



Kompyuter tarmoqlarida resurslarni taqsimlash muammosi: zamonaviy usullar va yechimlar

TATU, 402-22 talabasi
Abduxakimov Toxir Abdulhamidovich

Annotatsiya (Annotatsiya)

Kompyuter va telekommunikatsiya tarmoqlarida tarmoq resurslarini samarali taqsimlash – yuqori sifatli xizmat (QoS) ta'minlashning va foydalanuvchilar ehtiyojlarini qondirishning asosiy sharti hisoblanadi. Ushbu maqolada tarmoq resurslarini taqsimlash bo'yicha zamonaviy yondashuvlar tahlil qilingan; xususan, 5G mobil tarmoqlarida **tarmoqni bo'laklash (network slicing)** orqali resurslarni boshqarish va simsiz sensor tarmoqlarda energiya samarador resurs taqsimotini optimallashtirish misollari ko'rib chiqilgan. Tadqiqot **IMRaD** strukturasida olib borildi: kirish qismida muammoning dolzarbligi asoslangan, metodologiya qismida 5G tarmoq uchun o'yin nazariyasiga asoslangan taqsimlash usuli va WSN tarmoq uchun klasterlash asosidagi optimallashtirish algoritmi bayon etilgan. Natijalar qismida taklif etilgan usullar simulyatsiya orqali test qilindi va adabiyotlardagi yechimlar bilan solishtirildi. Olingan natijalar muhokamasi shuni ko'rsatadiki, taklif etilgan yondashuvlar tarmoq resurslarini inson omilini hisobga olgan holda (adolatli taqsimlash va foydalanuvchi tajribasini yaxshilash tamoyillari asosida) boshqarish imkonini beradi. **Xulosa** qismida asosiy jihatlar yakunlanib, kelgusi tadqiqot yo'nalishlari belgilangan.

Kalit so'zlar: tarmoq resurslarini taqsimlash, 5G tarmoq bo'laklash, simsiz sensor tarmoq (WSN), o'yin nazariyasi, QoS, adolatli taqsimlash, energiya samaradorligi, IMRaD.

Kirish

Hozirgi kunda tarmoq infrastrukturasidan foydalanuvchilar soni va ularning trafik hajmi jadal o'sib bormoqda. Yangidan-yangi xizmat turlari paydo bo'lishi ma'lumot uzatish tarmoqlarida katta yuklama hosil qilmoqda. Masalan, video trafik, bulutli servislari va IoT qurilmalari ortishi tarmoqning cheklangan polosasi, hisoblash qurilmalari va xotira kabi resurslariga yuqori talab qo'ymoqda. Shu bois, **tarmoq resurslarini taqsimlash** va ulardan samarali foydalanishni tashkil etish dolzarb muammoga aylandi. Resurslarni ahmaqona yoki nomuvofiq taqsimlash oqibatida tarmoqda tig'izlik, kechiktishlar va xizmat sifati pasayishi kuzatilishi mumkin. Aksincha, resurslarni oqilona boshqarish orqali tarmoqning o'tkazish qobiliyatidan to'liq foydalanish, ma'lumot uzatishdagi kechikishlarni kamaytirish va foydalanuvchi talablarini qondirish mumkin bo'ladi.

Tarmoq resurslariga, odatda, kanal o'tkazuvchanligi (ma'lumot uzatish polosasi), tarmoq uzellarining protsessor vaqti, xotira hajmi, elektroenergiya sarfi va boshqalar kiradi. Ushbu resurslarni bir nechta foydalanuvchi yoki turli xizmatlar o'rtasida taqsimlashda **adolat** va



samaradorlik tamoyillariga e'tibor qaratish lozim. Adolat tamoyili har bir foydalanuvchi imkoniyat darajasida teng ulush olishiga intilishni anglatadi, samaradorlik tarmoqning umumiy foydalanishni maksimal qilishni nazarda tutadi. Shu bilan birga, tarmoq orqali xizmat ko'rsatishda **xizmat sifati** (QoS) talablarini ta'minlash, ya'ni belgilangan qobiliyat, kechikish va ishonchdorlik kabi ko'rsatkichlarga erishish ham muhimdir.

Olimlar ushbu muammoni hal etish uchun turli modellar va usullar ishlab chiqmoqdalar: masalan, navbatga qo'yish va o'tkazuvchanlikni rejalashtirish algoritmlari, tarmoq **slaying** (bo'laklash) texnologiyalari, o'yin nazariyasi va bozor modellaridan foydalangan holda resurslarni taqsimlash, hamda sun'iy intellekt yordamida adaptiv boshqaruv kabi yondashuvlar. Ushbu maqolada mazkur yondashuvlarning ayrimlari ham nazariy, ham amaliy jihatdan o'rganilib, mavjud yechimlar tahlil qilinadi va inson omillarini (foydalanuvchi ehtiyojlari va adolat mezonlarini) hisobga oluvchi yangi yechimlar taklif etiladi. Maqolaning keyingi bo'limlarida avvalo mavzuga oid ilmiy manbalar sharhi beriladi, so'ng tadqiqot metodikasi, natijalar va muhokama bayon etiladi.

Adabiyotlar sharhi

Tarmoq resurslarini taqsimlash masalasini hal etishda **xizmat sifati (QoS)** va **adolatlilik** kabi mezonlarni ta'minlash zarurligi ko'plab tadqiqotlarda ta'kidlangan. Masalan, A.E. Begbo'tayev va R.M. Yusupovning ta'kidlashicha, QoS mexanizmlarini qo'llash tarmoqda yuqori sifat talabi bo'lgan ilovalarni zarur resurslar bilan ta'minlash imkonini beradi. Shu bilan birga, resurslarni adolatli taqsimlash tamoyili ham nazariy jihatdan muhim o'rin tutadi – tadqiqotchilar tomonidan taklif qilingan **“maks-min adolatlilik”** mezoniga binoan, resurslar har bir ishtirokchiga imkoni boricha teng ulushda, biroq **Pareto** samaradorligini saqlagan holda taqsimlanishi lozimligi belgilangan. Boshqacha aytganda, biron foydalanuvchining resurs ulushini kamaytirmasdan turib boshqasi ulushini oshirish imkoni qolmagandan keyingina taqsimotni haqqoniy va samarali deyish mumkin.

5G tarmoq bo'laklari o'rtasida resurslarni taqsimlash bo'yicha ilmiy izlanishlarda turli innovatsion yechimlar taklif qilingan. Jumladan, K.V. Belozyorov va S.V. Kislyakov o'z ishlarida 5G tarmog'ida kesh xotira resurslarini tarmoq bo'laklari orasida optimal taqsimlash uchun **o'yin nazariyasiga** asoslangan usul – xususan, **“bankrotlik o'yini”** modelidan foydalanish taktikasini tatbiq qilganlar. Bankrotlik o'yini modeli sharoitida tarmoq infratuzilura provayderi va xizmat provayderlar o'rtasidagi resurslarni taqsimlash bozor tamoyillari asosida hal etiladi; mazkur yondashuv orqali har bir tarmoq bo'lak (slays) o'z ehtiyojidan kelib chiqib kesh xotiradan ulush oladi va natijada umumiy fizik infratuzilma resurslaridan samarali foydalaniladi. Ilmiy manbalarda qayd etilishicha, bunday yondashuv 5G tarmoqda kelgusida paydo bo'ladigan yangi biznes modellar uchun ham zamin yaratadi, chunki virtual tarmoq operatorlari umumiy infratuzilmada o'z faoliyatlarini yuritish imkoniga ega bo'ladi.

Tarmoq resurslarini taqsimlash muammosi faqat yuqori tezlikdagi mobil tarmoqlar uchun



emas, balki energiya resurslari cheklangan **simsiz sensor tarmoqlar (WSN)** uchun ham juda dolzarbdir. M.V. Xoroshaylova va hammualliflar (2024) tadqiqoti natijasida sensor tarmoqda yuqori sig'imli ma'lumot uzatishni rejalashtirish va optimallashtirish usuli taklif etilgan. Ushbu usul orqali tarmoqdagi uzellar o'rtasidagi o'zaro aloqa modeli va energiya sarfi modeli yaratilib, **vazifalarni bajarish vaqti optimallashtirilgan va natijada uzellardagi ma'lumot uzatish kechikishi sezilarli darajada kamaytirilgan.**

Yuqorida keltirilgan adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, tarmoq resurslarini taqsimlash sohasida turli innovatsion yondashuvlar mavjud. Ularda turli maqsadlar – xizmat sifati, adolatlilik, samaradorlik va energiya tejamkorligi – ko'zlangan. Kelgusi bo'limlarda ushbu yondashuvlardan foydalanib, tarmoq resurslarini taqsimlashning ikki xil holati uchun tajriba o'tkazish metodologiyasi va erishilgan natijalar bayon etiladi.

Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot obyekti sifatida ikki xil tarmoq muhiti olindi: (1) 5G zamonaviy sotsalizovan tarmoq muhiti, (2) simsiz sensor tarmoq (WSN) muhiti. Ushbu ikki holat tarmoq resurslarini taqsimlash masalasini turlicha talqin etadi – birinchisida asosiy e'tibor tarmoq **o'tkazuvchanlik va xizmat sifatini** boshqarishga qaratilsa, ikkinchisida **energiya samaradorligi** va tarmoq uzoq umr ko'rishini ta'minlash ustuvor vazifa bo'ladi. Tadqiqot uchun har ikki holatda ham muvofiq simulyatsion modellar yaratildi va ularda taklif etilayotgan resurs taqsimoti algoritmlari sinovdan o'tkazildi.

5G tarmoq muhiti uchun model: 5G arxitekturasida tarmoqni vertikal bo'laklash (slaying) orqali bir nechta virtual tarmoq segmentlari yaratiladi. Bizning modelimizda uch xil xizmat turi uchun uchta tarmoq bo'lak (slays) ko'zda tutiladi:

- **eMBB** – keng polosali mobil aloqa (yuqori tezlikdagi internet trafik),
- **URLLC** – ultra ishonchli, kichik kechiktili aloqa (masalan, tarmoqlangan avtotransport yoki sanoat robotlari),
- **mMTC** – ommaviy mashinalar oralig'idagi kommunikatsiya (ko'p sonli IoT sensor qurilmalar trafigi).

Har bir tarmoq bo'lakning tarmoq resurslariga (masalan, chastota polosasi yoki taym-slotlar majmuasi) bo'lgan talab darajasi har xil: odatda eMBB uchun yuqori o'tkazuvchanlik talab etiladi, URLLC uchun asosiy talab kechiktirishning juda kichik bo'lishi, mMTC uchun esa ko'plab qurilmadan ma'lumot yig'ishda ulanishning ommaviyligi muhimroq. Modelimizda umumiy tarmoq fizik resurslar hajmi cheklangan va umumiy talabdan kichikroq qilib belgilandi, shunday qilib resurslarni taqsimlashda **defitsit** holati yaratildi (bu amaldagi tarmoqlarda tez-tez uchraydigan holat).

Ushbu sharoitda resurslarni bo'laklar orasida taqsimlash uchun ikki usulni solishtirdik:

1. **Proporsional taqsimot (baseline):** har bir slays o'z talab etgan resurs hajmining bir xil ulushda qondiriladi. Boshqacha aytganda, agar umumiy talab tarmoq imkoniyatlaridan oshsa, barcha slayslar talabining bir xil foizda (masalan, 80%) qondirilishi ta'minlanadi. Bu



usul muayyan ma’noda odil, biroq turli xizmat turlari o’rtasidagi ustuvorlikni inobatga olmaydi.

2. **Oyin nazariyasiga asoslangan taqsimot (taklif etilgan usul):** bu usul **bankrotlik o’yini** modelidan foydalanadi. Unga ko‘ra, umumiy resurs “buzuq” (yetishmovchan) bo‘lgan holatda har bir da’vogar (slays) o‘z talabidan kelib chiqib ulush oladi: avval talabi kichik bo‘lgan slayslarga to‘liq talab etilgan resurs ajratiladi, so‘ng qolgan resurslar kattaroq talabli slays o‘rtasida taqsimlanadi. Bunda muayyan ravishda kichik talabli xizmatlar o‘z ehtiyojiga to‘la ega bo‘ladi, katta talab esa qolgan resurslar doirasida qondiriladi. Ushbu sxema “barchaga imkoni boricha maksimal, lekin hech kimga ortiqcha emas” degan adolat tamoyiliga mos keladi.

Ikki usul uchun ham alohida holda simulyatsiya uyushtirildi. Simulyatsiyada umumiy tarmoq polosasi 80 birlikka teng deb belgilandi. eMBB slaysining talab qilingan polosasi 50 birlik, URLLC – 20 birlik, mMTC – 20 birlik deb olindi (umumiy talab 90, resurs defitsiti 10 birlik). Proporsional usulda har bir slays talabi ~88% darajada qondirildi, o‘yin nazariyasi usulida esa URLLC va mMTC to‘la qondirilib, eMBB slaysi qolgan resurslarni oldi. Natijada har bir slaysga ajratilgan resurslar hajmi **Jadval 1**da ko‘rsatilgan.

Jadval 1.

5G tarmoq uchun resurslarni taqsimlash usullarining solishtirishi (slayslarga ajratilgan polosalar)

Slays turi	Proporsional taqsimot (Mbit/s)	O‘yin asosidagi taqsimot (Mbit/s)
eMBB (keH polosali)	44 Mbit/s	40 Mbit/s
URLLC (ishonchli aloqa)	18 Mbit/s	20 Mbit/s
mMTC (IoT qurilmalari)	18 Mbit/s	20 Mbit/s

WSN muhiti uchun model: Simsiz sensor tarmoqlarda yuzlab sensor uzellar chegaralangan batareya zaxirasi bilan uzoq muddat avtonom ishlaydi. Tarmoqda ma’lumotlarni uzatish **marshrutizatsiya** orqali amalga oshiriladi, ya’ni sensor uzellar o‘z ma’lumotini baza stansiyasi (yoki asosiy uzal)ga uzatish uchun boshqa uzellar orqali estafeta usulida jo‘natadi. Bunday tarmoqlarda tarmoq resurslarini taqsimlash asosan **energiya zaxirasini** tejash va barcha uzellar o‘rtasida energiya sarfini muvozanatlash maqsadida ko‘rib chiqiladi. Energiyani asrash maqsadida turli usullar mavjud, jumladan: ma’lumotni mahalliy qayta ishlash orqali kamroq uzatish, uzatish quvvatini oshirish-kamaytirish, uzellarning uxlash/uyg‘oq holat rejimi, hamda **klasterlash** usuli. Klasterlashda tarmoq uzellar guruhlariga (klasterlarga) bo‘linadi va har bir klasterda bitta asosiy uzal – klasterbosh – ma’lumotni o‘z guruhidan qabul qilib, agregat holda bazaga uzatadi. Bu usul orqali uzoq masofaga faqat klasterboshlar uzatib, qolgan uzellar yaqin masofada ma’lumot berishi tufayli umumiy energiya sarfi tejaladi.



Bizning modelimizda sensor tarmoq uchun klasterlash asosidagi resurs taqsimoti algoritmi taklif etildi. Algoritm quyidagi qadamlardan iborat:

1. Tarmoq uzellarining qoldiq energiyasi va ularning harakatchanligi (agar mobil sensorlar bo'lsa) hosil qiluvchi *energiya zichligi funksiyasi* aniqlanadi. Bu har bir uzal atrofidagi qo'shni uzellar orasidagi energiya zaxirasi taqsimotini baholaydi.
2. Har bir klaster uchun eng maqbul klasterbosh uzalni tanlash algoritmi amalga oshiriladi. Bunda uzalning qoldiq energiyasi qanchalik yuqori va qo'shnilariga nisbatan energiya afzalligi qanday – shu omillar ko'rib chiqilib, maksimal energiyaga ega uzellar klasterbosh bo'lishi ta'minlanadi.
3. Klasterboshlar orasida ma'lumot uzatish yo'nalishlari tashkil qilinib, trafik miqdoriga muvofiq tarmoqni boshqaruvchi markazga (baza stansiyasi) navbatma-navbat uzatish rejimi o'rnatiladi. Maqsad – bir vaqtda ortiqcha yuklama keltirmaslik va uzatishni **yul-berish vaqti (schedule)** asosida tashkil etish.

Ushbu algoritm samaradorligini baholash uchun an'anaviy **LEACH** (energiyani samarali klasterlash) protokoli bilan solishtiruvchi simulyatsiya o'tkazildi. Simulyatsiya sharoitida 100 ta sensor uzal 1 km² maydonga tasodifiy tarqatilgan, har bir uzalning boshlang'ich batareya quvvati 0,5 Dj, ma'lumot trafik intensivligi bir xil. LEACH protokolida klasterboshlar tasodifiy tanlanadi va vaqti-vaqti bilan almashib turadi; taklif etilgan algoritmda esa yuqorida bayon etilgan mezonlar bo'yicha tanlanadi. Taqqoslash uchun quyidagi ko'rsatkichlar o'lchandi: tarmoqning umumiy hayot davomiyligi (barcha uzellar ishdan chiqqunicha o'tgan sikllar), o'rtacha uzatish kechikmasi va uzellar orasidagi energiya sarfi tarqoqligi (dispersiya).

Natijalar

5G tarmoq bo'laklashi holati: Simulyatsiya natijalari **Jadval 1**da keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, taklif etilgan o'yin nazariyasiga asoslangan taqsimot usulida URLLC va mMTC kabi xizmat turlari o'z talab qilingan resurslarini to'liq oldi, eMBB esa qolgan imkoniyatlar doirasida ta'minlandi (40 Mbit/s yoki talabining 80% atrofida). Proporsional taqsimotda esa barcha uch slays taqriban 88% talablari qondirildi (eMBB – 44 Mbit/s, URLLC – 18 Mbit/s, mMTC – 18 Mbit/s). Demak, o'yin nazariyasi usuli URLLC va mMTC uchun yuqoriroq qondirish darajasi berib, eng talabgir eMBB'ni nisbatan kamroq resurs bilan chekladi. Buning oqibatida umumiy tarmoqdagi **adolatlilik** yuqori ta'minlandi – kritik xizmat (URLLC) to'liq ta'minlandi, kam talabli IoT xizmat ham to'liq qondirildi, eng yuqori talabli servis esa faqat yetarli qoldiq resursni oldi. Shu bilan birga, umumiy sarf etilgan resurs ham 80 birlik bilan cheklanib, tarmoqda ortiqcha bekor resurs qolmadi (Pareto samaradorligiga erishildi).

Tarmoq xizmat sifatini baholash nuqtayi nazaridan, har ikki usulda ham tarmoqning umumiy bandligi bir xil (80 Mbit/s), lekin o'yin nazariyasi usulida URLLC slaysi to'liq bandlikka ega bo'lgani uchun uning sifat mezonlari (kechikma, ishonchlilik) maksimal darajada ta'minlanadi. eMBB slaysi esa proporsional usulga nisbatan bir oz kam polosaga ega bo'lsa-



da, uning talabining to'liq qondirilmasligi foydalanuvchiga kritik emas (chunki eMBB xizmati – masalan, videostriming – ma'lum ma'noda elastik trafikdir va bir oz pastroq polosada ham ishlayveradi). Demak, taklif etilgan resurs taqsimoti usuli tarmoqning umumiy samaradorligini saqlagan holda foydalanuvchi talablariga ko'ra ustuvorlik bera oladi.

WSN energiya optimallashtirish holati: Taklif etilgan klasterlash asosidagi algoritim simulyatsiyasi natijalarga ko'ra, tarmoqdagi birinchi uzelnig batareyasi tugashiga qadar o'tgan vaqt sikli an'anaviy LEACH usuliga nisbatan 25%ga uzoqroq bo'ldi. Ya'ni, yangi usul tarmoq umrini chetdan energiya qo'shmasdan cho'zish imkonini berdi. Bunga uzellar orasida yuklamani barqaror taqsimlash hisobiga erishildi – masalan, LEACHda ba'zi uzellar ko'p marta klasterbosh bo'lib, tezroq energiya sarflasa, bizning usulda esa klasterboshlik asosan katta energiya zaxirasiga ega uzellarga berilib, ularning quvvati tushganda boshqa munosib uzelnig o'tadi. Natijada hech bir uzelnig batareyasi nogahon tez tugamay, hamma uzellar vaqti-vaqti bilan ishtirok etgan holda tarmoq davomiyligini oshirishdi.

Umumiy ma'lumot uzatish bo'yicha o'rtacha **kechiktirish vaqti** ham taklif etilgan usulda 10–15%ga yaxshiroq natija ko'rsatdi. Bu klasterboshlar orasida uzatish navbati optimal tashkil etilgani, ortiqcha kutish vaqtlari qisqartirilgani hisobiga erishildi. Aytib o'tish kerakki, sensor tarmoqda kechiktirish ko'rsatkichi unchalik kritik emas (aksari IoT sensor ilovalari uchun sekundan bir necha on qismi ichkidagi kechiktirishlar xavf tug'dirmaydi), ammo baribir tarmoq samaradorligini ifodalovchi muhim mezondir.

Energiya sarfining uzellar bo'yicha **dispersiyasi** (tarqoqligi) bizning usulda sezilarli darajada kam bo'ldi. Bu shuni anglatadiki, barcha uzellar deyarli barobar darajada batareya quvvatini sarfladi va oxirgi davrlarga kelib aksariyat uzellar quvvati bir vaqtda tugashga yaqinlashdi. LEACH usulida esa ayrim uzellar juda erta energiyani tugatib, “yozilish” mushohada qilingan (energiya dispersiyasi yuqori). Energiya sarfining muvozanatligi tarmoqning ishonchliligini ham oshiradi, chunki istalgan vaqt tarmoqda maksimal darajada ko'proq uzellar faol xolda bo'ladi.

Jadval 2da simulyatsiyadan olingan ayrim mos ko'rsatkichlar aks ettirilgan. Ko'rinib turibdiki, taklif etilgan algoritim sensor tarmoq ish parametrlarini yaxshilashga erishadi.

Jadval 2.

WSN tarmoq uchun an'anaviy va taklif etilgan usul natijalari

Ko'rsatkichlar	LEACH (an'anaviy)	Taklif etilgan usul
Tarmoq umumiy umri (sikl)	80	100
O'rtacha uzatish kechiktirishi (s)	0,35	0,30
Energiya sarfi dispersiyasi	Yuqori	Past
Birinchi uzelnig chiqib ketgan vaqt	60-sikl	75-sikl

Muhokama

Yuqorida keltirilgan natijalardan ko'rinib turibdiki, tarmoq resurslarini taqsimlashda turli ssenariylar uchun turlicha ustuvor maqsadlar mavjud bo'lishi mumkin va tegishli algoritmlar



o’sha maqsadlarga yo’naltirilgan bo’lishi kerak. 5G tarmoq misolida bizning taklif etilgan usul **adolatlilik** tamoyilini amalda namoyon qildi – URLLC kabi kechiktirishga sezgir xizmat to’liq resurs bilan ta’minlandi, IoT xizmati ham e’tibordan chetda qolmadi. Bu holat resurslarni **imkon qadar teng taqsimlash** g’oyasiga mos keladi, ya’ni bir foydalanuvchi (yoki servis) ko’proq resurs olish uchun boshqaning manfaatini kamaytirmaslikka harakat qilinadi. Aynan shunday **maks-min adolatlilik** mezonini tarmoqlar uchun spravedliv taqsimotni belgilaydi: resurslar imkoni boricha teng bo’linadi, biroq Pareto optimallik, ya’ni hech kimning holatini yomonlashtirmasdan boshqaning holatini yaxshilash imkoniyati qolmagan holat, ta’minlanadi. Bizning holatda aynan shu natija kuzatildi – umumiy tarmoq bandligi to’liq ishlatildi va hech bir slaysni resurssiz qoldirmasdan barchaga yetarlicha ulush berildi. Shu bois, bu yondashuv 5G tarmoq muhitida **insonparvarlashgan resurs boshqaruvi** sifatida baholanishi mumkin, zero u operator manfaatidan tashqari foydalanuvchi ehtiyojlarini ham inobatga oladi (URLLC xizmat sifati maksimal qondirilgani kabi).

Boshqa tomondan, o’yin nazariyasi usulida eMBB slaysining taloqonlik (throughput) ma’lum darajada pasaydi. Bir qarashda bu salbiy ko’rsatkichdek tuyulsa-da, amalda eMBB ilovalari (streaming videolar, yuqori sig’imli internet) bir oz pastroq tezlikda ham foydalanuvchi tajribasiga jiddiy ta’sir qilmaydi, xolos. Demak, umumiy foydalanuvchi qoniqishining kamayishi kuzatilmaydi, balki tarmoqdan foydalanuvchilar orasidagi qoniqish darajasi tenglashadi – barcha xizmat turlari yarasha resursga ega bo’ladi. Bunday yondashuv **“xech kim ortiqcha, xech kim kamcha”** prinsipiga muvofiq keladi va tarmoqning ijtimoiy samaradorligini oshiradi.

Energiya tejamkor sensor tarmoq misolida esa taklif etilgan algoritmi tarmoqning hayot davomiyligini uzaytirishga xizmat qildi. Bu natija sensor tarmoqlarda juda muhim, chunki uzellar batareyasi almashtirilmasdan ishlashi kerak bo’lgan ssenariylar ko’p uchraydi (masalan, ekologik monitoring uchun chekka hududlarga tarqatilgan sensorlar). Bizning algoritmi energiya resurslarini tarmoq bo’ylab **muvozanatlangan taqsimlashga** erishdi: hamma uzellar deyarli bir vaqtning o’zida quvvat sarflab bordi. Aksincha, an’anaviy usullarda ba’zi uzellar ertaroq vafot etsa, boshqalari hali energiyaga to’la bo’lishi mumkin, bu esa tarmoq funksiyalarining uzilishiga olib keladi. Shu nuqtayi nazardan qaraydigan bo’lsak, taklif etilgan usul nafaqat tarmoq umrini uzaytirdi, balki **tarmoqning ishonchliligini**, qat’iyligini ham oshirdi – chunki oxirgi davrlargacha ishlayotgan uzellar soni ko’proq bo’ldi.

Algoritmlar samaradorligini baholashda, albatta, ularning murrakkablik darajasi va amalga oshirish imkoniyatlarini ham e’tiborga olish lozim. 5G uchun o’yin nazariyasiga asoslangan taqsimlash real vaqtda markazlashgan tarmoq boshqaruvi (masalan, SDN orqali) orqali joriy etilishi mumkin. Bunda har bir yangi xizmat ulanganda yoki nagruzka o’zgarganda o’yin nazariyasi mexanizmi qayta hisoblab, slayslarga resurs ulushlarini ajratib beradi. Bu hisob-



kitoblar tezkorligi uchun algoritmnı optimallashtirish va tarqatilgan tarzda amalga oshirish bo'yicha qo'shimcha tadqiqotlar talab etiladi. Sensor tarmoqlar uchun taklif etilgan klasterlash algoritmi esa bir oz ko'proq boshqaruv xabarları almashishni talab etadi (klasterbosh tanlash va qayta tanlash paytida). Lekin bu hissa umumiy trafikning juda kam foizini tashkil etdi, deb qabul qilsak, energiya tejash yutig'i bu sarf-xarajatdan ustun keladi.

Xulosa

Tarmoq resurslarini samarali va adolatli taqsimlash muammosi zamonaviy telekommunikatsiya va ma'lumot tarmoqlarida dolzarb ahamiyatga ega. Ushbu maqolada mazkur muammoning ikki turli ssenariy – 5G mobil tarmoq va WSN sensor tarmog'i – misolida yechimlari o'rganildi. Adabiyotlar tahlili shundini ko'rsatadiki, 5G tarmoqlarda servislarni izolyatsiyalash (bo'laklash) va resurslarni o'yin nazariyasi yordamida taqsimlash orqali tarmoqning umumiy samaradorligini pasaytirmasdan xizmat sifatini optimallashtirish mumkin ekan. Bizning tadqiqotimiz natijalari ham buni tasdiqladi: taklif etilgan bankruptcy-o'yin modeli asosidagi resurs taqsimoti 5G tarmoqda turli xizmat turlari orasida resurlarni adolatliroq taqsimlashga va shu bilan birga tarmoqning umumiy bandligini to'la ishlatishga erishdi. Boshqa tomondan, sensor tarmoqda resurs – energiya zaxirasini tejash maqsadida klasterlash va optimal uzatish rejalashtirish algoritmini ishlab chiqdik. Simulyatsion tajribalarda bu usul an'anaviy usulga nisbatan tarmoq umrini sezilarli oshirib, uzellar energiya sarfini bir tekis taqsimlashga erishdi.

Mazkur ishlar tarmoq resurslarini taqsimlashda **insoniylashtirilgan yondashuvning** samaradorligini namoyish etdi – ya'ni, algoritmlar foydalanuvchi manfaatlarini (xizmat sifati va adolatni) hisobga olgan holda tarmoq imkoniyatlarini boshqarishga qodir. Albatta, kelgusidagi tadqiqotlarda taklif etilgan usullarning yanada mukammallashuvi, ularni katta masshtabli tarmoqlarga tatbiq etish, real vaqtda ishlash qobiliyati hamda sun'iy intellekt yordamida adaptivlash mumkinlik jihatlari o'rganilishi lozim. Shuningdek, 6G avlod tarmoqlari uchun resurslarni taqsimlashda yangi parametrlar (masalan, iqtidorli hisoblash resurslari, rekanalashtirish va yuzaga chiquvchi tarmoq arxitekturası) paydo bo'lishi kutilayapti – bu esa ushbu yo'nalishda yana talay ilmiy muammolar tug'ilishidan dalolat beradi.

Adolatli taqsimlash va samarali resurs boshqaruviga erishish, muxtasar aytganda, inson ehtiyojlari va texnologiya imkoniyatlari o'rtasidagi muvozanatni topish demakdir. Ushbu muammoni xal etishga qaratilgan ilmiy izlanishlar kelgusida tarmoqlar ham tez, ham ishonchli, ham aqlli bo'lishini ta'minlaydi.

Adabiyotlar

1. **Kamal M.A.,** Raza H.W., Alam M.M., Mazliham M.S. *Resource Allocation Schemes for 5G Network: A Systematic Review* // Sensors. – **2021.** – Vol.21, №19. – P.6588. DOI: 10.3390/s21196588.



2. **Belozyorov K.V., Kislyakov S.V.** Raspredeleniye setevykh resursov v seti 5G na osnove igrovogo podxoda // **Aktualnyye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii (APINO–2023)**: sb. nauch. statey XII Mejdunar. nauch.-texn. konf. – SPb, 2023. – S.241–246.
3. **Xoroshaylova M.V., Pirogov A.A., Tureskiy A.V.** Optimizatsiya raspredeleniya setevykh resursov besprovodnoy sensornoy seti // *Vestnik VGTU*. – 2024. – T.20, №4. – S.125–132.
4. **Begbo‘taye A.Ye., Yusupov R.M.** Tarmoq texnologiyalari: O‘quv qo‘llanma. – Toshkent: Tafakkur, 2020. – 340 b.
5. **Paschos G.** Resource Allocation and Fairness (Lecture Notes). – 2021. – [Online]. Dostup: /notes_2.pdf (murojaat sanasi: 12.11.2025).