Značajke i analiza prometa generiranog od video aplikacija

Runje, Josipa

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:057436

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

ZNAČAJKE I ANALIZA PROMETA GENERIRANOG OD VIDEO APLIKACIJA

FEAUTURES AND ANALYSIS OF VIDEO TRAFFIC

Mentor: prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Josipa Runje

JMBG: 0177051841

Zagreb, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 28. travnja 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Tehnologija telekomunikacijskog prometa I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6297

Pristupnik: **Josipa Runje (0177051841)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Značajke i analiza prometa generiranog od video aplikacija**

Opis zadatka:

Prikazati osnovne kriterije temeljem kojih se mogu podijeliti video usluge i analizirati značajke tih usluga. Analizirati varijacije prometa od različitih video usluga kao što su video telefonija, video konferencija, daljinska prisutnost (telepresence) i video streaming. Odrediti potrebne prijenosne brzine za različite vrste usluga. Analizirati parametre kvalitete usluge i QoS (Quality of Service) mehanizme za video usluge.

Mentor:

Š. Mrvelj

prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

ANALIZA PROMETA GENERIRANOG OD VIDEO APLIKACIJA

SAŽETAK

Cilj je rada prikazati podjelu video aplikacija i analizirati njihove osnovne značajke. Ovim radom približeno je shvaćanje ponašanja prometa od različitih video aplikacija. Opisana je važnost video kompresije bez koje bi bilo skoro nemoguće prenijeti video sadržaj. Ovisno o vrsti komunikacije (jednosmjerna ili dvosmjerna) i određenim značajkama video aplikacija, prikazane su zahtijevane prijenosne brzine. Ovim radom analizirani su parametri kvalitete usluge (QoS) kao što su propusnost, kašnjenje, varijacija kašnjenja i gubitak paketa te zahtjevi koje svaka video usluga ima za njih. Kako bi se ta kvaliteta usluge mogla održati i kako ne bi došlo do zagušenja prometa potrebno je implementirati određene mehanizme.

KLJUČNE RIJEČI: video aplikacije; video kodeci; kvaliteta usluge; QoS mehanimi

SUMMARY

The goal of this work is to show video varieties and analyze the characteristics of those video applications. This work brings traffic behavior from different video aplications closer to understanding. It is describing the importance of video compression, without which it would be impossible to transmit video content. The required bandwidth is displayed, depending on the type of communication (unidirectional or bidirectional) and certain characteristics of video applications. This paper analyzes the quality of service (QoS) such as bandwidth, delay, jitter and packet loss, and the requirements that each video service has for them. In order for this quality of service to be maintained and for traffic congestion not to occur, certain mechanisms need to be implemented.

KEYWORDS: video applications; video codecs; quality of service; QoS mechanisms

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Vrste video aplikacija i njihove značajke 3
   2.1. Videotelefonija i videokonferencija 3
   2.3. Video *streaming* 5
   2.4. Video na zahtjev 7
3. Ponašanje prometa od različitih video aplikacija 9
   3.1. Video kompresija 10
   3.2. Video kodeci 11
4. Zahtjevi za prijenosnim brzinama za različite video aplikacije 13
   4.1. Videotelefonija 14
   4.2. Videokonferencija 14
   4.2. Video streaming 17
   4.3. Video na zahtjev 18
5. Analiza parametara kvalitete usluge za različite video aplikacije 20
   5.1. Parametri QoS-a 20
      5.1.1. Propusnost 20
      5.1.2. Kašnjenje 21
      5.1.2. Varijacija kašnjenja 22
      5.1.4. Gubitak paketa 23
   5.2. QoS zahtjevi za videoaplikacije 24
6. Načini osiguranja kvalitete usluge 26
   6.1. IntServ mehanizmi 26
   6.2. DiffServ mehanizmi 27
7. Zaključak 30

Popis literature 31

Popis slika 34

Popis tablica 35

1. Uvod

U posljednjih par godina, video sadržaji zauzimaju većinu ukupno generiranog prometa koji je i dalje u stalnom porastu. Korisnici koriste sve više usluga koje zahtijevaju prijenos videa. Razgovori se obavljaju preko video poziva, a sastanci preko videokonferencija. Prijenos videa strujanjem i gledanje videa na zahtjev popularan je način zabave. Zbog svoje složenosti i veličine za razliku od zvuka, bez tehnika kompresije prijenos videozapisa ne bi bio moguć. Video obično zahtijeva više ''prostora'', tj. stavlja puno veći zahtjev na širinu prijenosnog pojasa, odnosno propusnost na transportnoj mreži. Osim zahtjeva za širinom pojasa, da bi se korisnicima omogućila kvaliteta usluge na zadovoljavajućoj razini, bitno je kontrolirati i ostale parametre za kvalitetu usluge. Video aplikacije koje zahtijevaju prijenos u stvarnom vremenu kao što su videotelefonija, videokonferencija i prijenos videa uživo zahtijevaju malo kašnjenje. Gubitkom paketa može doći do gubitka bitnih informacija. Video podiže standarde iz dana u dan i zahtijeva sve veće prijenosne brzine. Sve je veći izazov garantiranja kvalitete usluge s obzirom na velike zahtjeve koje ima prema mreži.

Naslov teme ovog završnog rada je Analiza i značajke prometa generiranog od video aplikacija. Rad je podijeljen u sljedećih sedam cjelina:

1. Uvod
2. Vrste video aplikacija i njihove značajke
3. Ponašanje prometa različitih video aplikacija
4. Zahtjevi za prijenosnim brzinama za različite video aplikacije
5. Analiza parametara kvalitete usluge za različite video aplikacije
6. Načini osiguranja kvalitete usluge
7. Zaključak.

U drugom poglavlju navedene su različite podjele video aplikacije. Nakon odabira podjele, objašnjene su osnovne njihove značajke. Osim toga, objašnjene su osnovne arhitekture pojedinih aplikacija i kakve zahtjeve imaju od mreže.

U trećem poglavlju objašnjena je razlika u prijenosu zvuka i videa, zbog koje je od izrazite važnosti sažimanja video sadržaja. Opisani su načini tehnike komprimiranja videa i video kodeci koji su nužni.

U četvrtom poglavlju objašnjeno je o čemu sve ovise brzine prijenosa za video aplikacije. Uočeno je da uglavnom ovise o kvaliteti video zapisa. Analizirani su zahtjevi za prijenosnim brzinama za svaku video aplikaciju.

U petom poglavlju definirani su QoS parametari usluge i ovisno o vrsti video aplikacije, njihovi zahtjevi za kvalitetom usluge.

U šestom poglavlju definirani su načini osiguranja kvalitete usluge te su opisana dva glavna mehanizma, njihove značajke i načela po kojima rade.

2. Vrste video aplikacija i njihove značajke

Video aplikacije mogu se temeljiti na više podjela promatrajući različite karakteristike. Promatranjem video aplikacija koje se koriste isključivo u stvarnom vremenu prema izvoru [1] mogu se podijeliti na:

- videotelefoniju i videokoferenciju
- daljinska prisutnost (engl. *telepresence*)
- prijenos videa strujanjem.

Daljinska prisutnost smatra se naprednijom verzijom videokonferencija koja koristi vrhunsku tehnologiju kako bi sudionicima omogućila prijenos zvuka i videa visoke kvalitete. Koristi tehnologiju usko povezanu s virtualnom stvarnosti (engl. VR, *virtual reality*). Video kamera i mikrofon zamjenjuju odgovarajuća osjetila sudionika koji može vidjeti i čuti na udaljenoj lokaciji s gledišta prvog lica.

U izvoru [2] navedena je podjela na:

- prijenos videodatoteka Internetom
- *online* igre
- Internet video
- videokonferencija
- video na zahtjev.

Vrste video aplikacija također se mogu razlikovati po simetriji/asimetriji u prijenosu, zahtijevanoj količini kapaciteta linka, osjetljivosti na kašnjenje i varijacije kašnjenja. S obzirom na navedene razlike, u daljnjem radu analiza će se temeljiti na podjeli kako je to navedeno u izvoru [3]:

- videotelefonija i videokonferencija
- prijenos videa strujanjem
- video na zahtjev.

2.1. Videotelefonija i videokonferencija

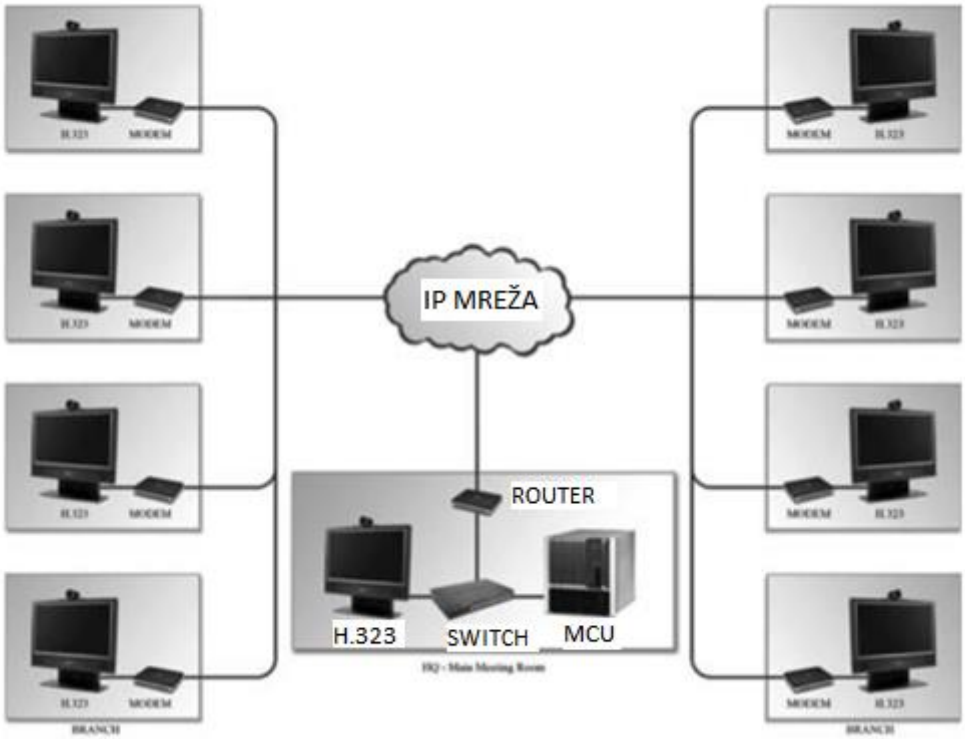
Videotelefonija je komunikacija između dva sudionika, dok videokonferencija dozvoljava komunikaciju između tri i više sudionika u isto vrijeme. Takva komunikacije kod videotelefonije može se izravno povezati s glasovnim pozivom jedan na jedan, samo što su u ovom slučaju trajanja sesije jednog videopoziva nešto dulja. Videokonferencija ima još dulje trajanje sesije jer se većinom ta usluga koristi za održavanje sastanaka ili predavanja koja traju jedan ili više sati.

Videotelefonija je izvorno zamišljena 1920-ih. Zbog velike propusnosti i zahtjeva za kašnjenjem korišteni su specijalizirani hardver i softver za kodiranje, miješanje i dekodiranje videozapisa te mrežne cijevi za distribuciju videozapisa. Videotelefonija je do nedavno imala malo uspjeha na tržištu krajnjih potrošača. Širenje uređaja za korisnike s video uređajem i postizanje bržih pristupa mreži pružili su dobar put širokoj primjeni videotelefonije. Usluge video razgovora i videokonferencija sada se nude besplatno ili po niskim cijenama krajnjim potrošačima na različitim platformama [4].

Videokonferencije mogu biti zakazani sastanci ili *ad hoc* pozivi. Internetski sustavi za videokonferencije koriste internetske račune za registraciju osoba i organiziranje veza za sastanke. Aplikacije za videokonferencije na poslovnim mrežama povezane su s mrežnim imeničkim uslugama koje uspostavljaju mrežni identitet svake osobe i mogu se međusobno pronaći po imenu. Mnoge aplikacije za videokonferencije omogućuju pozivanje između osoba imenom ili IP adresom. Neke aplikacije prikazuju poruku na zaslonu s pozivnicom za sastanak. Mrežni sustavi za konferencije kao što je WebEx generiraju identifikacijske brojeve sesija i šalju adresu web lokacije pozvanim sudionicima. Nakon povezivanja na sesiju, aplikacija za videokonferencije održava sve strane u višestranačkom pozivu. Video se može prenositi s web-kamere prijenosnog računala, kamere pametnog telefona ili vanjske USB kamere. Zvuk je obično podržan putem tehnologije VoIP (engl. *Voice over IP*). Osim dijeljenja zaslona i/ili dijeljenja videozapisa, druge uobičajene značajke videokonferencija uključuju čavrljanje, gumbe za glasovanje i prijenos datoteka [5].

Videokonferencija može biti od točke do točke (engl. *point-to-point*) i povezivati dvije različite točke bilo gdje. Druga vrsta videokonferencije je komunikacija između više točaka (engl. *multi-point*) koja se prenosi na tri ili više točaka. Može biti centralizirana ili decentralizirana.

Centralizirana videokonferencija koristi se za komunikaciju između tri ili više točaka na udaljenim lokacijama korištenjem MCU upravljačke jedinice (engl. *Multi-Point Control Unit*). To je most koji povezuje videopozive iz nekoliko izvora kao što je prikazano na slici 1 i upravlja pozivima koji se naknadno povezuju. To se obavlja tako da svi sudionici pozivaju MCU kako bi pristupili videokonferenciji ili MCU poziva sudionike videokonferencije, što znači da svi zvukovni i video podaci teku kroz njega. Zvuk se odašilje i prima prijenosom u oba smjera (engl. *full-duplex*) tako da svatko govori i čuje u isto vrijeme kao i s razgovorom uživo. Video se zatim emitira drugačije, ovisno o softveru i složenosti sustava.



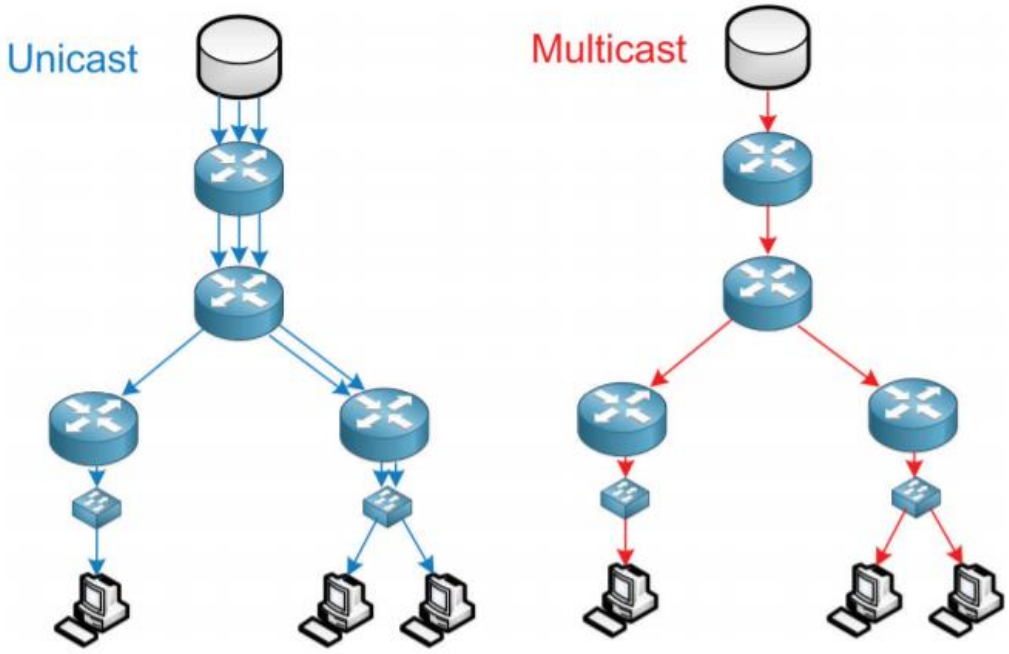
Slika 1. Arhitektura videokonferencije u IP mreži, [6]

Decentralizirana konferencija između više točaka sposobna je za konferenciju bez ikakvog MCU-a. Temelji se na standardu H.323 gdje omogućuju svakoj lokaciji razmjenu videozapisa i zvuka izravno s drugim klijentima. Ovaj pristup može pružiti kvalitetniji video zbog odsutnosti *gatekeepera* koji kontrolira pristup, kao i veću praktičnost (sudionici mogu obavljati *ad-hoc* pozive u više točaka bez obzira na dostupnost MCU-a). S druge strane, to zahtijeva povećanu propusnost mreže, jer svaka stanica izravno prenosi do svake druge stanice [7].

2.3. Video *streaming*

Prijenos videa strujanjem (engl. *vidio streaming*) predstavlja veliki dio internetskog prometa. Video strujanje kontinuirani je prijenos zvučnih i video datoteka s poslužitelja na klijenta. To se odnosi na video sadržaje koji se emitiraju u stvarnom vremenu bez prethodnog pohranjivanja kao što su TV prijenosi, prijenos videoigara i videozapisa na društvenim mrežama.

Postoje dva načina na koja se može prenositi video sadržaj strujanjem, a to je prijenos prema jednoj točki (engl. *unicast*) i prijenos prema više točaka (engl. *multicast*) kako je prikazano na slici 2.



Slika 2. *Unicast* i *multicast* prijenos, [8]

Unicast je tehnologija prijenosa prema jednoj krajnjoj točki. Jedna od prednosti ovakvog prijenosa je to što omogućava krajnjim točkama primanje video sadržaja na temelju uređaja na kojem se poslužuje i dostupne propusnosti. Za slanje videa prema više *unicast* adresa zahtijeva od pošiljatelja da podatke šalje puno puta, jednom za svakog primatelja. *Unicast* može riješiti nepredvidivost interneta kroz prilagodljivi prijenos ABR (engl. *Adaptive Bit Rate*). Jedan videozapis uživo transkodiran je u više prijenosa s različitim razinama kvalitete videozapisa. Određeni unicast prijenos može se stalno izmjenjivati između različitih razina kvalitete, ovisno o dopuštenoj propusnosti, osiguravajući da gledatelj ima nesmetan pristup [9].

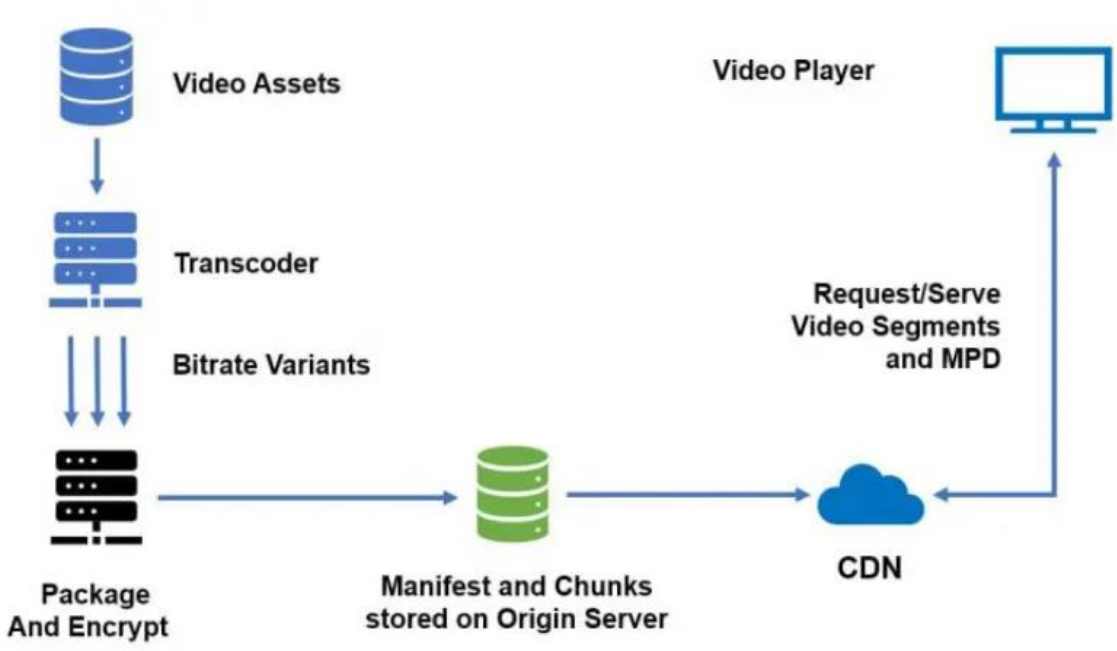
Multicast je mrežna tehnologija koja pošiljatelju omogućuje da distribuira iste podatke većem broju primatelja u isto vrijeme. Slanje prema više *multicast* adresa povezano je s grupom zainteresiranih primatelja gdje pošiljatelj šalje jedan datagram na adresu za *multicast*, a usmjerivači se brinu o izradi kopija i slanju svim primateljima koji su registrirali svoj interes za podatcima tog pošiljatelja. Kada se pravilno implementira, *multicast* stvara nevjerojatnu učinkovitost u isporuci podataka. To je dovelo do interesa za korištenjem kod prijenosa videa strujanjem. Koristeći *multicast* mogu se isporučiti video sadržaji u stvarnom vremenu koristeći dio propusnosti koja bi bila potrebna tradicionalnom *unicast* prijenosu [10].

2.4. Video na zahtjev

Video na zahtjev ili VoD (engl. *Video on Demand*) odnosi se na način konzumiranja videozapisa koji gledateljima omogućuje gledanje video sadržaja odmah, bilo kada, bilo gdje i na bilo kojem uređaju. Ime „video na zahtjev“ naglasilo je suprotstavljanje tada dominantnom televizijskom sustavu emitiranja, gdje su gledatelji morali biti ispred svog televizora u vrijeme kada je televizijski program po njihovom izboru bio zakazan. Za VoD se može reći da predstavlja bilo koji unaprijed snimljeni videozapis na Internetu koji se reproducira odmah nakon što korisnik pritisne gumb za reprodukciju. Prvotne tehnologije VoD-a funkcionirale su na način da se trebalo čekati da se preuzme cijela video datoteka, ali današnje tehnologije omogućavaju reproduciranje videa odmah i prije nego što se preuzme cijela video datoteka. Video na zahtjev suprotan je od prijenosa strujanjem gdje gledatelji svjedoče nekoj akciji u isto vrijeme kada se ona i događa (uglavnom, s nekoliko sekundi kašnjenja) jer se prijenos mora gledati kada je zakazan, dok video na zahtjev koristi prethodno snimljeni sadržaj. S obzirom na to, video prijenos uživo može se spremiti kao video datoteka i objaviti kao VoD nakon što događaj uživo završi.

VoD se prvi put pojavio početkom 90-ih. Veliko poboljšanje tehnologije video kompresije i prijenosa podataka omogućilo je distribuciju video datoteka s velikim brojem podataka putem telefonske linije. Od tada je došlo do daljnjeg razvoja kako bi se s jedne strane povećao kapacitet prijenosa podataka, a s druge strane kako bi se komprimirale video datoteke s minimalnim gubitkom kvalitete. Kao rezultat toga, davatelji usluga mogli su pružiti sve veću kvalitetu videozapisa i pouzdano iskustvo gledanja bez ikakvog međuspremnika. Danas se može uživati u kvalitetnom videu na zahtjev na mobilnim telefonima putem raznih VoD usluga, od YouTubea do plaćenih usluga poput Netflix i HBO.

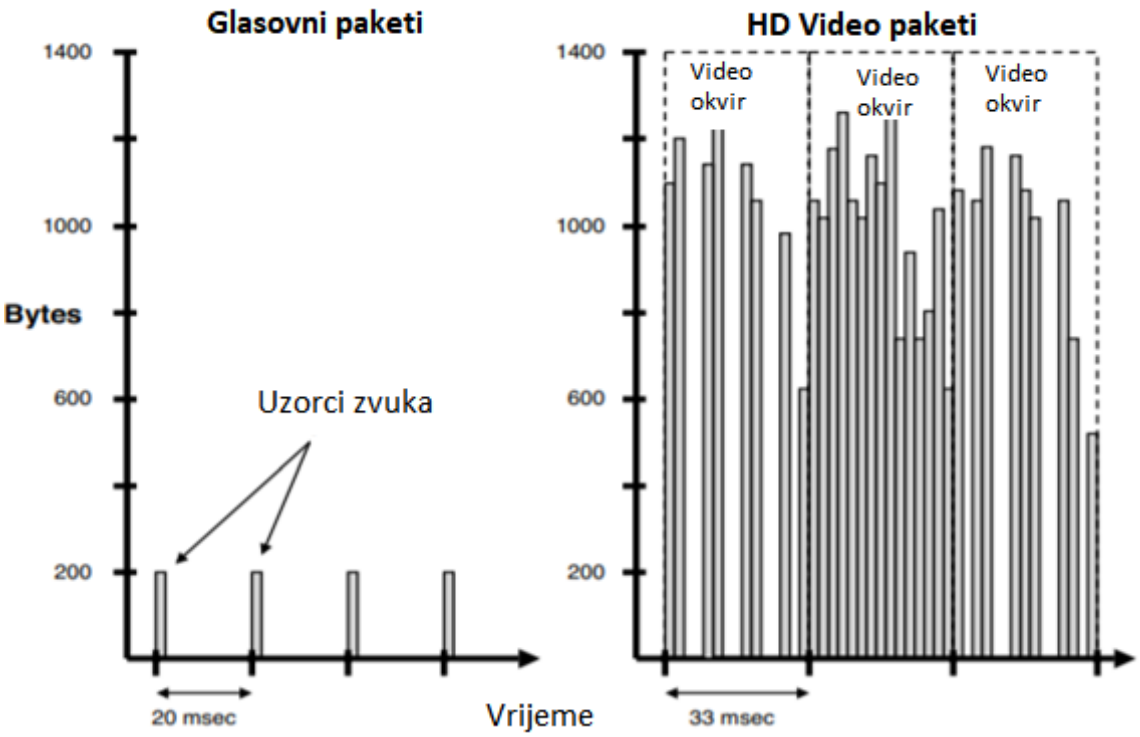
Kao što je prikazano na slici 3, video datoteka će se kodirati ili transkodirati u format koji je čitljiv od strane *video playera*, prije nego se pohrani na poslužiteljima platforme videa na zahtjev. Nakon kodiranja video datoteke se spremaju u video format koji sadrži dodatne informacije kao što su metapodaci i minijature. MP4 (engl. *MPEG-4 Part 14*) i MOV (engl. *QuickTime Movie*) neki su od najčešće korištenih video formata. Zahtjevom korisnika za reprodukcijom, komprimirana video datoteka se šifrira i prenosi putem Interneta pomoću protokola za prijenos putem mreže za isporuku sadržaja (engl. CDN, *Content Delivery Network*). Na kraju video stiže do korisničkog *video playera* gdje je dekodiran u sadržaj prihvatljiv za gledanje [11].



Slika 3. Arhitektura prijenosa VoD, [12]

3. Ponašanje prometa od različitih video aplikacija

Video aplikacije, posebno video aplikacije visoke razlučivosti, stvaraju jedinstvene izazove i zahtjeve na mreži, što se može vidjeti usporedbom glasa i videozapisa na razini paketa, kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4. Razlika prijenosa glasovnih i video paketa, [13]

Vidljivo je da se za razliku od glasovnih paketa, paketi videozapisa razlikuju i po veličini paketa i po intenzitetu paketizacije. Zato će količina poslanih video informacija stalno varirati u stupnju kompresije. Količina kompresije koja se može postići varira ovisno o samim video slikama, uključujući koliko je boja i tekstura prisutno, koliko se pokreta događa i bilo kakvo pomicanje, naginjanje i zumiranje koje može biti u funkciji.

Video kodeci koriste i prostorne i vremenske tehnike kompresije:

- prostorna kompresija komprimira slične skupine susjednih piksela unutar jednog okvira videozapisa
- vremenska kompresija komprimira slične skupine piksela iz jednog okvira videozapisa u drugi (ili nekoliko okvira videozapisa).

Kao rezultat prostornih i vremenskih tehnika kompresije, video kodeci mogu postići impresivne omjere kompresije, bez kojih ne bi bilo moguće poslati videozapis čak ni preko Gigabitnog Etherneta (GE) ili 10GE mreže [13].

Videokonferencija se odnosi na interakciju, na dvosmjernu razmjenu informacija. Kako bi učinkovito komunicirali, sudionici videokonferencije moraju biti u mogućnosti komunicirati u stvarnom vremenu ili što bliže stvarnom vremenu kao što činimo svaki dan koristeći telefon. Postavljanje videokonferencije putem Interneta predstavlja izazov, zbog slabih ograničenja na kašnjenja i varijabilnosti u prometu. Korisnici su navikli na pouzdanost tradicionalne telefonije, tako da nisu jako tolerantni na padove ili pogoršanja kvalitete tijekom poziva. Značajna obrada vrši se unutar krajnjih točaka videokonferencija kako bi se smanjilo kašnjenje procesa koji komprimiraju sirovi audio i video u tok podataka koji se može poslati preko mreže.

Video *streaming* je povezana tehnologija jer zahtijeva prijenos u stvarnom vremenu, ali se općenito koristi za jednosmjerni prijenos, a ne za interakciju. Da bi se omogućio prijenos veličine video datoteke putem Interneta, najprije je potrebno komprimirati video datoteku. To se postiže primjenom tehnika kompresije koje se temelje na istom principu: ukloniti nepotrebne informacije iz video datoteke, bilo da se radi o kretanju ili razlučivosti ili informacijama u boji [14].

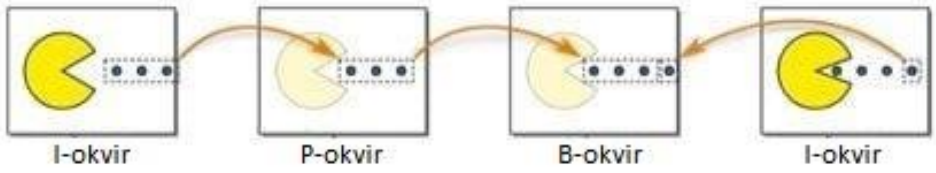
Video na zahtjev zahtijeva dvosmjerni tok, u jednom smjeru šalje sadržaj, a u drugom kontrolne informacije. Reprodukcija započinje prije dovršetka preuzimanja cijelog videozapisa. Nakon početka reprodukcije potrebno je primiti, dekodirati i prikazati novi okvir kako bi se osigurala neprekinuta reprodukcija. Ovim zahtjevom za stalnu reprodukciju uvode se vremenska ograničenja za prijenos videa, međutim unaprijed kodirani videozapis omogućuje mrežnim protokolima da unaprijed spreme video okvire znatno prije vremena reprodukcije kako bi se osigurala kontinuirana reprodukcija tijekom razdoblja zagušenja mreže kada se isporuka kodiranih video okvira preko mreže usporava [11].

3.1. Video kompresija

Kodiranje videozapisa odnosi se na postupak pretvaranja sirovog videozapisa u digitalni format kompatibilan s mnogim uređajima. Kada je riječ o prijenosu videa strujanjem, videozapisi se često komprimiraju od gigabajta do megabajta podataka. Kodiranje videozapisa ključno je za prijenos videa uživo, čime se osigurava brza isporuka i reprodukcija. Kako bi komprimirali sirovi videozapis u veličinu s kojom se može upravljati, koderi koriste video kodeke, koji primjenjuju algoritme za smanjenje velikog videozapisa za isporuku [15].

Prijenos zvuka je konstantne brzine (engl. CBR, *Constant Bit Rate*), za razliku od video prometa, sa izrazito velikim naletima prometa u određenom vremenu, koji ima varijabilnu brzinu prijenosa (engl. VBR*, Variable Bit Rate*). Zbog načina komprimiranja videa moći će se

održati brzina prijenosa. Videozapis je niz slika tj. okvira, koji se reproduciraju kako bi se dobio vizualni efekt pokreta. Tehnike kompresije koje koriste video kodeci koriste pristup cijelim okvirima. Relativna promjena iz okvira u okvir za uzorak videa je mnogo manja nego kod uzorka za zvuk. Ovisno o prirodi i stupnju pokreta, uzorci videozapisa mogu se razlikovati po veličini. Slika 5 prikazuje komprimiranje video sadržaja delta kodiranjem, koje funkcionira pohranjivanjem vrijednosti bajtova kao razliku (delta) između uzastopnih (uzoraka) vrijednosti, a ne samih vrijednosti.



Slika 5. Vrste okvira video kompresije, [1]

Za komprimiranje video sadržaja koriste se tri vrste okvira. I – okvir je intra-kodirana slika, to je potpuna samostalna slika, bez referenci na druge okvire. P – okvir, također poznat kao delta okvir, predviđena je slika koja sadrži samo promjene na slici iz prethodnog okvira. Koder ne mora pohraniti nepromjenjivu pozadinu u P – okvir, čime štedi prostor. B – okvir štedi još više prostora pomoću razlika između trenutnog okvira i prethodnih i sljedećih okvira za određivanje njegovog sadržaja. U skladu s tim video se kodira i prenosi kao uzastopni okviri koji nose samo pokretne dijelove, a ne cijele okvire [1].

3.2. Video kodeci

Standardi H.264/AVC (engl. *Advanced Video Coding*) i H.265/HEVC (engl. *High Efficiency Video Coding*) nude širok raspon mogućnosti kodiranja kako bi se prilagodili vremenu i drugim ograničenjima različitih načina video prijenosa. Opcije kodiranja mogu se fleksibilno koristiti kako bi odgovarale potrebama određenog scenarija video prijenosa. Na primjer, za prijenos videa u stvarnom vremenu, opcije kodiranja s malim kašnjenjem organiziraju ovisnosti među okvirima kako bi se omogućilo brzo kodiranje video okvira iz scene uživo i kako bi se izbjegla velika kašnjenja zbog čekanja na snimanje budućih video okvira. Takve opcije kodiranja s malim kašnjenjem neznatno smanjuju učinkovitost predviđanja I - okvira i tako neznatno smanjuju učinkovitost kodiranja. S druge strane, scenariji prijenosa s ublaženim vremenskim ograničenjima, kao što je za prijenos videa na zahtjev, mogu koristiti potpune opcije predviđanja između okvira s hijerarhijskim B - okvirima. Ukratko, nije potrebno

koristiti sve alate za kodiranje i poboljšanja tih standarda kodiranja, umjesto toga mogu se upotrebljavati samo oni alati koji su prikladni za određeni način video prijenosa [16].

Većina kodiranog izlaza danas je u obliku H.264/AVC datoteka. Ovaj široko podržani kodek može se koristiti na bilo kojem uređaju te isporučuje kvalitetne video prijenose i najčešće je korištena opcija. Međutim, nije pogodan za prijenos 4K videozapise ili sadržaje visokog dinamičnog raspona HDR (engl*. high dynamic range*), nego se bolje primjenjuje kod prijenosa s malim kašnjenjima [15].

H.265/HEVC je nedavno razvijen standard za kompresiju videozapisa. Ovaj standard kompresije razvijen je kako bi udvostručio učinkovitost kompresije prethodnog standarda H.264/AVC. Međutim, rezultati kompresije će se uvijek razlikovati ovisno o vrsti sadržaja i postavkama kodera. Velika prednost ovog standarda video kompresije je izvedena iz tehnike predviđanja pokreta. H.265/HEVC je poboljšanje u odnosu na prethodni standard uglavnom zato što može definirati veći raspon veličina blokova. Na primjer, prethodni standard definira blokove do 16×16 piksela, dok H.265/HEVC može definirati blokove do 64×64 piksela. Slično kao i H.264, novi protokol definira brojne profile (alate) i razine maksimalne brzine prijenosa i razlučivosti [17].

4. Zahtjevi za prijenosnim brzinama za različite video aplikacije

Ukupni kapacitet koji se zahtijeva između dvije točke, dijeli se između izlaznih i ulaznih tokova, što se može značajno razlikovati ovisno o vrsti video usluge. Veličina kapaciteta mjeri se u prenesenim bitovima u sekundi (bit/s). Za odrediti koliki je potrebni kapacitet za prijenos videa potrebno je znati da ovisi o rezoluciji, brzini sličica (engl. *frame rate*) i kvaliteti kompresije.

Rezolucija se u osnovi odnosi na veličinu slike izraženu brojem piksela, odnosno brojem točaka koje uređaj može prikazati, a izražava se kao broj vodoravnih točaka prema broju vertikalnih točaka. Ostali uobičajeni pojmovi za rezoluciju su format videozapisa i veličina zaslona. Najčešće korišteni formati video zapisa prikazani su u tablici 1. Velika većina opreme za video aplikacije radi u formatu CIF (eng. *Common Intermediate Format*) i 4CIF (704x576). Strana koja šalje određuje rezoluciju videa, a time i opterećenje mreže. To je neovisno o veličini monitora koji se koristi za prikaz videozapisa. Brojčana vrijednost formata predstavlja broj redaka u okviru [1].

Tablica 1. Rezolucije video formata

Format	Video rezolucija (pikseli)
SQCIF	128x96
QCIF	176x144
SCIF	256x192
SIF	352x240
CIF	352x288
DCIF	528x384
4CIF	704x576
16CIF	1408x1152

Izvor: [1]

Brzina sličica je količina pojedinačnih okvira videozapisa koje kamera snima u sekundi. Dolazi u nekoliko različitih standarda izraženih kao okviri u sekundi (engl. fps, *frames per second*): 24fps, 25fps, 30fps, 60fps i 120fps, što znači da u jednoj sekundi kamera snima 24 pojedinačna okvira, a kada se reproducira, prikazuje se kao jedan kontinuirani videozapis [18].

4.1. Videotelefonija

Videotelefonija je simetrična usluga s dvosmjernom komunikacijom. U tablici 2 prikazana je veličina zahtijevanog kapaciteta na poslužitelju i klijentu za različite smjerove (odlazni i dolazni) ovisno o kvaliteti videa. Vidljiva je simetrija u prijenosu jer je zahtijevani kapacitet u odlaznom i dolaznom smjeru jednak, što znači da je veličina sadržaja koja se prenosi od jednog korisnika prema drugom ista. Na poslužitelju je zahtijevani kapacitet duplo veći jer on poslužuje dva klijenta, dakle on prima sadržaje od dva klijenta i šalje sadržaje za dva klijenta. Kvaliteta videa odnosi se na veličinu okvira videozapisa mjerenu u pikselima. Najčešće razlučivosti videozapisa koje se koriste su:

- 854 x 480 (480p, SD, *Standard Definition*)
- 960 x 480 (480p, ED, *Enhanced Definiton*)
- 1280 x 720 (720p, HD, *High Definition*)
- 1920 x 1080 (1080p, FullHD, *Full High Definition*)
- 2560 x 1440 (1440p, WQHD, *Wide Quad High Definition*)
- 3840 x 2160 (4K ili UltraHD, *Ultra High Definition*).

Stoga se u tablici 2 može primijetiti da se povećanjem kvalitete videa zahtijevani kapacitet povećava i za poslužitelja i za klijenta.

Tablica 2. Zahtijevani kapacitet za videotelefoniju

Zahtijevani kapacitet Kbit/s	Server		Client	
	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound
SD	256	256	128	128
HQ	512	512	256	256
ED	1024	1024	512	512
HD	2048	2048	1024	1024
FullHD	4096	4096	2048	2048
WQHD	8192	8192	4096	4096
UltraHD	16384	16384	8192	8192

Izvor: [19]

4.2. Videokonferencija

Za slanje sadržaja videosesije na zajednički poslužitelj videokonferencije s točke gledišta pristupne mreže, potrebna je ista veličina kapaciteta, dok s točke gledišta temeljne mreže (engl. *backbone network*), veličina kapaciteta će biti veća prema poslužitelju videokonferencije. Određivanje zahtijevane količine kapaciteta ovisi o vrsti konferencije (simetrična, asimetrična i virtualna), broju sudionika i rezoluciji ekrana sudionika videokonferencije. Korištenjem kalkulatora za izračunavanje zahtijevanog kapaciteta usluge videokonferencije mogu se analizirati razlike ovisno o navedenoj vrsti.

Za simetričnu vrstu videokonferencije svi sudionici se mogu čuti i vidjeti. Izračun u tablici 3 napravljen je za tri sudionika čije su rezolucije ekrana 1280 x 720. Zahtijevani kapacitet na poslužitelju tri je puta veći jer on poslužuje tri klijenta. Nadalje se može vidjeti da zahtijevani kapacitet u odlaznom i dolaznom smjeru nije isti ni na poslužitelju ni na klijentu.

Tablica 3. Simetrična videokonferencija (3 klijenta, 1280 x 720)

	Server		Client	
Data flow	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound
Necessary bandwidth	3 MBit/s	1.6 MBit/s	568 KBit/s	1 MBit/s

Izvor: [19]

Povećanjem rezolucije ekrana na 1920 x 1080 u tablici 4 može se vidjeti da se povećava i zahtijevani dolazni kapacitet na klijentu koji prima sadržaj veće kvalitete, pa je tako i zahtijevani odlazni kapacitet na poslužitelju veći.

Tablica 4. Simetrična videokonferencija (3 klijenta, 1920 x 1080)

	Server		Client	
Data flow	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound
Necessary bandwidth	3 MBit/s	3.9 MBit/s	1.3 MBit/s	1 MBit/s

Izvor: [19]

Kod asimetrične vrste videokonferencije svi klijenti (sudionici) mogu vidjeti i čuti samo govornika, dok klijent (govornik) može vidjeti i čuti sve sudionike konferencije. Za rezoluciju ekrana 1920 x 1080 u tablici 5 napravljen je izračun za tri klijenta od kojih je jedan govornik, a ostala dva klijenta su sudionici. Može se vidjeti kako je zahtijevani odlazni kapacitet na poslužitelju manji od dolaznog. Razlog tome je manji zahtjev za kapacitetom od strane sudionika jer je za njega potreban prijenos sadržaja samo od govornika. Klijent (govornik) za razliku od sudionika ima duplo veći dolazni kapacitet jer se prenosi sadržaj preostala dva sudionika.

Tablica 5. Asimetričnu videokoferencija (3 sudionika, 1920 x 1080)

	Server		Client (speaker)		Client (attendees)	
Data flow	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound
Necessary bandwidth	3 MBit/s	2.6 MBit/s	1.3 MBit/s	1 MBit/s	668 KBit/s	1 MBit/s

Izvor: [19]

U tablici 6 prikazan je izračun za deset sudionika. Može se vidjeti kako zahtijevani kapaciteti za sudionike ostaju isti, dok se dolazni kapacitet za govornika povećava zbog primanja sadržaja svih devet sudionika. Znatno se povećava i zahtijevani kapacitet na strani poslužitelja.

Tablica 6. Asimetrična videokonferencija (10 sudionika, 1920 x 1080)

	Server		Client (speaker)		Client (attendees)	
Data flow	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound
Necessary bandwidth	10 MBit/s	8.3 MBit/s	2.4 MBit/s	1 MBit/s	668 KBit/s	1 MBit/s

Izvor: [19]

Virtualni sastanak vrsta je videokonferencije koja omogućava više klijenata (govornika) koji mogu vidjeti jedni druge, ali ne i ostale sudionike. Iz tablice 7 može se vidjeti za rezoluciju ekrana videokonferencije 1920 x 1080 gdje je jedan govornik, ostala dva klijenta su samo sudionici, nema zahtijevanog kapaciteta za sudionika za odlazni promet jer oni ne prenose nikakav sadržaj. Iz istog razloga je dolazni kapacitet za govornika 0 Kbit/s jer je on sam. Na poslužitelju je dolazni kapacitet 1Mbit/s jer on prima sadržaj isključivo od govornika, dok je odlazni kapacitet 1,3 Mbit/s što je potrebno da prenese sadržaj sudionicima.

Tablica 6. Virtualni sastanak (3 sudionika, 1920 x 1080)

	Server		Client (speaker)		Client (attendees)	
Data flow	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound
Necessary bandwidth	1 MBit/s	1.3 MBit/s	0 KBit/s	1 MBit/s	668 KBit/s	-

Izvor: [19]

Povećanjem broja govornika na dva, u tablici 8 može se vidjeti da se povećao odlazni kapacitet na poslužitelju zbog posluživanja dva govornika. Također se povećao zahtijevani dolazni kapacitet sudionicima jer primaju sadržaj od dvaju govornika i govornicima jer oni mogu vidjeti jedni druge.

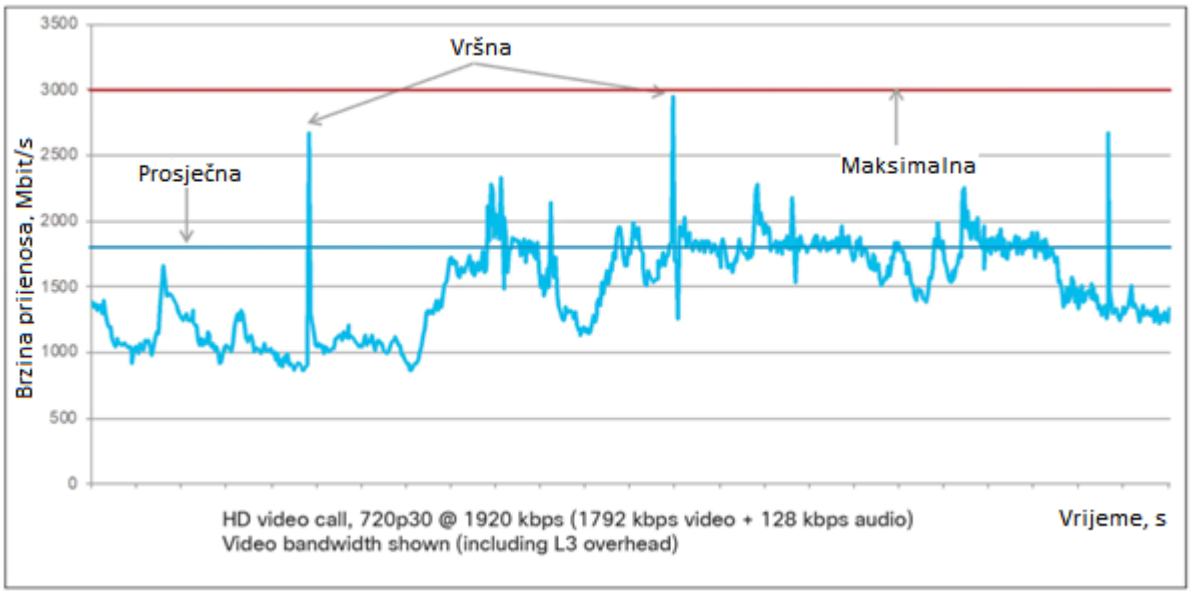
Tablica 7. Virtualni sastanak (4 sudionika, 1920 x 1080)

	Server		Client (speaker)		Client (attendees)	
Data flow	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound
Necessary bandwidth	2 MBit/s	1.3 MBit/s	668 KBit/s	1 MBit/s	1.3 MBit/s	-

Izvor: [19]

Prema [20] zahtijevani kapacitet osim o broju sudionika i veličini rezolucije može ovisiti i o načinu na koji se prikazuju sudionici videokonferencije na ekranu (podijeljeni u rešetke da se svi vide jednako ili je video govornika uvećan) i dijeljenju sadržaja sa sudionicima, tj. dijeli li se uz video razgovor još i nekakav popratni sadržaj ili ne. Za videokonferenciju u kojoj se video govornika proširi preko ekrana, dok su ostali sudionici u umanjenim okvirima, zahtijevani kapacitet će biti veći nego dok se svi podjednako vide. Dijeljenjem popratnog sadržaja povećat će se i zahtijevani dolazni kapacitet zbog dodatnog sadržaja koji će svaki sudionik primati. Također, zahtijevani kapacitet može ovisiti i o vrsti uređaja. Mobilni uređaju su učinkovitiji u očuvanju kapaciteta kada je sastanak miran, kada govornik uglavnom pomiče samo svoju glavu i kada se prijenosi sadržaja ne događaju često. Mobiteli i tableti obično troše oko 80 kbit/s u neaktivnom sastanku. Zahtijevane brzine prijenosa rastu kod dinamičnijih sastanaka s čestim promjenama sadržaja.

Zahtijevani kapacitet prijenosa može se obuhvatiti u tri kategorije brzine prijenosa. Prva je kategorija prosječna brzina prijenosa, koja je prosjek tijekom vremena sastanka, za sudionika sastanka. Druga je kategorija vršna brzina koja predstavlja velike nalete brzina prijenosa u istom vremenskom razdoblju za sudionika. Treća, maksimalna, predstavlja maksimalnu brzinu prijenosa koju uređaj može podnijeti zbog ograničenja uređaja ili konfiguracije uređaja. Na slici 6 prikazan je zahtijevani kapacitet za videokonferenciju u HD rezoluciji s naznačenim kategorijama.



Slika 6. Zahtijevani kapacitet za HD videokonferenciju, [20]

4.2. Video streaming

Prijenos videa strujanjem zahtjeva puno veći kapacitet za prijenos od većine drugih medijskih formata i postoji niz čimbenika koji utječu na to koliko je potrebno. Brzina prijenosa ovisi o kvaliteti videa i sadržaju slike. Što je veća kvaliteta videa, to više piksela sadrži slika i veća je brzina prijenosa. Sadržaj videa također čini razliku. Ako se prenosi čitanje dnevnika gdje je govornik ispred nepomične pozadine, potrebna je manja brzina prijenosa nego za prijenos videa s puno pokreta kao što je nogometna utakmica. Stoga će ovisno o tome trebati različite brzine za prijenos videa iste kvalitete. U tablici 9 može se vidjeti kako za istu kvalitetu videa u FullHD-u za sadržaj u kojem je mirnija slika je brzina prijenosa 2 Mbit/s, dok za sadržaj s pokretom je 5 Mbit/s.

Tablica 8. Zahtijevana brzina prijenosa ovisno o sadržaju

Kvaliteta videa	Rezolucija	Brzina prijenosa, Mbit/s
Srednja	360p	0,5
Dobra (za miran sadržaj)	360p	1
Dobra (za sadržaj s pokretom) u HD-u	720p	2-3
Dobra (za miran sadržaj) u FullHD-u	1080p	2
Dobra (za sadržaj s okretom) u FullHD-u	1080p	5

Izvor [21]

Preporučane brzine prijenosa od strane platformi za prijenos videa strujanjem uživo variraju ovisno o poslužiteljima i ovisno o tome radi li se o *uploadu* videa na platformu ili samo *downloadu* tj. reproduciranju videa na platformu. Također, kao što se može primijetiti u tablici 10, YouTube ima veliku oscilaciju u zahtjevu za brzinom. To je zato što se može prenositi video u više različitih kvaliteta videa. Za najnižu kvalitetu od 360p potrebna je brzina od 1 Mb/s, dok je za 4K Ultra HD potrebna brzina od 51 Mb/s za *upload*. Facebook preporučuje brzinu prijenos od 4 Mb/s za *upload*, a 5Mb/s za *download*. On ima maksimalnu kvalitetu videa od 1080p, tako da su njegovi zahtjevi za maksimalnom brzinom manji od onih na platformi YouTube.

Tablica 9. Zahtijevane brzine prijenosa ovisno o platformama

Platforma	Upload, Mbit/s	Download, Mbit/s
Twitch	3-6	4-6
YouTube Live	1-51	1-15
Facebook Live	4	5

Izvor: [22]

4.3. Video na zahtjev

Zahtjevi za prijenosnim brzinama za usluge videa na zahtjev uglavnom ovise o kvaliteti videa i platformi kao i kod prijenosa videa strujanjem. U tablici 11 se može vidjeti kako brzina prijenosa s platforme Netflix u potpunosti ovisi o kvaliteti videozapisa. Korisnik koji želi gledati videozapis SD kvalitete zahtijeva prijenosnu brzinu od 3 Mbit/s, za gledanje u HD-u 5 Mbit/s,

a za UltraHD će biti potrebno 25 Mbit/s. Prema Netflixu potrebno je samo 0,5 Mbit/s za pokretanje videa na zahtjev, ali sve ispod 1,5 Mbit/s će dovesti do loše kvalitete videozapisa.

Tablica 10. Zahtijevane brzine prijenosa za Netflix

Kvaliteta videa	Brzina prijenosa, Mbit/s
Minimalni zahtjevi	0,5
Preporučena brzina	1,5
SD	3
HD	5
UltraHD	25

Izvor: [23]

YouTube je definirao svoje zatjevane prijenosne brzine ovisno o kvaliteti videa vrlo slično kao i Netflix što se može vidjeti u tablici 12. Za prijenos videa SD kvalitete korisnik zahtjeva od 0,5 do 1,1 Mbit/s, za HD od 2,5 do 5 Mbit/s, a za prijenos u UltraHD-u ili 4K će zahtjevati 20 Mbit/s što je nešto manje od Netflixa za prijenos iste kvalitete videa.

Tablica 11. Zahtijevane brzine prijenosa za YouTube

Kvaliteta videa	Brzina prijenosa, Mbit/s
SD 360p	0,7
SD 480p	1,1
HD 720p	2,5
HD 1080p	5
4K	20

Izvor: [23]

5. Analiza parametara kvalitete usluge za različite video aplikacije

Kvaliteta usluge ili QoS (engl. *Quality of service)* opisana je pojmovima, kao što su parametri, mjere i upravljački mehanizmi, predstavlja bitne elemente pružanja bilo koje usluge. Općenito se može reći da kvaliteta usluge ovisi o zahtjevima, koji se opisuju značajkama, a koji se nadalje preslikavaju i predstavljaju parametre QoS-a, čije se vrijednosti mogu mjeriti. QoS se odnosi na skup performansi koje određuju stupanj zadovoljstva korisnika uslugom. Kako bi se smanjio gubitak paketa, kašnjenje i kolebanje kašnjenja na mreži QoS mehanizmi kontroliraju i upravljaju mrežnim resursima postavljanjem prioriteta za određene vrste podataka na mreži. Koristi se kako bi se zadovoljili prometni zahtjevi osjetljivih aplikacija, kao što su glas i videozapis u stvarnom vremenu, te spriječile degradaciju kvalitete. Za mnoge organizacije QoS je uključen u ugovor o kvaliteti usluge ili SLA (engl. *Service Level Agreement*) sa svojim davateljem mrežnih usluga kako bi se zajamčila određena razina mrežnih performansi [24].

5.1. Parametri QoS-a

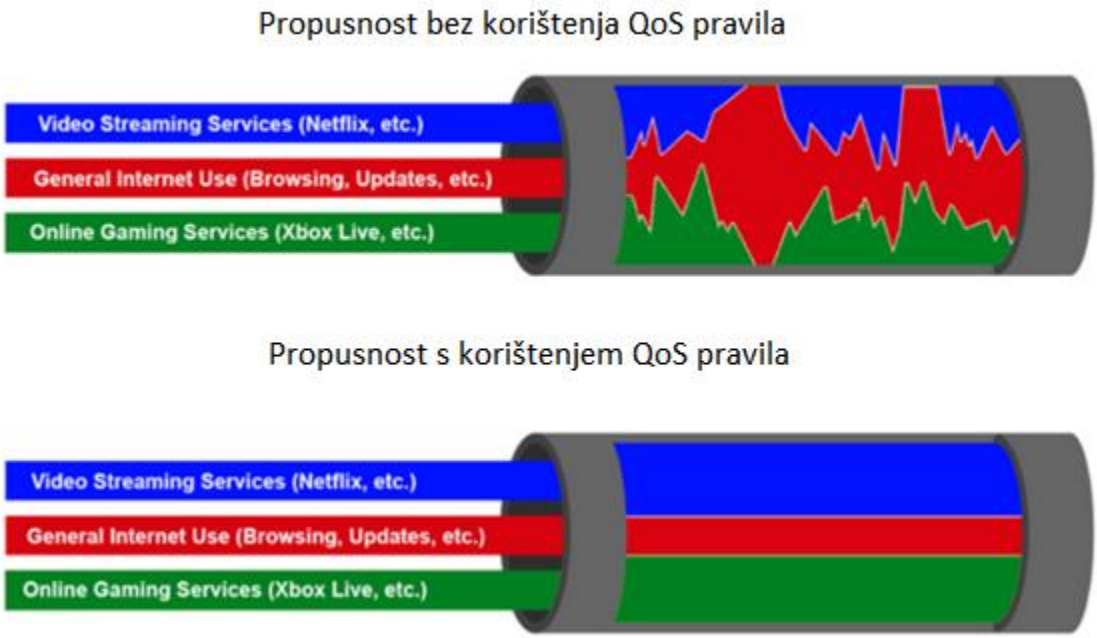
Različiti zahtjevi koji se odnose na rukovanje prometom u mreži dolaze od različitih aplikacija i prometa kojeg one generiraju. Uglavnom se zahtijeva da mreža bude sposobna prenositi promet onom brzinom kojom se promet i generira. Aplikacije mogu biti više ili manje tolerantne na kašnjenje i varijaciju kašnjenja u mreži. Određene aplikacije mogu tolerirati određeni stupanj gubitka prometa, dok druge ne mogu. Zahtjevi aplikacija su izraženi odgovarajućim QoS parametrima [25]:

- propusnost
- kašnjenje
- varijacija kašnjenja
- gubitak paketa.

5.1.1. Propusnost

Propusnost je sposobnost komunikacijske mreže za prijenosom maksimalne količine podataka iz jedne točke u drugu točku u određenom vremenskom periodu. Ta je količina izražena brojem prenesenih bita u sekundi. Video aplikacije zahtijevaju veću propusnost zbog svoje veličine. Razvijene tehnike za upravljanje QoS-om optimiziraju mrežne performanse upravljanjem propusnošću i davanjem visokog prioriteta aplikacijama s većim zahtjevima

performansi, više resursa od drugih. Stoga se na slici 6 može vidjeti kako su takvim aplikacijama omogućeni veći kapaciteti kako bi postigli što bolju propusnost.



Slika 7. Zauzimanje kapaciteta od različitih aplikacija, [26]

5.1.2. Kašnjenje

Kašnjenje označava koliko je vremena potrebno paketu da doputuje s jedne određene točke na drugu. Kašnjenje se može mjeriti određivanje vremena kružnog putovanja (engl. RTT, *Round trip time*) za putovanje paketa na odredište i natrag. Veliko kašnjenje može dramatično povećati vrijeme učitavanje, prekid i učiniti aplikaciju neupotrebljivom. Nekoliko čimbenika doprinosi kašnjenju u višeuslužnim mrežama [27]:

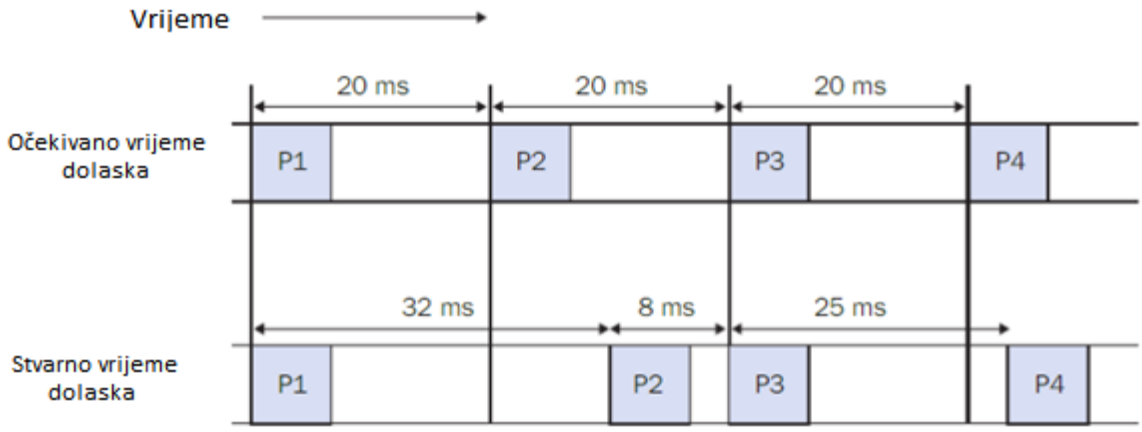
- Kašnjenje zbog paketizacije i depaketizacije vrijeme je potrebno krajnjim točkama ili čvorovima za stvaranje paketa. Kašnjenja postoje i na izvorišnoj i na odredišnoj krajnjoj točki. Na izvorišnoj krajnjoj točki kašnjenje varira ovisno o vremenu potrebnom za popunjavanje paketa podacima, a na odredišnoj krajnjoj točki zaglavlja se uklanjaju i dalje obrađuju.
- Kašnjenje zbog serijalizacije vrijeme je potrebno za prenošenje digitalnih podataka na fizičku vezu. Korištena tehnologija povezivanja i metoda pristupa imaju utjecaja na ovu vrstu kašnjenja.
- Kašnjenje zbog propagacije vrijeme je potrebno električnom (ili svjetlosnom) signalu da prođe dužinu vodiča. Brzina električnih signala kroz vodič uvijek je

manja od brzine svjetlosti te će zbog toga uvijek doći do propagacijskog kašnjenja, međutim to je problem samo za signale koji moraju prijeći veliku udaljenost.

- Kašnjenje zbog čekanja u međuspremnicima rutera vrijeme je kada paket ostaje u međuspremniku mrežnog elementa dok čeka prijenos. Ta komponenta kašnjenja varira ovisno o opterećenju mrežnog prometa. Upravitelji mreže mogu konfigurirati vrijeme čekanja u međuspemniku rutera prije prijenosa te izdvojiti odgovarajuću propusnost i resurse. Redovi čekanja koji se ne poslužuju dovoljno brzo i koji smiju narasti preveliki, rezultirat će većim kašnjenjem.
- Kašnjenje zbog usmjeravanja u čvorovima vrijeme je potrebno mrežnom uređaju (usmjerivač, preklopnik, vatrozid i dr.) da pohrani paket u međuspremnik i donese odluku o daljnjem prosljeđivanju paketa. Ovisi o funkciji i arhitekturi mrežnih uređaja. Ako se paket mora zbog obrade dulje pohranjivati, nastaje veće kašnjenje.

5.1.2. Varijacija kašnjenja

Varijacija kašnjenja (engl. *jitter*) vremenska je razlika između očekivanog vremena dolaska paketa i njegovog stvarnog dolaska. Drugim riječima, kod nekih aplikacija s obzirom na konstantni razmak u dolasku paketa, primjerice svakih 20 ms, očekuje se da će novi paket stići svakih 20 ms. Kao što pokazuje slika 8 to nije uvijek slučaj. Na slici paket (P1) i paket (P3) stižu kada se očekuje, ali paket (P2) stiže 12ms kasnije od očekivanog, a paket (P4) kasni 5ms.



Slika 8. Primjer varijacije kašnjenja, [27]

Najčešći uzrok varijacije kašnjenja su varijacije čekanja u međuspremnicima koje proizlaze iz stalnih promjena u opterećenjima mrežnog prometa. Ako paketi dolaze

nepravilnim redoslijedom zbog varijacije kašnjenja, pristupnik (engl. *gateway*) će ih moći odbaciti. Velikim odbacivanjem paketa nastaju praznine u prijenosu i to stvara veliki problem za aplikacije koje su osjetljive na varijaciju kašnjenja [27].

5.1.4. Gubitak paketa

Gubitak paketa količina je paketa koja nije stigla na odredište. Uspjeh QoS-a ovisi o ovom faktoru. Gubitak paketa može nastati iz više razloga, a u nekim je slučajevima neizbježan. Tijekom zagušenja mreže usmjerivači i prespojnici mogu zagušiti redove čekanja u međuspemnicima i odbaciti pakete.

Gubitak paketa za video aplikacije koje nisu u stvarnom vremenu nepoželjan je, ali nije kritičan, s obzirom na to da je protokoli koje koriste te aplikacije za prijenos, obično TCP (engl. *Transmission Control Protocol*). TCP je konekcijski orijentiran protokol, koji prenosi pakete i dobiva potvrdu o prijenosu tako da jamči isporuku. Također prilagođava brzinu prijenosa prema mogućnostima mreže, ako se propusnost, gubitak paketa i kašnjenje pogoršaju, smanjit će brzinu i obratno. Ako se tijekom prijenosa izgubi paket, on se na kraju ponovno šalje. TCP postupno povećava količinu podataka koje šalje dok veza ne postane zagušena. Prvo počinje sporo i šalje sve više podataka sve većom brzinom. U fazi izbjegavanja zagušenja, kako bi se izbjeglo zagušenje, postupno se povećavaju podaci. U završnoj fazi prilagođava podatke brzini koju prijemnik može udobno obraditi, poznatu kao stanje stabilnosti. Izgubljeni paket neće se moći potvrditi, pa TCP pretpostavlja da je prebrzo poslao podatke i ponovno započinje sporo slanje. Kad se ispusti i drugi paket, prijenos se ponovno prekida. Ako su gubitci uzastopni, brzina slanja će se pasti na to da se u isto vrijeme šalje samo jedan paket. Dakle, je TCP osjetljiv na gubitak paketa, kašnjenje i propusnost.

Kada za video aplikacije koje zahtijevaju prijenos u stvarnom vremenu dođe do gubitka paketa, performanse prijenosa će se jako pogoršati jer će TCP protokol biti zauzet ponovnim prijenosom izgubljenih paketa. To će rezultirati kašnjenjem za onim što se prenosi uživo. Dok sa UDP (engl. *User Datagram Protocol*) protokolom gubitak paketa neće dovesti do kašnjenja kako bi se dohvatio izgubljeni paket. UDP je protokol transportnog sloja koji ne zahtijeva konekciju. On ne zna hoće li paketi uspješno stići ili ne. UDP identificira proces slanja i primanja pomoću broja *porta*, radi provjeru pogreške u zaglavlju UDP-a i bilježi je. Dakle ne omogućuje nikakva sredstva za ponovno slanje izgubljenog paketa. Kvaliteta videozapisa će se pogoršati ovisno o tome koliki je gubitak bio, ali tempo videozapisa će ostati usklađen sa stvarnim prijenosom uživo. UDP sam po sebi ne pruža mnoge značajke koje TCP radi, ali spajanjem s drugim protokolom može postići neke značajke kao i TCP. U videokonferencijama neke značajke TCP-a dodaju se umetanjem RTP (engl. *Real-time Transport Protocol*) protokola. Umetanjem zaglavlja RTP-a u UDP dodat će se vremenske oznake, identifikator zvuka ili videozapisa i omogućit će RTCP (engl. *RTP Control*) protokolu da prijavi gubitak. Dakle, UDP

može biti vrlo osjetljiv na gubitak paketa ako ih se izgubi nekoliko uzastopnih. Ali u slučaju videa gdje je potrebno puno paketa da bi se obojao jedan okvir, kvaliteta videa može se smanjiti i to postaje vidljivo u obliku malih kvadratića drugačije obojanih jer paket nije stigao kako bi ga pravilno obojio. Stoga UDP zajedno s drugim protokolima kao što su RTP može pružiti bolju kvalitetu video strujanja [28].

5.2. QoS zahtjevi za videoaplikacije

Kada su mreže prenosile samo podatke, brzina nije bila pretjerano velika. Ali sada, interaktivne aplikacije koje nose zvučni i video sadržaj moraju se isporučiti velikom brzinom, bez gubitka paketa ili varijacija u brzini isporuke. QoS je posebno važan kako bi se osigurale visoke performanse aplikacija koje zahtijevaju visoku propusnost za promet u stvarnom vremenu. Na primjer, pomaže tvrtkama da daju prednost izvedbi neelastičnih aplikacija koje često imaju minimalne zahtjeve za propusnosti, maksimalna ograničenja kašnjenja i visoku osjetljivost na varijaciju kašnjenja i kašnjenje, kao što su videokonferencije. Sprječava kašnjenje tih osjetljivih aplikacija, osiguravajući da obavljaju uslugu do razine koju korisnici zahtijevaju. Na primjer, izgubljeni paketi mogu uzrokovati kašnjenje prijenosa, što rezultira kvalitetom zvuka i videozapisa videokonferencijskog poziva koji postaje nerazumljiv [29].

Videotelefonija kao i videokonferecija zahtijeva dvosmjerni komunikacijski sustav, koji nosi i video i zvuk, a namijenjen je konverzacijskom okruženju i uključuje G.711 audio kodek za glas. Stoga će se primjenjivati isti zahtjevi za kašnjenjem kao kod prijenosa govora, odnosno bez jeke, minimalnog negativnog učinka na dinamiku razgovora, uz dodatni zahtjev da se zvuk i videozapis moraju sinkronizirati u određenim granicama kako se osigurao *lip-sync* (sinkronizacija usana govornika s riječima koje krajnji korisnik čuje). Kašnjenje bi trebalo svesti na apsolutni minimum, a budući da se promet šalje preko UDP protokola, mreža bi trebala dati sve od sebe kako bi te datagrame isporučila uz najmanji mogući gubitak paketa. Gubitak paketa ima najznačajniji utjecaj na integritet toka videokonferencije te s gubitkom paketa od pola posto uzrokuje raspad slike, pikselizaciju ili blokiranje. Visoka latencija paketa dovodi do teže interakcije za sudionike konferencije, ali rijetko će uzrokovati značajne probleme. Posvećivanje potrebne propusnosti za videokonferencije pomoći će smanjiti mogućnost kašnjenja i gubitka paketa. Često kada zahtijevana propusnost mreže dosegne maksimum kapaciteta, mogu se implementirati mehanizmi kvalitete usluge kako bi se učinkovito rezervirala propusnost za promet videokonferencija. Ljudsko oko tolerantno je na neki gubitak informacija, tako da je neki stupanj gubitka paketa prihvatljiv. Očekuje se da će se video kodeci visokih performansi pružiti prihvatljivu kvalitetu videozapisa s FER-om (engl. *Frame Erasure Rate*) do oko 1%. Izgubljeno vrijeme tijekom videopoziva može se brzo nakupiti jer se svaka izgubljena minuta odnosi na sve sudionike konferencije. Samo pet minuta izgubljenih na pozivu za 10 osoba znači 50 minuta izgubljenog vremena. Videokonferencije također dolaze

sa značajnim zahtjevima za propusnošću. Čak i uz snažne resurse u oblaku, poduzeća su često pritisnuta kako bi osigurala da QoS politike mogu zadržati propusnost dostupnom i prilagoditi se promjenjivim okolnostima, [30]. Prema [31], zahtijevana brzina prijenosa po zaslonu bi trebala biti najmanje 2 Mbit/s. Preferirano kašnjenje od kraja do kraja (engl. *end-to-end*) u jednom smjeru je 150 ms, a granica je 400 ms, dok je granica za *lip-sync* 100 ms. Kako bi videokonferencija dobro funkcionirala varijacija kašnjenja bi se trebala kretat u rasponu od 10m ms do 30 ms.

Aplikacije video strujanja imaju blaže QoS zahtjeve jer nisu osjetljive na kašnjenje i uglavnom nisu osjetljive na varijaciju kašnjenja. Dopušteno je imati određeno vrijeme kašnjenja između snimanja događaja uživo i reprodukcije videozapisa na prijemnicima, kako bi se prilagodilo kodiranju videozapisa, mrežnom prijenosu i dekodiranju Međutim, mogu sadržavati vrijedan sadržaj, kao što su aplikacije za e-učenje te u tom slučaju moraju jamčiti zahtijevanu uslugu. Zahtjevi dijeljenja videa strujanjem preporučuju sljedeće smjernice:

- gubitak ne bi trebao biti veći od 5 posto
- latencija ne smije biti veća od 4 do 5 sekundi (ovisno o mogućnostim međuspremnika video aplikacije)
- nema značajnijih zahtjeva za varijacijom kašnjenja
- zahtjevi zajamčene propusnosti ovise o formatu kodiranja i brzini video strujanja
- video strujanje obično je jednosmjerno stoga usmjerivači možda neće zahtijevati dodjelu resursa za dijeljenje na svojim WAN (engl. *Wide Area Network*) ili VPN (engl. *Virtual Private Network*) rubovima.

Kod videa na zahtjev ukupna količina podataka za slanje videozapisa ograničena je propusnosti koja se dodjeljuje za pristupnu mrežu, a svako povećanje potražnje za propusnošću koje nadilazi maksimalni kapacitet veze rezultirat će gubitkom video paketa. Gubitak paketa može predstavljati jednu neprimjetnu točku dijela videa ili veliki period degradirane ili nedostupne slike. U mreži temeljenoj na paketima uobičajeno je da ruta za prijenos paketa nije uvijek ista i da paketi mogu stići u različito vrijeme i izvan reda. RTP protokol omogućuje dolazak paketa u različito vrijeme. Budući da svaki RTP paket ima redni broj, sve dok kašnjenje ne prelazi veličinu međuspremnika dekodera primatelja, paket se može obraditi i staviti u pravi položaj za dekodiranje. Međutim, ako kašnjenje premašuje međuspremnik, paket se ispušta i smatra izgubljenim. Broj izgubljenih paketa treba biti manji od 10^{-6}, tako da je zahtijevano vrijeme kašnjenja 150 ms, a za varijaciju kašnjenja do 50 ms. Zahtijevana propusnost za standardnu kvalitetu rezolucije je 2,75 Mbit/s, dok je za visoku kvalitetu razlučivosti potrebna veća propusnost od 9 Mbit/s [32].

6. Načini osiguranja kvalitete usluge

Best effort usluga predstavlja najjednostavniji tip usluge koju Internet može ponuditi. Kada dođe do zagušenja, paketi se jednostavno odbacuju. Obzirom da se svi paketi tretiraju kao jednaki, zagušenje se može dogoditi na bilo kojem prometnom toku. Iako se *best effort* usluga može primijeniti na aplikacije koje mogu tolerirati velika kašnjenja i gubitak paketa, kao što su e-mail i prijenos podataka, ne zadovoljava zahtjeve aplikacija koje su osjetljive na QoS parametre kao što su videokonferencija, VoD i video strujanje.

QoS je sve važniji jer se zahtjevi za mrežnim performansama prilagođavaju sve većem broju ljudi koji ih koriste. Najnovije aplikacije i usluge zahtijevaju ogromne količine propusnosti i mrežnih performansi, a korisnici zahtijevaju da u svakom trenutku nude visoke performanse. Stoga se trebaju implementirati tehnike i tehnologije koje osiguravaju najbolju moguću uslugu. Za QoS zahtjeve su se razvila dva nova mehanizma *IntServ* (engl. *Integrated Services*) i *DiffServ* (engl. *Differentiated Services*), gdje *IntServ* omogućava rezervaciju resursa za prometne tokove određenih aplikacija, a *DiffServ* koriste kombinaciju klasifikacije prometa i prioritizaciju [29].

6.1. *IntServ* mehanizmi

Iako su problemi sa *best effort* uslugom bili već prepoznati, pravi razvoj došao je ranih 1990-ih nakon eksperimenata na videokonferenciji. Aplikacije koje se prenose u stvarnom vremenu kao što je videokonferencija osjetljive su na točnost dolazaka paketa te ne rade dobro na Internetu, gdje su kašnjenja nepredvidiva. Takvi zahtjevi za kašnjenjem i varijacijom kašnjenja zahtijevaju novu vrstu usluge koja će ih moći osigurati [33].

IntServ arhitektura temelji se na rezervaciji mrežnih resursa za pojedini tok. Aplikacija ima ulogu okarakterizirati izvor prometa i zahtjeve resursa. Zatim mreža koristi protokole za usmjeravanje kako bi pronašla put na temelju zahtijevanih resursa. Korištenjem protokola za rezervaciju, RSVP (engl. *Resource Reservation Protocol*), se postavlja rezervacija resursa na tom putu. Prilikom svakog *hopa* kontrola pristupa provjerava jesu li raspoloživa dovoljna sredstva za prihvaćanje nove rezervacije. Nakon što je rezervacija uspostavljena, aplikacija može započeti s prijenosom. Rezervacija resursa se provodi kroz tri funkcije upravljačkog mehanizma:

- identifikacija toka
- usmjeravanje
- kontrola pristupa.

Ovi kontrolni mehanizmi definiraju mnoga bitna načela na kojima se zasniva kvaliteta usluge temeljena na IP-u. *IntServ* omogućuje fleksibilnost u pogledu načina identifikacije toka. Nakon što su paketi identificirani tretirani su jednako te je tada potrebno usmjeravanje paketa. Usmjeravanje paketa upravlja prosljeđivanjem paketa pomoću redova čekanja, mjerenja vremena i drugih mehanizama. Treći upravljački mehanizam je kontrola pristupa koja je potrebna kako bi se utvrdilo da će se uspostaviti novi tokovi s ugovorenom kvalitetom usluge, bez utjecaja na postojeće prometne tokove na mreži. Kontrola pristupa daje odluku o dostupnosti resursa. Kako bi se osiguralo da će biti ispunjene obaveze prema određenim kategorijama paketa, potrebno je zahtijevati odgovarajuće resurse. To se provodi kako bi se u slučaju nedostupnosti resursa, zahtjev mogao odbiti.

Za *IntServ* definirane su dvije vrste usluge:

- usluga kontroliranog opterećenja (engl. *Controlled service*)
- zajamčena usluga (engl. *Guaranteed service*).

Usluga kontroliranog opterećenja namijenjena je aplikacijama koje zahtijevaju isporuku velike količine paketa s minimalnim kašnjenjem. Primjer takve aplikacije je video konferencija. Dizajnirana je tako da nudi kvalitetu usluge kakvu bi imale u mreži koja nije opterećena, a omogućava samo *best effort* uslugu .

Zajamčena usluga kontrolira maksimalno kašnjenje u redu čekanja kako bi se osiguralo da svi paketi stignu točno u vrijeme isporuke. Primjeri aplikacija kojima su potrebna ovakva jamstva su interaktivne video aplikacije i druge aplikacije koje su osjetljive na kašnjenje [34].

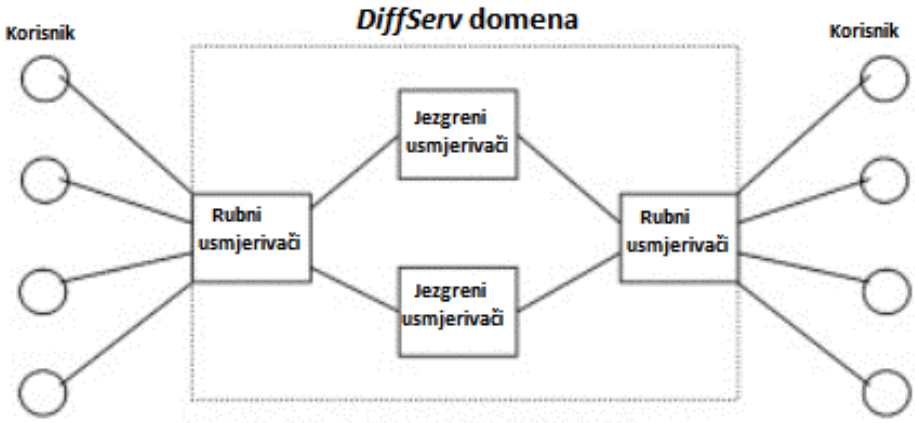
6.2. DiffServ mehanizmi

Arhitektura *DiffServ* usluga razvijena je kao alternativna shema raspodjele resursa za mrežne operatore. Krajem 1990-ih davatelji usluga su smatrali da *IntServ* usluge nisu spremne za široku primjenu, a istovremeno je potreba za poboljšanim modelom postala hitnija. Tako je novim pristupom osmišljena usluga za dodjeljivanje različitih razina kvalitete usluge na Internetu. Značajno se razlikuje od prethodne usluge. Umjesto rezervacije resursa po pojedinom toku, arhitektura *DiffServ* koristi podjelu prometa na klase i dodjeljuje resurse ovisno o klasi.

DiffServ usluga mrežno je rješenje usmjereno na razvrstavanje protoka IP prometa u prometne klase. Koristi šest bitova koji su nazvani DSCP (engl. *DiffServ Code Point*) unutar IP zaglavlja [34].

Na Slici 9 prikazana je *DiffServ* arhitekture koja je podijeljena na dvije funkcije usmjerivača:

- rubni usmjerivači (engl. *Edge Routers*)
- jezgreni usmjerivači (engl. *Core Routers*).



Slika 9. *DiffServ* arhitektura, [35]

Rubni usmjerivači smješteni su na granicama domene. Upravljaju složenijim funkcijama kao što je uvjetovanje prometa. Svakom paketu dodjeljuju DSCP vrijednosti prema QoS parametrima primljenim iz dolazne mreže. Odgovoran je za prikupljanje pojedinačnih tokova i njihovo kombiniranje u makro tokove te oblikovanje i ispuštanje paketa koji odgovaraju profilu klase. Nakon što je prometni tok oblikovan rubni usmjerivač će ga označiti i otkriti ostatku mreže.

Jezgreni usmjerivači nalaze se unutar same domene i upravljaju funkcijama koje su manje složene. Primjer manje složene funkcije bilo bi čekanje paketa u redu. Oni prosljeđuju pakete prema različitim pravilima u skladu s DSCP vrijednostima paketa. Svaki protok prometa s istom DSCP vrijednošću dobiva isti tretman unutar domene [35].

Ovom uslugom upravljaju usmjerivači pri svakom skoku na putu prema odredištu pružajući pristup rezerviranoj propusnosti i izvršavanju QoS funkcija. Cilj je odrediti ponašanje po skoku (engl. PHB, *Per Hop Behavior*) koje definira postupak prosljeđivanja paketa sa svakog čvora. PHB identificira kako se paket treba tretirati pri svakom skoku. Do danas je stvoreno više standardiziranih PHB-ova, a trenutno postoje tri:

- *best Effort* prosljeđivanje
- ubrzano prosljeđivanje (engl. *Expedited Forwarding*)
- osigurano prosljeđivanje (engl. *Assured Forwarding*).

Ubrzano prosljeđivanje osigurava da će svaki *DiffServ* čvor omogućiti malo kašnjenje, varijaciju kašnjenja i gubitak paketa. Također omogućuje određenoj količini prometa da uđe u mrežu i brine se da prometni tokovi dobiju minimalno čekanje. Dok osigurano prosljeđivanje

jamči nižu razinu funkcija nego ubrzano. Osigurava resurse na temelju četiri prometne klase. Ovisno o resursima, određenoj klasi prometa bit će pridružen određeni tretman. Primjeri resursa mogu biti međuspremnik i propusnost. *DiffServ* mehanizmi određuju ponašanje po domeni ili ponašanje po skoku kako bi se mogla održati kvaliteta usluge u mreži. Jedna od prednosti QoS-a je ta što omogućuje fleksibilnost upraviteljima mreže da kombiniraju alate i/ili kreiraju vlastite. Postoje mnoge prednosti korištenja *DiffServ* mehanizama, kao što su skalabilnost i sposobnost rukovanja cijelim prometom, a i mnogo je praktičniji za implementaciju od *IntServ*-a [34].

7. Zaključak

Video aplikacije jedne su od najčešće korištenih vrsta prometa. S povećanjem održavanja sastanaka preko videa i online predavanja, video je postao vrlo važan kao vrsta usluge. Kada se govori o video aplikacijama postoje četiri glavne vrste koje se dijele na videotelefoniju, videokonferenciju, prijenos videa strujanjem i video na zahtjev (VoD). Prijenos video sadržaja ima znatno drugačije zahtjeve nego prijenos zvuka zbog svoje varijabilne brzine prijenosa i veličine paketa.

Korišteni video kodeci za kompresiju video sadržaja imaju širok raspon mogućnosti kako bi se prilagodili različitim vrstama video aplikacija. Brzina prijenosa će ovisiti upravo o tim kodecima, kao i o rezolucijama videa. Što su zahtjev za prijenosnim brzinama veći, to i mreža mora omogućiti veću propusnost. Svaka od ovih video aplikacija ima različite zahtjeve za kvalitetom usluge, odnosno za različitim performansama mreže kako bi na kraju pružile korisniku razinu usluge s kojom je zadovoljan. Propusnost, kašnjenje, varijacija kašnjenja i gubitak paketa jedni su od glavnih parametara koji određuju kvalitetu usluge. Kvaliteta usluge sve je važnija jer se prilagođava konstantnim promjenama i porastu prometa generiranog od strane video aplikacija. Također se mora prilagoditi povećanju broja korisnika i njihovim sve većim zahtjevima.

Kako bi se osigurale zahtijevane kvalitete usluge potrebno je implementirati određene mehanizme koji kontroliraju promet u mreži. Jedan od načina osiguravanja je korištenje *IntServ* i *DiffServ* mehanizama. *IntServ* omogućava rezervaciju resursa za prometne tokove aplikacijama koje imaju veće zahtjeve, dok se *DiffServ* temelji na podijeli prometa na klase i dodjeljuje resurse ovisno o njoj. Korištenjem ovih mehanizama omogućuje se poboljšanje kvalitete usluge i zadovoljavanje prometnih zahtjeva osjetljivih video aplikacija.

Popis literature

[1] Maralidharan B. *Video Quality of Service (QOS) Tutorial*. Preuzeto s: https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/quality-of-service-qos/qos-video/212134-Video-Quality-of-Service-QOS-Tutorial.html [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[2]Tamuka N, Sibanda K. *Modelling the Classification of Video Traffic Streaming Using Machine Learning*. South Africa; 2019.

[3] Mrvelj Š. *Specifikacija komunikacijskih potreba i zahtjeva korisnika i aplikacija*. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2020.

[4] Xu Y, Yu C, Li J. and Liu Y., Video Telephony for End-Consumers: Measurement Study of Google+, iChat, and Skype. Politehnički instintut Sveučilišta u New Yorku.

[5] Mitchell B. *Video Conferencing on Computer Networks.* Preuzeto s: https://www.lifewire.com/video-conferencing-on-computer-networks-816522 [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[6] Livada Ž, Livada C, Job J, *Implementation of basic QoS mechanisms on videoconferencing network model*. Elektotehnički fakultet Osijek; 2012.

[7] VoipSupply. *How Does Video Conferencing Work?* Preuzeto s: https://www.voipsupply.com/how-video-conferencing-works [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[8] Harman. *Multicast for Enterprise Video Streaming*. Preuzeto s: https://www.amx.com/en/site_elements/multicast-for-enterprise-video-streaming [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[9] Hiemstra MJ. Brodcast Video. *Difference between Unicast Vs Multicast.* Haivision. Preuzeto s: https://www.haivision.com/blog/broadcast-video/difference-between-unicast-vs-multicast/ [Pristuljeno: kolovoz 2021.]

[10] Psanopto, *The Way Online Video Streaming Works Has Changed.* Preuzeto s: https://www.panopto.com/blog/the-way-video-works-online-has-changed/ [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[11] Vinikas I. *VOD streaming – All You Need to Know About Video on Demand.* Preuzeto s: https://corp.kaltura.com/blog/vod-streaming/#streaming [Pristupjeno: kolovoz 2021.]

[12] Vijayanagar KR. *What is a CDN (Content Delivery Network) in Video Streaming.* Preuzeto s: https://ottverse.com/what-is-a-cdn-content-delivery-network-live-vod/ [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[13] Szigeti T, Hattingh C, Barton R, Briley K. *End-to-End QoS Network Design: Quality of Service for Rich-Media & Cloud Networks,* 2nd Edition. Cisco Press; 2013.

[14] Jisc community. *Videoconferencing Traffic: Network Requierments.* Preuzeto s: https://community.jisc.ac.uk/library/janet-services-documentation/videoconferencing-traffic-network-requirements [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[15] Ruether T. *Video Codecs and Encoding: Everything You Hould Know (Update).* Preuzeto s: https://www.wowza.com/blog/video-codecs-encoding [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[16] Seeling P, Reisslein M. Video Traffic Characteristics of Modern Encoding Standards: H.264/AVC with SVC and MVC Extensions and H.265/HEVC. *The Scientific World Journal.* 2014; Volume 2014. Preuzeto s: https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/189481/#introduction [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[17] Haivision. *HEVEC/H.265. Video Compression.* Preuzeto s: https://www.haivision.com/resources/streaming-video-definitions/hevc-h-265/ [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[18] Holmes T. *What Is Frame Rate?* Preuzeto s: https://wistia.com/learn/production/what-is-frame-rate [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[19] TrueConf. *Calculating Bandwidth Requirements for Video Conferencing.* Preuzeto s : https://trueconf.com/support/communication-channels.html [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[20] Cisco. *Bandwidth Planning in your Cisco Webex Meetings Environment White Paper*. 2021. Preuzeto s: https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/conferencing/webex-meetings/white_paper_c11-691351.html [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[21] ContentFlow. *What Upload Bandwidth Is Needed For Live Video Streaming. Preuzeto s:* https://contentflow.net/what-upload-bandwidth-is-needed-for-live-video-streaming/ [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[22] Gadsden T. *How much speed do ypu need for streaming?* Preuzeto s: https://www.allconnect.com/blog/how-much-speed-do-i-need-for-streaming [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[23] Christiansen P, Haynes C (ed.). *How Much Speed Do I Need to Stream Video?* Preuzeto s: https://www.highspeedinternet.com/resources/how-much-speed-do-i-need-to-watch-netflix-and-hulu#youtube [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[24] Lutkevich B. *quality of service.* Preuzeto s: https://searchunifiedcommunications.techtarget.com/definition/QoS-Quality-of-Service [Pristupljeno kolovoz 2021.]

[25] Mrvelj Š. *Ciljevi razine usluge QoS/GoS/NP*. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018.

[26] Fitzpatrick J. *Hoq to Use Quality of Service (QoS) to Get Faster Internet When You Really Need It.* Preuzeto s: https://www.howtogeek.com/75660/the-beginners-guide-to-qos-on-your-router/ [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[27] Juniper. Voice Over IP 101. *Understanding the Basic Networking Functions, Components, and Signaling Protocols in VoIP Networks*. 2004.

[28] GeeksforGeeks. *TPC vs UDP for Vdeo Streaming.* Preuzeto s: https://www.geeksforgeeks.org/tcp-vs-udp-for-video-streaming/ [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[29] Fortinet. *What is Quality of Service (QoS) in Networking?* Preuzeto s: https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/qos-quality-of-service [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[30] Chen Y, Farley T, Ye N. *QoS Requirements of Network Applications on the Internet*. Sveučilište u Arizoni; 2004.

[31] Hodis F. *Video On Demand and IPTV: Technologies QoS (English).* Preuzeto s: https://www.infractive.fr/Note-d-application/vod-iptv-qos.html [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[32] Joseph V, Chapman B. *Deploying QoS for Cisco IP and Next Generation Networks: The Definitive Guide*. SAD: Morgan Kaufmann; 2009.

[33] Wang Z. *Internet QoS: Architectures and Mechanisms for Quality of Service*. SAD: Morgan Kaufmann; 2001.

[34] Gonia K. *Latency and QoS for Voice over IP.* SANS Institut; 2004.

[35] Obaidat M, Zarai F, Nicopolitidis P. (editori) *Modeling and Simulation of Computer Networks and Systems: Methodologies and Applications.* Genova, Italija; Sveučilište u Genovi; 2015. str.555-575.

Popis slika

Slika 1. Arhitektura videokonferencije u IP mreži 5
Slika 2. Unicast i multicast prijenos 6
Slika 3. Arhitektura prijenosa VoD 8
Slika 4. Razlika prijenosa glasovnih i video paketa 9
Slika 5. Vrste okvira video kompresije 11
Slika 6. Zahtijevani kapacitet za HD videokonferenciju 17
Slika 7. Zauzimanje kapaciteta od različitih aplikacija 21
Slika 8. Primjer varijacije kašnjenja 22
Slika 9. DiffServ arhitektura 28

Popis tablica

Tablica 1. Rezolucije video formata 13
Tablica 2. Zahtijevani kapacitet za videotelefoniju 14
Tablica 3. Simetrična videokonferencija (3 klijenta, 1280 x 720) 15
Tablica 4. Simetrična videokonferencija (3 klijenta, 1920 x 1080) 15
Tablica 5. Asimetričnu videokoferencija (3 sudionika, 1920 x 1080)..... 15
Tablica 7. Virtualni sastanak (3 sudionika, 1920 x 1080) 16
Tablica 8. Virtualni sastanak (4 sudionika, 1920 x 1080) 16
Tablica 9. Zahtijevana brzina prijenosa ovisno o sadržaju 18
Tablica 10. Zahtijevane brzine prijenosa ovisno o platformama 18
Tablica 11. Zahtijevane brzine prijenosa za Netflix..... 19
Tablica 12. Zahtijevane brzine prijenosa za YouTube 19

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Analiza i značajke prometa generiranog od video aplikacija**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica

U Zagrebu, 6.9.2021. Josipa Kje
(potpis)