarini samarali joylashtira olishini, qamrovning to‘liqligini ta’minlashini hamda to‘siqlar mavjud bo‘lgan sharoitda ham tarmoqning uzluksiz ishlashini kafolatlashini ko‘rsatadi. Ushbu yondashuv IoT asosidagi masofadan monitorig tizimlarida, xususan, qishloq xo‘jaligi maydonlarini nazorat qilishda samarali qo‘llanishi mumkin.



2-rasm. Suv tejamkor sug‘orish tizimida tugunlarning joylashtirish mobil ilovasi.

Dastur oddiy sensor joylashtirishdan farqli ravishda fermer xo‘jaligi kontekstiga moslashtirilgan ekin turi va tuproq turi kabi agrar parametrlarni hisobga oladi. Bu esa sensor joylashuvini o‘sha yerning fizik xususiyatlariga qarab avtomatik optimallashtiriladi. Rasmda katta qizil doira mavjud bo‘lishiga qaramasdan, dastur sensor tugunlarini faqat to‘siq tashqarisidagi hududga joylashtirilgan 7 ta tugun taqsimlangan. Bu holatda yuqoridagi formulalar asosida avtomatik amalga oshirilganligi tizimning intellektual jihatini ko‘rsatadi. Tugunlarning oltiburchak sxema ko‘rinishda joylashtirilgani, kvadrat panjara

ISSN 3030-3907

bilan solishtirganda bir xil kafolatida taxminan 13.4% kam tugun talab qiladi, natijada iqtisodiy tejamkorlik ta'minlanadi. Natijada to'g'ridan-to'g'ri mobil qurilmada vizual tarzda chiqarilgan foydalanuvchi murakkab hisob-kitoblarsiz maydon o'lchamlarini kiritsa, to'siqlar joylashuvini belgilasa, dastur avtomatik tugunlani joylashuvini hisoblab, xarita ustida ko'rsatiladi. Har bir tugunning koordinatasi bevosita grafik ustida yozilgan bo'lib, bu dala sharoitida tugunlarni aniq joylashtirish imkonini beradi. Ekin koeffitsienti, tuproq turi va maydon shakli alohida parametr sifatida berilgan bo'lib, bu dasturni turli ekin va tuproq turlari uchun qayta sozlash imkonini beradi. Kelajakda yangi parametrlar qo'shish ham mumkin.

Taqdim etilgan mobil dastur an'anaviy sensor joylashtirishdan bir necha muhim jihati bilan ustun turadi va real fermerlik sharoitini hisobga oladi. Oltiburchak panjara shaklida joylashtirish samaradorligidan foydalanadi va natijani foydalanuvchi sodda vizual ko'rinishda taqdim etadi. Ushbu yondashuv suv tejamkor sug'orish tizimi sohasida IoT sensor tarmoqlarini loyihalash uchun ilmiy va amaliy jihatdan puxta asoslangan yechim hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Dursun M, Ozden S (2011) A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors. Sci Res Essays 6(7):1573–1582
2. Domingo-Perez F, Lazaro-Galilea JL, Wieser A, Martin-Gorostiza E, Salido-Monzu D, de la Llana A (2016) Sensor placement determination for range-difference positioning using evolutionary multi-objective optimization. Expert Syst Appl 47:95–105. doi:10.1016/j.eswa.2015.11.008
3. Jousselme AL, Sabourin R, Gagnon F (2015) A dominance-based stepwise approach for sensor placement optimization. Appl Soft Comput 28:466–482. doi:10.1016/j.asoc.2014.11.051
4. Meguerdichian, S., Koushanfar, F., Potkonjak, M., & Srivastava, M. B. (2001). Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks. Proceedings IEEE INFOCOM 2001: Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Society, 3, 1380–1387. https://doi.org/10.1109/INFCOM.2001.916633
5. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey. Computer Networks, 38(4), 393–422. https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4
6. García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Parra, M., Lloret, J., Mauri, P. V., & Lorenz, P. (2021). Deployment strategies of soil monitoring WSN for precision agriculture irrigation scheduling in rural areas. Sensors, 21(5), 1693. https://doi.org/10.3390/s21051693

ISSN 3030-3907

7. Zhang, Y. (2024). An adaptive hexagonal deployment model for resilient wireless sensor networks in precision agriculture. Scientific Reports, 14(1), 24078. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75571-2
8. John O. Curtis. Electromagnetic Power Attenuation in Soils. Environmental Laboratory U.S. Army Engineer Research and Development Center 3909 Halls Ferry Road Vicksburg, MS 39180-6199
9. Meguerdichian S. et al. "Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks" // Proc. IEEE INFOCOM 2001. — B. 1380–1387. https://doi.org/10.1109/INFCOM.2001.916633
10. An adaptive hexagonal deployment model for resilient wireless sensor networks in precision agriculture. ZhangYinjun. Scientific Reports | (2024) 14:24078 https://doi.org/10.1038/s41598-024-75571-2. https://www.nature.com/srep/
11. Cardei M., Du D.-Z. "Improving Wireless Sensor Network Lifetime through Power Aware Organization" // *Wireless Networks*, 2005, Vol. 11, No. 3. — B. 333–340. https://doi.org/10.1007/s11276-005-6615-6.
12. Soumaya Ferhat Taleb, Nour El-Houda Benalia. *Wireless sensor network deployment optimization for a smart farming application: comparison of two Multi-Objective Evolutionary Algorithms*. ENP Engineering Science Journal, Vol. 3, No. 2, 2023. DOI: https://doi.org/10.53907/enpesj.v3i2.226