

MULTISERVIS TARMOQLARIDA XIZMAT KO'RSATISH SIFATI

Sh. Yu. Djabbarov

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, MUT va T kafedrası dotsenti

J.A. Yusupov

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti, 2-bosqich magistranti

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada multiservis tarmoqlaridagi trafik turlari, shuningdek ularda QoSni ta'minlash usullari va muammolari ko'rib chiqildi. Xizmat ko'rsatish sifatini belgilaydigan asosiy parametrlar, shuningdek, uni baholashning mavjud usullarining afzalliklari va kamchiliklari tahlili o'tkazildi.

Kalit so'zlar: multiservis tarmog'i, paketli kechikish, jitter, QoS modeli.

Kirish. Zamonaviy multiservis tarmoqlari IP protokolidan foydalanadi va ma'lumotlar va multimedia ma'lumotlarini, xususan, video trafikni uzatishga qaratilgan. Multimedia ma'lumotlarini IP tarmog'i orqali uzatishda taqdim etilayotgan xizmatlar sifatiga ta'sir qiluvchi kechikishlar yuzaga keladi.

Sifatli xizmat ko'rsatish (QoS) ishlash talablari ular orqali olib boriladigan trafik turiga qarab belgilanadi, shuning uchun trafik tasniflanishi kerak.

Ilova traficing asosiy xususiyatlari [1]:

- ma'lumotlarni uzatish tezligining nisbiy prognozligi;
- paketning kechikishi va ularning o'zgarishiga (real vaqt trafigi, tranzaksiya trafigi, ma'lumotlar trafigiga) trafiknibg sezgirligi;
- paketlarni yo'qotish va buzilishlarga nisbatan trafik sezgirligi (ma'lumotlar yo'qolishiga sezgir/chidamli, ilovalar).

Asosiy qism. *Multimedia ma'lumotlarini paketli uzatish xususiyatlari.* Nisbatan yuqori yuklama ostida IP tarmog'i bo'ylab paketning ketish vaqtini oldindan aytish qiyin. Bu, birinchi navbatda, multimedia traficing pulsatsiyalanuvchi xarakteri bilan bog'liq. Kodlovchining chiqishida trafik pulsatsiyalari paydo bo'lishi mumkin, bu media ma'lumotlarining o'ziga xos xususiyatlari va kontentni siqish algoritmlari bilan bog'liq. Tarmoqdagi paket kechikishning o'zgarishi (paket jitteri) qanchalik katta bo'lsa, paket uzatiladigan marshrutda shuncha ko'p

marshrutizator va kommutatorlar mavjud. Paketga asoslangan tarmoqlarda mediani muvaffaqiyatli dekodlash uchun paketli jitterni yo‘q qilish kerak. Dekoderdagi jitter kompensatsiyasi jitter buferi tufayli yuzaga keladi, u qabul qilingan paketlarni sig‘imi (uzunligi) bilan belgilangan vaqt davomida xotirada saqlaydi [2]. Jitter buferining vazifasi paketlarning asl tartibini tiklashdir. Jitter buferining uzunligini qisqartirish tarmoqdagi kechiktirilgan paketlarning juda tez-tez yo‘qolishiga olib keladi va uning uzunligini oshirish qabul qilib bo‘lmaydigan darajada katta qo‘shimcha kechikishlarga olib keladi. Jitter bufer uzunligi texnik xizmat ko‘rsatish vaqtida dinamik ravishda sozlanishi mumkin.

Paketni uzatishning kechikishi IP-ulanishning umumiy uzatish kechikishiga bog‘liq va (1) formula yordamida hisoblanadi:

$$IPTD = \sum_{n=1}^{N+1} (T_{n, \text{tarqalish}} + T_{n, \text{qayta ishlash}} + T_{\text{bufer}}) \quad (1)$$

bu erda N - takrorlash uchun avtomatik so‘rov bo‘yicha qayta uzatishlar soni;

$T_{n, \text{tarqalish}}$ - n-chi uzatish liniyasi bo‘ylab signal tarqalish vaqti uchun kechikish;

$T_{n, \text{qayta ishlash}}$ - kanal bo‘ylab paketlarni uzatish uchun ishlov berishning kechikishi va aloqa liniyasi bo‘yicha n-chi uzatish uchun moslashish;

T_{bufer} - liniyali ulanish interfeysida buferlash kechikishi.

QoS bilan bog‘liq muammolarni ikki toifaga bo‘lish mumkin.

1. Tarmoqqa bog‘liq bo‘lmagan muammolar, ular quyidagilardan iborat [3].

Foydalanuvchilar kirishga harakat qilayotgan serverlarning haddan tashqari yuklanganligi. Bunday holda, QoSni yaxshilash usullari serverlarni yangilash yoki ular o‘rtasida optimal yuklama taqsimoti bilan qo‘shimcha serverlardan foydalanish hisoblanadi.

Tarmoq ishlashidagi xatolar. Masalan, dublikat IP-manzil xatolik bilan sozlangan bo‘lishi mumkin, bu esa marshrutlashda muammolarga olib keladi.

2. Tarmoq bilan bog‘liq muammolarga quyidagilar kiradi:

Qurilmalar bilan bog‘liq muammolar, ularning asosiysi marshrutizatorlar va kommutatorlarning va ularning dasturiy ta‘minotining tez eskirishidir.

Kirish tarmog‘i sig‘imining etishmasligi, bu past tezlikdagi kirish kanallari va ortiqcha yuklangan kanallarga ega bo‘lgan mijozlar tufayli yuzaga keladi.

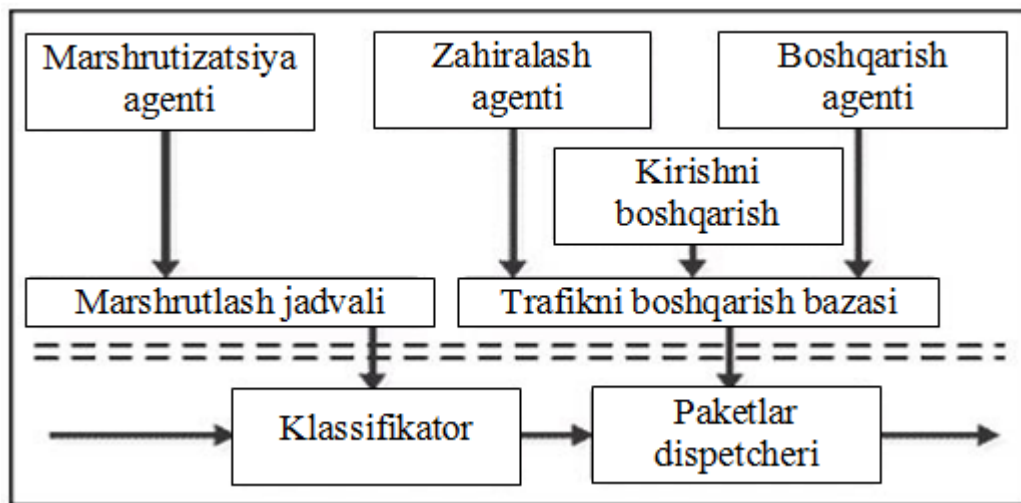
Ba‘zi kanallarning ortiqcha yuklanishi tufayli trafikning notekis taqsimlanishi. Ushbu tirband kanallar yuqori paketning kechikishi, jitter yoki paketning yo‘qolishiga olib keladi. Tarmoqdagi buning sabablari quyidagilar bo‘lishi mumkin:

- kutilmagan hodisalar (optik tolaniy uzilishi yoki qurilmaning ishdan chiqishi);

- trafik modelining o'zgartirishi, tarmoq topologiyasi va o'tkazish qobiliyatini bu qadar tez o'zgartirish mumkin emas;

- magistral tarmoqda kerakli vaqtda qo'shimcha o'tkazish qobiliyatining yo'qligi.

Kafolatlangan xizmat ko'rsatishni ta'minlash modellari. Integratsiyalashgan xizmat (Integrated Service, IntServ). Integratsiyalashgan xizmat ko'rsatish modeli xizmat ko'rsatishning oxirigacha sifatini ta'minlaydi, zarur o'tkazuvchanlikni kafolatlaydi. IntServ barcha oraliq tugunlar uchun model talablarining bajarilishini ta'minlaydigan RSVP (Resource ReSerVation Protocol) signalizatsiya protokolidan foydalanadi [1]. IntServ tuzilish sxemasi 1-rasmda ko'rsatilgan.



1-rasm. IntServ tuzilish sxemasi

IntServ modelining afzalliklari aniq belgilangan va kafolatlangan o'tkazish qobiliyatini o'z ichiga oladi, bu esa yuqori aniqlikni anglatadi. Ushbu mexanizmni boshqarish oson, chunki har bir marshrutni va har bir ulanishni kuzatish mumkin. RSVP resurslarini zahiralash protokolining o'ziga xos xususiyati uning ko'p qirraliligidir, chunki ushbu protokolni qo'llab-quvvatlaydigan har qanday dastur buyurtma so'rovlarini yuborishi mumkin. Biroq, paketli tarmoqlarda RSVPning keng qo'llanilishiga to'sqinlik qiladigan bir qator kamchiliklar mavjud [1]:

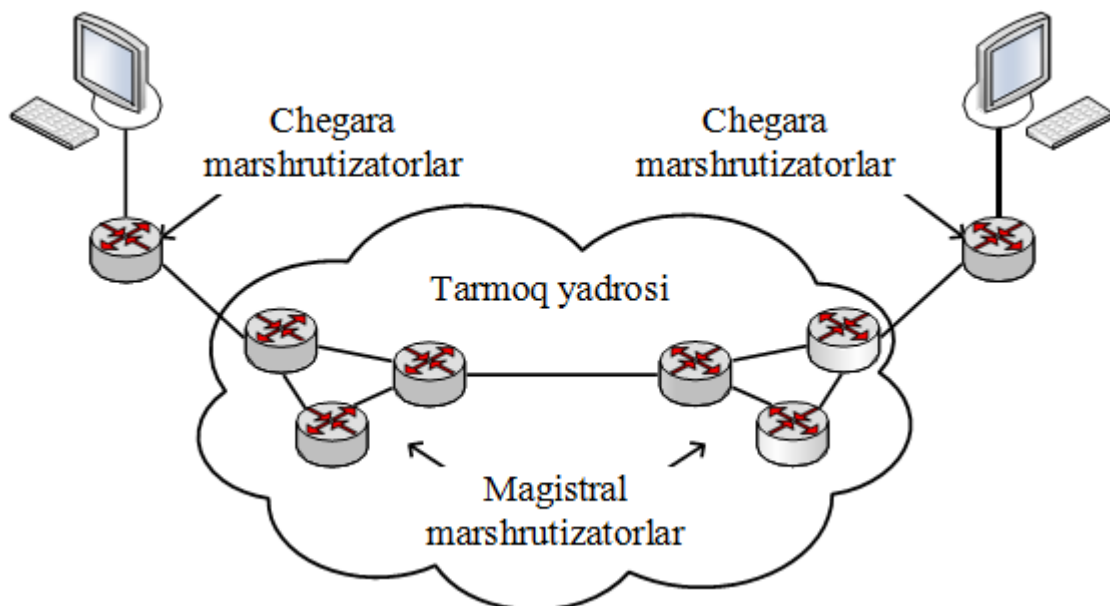
- ulanishni o'rnatish vaqtini oshirish;
- axborot oqimlarining bir qismi uchun resurslarni taqsimlashdagi nosozliklarni aniqlash;
- RSVP xizmat xabarlarini yo'qotishning oldini olishning yo'qligi;
- yuqori ustuvor oqimlar uchun zarur bo'lgan o'tkazish polosalarini bo'shatish va zahiralashning yo'qligi;
- zahiralash paytida bo'sh o'tkazish polosalaridan etarli darajada foydalanmaslik.

Differentsial xizmat (Differentiated Service, DiffServ). DiffServ arxitekturasi tegishli tarmoq hududlari (DiffServ domenlari) mavjudligini nazarda tutadi, ularning har birida paketlarni uzatish xizmatlarini tasniflash uchun yagona siyosat amalga oshiriladi. Tasniflash paket sarlavhalarini tahlil qilishga asoslangan, ammo marshrutizator ishlab chiqaruvchisi tomonidan taqdim etilgan boshqa parametrlar ham hisobga olinishi mumkin. Tasniflash natijasida har bir paketga ma'lum bir DiffServ domenida amalga oshirilgan ma'lum bir xizmat sinfining soni beriladi.

Xizmat raqamining ushbu sinfi DiffServ CodePoint (DSCP) deb ataladi. DiffServ modeliga ko'ra qurilgan tarmoqqa misoli 2-rasmda ko'rsatilgan.

DiffServning afzalliklari quyidagilardan iborat:

1. Muayyan toifadagi trafikni qayta ishlashning birligini ta'minlash.
2. Har bir axborot oqimini alohida tahlil qilish zaruratisiz barcha trafikni nisbatan kam sonli sinflarga ajratish.
3. Dastlabki ulanishni tashkil qilish va resurslarni zahiralash kerak emas.
4. Yuqori samaradorlikka ega tarmoq qurilmasiga talab yo'q.
5. Yordamchi signalizatsiya protokollarini qo'llash zaruratini bartaraf etish (ya'ni, turli ishlab chiqaruvchilarning qurimalari mosligi muammosi ahamiyatsiz).



2-rasm. DiffServ modeli bo'yicha qurilgan tarmoqqa misol

DiffServ modelining kamchiliklari quyidagilardan iborat:

1. Bir hil trafik sharoitida (masalan, faqat ovozli) ustuvorliklarni qo'llash printsipti ahamiyatsiz bo'lib qoladi va tarmoq Best Effort Service rejimida ishlay boshlaydi.

2. Shaxsiy ichki marshrutizatorlar ToS maydonidagi bitlarning qiymatlariga noaniq javob berishi yoki hatto ularni o'zgartirishi mumkin.

3. DiffServ tarmoq tirband paytlarda paketlarni tanlab tashlash orqali ishlaganligi sababli, tarmoq faolligi yuqori bo'lgan vaqtda past ustuvor ulanishlar tushishi mumkin.

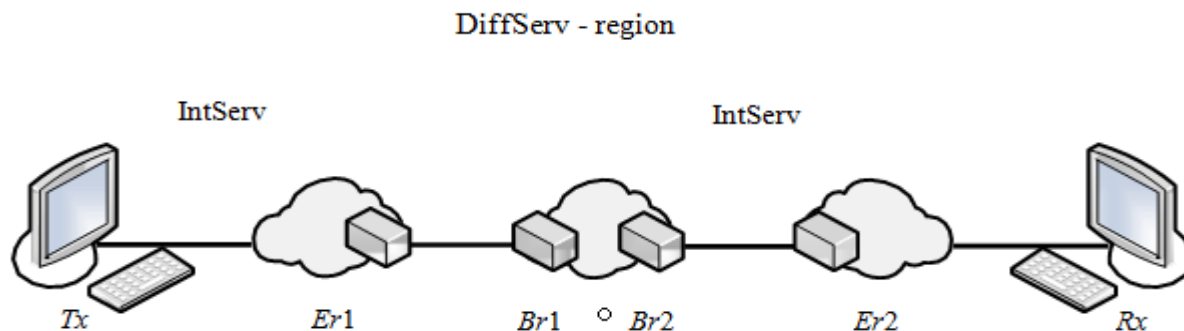
DiffServ modelining amalga oshirilishidan biri bu Multiprotocol Label Switching (MPLS) asosidagi ko'p protokollu kommutatsiya texnologiyasi bo'lib, u bugungi kunda xizmat ko'rsatish sifatini ta'minlagan holda xizmatlar ko'rsatuvchi operatorlarning yirik tarmoqlarini qurish uchun asosiylaridan biriga aylandi. Ushbu texnologiya transport tarmoqlarida paketlar kommutatsiyasini tezlashtirish uchun mo'ljallangan. Uning asosiy farqi shundaki, MPLS dastlab sifatni ta'minlash texnologiyasi emas va faqat RSVP-TE protokolidan foydalanganda shunday bo'ladi.

MPLS texnologiyasining afzalliklari:

- IP-manzil tahlili asosida marshrut tanlash;
- tezlashtirilgan kommutatsiya (jadvallarda qidirish vaqtini qisqartiradi);
- QoS, integratsiyalashgan xizmatlar va virtual xususiy tarmoqlar uchun moslashuvchan yordam;
- aniq marshrutdan samarali foydalanish;
- allaqachon o'rnatilgan ATM qurilmalaridagi investitsiyalarni saqlash;
- tarmoqning yadro va chegara maydoni o'rtasidagi funkcionallikni ajratish.

Biroq, MPLS texnologiyasini amalga oshirish, qoida tariqasida, yuqori tezlikda ishlaydigan magistralni tashkil qilish bilan bog'liq bo'lib, bu yuqori samarali qurilmalarni o'rnatishni va natijada jiddiy moliyaviy xarajatlarni talab qiladi. Paket yetkazib berishning qo'shimcha kafolati masshtablik bilan bog'liq muammolarni keltirib chiqarishi mumkin.

Integratsiyalashgan-differentsiatsiyalangan xizmat ko'rsatish. RFC2998 standarti IntServ/RSVP va DiffServ manbadan manzilga QoSni ta'minlash uchun qanday o'zaro ta'sir qilishini tasvirlaydi. Bir modelning zaif tomonlari ikkinchisining tegishli echimlari bilan qoplanadi. Bir tomondan, tarmoqning magistral qismlaridagi yomon kengaytiriladigan IntServ oddiyroq DiffServ bilan almashtirilishi mumkin. Boshqa tomondan, RSVP yordamida DiffServ tarmog'ida qabul qilingan xizmatning noaniqligi masalasi hal qilinadi. DiffServ va RSVPning o'zaro ta'siridagi asosiy muammo - RSVP orqali so'ralgan va DiffServ mintaqasida taqdim etilgan resurslarning yozishmalari (differensial xizmatlar taqdim etilishi mumkin bo'lgan DiffServ domenlarining uzluksiz ketma-ketligi). DiffServ modeli 3-rasmda ko'rsatilgan.



3-rasm. IntDifServ integratsiyalashgan-differentsiatsiyalangan xizmat modeli

QoS ta’minotining qiyosiy tavsiflari jadvalda keltirilgan

Parametr	IntServ	DiffServ	MPLS	Int-Difserv
QoSni ta’minlash usuli	Zahiralash	Ustuvorlik	Qayta marshrutlash	Zahiralash, Ustuvorlik
Qo’shimcha protokollardan foydalanish zarurati	RSVP	Yo’q	LDP, CR-LDP, RSVP	RSVP
Marshrutizatorning samaradorligiga qo’yiladigan talablar	Yuqori	Past	O’rta	O’rta
Tarmoqni masshtablash samaradorligi	Past	Yuqori	Yuqori	Yuqori
Turli ishlab chiqaruvchilarning qurilmalarini mosligi	O’rta	Yuqori	O’rta	O’rta
Sifatni ta’minlash kafolati	Yuqori	O’rta	RSVPdan foydalanish orqali yuqori	Yuqori

QoSni ta’minlashga amaliy yondashuv. QoS yondashuvi quyidagi bosqichlarni o’z ichiga oladi:

1-qadam. Zaifliklarni o’z vaqtida tuzatish. Alohida nosozlik nuqtalari, past o’tkazish qobiliyati tugunlari va konfiguratsiya xatolarini bartaraf qilish kerak. O’tkazish qobiliyatini shunday oshirish kerak, shunda hatto eng muhim yo’nalishlar va kanallarning ishdan chiqishi ham tarmoq tirband bo’lib qolishiga olib kelmasligi kerak. Interior Gateway Protocol (IGP),

Border Gateway Protocol (BGP) ko'rsatkichlari va peering siyosatlarini baholanishi va qayta konfiguratsiya qilinishi kerak.

2-qadam. Trafikni sinflarga bo'lish. Xizmatning uchta toifasi taklif etiladi [4].

Kam kechikish va past jitter bilan ishonchli xizmat ko'rsatadigan premium xizmat. Ushbu xizmat real vaqt rejimidagi trafikni (masalan, videokonferentsiya) va yo'qotishlar uchun muhim bo'lgan trafikni (masalan, tarmoqni boshqarish trafiginini) boshqarishi mumkin.

Ishonchli va bashorat qilinadigan xizmatni taqdim etuvchi kafolatlangan xizmat. Ushbu xizmat Virtual Private Networks (VPN) dan real vaqtda bo'lmagan trafikni boshqarishi mumkin.

Eng yaxshi harakat xizmati - bu real vaqt rejimida (fayl uzatish) va real vaqt rejimiga yaqin (audio, video) ilovalarni qo'llab-quvvatlash uchun samarali bo'lgan an'anaviy Internet xizmati.

3-qadam. Premium trafikni himoya qilish va trafik injiniringi. Taklif etilayotgan yondashuv xavfsizlik va injiniring uchun MPLSdan foydalanadi.

Birinchidan, tarmoqda Label Switched Path (LSP) sozlangan. Har bir kirish marshrutizatorida chiqish marshrutizatoriga nisbatan ikkita LSP bo'ladi. Bitta LSP Premium trafik uchun, ikkinchisi esa Assured va Best working trafik uchun ishlatiladi. Premium LSP paket yo'qotilishiga toqat qilmaydigan ilovalar tomonidan talab qilinadigan tez qayta marshrutlashni (himoyalangan kanal, marshrutizator yoki segment) uchun ruxsatga ega bo'ladi. Himoyalangan segmentda nosozlik yuzaga kelganda, darhol oldingi himoyalangan segmentdagi marshrutizator (himoya marshrutizatori deb ataladi) ikkinchi darajadan bildirishnoma oladi. Nosozlikni bartaraf etish uchun vaqtinchalik LSP ulanishi qo'llaniladi. Ushbu himoya 50...100 ms ichida kuchga kirishi mumkin. Tez qayta yo'nalishni o'zgartirish vaqtida LSP sifatida qabul qilingan yo'l shartli ravishda optimal bo'lishi mumkin. Buni tuzatish uchun himoya marshrutizatori kirish LSP marshrutizatoriga xabar yuboradi, u LSP uchun yangi yo'lni hisoblab chiqadi va trafikni yangi LSPga o'tkazadi. Biroq, marshrutni tez qayta o'zgartirish tarmoqni sezilarli darajada murakkablashtiradi.

Har qanday kanalda Premium trafik kontsentratsiyasini oldini olish uchun har bir kanal Premium trafik uchun qanchalik o'tkazish qobiliyatidan foydalanish mumkinligi bo'yicha yuqori chegaraga ega. O'tkazish qobiliyatining ushbu qismi ishlatilmaganda, kerak bo'lganda, u boshqa trafik sinflari tomonidan ishlatilishi mumkin.

Trafik injiniringi transportning notekis taqsimlanishidan kelib chiqadigan tirbandlikning oldini olish va tirbandlik yuzaga kelganda tezda bartaraf etish uchun amalga oshiriladi.

DiffServ asosidagi trafik injiniringini amalga oshirishdan yana bir maqsad, Premium trafikning kechikishi va jitteri past bo'lishi uchun har bir kanal uchun Premium trafik ulushini

past darajada ushlab turishdir. Agar kerak bo'lsa, Premium trafik past ustuvor trafik resurslarini egallashi mumkin, agar barcha trafik yuqori ustuvor bo'lsa, etkazib berish imkonsiz bo'ladi.

Policing, shakllantirish (shaping) va ma'lumotlarni buferlash sxemalari orqali trafikni boshqarish bilan solishtirganda, trafik injiniringi trafikni ham, tarmoq ish faoliyatini ham ancha kengroq miqyosda boshqarish imkonini beradi. Buni umumiy boshqaruv mexanizmi sifatida ko'rish mumkin.

4-qadam: Navbat va sinfga asoslangan rejalashtirish. MPLS sarlavhasining EXP (eksperimental) maydoniga asoslanib, turli sinfdagi paketlar turli navbatlarga joylashtiriladi. Navbatning ishlashi va hajmini sozlash qiyin. Mumkin bo'lgan yondashuvlardan birini ko'rib chiqaylik.

Interfeysdagi har bir navbatning kirish tezligini SNMP protokoli yordamida ushbu navbat orqali o'tadigan barcha LSPlarining stavkalarini yig'ish orqali topish mumkin. Ushbu navbatlarning chiqish tezliklari muntazam ravishda o'rnatilishi kerak (masalan, har haftada). Shuni ta'kidlash kerakki, tezlikni to'g'irlash faqat ma'lum bir interfeys orqali o'tadigan trafikning ishlashiga ta'sir qiladi.

Bundan tashqari, past ustuvor trafikning haddan tashqari yuklanishi yuqori ustuvorlikdagi trafikning ishlashiga ta'sir qilishining oldini olish muhimdir. Bu tolaning uzilishi yoki boshqa qurilmaning ishdan chiqishi tufayli o'tkazish qobiliyati yetarli bo'lmaganda foydalidir.

5-qadam. Trafik boshqaruvining boshqa sxemalarini amalga oshirish (Policing va Shaping). Mijozlarga xizmat ko'rsatish darajasi SLA foydalanuvchi yuborishi/qabul qilishi mumkin bo'lgan trafik miqdorini (kerak bo'lsa, har bir sinf uchun) belgilaydi. Biroq, Policing va Shaping sxemalari kirish qurilmalarining ishlashiga ta'sir qilishi mumkin. Bunday holda, ko'plab mijozlardan trafikni yig'ish va uni birgalikda kuzatish/cheklash alternativa mavjud.

Kanal yoki marshrutizator ishlamay qolganda, IGP, MPLS va BGP bir necha soniyadan bir necha daqiqagacha qayta sozlanishi kerak. Ushbu davr mobaynida paketlar yuqori kechikishni boshdan kechiradi yoki yoqoladi. MPLS marshrutini tez qayta o'zgartirish qayta konfiguratsiya paytida Premium trafikni himoya qilishi mumkin, bu esa tarmoqni kafolatlangan trafikdan ko'ra Premium trafik uchun qulayroq qiladi. Bundan tashqari, Premium navbat uchun yuqori chiqish va kirish tezligi nisbati Premium trafikning past kechikish va jitterga ega bo'lishiga imkon beradi. Kafolatlangan trafik Best Effort trafigiga qaraganda uch (yoki qanday qiymat belgilangan bo'lishidan qat'iy nazar) baravar ko'proq resurslardan foydalanishi mumkinligi sababli, u Best Effort trafigiga qaraganda yaxshiroq yetkazib berish shartlarini boshdan kechiradi, ayniqsa xatolik yuz berganda va kanalda yuklama ko'p bo'lganda.

Agar tugun yoki kanal ishlamay qolsa, trafik injiniringi avtomatik ravishda trafikni qayta yoʻnaltiradi va har qanday tirbandlikdan qochadi. Bu trafikning ayrim turlari uchun kechikishning biroz oshishiga olib kelishi mumkin, chunki uzoqroq yoʻl tanlanadi, lekin tarmoq qayta tiklangandan soʻng paket yoʻqotilishining oldini oladi va past jitterni taʼminlaydi.

Xulosa

Multiservis tarmoqlarida QoSni taʼminlashning asosiy muammolari, shuningdek, uni taʼminlash boʻyicha texnologiyalar va tavsiyalar koʻrib chiqildi. Xizmat sifatini belgilovchi asosiy parametrlar oʻtkazuvchanlik polosasi, paketlarni kechiktirish, jitter va paketlarni yoʻqotishdir. QoS xususiyatlarini saqlab qolish uchun trafikni uning maqsadiga qarab tasniflash kerak.

QoS texnologiyalari tahlili oʻtkazildi, shundan xulosa qilish mumkinki, ularning hech biri universal emas. Biroq, QoSning bir nechta asosiy mezonlarini ajratib koʻrsatish va qolganlarini eʼtiborsiz qoldirish kerak.

DiffServ modeli katta LAN va hududiy taqsimlangan tarmoqlarda (WAN), shuningdek provayder tarmoqlarining tutashgan joylarida, past oʻtkazuvchanlik kanallarida foydalanish uchun mos ekanligi aniqlandi, chunki bu texnologiya ustuvor oqimlar uchun otkazish polosasi nisbatan oʻsishini taʼminlaydi.

IntServ modeli cheklangan doiradagi muammolarni hal qilish uchun korporativ tarmoqlarda foydalanish uchun maqbuldir, lekin yuqori tezlikdagi magistral tarmoqlarda va Internetda foydalanish uchun mos emas. Ushbu mexanizmni boshqarish oson, ammo xizmat xabarlarini uzatishning ishonchliligi pasayadi va global tarmoqlarda qurilmaning mosligi bilan bogʻliq muammolar paydo boʻlishi mumkin.

Eng istiqbolli va muvozanatli QoS texnologiyalari MPLS RSVP-TE va Int-DiffServ hisoblanadi, chunki ular ikkala modelning eng yaxshi tomonlarini birlashtiradi. Shunday qilib, MPLSda belgili marshrutlash tufayli tarmoq resurslarini yanada moslashuvchan taqsimlash mumkin, bu esa yuqori tezlikdagi magistral yoʻllarini yaratish va mahalliy tarmoqlarni oʻzaro ulash uchun bir nechta muqobil trafikni etkazib berish yoʻllaridan foydalanish imkonini beradi. Biroq, bu texnologiyalarni amalga oshirish katta xarajatlarni talab qiladi.

Adabiyotlar roʻyxati

1. Шувалов В.П., Крук Б.И., Попантонолуло В.Н. Телекоммуникационные системы и сети. М. 2005.
2. Пуртов А.М. Системы и сети передачи данных: учебное пособие. – Омск: СибАДИ,

2010. – 100 с.

3. Васин И.Н. Технологии пакетной коммутации. Часть 2. Маршрутизация и коммутация. Учебное пособие. – Самара.: ПГУТИ, 2015. – 261 с.

4. Гольдштейн, А. Б. Транспортные сети IP/MPLS. Технология и протоколы: учебное пособие / А. Б. Гольдштейн, А. В. Никитин, А. А. Шкрыль; СПбГУТ. – СПб., 2016. – 80 с.