Arhitektura mreža za prijenos multimedijalnog sadržaja

Tomašec, Goran

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:119:557464

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-23**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Goran Tomašec

ARHITEKTURA MREŽA ZA PRIJENOS MULTIMEDIJALNOG SADRŽAJA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 20. travnja 2016.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3403

Pristupnik: **Goran Tomašec (0036461122)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Arhitektura mreža za prijenos multimedijalnog sadržaja**

Opis zadatka:

Navesti osnovne značajke mreža za prijenos multimedijalnog sadržaja. Analizirati arhitekturu mreže za prijenos govora IP protokolom. Analizirati arhitekturu mreže za prijenos video sadržaja IP protokolom. Prikazati i objasniti Skybridge satelitski sustav.

Zadatak uručen pristupniku: 16. ožujka 2016.

Mentor:

dr. sc. Ivan Forenbacher

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ARHITEKTURA MREŽA ZA PRIJENOS MULTIMEDIJALNOG SADRŽAJA

VOICE AND MULTIMEDIA NETWORKS ARCHITECTURE

Mentor: dr. sc. Ivan Forenbacher

Student: Goran Tomašec, 0036461122

Zagreb, 2016.

ARHITEKTURA MREŽA ZA PRIJENOS MULTIMEDIJALNOG SADRŽAJA

SAŽETAK

Od početka korištenja klasične PSTN (eng. *Public Switched Telephone Network*) telefonske mreže, potojala je potreba za prijenosom ostalih tipova medija osim samo zvuka. S implementacijom prvih digitalnih komunikacijskih mreža (npr. ISDN) višemedijski prijenos je postao moguć. S obzirom na karakteristike takvih mreža baziranih na komutaciji kanala, uz prijenos govora bio je moguć samo prijenos teksta i nepokretne slike. Takve mreže bile su suviše neefikasne u smislu iskorištavanja dostupnog kapaciteta postojećih linija. Današnje multimedijalne komunikacije prvenstveno su bazirane na IP (eng. *Internet Protocol*) mrežama s komutacijom paketa. Takav tip mreže donosi podršku za stvarnovremenske multimedijalne usluge poput video-poziva, telekonferencije, udaljenog učenja, telemedicine te ostale *„over-the-top“* usluge zabavnog sadržaja kao što prijenos video sadržaja, video sadržaj na zahtjev (eng. *video streaming*) te online igre. Stoga, glavni cilj ovoga rada je pružiti čitaocu pregled mrežnih arhitektura koje podržavaju navedene multimedijalne usluge kao i ostale mrežne arhitekture koje koriste IP podmreže za prijenos televizijskog sadržaja.

KLJUČNE RIJEČI: Multimedija; Arhitektura mreže; Preporuke i protokoli; IPTV;

VOICE AND MULTIMEDIA NETWORKS ARCHITECTURE

SUMMARY

Since the deployment of PSTN (Public Switched Telephone Network), there has been a need for transfering other types of media than just voice. With the implementation of first digital communication networks (eg. ISDN - Integrated Services Digital Network) that has became possible. But still, the curcuit-switched nature of those networks meant that only text and still picture could be transported over them beside voice. They were too inefficient at using the available bandwidth capacity of the underlying network. Today's multimedia communications are based primarily on the IP (Internet Protocol) packet-switched networks. Those types of underlying networks can easily support real-time multimedia applications such as

video calls, teleconferencing, distant learning, telemedicine, as well as „over-the-top“ entertainment services like video on demand, video streaming and online gaming. Therefore, the main focus of this paper is to provide an overview of the network architectures primarily for those types of applications as well as other multimedia network architectures with proprietary IP networks for delivering television content.

KEYWORDS: Multimedia; Network architecture; Recommendations and protocols; IPTV;

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. OSNOVE MREŽA ZA PRIJENOS MULTIMEDIJALNOG SADRŽAJA 3
3. MREŽA ZA PRIJENOS GOVORA INTERNET PROTOKOLOM (VoIP) 5
3.1. H.323 arhitektura 7
3.1.1. RAS kanal 9
3.1.2. H.245 kontrolni kanal 12
3.1.3. H.323 Video kodeci 13
3.1.4. H.323 Audio kodeci 14
3.1.5. RTP protokol 15
3.2. SIP arhitektura 16
3.2.1. SIP signalizacijske poruke 19
3.2.2. SDP protokol 21
4. MREŽA ZA PRIJENOS VIDEO SADRŽAJA INTERNET PROTOKOLOM 22
4.1. MPEG-DASH 23
4.2. CDN – mreža za distribuciju sadržaja 24
5. MREŽA ZA PRIJENOS TELEVIZIJSKOG SADRŽAJA 27
5.1. DVB-T2 arhitektura 29
5.2. IPTV arhitektura 31
6. SKYBRIDGE SATELITSKI SUSTAVI 34
7. ZAKLJUČAK 37
LITERATURA 38
POPIS SLIKA 41
POPIS KRATICA 42

1. UVOD

Prva javna telefonska mreža PSTN bila je bazirana na mreži s komutacijom kanala. Podržavala je prijenos jednog tipa medija – zvuk (govor). Iako je i u usporedbi s današnjim standardima pružala zavidnu kvalitetu usluge, ubrzo se pokazala neefikasnom u smislu iskorištenja prijenosnih kapaciteta.

Razvojem Interneta – mreže svih mreža bazirane na IP protokolu te stalnim unaprjeđenjima tehnologija pritupnih mreža, krajnji korisnik dobiva mogućnost za slanje, primanje i interakciju s različitim multimedijalnim sadržajem. Kako su rasle potrebe za prijenosom multimedijalnog sadržaja u profesionalne svrhe (primjene u vojnom sektoru, telemedicina, distribucija TV sadržaja, telekonferencije velikih tvrtki i dr.), nove multimedijske aplikacije kao što je video-telefonija i video-konferencija postaju sve dostupnije prosječnom korisniku.

Za interoperabilnost različitih terminalnih uređaja (fiksni, prijenosni i mobilni terminali) različitih proizvođaća, te što jednostavnije korisničko iskustvo prilikom slanja/primanja multimedijalnog sadržaja, zadužena su razna standardizacijska tijela. Ona donose preporuke i protokole za uspostavljanje podatkovne veze te potom obradu, slanje ili zaprimanje multimedijalnog sadržaja putem određene mrežne arhitekture.

Trenutno se većina generiranog mutimedijalnog prometa ostvaruje putem Internet mreže s kraja na kraj (eng. *end-to-end*) ili integracijom Internet mreže kao transportne podmreže kod kompleksnijih mrežnih arhitektura za distribuciju multimedijalnog sadržaja.

Ovaj rad koncipiran je kao pregled najznačajnijih mrežnih arhitektura, preporuka i protokola za prijenos multimedijalnog sadržaja te se sastoji od sljedećih 7 cjelina:

1. Uvod
2. Osnove mreža za prijenos multimedijalnog sadržaja
3. Mreža za prijenos govora Internet protokolom (VoIP)
4. Mreža za prijenos video sadržaja Internet protokolom
5. Mreža za prijenos televizijskog sadržaja
6. SkyBridge satelitski sustavi
7. Zaključak

U drugom poglavlju biti će pojašnjena bazična klasifikacija multimedijalnog sadržaja (i osnovnih tipova medija) s perspektive prijenosne mreže.

Treće poglavlje analizira najznačajnije te najraširenije VoIP mrežne arhitekture - H.323 i SIP (eng. *Session Initiation Protocol*), komplementarne protokole i korištene standarde za kodiranje (kompresiju) multimedijalnog sadržaja.

Četvrto poglavlje obuhvaća pregled današnjeg standarda za prijenos multimedijalnog sadržaja putem Interneta – MPEG-DASH te prikaz uspostavljanja podatkovnog multimedijalnog toka preko CDN (eng. *Content distribution/delivery network*) mreže.

Peto poglavlje analizira osnovne mrežne arhitekture dva najraširenija standarda za prijenos televizijskog sadržaja – DVB-T2 (eng. *Digital Video Broadcasting-Terrestrial*) i IPTV (eng. *Internet Protocol Television*).

Šesto poglavlje obuhvaća namjenu, karakteristike i mrežnu arhitekturu SkyBridge satelitskog sustava za pristup širokopojasnim uslugama. Navedene su podržane usluge te je prikazana mrežna konfiguracija za profesionalnu uporabu.

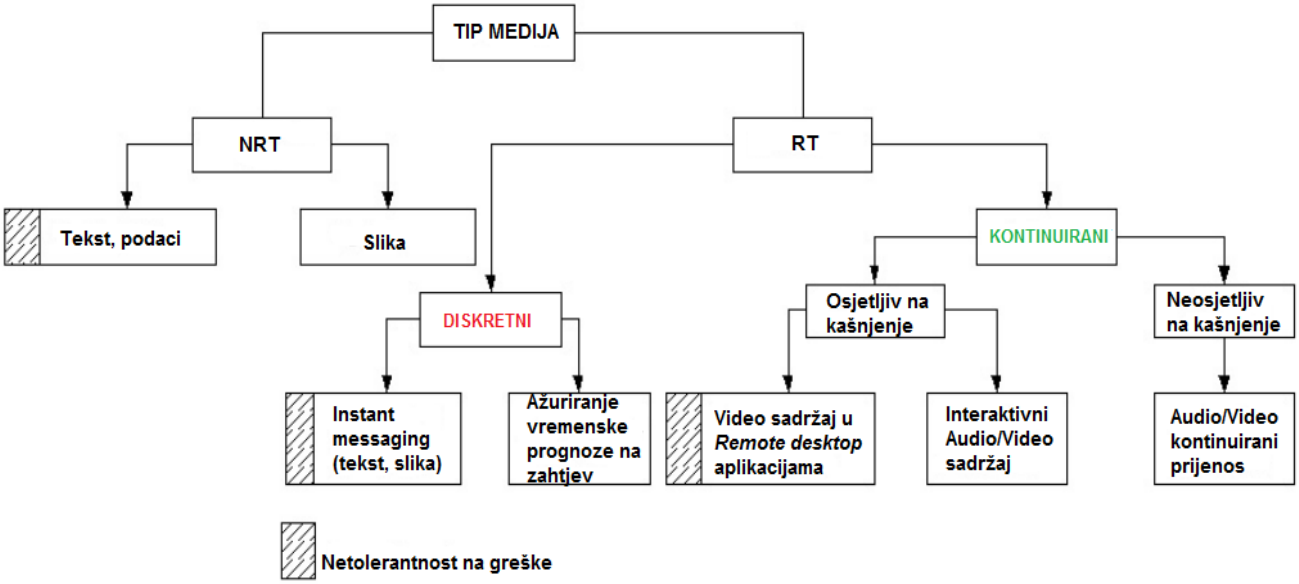
2. OSNOVE MREŽA ZA PRIJENOS MULTIMEDIJALNOG SADRŽAJA

Pojam multimedija odnosi se na bilo koju kombinaciju dva ili više osnovnih medija, a to su: tekst, grafika (pokretna ili nepokretna slika) i zvuk. Tekst je prirodno digitalni mediji, dok zvuk i grafika (slika) mogu biti analogni. Digitalne mreže su zbog svojih brojnih prednosti postale dominantne u odnosu na analogne mreže. S perspektive digitalne mreže za prijenos medija, pretpostavka je da su svi tipovi medija prije prijenosa digitalizirani. Sve mrežne arhitekture opisane u ovom radu načelno brinu o prijenosu digitalnog multimedijalnog signala, uz određene mrežne elemente čija je funkcija povezivanje s analognim mrežama. Principi i standardi za konverziju analognog u digitalni signal nisu bitni za razumijevanje mrežne arhitekture te postupke prijenosa multimedijalnog sadržaja. U daljnjem tekstu neće se posebno izražavati prvenstveno digitalna priroda mreža za prijenos multimedijalnog sadržaja.

Mreže za prijenos multimedijalnog sadržaja moraju ispunjavati određene zahtjeve za učinkovit i skalabilan prijenos različitih tipova multimedijalnog sadržaja. Bazična klasifikacija multimedijalnog sadržaja (i osnovnih tipova medija) s perspektive prijenosne mreže je sljedeća, [1]:

- **Stvarnovremenski multimedijalni sadržaj (eng. Real-time)** – prvenstveno strogi zahtjevi u vidu osjetljivosti na kašnjenje informacije s kraja na kraj mreže i *jitter-a* (promjena vremenskog intervala zaprimanja poslane informacije), ne nužno i ostalih QoS (neg. *Quality of Service* – kvaliteta usluge) parametara
- **Multimedijalni sadržaj bez potrebe stvarnovremenskog prijenosa (eng. Non Real-time)** – vrste medija kod kojih nema strogih zahtjeva u vidu kašnjenja s kraja na kraj mreže. Ostali QoS parametri mogu biti i važniji kod ove vrste prijenosa multimedijalnog sadržaja u odnosu na stvarnovremenski te je često osjetljiviji na pogreške koje se događaju tijekom prijenosa.

Dodatna podjela i klasifikacija (kroz primjere) stvarnovremenskog multimedijalnog sadržaja (skraćeno RT) te multimedijalnog sadržaja bez potrebe stvarnovremenskog prijenosa (skraćeno NRT) prikazana je na Slici 1.

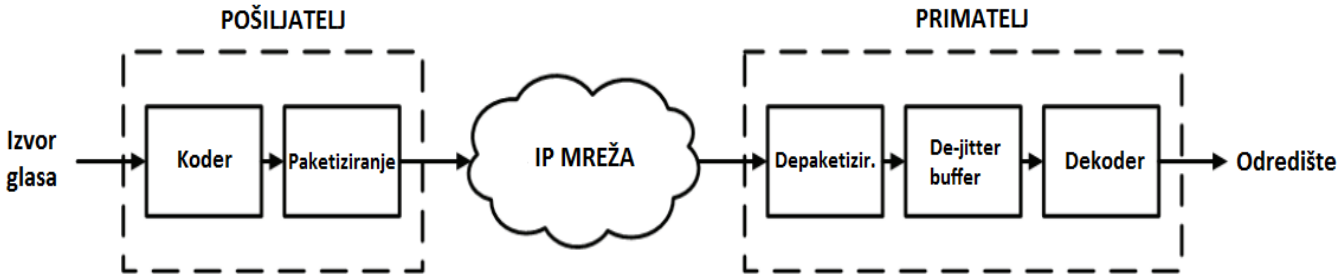


Slika 1. Klasifikacija različitih tipova medija s perspektive prijenosne mreže, [1]

3. MREŽA ZA PRIJENOS GOVORA INTERNET PROTOKOLOM (VoIP)

VoIP (engl. *Voice over Internet Protocol*) je tehnologija prijenosa podataka koja se odnosi na prijenos prvenstveno govora s dodatnom podrškom za prijenos videa, teksta i signalizacijskih poruka koristeći IP (eng. *Internet Protocol*) mrežu s komutacijom paketa. Sastoji se od od skupa *„end-to-end“* (poveznih) elemenata, preporuka i protokola za upravljanje i transmisiju govornih (engl. *voice*) paketa kroz IP mrežu.

U svakom VoIP sustavu postoje tri glavna elementa bez kojih nije moguća glasovna komunikacija: pošiljatelj, primatelj (odnosi se na *hardware-sko/software-sku* opremu u vlasništvu korisnika) te IP mreža preko koje se vrši udaljeni prijenos i komutacija VoIP paketa (Slika 2.).



Slika 2. Osnovni prikaz VoIP sustava, [2]

IP mreža sastoji se od veza (engl. *Link*) i čvorišta koja su u IP mreži usmjernici (engl. *Router*). U današnje vrijeme VoIP terminali (fizički terminali i *software-ska* rješenja s popratnim ulazno/izlaznim jedinicama) posjeduju i funkcije video (video-telefonija, video-konferencije) te podatkovne (eng. *Data*) komunikacije. Zbog toga su i protokoli koji upravljaju takvim multimedijalnim sesijama vrlo fleksibilni u smislu podržavanja takvih načina komunikacije.

IP mreže (mreže s komutacijom paketa) zbog svoje su efikasnosti i prilagodljivosti do danas skoro u potpunosti zamijenile konvencijalne mreže s komutacijom kanala (PSTN i ISDN). Zbog samih karakteristika paketiziranog

prometa (većinu vremena vrlo mali te „praskovit“ u određenom vremenu), mreže s komutacijom kanala pokazale su se vrlo neekonomičnima. S druge strane, multipleksiranje različitih konekcija preko istog resursa (*linka*) uzrokuje kašnjenje te gubitak paketa. Tehnike prijenosa kroz IP mrežu kao što su Ethernet, ATM (eng. *Asynchronous Transfer mode*) i PTM (engl. *Packet Transfer Mode*) koriste fiksnu duljinu paketa što rezultira većom brzinom komutiranja te manjom složenosti *hardware-a*. Glavni nedostatak takvog načina prijenosa paketa je protokolni pretek (engl. *Overhead*). On nastaje zbog fiksne duljine zaglavlja (engl. *Header*) u paketu. Zaglavlje ne prenosi korisnu informaciju već mu je svrha adresiranje pojedinog paketa [2].

Kao što je ranije spomenuto, komunikacijska mreža koja povezuje velik broj terminala sastoji se od linkova i čvorišta za stvarno-vremenski (engl. *Real-time*) prijenos glasa (videa, podataka) koristeći IP tehnologije preko mreže s komutacijom kanala. Nužno, za ispravnu funkcionalnost mreže, koriste se preporuke i protokoli definirani od strane standardizacijskih tijela koji brinu o ispravnoj transmisiji signalizacijskih i podatkovnih VoIP paketa.

Trenutna implementacija VoIP-a koristi dvije arhitekture bazirane na istoimenim protokolima: H.323 (skup protokola) i SIP (eng. *Session Initiation Protocol*). Isti će biti opisani u nastavku teksta.

3.1. H.323 arhitektura

H.323 (ITU-T preporuka H.323, 2007. g.) definira set protokola za glasovni i video prijenos (te konferencijski prijenos) preko mreža s komutacijom paketa, kao što su Ethernet LAN ili kompleksne mreže poput Interneta koje ne pružaju zajamčenu kvalitetu usluge (eng. QoS – *Quality of Service*). QoS se odnosi na vrijeme propagacije, transmisije, procesiranja i čekanja informacije (paketa) u čvorištima. Također uključuju parametre kao što su *jitter*, količina izgubljenih paketa te kapacitet *link-a* (eng. *Bandwith*) koji imaju veliku ulogu u kvaliteti primljenog signala [2].

H.323 skup protokola koristi se za uspostavu poziva, kodiranje i dekodiranje multimedijalnog sadržaja, ispravan tijek poziva (sesije) te njegovo raskidanje [3]. Dizajniran je da radi iznad transportnog sloja na implementiranoj mreži. H.323 je interoperabilan standard što znači da klijent unutar H.323 mreže bez prepreka može komunicirati (glasovno ili videokonferencijom) sa klijentom na nekoj drugoj mreži. H.323 nije nužno vezan za jednu vrstu uređaja ili operativnog sustava, već se može implementirati na sve tipove IP telefonskih uređaja, osobnih računala, modem-a, STB-ova (eng. *Set-Top Box*) te raznih drugih uređaja [4].

Četiri glavne mrežne komponente specificirane u H.323 skupu protokola su: terminali, Gateway, Gatekeeper te MCU (eng. *Multipoint Control Unit*) (Slika 3.) [2].

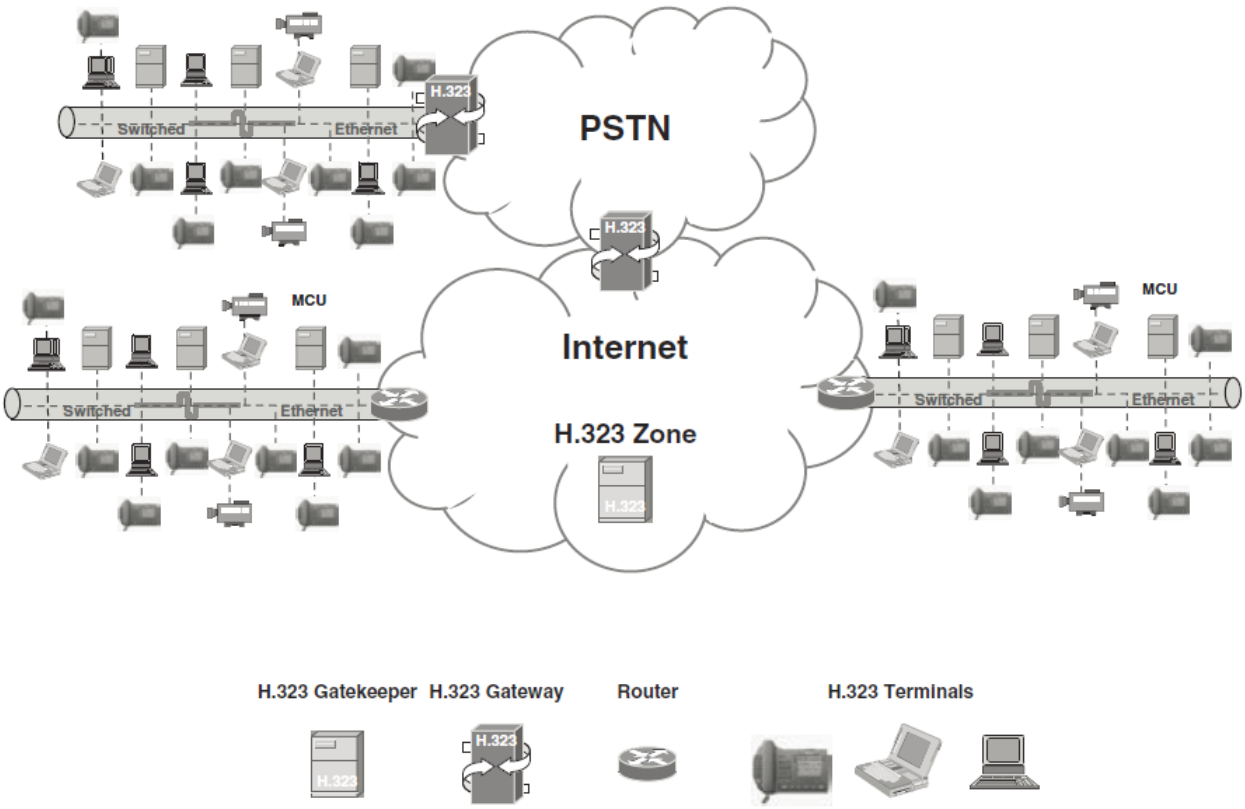
- **Terminal** – H.323 terminal je krajnji uređaj u mreži koji pruža stvarnovremensku dvosmjernu komunikaciju sa drugim H.323 terminalom, *Gateway-om* ili MCU-om. Komunikacija se sastoji od prijenosa kontrolnih informacija, zvuka, videa (pokretne slike) i/ili tekstualnih podataka između dva ili više terminala. Terminal može pružati samo prijenos govora, govora i podataka, govora i videa ili govora, podataka i videa [2].

- **Gateway** – H.323 mrežna komponenta koja omogućava komunikaciju između IP mreža i mreža s komutacijom kanala kao što su ISDN i PSTN. *Gateway-i* obavljaju funkciju pretvorbe (konverzije) protokola između uređaja i mreža koje su H.323 kompatibilne i onih koje nisu. Isto tako povremeno ima ulogu prevođenja između različitih audio, video i

podatkovnih formata [4]. Primjer rada *Gateway-a*: Gateway prima određeni H.320 tok (eng. *stream*) podataka sa ISDN linije, konvertira ga u H.323 tok podataka te ga potom šalje na IP dio mreže [2].

- **Gatekeeper** – H.323 mrežni element koji preuzima ulogu centralnog rukovoditelja VoIP usluga do krajnjih točaka u mreži. *Gatekeeper* je središte H.323 zone (kontrolna zona). Svi krajnji uređaji u jednoj zoni moraju biti registrirani u *Gatekeeper-u* (neovisno o načinu prijenosa – *unicast/multicast*). *Gatekeeper* vrši funkcije kontrole pristupa i utvrđivanja autorizacije za spajanje krajnjih uređaja te provjere minimalnog kapaciteta linka za uspostavljanje poziva (sesije). Također služi za translaciju LAN adresa u IP ili IPX adrese (specificirano RAS protokolom). Sljedeća važna funkcija je usmjeravanje poziva preko *Gateway-a* (ako je potrebno) te kontrola kapaciteta mreže s mogućnošću odbijanja pristupa sesiji ako je dostignut maksimalan limit predodređene vrijednosti kapaciteta.
  U *Gatekeeper-u* mogu biti implementirane i sporedne funkcije kao što su naplata i prikupljanje podataka o iskorištenosti mreže.
  Gatekeeper može biti diskretan mrežni element ili može biti realiziran na način da su njegove funkcionalnosti integrirane u MCU [4].

- **MCU (eng. Multipoint Control Unit)** – pruža mogućnost da tri ili više terminala zajedno s *Gateway-om* sudjeluju u multipoint konferenciji. Isto tako može spajati dva terminala u *„point-to-point“* konferenciji koja se poslije može razviti u *multipoint* konferenciju. MCU također može biti uključen u konferenciju od strane *Gatekeeper-a* bez da je eksplicitno pozvan od strane terminala. MCU se sastoji od MC-a (eng. *Multipoint Controller*) i MP-a (eng. *Multipoint Processor*). MC kontrolira terminale koji sudjeluju u konferencijskoj vezi te konferencijske resurse kao što je video koji se *multicast*-a.
  MP pruža centralizirano procesiranje audio, video i/ili tokova podataka u multipoint konferenciji. MP podržava procesiranje jednog ili više multimedijskih tokova ovisno o vrsti konferencijske veze**.**

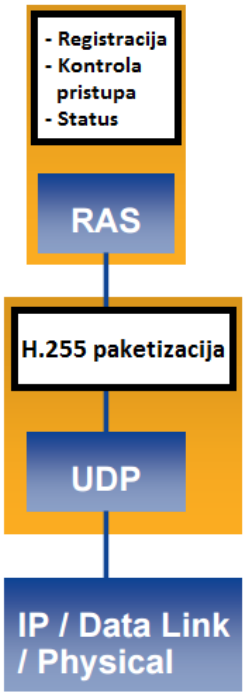


Slika 3. H.323 arhitektura, [4]

3.1.1. RAS kanal

RAS (eng. *Registration/Admission/Status*) kanal specificiran je u H.255 protokolu. Dozvoljava krajnjim uređajima autorizaciju kod pripadnog *Gatekeeper-a* za uspostavljanje i primanje poziva (Slika 4.).

Preko RAS kanala krajnji se uređaj registrira kod *Gatekeeper-a* te traži dozvolu za iniciranje poziva prema drugom krajnjem uređaju. Ako dobije dozvolu, *Gatekeeper* mu vraća transportnu adresu (IP adresa i broj porta) pozvanog terminala koja će se koristiti za signalizacijski kanal poziva [3]. Na taj način se vrši kontrola pristupa, kontrola kapaciteta *link-a* (eng. *bandwith*) te *Gatekeeper* prati status zahtjeva krajnjih uređaja.



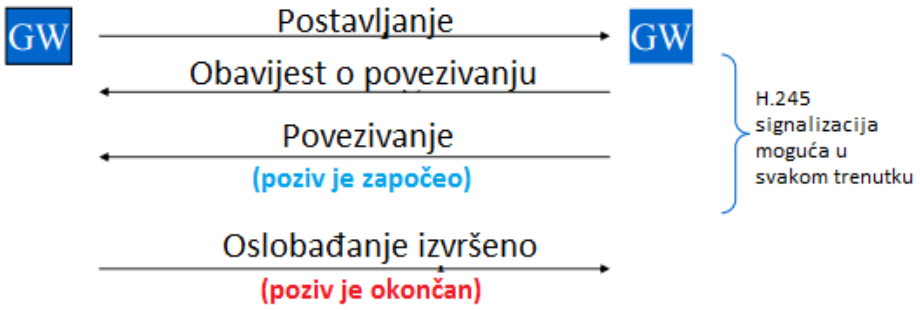
Slika 4. H.255 protokolni složaj, [6]

Na Slici 5. detaljnije je prikazan postupak registracije i kontrole pristupa kroz signalizacijske poruke koje se razmjenjuju kroz zaseban RAS kanal.

Slika 5. Registracija i kontrola pristupa kroz RAS kanal, [5]

Poruke za registraciju i kontrolu pristupa, [7]:

- RRQ – zahtjev za registraciju (poslan sa terminala na RAS adresu *Gatekeeper-a*)
- RCF – potvrda registracije (odgovor *Gatekeeper-a* koji potvrđuje registraciju terminala)
- ARQ – zahtjev za pristup *Gatekeeper-u* (pokušaj iniciranja poziva od strane terminala)
- ACF – potvrda pristupa (autorizacija terminala): poruka u sebi sadrži IP adresu krajnjeg *Gateway-a* i omogućuje prvotnom *Gateway-u* iniciranje signalnih poruka za kontrolu poziva (Slika 6.)

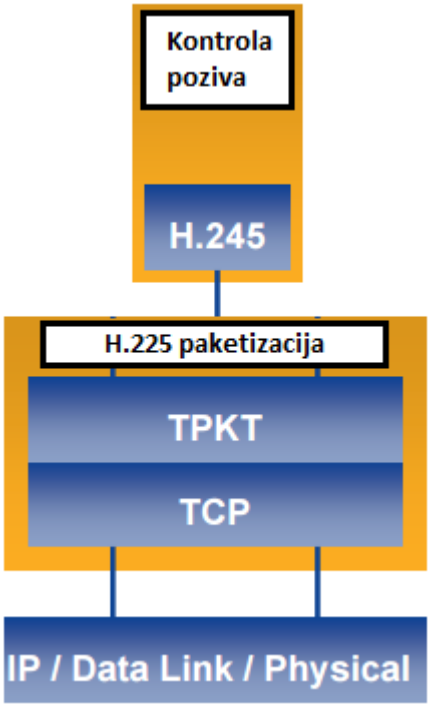


Slika 6. Signalizacijski kanal za kontrolu poziva, [5]

- DRQ – zahtjev za prekid veze prema *Gatekeeper-u*
- DCF – potvrda prekida veze za oba krajnja terminala

3.1.2. H.245 kontrolni kanal

H.245 pruža kontrolu nad uspostavljenim multimedijskim sesijama. H.245 protokolni složaj prikazan je na Slici 7.



Slika 7. H.245 protokolni složaj, [6]

TPKT protokol je enkapsulacijski protokol koji služi za prosljeđivanje i konverziju OSI paketa u TCP/IP tip paketa (i obratno).

H.245 kontrolni protokol obavlja funkcije [8]:

- određivanje sposobnosti terminala za razmjenu podataka, tj. određivanje parametara kojima će se prenositi različiti mediji između terminala (tip korištenog video/audio/tekst kodeka, limit maksimalne brzine prijenosa, vrsta enkripcije i dr.)
- postavljanje ovlasti terminalima (eng. MSD – *Master/Slave Determination*): ako postoji konflikt između dva terminala (npr. uspostavljanje nekompatibilnih tokova multimedijskih podataka između terminala), „glavni“ (eng. *master*) terminal poduzima potrebne korake (odbijanje) prema „podređenom“ (eng. s*lave*) terminalu.

- otvaranje/zatvaranje logičkog kanala za prijenos multimedije uz kontrolu toka
- kontrola konferencijskih poziva

H.245 signalizacijske poruke prenose se paralelno s H.255 signalizacijom (preferirano prije poruke „povezivanje“, Slika 5.). H.245 kanal je standardno izveden kao posebna TCP (eng. *Transmission Control Protoco*l) konekcija, međutim može biti i „tuneliran“ unutar postojećeg H.225 (RAS) kontrolnog kanala (podržano od strane novijih terminala), [9]. Kod takvog načina prijenosa H.255 kanal mora biti uspostavljen preko TCP-a, a H.245 poruke enkapsuliraju se u H.255 poruke kroz posebno zaglavlje. TPKT protokol ne koristi se kod tuneliranja [8].

3.1.3. H.323 Video kodeci

Kompresija je, najjednostavnije rečeno, proces pretvorbe (konverzije) digitalnog signala (video, audio) u format koji zauzima manje resura, prilikom transmisije putem mreže za prijenos multimedijalnog sadržaja ili skladištenja na određenom mediju. Standardizirana kompresija (korišteni algoritmi) multimedijalnog sadržaja omogućuje interoperabilnost opreme za kodiranje, dekodiranje i spremanje multimedije različitih proizvođača. Stoga su razvijeni tzv. kodeci – standardizirana kompresijska (i dekompresijska) rješenja za implementaciju u opremu za obradu multimedije [10].

Značajniji kodeci korišteni u VoIP sustavima su sljedeći:

- **H.261** (ITU-T preporuka) – međunarodni standard koji donosi podršku za videokonferencijske veze (prvotno dizajniran za prijenos preko ISDN linija). Podržava različite brzine prijenosa video sadržaja u inkrementima od 64 kb/s s maksimalnom brzinom prijenosa od 2.048 Mb/s. Koristi se za kompresiju/dekompresiju pokretne slike relativno niskih rezolucija: CIF (eng. *Common Intermediate Format*) – 352x258 piksela te QCIF (eng. *Quarter CIF*) – 176x144 piksela. Maksimalan broj slika u sekundi (eng. *Frame rate*) je 30 uz mogućnost smanjenja na manju vrijednost ovisno o aplikaciji i dostupnoj brzini prijenosa [11].

- **H.263** (ITU-T preporuka) – nasljednik H.261 kodeka te isti zamjenjuje u velikom broju aplikacija. Kroz razna poboljšanja kompresije, omogućuje istu kvalitetu slike kao H.261 uz znatno manju brzinu prijenosa (povećana fleksibilnost). Uz CIF i QCIF, H.263 dobiva podršku za: *Sub-QICF* (128x96 piksela), 4CIF (704x576 piksela i 16CIF (1408x1152 piksela) [11].
- **H.264** – zajednička preporuka ITU-T i ISO/IEC standardizacijskih tijela, današnji je standard za video kompresiju/dekompresiju. H.264 u odnosu na prijašnja rješenja donosi, [10]:
  - bolju kvalitetu slike sa manjim zauzimanjem resursa od strane komprimiranog sadržaja
  - zauzimanje manje resursa uz istu kvalitetu slike

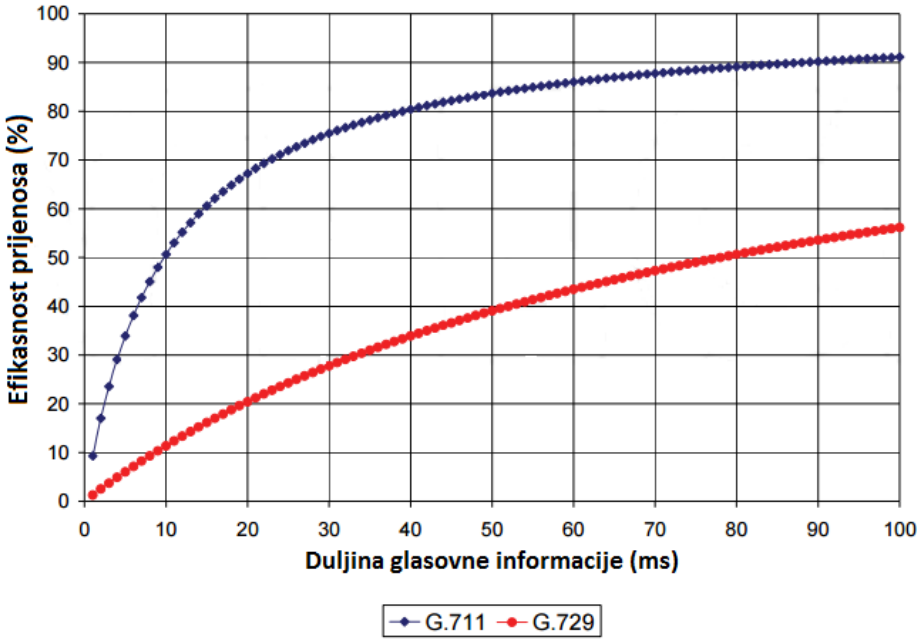
  Osim videokonferencijskih mreža, H.264 ima značajnu primjenu i u drugim multimedijalnim mrežama. Više o H.264 kodeku biti će riječi u poglavlju 5.1.

3.1.4. H.323 Audio kodeci

Najvažniji i najčešće korišteni kodeci (ITU-T standardizacija) za kodiranje glasa u H.323 mrežama su sljedeći, [12]:

- **G.711**: koristi PCM (eng. *Pulse-code modulation*) - pulsno kodnu modulaciju za kodiranje govora pri brzinama prijenosa od 64 kbit/s (G.711.1 nadogradnja - 80 do 96 Kbit/s) uz frekvenciju uzorkovanja od 8 kHz.
- **G.726**: koristi ADPCM (Adaptivno diferencijalna pulsno kodna modulacija) za kodiranje govora pri brzinama prijenosa od 16/24/32/40 kbit/s uz frekvenciju uzorkovanja od 8 kHz. Zamjena je za zastarjele G.721 i G.723 standarde
- **G.729**: pogodan za upotrebu u konferencijskim pozivima zbog karakteristične male brzine prijenosa od 8 kbit/s uz frekvenciju uzorkovanja od 8 kHz. G.729.1 nadogradnja koristi brzine prijenosa od 8 do 32 kbit/s uz istu frekvenciju uzorkovanja (bolja kvaliteta zvuka – frekvencijski raspon 50 Hz – 7 kHz).

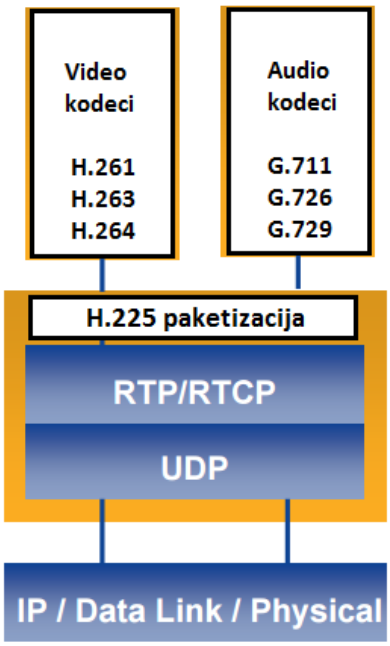
Što je glasovna informacija unutar paketa veća, efikasnost prijenosa je veća jer uz korisnu informaciju VoIP paketi sadrže protokolni pretek: Ethernet/ATM/PTM zaglavlje, IP zaglavlje, UDP zaglavlje i RTP zaglavlje (Slika 8.)



Slika 8. Efikasnost prijenosa VoIP paketa ovisno o duljini glasovne informacije [2]

3.1.5. RTP protokol

RTP (eng. *Real Time Transport Protocol*) je transportni protokol koji se koristi za prijenos multimedijalnih podataka (paketa) s kraja na kraj IP mreže. RTP sesija se otvara za svaki tok multimedijalnih podataka. Pruža usluge identifikacije različitih tipova podataka, numeriranje nizova podataka te očuvanja ispravnog redoslijeda (sinkronizacija) podataka u vremenu. Također pruža krajnjem terminalu informaciju o korištenim kodecima (Slika 9.), [4]. Iako RTP koristi UDP (eng. *User Datagram Protocol*) protokol, koji ne garantira pouzdanost prijenosa podataka, dobiva određenu pouzdanost prijenosa zbog korištenja dodatnog RTCP (eng. *Real-Time Control Protocol*) protokola. RTCP, pomoću kontrolnih informacija, nadgleda dostavu podataka poslanih između krajnjih uređaja, usto pomaže pri sinkronizaciji višestrukih multimedijalnih tokova podataka te na taj način pruža određenu razinu kvalitete usluge (eng. QoS). Korišteni kapacitet kanala za RTCP promet je vrlo mali, tipično 5% kapaciteta korištenog za RTP promet [13].



Slika 9. RTP/UDP protokolni složaj [6]

3.2. SIP arhitektura

IETF (eng. *The Internet Engineering Task Force*) je definirao SIP (eng. *Session Initiation Protocol*) kao protokol aplikacijskog sloja (7. sloj referentnog OSI modela) zadužen za uspostavljanje, modificiranje i prekidanje multimedijalnih sesija preko IP mreže. Također može biti korišten za pozivanje novih sudionika u postojeću sesiju ili uspostavljanje nove sesije [4].

SIP pruža znatna unaprjeđenja u odnosu na H.323 protokol te može biti korišten zajedno sa H.323 protokolom kada je to zahtijevano. Dizajniran je kao vrlo jednostavan protokol tako da je podržani *software* moguće implementirati u raznovrsne, relativno povoljne i prenosive uređaje [14].

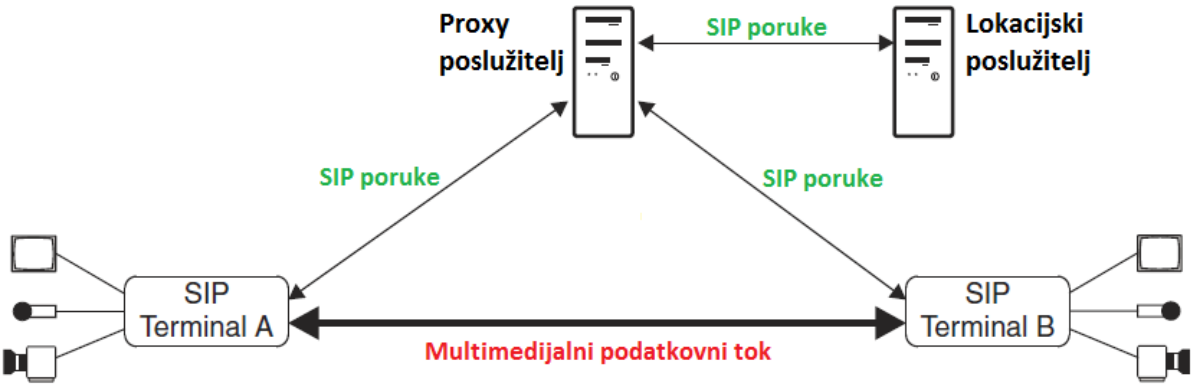
H.323 je često kritiziran kao protokol koji je suviše spor kod uspostavljanja multimedijalnih sesija. U praksi je potrebno više vremena za uspostavljanje H.323 sesije nego za uspostavljanje veze u klasičnoj PSTN mreži s komutacijom kanala. H.323 je također kritiziran kao vrlo kompleksan te visoko centraliziran protokol. SIP

pruža rješenje za nedostatke H.323 protokola, budući da je razvijen specifično za IP okruženje u kojemu je mrežna inteligencija visoko decentralizirana kroz veliki broj poslužitelja zaduženih za uspostavljanje multimedijalnih sesija [4].

Dva su glavna mrežna elementa u SIP arhitekturi:

- **Korisnički agenti (eng. UA - User Agent)** – aplikacije unutar SIP terminala za slanje/primanje SIP zahtjeva. UAC (eng. *User Agent Client*) inicira SIP zahtjeve, dok UAS (eng. *User Agent Server*) prima SIP zahtjeve te vraća odgovore. Tokom sesije, SIP terminali će izmjenjivati UAC, odnosno UAS uloge jer će sporadično slati i primati SIP signalizacijske poruke, [2].

- **SIP poslužitelji (eng. SIP Server)** – postoje tri vrste SIP poslužitelja ovisno o funkciji koju obavljaju (jedan fizički SIP poslužitelj obično sadrži sve navedene funkcije), [4]:
  - **Lokacijski poslužitelj (eng. Location Server)** – omogućava registraciju korisnika, odnosno sprema podatke o lokaciji korisnika u VoIP mreži. Pohranjuje IP adresu terminala te ju veže uz korisničko ime koje je registrirano na mreži. Na taj način se omogućuje mobilnost terminala unutar VoIP mreže.
  - **Proxy poslužitelj (eng. Proxy Server)** – posrednički poslužitelj koji obavlja funkciju prosljeđivanja zahtjeva u korist drugih entiteta u VoIP mreži. Ponaša se kao poslužitelj prilikom prihvata zahtjeva od strane korisničkih agenata ili kao klijent drugim SIP poslužiteljima prilikom prosljeđivanja zahtjeva u ime korisničkog agenta ili drugog *proxy* poslužitelja. Također može izvršavati funkcije kontrole pristupa, autentifikacije i autorizacije korisnika na VoIP mreži, [13].
  - **Poslužitelj za preusmjeravanje (eng. Redirect Server)** – obavlja funkciju preusmjeravanja UAC-ova korisničkom agentu s kojim se pokušava ostvariti veza. Pruža UAC-u alternativnu lokaciju (IP adresu) na kojoj je UAS dostupan. Poslužitelj za preusmjeravanje ne prihvaća pozive, ne prosljeđuje niti inicira dodatne SIP zahtjeve, [2].



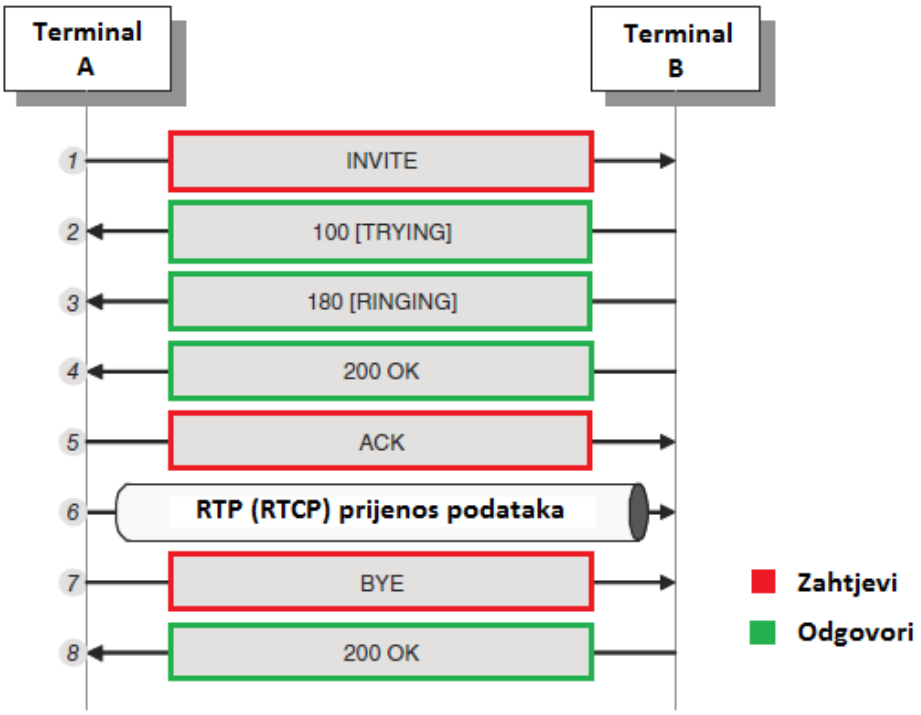
Slika 10. Tipično uspostavljanje multimedijalne sesije pomoću SIP protokola, [14]

Na Slici 10. prikazano je tipično uspostavljanje multimedijalne sesije razmjenom SIP signalizacijskih poruka te korištenjem funkcija *proxy* poslužitelja i lokacijskog poslužitelja. Pretpostavka je da SIP Terminal A želi komunicirati sa SIP Terminalom B. Terminal A šalje poruku poziva (INVITE) Terminalu B preko *proxy* poslužitelja. *Proxy* poslužitelj provjerava s lokacijskim poslužiteljem IP adresu Terminala B. *Proxy* poslužitelj zatim prosljeđuje pozivni zahtjev Terminalu B. Terminal B šalje svoj odgovor preko *proxy* poslužitelja do Terminala A. Paralelno s ovim procesom, Terminal A i Terminal B preko *proxy* poslužitelja koriste SDP protokol (eng. *Session Description Protocol*) u svrhu dogovaranja podržanih parametara za uspostavljeni multimedijalni tok. To su uobičajeno vrsta medija (audio/video), korišteni kodeci te transportni protokol (npr. RTP), [14]. Zadnja SIP poruka koju *proxy* poslužitelj šalje obama terminalima je poruka potvrde (ACK). U tom trenutku Terminal A i Terminal B mogu započeti posebnu sesiju za prijenos multimedijalnih podataka, [13].

Kod uspostavljene multimedijalne (VoIP) mreže, arhitektura se mijenja iz tipa klijent-server u tip ravnopravne mreže između dva (ili više) terminala (eng. P2P – *Peer-to-peer*). Takva mreža je decentralizirana, što znači da se ne oslanja na resurse od strane skupih centraliziranih poslužitelja. Svaki terminal koristi svoje resurse prilikom razmjene podataka. Ako jedan terminal napusti ustanovljenu sesiju (samostalno ili radi greške), ostali terminali nastavljaju komunikaciju kao da se ništa nije dogodilo.

3.2.1. SIP signalizacijske poruke

SIP signalizacijske poruke su tekstualne, slične HTTP (eng. *HyperText Transfer Protocol*) porukama. Razmjenjuju se između SIP mrežnih elemenata u svrhu uspostave multimedijalne sesije između dva ili više terminala, [13]. Postoje dva tipa SIP signalizacijskih poruka: zahtjevi i odgovori. Razlikuju se osam vrsti zahtjeva te šest različitih (grupiranih) tipova odgovora. Na primjeru tipičnog uspostavljanja SIP poziva između dva terminala (Terminal A i Terminal B), biti će pojašnjena značenja signalizacijskih poruka (Slika 11.)



Slika 11. Razmjena SIP signalizacijskih poruka za uspostavljanje i raskidanje poziva

SIP zahtjevi, [13]:

- INVITE: zahtjev za pozivanje drugog korisničkog agenta u svrhu stvaranja SIP sesije
- ACK : prihvaćanje utvrđene SIP sesije (zahtjev za početak prijenosa podataka)
- BYE: zahtjev jednog od terminala za terminiranje sesije

Ostali mogući zahtjevi su:

- REGISTER: zahtjev za prvotnu registraciju IP adrese korisničkog agenta kod lokacijskog poslužitelja
- OPTIONS: služi za prikupljanje informacija o mrežnim sposobnostima drugog korisničkog agenta važnim za uspostavljanje sesije
- SUBSCRIBE: zahtjev za potraživanjem informacija o statusu drugog korisničkog agenta (npr. *online*, *offline*, *busy* i dr.)
- NOTIFY: zahtjev za slanje informacija o trenutnom statusu korisničkog agenta
- CANCEL: zahtjev za otkazivanje prethodnog zahtjeva

SIP odgovori, [13]:

- 100 [TRYING]: poruka *proxy* poslužitelja da je potrebno određeno vrijeme za pronalazak UAS-a
- 180 [RINGING]: UAS je primio INVITE zahtjev
- 200 [OK]: zahtjev je prihvaćen

Različiti tipovi SIP odgovora:

- Informativni (1xx): zahtjev je zaprimljen te se trenutno procesira
- Uspjeh (2xx): zahtjev je prihvaćen
- Preusmjeravanje (3xx): zahtjev ne može biti završen te su potrebni dodatni koraci
- Greška kod klijenta (4xx): greška u zahtjevu, poslužitelj je u nemogućnosti procesirati zahtjev
- Greška kod poslužitelja (5xx): zahtjev je zaprimljen, greška kod poslužitelja prilikom procesiranja (ne znači da drugi poslužitelj neće moći ispravno procesirati zahtjev)
- Globalna greška (6xx): zahtjev je zaprimljen, greška kod poslužitelja prilikom procesiranja (ovaj tip greške bi se dogodio kod svakog poslužitelja, nema prosljeđivanja zahtjeva)

3.2.2. SDP protokol

SDP (eng. *Session Description Protocol*) pruža funkciju opisa multimedijalnih sesija kroz tekstualne poruke. Ovisno o opisu sesije, teminali odlučuju da li će pristupiti sesiji, na koji način te u kojem vremenskom trenutku. SDP parametri se enkapsuliraju unutar SIP zahtjeva tijekom uspostavljanja multimedijalne sesije, [15].

SDP protokol opisuje sljedeće parametre multimedijalne sesije, [15]:

- IP adresu (ime terminala na mreži)
- broj UDP/TCP porta
- tip medija (audio/video/tekst)
- korišteni kodeci – većina SIP implementacija koriste iste kodeke kao i H.323 skupina protokola (G.711, G.729, H.261, H.264 i dr.)
- ime sesije
- vrijeme početka/kraja multimedijalne sesije
- korišteni transportni protokol
- brzina prijenosa podataka

4. MREŽA ZA PRIJENOS VIDEO SADRŽAJA INTERNET PROTOKOLOM

Godišnji Internetski promet generiran video sadržajem prema istraživanju tvrtke *CISCO Systems* ima vrlo visoku srednju godišnju stopu rasta od 33%, uz *online* igre, najveću od svih tipova generiranog prometa na Internetu. Prosječna generirana količina video prometa na Internetu za 2016. godinu je 38 116 PB/mj (71% ukupno generiranog prometa na Internetu). Prema svim pokazateljima, ta bi se brojka do 2020. g. trebala povećati na 109 907 PB/mj (82% ukupno generiranog prometa na Internetu). Video sadržaj na Internetu uključuje video na zahtjev (eng. *Video on Demand* - VoD), *live streaming video* (gledanje video zapisa uživo), video snimljen *web* kamerom te *video monitoring* preko Internet mreže. Količina ovakvog prometa najviše je uvjetovana samom rezolucijom prikaza video sadržaja (pojava *Smart TV-a*, pametnih telefona i tableta s UHD rezolucijom – 4x *1080p*) te rastućom popularnošću *video streaming* i VoD servisa [16].

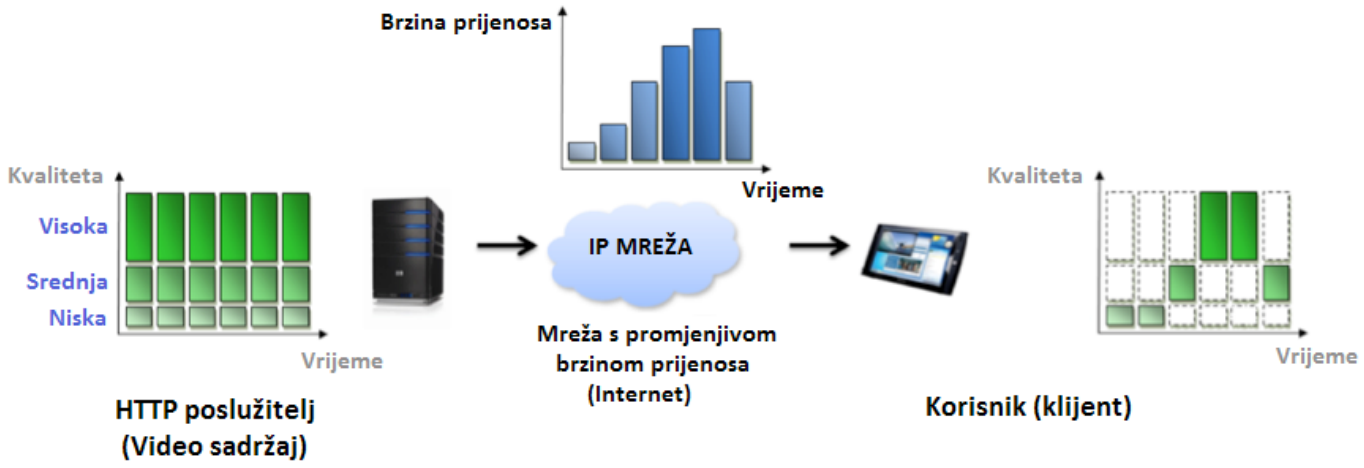
Ubrzanim razvojem korisničkih terminalnih uređaja te pristupnih mreža (xDSL, FTTx), video sadržaj visoke kvalitete postao je dostupan velikoj većini Internet korisnika. Tzv. OTT (eng. *Over-the-top*) usluge postale su vrlo popularan način za pregledavanje video sadržaja preko Interneta (multimedijalan video sadržaj – video, audio i popratna grafika). U većini slučajeva korisnici ih koriste kroz posebne aplikacije ili kroz *web* preglednik. Najpoznatiji OTT video servisi uglavnom pružaju spremljeni (eng. *stored*, VoD – *Video on Demand*) video sadržaj (*Youtube, Netflix, Amazon, Hulu, Hbo Go*) ili stvarnovremenski (eng. *real-time*) video sadržaj (*Twitch, Youtube Gaming*).

Postoji više mrežnih arhitektura, odnosno tehnika za prijenos video sadržaja putem Interneta te se sve svode na isti klijent-poslužitelj tip mreže. U nastavku poglavlja biti će opisane dvije tipične mrežne arhitekture koje se nadovezuju jedna na drugu.

4.1. MPEG-DASH

MPEG-DASH (eng. *Dynamic Adaptive streaming Over HTTP*) je tehnika prijenosa multimedijalnog sadržaja preko Internet mreže korištenjem klasičnih HTTP (eng. *Hypertext Transfer Protocol*) poslužitelja. Standardiziran je od strane MPEG grupe formirane pod okriljem ISO/IEC standardizacijskih tijela. DASH omogućuje adaptivnu brzinu prijenosa multimedijalnog sadržaja visoke kvalitete.

DASH radi na način da dijeli multimedijalni sadržaj na manje HTTP datotečne segmente. Svaki segment sadrži mali interval od ukupnog vremena reprodukcije (potencijalno vremenski veoma dug sadržaj kao dugometražni film ili prijenos uživo). Na taj način nastaju višestruke verzije istog multimedijalnog sadržaja kodiranog za različite brzine prijenosa. Korisnik (klijent) odlučuje koji segment želi preuzeti ovisno o raspoloživom kapacitetu mreže, odnosno trenutno dostupnoj maksimalnoj brzini prijenosa. To je jedna od ključnih funkcija DASH-a budući da na Internetskoj mreži nije uvijek zajamčen prijenosni kapacitet te je sposobnost prilagodbe na mrežne uvjete od velike važnosti (Slika 12.) [17].



Slika 12. MPEG-DASH adaptivni prijenos multimedijalnog sadržaja, [17]

Prije same reprodukcije multimedijalnog sadržaja, DASH klijent preuzima sa poslužitelja MPD (eng. *Media Presentation Discription*) datoteku. MPD datoteka opisuje značajke dostupnih segmenata multimedijalnog sadržaja (vremensku komponentu, lokator sadržaja tj. URL adresu, dostupnu rezoluciju slike, dostupnu kvalitetu zvuka, brzine prijenosa i dr.) za reprodukciju.

MPEG-DASH prvi je međunarodni standard za prijenos multimedijalnog sadržaja preko Internet mreže. Za razliku od prijašnjih rješenja od strane *Microsofta, Apple-a, Adobe-a* i ostalih korporacija, DASH pruža unifikaciju i interoperabilnost poslužitelja i klijenata različitih proizvođaća. Ovaj standard kompatibilan je sa gotovo svim popularno korištenim audio/video kodecima kao što su H.264 i H.265. DASH je podržan od strane raznih pružatelja video *streaming* (OTT) usluga kao što su *Samsung, Netflix* i CISCO. *Google* je također usvojio DASH kroz podršku za svoj Chrome *web* preglednik. *Google-ov* OTT servis *YouTube* koristi DASH prilikom reprodukcije video sadržaja visoke razlučivosti, [18]. U sljedećem poglavlju biti će prikazana implementacija MPEG-DASH standarda u mrežama za distribuciju sadržaja.

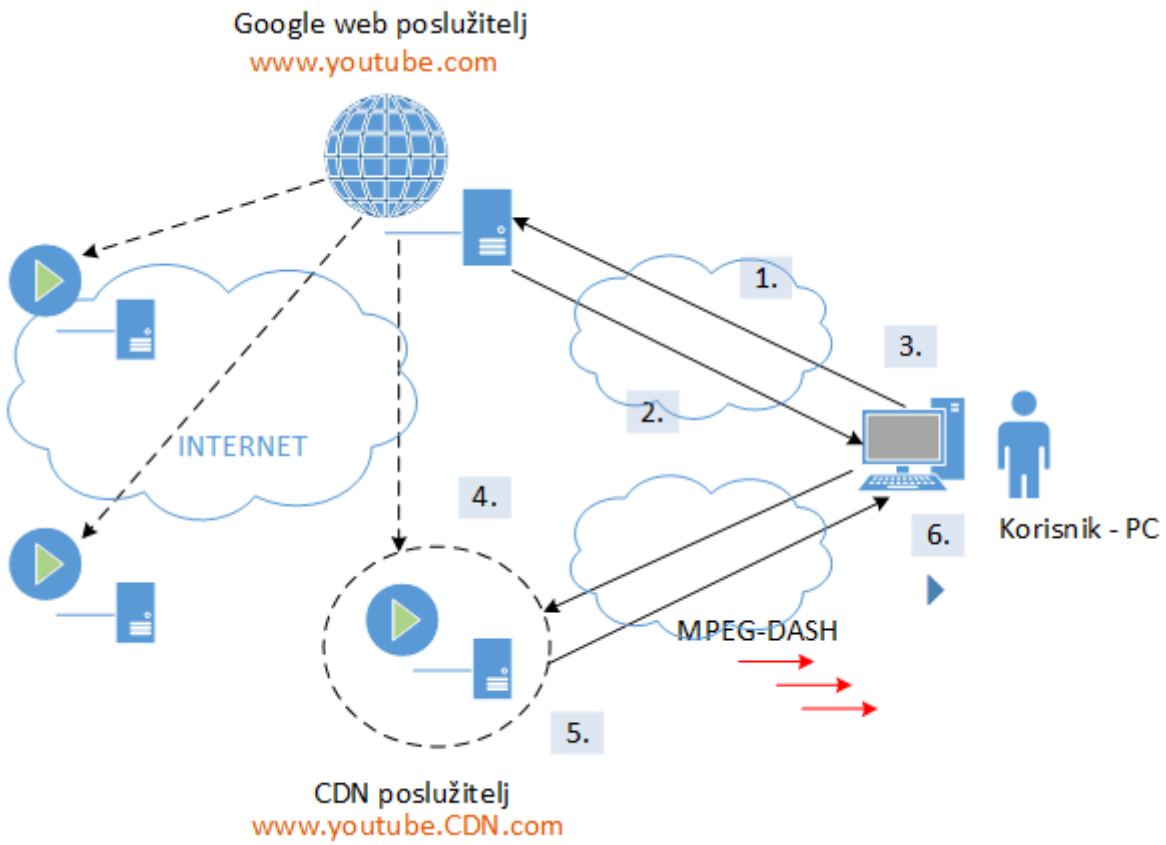
4.2. CDN – mreža za distribuciju sadržaja

CDN (eng. *Content distribution/delivery network*), tj. mreža za distribuciju sadržaja primarno je namijenjena za prijenos multimedijalnog sadržaja preko Internet mreže. Koristi se i za spremanje kompleksnijih objekata *web* stranica te različitih *software-a* namijenjenih za preuzimanje. Prema provedenom istraživanju tvrtke CISCO Systems, do 2019. godine 62% ukupnog prometa na Internetu biti će generiran od strane CDN mreža, [16].

Osnovna funkcija CDN mreža je dostava velikih multimedijalnih datoteka do korisnika koji ih zatražuju preko određene *web* (HTTP) stranice. *Web* resursi koji se koriste prilikom prijenosa podataka u vlasništvu su davatelja sadržaja (eng. *Content Provider*) ili partnerskih tvrtki kao što su *Akamai, Limelight* i dr. Još jedna važna funkcija je korištenje velikog broja poslužitelja u svrhu simuliranja *multicast* prijenosa video sadržaja uživo [14].

CDN mreža je arhitekturalno izvedena korištenjem velikog broja poslužitelja. Poslužitelji su razmješteni sa ciljem da geografski budu što bliže krajnjem korisniku. Pristup sadržaju na Internetu bliže korisniku sa sobom donosi i manje grešaka u prijenosu (izgubljenih paketa), manje kašnjenje, smanjeni *jitter*, veću propusnost prema poslužitelju te na kraju i veću kvalitetu usluge.

Na Slici 13. prikazana je pojednostavljena arhitektura CDN mreže za distribuciju video sadržaja s popularnog *Google-ovog* servisa *YouTube*.



Slika 13. Arhitektura *Google* CDN mreže za distribuciju video sadržaja

Interakcija između glavnih elemenata unutar CDN mreže (Slika 13.), [14]:

1.) Korisnik unutar svog *web* preglednika unosi adresu stranice *http://www.youtube.com/watch* na kojoj se nalazi poveznica (eng. *link*) za reprodukciju željenog *YouTube* videa.
2.) *Google web* poslužitelj šalje korisniku „*watch.htm“* HTML datoteku.
3.) *Web* preglednik korisnika iščitava *„watch.htm“* datoteku te pronalazi poveznicu izvora traženog video sadržaja lociranog na adresi *http://www.youtube.CDN.com*
4.) *Web* preglednik izdaje zahtjev prema CDN poslužitelju za početak prijenosa video sadržaja.
5.) Video sadržaj se prenosi do korisnika preko Internet mreže (MPEG-DASH za prijenos sadržaja visoke razlučivosti).
6.) *Web* preglednik reproducira video sadržaj unutar *„watch.htm“* web stranice.

5. MREŽA ZA PRIJENOS TELEVIZIJSKOG SADRŽAJA

Dva najpopularnija načina za prijenos televizijskog sadržaja na području Europe su:

- DVB (eng. *Digital Video Broadcasting*) – digitalno emitiranje televizijskog signala
- IPTV (eng. *Internet Protocol Television*) – prijenos televizijskog i dodatnog multimedijalnog sadržaja putem IP mreže

DVB-T2 (eng. *DVB-Terrestrial*) današnji je standard za emitiranje zemaljskog digitalnog televizijskog signala u slobodnom prostoru putem mreže zemaljskih odašiljača (baznih stanica). Razvijen je pod okriljem ETSI (eng. *European Telecommunications Standards Institute*) instuta za standardizaciju. DVB-T2 je nadogradnja DVB-T standarda koji je od svoje publikacije 1997. godine usvojen u više od 70 zemalja [19].

DVB-T2, kao i svoj prethodnik, koristi OFDM (eng. *Orthogonal Frequency Division Multiplex*) modulaciju sa velikim brojem podkanala te u kombinaciji sa LDPC (eng. *Low Density Parity Check*) i BCH (eng. *Bose-Chaudhuri-Hocquengham*) zaštitnim kodiranjem pruža vrlo robustan signal (bolji prijam i veće pokrivanje) otporan na smetnje. LDPC vrši zaštitu komprimiranog video/audio signala za prijenos uz prisustvo šuma. LDPC ne zajamčuje savršen prijenos, ali je vjerojatnost gubitka podataka značajno smanjena. Da bi se uklonile sve preostale greške nakon LDPC dekodiranja, podaci se štite dodatnim kratkim kodom BCH. BCH spada u grupu cikličkih kodova i služi za korekciju višestrukih grešaka. Cilj je ovih zaštitnih kodova smanjiti ukupnu vjerojatnost greške prilikom propagacije signala. Maksimalni kapacitet DVB-T2 mreže je 50,3 Mbit/s (uz 256-QAM – kvadraturno amplitudna modulacija), 62% povećanje u odnosu na DVB-T (31,66 Mbit/s), [20].

Osnovna arhitektura DVB-T2 sustava biti će prikazana u poglavlju 5.1.

IPTV je metoda prijenosa televizijskog sadržaja te ostalog OTT sadržaja do korisnika preko IP mreže. Za razliku od prijenosa multimedijalnog sadržaja preko Internet mreže, IPTV mreža za prijenos multimedije se uglavnom sastoji od privatnih IP pod-mreža. IPTV je najčešća zamjena tradicionalnim zemaljskim mrežama kao što je DVB te nudi dodatne usluge koje preko DVB mreže najčešće nisu dostupne [14].

Usluge koje nudi IPTV, [21]:

- bazični i premium televizijski kanali
- interaktivna TV
- TV program u visokoj razlučivosti (HDTV – eng. *High Definition Television*)
- VoD (eng. *Video on Demand*) – video sadržaj na zahtjev
- TV sadržaj s vremenskim pomakom
- Videoteka (eng. *Pay-per-view*) – plaćanje po gledanom sadržaju
- snimanje određenog video sadržaja
- interaktivni programski vodič

Najvažnija karakteristika IPTV usluge je zajamčena kvaliteta usluge te kvaliteta iskustva korištenja usluge – QoS (eng. *Quality of Service*), QoE (eng. *Quality of Experiance*). QoS parametri su mjerljivi te se najčešće izražavaju kroz niske latencije (kašenjenje signala), *jitter* te gubitak paketa (trzanje, prekid slike). QoE označava subjektivni dojam korisnika tijekom korištenja usluge te se odnosi na ukupno zadovoljstvo korisnika s korištenom uslugom. Na QoE može utjecati ukupno vrijeme nedostupnosti usluge (intervali održavanja mreže), vrijeme između promjene kanala, brzina korisničkog sučelja i dr. [21]

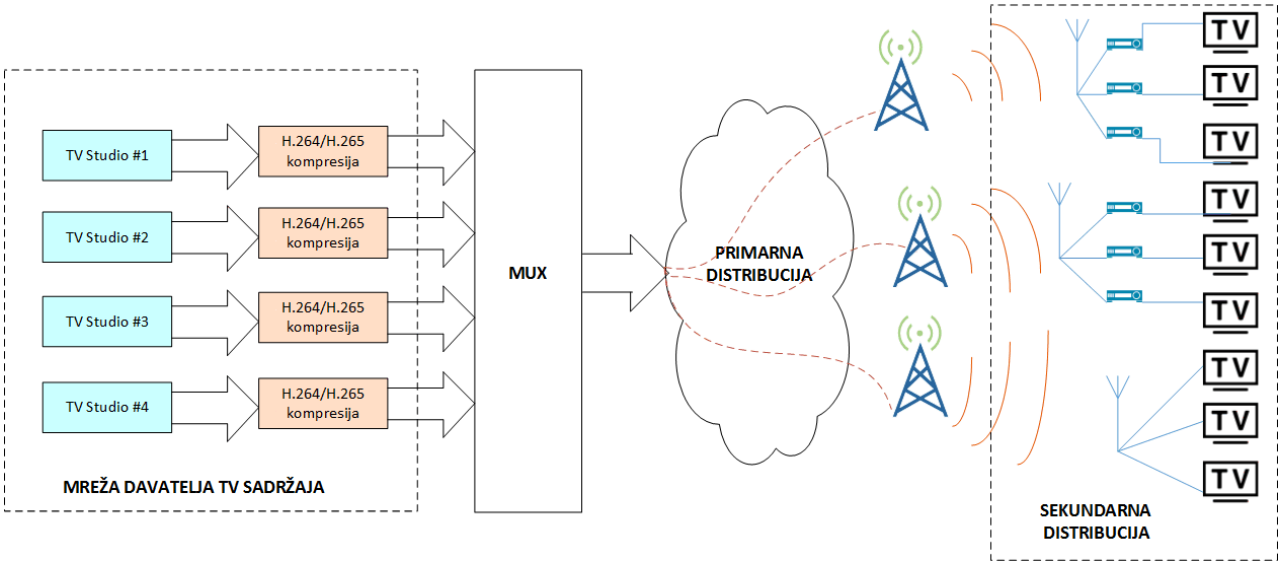
Prema podacima tvrtke *Hrvatski Telekom d.d.*, ≈ 49,7%[1] od ukupnog broja svih korisnika fiksnih telekomunikacijskih uluga pretplaćeno je na IPTV.

Osnovni elementi i funkcije IPTV mreže biti opisani u poglavlju 5.2.

[1] Neslužbeni podaci davatelja fiksnih telekom. usluga, tvrtke *Hrvatski Telekom d.d.* za 2016. godinu

5.1. DVB-T2 arhitektura

Kod mreže s analognim prijenosom TV signala, svaka TV kuća ima vlastitu produkciju sadržaja, vlastitu mrežu za prijenos i vlastite odašiljače. Kod DVB-T2 sustava TV kuće zadržavaju vlastitu produkciju, dok su odašiljači, oprema za formiranje multipleksa te mreža za prijenos signala u zajedničkom korištenju više davatelja TV kuća (Slika 14), [22].



Slika 14. Osnovna arhitektura DVB-T2 mreže, [22]

Glavni funkcionalni elementi DVB-T2 mreže su sljedeći (Slika 13), [22]:

- **Mreža davatelja TV sadržaja** – dio DVB-T2 mreže u kojoj se vrši akvizicija TV sadržaja iz različitih TV kuća te se isti prije prosljeđivanja na ostatak mreže komprimira (DVB-T2 koristi H.262/MPEG-2, H.264 te u novije vrijeme i H.265 kompresijski standard)

- **DVB-T2 multipleksori** – služe za prikupljanje TV sadržaja na jednoj lokaciji te formiranje DVB multipleksa. Prije slanja TV sadržaja na primarnu distribucijsku mrežu, provodi se zaštitno kodiranje (LDPC i BCH).

- **Mreže za primarnu distribuciju** – služe za prijenos multipleksiranog TV sadržaja od centralne lokacije mreže davatelja TV sadržaja do predajnika (odašiljača). Ova mreža je u većini slučajeva IP orijentirana. Ovaj dio mreže mora biti kompatibilan s ostalim načinima prijenosa TV signala putem DVB standarda: DVB-S/S2, DVB-RCS (satelitski prijenos do korisnika), DVB-C/C2 (prijenos koaksijalnim kabelom do korisnika), [20].

- **Mreža za sekundarnu distribuciju TV signala** – sustav predajnika kojima se DVBT-2 signal distribuira krajnjim korisnicima. Na korisničkoj strani neophodna je antena za prihvat signala te DVB-T2 prijemnik (izveden kao dodatni STB prijemnik ili integriran unutar TV prijemnika) za dekodiranje/dekompresiju signala.

Dva standarda za kompresiju/dekompresiju video sadržaja unutar DVB-T2 standardizacije obilježila su DVB-T2 kao jedan najefikasnijih načina za trenutni i budući prijenos digitalnog TV sadržaja:

- **H.264 kompresijski standard** – razvijen u kolaboraciji ITU-T i ISO/IEC standardizacijskih tijela. Pruža sliku standardne i visoke rezolucije sa optimalnijim iskorištenjem dostupnog kapaciteta za prijenos. U odnosu na stariji MPEG-2/H.262 standard, za prijenos pokretne slike iste kvalitete komprimirane sa H.264 kodekom potrebna je otprilike 50% manja brzina prijenosa, odnosno 50% manji kapacitet mreže. U okviru istog frekvencijskog opsega televizijskih kanala od 8 MHz omogućava protok od 45 Mbit/s, što je značajno poboljšanje u odnosu na ranije standarde [20]. Umjesto 6 MPEG-2 kanala u standardnoj razlučivosti (704×576 piksela) moguće je prenijeti 12 H.264 kanala unutar istog frekvencijskog pojasa [23].

- **H.265/HEVC kompresijski standard** – HEVC (eng. *High Efficiency Video Coding*) je također ITU-T (ISO/IEC) standard za kompresiju koji još jednom donosi 50% efikasniju kompresiju video sadržaja u odnosu na prethodni standard (H.264). HEVC će također donijeti podršku za reprodukciju UHD

video sadržaja (eng. *Ultra HD*) preko DVB-T2 mreža, odnosno prikaz TV sadržaja razlučivosti do 3840×2160 piksela [24].

Na području Republike Hrvatske trenutno je još uvijek implementiran stariji DVB-T standard za prijenos digitalnog TV signala uz korištenje MPEG-2/H.262 video kodiranja. Odlučeno je da će se preskočiti DVB-T2/H.264 do implementacije DVB-T2/HEVC standarda koja bi trebala započeti u većini zemalja krajem 2019. godine, dok je završetak prijelaza planiran do 2022. godine.

5.2. IPTV arhitektura

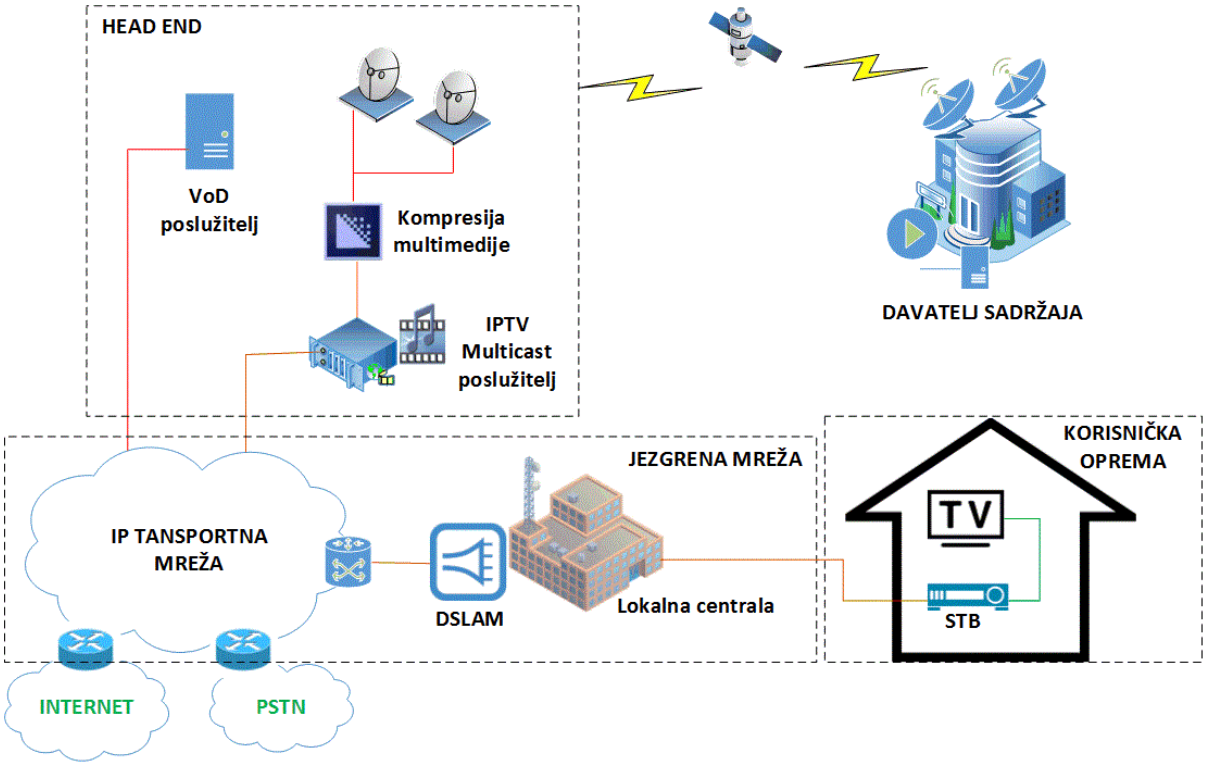
Osnovni elementi koji sačinjavaju tipičnu arhitekturu IPTV mreže (Slika 15.) su:

- **Head end** – podsustav za akumulaciju TV signala. Zadaća *Head end*-a je prikupljanje različitih TV signala od više davatelja sadržaja te daljnja distribucija TV sadržaja prema korisniku. Izvori (davatelji) TV signala mogu biti: studiji raznih TV kuća, sateliti, *head end* platforme drugih operatera te ostali vlasnici TV sadržaja [22]. *Head end* je zadužen za kompresiju multimedije, spremanje VoD sadržaja te implementaciju DRM-a (eng. *Digital Rights Management*). DRM omogućuje zaštitu autorskih prava za određeni sadržaj na način da se korisniku ne dozvoljava snimanje, odnosno daljnja distribucija zaštićenog sadržaja. Implementacija DRM-a te usluga kao što je EPG omogućuje tzv. *Middleware* platforma. *Middleware* je skup *software-skih* rješenja integriran unutar *head end* poslužitelja te STB uređaja koji omogućuje *end-to-end* (s kraja na kraj mreže) konfiguraciju te ispravnu komunikaciju svih krajnjih uređaja od *head-end-a* do krajnjeg korisnika. Pruža podršku za interaktivne usluge, automatsko učitavanje pretplatničkih kanala ovisno o korištenom paketu usluga, sinkronizaciju EPG vodiča s TV sadržajem te vodi računa o tome da svi STB uređaji rade na kompatibilnom *software-u* prilikom svakog pokretanja [21]. Nakon kompresije TV sadržaja, isti se prepakirava u pogodan format za slanje IP mrežom *multicast* načinom preko *multicast* poslužitelja [25].

- **Transportna/jezgrena mreža** – dio mreže davatelja IPTV usluge koji služi za prijenos TV signala do lokalne centrale, odnosno pristupne mreže. Izvedena je kao optička mreža visokog kapaciteta bazirana na IP mreži [21].

- **Pristupna mreža** – započinje kod korisničkog priključka, a terminira u lokalnoj centrali, tj. DSLAM-u (eng. *Digital Subscriber Line Acces Multiplexer*). DSLAM multipleksira IPTV signal sa jezgrene mreže na više korisničkih linija u pristupnoj mreži. Tehnologija pristupne mreže, odnosno njezin kapacitet, najvećim dijelom utječe na dostupnu kvalitetu TV sadržaja. TV sadržaj visoke razlučivosti zahtijeva minimalnu brzinu prijenosa podataka do korisnika od 6-8 Mbit/s. DSLAM uređaj također služi kao filter za korisnički pretplaćene usluge. Na DSLAM priključku (eng. *port*) svakog korisnika moraju postojati unaprijed konfigurirani PVC (eng. *Permanent Virtual Connection*) profili za svaku od usluga. Kod triple-play usluga biti će tri PVC profila, po jedan za IPTV promet, Internet promet te VoIP promet. Unutar IPTV PVC profila mora biti unešena IP adresa Multicast poslužitelja.

- **Korisnička oprema** – STB (eng. *Set Top Box*) uređaj je neophodan za dostavu IPTV TV sadržaja do televizijskog prijemnika. *Software* za komunikaciju između STB-a i *middleware* platforme nije standardiziran te je stoga potrebno da *middleware* i STB bude isporučen od strane istog proizvođaća (davatelja IPTV usluga). Glavne funkcije STB uređaja, [22]:
  - interakcija s korisnikom putem daljinskog upravljača
  - prevođenje zahtjeva korisnika te upućivanje istih *middleware-u*
  - dekodiranje/dekompresija multimedijalnog sadržaja za prikaz na TV prijemniku
  - STB-ova ima onoliko koliko ima i korisnika, a za istovremeno praćenje više TV kanala potrebno je više STB-ova



Slika 15. Arhitektura IPTV mreže, Izvor: [14], [25]

6. SKYBRIDGE SATELITSKI SUSTAVI

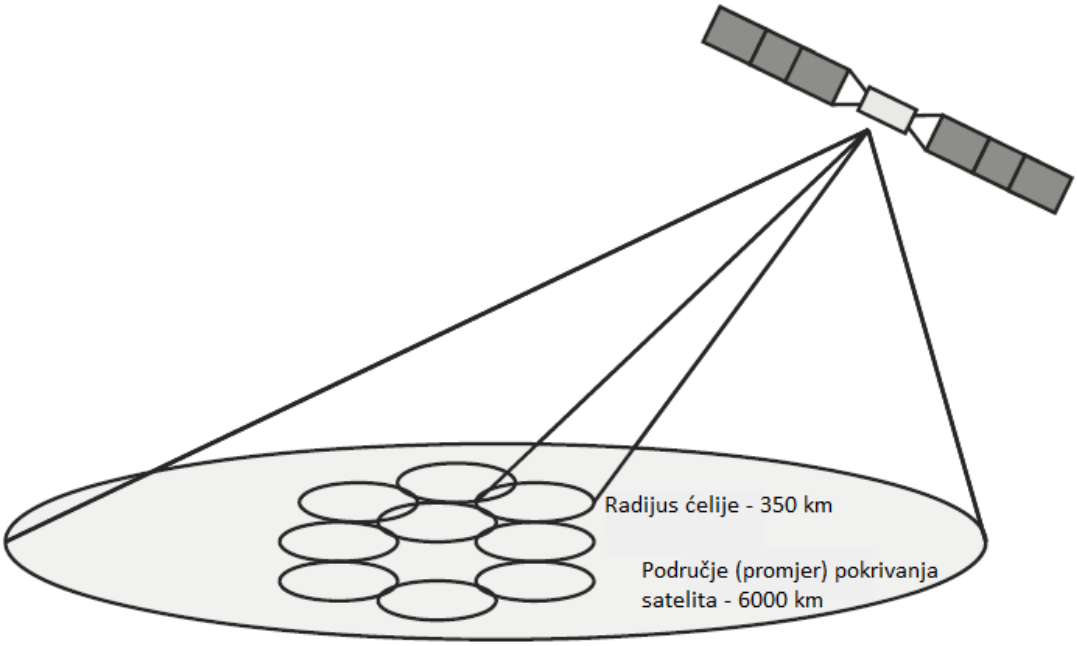
SkyBridge je komercijalni satelitski sustav koji pruža širokopojasni pristup Internetu te multimedijalni podatkovni prijenos kroz različite primjene na globalnoj razini. U vlasništvu je tvrtke *Alcatel* s nekoliko partnerskih tvrtki kao što su *Boeing* i *Mitsubishi.* Ovaj satelitski sustav načelno podržava samo fiksne korisničke terminale koji su donekle prenosivi te pružaju određenu mobilnost krajnjem korisniku.

Osvnovna funkcija SkyBridge satelitskog sustava je davanje širokopojasnih usluga na gradskom, prigradskom i ruralnom području gdje ne postoji klasična širokopojasna pristupna mreža (xDSL, WiMAX, FTTx), tj. na području gdje je neekomično postavljanje takvog tipa širokopojasnih mreža. Može se reći da za krajnjeg korisnika SkyBridge predstavlja jednu vrstu bežične širokopojasne pristupne petlje [15].

SkyBridge se sastoji od 64 niskoorbitnih LEO (eng. *Low Earth Orbit*) satelita na visini od 1457 km od zemljine površine. Sateliti komuniciraju s paraboličnim zemaljskim antenama u Ku frekvencijskom pojasu (12 GHz – 18 GHz), [26]. Maksimalna brzina prijenosa podataka dostiže 60 Mbit/s, dok je maksimalna brzina slanja podataka 2 Mbit/s. Niskoorbitni sateliti pružaju karakteristično vrlo malo propagacijsko kašnjenje signala od 20 ms što sa sobom donosi veliku kompatibilnost sa TCP/IP protokolima, tj. IP mrežom. To sa sobom donosi vrlo laku integraciju s postojećim klasičnim širokopojasnim mrežama što u konačnici omogućuje dostavu širokopojasnih interaktivnih multimedijalnih usluga visoke kvalitete (visoki QoS).

Korisniku se propušta dogovorena usluga tek nakon registracije na dodijeljenom gateway uređaju. Pojedini gateway obavlja funkciju koncentracije prometa za više registriranih korisnika te povezuje korisnika na vanjsku (IP) mrežu neovisno o drugim gateway uređajima (Slika 17.). Na taj način inteligencija mreže je decentralizirana (greška ili kvar na jednom gateway-u ne utječe na druge gateway-e).

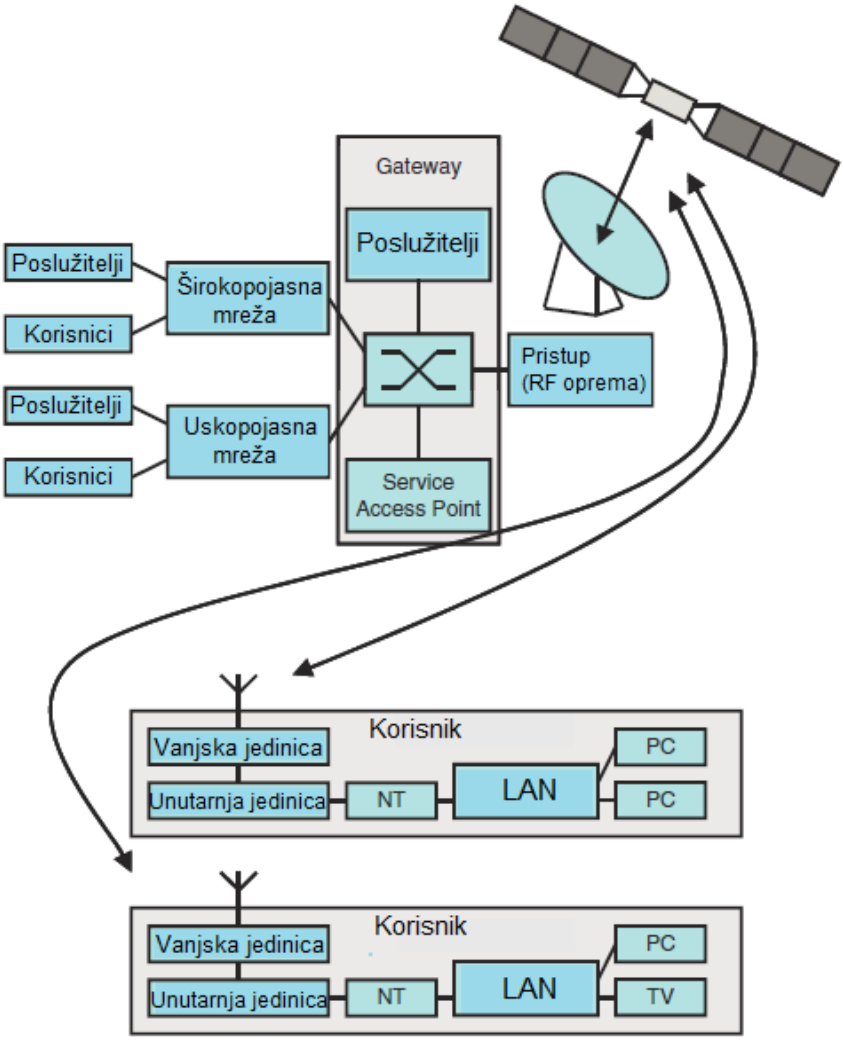
Jedna ćelija SkyBridge satelita ima radijus područja pokrivanja od 350 km. Jedan SkyBridge satelit s višestrukim brojem ćelija ima ukupan radijus pokrivanja signalom od 3000 km (Slika 16).



Slika 16. Područje pokrivanja signalom jednog SkyBridge satelita, [15]

Arhitektura SkyBridge sustava ovisno o konfiguraciji korisničkih terminala podijeljena je na tri moguća tipa, [15]:

- individualni prijem signala (jedan SkyBridge terminal po korisniku)
- višestruko podijeljeni prijem signala (signal sa SkyBridge terminala dijeli se na više korisnika)
- konfiguracija za profesionalnu oporabu – signal sa terminala koristi se za LAN mrežu (Slika 17.) ili se prosljeđuje na privatnu centralu (eng. PBX – *Private Branch Exchange*) za internu komunikaciju unutar poslovne organizacije



Slika 17. SkyBridge arhitektura – konfiguracija za profesionalnu uporabu, [15]

SkyBridge podržava sljedeće stvarnovremenske interaktivne usluge, [15]:

- širokopojasni pristup Internet mreži
- uskopojasne (VoIP) usluge
- pristup standardnim *online* ulugama (*e-mail*, FTP prijenos, pristup drugim LAN mrežama, itd.)
- video telefonija i video konferencija
- telemedicina
- ostale multimedijalne usluge (zabavni sadržaj) – VoD (OTT) usluge i *online* igre

7. ZAKLJUČAK

Ovisno o tipu multimedijalnog sadržaja, razvijene su mreže za prijenos multimedijalnog sadržaja na osnovama preporuka i protokola koji su određeni od strane raznih standardizacijskih tijela. Time se postiže interoperabilnost opreme različitih proizvođaća integrirane u samu arhitekturu pojedine multimedijalne mreže.

Dva standarda za prijenos multimedije u VoIP mrežama su H.323 i SIP. Oba standarda vrlo su fleksibilna u vidu korištenja različitih tipova pomoćnih protokola i kompresijskih rješenja. Međutim, SIP je zvog svoje jednostavnije implementacije u postojeće i buduće VoIP sustave dominantniji protokol. Gotovo svi veći davatelji fiksnih usluga odlučuju se za korištenje SIP arhitekture unutar VoIP fiksnih usluga. Osim fiksnih VoIP usluga, SIP kroz zadnje revizije dobiva i podršku za mobilne VoIP usluge kao što je *Instant Messaging*.

CDN mreže danas su dominantan način za prijenos multimedijalnog sadržaja visoke kvalitete putem Internet mreže. Razni *„over-the-top“* servisi koriste upravu CDN mreže za distribuciju multimedijalnog sadržaja. Poslužitelji unutar CDN mreže su decentralizirani te geografski razmješteni na način da korisniku pružaju visoku kvalitetu usluge uz podržanu interaktivnost s multimedijalnim sadržajem.

IPTV način prijenosa televizijskog i ostalog OTT sadržaja pokazao se kao vrlo dobra alternativa tradicionalnoj distribuciji TV sadržaja kao što su DVB standardi. IPTV koristi privatne pod-mreže visokih performansi za prijenos multimedijalnog sadržaja do korisnika što krajnjem korisniku jamči određenu kvalitetu usluge uz visoku kvalitetu iskustva korištenja usluge (QoE – *Quality of Experience*).

LEO (eng. *Low Earth Orbit*) satelitski sustavi kao što je SkyBrigde pružaju dostojnu zamjenu za klasične pristupne mreže (xDSl, FTTx) na geografskih područjima gdje iste nisu dostupne. SkyBrigde pruža širokopojasni pristup Internet mreži niskih latencija te relativno velike brzine prijenosa (do 60 Mbit/s). S obzirom na navedeno, SkyBridge sustav podržava stvarnovremenski prijenos multimedije bez ograničenja u odnosu na zemaljske mreže.

LITERATURA

[1] Multimedia Networks and Communication, Shashank Khanvilkar, Faisal Bashir, Dan Schonfeld, and Ashfaq Khokhar, University of Illinois at Chicago. Dostupno s: http://mclab.hufs.ac.kr/mediawiki/images/f/f0/MM_Networks_Comm.pdf (srpanj 2016.)

[2] VoIP Technologies, *Edited by Shigeru Kashihar,* InTech, 2011. Dostupno s: http://www.intechopen.com/books/voip-technologies (srpanj 2016.)

[3] Grgurević, I.: Značajke i načini rada protokola za usmjeravanje. Dostupno s: http://estudent.fpz.hr/Predmeti/K/Komutacijski_procesi_i_sustavi/Materijali/Znacajke_i_nacini_rada_protokola_za_usmjeravanje.pdf (srpanj 2016.)

[4] Horak, R.: Telecommunications and data communications handbook. Wiley, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2007.

[5] E. Jones, P.: Overview of H.323, Rapporteur, ITU-T Q2/SG16, 2007. Dostupno s: https//:hive.packetizer.com/users/packetizer/papers/h323/overview_of_h323 (srpanj 2016.)

[6] Schlatter, C.: Basic Architecture of H.323, The Swiss Education & Research Network. Dostupno s: https://hive1.hive.packetizer.com/users/packetizer/papers/h323/h323_basics_handout.pdf (srpanj 2016.)

[7] CISCO: Understanding H.323 Gatekeepers, ažurirano 9. rujna 2014. Dostupno s: http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/h323/5244-understand-gatekeepers.html (srpanj 2016.)

[8] E. Jones, P.: H.323 Protocol Overview, October 2007. Dostupno s: https://hive1.hive.packetizer.com/users/packetizer/papers/h323/h323_protocol_overview.pdf (srpanj 2016.)

[9] H.245 Tunneling, 2016 Dialogic Corporation. Dostupno s: https://www.dialogic.com/webhelp/IMG1010/10.5.3/WebHelp/description/h323/h323_tunneling.htm (srpanj 2016.)

[10] Vcodex: An Overview of H.264 Advanced Video Coding. Dostupno s: https://www.vcodex.com/an-overview-of-h264-advanced-video-coding/ (srpanj 2016.)

[11] Video compression 1: H.261. Dostupno s: http://users.ece.utexas.edu/~ryerraballi/MSB/pdfs/M4L2.pdf (srpanj 2016.)

[12] Voip Think: Codecs. Dostupno s: http://www.en.voipforo.com/codec/codecs.php (srpanj 2016.)

[13] SIP architecture, 383_NTRL_VoIP_08.qxd, 2016. Dostupno s: http://cdn.ttgtmedia.com/searchVoIP/downloads/Building_a_VoIP_Network_Ch%5b1%5d._8.pdf (srpanj 2016.)

[14] Simpson, W.: Video Over IP, IPTV, Internet Video, H.264, P2P, Web TV, and Streaming: A Complete Guide to Understanding the Technology, Second Edition. Elsevier Inc, UK, 2008.

[15] Penttinen, J. T. J.: The Telecommunications Handbook, Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems. Wiley, Joh Wiley & Sons, UK, 2015.

[16] White paper: Cisco VNI Forecast and Methodology, 2015-2020. Jun 01, 2016. Dostupno s: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html (srpanj 2016.)

[17] Timmerer, C.: Adaptive Streaming over HTTP (DASH): Past, Present, and Future, November 7, 2013. Dostupno s: http://www.streamingmediaglobal.com/Articles/Editorial/Featured-Articles/Dynamic-Adaptive-Streaming-over-HTTP-(DASH)-Past-Present-and-Future-93275.aspx (srpanj 2016.)

[18] MPEG-DASH: An overview. Dostupno s: http://www.encoding.com/mpeg-dash/ (srpanj 2016.)

[19] Second Generation Terrestrial: The World's Digital Terrestrial TV Standard, DVB Fact Sheet - August 2016 Produced by the DVB Project Office. Dostupno s: https://www.dvb.org/resources/public/factsheets/dvb-t2_factsheet.pdf (kolovoz 2016.)

[20] Reljin, I. S., Sugaris, A. N: DVB-T2 (DocSlide). Dostupno s: http://documents.tips/documents/dvb-t2-5587350f0117b.html (kolovoz 2016.)

[21] Marayamuttom, A.: IPTV - Architecture and Challenges, Sep 15, 2013. Dostupno s: http://www.slideshare.net/worldabhijith/iptv-architecture-and-challenges (kolovoz 2016.)

[22] Dgitalna televizija (nepotpisano). Dostupno s: http://www.viser.edu.rs/download.php?id=19542 (kolovoz 2016.)

[23] Reuter, I.: Digital Terrestrial Television (DTT) - Network Architecture and Case Solutions, INTELSAT Africa, 2012. Dostupno s: http://www.itso.int/images/stories/2012-Kampala-Eng/intelsat-dtt.pdf (kolovoz 2016.)

[24] HEVC/H.265 Explained, MulticoreWare Inc., 2016. Dostupno s: http://www.x265.org/hevc-h265/ (kolovoz 2016.)

[25] Šarić, S., Forenbacher, I.: Arhitektura multimedijskih mreža. Dostupno s: http://estudent.fpz.hr/Predmeti/A/Arhitektura_telekomunikacijske_mreze/Materijali/9_Arhitektura_multimedijskih_mreza_-_10122015.pdf (kolovoz 2016.)

[26] Redding, C.: Overview of LEO Satellite Systems. Institute for Telecommunication Sciences National Telecommunications and Information Administration Boulder, CO, 1999. Dostupno s: http://www.its.bldrdoc.gov/media/30335/red_s.pdf (kolovoz 2016.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Klasifikacija različitih tipova medija s perspektive prijenosne mreže 4

Slika 2. Osnovni prikaz VoIP sustava 5

Slika 3. H.323 arhitektura 9

Slika 4. H.255 protokolni složaj 10

Slika 5. Registracija i kontrola pristupa kroz RAS kanal 10

Slika 6. Signalizacijski kanal za kontrolu poziva 11

Slika 7. H.245 protokolni složaj 12

Slika 8. Efikasnost prijenosa VoIP paketa ovisno o duljini glasovne informacije 15

Slika 9. RTP/UDP protokolni složaj 16

Slika 10. Tipično uspostavljanje multimedijalne sesije pomoću SIP protokola 18

Slika 11. Razmjena SIP signal. poruka za uspostavljanje i raskidanje poziva 19

Slika 12. MPEG-DASH adaptivni prijenos multimedijalnog sadržaja 23

Slika 13. Arhitektura Google CDN mreže za distribuciju video sadržaja 26

Slika 14. Osnovna arhitektura DVB-T2 mreže 29

Slika 15. Arhitektura IPTV mreže 32

Slika 16. Područje pokrivanja signalom jednog SkyBridge satelita 34

Slika 17. SkyBridge arhitektura – konfiguracija za profesionalnu uporabu 35

POPIS KRATICA

ADPCM (eng. Adaptive differential pulse-code modulation)

ATM (eng. Asynchronous Transfer Mode)

BCH (eng. Bose-Chaudhuri-Hocquengham)

CDN (eng. Contenet Distribution/Delivery Network)

CIF (eng. Common Intermediate Format)

DRM (eng. Digital Rights Management)

DSLAM (eng. Digital Subscriber Line Acces Multiplexer)

DVB-C (eng. Digital Video Broadcasting – Cable)

DVB-RCS (eng. Digital Video Broadcasting – Return Channel via Satellite)

DVB-S (eng. Digital Video Broadcasting – Satellite)

DVB-T (eng. Digital Video Broadcasting – Terrestrial)

EPG (eng. Electronic Program Guide)

ETSI (eng. European Telecommunications Standards Institute)

FTP (eng. File Transfer Protocol)

HDTV (eng. High Definition Television)

HEVC (eng. High Efficiency Video Coding)

HTML (eng. HyperText Markup Language)

HTTP (eng. HyperText Transfer Protocol)

IEC (eng. International Electrotechnical Commission)

IETF (eng. The Internet Engineering Task Force)

IP (eng. Internet Protocol)

IPTV (eng. Internet Protocol Television)

ISDN (eng. Integrated Services Digital Network)

ISO (eng. International Organization for Standardization)

ITU-T (eng. International Telecommunication Union – Telecommunication)

LAN (eng. Local Area Network)

LDPC (eng. Low Density Parity Check)

LEO (eng. Low Earth Orbit)

MC (eng. Multipoint Controller)

MCU (eng. eng. Multipoint Control Unit)

MP (eng. Multipoint Processor)

MPD (eng. Media presentation Discription)

MPEG-DASH (eng. Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)

MSD (eng. Master/Slave Determination)

OFDM (eng. Orthogonal Frequency Division Multiplex)

OTT (eng. Over-the-top)

P2P (eng. Peer-to-peer)

PCM (eng. Pulse-code modulation)

PSTN (eng. Public Switched Telephone Network)

PTM (eng. Packet Transfer Mode)

PVC (eng. Permanent Virtual Connection)

QAM (eng. Quadrature Amplitude Modulation)

QCIF (eng. Quarter Common Intermediate Format)

QoE (eng. Quality of Experience)

QoS (eng. Quality of Service)

RAS (eng. Registration/Admission/Status)

RTCP (eng. Real-Time Control Protocol)

RTP (eng. Real Time Transport Protocol)

SDP (eng. Session Description Protocol)

SIP (eng. Session Initiation Protocol)

STB (eng. Set-Top Box)

TCP (eng. Transmission Control Protocol)

TV (eng. Television)

UA (eng. User Agent)

UAC (eng. User Agent Client)

UAS (eng. User Agent Server)

UDP (eng. User Datagram Protocol)

UHD (eng. Ultra High Definition)

URL (eng. Uniform Resource Locator)

VoD (eng. Video on Demand)

VoIP (eng. Voice over Internet Protocol)

METAPODACI

Naslov rada: Arhitektura mreža za prijenos multimedijalnog sadržaja

Student: Goran Tomašec

Mentor: Ivan Forenbacher, dr. sc.

Naslov na drugom jeziku (engleski): Voice and Multimedia Networks Architecture

Povjerenstvo za obranu:

- Prof. dr. sc. Slavko Šarić (predsjednik)
- Dr. sc. Ivan Forenbacher (mentor)
- Doc. dr. sc. Ivan Grgurević (član)
- Prof. dr. sc. Dragan Peraković (zamjena)

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Informacijsko komunikacijski promet

Vrsta studija: Preddiplomski

Studij: Promet

Datum obrane završnog rada: 13. rujna 2016.

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 **Arhitektura mreža za prijenos multimedijalnog sadržaja**

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

U Zagrebu, 5.9.2016

Student/ica:

(potpis)