ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 8

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 8

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.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

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

СЕНСОР ТАРМОҚЛАРИДА НАЗОРАТ-ЎЛЧОВ МАЪЛУМОТЛАРИНИ МОБИЛ АЛОҚА ОРҚАЛИ УЗАТИШ

Назаров А.М.
Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети,
E-mail: nazarov_58@rambler.ru
Райимов Ф.Т.
Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети,
Университет кўчаси, 2,
E-mail: farruxrayimov16@gmail.com

Аннотация. Мақолада сенсор тармоқларида назорат-ўлчов маълумотларини узатишда мобил алоқадан фойдаланишнинг замонавий ҳолати, асосий муаммолари ва ривожланиш истиқболлари таҳлил қилинган. Симсиз сенсор тармоқлари (WSN) архитектураси, мобил алоқа технологияларининг эволюцияси ҳамда NB-IoT, LTE-M технологияларининг сенсор тармоқларда қўлланилиши кўриб чиқилган. Маълумот узатишнинг асосий талаблари – ўтказувчанлик, кечикиш вақти, энергия самарадорлиги, ишончлилик ва хавфсизлик параметрлари таҳлил этилган. Ўзбекистон шароитида сенсор тармоқларни жорий этишнинг ўзига хос хусусиятлари ва муаммолари келтирилган.

Калит сўзлар: мобил алоқа, сенсор тармоқлари, ўтказувчанлик, кечикиш вақти, ишончлилик, энергия сарфи

Abstract: The article analyzes the current state, main problems and development prospects of the use of mobile communications for transmitting control and measurement data in sensor networks. The architecture of wireless sensor networks (WSN), the evolution of mobile communication technologies, and the application of NB-IoT and LTE-M technologies in sensor networks are considered. The article analyzes key data transmission requirements—bandwidth, latency, energy efficiency, reliability, and security parameters. The article also presents the specifics and challenges of implementing sensor networks in Uzbekistan.

Keywords: mobile communications, sensor networks, throughput, latency, reliability, power consumption

Аннотация. В статье анализируется современное состояние, основные проблемы и перспективы развития использования мобильной связи для передачи контрольно-измерительных данных в сенсорных сетях. Рассмотрены архитектура беспроводных сенсорных сетей (WSN), эволюция технологий мобильной связи, а также применение технологий NB-IoT и LTE-M в сенсорных сетях. Анализируются основные требования к передаче данных—пропускная способность, задержка, энергоэффективность,

ISSN 3030-3907

надежность и параметры безопасности. Представлены особенности и проблемы внедрения сенсорных сетей в условиях Узбекистана.

Ключевые слова: мобильная связь, сенсорные сети, пропускная способность, задержка, надежность, энергопотребление

КИРИШ.

Ҳозирги кунда сенсор тармоқлари (Wireless Sensor Networks, WSN) замонавий назорат-ўлчов тизимларининг ажралмас қисмига айланиб, турли соҳаларда – саноат, қишлоқ хўжалиги, экологик мониторинг, ақлли шаҳарлар ва тиббиётда кенг қўлланилмоқда [1,2]. Сенсор тармоқларининг самарали ишлаши, биринчи навбатда, назорат-ўлчов маълумотларини ишончли ва ўз вақтида узатиш имкониятига боғлиқ.

Анъанавий сенсор тармоқларда маълумот узатиш учун WiFi, ZigBee, Bluetooth каби қисқа масофали симсиз технологиялар қўлланилади. Бироқ бу технологиялар катта географик ҳудудларни қамраб олиш, энергия тежамкорлиги ва ишончлилик нуқтаи назаридан чекланган имкониятларга эга [3]. Мобил алоқа технологияларининг сўнгги йиллардаги жадал ривожланиши, хусусан NB-IoT (Narrowband Internet of Things), LTE-M ва 5G технологияларининг пайдо бўлиши сенсор тармоқлар учун янги имкониятлар яратмоқда [4,5].

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 5-октабрдаги ПҚ-4842-сонли "Рақамли Ўзбекистон-2030" стратегияси мамлакатда рақамли иқтисодиётни ривожлантириш ва *IoT* тизимларини кенг кўламда қўллаш вазифаларини белгилайди [6]. Бу эса сенсор тармоқлар ва мобил алоқа технологияларини интегratsiялаштиришнинг долзарблигини янада оширади.

Мақолада сенсор тармоқларида назорат-ўлчов маълумотларини узатишда мобил алоқа технологияларидан фойдаланишнинг замонавий ҳолати таҳлил қилинган ва асосий муаммоларни аниқлаш ва республика шароитида қўллаш истиқболлари кўриб чиқилган.

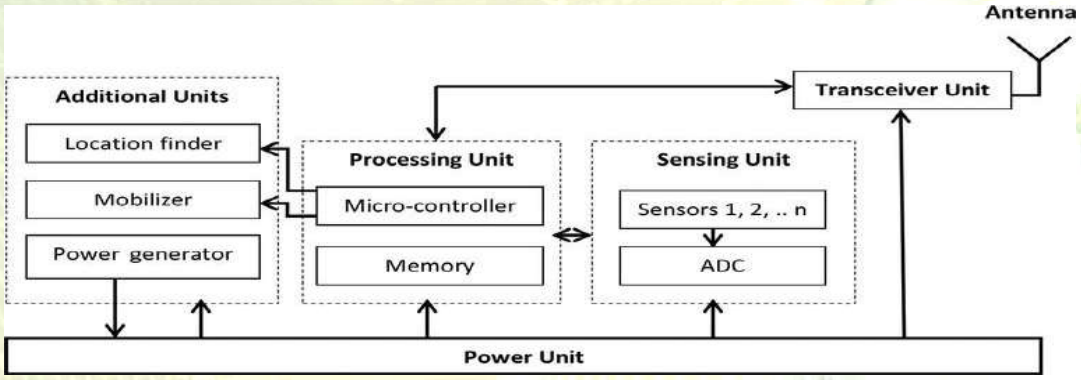
АСОСИЙ ҚИСМ.

Сенсор тармоқларининг а рхитектураси ва тузилиши. Сенсор тармоқлари фазовий тарқоқ жойлаштирилган, автоном сенсор тугунларидан ташкил топган, физик ёки атроф-муҳит параметрларини кузатиш ва маълумотларни симсиз равишда узатиш учун мўлжалланган тармоқдир [1]. Сенсор тугуни бир ёки бир нечта сенсорлар, микропроцессор, симсиз алоқа модули ва қувват манбаидан иборат микротизимдир.

Сенсор тармоқларининг архитектураси одатда уч асосий қатламдан иборат: сенсор тугунлари қатлами, тармоқ қатлами ва илова қатлами [3].

ISSN 3030-3907

Сенсор тугунлари қатлами – бу энг паст қатлам бўлиб, физик параметрларни ўлчаш ва аналог сигналларни рақамли формага ўтказиш вазифасини бажаради. Ҳар бир сенсор тугуни қуйидаги асосий блоклардан иборат (1-расм): сенсор блоки (sensing unit) – физик параметрларни электр сигналига айлантиради; Қайта ишлаш блоки (processing unit) – маълумотларни қайта ишлаш ва маршрутлаш; Алоқа блоки (transceiver unit) – симсиз алоқа орқали маълумотларни қабул қилиш ва узатиш; Энергия блоки (power unit) – барча компонентларни қувват билан таъминлаш.



1-расм. Сенсор тармоқларининг архитектураси

Тармоқ қатлами маълумотларни сенсор тугунларидан база станциясига етказиш учун маршрутлаш протоколлари ва алгоритмларини таъминлайди. Ушбу қатламда LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems), TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network) каби энергия тежамкор протоколлар қўлланилади [7, 8].

Илова қатлами фойдаланувчиларга сенсор тармоқдан олинган маълумотларни таҳлил қилиш, визуализatsiя қилиш ва қарор қабул қилиш имкониятини беради. Ушбу қатламда маълумотларни сақлаш, қайта ишлаш ва тақдим этиш учун махсус дастурий таъминот ва алгоритмлар ишлатилади.

Сенсор тармоқларининг классификatsiяси. Сенсор тармоқлари турли мезонлар асосида классификatsiя қилинади [4, 5]:

Жойлаштириш усули бўйича:

• Ер ости WSN (Underground WSN) – тупроқ остига ўрнатиладиган сенсор тармоқлари, асосан қишлоқ хўжалигида тупроқ намлиги ва ҳароратини кузатиш учун ишлатилади;

• Ер усти WCH (Terrestrial WCH) – ер юзасида жойлаштириладиган энг кенг тарқалган тури;

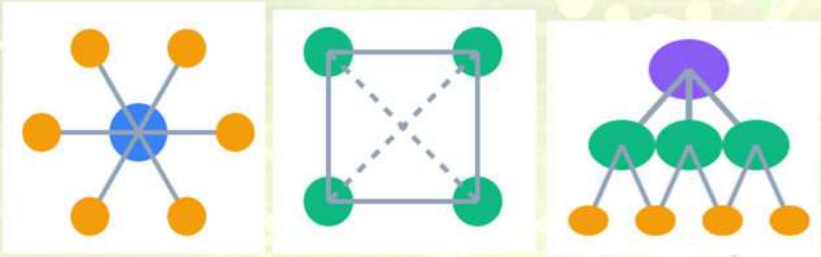
• Сув ости WCH (Underwater WSN) – океан ва денгизларни мониторинг қилиш, нефть-газ саноатида қўлланилади [7];

• Multimedia WCH – видео, аудио ва тасвир маълумотларини узатиш учун мўлжалланган юқори ўтказувчанликка эга тармоқлар;

ISSN 3030-3907

• Мобил WCH – ҳаракатланувчи сенсор тугунларидан ташкил топган тармоқлар, транспорт мониторинги ва логистикада қўлланилади.

Топология бўйича (2-расм):



a) b) c)

2-расм. Сенсор тармоқларининг топологиялари: а) юлдузсимон, б) меш, с) иэрархик•

Юлдузсимон топология (Star topology) – барча сенсор тугунлари марказий тугунга (база станциясига) тўғридан-тўғри уланади. Оддий ва энергия тежамкор, лекин марказий тугундаги носозлик бутун тармоқни ишдан чиқаради;

• Меш топология – кўп йўлли уланишлар, юқори ишончлилик ва ўз-ўзини тиклаш қобилияти бор, аммо мураккаб маршрутлаш алгоритмлари талаб қилади;

• Иэрархик (кластер) топология – тугунлар кластерларга бўлинади, ҳар бир кластерда бошчи тугун мавжуд. Энергия самарадорлиги юқори ва кенгайтирилиши осон.

Маълумот тури бўйича:

• Скаляр сенсорлар – ҳарорат, босим, намлик каби оддий параметрларни ўлчайди;

• Мультимедиа сенсорлар – видео, аудио ва тасвир маълумотларини йиғади;

• Гибрид сенсорлар – турли турдаги маълумотларни бирлаштиради.

Ҳаракатчанлик бўйича:

• Статик WCH – сенсор тугунлари қатъий жойлаштирилган;

• Мобил WCH – тугунлар ҳаракатлана олади;

• Аралаш WCH – статик ва мобил тугунлар комбинатsiяси.

Мобил алоқа технологияларининг эволюцияси. Мобил алоқа технологиялари 1G аналог тизимларидан бошлаб 5G рақамли тизимларигача катта йўл босиб ўтган. Ҳар бир янги авлод маълумот узатиш тезлиги, хавфсизлик ва қамров бўйича сезиларли яхшиланишлар киритган [3, 4, 7].

NB-IoT ва LTE-M технологияларининг хусусиятлари. NB-IoT (Narrowband Internet of Things) 3GPP Release 13 да стандартлаштирилган, IoT қурилмалари учун махсус ишлаб чиқилган паст қувватли кенг ҳудуд тармоғи

ISSN 3030-3907

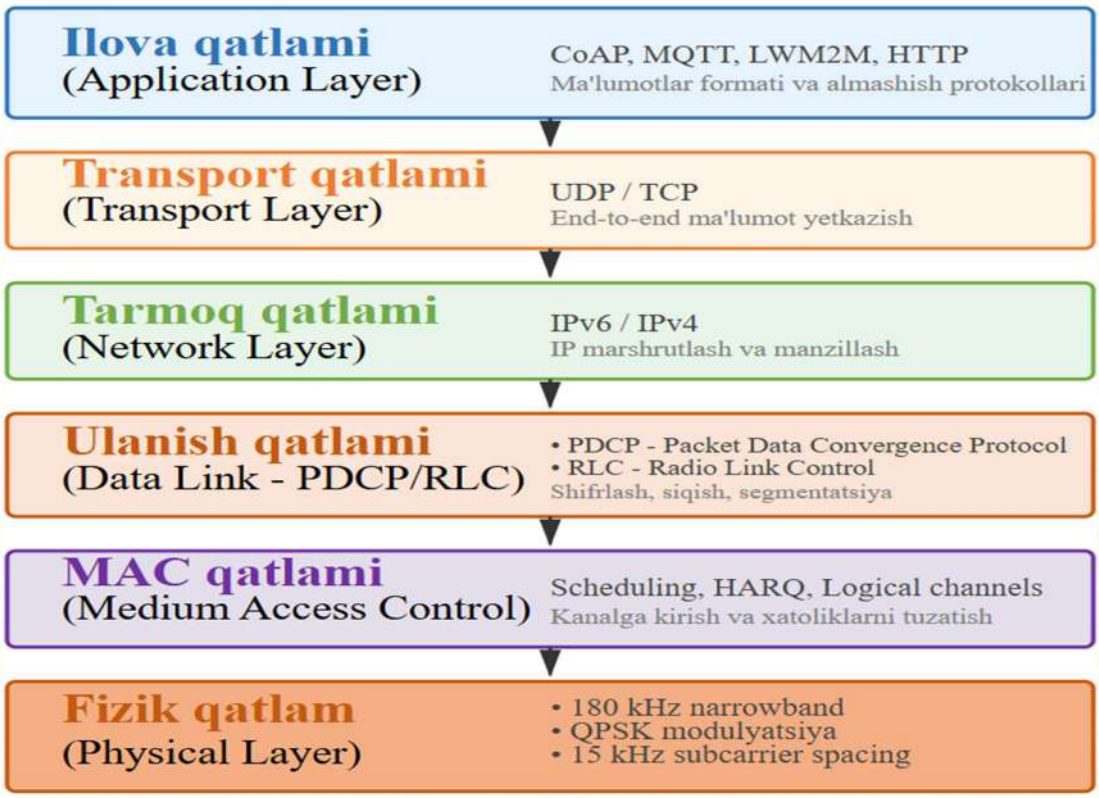
технологиясидир [9]. NB-IoT нинг асосий параметрлари: частота кенглиги 180 kHz, юқорига уланиш тезлиги 60-250 Kbps, пастга уланиш тезлиги ~200 Kbps, кечикиш 1,6-10 с, максимал уланиш зичлиги 52,000 қурилма/км², қамров 164 дБ MSL ва батарея умри 10+ йил (5 Wh батарея билан) [4, 9]. 3-расмда NB-IoT протокол стек архитектураси кўрсатилган.

LTE-M (LTE for Machines) NB-IoT га нисбатан юқори тезлик ва пастроқ кечикишни таъминлайди. Унинг параметрлари: частота кенглиги 1,4 MHz, uplink/downlink тезлиги

1-жадвал

NB-IoT ва LTE-M қиёслаш

Параметр	NB-IoT	LTE-M
Частота кенглиги	180 kHz	1,4 MHz
Тезлик	60-250 Kbps	~1 Mbps
Кечикиш	1,6-10 s	10-15 ms
Ҳаракатчанлик	Чекланган	160 км/соат
Овозли алоқа	Йўқ	Мавжуд
Батарея умри	10+ йил	10 йил
Нархи	Пастроқ	Юқорироқ



3-расм. NB-IoT протокол стек архитектураси

Сенсор тармоқларида назорат-ўлчов маълумотларини узатиш жараёнида бир қатор техник ва функционал талабларга риоя қилиш зарур.

ISSN 3030-3907

Маълумотлар турли хиллиги (скаляр, вектор, мультимедиа ва воқеа маълумотлари) ҳар хил ҳажм, узатиш частотаси ва ишончлилик талабларига эга [11].

1. Ўтказувчанлик талаблари. Скалар сенсорлар учун 1-10 Kbps, кўп параметрли мониторинг тизимлари учун 10-100 Kbps, мультимедиа сенсорлар учун эса 100 Kbps дан 10 Mbps гача ўтказувчанлик талаб қилинади. Тармоқнинг умумий ўтказувчанлиги Шаннон-Ҳартлей теоремаси асосида аниқланади:

$$C = \text{Блог}_2(1 + \text{CHP})$$

бу ерда: C – максимал канал ўтказувчанлиги (bps), B – канал кенглиги (Hz), CHP – сигнал-шовқин нисбати [11].

2. Кечикиш вақти талаблари. Турли иловалар учун кечикишга нисбатан турли талаблар мавжуд: критик реал вақт тизимлар учун 10-50 мс, real-time тизимлар учун 50-200 мс, реал вақтга яқин режимида тизимлар учун 200 мс - 2с ва реал вақтдан узоқ тизимлар учун 2-60 с [12].

Сенсор тугунлари одатда батарея билан ишлайди ва узатиш жараёни энг кўп энергия истеъмол қиладиган operatsiя ҳисобланади. PSM (Power Saving Mode) ва eDRX (extended Discontinuous Reception) механизмлари батарея умрини 10 йилгача узайтириш имконини беради [4, 10].

4-расмда турли иловалар учун кечикиш талаблари кўрсатилган:

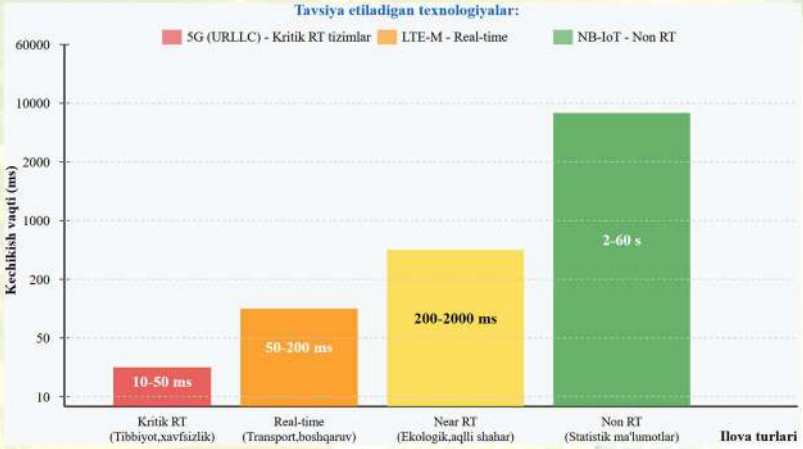
Ўзбекистон шароитидаги муаммолар ва истиқболлар. Ўзбекистонда сенсор тармоқларида мобил алоқа технологияларидан фойдаланишда ўзига хос муаммолар мавжуд. Мамлакатнинг катта ҳудуди (448978 км²) ва аҳоли зичлигининг нотекис тақсимланиши мобил қамровни таъминлашни қийинлаштиради. Қишлоқ жойларида ва чўл ҳудудларида 4G қамров 40-50% ни ташкил этади [6].

Ўзбекистоннинг континентал иқлими ва юқори ҳарорат амплитудаси (-30°C дан +50°C гача) сенсор қурилмаларининг ишлашига таъсир кўрсатади. Батарея самарадорлиги юқори ҳароратларда 20-30% га камаяди. Шунингдек, чанг бўронлари ва юқори намлик антенна ва электроника компонентларига салбий таъсир кўрсатади. 5-расмда Ўзбекистон шароитидаги муаммолар ва ечимлар кўрсатилган.

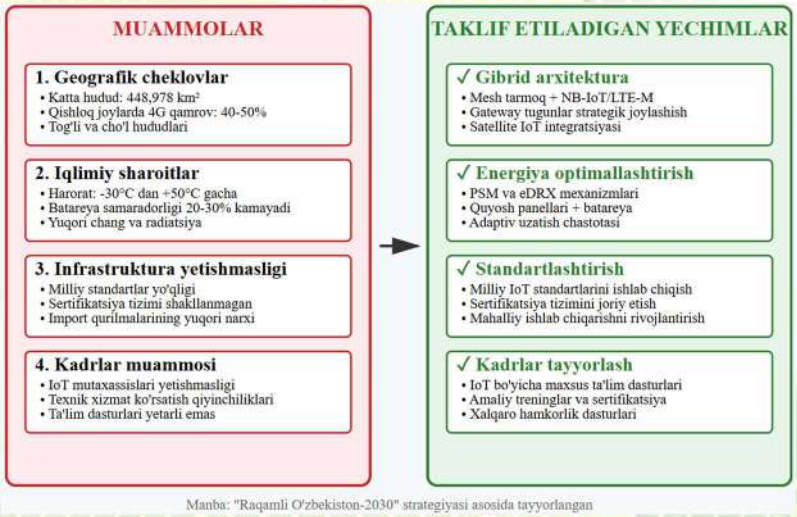
Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 5-октябрдаги ПҚ-4842-сонли "Рақамли Ўзбекистон-2030" стратегияси [6] ва 2023 йил 28 августдаги ПФ-158-сонли фармони мамлакатда рақамли иқтисодиётни ривожлантириш, ахборот-коммуникatsiя технологияларини жорий этиш ва IoT тизимларини кенг кўламда қўллаш вазифаларини белгилайди [13].

ISSN 3030-3907

Ўзбекистонда сенсор тармоқлар асосан қуйидаги соҳаларда қўлланилмоқда: қишлоқ хўжалигида (Тошкент, Самарқанд, Фарғона вилоятларида пахта ва буғдой далаларида тупроқ намлиги ва ҳарорат мониторинги), энергетикада (электр энергиясини ҳисобга олиш ва ақлли тармоқ тизимлари), коммунал хизматларда (сув таъминоти ва газ тармоқларини мониторинг қилиш) ва экологик мониторингда (Орол денгизи минтақасида экологик ҳолатни кузатиш) [6].



4-расм. Турли иловалар учун кечикиш талаблари



5-расм. Ўзбекистон шароитидаги муаммолар ва таклиф этиладиган ечимлар

Келгуси 5 йилда қуйидаги йўналишларда ривожланиш кутилмоқда: 5G тармоқларининг жорий этилиши ва кенгайтирилиши, NB-IoT ва LTE-M қамровининг барча вилоятларга кенгайиши, ақлли шаҳар ва ақлли қишлоқ хўжалиги лойиҳаларининг кенгайиши, маҳаллий IoT ва сенсор тармоқ ечимларини ишлаб чиқиш, халқаро стандартларга мувофиқ хавфсизлик тизимларини жорий этиш.

ХУЛОСА.

Олиб борилган таҳлил ва тадқиқотлар асосида қуйидаги хулосаларга келиш мумкин:

ISSN 3030-3907

Биринчидан, сенсор тармоқлари замонавий назорат-ўлчов тизимларининг асосий компоненти бўлиб, саноат, қишлоқ хўжалиги, экологик мониторинг, ақлли шаҳарлар ва тиббиёт каби кўплаб соҳаларда қўлланилмоқда. Сенсор тармоқларнинг архитектураси уч асосий қатламдан (сенсор тугунлари, тармоқ ва илова қатламлари) иборат бўлиб, ҳар бир қатлам ўзига хос вазифаларни бажаради.

Иккинчидан, мобил алоқа технологияларининг эволюцияси сенсор тармоқлар учун янги имкониятлар яратган. NB-IoT, LTE-M ва 5G mMTS технологиялари кенг қамров (10-15 км), паст энергия сарфи (10 йилгача батарея умри), юқори ишончлилик (99.9% дан ортиқ) ва стандартлаштирилганликни таъминлайди. Бу технологиялар анъанавий қисқа масофали симсиз технологияларга (WiFi, ZigBee, Bluetooth) нисбатан катта географик ҳудудларни қамраб олиш ва энергия тежамкорлиги бўйича устунликка эга.

Учинчидан, назорат-ўлчов маълумотлари турли хиллиги (скалар, вектор, мультимедиа ва воқеа маълумотлари) ҳар хил ҳажм, узатиш частотаси ва ишончлилик талабларига эга. Скаляр сенсорлар учун 1-10 Kbps, мультимедиа сенсорлар учун эса 100 Kbps дан 10 Mbps гача ўтказувчанлик талаб этилади. Маълумот узатишда асосий талаблар – ўтказувчанлик, кечикиш вақти (10 мс дан 60 с гача), пакет йўқотиш (0.1-5%), энергия самарадорлиги ва хавфсизлик ўртасида мувозанатни таъминлаш муҳим илмий-техник муаммо ҳисобланади.

Тўртинчидан, Ўзбекистон шароитида сенсор тармоқларни жорий этиш катта ҳудуд, континентал иқлим, қишлоқ жойларида мобил қамровнинг чекланганлиги, юқори чанг ва радиатsiя интенсивлиги каби хусусиятлар туфайли ўзига хос муаммоларни келтириб чиқаради. Гибрид архитектура (меш тармоқ + NB-IoT/LTE-M), энергия оптималлаштириш (PSM, eDRX, қуёш панеллари), миллий стандартларни ишлаб чиқиш ва кадрлар тайёрлаш ушбу муаммоларни ҳал этишнинг асосий йўналишлари ҳисобланади.

Бешинчидан, тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, сенсор тармоқларида назорат-ўлчов маълумотларини самарали узатиш учун мобил алоқа технологиялари кенг имкониятлар яратади. Бироқ энергия сарфи, сигнал тарқалиши, спектр ресурслари чеклови ва хавфсизлик каби муаммоларни ҳал этиш, шунингдек, маҳаллий шароитларга мослаштирилган ечимлар ишлаб чиқиш зарур. Кейинги тадқиқотларда ушбу муаммоларни бартараф этиш учун математик моделлар, оптималлаш алгоритмлари ва амалий ечимлар ишлаб чиқиш мақсадга мувофиқдир.

ISSN 3030-3907

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci E. Wireless sensor networks: a survey // Computer Networks. – 2002. – Vol. 38, No. 4. – P. 393-422.
2. Бершадский А.М., Курилов Л.С., Финогеев А.Г. Обзор методов маршрутизатsiи в беспроводных сенсорных сетях // Технические науки. Информатика, вычислительная техника. – 2012. – №1(21). – С. 47-57.
3. Kandris D., Nakas C., Vomvas D., Koulouras G. Applications of Wireless Sensor Networks: An Up-to-Date Survey // Applied System Innovation. – 2020. – Vol. 3, No. 1. – P. 14.
4. Ratasuk R., Vejlgaard B., Mangalvedhe N., Ghosh A. NB-IoT system for M2M communication // 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. – 2016. – P. 1-5.
5. Shafi M., Molisch A.F., Smith P.J., et al. 5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2017. – Vol. 35, No. 6. – P. 1201-1221.
6. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 5-oktabrdagi PQ-4842-sonli "Raqamli O‘zbekiston-2030" strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida"gi qarori.
7. Лебедев И.В., Гюнзиков А.Б., Джангаев Д.Б., Тагиров Н.У., Забитов Б.М. Применение технологии M2M для автоматизатsiи и управления системами: обзор и примеры приложений // Инноватsiи и инвестиции. №6. – 2023. – С. 160-164.
8. Ghavimi F., Chen H.H. M2M Communications in 3GPP LTE/LTE-A Networks: Architectures, Service Requirements, Challenges, and Applications // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2015. – Vol. 17, No. 2. – P. 525-549.
9. Martinez B., Adelantado F., Bartoli A., Vilajosana X. Exploring the performance boundaries of NB-IoT // IEEE Internet of Things Journal. – 2019. – Vol. 6, No. 3. – P. 5702-5712.
10. Lauridsen M., Krigslund R., Rohr M., Madueno G. An Empirical NB-IoT Power Consumption Model for Battery Lifetime Estimation // 2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference. – 2018. – P. 1-5.
11. Парфенов В.И., Донг Л.В. Беспроводные сенсорные сети. Принципы комплексирования информатsiи от сенсоров при обнаружении объекта излучения. – Инфра-Инженерия, 2025. – 105 с.
12. Sundararaman B., Buy U., Kshemkalyani A.D. Clock synchronization for wireless sensor networks: a survey // Ad Hoc Networks. – 2005. – Vol. 3, No. 3. – P. 281-323.

ISSN 3030-3907

13. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 28-avgustdagi PF-158-sonli "2023-2026 yillarda sun'iy intellektni rivojlantirish strategiyasi to‘g‘risida"gi farmoni.

ISSN 3030-3907