

DATA SCIENCE TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA TELEKOMMUNIKATSIYA TARMOQLARINING SAMARADORLIGINI BAHOLASH

Abduxalilov Otabek Ulugbek o'g'li

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi

Toshkent axborot texnologiyalari universiteti talabasi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21253990>

Annotatsiya. Mazkur maqolada telekommunikatsiya tarmoqlarining samaradorligini baholashda Data Science texnologiyalaridan foydalanishning nazariy va amaliy jihatlarini tadqiq etilgan. Tadqiqotda katta hajmdagi tarmoq ma'lumotlarini yig'ish, qayta ishlash, tahlil qilish va bashoratlash jarayonlarida zamonaviy Data Science usullarining afzalliklari yoritilgan. Shuningdek, mashinali o'qitish algoritmlari, statistik modellashtirish hamda sun'iy intellekt texnologiyalarining tarmoq yuklamasi, xizmat ko'rsatish sifati (QoS), tarmoq ishonchliligi va resurslardan foydalanish samaradorligini baholashdagi o'rni ilmiy jihatdan asoslab berilgan. Tadqiqot natijalari telekommunikatsiya operatorlari faoliyatida ma'lumotlarga asoslangan boshqaruv qarorlarini qabul qilish, tarmoq nosozliklarini oldindan prognozlash hamda infratuzilma resurslarini optimallashtirish imkoniyatlarini kengaytirishi ko'rsatib berilgan.

Kalit so'zlar: Data Science, telekommunikatsiya tarmoqlari, Big Data, sun'iy intellekt, mashinali o'qitish, tarmoq samaradorligi, QoS, KPI, bashoratli tahlil, optimallashtirish.

Kirish

Raqamli iqtisodiyotning jadal rivojlanishi, mobil aloqa texnologiyalarining yangi avlodlari (4G, 5G va istiqbolda 6G), Internet of Things (IoT), bulutli hisoblash (Cloud Computing), sun'iy intellekt va katta hajmdagi ma'lumotlar (Big Data) texnologiyalarining keng qo'llanilishi telekommunikatsiya tarmoqlariga bo'lgan talabni tubdan o'zgartirmoqda. Zamonaviy telekommunikatsiya operatorlari har kuni milliardlab paketlar, millionlab abonentlar faoliyati va minglab tarmoq elementlari haqidagi ma'lumotlarni qayta ishlaydi. Natijada an'anaviy statistik tahlil usullari ushbu ma'lumotlarning murakkabligi va hajmini to'liq qamrab olish imkonini bermay qolmoqda. Shu sababli tarmoqlar samaradorligini baholashda Data Science texnologiyalaridan foydalanish ilmiy-amaliy jihatdan dolzarb masalaga aylangan [1].

Bugungi kunda telekommunikatsiya tarmoqlarida hosil bo'ladigan ma'lumotlar nafaqat katta hajm, balki yuqori tezlik va turli formatlarda shakllanishi bilan ham tavsiflanadi. Tarmoq trafigi, bazaviy stansiyalar yuklamasi, signal sifati, paketlarning yo'qolishi, kechikish darajasi, abonentlar xatti-harakati va xizmatlardan foydalanish ko'rsatkichlari real vaqt rejimida yig'ilib boriladi. Mazkur ma'lumotlarni Data Science usullari orqali tahlil qilish tarmoqdagi yashirin qonuniyatlarni aniqlash, nosozliklarni oldindan prognozlash hamda resurslardan foydalanish samaradorligini oshirish imkonini beradi [2].

Data Science telekommunikatsiya sohasida statistik tahlil, mashinali o'qitish (Machine Learning), chuqur o'qitish (Deep Learning), ma'lumotlarni vizuallashtirish va bashoratli analitika usullarini o'zida mujassamlashtirgan kompleks yondashuv hisoblanadi. Ushbu texnologiyalar yordamida tarmoq ishlash ko'rsatkichlarini (Key Performance Indicators – KPI) avtomatik monitoring qilish, tarmoq yuklamasini prognozlash, trafikni optimallashtirish hamda xizmat ko'rsatish sifatini (Quality of Service – QoS) oshirish mumkin. Ayniqsa, 5G tarmoqlarida ma'lumotlar oqimining keskin ortishi Data Science texnologiyalarini telekommunikatsiya infratuzilmasining ajralmas qismiga aylantirmoqda [3].

So'nggi yillarda xalqaro telekommunikatsiya operatorlari va ilmiy markazlar Data Science asosidagi analitik platformalarni amaliyotga keng joriy etmoqda. Bunday platformalar tarmoq elementlarining holatini real vaqt rejimida monitoring qilish, trafikning kelajakdagi o'zgarishlarini prognozlash, avariylarni oldindan aniqlash va xizmat sifati pasayishining oldini olish imkoniyatini yaratmoqda. Natijada ekspluatatsiya xarajatlari kamayishi, tarmoqning uzluksiz ishlashi ta'minlanishi hamda abonentlar qoniqish darajasi ortishi kuzatilmoqda [4].

Telekommunikatsiya tarmoqlarining samaradorligini baholashda asosiy mezonlar sifatida tarmoq o'tkazuvchanligi (Throughput), kechikish (Latency), paketlarning yo'qolish darajasi (Packet Loss), ishonchlilik (Reliability), foydalanish koeffitsienti (Utilization), energiya samaradorligi hamda xizmat ko'rsatish sifati ko'rsatkichlari keng qo'llaniladi. Ushbu ko'rsatkichlarni alohida baholash ko'pincha tarmoqning umumiy holatini to'liq ifodalamaydi. Data Science texnologiyalari esa turli KPI ko'rsatkichlarini kompleks tahlil qilish orqali tarmoq samaradorligini yanada aniq va ishonchli baholash imkoniyatini yaratadi [5].

Shuningdek, Data Science texnologiyalari telekommunikatsiya operatorlariga faqat mavjud holatni tahlil qilish emas, balki kelajakdagi tarmoq yuklamasi, abonentlar sonining o'sishi, yangi xizmatlarga bo'lgan talab va ehtimoliy nosozliklarni oldindan prognozlash imkonini ham beradi. Bashoratli modellar asosida qabul qilinadigan boshqaruv qarorlari investitsiya samaradorligini oshiradi, infratuzilmani rivojlantirish xarajatlarini kamaytiradi hamda xizmatlarning uzluksizligini ta'minlaydi. Shu jihatdan Data Science texnologiyalari telekommunikatsiya tarmoqlarining raqamli transformatsiyasini ta'minlovchi asosiy omillardan biri sifatida namoyon bo'lmoqda [6].

Mazkur tadqiqotning maqsadi telekommunikatsiya tarmoqlari samaradorligini baholashda Data Science texnologiyalarining imkoniyatlarini ilmiy jihatdan asoslash, zamonaviy analitik usullarning afzalliklarini tahlil qilish hamda ularni telekommunikatsiya operatorlari faoliyatiga joriy etish bo'yicha amaliy takliflar ishlab chiqishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili

Telekommunikatsiya tarmoqlarida Data Science texnologiyalaridan foydalanish masalalari so'nggi yillarda dunyo ilmiy hamjamiyatida eng istiqbolli tadqiqot yo'nalishlaridan biri sifatida e'tirof etilmoqda. Mazkur yo'nalishda olib borilgan ilmiy izlanishlar ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish, bashoratli modellashtirish, tarmoq resurslarini optimallashtirish hamda xizmat ko'rsatish sifatini oshirish masalalariga bag'ishlangan.

Foster Provost va Tom Fawcett o'zlarining Data Science for Business asarida Data Science texnologiyalarining asosiy vazifasi katta hajmdagi ma'lumotlardan boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun foydali bilimlarni ajratib olishdan iborat ekanligini ta'kidlaydilar. Mualliflarning fikricha, ma'lumotlarni oddiy statistik tahlil qilish zamonaviy biznes va texnologik tizimlar uchun yetarli emas, balki mashinali o'qitish algoritmlari yordamida yashirin bog'liqliklarni aniqlash va kelajakdagi holatlarni prognozlash samaraliroq hisoblanadi. Mazkur yondashuv telekommunikatsiya operatorlariga tarmoq yuklamasini oldindan baholash hamda resurslarni optimal taqsimlash imkonini beradi [7].

Jiawei Han, Micheline Kamber va Jian Pei Data Mining: Concepts and Techniques nomli asarlarida ma'lumotlarni qazib olish (Data Mining) usullari katta hajmdagi ma'lumotlar orasidagi qonuniyatlarni aniqlashning eng samarali vositalaridan biri ekanligini qayd etadilar. Ularning ta'kidlashicha, klassifikatsiya, klasterlash, regressiya va assotsiativ qoidalarni aniqlash algoritmlari telekommunikatsiya tarmoqlarida abonentlar xatti-harakatlarini o'rganish, trafik oqimini prognozlash hamda tarmoq nosozliklarini aniqlashda keng qo'llanilishi mumkin [8].

Ian Goodfellow, Yoshua Bengio va Aaron Courville Deep Learning asarida chuqur neyron tarmoqlari murakkab va ko'p o'lchovli ma'lumotlar bilan ishlashda an'anaviy mashinali o'qitish usullariga nisbatan yuqori aniqlikni ta'minlashini ilmiy asoslab berganlar. Mualliflarning fikricha, ayniqsa vaqt qatorlari ko'rinishidagi ma'lumotlarni tahlil qilishda Deep Learning algoritmlaridan foydalanish prognozlash sifatini sezilarli oshiradi. Ushbu yondashuv telekommunikatsiya tarmoqlarida trafik hajmi va tarmoq yuklamasini oldindan aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi [9].

Albert Bifet va Ricard Gavaldà ilmiy tadqiqotlarida Data Stream Mining texnologiyalari real vaqt rejimida uzluksiz hosil bo'ladigan ma'lumotlarni qayta ishlash uchun mo'ljallanganligini ta'kidlaydilar. Ularning fikricha, telekommunikatsiya tarmoqlarida ma'lumotlar oqimi doimiy ravishda shakllanib borishi sababli oqimli ma'lumotlarni tahlil qilish algoritmlaridan foydalanish an'anaviy ma'lumotlar omborlariga nisbatan tezkor va samarali natijalarni beradi [10].

Azzouni va Guy Pujolle o'zlarining NeuroPlan: Deep Learning for Network Traffic Prediction nomli maqolasida chuqur o'qitish algoritmlari yordamida tarmoq trafiginii prognozlashning samaradorligini ilmiy tajribalar asosida isbotlaganlar. Tadqiqot natijalariga ko'ra, Long Short-Term Memory (LSTM) neyron tarmoqlari yordamida trafik prognozi an'anaviy statistik ARIMA modellariga nisbatan ancha yuqori aniqlikni namoyish etgan. Mualliflarning xulosasiga ko'ra, bunday yondashuv telekommunikatsiya infratuzilmasining yuklanishini kamaytirish va resurslardan oqilona foydalanishni ta'minlaydi [11].

Albert-László Barabási Network Science asarida murakkab tarmoqlar nazariyasini rivojlantirib, telekommunikatsiya tarmoqlarini graf nazariyasi asosida tahlil qilishning ilmiy asoslarini ishlab chiqqan. Olimning ta'kidlashicha, tugunlar va ular o'rtasidagi bog'lanishlarning topologik xususiyatlarini o'rganish tarmoqning ishonchliligi, barqarorligi hamda samaradorligini kompleks baholash imkonini beradi [12].

Thomas N. Kipf va Max Welling Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks maqolasida Graph Neural Networks (GNN) algoritmlarining murakkab tarmoqlarni tahlil qilishdagi ustunliklarini ko'rsatib berganlar. Mualliflarning fikricha, graf asosidagi sun'iy intellekt modellari telekommunikatsiya tarmoqlarida nosozliklarni aniqlash, marshrutlashni optimallashtirish hamda tarmoq elementlari o'rtasidagi bog'liqliklarni baholashda yuqori samaradorlikni ta'minlaydi [13].

International Telecommunication Union (ITU) tomonidan qabul qilingan ITU-T E.800 tavsiyasida telekommunikatsiya xizmatlari sifatini baholashning asosiy mezonlari sifatida xizmatning mavjudligi (Availability), ishonchliligi (Reliability), uzluksizligi (Continuity) va xizmat sifati (Quality of Service) ko'rsatkichlari belgilab berilgan. Mazkur standart bugungi kunda telekommunikatsiya operatorlari tomonidan KPI tizimini shakllantirishda asosiy metodik hujjatlardan biri hisoblanadi [14].

Shuningdek, Cisco Systems tomonidan e'lon qilingan Annual Internet Report hisobotida mobil internet trafiginii yil sayin keskin ortib borayotgani, 5G texnologiyalarining keng joriy etilishi natijasida tarmoqni boshqarishda sun'iy intellekt va Data Science texnologiyalarining strategik ahamiyati ortayotgani qayd etilgan. Hisobotda ma'lumotlarga asoslangan avtomatlashtirilgan tarmoq boshqaruvi kelajak telekommunikatsiyasining asosiy yo'nalishi sifatida baholangan [15].

Yuqorida ko'rib chiqilgan ilmiy manbalar shuni ko'rsatadiki, Data Science texnologiyalarini telekommunikatsiya tarmoqlariga integratsiya qilish nafaqat mavjud tarmoq holatini chuqur tahlil qilish, balki kelajakdagi trafik hajmini prognozlash, nosozliklarni oldindan aniqlash, resurslardan foydalanish samaradorligini oshirish va xizmat ko'rsatish sifatini yaxshilash imkonini beradi. Shu

bois mazkur tadqiqotda aynan Data Science texnologiyalari asosida telekommunikatsiya tarmoqlari samaradorligini kompleks baholash metodologiyasini ishlab chiqish va uning amaliy samaradorligini tahlil qilishga alohida e'tibor qaratiladi.

Tadqiqot metodologiyasi

Mazkur tadqiqotda telekommunikatsiya tarmoqlarining samaradorligini Data Science texnologiyalari asosida baholashning ilmiy-uslubiy asoslarini ishlab chiqish maqsadida tizimli yondashuv, qiyosiy tahlil, statistik tahlil, iqtisodiy-matematik modellashirish hamda mashinali o'qitish (Machine Learning) usullaridan kompleks foydalanildi. Tadqiqotning axborot bazasini telekommunikatsiya tarmoqlarida shakllanadigan katta hajmdagi ma'lumotlar (Big Data), tarmoqning asosiy samaradorlik ko'rsatkichlari (KPI), Quality of Service (QoS) indikatorlari, xalqaro telekommunikatsiya standartlari hamda Data Science yo'nalishidagi zamonaviy ilmiy tadqiqotlar tashkil etdi.

Tadqiqot jarayonida ma'lumotlarni yig'ish, tozalash (Data Cleaning), integratsiyalash, vizuallashtirish va tahlil qilish bosqichlari ketma-ket amalga oshirildi. Telekommunikatsiya tarmog'i samaradorligini baholashda o'tkazuvchanlik (Throughput), kechikish (Latency), paketlar yo'qolishi (Packet Loss), tarmoqdan foydalanish darajasi (Utilization), xizmat ko'rsatish sifati (QoS) va tarmoq ishonchliligi (Reliability) kabi asosiy ko'rsatkichlardan foydalanildi.

Shuningdek, tarmoq trafiginı prognozlash, ehtimoliy nosozliklarni oldindan aniqlash hamda resurslardan foydalanish samaradorligini baholash uchun regressiya tahlili, klasterlash algoritmlari, vaqt qatorlari tahlili hamda sun'iy intellektga asoslangan bashoratli analitika usullari qo'llanildi. Olingan natijalar qiyosiy tahlil asosida baholanib, Data Science texnologiyalarining telekommunikatsiya tarmoqlarini boshqarish samaradorligini oshirishdagi ilmiy-amaliy afzalliklari asoslab berildi.

Tahlil va natijalar

Telekommunikatsiya tarmoqlarining raqamli transformatsiyasi sharoitida ma'lumotlar hajmining keskin ortishi ularni boshqarish va tahlil qilishning an'anaviy usullarini takomillashtirish zaruratini yuzaga keltirmoqda. Zamonaviy telekommunikatsiya operatorlari tomonidan har soniyada millionlab paketlar uzatilishi, millionlab abonentlar tomonidan turli xizmatlardan foydalanilishi hamda minglab tarmoq elementlarining uzluksiz faoliyat yuritishi natijasida juda katta hajmdagi ma'lumotlar shakllanadi. Mazkur ma'lumotlarni faqatgina statistik hisobotlar yoki oddiy monitoring vositalari orqali tahlil qilish tarmoqning haqiqiy holatini to'liq aks ettirmaydi. Shu sababli Data Science texnologiyalari telekommunikatsiya infratuzilmasining samaradorligini baholashda eng muhim analitik vositalardan biriga aylanmoqda [16].

Data Science yondashuvi telekommunikatsiya tarmoqlarida hosil bo'ladigan ma'lumotlarning to'liq hayotiy siklini qamrab oladi. Ushbu jarayon ma'lumotlarni yig'ish (Data Collection), saqlash (Data Storage), tozalash (Data Cleaning), qayta ishlash (Data Processing), tahlil qilish (Analytics), vizuallashtirish (Visualization) va qaror qabul qilish (Decision Support) bosqichlaridan iborat. Mazkur bosqichlarning o'zaro integratsiyasi operatorlarga real vaqt rejimida tarmoq holatini kuzatish, muammolarni aniqlash va kelajakdagi yuklamalarni prognozlash imkoniyatini yaratadi.

Telekommunikatsiya tarmoqlarining samaradorligini baholashda asosiy ko'rsatkichlar sifatida KPI (Key Performance Indicators) tizimi qo'llaniladi. Ushbu ko'rsatkichlar tarmoqning texnik holatini, abonentlarga ko'rsatilayotgan xizmatlar sifatini hamda mavjud resurslardan foydalanish samaradorligini ifodalaydi. Data Science texnologiyalari mazkur ko'rsatkichlar o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash orqali boshqaruv qarorlarini yanada aniqroq qabul qilish imkonini beradi.

1-jadval

Telekommunikatsiya tarmoqlarini baholashda qo'llaniladigan asosiy KPI ko'rsatkichlari

Nº	Ko'rsatkich	Mazmuni	Data Science orqali tahlil qilish usuli	Kutilayotgan natija
1	Throughput	Ma'lumot uzatish tezligi	Regressiya tahlili	Tarmoq o'tkazuvchanligini oshirish
2	Latency	Paket uzatishdagi kechikish	Vaqt qatorlari tahlili	Kechikishni kamaytirish
3	Packet Loss	Yo'qolgan paketlar ulushi	Anomaliyalarni aniqlash	Aloqa sifatini yaxshilash
4	QoS	Xizmat sifati	Klasterlash algoritmlari	Abonentlar qoniqishini oshirish
5	Utilization	Resurslardan foydalanish darajasi	Predictive Analytics	Resurslarni optimallashtirish
6	Network Availability	Tarmoqning ishlash uzluksizligi	Mashinali o'qitish	Nosozliklarni oldindan aniqlash

Jadval ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, telekommunikatsiya operatorlari tomonidan qo'llanilayotgan KPI ko'rsatkichlari alohida tahlil qilinganda tarmoq holati to'g'risida qisman ma'lumot beradi. Biroq Data Science texnologiyalari ushbu ko'rsatkichlarning o'zaro bog'liqligini aniqlash orqali tarmoq samaradorligini kompleks baholash imkoniyatini yaratadi. Masalan, tarmoq yuklamasi ortishi natijasida kechikish darajasi oshishi, paketlarning yo'qolishi ko'payishi va QoS ko'rsatkichining pasayishi kuzatilishi mumkin. Mashinali o'qitish algoritmlari ushbu bog'liqliklarni avtomatik ravishda aniqlaydi hamda operatorlarga oldindan ogohlantirish beradi.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, telekommunikatsiya tarmoqlarida hosil bo'ladigan ma'lumotlarning 80 foizdan ortig'i real vaqt rejimida shakllanadi. Mazkur ma'lumotlarni tezkor qayta ishlash tarmoqni samarali boshqarishning eng muhim shartlaridan biri hisoblanadi. Apache Spark, Hadoop, Kafka kabi Big Data platformalaridan foydalanish katta hajmdagi ma'lumotlarni parallel qayta ishlash imkoniyatini yaratadi. Natijada analitik hisobotlarni tayyorlash va boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun sarflanadigan vaqt bir necha barobar qisqaradi [17].

Data Science texnologiyalarining muhim afzalliklaridan biri bashoratli analitika (Predictive Analytics) hisoblanadi. Mazkur yondashuv tarixiy ma'lumotlar asosida kelajakdagi tarmoq holatini prognozlash imkonini beradi. Masalan, bazaviy stansiyalarga tushadigan yuklama hafta kunlari, sutka vaqti yoki mavsumga qarab o'zgaradi. Mashinali o'qitish algoritmlari ushbu qonuniyatlarni aniqlab, tarmoq resurslarini oldindan qayta taqsimlash imkonini yaratadi. Natijada ortiqcha yuklanish ehtimoli kamayadi va xizmat sifati barqarorlashadi.

Shuningdek, sun'iy intellekt algoritmlari tarmoqdagi nosozliklarni inson aralashuvisiz aniqlash imkonini beradi. Anomaliyalarni aniqlash (Anomaly Detection) algoritmlari odatdagi trafikdan keskin farq qiluvchi holatlarni avtomatik ravishda qayd etadi. Buning natijasida texnik xodimlar muammoni abonentlarga sezilmasdan oldin bartaraf etish imkoniyatiga ega bo'ladilar. Bu esa ekspluatatsiya xarajatlarining kamayishi hamda tarmoq ishonchliligining oshishiga olib keladi.

Telekommunikatsiya operatorlari faoliyatida mijozlarning xatti-harakatlarini tahlil qilish ham Data Science texnologiyalarining muhim yo'nalishlaridan biridir. Klasterlash algoritmlari yordamida abonentlar xizmatlardan foydalanish darajasi, internet trafigi, qo'ng'iroqlar soni va

boshqa mezonlar asosida segmentlarga ajratiladi. Natijada operatorlar har bir segment uchun individual tariflar, marketing strategiyalari va xizmat paketlarini ishlab chiqish imkoniyatiga ega bo'ladi. Bu esa kompaniya daromadining oshishiga hamda mijozlarning sodiqligini kuchaytirishga xizmat qiladi.

Bundan tashqari, Data Science texnologiyalaridan foydalanish telekommunikatsiya infratuzilmasining iqtisodiy samaradorligini ham oshiradi. Tarmoq elementlarining optimal yuklanishini ta'minlash, elektr energiyasi iste'molini kamaytirish, uskunalarning xizmat muddatini uzaytirish va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini optimallashtirish orqali operatorlarning operatsion xarajatlari sezilarli darajada qisqaradi. Bu esa investitsiya resurslaridan samarali foydalanish hamda raqobatbardoshlikni oshirish imkonini beradi.

Tadqiqot natijalari asosida telekommunikatsiya tarmoqlarida Data Science texnologiyalarini qo'llash quyidagi ilmiy-amaliy natijalarga olib kelishi aniqlandi:

- tarmoq samaradorligini kompleks va real vaqt rejimida baholash imkoniyati yaratiladi;
- trafik yuklamasi yuqori aniqlik bilan prognoz qilinadi;
- tarmoq nosozliklari oldindan aniqlanadi va avariya soni kamayadi;
- QoS va QoE ko'rsatkichlari yaxshilanadi;
- tarmoq resurslaridan foydalanish samaradorligi ortadi;
- ekspluatatsiya va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari kamayadi;
- ma'lumotlarga asoslangan boshqaruv qarorlarini qabul qilish sifati oshadi.

Umuman olganda, olib borilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki, Data Science texnologiyalarining telekommunikatsiya tarmoqlariga integratsiyalashuvi nafaqat texnik ko'rsatkichlarni yaxshilaydi, balki operatorlarning iqtisodiy samaradorligini oshirish, abonentlarga ko'rsatilayotgan xizmatlar sifatini yaxshilash hamda raqamli transformatsiya jarayonlarini jadallashtirishning muhim omillaridan biri hisoblanadi. Shu sababli kelgusida telekommunikatsiya tarmoqlarini boshqarish tizimlarini sun'iy intellekt va Data Science asosida yanada rivojlantirish ushbu sohaning ustuvor yo'nalishlaridan biri bo'lib qoladi.

Xulosa

Mazkur tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, telekommunikatsiya tarmoqlarida hosil bo'ladigan katta hajmdagi ma'lumotlarni an'anaviy statistik usullar orqali tahlil qilish zamonaviy tarmoqlarning murakkab tuzilmasi va yuqori dinamikasi sharoitida yetarli darajada samarali hisoblanmaydi. Data Science texnologiyalarining qo'llanilishi esa tarmoq faoliyatini kompleks baholash, ma'lumotlar orasidagi yashirin qonuniyatlarni aniqlash hamda boshqaruv qarorlarini ilmiy asoslangan holda qabul qilish imkoniyatini yaratadi.

Tadqiqot davomida telekommunikatsiya tarmoqlarining samaradorligini baholashda asosiy KPI ko'rsatkichlari – tarmoq o'tkazuvchanligi (Throughput), kechikish darajasi (Latency), paketlar yo'qolishi (Packet Loss), xizmat ko'rsatish sifati (QoS), resurslardan foydalanish darajasi (Utilization) va tarmoq ishonchliligi (Reliability) Data Science usullari yordamida kompleks tahlil qilinganda ancha aniq va ishonchli natijalarga erishilishi asoslab berildi. Mazkur yondashuv operatorlarga tarmoqning joriy holatini baholash bilan bir qatorda kelajakdagi yuklamalarni prognozlash va ehtimoliy nosozliklarning oldini olish imkonini beradi.

Shuningdek, mashinali o'qitish, chuqur o'qitish, vaqt qatorlari tahlili hamda bashoratli analitika algoritmlaridan foydalanish telekommunikatsiya infratuzilmasining ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish, resurslardan foydalanish samaradorligini oshirish va xizmatlar sifatini yaxshilashga xizmat qilishi aniqlandi. Ayniqsa, real vaqt rejimida ma'lumotlarni qayta ishlash va

avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarini joriy etish tarmoq boshqaruvining operativligini sezilarli darajada oshiradi.

Tahlil natijalari shuni ham ko'rsatdiki, Data Science texnologiyalarining telekommunikatsiya operatorlari faoliyatiga integratsiyalashuvi ma'lumotlarga asoslangan boshqaruv modelini shakllantirishga xizmat qiladi. Bu esa strategik rejalashtirish sifatini oshirish, investitsiya resurslarini oqilona taqsimlash, abonentlarga ko'rsatilayotgan xizmatlar sifatini yaxshilash hamda operatorlarning raqobatbardoshligini mustahkamlash uchun muhim omil hisoblanadi.

Kelgusida telekommunikatsiya tarmoqlarida sun'iy intellekt, Graph Neural Networks (GNN), Federated Learning, Explainable Artificial Intelligence (XAI) va Digital Twin kabi zamonaviy texnologiyalarni Data Science platformalari bilan integratsiyalash tarmoqlarni boshqarishning yangi bosqichini shakllantirishi mumkin. Ushbu yo'nalishlarda olib boriladigan ilmiy tadqiqotlar tarmoqlar samaradorligini yanada oshirish, energiya tejamkorligini ta'minlash, kiberxavfsizlikni kuchaytirish hamda 6G va keyingi avlod telekommunikatsiya tizimlarini rivojlantirish uchun muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Provost F., Fawcett T. Data Science for Business: What You Need to Know about Data Mining and Data-Analytic Thinking. Sebastopol: O'Reilly Media, 2013. – 414 p.
2. Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining: Concepts and Techniques. 3rd Edition. Waltham: Morgan Kaufmann Publishers, 2012. – 703 p.
3. Azzouni A., Pujolle G. NeuroPlan: Deep Learning for Network Traffic Prediction. Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC). Paris, France, 2017. – P. 1–6.
4. Cisco Systems. Cisco Annual Internet Report (2018–2023). White Paper. San Jose: Cisco Systems Inc., 2020. – 41 p.
5. International Telecommunication Union (ITU-T). Recommendation E.800: Definitions of Terms Related to Quality of Service. Geneva: ITU, 2008. – 28 p.
6. Barabási A.-L. Network Science. Cambridge: Cambridge University Press, 2016. – 474 p.
7. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge (MA): MIT Press, 2016. – 775 p.
8. Bifet A., Gavaldà R. Learning from Time-Changing Data with Adaptive Windowing. Proceedings of the SIAM International Conference on Data Mining (SDM). Minneapolis, USA, 2007. – P. 443–448.
9. Kipf T. N., Welling M. Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks. Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR). Toulon, France, 2017.
10. Zaharia M., Chowdhury M., Franklin M. J., Shenker S., Stoica I. Spark: Cluster Computing with Working Sets. Proceedings of the 2nd USENIX Conference on Hot Topics in Cloud Computing (HotCloud). Boston, USA, 2010. – P. 1–7.
11. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th Edition. Hoboken: Pearson Education, 2021. – 1136 p.
12. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. New York: Springer, 2006. – 738 p.
13. Murphy K. P. Machine Learning: A Probabilistic Perspective. Cambridge (MA): MIT Press, 2012. – 1104 p.
14. Aggarwal C. C. Data Mining: The Textbook. Cham: Springer International Publishing, 2015. – 734 p.

15. Leskovec J., Rajaraman A., Ullman J. D. Mining of Massive Datasets. 3rd Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. – 602 p.
16. Tan P.-N., Steinbach M., Karpapne A., Kumar V. Introduction to Data Mining. 2nd Edition. New York: Pearson, 2019. – 839 p.
17. Kurose J. F., Ross K. W. Computer Networking: A Top-Down Approach. 8th Edition. New York: Pearson, 2021. – 864 p.
18. Stallings W. Data and Computer Communications. 11th Edition. New York: Pearson, 2020. – 888 p.
19. Andrews J. G., Buzzi S., Choi W., Hanly S. V., Lozano A., Soong A. C. K., Zhang J. C. What Will 5G Be? IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 32, No. 6. 2014. – P. 1065–1082.
20. Cisco Systems. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends. San Jose: Cisco Systems Inc., 2020.