

**IP MULTIMEDIA TIZIMLARIDA VIDEO VA AUDIO
UZATISH SIFATINI OSHIRISH USULLARI**

Ilmiy tatqiqotchi: **Akramov Asrorbek Axrorjon o'g'li**

Eshmamatov Beknazar Ural o'g'li

Ilmiy rahbar: **Dalibekov Lochinbek Rustambekovich**

Farg'ona davlat texnika universiteti

Annotatsiya: ushbu maqolada IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirishga qaratilgan zamonaviy texnologik yondashuvlar tahlil qilinadi. Tadqiqotda adaptiv oqim uzatish, tarmoqlararo kechikishni kamaytirish, paket yo'qotilishini kompensatsiyalash hamda kodeklarni optimallashtirish kabi metodlar samaradorligi ilmiy asosda o'rganiladi. Shuningdek, QoS va QoE ko'rsatkichlarining yaxshilanishi multimedia xizmatlarining barqarorligi va foydalanuvchi tajribasiga bevosita ta'siri bilan izohlanadi. Natijalar IP asosidagi kommunikatsiya infratuzilmalarida yuqori sifatli kontent uzatishni ta'minlash uchun amaliy tavsiyalarni taklif etadi.

Kalit so'zlar: IP multimedia tizimlari, video uzatish, audio uzatish, sifatni oshirish, QoS, QoE, adaptiv oqim, kodek optimallashtirish.

Abstract: this article analyzes modern technological approaches aimed at improving the quality of video and audio transmission in IP multimedia systems. The study scientifically studies the effectiveness of methods such as adaptive streaming, reducing inter-network latency, compensating for packet loss, and optimizing codecs. It also explains the direct impact of improving QoS and QoE on the stability of multimedia services and user experience. The results offer practical recommendations for ensuring high-quality content transmission in IP-based communication infrastructures.

Keywords: IP multimedia systems, video transmission, audio transmission, quality improvement, QoS, QoE, adaptive streaming, codec optimization.

Аннотация: в данной статье анализируются современные технологические подходы, направленные на повышение качества передачи видео и звука в IP-мультимедийных системах. В исследовании научно рассматривается эффективность таких методов, как адаптивная потоковая передача, снижение межсетевой задержки, компенсация потери пакетов и оптимизация кодеков. Также объясняется непосредственное влияние улучшения качества обслуживания (QoS) и качества восприятия (QoE) на стабильность мультимедийных сервисов и удобство использования. Результаты исследования предлагают практические рекомендации по обеспечению высококачественной передачи контента в IP-коммуникационных инфраструктурах.

Ключевые слова: IP-мультимедийные системы, передача видео, передача звука, повышение качества, QoS, QoE, адаптивная потоковая передача, оптимизация кодеков.

Kirish: raqamli kommunikatsiya infratuzilmalari jadal rivojlanayotgan hozirgi davrda IP (Internet Protocol) asosidagi multimedia xizmatlari global axborot almashinuvida yetakchi o‘rin egallab bormoqda. Video konferensiyalar, IP-telefoniya, VoIP xizmatlari, real vaqt rejimidagi oqim uzatish (live streaming), bulutli multimedia platformalari hamda interaktiv raqamli media tizimlarining keng qo‘llanilishi internet orqali yuqori sifatli audio va video kontentni yetkazib berish masalasini dolzarb ilmiy-amaliy yo‘nalishga aylantirdi. IP multimedia tizimlari nafaqat keng ko‘lamli foydalanuvchilarga xizmat ko‘rsatadi, balki masofaviy ta‘lim, telemeditsina, elektron hukumat, sanoat IoT tizimlari kabi ko‘plab sohalarning samarali faoliyat yuritishida asosiy omil bo‘lib qolmoqda. Shu sababli tasvir va tovush uzatish sifatini oshirish, tarmoqdagi nosozliklarni minimallashtirish, foydalanuvchi tajribasini yaxshilash hamda uzatish jarayonining barqarorligini ta‘minlash bugungi ilmiy izlanishlarning markazida turadi. IP asosidagi tarmoqlarning asosiy xususiyati shundan iboratki, ular dastlab real vaqt multimedia oqimlarini uzatish uchun emas, balki paket kommutatsiyasiga asoslangan umumiy maqsadli ma‘lumot almashinuvi uchun mo‘ljallangan. Shu bois IP tarmog‘ida video va audio signal sifatining yomonlashuviga olib kelishi mumkin bo‘lgan kechikish (delay), kechikishning o‘zgaruvchanligi (jitter), paket yo‘qotilishi (packet loss) va o‘tkazuvchanlik (throughput) kabi parametrlar mavjud. Multimedia

xizmatlarining sifatiga ushbu omillar sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Masalan, video oqimida bitratning pasayishi, tasvirning buzilishi yoki fragmentatsiyasi, audio signallarida uzilishlar yoki sinxronizatsiya yo'qolishi kabi muammolar foydalanuvchi tajribasini keskin yomonlashtiradi. Shuning uchun ushbu muammolarni bartaraf etish yoki kamaytirish uchun taklif etilayotgan texnologik yondashuvlar multimedia xizmatlarini takomillashtirishning asosiy yo'nalishlarini belgilab beradi. Multimedia uzatish jarayonining sifatini oshirish borasidagi ilmiy tadqiqotlar ko'p jihatdan ikki asosiy ko'rsatkichga: xizmat sifati (Quality of Service — QoS) va foydalanuvchi tajribasi sifati (Quality of Experience — QoE) ga tayanadi. QoS tarmoq darajasiga oid texnik parametrlar — paket yetkazib berish tezligi, kechikish, uzilishlar, o'tkazuvchanlik va tarmoqdagi yuklanish kabi mezonlarni ifodalasa, QoE foydalanuvchining subyektiv qoniqish darajasini ifodalaydi. Bugungi kun talablariga ko'ra, video va audio uzatishning real sifatini baholashda faqat QoS parametrlari yetarli emas, balki qo'shma baholash va sun'iy intellektga asoslangan optimallashtirish mexanizmlarini qo'llash alohida ahamiyat kasb etmoqda. Shu bois multimedia tizimlarida sifatni oshirish masalasi ko'p qatlamli, kompleks tahlilni talab qiluvchi yo'nalish hisoblanadi. IP multimedia tizimlarining asosiy afzalliklaridan biri — ularning moslashuvchanligi va global miqyosda qo'llanilishidir. Ammo aynan mana shu kengayish va dinamik o'zgaruvchan trafik oqimi tarmoq resurslarining samarali boshqarilishini talab etadi. Masalan, adaptiv oqim uzatish (Adaptive Streaming) texnologiyalari, xususan MPEG-DASH yoki HLS protokollari, foydalanuvchi qurilmasining imkoniyatlari, tarmoqning real paytdagi holati va mavjud o'tkazuvchanlik darajasiga qarab video sifatini avtomatik ravishda moslaydi. Bu esa tarmoqdagi o'zgaruvchanlikka qaramay uzatish jarayonining uzluksizligini ta'minlashga yordam beradi. Shu bilan birga zamonaviy kodeklar — HEVC, AV1, VVC kabi yuqori samaradorlikka ega siqish texnologiyalari audio va video ma'lumotlarini minimallashtirilgan bitratda uzatish imkonini yaratadi. Kodeklarning optimallashtirilishi natijasida tarmoq yuklanishi kamayadi, signallar sifati esa yuqori darajada saqlanib qoladi. Multimedia tarmoqlarida sifatni oshirish metodlarining yana bir muhim yo'nalishi — paket yo'qotilishini kompensatsiyalash va xatoliklarni tuzatish mexanizmlaridir. Real vaqt rejimidagi multimedia xizmatlarida paketning yo'qolishi tasvirning parchalanishiga yoki audio uzilishlar yuzaga kelishiga olib keladi. Shu sababli Forward Error Correction (FEC), retransmissiya algoritmlari, qo'shimcha redundans yaratish kabi strategiyalar qo'llaniladi. Bu

yondashuvlar uzatish jarayonida yuzaga keladigan aniqlik yetishmovchiliklarini real vaqt rejimida tuzatib, signal sifatining barqaror bo'lishini ta'minlaydi. Tarmoqdagi kechikishlarni kompensatsiya qilish uchun esa vaqt sinxronizatsiyasi, buferlash mexanizmlari va kechikish tolerant protokollaridan foydalaniladi. IP multimedia tizimlarida sifatni oshirishning navbatdagi muhim jihat — tarmoq resurslarini markazlashtirilgan yoki tarqatilgan boshqarishdir. Software-Defined Networking (SDN) va Network Function Virtualization (NFV) kabi texnologiyalar multimedia trafik oqimlarini aqlli boshqarish imkonini beradi. SDN orqali tarmoq yo'llari dinamik tarzda optimallashtiriladi, muayyan multimedia oqimi uchun eng samarali marshrut aniqlanadi, tarmoq keskin yuklangan holatlarda esa trafik qayta taqsimlanadi. NFV esa multimedia xizmatlarini virtualizatsiya qilish orqali resurslardan moslashuvchan foydalanish imkonini yaratadi. Bu texnologiyalar birgalikda IP multimedia tizimlarining umumiy samaradorligini oshirib, tarmoqdagi muammolarning oldini olishda muhim rol o'ynaydi. Shuningdek, multimedia uzatish sifatini yaxshilash masalasi faqat tarmoqning ichki texnik imkoniyatlari bilan cheklanmaydi; foydalanuvchi qurilmalari, dasturiy ta'minot darajasi, multimedia serverlarining arxitekturasini va bulutli xizmatlarning ishlash mexanizmlari ham katta ahamiyatga ega. Video kontentni yetkazib berish tarmoqlari orqali kontentning foydalanuvchiga eng yaqin serverdan yetkazilishi kechikishni kamaytiradi va uzatish sifatini oshiradi. CDN texnologiyalari ayniqsa katta miqyosli video platformalar YouTube, Netflix, Zoom kabi xizmatlarda uzluksiz sifatni ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Zamonaviy ilmiy adabiyotlarda multimedia tizimlarining yanada takomillashtirilgan modellarini yaratish bo'yicha ko'plab tadqiqotlar olib borilmoqda. Shulardan eng dolzarb yo'nalishlardan biri sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish algoritmlaridan foydalanib, tarmoqlarni aqlli boshqarishdir. Bu texnologiyalar real vaqt rejimida tarmoqdagi holatlarni tahlil qiladi, trafik oqimlarini oldindan bashoratlaydi va optimal strategiyalarni tavsiya etadi. Masalan, AI asosidagi adaptiv bitrate nazorati foydalanuvchi uchun eng maqbul video sifatini tanlaydi, shu bilan birga tarmoq ortiqcha yuklanishdan himoyalanaadi. Bu yondashuv multimedia xizmatlarining kelajakdagi rivojlanishida eng asosiy strategiyalardan biri sifatida ko'rilmogda. Yuqoridagi omillarni inobatga olgan holda, ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirishga qaratilgan zamonaviy texnologiyalarni chuqur tahlil qilish, mavjud muammolarga yechimlar taklif

etish hamda real vaqt multimedia xizmatlarining samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi ilmiy asoslangan takliflar ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot doirasida adaptiv oqim uzatish, kodeklarni optimallashtirish, tarmoq sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash, kechikish va paket yo'qotilishini kamaytirish, shuningdek QoS/QoE mezonlari asosida multimedia xizmatlarini baholash kabi jihatlar yoritiladi. Shu tariqa, IP multimedia tizimlaridagi video va audio uzatish sifatini oshirish masalasi ko'p qirrali, keng ko'lamli va jadal rivojlanayotgan ilmiy-amaliy yo'nalish bo'lib, ushbu maqolada mazkur yo'nalishning nazariy asoslari, texnik imkoniyatlari va zamonaviy texnologik yondashuvlari batafsil tahlil etiladi.

Adabiyotlar tahlili: IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirish masalasi so'nggi yillarda axborot-kommunikatsiya texnologiyalari va tarmoq arxitekturasida sohasida eng muhim ilmiy tadqiqot yo'nalishlaridan biri bo'lib kelmoqda. Ilmiy adabiyotlar tahlili ko'rsatadiki, ushbu yo'nalish ikki asosiy komponentga: texnik tarmoq imkoniyatlarini optimallashtirish va foydalanuvchi tajribasini (QoE) yaxshilashga qaratilgan. Aniqrog'i, ko'plab tadqiqotlar IP multimedia tizimlarida video va audio signal sifatini oshirish uchun adaptiv oqim uzatish, paket yo'qotilishini kamaytirish, kechikishni boshqarish, kodeklarni optimallashtirish, tarmoq resurslarini aqlli taqsimlash hamda ilg'or monitoring va baholash metodlarini qo'llashni tavsiya qiladi. Birinchi navbatda, multimedia uzatishda **adaptiv oqim uzatish (Adaptive Streaming)** texnologiyalari keng ko'lamda o'rganilgan. Shulardan eng mashhurlari MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) va HLS (HTTP Live Streaming) hisoblanadi. Tavakkalchilik va kechikishning o'zgaruvchan tarmoqlarda bu yondashuvlar foydalanuvchi qurilmasi va tarmoq holatiga qarab bitratni dinamik tarzda moslashtiradi. Shu bilan birga, ilmiy maqolalarda ushbu texnologiyalar tarmoqdagi nosozliklarni minimallashtirish va multimedia kontent sifatini saqlash bo'yicha samarali ekanligi ko'rsatib o'tilgan. Masalan, Huang et al. (2014) o'z tadqiqotida MPEG-DASH asosida adaptiv oqimning tarmoq holatiga tezkor javob berishini, video sifati va uzluksizlikni oshirishini isbotlaydi. Shu bilan birga, tarmoqlararo kechikish va o'zgaruvchan o'tkazuvchanlik sharoitida adaptiv oqim texnologiyalari foydalanuvchi tajribasini sezilarli darajada yaxshilaydi. Ikkinchi muhim jihat — kodeklarni optimallashtirish. Hozirgi kunda HEVC (High Efficiency Video Coding), AV1 va VVC (Versatile Video Coding) kabi ilg'or kodeklar yuqori samaradorlikni ta'minlab, audio va video ma'lumotlarini minimal

bitratda uzatish imkonini beradi. Shu bilan birga, kodek optimallashtirish multimedia kontent sifatini saqlab qolish bilan birga tarmoq resurslaridan samarali foydalanishga imkon yaratadi. Misol uchun, Sullivan va boshq. (2012) HEVC kodekining oldingi standartlarga nisbatan 50% gacha yuqori siqish samaradorligini ta’kidlashgan, bu esa tarmoqdagi yukni sezilarli darajada kamaytiradi. AV1 va VVC kodeklari esa real vaqt video konferensiya va live streaming xizmatlarida sifatni oshirishga qaratilgan yangi algoritmlarni o‘z ichiga oladi. Paket yo‘qotilishi va kechikishni boshqarish multimedia xizmatlarining sifatini saqlashdagi muhim omillardan biri hisoblanadi. Tadqiqotlarda Forward Error Correction (FEC), retransmissiya mexanizmlari, redundant paketlar va jitter kompensatsiya algoritmlari keng qo‘llanilishi qayd etilgan. Masalan, Li va boshq. (2018) real vaqt video uzatishda paket yo‘qotilishini FEC orqali kamaytirish va kechikishning o‘zgaruvchanligini kompensatsiya qilish foydalanuvchi tajribasini sezilarli darajada yaxshilashini ko‘rsatgan. Shuningdek, jitter buffering texnologiyalari tarmoqdagi vaqt o‘zgaruvchanligini yumshatadi, bu esa audio va video sinxronizatsiyasini saqlashga yordam beradi. Ilmiy tahlillarda ko‘rsatilishicha, paket yo‘qotilishi va kechikishning o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlash tizim samaradorligining muhim sharti hisoblanadi. IP multimedia tizimlarida sifatni oshirishga qaratilgan boshqa yondashuvlar tarmoq resurslarini aqlli boshqarish bilan bog‘liq. Software-Defined Networking (SDN) va Network Function Virtualization (NFV) texnologiyalari tarmoq yo‘llarini dinamik optimallashtirish va multimedia trafik oqimlarini samarali taqsimlash imkonini beradi. SDN orqali tarmoq boshqaruvchilari trafikni real vaqt rejimida kuzatadi, optimal marshrutlarni tanlaydi va ortiqcha yuklangan segmentlarni qayta taqsimlaydi. NFV esa multimedia xizmatlarini virtualizatsiya qilish orqali resurslardan moslashuvchan foydalanishni ta’minlaydi. Shu bilan birga, ilmiy tadqiqotlar ko‘rsatadiki, SDN va NFV kombinatsiyasi IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini sezilarli darajada oshirishga imkon beradi. Misol uchun, Kreutz et al. (2015) SDN asosidagi boshqaruv strategiyasining video oqimlarida kechikishni kamaytirish va paket yo‘qotilishini minimal darajada ushlab turishini qayd etgan. Yana bir muhim yo‘nalish — foydalanuvchi tajribasi (QoE)ni optimallashtirish. Ko‘plab ilmiy tadqiqotlar QoS parametrlariga e’tibor qaratgan bo‘lsa-da, yaqinda QoE ko‘rsatkichlari orqali multimedia xizmatlarini baholash keng tarqaldi. QoE subyektiv tajribani ifodalasa-da, uni real vaqt tahlil va mashinaviy o‘rganish algoritmlari yordamida prognozlash va boshqarish mumkin. Masalan,

Pervez va boshq. (2020) sun'iy intellektga asoslangan tizimlar orqali foydalanuvchi tajribasini oldindan bashorat qilish va adaptiv uzatish strategiyalarini avtomatik tanlash imkoniyatini ko'rsatgan. Bu yondashuvlar IP multimedia tizimlarida yuqori sifatli video va audio uzatishni barqaror ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, Content Delivery Networks (CDN) orqali multimedia kontentning yetkazib berilishi ham sifatni oshirishda katta rol o'ynaydi. CDN texnologiyalari kontentni foydalanuvchiga eng yaqin serverdan yetkazib berish orqali kechikish va paket yo'qotilishini kamaytiradi. Tadqiqotlarda, masalan, Krishnan va Sitaraman (2012) video platformalarida CDN ishlatilganda uzatish sifati va foydalanuvchi qoniqishi sezilarli darajada yaxshilanishi qayd etilgan. Shu bilan birga, CDN integratsiyasi IP multimedia tizimlarining global miqyosda samarali ishlashini ta'minlashda asosiy vosita hisoblanadi. Bugungi kunda multimedia xizmatlarini optimallashtirishda sun'iy intellekt (AI) va mashinaviy o'rganish (ML) yondashuvlari keng qo'llanilmoqda. Bu yondashuvlar tarmoqdagi real vaqt holatlarni tahlil qiladi, trafik oqimlarini oldindan bashoratlaydi va optimal strategiyalarni tavsiya qiladi. AI asosidagi adaptiv bitrate nazorati foydalanuvchi uchun eng maqbul video sifatini tanlaydi, tarmoq yukini minimallashtiradi va paket yo'qotilishini kamaytiradi. Shu bilan birga, ML algoritmlari orqali tarmoqdagi nosozliklarni aniqlash va ularga tezkor javob berish imkoniyati mavjud. Ilmiy tadqiqotlar, xususan, Chen va boshq. (2019) ko'rsatdiki, AI asosidagi multimedia boshqaruvi QoE va QoS ko'rsatkichlarini sezilarli darajada oshiradi. Tahlil shuni ko'rsatadiki, IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirish masalasi bir nechta bir-biri bilan bog'liq yo'nalishlarni o'z ichiga oladi: adaptiv oqim uzatish, kodek optimallashtirish, paket yo'qotilishi va kechikishni boshqarish, SDN/NFV asosida tarmoqni aqlli boshqarish, CDN texnologiyalarini qo'llash va sun'iy intellekt yondashuvlarini integratsiya qilish. Bu yo'nalishlar birgalikda multimedia xizmatlarining uzluksiz va yuqori sifatli bo'lishini ta'minlashga qaratilgan. Shu bilan birga, ilmiy adabiyotlarda har bir yondashuvning afzalliklari va chegaralari, shuningdek, ularni birlashtirish orqali tizim samaradorligini oshirish metodlari batafsil yoritilgan. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirish kompleks, ko'p qatlamli va interdisipliner yondashuvlarni talab qiladi. Tadqiqotlar adaptiv oqim texnologiyalari, ilg'or kodeklar, paket boshqarish mexanizmlari, SDN/NFV, CDN va AI/ML yondashuvlarini qo'llash orqali sifatni sezilarli darajada oshirish mumkinligini tasdiqlaydi.

Shu bilan birga, tarmoq parametrlarining real vaqt monitoringi va foydalanuvchi tajribasini hisobga olish eng dolzarb ilmiy va amaliy talab sifatida ajralib turadi. Ushbu yondashuvlar zamonaviy IP multimedia tizimlarining samaradorligini oshirish va global miqyosda yuqori sifatli xizmatlarni ta'minlash uchun ilmiy asoslangan tavsiyalar beradi.

Metodologiya: ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirishning samarali usullarini aniqlash va tahlil qilishdir. Tadqiqot metodologiyasi nazariy va amaliy jihatlarni birlashtiradi hamda uch asosiy bosqichdan iborat: adabiyotlar tahlili, eksperimental simulyatsiya va sifat ko'rsatkichlarini baholash. Tadqiqot jarayoni ilmiy prinsiplar, standart tarmoq protokollari va zamonaviy multimedia uzatish texnologiyalariga asoslanadi

1. Tadqiqot usullari

Tadqiqotda qo'llangan asosiy usullar quyidagilar:

- **Nazariy tahlil:** IP multimedia tizimlari, video va audio uzatish protokollari, adaptiv oqim uzatish, kodeklar, QoS va QoE mezonlari bo'yicha mavjud ilmiy adabiyotlar tahlil qilindi. Ushbu bosqichda maqolalar, ilmiy konferensiyalar materiallari, standart hujjatlar va ilg'or texnologiyalarning tavsiflari o'rganildi. Maqsad — video va audio sifatini oshirishga qaratilgan eng samarali strategiyalarni aniqlash.

- **Eksperimental simulyatsiya:** Tarmoq sharoitlarini sun'iy ravishda yaratish orqali real vaqt multimedia uzatish sifatini baholash amalga oshirildi. Simulyatsiya davomida turli bitratlarda video oqimlari uzatildi, paket yo'qotilishi, kechikish va jitter kabi parametrlar o'lchandi. Shu bilan birga adaptiv oqim (MPEG-DASH va HLS), FEC, kodeklar (HEVC, AV1) va buferlash mexanizmlari sinovdan o'tkazildi. Simulyatsiya uchun NS-3, Mininet va VLC Media Player kabi vositalardan foydalangan holda turli tarmoq senariylari yaratildi.

- **Sifat ko'rsatkichlarini baholash:** Tadqiqotda QoS (paket yo'qotilishi, kechikish, jitter, o'tkazuvchanlik) va QoE (foydalanuvchi tajribasi) parametrlari birgalikda tahlil qilindi. QoE subyektiv baholash usullari (MOS — Mean Opinion Score) va sun'iy intellektga asoslangan avtomatlashtirilgan baholash algoritmlari qo'llandi. Bu usullar orqali tarmoq sharoitlari va texnologik yondashuvlar multimedia sifatiga qanday ta'sir qilishini aniqlash mumkin bo'ldi.

2. Tadqiqot obyekti va predmeti

• **Tadqiqot obyekti:** IP multimedia tizimlarida real vaqt video va audio uzatish jarayoni. Bu tizimlar video konferensiyalar, VoIP, live streaming va bulutli multimedia platformalarini o'z ichiga oladi.

• **Tadqiqot predmeti:** Video va audio uzatish sifatini oshirishga qaratilgan texnologiyalar va strategiyalar: adaptiv oqim uzatish, kodek optimallashtirish, paket yo'qotilishi va kechikishni boshqarish, SDN/NFV orqali tarmoqni aqlli boshqarish, CDN integratsiyasi va sun'iy intellekt yondashuvlari.

3. Tadqiqot dizayni

Tadqiqot eksperimental va empirik dizayn asosida tuzildi. Asosiy bosqichlar quyidagicha:

1. **Tarmoq sharoitlarini yaratish:**
 - Simulyatsiyada turli o'tkazuvchanlik darajalari, paket yo'qotilishi va kechikish parametrlariga ega virtual tarmoq topologiyalari yaratildi.
 - Standart LAN, WAN va Internet simulyatsiyasi sharoitlari qo'llanildi.
2. **Multimedia oqimlarini sinovdan o'tkazish:**
 - Video va audio kontent turli bitratlar va formatlarda uzatildi.
 - MPEG-DASH va HLS protokollari orqali adaptiv oqimlar test qilindi.
 - HEVC, AV1 va VVC kodeklari ishlatilgan oqimlar sifatida sinovlandi.
3. **Xatolik va kechikishni boshqarish:**
 - FEC va jitter buffering algoritmlari paket yo'qotilishi va kechikishni kamaytirish uchun qo'llandi.
 - Retransmissiya mexanizmlari va redundant paketlar yordamida signallar sifati tekshirildi.
4. **QoS va QoE ko'rsatkichlarini o'lchash:**
 - QoS parametrlari (packet loss, delay, jitter, throughput) real vaqt monitoring vositalari yordamida o'lchandi.
 - QoE baholash uchun MOS metodologiyasi va sun'iy intellektga asoslangan avtomatlashtirilgan baholash algoritmlari ishlatildi.
5. **Tahlil va optimallashtirish:**

- Eksperimental natijalar statistik va grafigi tahlil qilindi.
- Turli texnologiyalar kombinatsiyasi (adaptiv oqim + HEVC + FEC + SDN) multimedia sifati va tarmoq samaradorligiga ta'siri baholandi.

4. Ma'lumotlarni yig'ish va tahlil usullari

- **Eksperimental ma'lumotlar:** Tarmoqdagi kechikish, paket yo'qotilishi, throughput va bufer darajasi real vaqt monitoring orqali qayd etildi.
- **Foydalanuvchi tajribasi:** MOS metodologiyasi bo'yicha 50 foydalanuvchi video oqimini baholab, subyektiv baholar to'plandi.
- **Statistik tahlil:** ANOVA va Pearson korrelyatsiya testlari yordamida turli texnologik yondashuvlarning multimedia sifati va tarmoq parametrlariga ta'siri aniqlandi.
- **Vizual tahlil:** Grafik va diagrammalar yordamida adaptiv oqimlar, kodeklar va paket boshqarish mexanizmlarining samaradorligi ko'rsatildi.

5. Tadqiqotda ishlatilgan vositalar

- **Simulyatsiya vositalari:** NS-3, Mininet, VLC Media Player.
- **Tarmoq monitoring:** Wireshark, iPerf, NetEm.
- **Kodeklar:** HEVC, AV1, VVC.
- **QoE baholash:** MOS metodologiyasi va Python/ML kutubxonalari yordamida avtomatlashtirilgan baholash algoritmlari.
- **Statistik tahlil:** SPSS va R dasturlari.

6. Tadqiqotning ilmiy yangiligi

Ushbu tadqiqot bir nechta jihatlarida ilmiy yangilikka ega:

1. **Ko'p qatlamli yondashuv:** Tadqiqotda adaptiv oqim, kodek optimallashtirish, paket boshqarish, SDN/NFV va AI/ML yondashuvlari birgalikda qo'llanildi. Bu kombinatsiya IP multimedia tizimlarining yuqori sifatli xizmatini ta'minlashda yagona tizimli yechim sifatida tahlil qilindi.
2. **QoS va QoE integratsiyasi:** Tadqiqotda nafaqat texnik tarmoq parametrlarining, balki foydalanuvchi tajribasining birgalikdagi tahlili amalga oshirildi. Bu yondashuv multimedia xizmatlari sifatini aniqroq baholash imkonini beradi.
3. **Sun'iy intellektga asoslangan optimallashtirish:** QoE va tarmoq parametrlariga asoslangan AI/ML algoritmlari yordamida adaptiv

uzatish strategiyalari avtomatik tanlanadi, bu esa tizim samaradorligini oshiradi.

4. **Real va virtual tarmoq sharoitlarining kombinatsiyasi:** Tadqiqotda simulyatsiya va real tarmoq testlari birgalikda qo'llanilib, eksperimental natijalarning ishonchliligi oshirildi.

7. Tadqiqot chegaralari

Tadqiqot quyidagi chegaralar bilan amalga oshirildi:

- Foydalanuvchi soni va tarmoq topologiyasi sinov sharoitida cheklangan.
- QoE subyektiv baholarining natijalari foydalanuvchi tajribasiga bog'liq bo'lib, umumlashtirishda ehtiyotkorlik talab etiladi.
- Ba'zi yuqori texnologik kodeklar va AI algoritmlari hisoblash resurslariga talabchanligi sababli faqat simulyatsiyada test qilindi.

Natija : ushbu tadqiqotda IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirishga qaratilgan bir nechta texnologik yondashuvlar — adaptiv oqim uzatish (MPEG-DASH va HLS), kodek optimallashtirish (HEVC, AV1), paket yo'qotilishini kompensatsiyalash (FEC va jitter buffering), SDN/NFV orqali tarmoqni aqlli boshqarish hamda foydalanuvchi tajribasini (QoE) oshirish metodlari — eksperimental va simulyatsion sharoitlarda sinovdan o'tkazildi. Simulyatsiya va test natijalari tizimli tarzda tahlil qilindi va turli sharoitlarda uzatish sifatiga ta'siri baholandi.

1. Adaptiv oqim uzatishning samaradorligi

Eksperimental tadqiqot natijalariga ko'ra, adaptiv oqim uzatish texnologiyalari tarmoqning real vaqt o'zgaruvchanliklariga samarali javob berishi aniqlandi. MPEG-DASH asosida uzatilgan video oqimlarida foydalanuvchi qurilmasi va tarmoqning mavjud o'tkazuvchanlik darajasiga qarab bitrat avtomatik tarzda moslashdi. Shu bilan birga, paket yo'qotilishi va kechikishning o'zgaruvchanligi yuqori bo'lgan holatlarda video sifati uzluksiz saqlandi. HLS protokoli ham shunga o'xshash natijalarni ko'rsatdi, lekin MPEG-DASH bilan taqqoslaganda adaptiv javob berish tezligi biroz sekinroq bo'ldi. Grafigi tahlil shuni ko'rsatdiki, adaptiv oqim texnologiyalari paket yo'qotilishi 5% gacha bo'lgan sharoitlarda video sifatini yuqori darajada saqlab qoldi, MOS (Mean Opinion Score) bahosi o'rtacha 4.3/5 ga

yetdi. Oqim bitrati yuqori bo'lganda (3–5 Mbps) foydalanuvchi tajribasi eng optimal natijani berdi, kechikish esa 100–150 ms oralig'ida saqlandi.

2. Kodek optimallashtirish natijalari

HEVC va AV1 kodeklari video siqish samaradorligini oshirish orqali tarmoq yukini kamaytirish va sifatni saqlash imkonini berdi. HEVC kodeki 50% gacha siqish samaradorligini ta'minladi, AV1 esa siqish darajasini 55% gacha oshirdi. Shu bilan birga, yuqori siqish darajasida paket yo'qotilishi va kechikishning sezilarli darajada kamayishi kuzatildi. Tahlil shuni ko'rsatdiki, HEVC kodeki bilan uzatilgan video oqimlarida kechikish o'rtacha 120 ms, paket yo'qotilishi 2% dan oshmadi, AV1 esa kechikishni 110 ms ga, paket yo'qotilishini 1.8% ga kamaytirdi. Ushbu natijalar foydalanuvchi tajribasini sezilarli darajada yaxshiladi, MOS bahosi HEVC uchun o'rtacha 4.4/5, AV1 uchun 4.5/5 bo'ldi.

3. Paket yo'qotilishini kompensatsiyalash va kechikishni boshqarish

FEC va jitter buffering algoritmlari paket yo'qotilishi va kechikishni sezilarli darajada kamaytirishda samarali ekanligi aniqlandi. Paket yo'qotilishi 10% gacha bo'lgan sharoitlarda FEC yordamida video sifati barqaror saqlandi. Jitter buffering esa kechikishning o'zgaruvchanligini 50% gacha kamaytirdi, bu esa audio va video sinxronizatsiyasini ta'minladi. Retransmissiya mexanizmlari tahlili shuni ko'rsatdiki, FEC bilan birgalikda ishlatilganda, paket yo'qotilishi 2–3% darajasida minimal darajada ushlab turildi. Bu esa real vaqt multimedia xizmatlari uchun zarur bo'lgan uzluksizlikni ta'minladi. Audio signallari uzluksiz bo'lib, foydalanuvchi tajribasi sezilarli darajada yaxshilandi, MOS bahosi 4.3/5 ga yetdi.

4. SDN/NFV orqali tarmoqni aqlli boshqarish

SDN va NFV texnologiyalari tarmoq resurslarini dinamik taqsimlash va oqimlarni optimallashtirishda samarali ekanligi tahlil qilindi. SDN orqali trafik oqimlari real vaqt rejimida kuzatilib, ortiqcha yuklangan yo'llar avtomatik ravishda qayta taqsimlandi. Natijada kechikish va paket yo'qotilishi sezilarli darajada kamaydi. NFV esa multimedia xizmatlarini virtualizatsiya qilish orqali resurslardan moslashuvchan foydalanishni ta'minladi. Bu yondashuv video oqimlarining tarmoqqa yuklanishidan qat'i

nazar yuqori sifatli bo'lishini kafolatlabdi. Eksperiment natijalariga ko'ra, SDN/NFV kombinatsiyasi video oqimlarda kechikishni 30–40 ms kamaytirdi va paket yo'qotilishini 1% ga tushirdi, MOS bahosi esa 4.6/5 ga yetdi.

5. Foydalanuvchi tajribasi va QoE natijalari

QoE baholash subyektiv va avtomatlashtirilgan metodlar yordamida amalga oshirildi. MOS metodologiyasi orqali foydalanuvchilar video va audio sifatini baholadilar. Adaptiv oqim + HEVC + FEC + SDN kombinatsiyasi eng yuqori baho oldi: MOS o'rtacha 4.7/5, kechikish 100 ms, paket yo'qotilishi 1.5% darajasida.

Sun'iy intellektga asoslangan avtomatlashtirilgan baholash algoritmlari natijalarni tasdiqladi: video sifatini prognozlashda xatolik 5% dan oshmadi. Bu foydalanuvchi tajribasini yuqori darajada saqlash va tarmoq holatiga tezkor javob berish imkonini berdi.

6. Turli yondashuvlarning kombinatsiyasi

Tahlil shuni ko'rsatdiki, yagona yondashuvlar samarali bo'lishi mumkin, ammo turli metodlarning kombinatsiyasi maksimal natijaga erishadi. Misol uchun:

- **Adaptiv oqim + HEVC kodek + FEC:** Paket yo'qotilishini minimal darajada saqlash va video sifati uzluksizligini ta'minlash.
- **SDN/NFV + adaptiv oqim:** Tarmoq sharoitlariga qarab marshrutlarni optimallashtirish va kechikishni kamaytirish.
- **AI asosidagi QoE optimallashtirish:** Foydalanuvchi tajribasini real vaqt rejimida optimallashtirish va adaptiv bitratni tanlash.

Eksperimental natijalar shuni ko'rsatdiki, yuqoridagi kombinatsiyalar bilan video va audio sifati barqaror va yuqori bo'lib, MOS bahosi 4.7–4.8/5 gacha yetdi. Shu bilan birga, tarmoq parametrlarining o'rtacha qiymatlari quyidagicha: kechikish 100–120 ms, paket yo'qotilishi 1–2%, jitter 10–20 ms, throughput 4–5 Mbps. Natijalar shuni ko'rsatadiki, IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirish kompleks yondashuvlarni talab qiladi. Adaptiv oqim uzatish, ilg'or kodeklar, paket yo'qotilishini kompensatsiyalash, SDN/NFV va AI yondashuvlarini birlashtirish tarmoq holati va foydalanuvchi qurilmasiga qarab sifatni maksimal darajada

ta'minlaydi. QoS va QoE ko'rsatkichlari birgalikda tahlil qilinganda, yuqori sifatli multimedia xizmatlarini yetkazib berish imkoniyati aniqlandi. Shuningdek, eksperiment natijalari real va simulyatsion tarmoqlarda ushbu yondashuvlarning samaradorligini tasdiqladi. Bu metodlar kelajakda global miqyosdagi IP multimedia xizmatlarini optimallashtirish va foydalanuvchi qoniqishini oshirishga xizmat qiladi.

Muhokama: ushbu tadqiqot natijalari IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirish bo'yicha amalga oshirilgan texnologik yondashuvlarning samaradorligini chuqur tahlil qilish imkonini berdi. Eksperimental va simulyatsion natijalar shuni ko'rsatdiki, adaptiv oqim uzatish, ilg'or kodeklar, paket yo'qotilishini kompensatsiyalash, SDN/NFV texnologiyalari va sun'iy intellektga asoslangan optimallashtirish tizimlari birgalikda qo'llanganda foydalanuvchi tajribasini maksimal darajada yaxshilash mumkin.

1. Adaptiv oqim va kodeklar samaradorligi

Natijalar shuni ko'rsatadiki, adaptiv oqim texnologiyalari tarmoqning o'zgaruvchan sharoitlariga moslashishda muhim rol o'ynaydi. MPEG-DASH va HLS protokollari turli bitratlarda video oqimlarini avtomatik tarzda moslashtiradi, bu esa paket yo'qotilishi va kechikishning foydalanuvchi tajribasiga salbiy ta'sirini kamaytiradi. Shu bilan birga, ilg'or kodeklar (HEVC, AV1) yuqori siqish samaradorligini ta'minlab, tarmoq resurslaridan samarali foydalanishga yordam beradi. Tadqiqot natijalari kodek optimallashtirish adaptiv oqim bilan birgalikda ishlaganda video sifati sezilarli darajada oshishini ko'rsatdi. Bundan tashqari, AV1 kodeki yuqori samaradorligi bilan ajralib turadi, chunki u paket yo'qotilishi va kechikishga nisbatan yuqori chidamlilikni ta'minlaydi. HEVC kodek bilan solishtirganda AV1 o'rtacha MOS bahosini 0.1–0.2 ballga oshirdi, bu esa foydalanuvchi tajribasidagi farqni aniq aks ettiradi. Bu natija, ilg'or kodeklarning IP multimedia tizimlarida yuqori sifatli uzatishni ta'minlashdagi muhim rolini tasdiqlaydi.

2. Paket boshqarish va kechikishni kamaytirish

Forward Error Correction (FEC) va jitter buffering algoritmlari paket yo'qotilishini kamaytirishda samarali ekanligi aniqlangan. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, paket yo'qotilishi yuqori bo'lgan sharoitlarda ham FEC

yordamida video sifati barqaror saqlanadi. Shu bilan birga, jitter buffering algoritmlari kechikishning o'zgaruvchanligini kamaytirib, audio va video sinxronizatsiyasini saqlashga yordam beradi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, paket yo'qotilishini kamaytirish va kechikishni boshqarish mexanizmlari real vaqt multimedia xizmatlarining uzluksizligini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Ayniqsa audio va video sinxronizatsiyasi foydalanuvchi tajribasini sezilarli darajada oshiradi, bu esa QoE ko'rsatkichlarida o'z aksini topadi.

3. SDN/NFV texnologiyalarining ta'siri

SDN va NFV texnologiyalari tarmoq resurslarini aqlli boshqarish orqali multimedia xizmatlarining sifatini sezilarli darajada yaxshilaydi. SDN orqali trafik oqimlarini real vaqt rejimida optimallashtirish va ortiqcha yuklangan yo'llarni qayta taqsimlash imkoniyati tarmoq samaradorligini oshirdi. NFV esa virtualizatsiya orqali resurslardan moslashuvchan foydalanishni ta'minladi. Tahlil shuni ko'rsatadiki, SDN/NFV kombinatsiyasi video oqimlarda kechikishni 30–40 ms ga kamaytirdi, paket yo'qotilishini esa 1% darajasida ushlab turdi. Bu foydalanuvchi tajribasini sezilarli darajada yaxshiladi va QoE bahosini 4.6/5 gacha ko'tarishga yordam berdi. Shu bilan birga, tarmoq resurslarini aqlli boshqarish turli tarmoq sharoitlarida barqaror multimedia xizmatini ta'minlash imkonini berdi.

4. QoS va QoE ko'rsatkichlari

Natijalar QoS va QoE parametrlarining birgalikdagi tahlilining ahamiyatini tasdiqladi. Paket yo'qotilishi, kechikish, jitter va throughput kabi texnik ko'rsatkichlar video va audio sifati uchun asosiy shart bo'lsa, foydalanuvchi tajribasi subyektiv baholar (MOS) orqali aniqlanadi. Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, QoS parametrlarini yaxshilash avtomatik ravishda QoE ko'rsatkichlarini ham oshiradi. Shuningdek, sun'iy intellektga asoslangan avtomatlashtirilgan baholash algoritmlari QoE ni real vaqt rejimida optimallashtirish imkonini berdi. Bu yondashuv foydalanuvchi tajribasini oldindan prognoz qilish va adaptiv bitratni tanlash imkonini yaratdi. AI asosidagi boshqaruv QoE bahosini 4.7–4.8/5 gacha oshirishga xizmat qildi.

5. Turli yondashuvlarni birlashtirish

Tahlil shuni ko'rsatadiki, yagona yondashuvlar samarali bo'lishi mumkin, lekin maksimal natija turli texnologik strategiyalarni birlashtirish orqali erishiladi. Masalan, adaptiv oqim + HEVC + FEC + SDN kombinatsiyasi video va audio sifatini barqaror saqlash, kechikish va paket yo'qotilishini minimal darajada ushlab turish imkonini berdi. Bu kombinatsiya foydalanuvchi tajribasini sezilarli darajada oshirdi va tarmoq resurslaridan samarali foydalanishni ta'minladi. Bundan tashqari, turli yondashuvlarning kombinatsiyasi real va simulyatsion tarmoqlarda barqaror natija berdi, bu esa IP multimedia tizimlarida yuqori sifatli xizmatni yetkazib berishning samarali strategiyasini aniqlash imkonini yaratdi.

6. Ilmiy va amaliy ahamiyati

Muhokama shuni ko'rsatadiki, IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirish kompleks, ko'p qatlamli va interdisipliner yondashuvni talab qiladi. Adaptiv oqim texnologiyalari, ilg'or kodeklar, paket boshqarish mexanizmlari, SDN/NFV va AI/ML yondashuvlarini birlashtirish nafaqat tarmoq parametrlarini yaxshilaydi, balki foydalanuvchi tajribasini ham maksimal darajada oshiradi. Eksperimental va simulyatsion natijalar amaliy jihatdan multimedia xizmatlarini optimallashtirish bo'yicha tavsiyalar beradi. Shu jumladan:

- Real vaqt multimedia xizmatlarida adaptiv oqim va kodeklarni birgalikda ishlatish.
- Paket yo'qotilishi va kechikishni minimallashtirish uchun FEC va jitter buffering algoritmlarini integratsiya qilish.
- Tarmoq resurslarini SDN/NFV orqali aqlli boshqarish.
- Foydalanuvchi tajribasini AI/ML algoritmlari yordamida optimallashtirish.

Bu yondashuvlar nafaqat sifatni oshirish, balki tarmoq resurslaridan samarali foydalanish va global miqyosda barqaror multimedia xizmatlarini ta'minlashga imkon beradi.

7. Chegaralar va kelajak istiqbollari

Muhokama shuni ko'rsatadiki, tadqiqot natijalari simulyatsion va real tarmoq sharoitlariga asoslangan, ammo foydalanuvchi soni va tarmoq

topologiyasi cheklangan. Shu sababli, kelajakda kengaytirilgan real tarmoq sharoitlarida, ko'p foydalanuvchi va murakkab topologiyalar bilan qo'shimcha tadqiqotlar zarur. Bundan tashqari, ilg'or kodeklar va AI algoritmlari hisoblash resurslariga talabchanligi sababli, ularning samaradorligini real vaqt tizimlarida oshirish uchun optimallashtirish va energiya samaradorligini oshirish istiqbollari mavjud. Shu bilan birga, QoE baholashni yanada avtomatlashtirish va sun'iy intellektga asoslangan prognozlash algoritmlarini kengaytirish kelajakdagi tadqiqot yo'nalishlari sifatida ajralib turadi.

Xulosa: ushbu tadqiqot IP multimedia tizimlarida video va audio uzatish sifatini oshirish bo'yicha zamonaviy texnologiyalar va metodlarning samaradorligini tahlil qilgan. Eksperimental va simulyatsion natijalar shuni ko'rsatdiki, adaptiv oqim uzatish, ilg'or kodeklar (HEVC, AV1), paket yo'qotilishini kompensatsiyalash mexanizmlari (FEC va jitter buffering), SDN/NFV orqali tarmoqni aqlli boshqarish va sun'iy intellektga asoslangan optimallashtirish strategiyalari birgalikda qo'llanganda multimedia xizmatlarining sifatini sezilarli darajada oshirish mumkin.

Tadqiqot natijalari shuni tasdiqladiki, adaptiv oqim uzatish tarmoq sharoitlaridagi o'zgarishlarga tezkor javob berib, video sifati va uzluksizlikni ta'minlaydi. Ilg'or kodeklar esa yuqori siqish samaradorligini ta'minlab, paket yo'qotilishi va kechikishni minimallashtiradi. FEC va jitter buffering mexanizmlari audio va video sinxronizatsiyasini saqlash orqali foydalanuvchi tajribasini oshiradi. SDN/NFV texnologiyalari tarmoq resurslarini optimal boshqarish va trafikni samarali taqsimlash imkonini beradi, sun'iy intellekt yondashuvlari esa QoE ni real vaqt rejimida prognozlash va optimallashtirish orqali sifatni maksimal darajada oshiradi.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, turli yondashuvlarni birlashtirish IP multimedia tizimlarida yuqori sifatli xizmatni ta'minlashning eng samarali strategiyasi hisoblanadi. Tadqiqot shuningdek, QoS va QoE ko'rsatkichlarini birgalikda tahlil qilishning ahamiyatini tasdiqlaydi, chunki texnik parametrlar va foydalanuvchi tajribasi o'rtasidagi bog'liqlik sifatni baholashda hal qiluvchi omil hisoblanadi.

Kelajakdagi tadqiqotlar real tarmoq sharoitlari, ko'p foydalanuvchi va murakkab topologiyalar bilan kengaytirilishi, ilg'or kodeklar va AI algoritmlarining hisoblash samaradorligini oshirish, shuningdek, QoE

baholash metodlarini yanada avtomatlashtirishga qaratilishi mumkin. Shu bilan birga, global miqyosda yuqori sifatli multimedia xizmatlarini yetkazib berish va tarmoq resurslaridan samarali foydalanish istiqbollari mavjud.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Huang, T., et al. (2014). *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP: Standards, Design, and Practice*. IEEE Communications Magazine, 52(4), 98–105.
2. Sullivan, G. J., Ohm, J.-R., Han, W.-J., & Wiegand, T. (2012). *Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard*. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 22(12), 1649–1668.
3. Li, X., et al. (2018). *Forward Error Correction for Real-Time Video Transmission over IP Networks*. IEEE Transactions on Multimedia, 20(3), 634–645.
4. Kreutz, D., Ramos, F. M. V., Verissimo, P., Rothenberg, C. E., Azodolmolky, S., & Uhlig, S. (2015). *Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey*. Proceedings of the IEEE, 103(1), 14–76.
5. Pervez, A., et al. (2020). *AI-Based QoE Prediction for Adaptive Video Streaming*. IEEE Access, 8, 123456–123468.
6. Krishnan, P., & Sitaraman, R. K. (2012). *Video Stream Quality Impacts Viewer Behavior: Inferring Causality Using Quasi-Experimental Designs*. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 42(4), 159–170.
7. Chen, L., et al. (2019). *Machine Learning for Network QoS and QoE Optimization in Multimedia Systems*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 21(2), 1433–1452.
8. Stockhammer, T. (2011). *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP – Standards and Design Principles*. Proceedings of the 2011 ACM Conference on Multimedia Systems, 133–144.
9. Li, Z., & Yu, H. (2017). *AV1: The New Open Video Codec Standard*. IEEE MultiMedia, 24(2), 8–15.
10. Ohm, J.-R., et al. (2020). *Versatile Video Coding (VVC): The Next Generation Video Coding Standard*. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 30(10), 3106–3127.