

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Igor Mikšić

ARHITEKTURA I ZNAČAJKE IPTV MREŽE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet Prometnih Znanosti

ZAVRŠNI RAD

ARHITEKTURA I ZNAČAJKE IPTV MREŽE
ARCHITECTURE AND FEATURES OF IPTV
NETWORK

Mentor: dr. sc. Ivan Forenbacher

Student: Igor Mikšić

JMBAG: 0135233719

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 16. ožujka 2018.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4439

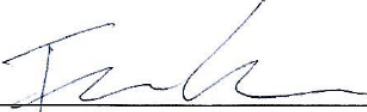
Pristupnik: **Igor Mikšić (0135233719)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Arhitektura i značajke IPTV mreže**

Opis zadatka:

U radu je potrebno analizirati vrste pristupnih tehnologija. Objasniti značajke video sadržaja. Opisati protokole koji se koriste za prijenos video sadržaja. Navesti i objasniti značajke temeljnih mrežnih elemenata IP TV mreže.

Mentor:



dr. sc. Ivan Forenbacher

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

ARHITEKTURA I ZNAČAJKE IPTV MREŽE

SAŽETAK

IPTV mreža novi je sustav pružanja televizijskih, video, audio, podatkovnih i drugih interaktivnih usluga putem mreža temeljenih na Internet Protokolu (IP). Može biti izvedena implementacijom različitih širokopojsnih pristupnih tehnologija, upotrebom postojećih bakrenih parica, optičkim pristupnim tehnologijama ili bežičnim radijskim pristupom. Prijenos video sadržaja temeljna je IPTV usluga, zbog čega je nužno razumijevanje osnovnih parametara o kojima ovisi kvaliteta sadržaja, kao i razumijevanje tehnika kompresije kao neophodnog procesa obrade video signala. Prijenos sadržaja IP mrežom započinje formiranjem transportnog toka i enkapsulacijom podataka, a ovisi o mnoštvu protokola. Cilj ovoga rada pružiti je uvid u sastavne dijelove složene IPTV arhitekture, kao i pojedine značajke neophodne za osiguravanje isporuke usluga.

KLJUČNE RIJEČI: IPTV; prijenos podataka; video sadržaj; kompresija; arhitektura.

ARCHITECTURE AND FEATURES OF IPTV NETWORK

SUMMARY

IPTV provides interactive multimedia services, including television, video, audio and data through the use of Internet Protocol based networks. It can be implemented by using various broadband access technologies – via wireless radio access, over a fiber access network or by utilizing existing twisted pair cabling. Because video streaming is a core IPTV service, it is important to understand the basic video parameters that quality depends on, as well as compression techniques as a necessary component of video signal processing. The proces of content transmission via IP networks begins by forming a transport stream and encapsulating the data, and it is dependent upon multiple communication protocols. The purpose of this paper is to provide insight into the main components of complex IPTV architecture, as well as the features required to ensure the delivery of services.

KEYWORDS: IPTV; data transmission; video content; compression; architecture.

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	PRISTUPNE TEHNOLOGIJE IPTV MREŽE	3
2.1.	IPTV putem xDSL tehnologija	3
2.1.1	ADSL	4
2.1.2.	ADSL2	5
2.1.3.	ADSL2+	6
2.1.4.	VDSL	7
2.2.	IPTV putem optičkih mreža	8
2.2.1.	Aktivna optička mreža - AON.....	11
2.2.2.	Pasivna optička mreža – PON.....	11
2.3.	IPTV putem kableske TV mreže	13
2.4.	IPTV putem satelitskih veza	15
2.5.	IPTV putem bežičnih radijskih mreža.....	15
2.5.1.	Fiksni WiMAX.....	16
2.5.2.	Mobilni WiMAX.....	17
2.5.3	Bežične mesh mreže.....	18
2.5.4.	3G mrežne tehnologije	19
2.5.5.	4G mrežne tehnologije	19
3.	ZNAČAJKE VIDEO SADRŽAJA	20
3.1.	Svojstva video datoteke.....	21
3.2.	Kompresija	22
3.2.1.	Video kompresija	23
3.2.2.	Audio kompresija	26
4.	PROTOKOLNI SLOŽAJ.....	27
4.1.	Formiranje transportnog toka i enkapsulacija podataka.....	28

4.2. Temeljni transportni protokoli	31
4.2.1. TCP.....	31
4.2.2. UDP	32
4.2.3. RTP.....	32
4.2.4. SCTP	33
4.3. Ostali značajniji protokoli	34
5. TEMELJNI MREŽNI ELEMENTI IPTV MREŽE	36
6. ARHITEKTURA IPTV MREŽE	39
6.1. Super Head End.....	41
6.3. Video Serving Office	41
6.3. Local End Office	42
6.4. Customer Premises	43
6.5. Održavanje kvalitete i zaštita video sadržaja	43
6.5.1. Faktori koji utječu na kvalitetu video sadržaja.....	43
6.5.2. Zaštita sadržaja	45
7. ZAKLJUČAK	47
LITERATURA.....	49
POPIS SLIKA	53
POPIS KRATICA	54

1. UVOD

Internet Protocol Television (IPTV) definira se kao skup multimedijских usluga poput televizije, video, audio, tekstualnih, grafičkih i podatkovnih usluga koje se isporučuju putem mreža temeljenih na Internet Protokolu (IP). Predstavlja izravnu konkurenciju zemaljskim, kablskim i satelitskim uslugama odašiljanja pružajući usluge gledanja tradicionalnih TV kanala, ali i mnogobrojne druge. U skladu s *Triple-Play* principom telekomunikacijski operatori objedinjuju usluge prijenosa govora, podataka i video sadržaja.

Spektar usluga vrlo je širok, a uključuje takozvane *broadcast* kanale, odnosno usluge „klasične televizije“ visoke razlučivosti uz korištenje elektronskog programskog vodiča (EPG – engl. *Electronic Program Guide*), gledanje premium kanala, plaćanje po gledanom sadržaju PPV (engl. *Pay-per-view*), usluge videa na zahtjev (VoD – engl. *Video-on-demand*) uz mogućnost kontrole reprodukcije sadržaja, usluge gledanja s vremenskim pomakom (engl. *Time-shifted TV*) te mogućnost snimanja sadržaja uslugom osobnog videorekordera (PVR – engl. *Personal Video Recorder*).

IPTV izrazito je kompleksan sustav složene arhitekture. Proces prijema i obrade video signala u mrežnim čvorištima, distribucija transmisijskim mrežama te u konačnici isporuka usluga krajnjim pretplatnicima zahtijeva koherenciju brojnih tehnologija. Može biti implementiran na bilo kojoj IP mreži, pa tako i otvorenom, javnom Internetu, no IPTV usluge gotovo uvijek isporučuju se privatnim IP mrežama, kojima se osigurava potrebna razina kvalitete usluga, pouzdanost, sigurnost i interaktivnost.

IP mreže idealno su idejno rješenje za isporuku video signala korisnicima. Omogućuju potrebnu fleksibilnost, ekonomski su prihvatljive te pružaju globalnu pokrivenost. Internet Protokol kao osnova IP mreža predstavlja mehanizam za usmjeravanje paketnih tokova između umreženih uređaja. Dobro definiranim paketima podaci se prenose brojnim privatnim i javnim IP mrežama, implementacijom različitih fizičkih komunikacijskih tehnologija.

Razvoj IPTV usluga primarno je bio usmjeren na fiksne terminale, no unaprjeđenjem procesorske snage, memorijskih kapaciteta i veličine zaslona mobilnih terminalnih uređaja, velika je pažnja usmjerena na tehnologiju isporuke IPTV usluga u mobilnom okruženju, naročito u svijetu takozvanih pametnih telefona. Većina danas korištenih uređaja podržava IP, zbog čega se i mnogobrojne različite aplikacije temelje upravo na toj tehnologiji. Iznimno je široko rasprostranjena te predstavlja temelj za transport velikog broja video tehnologija.

Ovaj rad koncipiran je kao pregled temeljnih funkcionalnih elemenata arhitekture i bitnih značajki IPTV mreže, s naglaskom na transportni dio sustava. Tematika završnog rada opisana je kroz sedam cjelina:

1. Uvod
2. Pristupne tehnologije
3. Značajke video sadržaja
4. Protokolni složaj
5. Temeljni mrežni elementi IPTV mreže
6. Arhitektura IPTV mreže
7. Zaključak

U drugom poglavlju nabrojane su i opisane karakteristike brojnih širokopoljnih pristupnih tehnologija upotrebljivanih u implementaciji IPTV mreža.

Prijenos video sadržaja temeljna je usluga IPTV sustava. Treće poglavlje usmjereno je na analizu parametara statične slike kao osnovne jedinice videa, kao i analizu svojstava video datoteka. Kroz ovo poglavlje provedena je i analiza osnovnih značajki najčešće korištenih metoda kompresije.

U četvrtom poglavlju opisani su temeljni transportni protokoli implementirani u IPTV mrežama. Analiziran je proces formiranja transportnog toka i enkapsulacije podataka kao osnove za prijenos sadržaja mrežama baziranim na Internet Protokolu.

Peto poglavlje obuhvaća pregled temeljnih mrežnih elemenata IPTV mreže. Navedene su i pojašnjene funkcije pojedinih dijelova mrežne infrastrukture IPTV sustava.

Šesto poglavlje usmjereno je na arhitekturu IPTV mreže. Analizirani su sastavni funkcionalni dijelovi mreže, pojašnjena je uloga pojedinih elemenata u kontekstu isporuke usluga s kraja na kraj.

2. PRISTUPNE TEHNOLOGIJE IPTV MREŽE

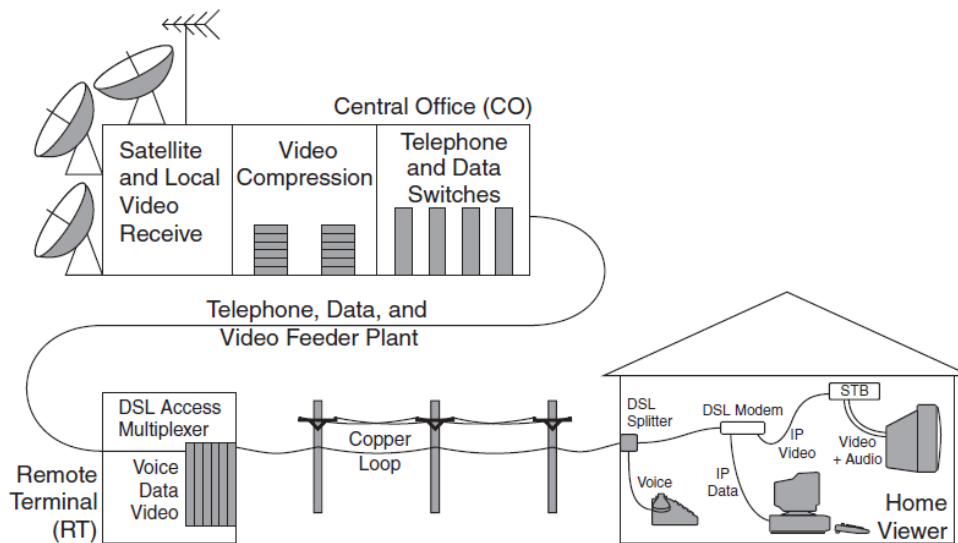
Jedan od primarnih izazova s kojima se suočavaju IPTV pružatelji usluga jest osiguravanje odgovarajućeg mrežnog kapaciteta između jezgrene mreže i krajnjeg korisnika. IPTV usluge izrazito su ovisne o brzinama prijenosa, stoga je pružanje adekvatne propusnosti od iznimne važnosti za rad i kvalitetu. IPTV *end-to-end* mrežna infrastruktura može biti realizirana upotrebom sljedećih širokopojasnih pristupnih tehnologija, skalabilnih za zadovoljenje propusnih potreba IPTV-a, [2]:

- Putem tehnologija Digitalne pretplatničke linije (xDSL)
- Putem optičkih mreža
- Putem kabela TV mreže
- Putem satelitske mreže
- Putem bežičnih mreža

2.1. IPTV putem xDSL tehnologija

Upotrebom postojeće mrežne infrastrukture temeljene na bakrenim telefonskim linijama, pružatelji telekomunikacijskih usluga omogućili su pretvorbu postojeće telefonske infrastrukture između lokalne telefonske centrale i korisničkog priključka u digitalnu liniju velike brzine. Krajnjim korisnicima omogućene su usluge visoke propusnosti, televizijske usluge nove generacije te podatkovne usluge velike brzine. Korištenje postojećih digitalnih pretplatničkih linija omogućilo je ekonomski prihvatljiv širokopojasni pristup Internetu i video uslugama, bez rekonstrukcije sustava. Potrebna propusnost postignuta je implementacijom DSL tehnologija poput Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL), ADSL2, ADSL2+ te Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL), [1].

xDSL tehnologije još uvijek su najraširenija metoda širokopojasnog pristupa Internetu u Republici Hrvatskoj. Većina operatora na hrvatskom tržištu usluge osigurava korištenjem postojeće telefonske linije, a neki od njih su Hrvatski Telekom, Vipnet, Iskon Internet i Optima Telekom.



Slika 1. DSL dijagram, [13]

2.1.1 ADSL

Asimetrična digitalna pretplatnička linija (ADSL) trenutno je najrasprostranjeniji oblik DSL tehnologije postavljen na telekomunikacijske mreže širom svijeta. Temelji se na *point-to-point* tehnologiji povezivanja, što pružateljima telekomunikacijskih usluga omogućuje isporuku usluga visoke propusnosti putem postojećih bakrenih telefonskih linija. Prijenos podataka u silaznoj vezi, odnosno iz središnjeg podatkovnog centra ili regionalnog ureda prema korisničkoj opremi brži je od informacija koje putuju od korisnika do središnjeg podatkovnog centra, otkuda i naziv „asimetrična“. Upotrebom specijaliziranih tehnika, ADSL omogućuje silazne brzine od 8 Mbps i uzlazni protok od 1,5 Mbps, [2]. Stoga, jedna ADSL veza dovoljna je za istodobni prijenos dvaju MPEG-2 *Standard Definition* televizijska kanala i brze internetske veze. Glavni nedostatak ADSL-a jest ovisnost o udaljenosti središnjeg ureda davatelja usluga. ADSL je tehnologija osjetljiva na daljinu, zbog čega pretplatnici u blizini središnjeg podatkovnog centra dobivaju bolju uslugu od udaljenih korisnika.

Iako ADSL oprema pruža digitalnu vezu preko klasične telefonske mreže, signal koji se prenosi ovom vezom moduliran je kao analogni signal. Modemi u IPTV podatkovnom centru odgovorni su za pretvaranje digitalnih podataka u analogne signale prihvatljive za prijenos, dok modemi na korisničkoj strani vrše reverzibilan postupak. Dvije primarne tehnike koje se koriste za moduliranje digitalnih IPTV podataka u analogni signal

za ADSL prijenos jesu amplitudno-fazna modulacija s potisnutim nosiocem (eng. *CAP – Carrierless Amplitude/Phase Modulation*) i diskretna multitonnska modulacija (engl. *DMT - Discrete Multi-Tone*), [1].

ADSL tehnologija idealna je za niz različitih interaktivnih usluga, no nije optimalno rješenje za isporuku IPTV sadržaja zbog nedostatne brzine prijenosa podataka. Tehnologija nije u mogućnosti zadovoljiti potrebe pružatelja IPTV usluga za isporuku sadržaja visoke razlučivosti. Također, interaktivne usluge predstavljaju prepreke budući da se tehnologija temelji na asimetričnom prijenosu. ADSL nije prikladan za aplikacije poput *peer-to-peer* usluge koje zahtijevaju jednaku propusnost u silaznoj i uzlaznoj vezi, stoga davatelji mrežnih usluga počinju implementirati naprednije DSL tehnologije koje prevladavaju ta ograničenja.

2.1.2. ADSL2

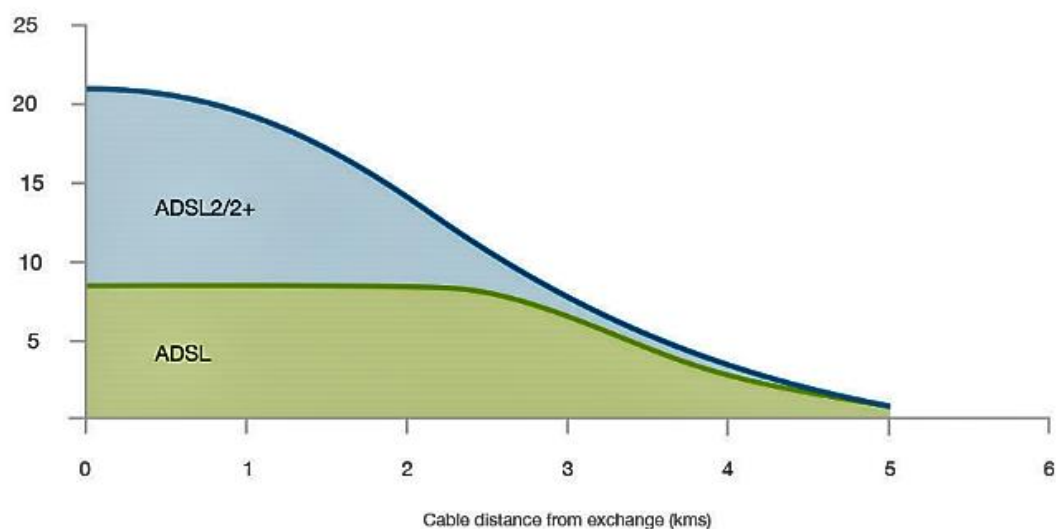
ADSL2 tehnologija predstavlja drugu generaciju širokopojsnih asimetričnih pristupnih tehnologija, razvijenu s ciljem poboljšanja brzine prijenosa podataka te prijenosnog raspona ADSL-a. Dvije verzije ADSL2 standarda, nazvane G.dmt.bis i G.lite.bis standardizirane su i 2002. godine odobrene od strane Međunarodne telekomunikacijske unije (eng. *ITU – International Telecommunication Union*), [1]. G.992.3 standard predstavlja ADSL2 za *full-rate* ADSL, dok G.992.4 predstavlja verziju modernijeg standarda bez DSL razdjelnika. Njihovom standardizacijom započela je zamjena prethodno razvijenih ADSL standarada.

Upotrebom učinkovitije modulacije, smanjenjem zaglavlja okvira, kodiranjem te korištenjem poboljšanih algoritama za obradu signala postignut je napredak u odnosu na prethodni ADSL standard. Bolja učinkovitost modulacije ostvarena je 4-dimenzionalnom rešetkasto kodiranom modulacijom sa 16 stanja i 1-bitnom QAM konstelacijom, što omogućuje veće brzine prijenosa podataka na dugim linijama gdje je odnos signal-šum nizak. Sljedeća značajka ADSL2 standarda jest redukcija okvira sinkronizacijskih podataka u prijenosu informacija osiguravajući okvir sa programabilnim brojem bitova sinkronizacijskih podataka. Za razliku od fiksnog broja bitova po okviru korištenih kod prve generacije ADSL standarda, u ADSL2 standardu ti su bitovi programabilni, te varijiraju od 4 kbps do 32 kbps, čime se omogućuje i do 28 kbps dodatne širine pojasa za korisne podatke.

Osim navedenih, ADSL2 pruža mnogo dodatnih poboljšanja u odnosu na ADSL što u konačnici rezultira povećanjem prijenosne brzine koju dobivaju ADSL2 sustavi. Maksimalna brzina prijenosa podataka kod ADSL2 pristupne tehnologije iznosi oko 12 Mbit/s u dolaznom smjeru i 1 Mbit/s u odlaznom smjeru. Dodatna poboljšanja uključuju mogućnosti smanjenja snage na krajevima telefonske linije, čime se smanjuje jeka i mogućnosti preslušavanja. Skraćeno je trajanje inicijalizacije poveznice, poboljšana je međusobna operabilnost između primopredajnika različitih proizvođača te je omogućen potpuno digitalni način rada, odnosno prijenos ADSL2 podataka POTS¹ kanalom, [1].

2.1.3. ADSL2+

ADSL2+ tehnologija ratificirana je 2003. godine i definirana ITU-T preporukom G.992.5. Predstavlja širokopojasnu pristupnu tehnologiju koja se temelji na upotrebi frekvencijskog spektra gornje granične frekvencije od 2.2 MHz, što je dvostruko više u nego kod ADSL i ADSL2 tehnologija koje koriste frekvencijski spektar do 1.1 MHz. Korištenjem proširenog frekvencijskog spektra, ADSL2+ tehnologija omogućuje postizanje većih brzina prijenosa na kraćim duljinama parica. Maksimalne brzine downstream prijenosa iznose oko 28 Mbit/s, dok upstream brzine prijenosa dostižu 1.5 Mbit/s.



Slika 2. Usporedba vršnih brzina ADSL tehnologija obzirom na udaljenost (Mbit/s), [12]

¹ POTS (engl. *Plain Old Telephone Service*) – Analogni telefonski kanal

2.1.4. VDSL

Very high speed Digital Subscriber Lines predstavlja daljnji napredak DSL tehnologije, nastao s ciljem savladavanja nedostataka prethodnih inačica ADSL širokopojasnog pristupa. Uklanja uska grla posljednjih milja i podržava velike brzine prijenosa. IPTV pretplatnicima omogućen je cijeli niz usluga, uključujući video na zahtjev te višekanalni TV program visoke kvalitete. VDSL također je dizajniran i kao podrška za prijenos ATM i IP prometa preko bakrene petlje, čime je pružateljima usluga omogućena migracija ATM mreže na IP baziranu infrastrukturu.

VDSL tehnologija podržava simetričan i asimetričan način prijenosa podataka. Arhitektura sustava temelji se na kombinaciji optičkih vlakana i upredenih parica, a maksimalna brzina prijenosa podataka u silaznoj vezi dostiže do 55 Mbit/s, te oko 15 Mbps u uzlaznoj vezi. Nadogradnja ove tehnologije njezina je inačica VDSL2, definirana ITU-T preporukom G.993.2. Zahvaljujući činjenici da DSL izrazito ovisi o duljini lokalne petlje, stvorena je verzija VDSL2 Long Reach za isporuku VDSL usluge što većem broju pretplatnika, osiguravajući velike brzine prijenosa.

Glavna značajka VDSL-a kojom učvršćuje položaj kao krajnju DSL tehnologiju je kompatibilnost i interoperabilnost s prethodnim verzijama ADSL mreža. Korištenjem VDSL-a postaje moguće digitalno emitiranje televizijskih tokova podataka, brzi pristup Internetu, video na zahtjev (engl. *VoD – Video-On-Demand*), učenje na daljinu, telekonferencije i druge aplikacije putem već postojećeg para žica. Iako brzina prijenosa podataka opada povećanjem udaljenosti, unutar dometa tehnologija može podržati prijenos jednog ili više TV kanala visoke razlučivosti (HD) kao i pristup internetu velikom brzinom, [1], [2], [13].



Slika 3. Usporedba frekvencijskog pojasa ADSL2, ADSL2+ i VDSL tehnologija, [10]

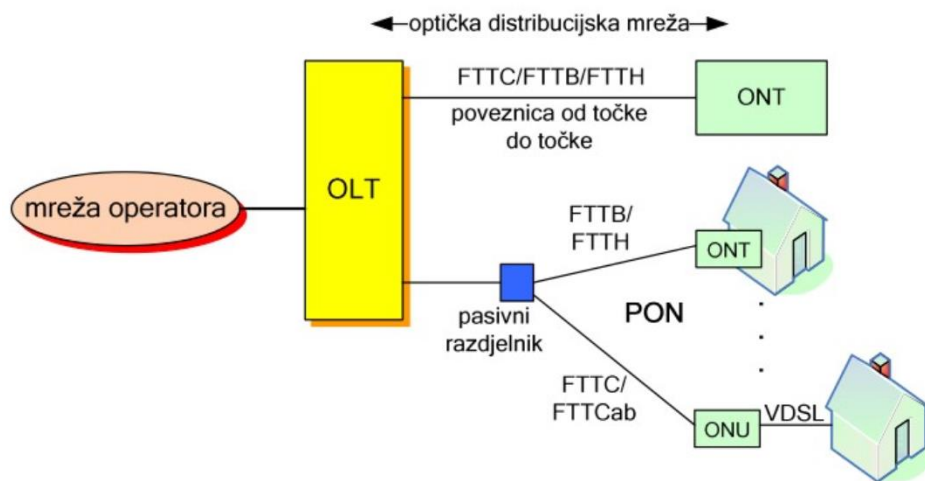
2.2. IPTV putem optičkih mreža

Razvojem interaktivnih i distribucijskih usluga te pojavom novih tehnoloških zahtjeva raste i potreba za znatno većim brzinama prijenosa i pouzdanošću. Primjenom optike, odnosno svjetlovodne širokopojasne pristupne tehnologije predstavljeno je rješenje pitanja nedostatnog kapaciteta i ograničenog dometa. Optička vlakna omogućuju prijenos podataka velikim brzinama te svojim specifičnim karakteristikama rješavaju problem vanjske elektromagnetske interferencije. Optički širokopojasni pristup moguće je ostvariti žičnim, ali i bežičnim putem.

Posljednjih godina na području Republike Hrvatske ulažu se znatna sredstva u implementaciju optičkih mreža. Većina operatora na tržištu nudi usluge prijenosa putem optike, ali dostupnost je moguća samo na ograničenom području, u većim gradovima, zbog još uvijek nedovoljno razvijene optičke infrastrukture. Neki od operatora koji pružaju usluge prijenosa putem optike su Hrvatski Telekom, Vipnet, Iskon Internet te noviji operator Pro-Ping Telekom.

Osnovni tipovi arhitekture širokopojasnog pristupa svjetlovodnim nitima dijele se prema sljedećim FTTx (engl. Fiber to the X) konceptima, [1], [2]:

- optičke niti do centrale – FTTE_x (engl. *Fiber-to-the-exchange*)
- optičke niti do kabineta – FTTC_{ab} (engl. *Fiber-to-the-cabinet*)
- optičke niti do čvora – FTTN (engl. *Fiber-to-the-node*)
- optičke niti do pločnika – FTTC (engl. *Fiber-to-the-curb*)
- optičke niti do zgrade – FTTB (engl. *Fiber-to-the-building*)
- optičke niti do doma - FTTH (engl. *Fiber-to-the-home*).



Slika 4. FTTx arhitektura, [11]

FTTEx tip optičke pristupne mreže odnosi se na instalaciju vlakana iz IPTV podatkovnog centra u najbliži regionalni ured u vlasništvu telekomunikacijske tvrtke. Od središnjeg ureda može se implementirati VDSL preko postojeće bakrene parice. VDSL se može koristiti i za pružanje "last mile" rješenja za nekoliko SDTV kanala i brzi pristup Internetu na udaljenosti do krajnjeg korisnika IPTV-a, [1].

FTTCab ili tehnologija optičke niti do kabineta koristi se za posluživanje pretplatnika udaljenih od središnjeg ureda. Optičko vlakno izvodi se iz središnjeg ureda na optičku mrežnu jedinicu, od kojeg se podaci do pretplatnika prenose postojećom bakrenom žicom. Širokopojasni signali optičkim vlaknom dovode se do skupine korisnika gdje se nalazi ormarić u kojem se provodi optičko-električka pretvorba. Potom se distribuiraju do korisnika pojedinačno putem VDSL modema i telefonske parice. Radijus područja koje se obično poslužuje ovom vrstom optičke petlje manji je od 1500 metara, a broj korisnika koji ova optička petlja može posluživati obično iznosi do nekoliko stotina korisnika.

FTTN tip optičke pristupne mreže podrazumijeva instaliranje optičkih vlakana iz IPTV podatkovnog centra na razdjelnik, koji se uglavnom nalazi na udaljenosti manjoj od 1500 metara od pretplatnika. Zatim se putem postojeće bakrene žice implementira mehanizam poput digitalne pretplatničke linije (DSL) za uspostavu krajnje veze s pretplatnikom. Implementacija FTTN-a omogućuje krajnjim korisnicima primanje

kompletnog paketa usluga platnog prometa, uključujući video na zahtjev (VoD) te televiziju visoke razlučivosti.

FTTC je tip optičke pristupne mreže koji se bazira na dovođenju optičkog vlakna na udaljenosti od nekoliko metara do nekoliko stotina metara od krajnjeg korisnika. Ormarić se postavlja na maloj udaljenosti od korisnika, a optičko vlakno provlači se što bliže je moguće bliže korisniku, što u konačnici rezultira većim prijenosnim brzinama. Također kao i kod FTTCab, od ormarića do korisnika najčešće se implementira VDSL pristupna tehnologija.

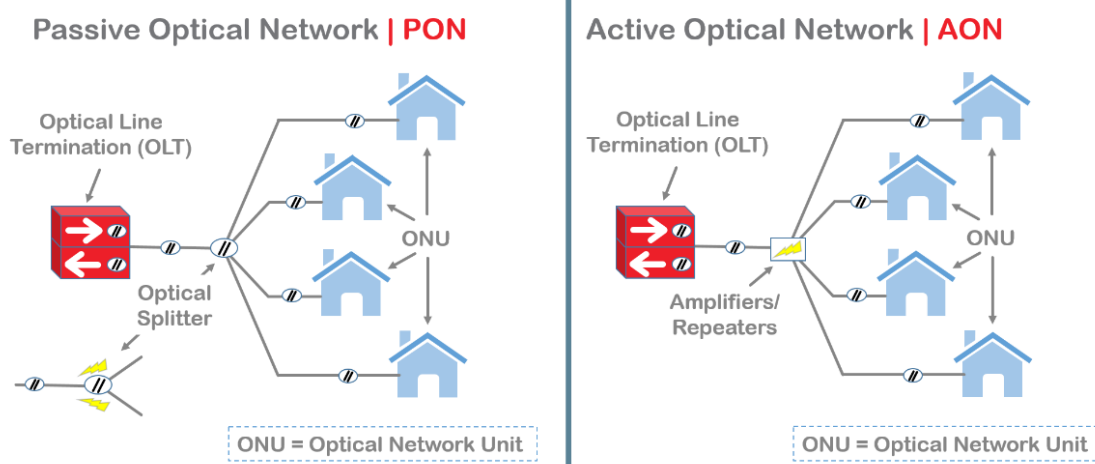
FTTB odnosno optička nit do zgrade vrsta je optičke komunikacijske usluge kod koje je optička mrežna jedinica smještena u podrumu zgrade, otkuda prijenos informacija prema korisnicima nastavlja upotrebom bakrenih parica. Slična je tehnologiji FTTH, no istodobno poslužuje više korisnika.

FTTH širokopojasna optička pristupna mreža predstavlja krajnju opciju implementacije sveoptičke mreže te u potpunosti istiskuje upotrebu bakrenih parica. Cijela ruta od IPTV podatkovnog centra do kuće korisnika povezana je optičkim vlaknima. Takve optičke mreže omogućuju isporuku vrlo velike količine podataka krajnjim korisnicima sustava. FTTH je *full-duplex* komunikacijski sustav i podržava interaktivnu prirodu IPTV usluga.

Izvedba navedenih FTTx arhitektura može biti implementirana kroz dvije varijante sustava koje se razlikuju po načinu na koji razdjeljuju i usmjeravaju podatke od centrale prema odgovarajućem odredištu. Prema temeljnoj arhitekturi ti se sustavi mogu podijeliti na, [2]:

- Aktivne optičke mreže (engl. *AON – Active Optical Network*)
- Pasivne optičke mreže (engl. *PON – Passive Optical Network*).

Obje implementacije predstavljaju rješenje kablenskog sustava za širokopojasni prijenos *Triple Play* usluga. Nedostatak *Point-to-Point* i AON rješenja iskazuje se u vidu skalabilnosti sustava, odnosno nemogućnosti efikasnog proširivanja na rastući broj korisnika. S druge strane, kod pasivnih optičkih mreža upravo je skalabilnost jedna od prednosti sustava, dok se kao nedostaci iskazuju ograničeni domet i prijenosni pojas.



Slika 5. Usporedba AON i PON mreža, [11]

2.2.1. Aktivna optička mreža - AON

Aktivna optička mreža zasniva se na upotrebi električnih komponenti između krajnjeg IPTV korisnika i podatkovnog centra. Takav sustav temelji se na *Point-to-Point* (PTP) strukturi, odnosno svaki korisnik ima dodijeljenu svjetlovodnu liniju spoјenu na optički koncentrator, [5]. Za upravljanje distribucijom signala, odnosno podataka, AON mrežna arhitektura koristi *Ethernet* preklopnike (*switch*) i usmjerivače (*router*) smještene između IPTV podatkovnog centra i krajnje točke optičke mreže. Uporabom električne opreme osigurava se prijenos informacija prema odgovarajućem odredištu.

2.2.2. Pasivna optička mreža – PON

Pasivna optička mreža u potpunosti je pasivna optička kabela struktura, a odnosi se na topologiju umrežavanja od točke do više točaka (*Point-to-MultiPoint* okruženja). Za razliku od aktivnih optičkih mreža, na mjesto spojišta umjesto aktivne opreme postavljaju se pasivni optički razdjelnici (*optical splitters*), koji ulazni optički informacijski tok razdjeljuju na veći broj fizičkih putova. Efikasnije iskorištenje sustava ostvaruje se određenim metodama multipleksiranja, primjerice paketnim ili vremenskim multipleksiranjem te multipleksiranjem po valnim duljinama, [4].

PON sustav ne zahtijeva električne komponente između IPTV podatkovnog centra i određene točke, a obično se sastoji od centralnog čvora davatelja usluga (OLT – *Optical Line Terminal*), koji se nalazi u IPTV podatkovnom centru te brojnih optičkih mrežnih terminala (ONT – *Optical Network Terminal*) koji se instaliraju u prostorijama krajnjih korisnika.

Glavne prednosti PON sustava u odnosu na ostala optička rješenja su ekonomičnost i pouzdanost. Optički razdjelnici, kao i optička vlakna pasivni su optički dijelovi te usmjeravanje svjetlosnih valova kroz mrežu njihovom upotrebom eliminira potreba dodatnim napajanjem. Pouzdanost je velika upravo jer je riječ o potpuno pasivnoj strukturi, a ekonomičnost proizlazi iz uštede na količini optičkog kabela i jednostavnosti same topologije. Dijagnostika kvara u pasivnom dijelu mreže je brža i jednostavnija, a ukupno gušenje sustava manje, po načelu manji broj razdjelnika – manje intrinzično gušenje i broj kvarova, [4].

Telekomunikacijski operatori danas implementiraju nekoliko tipova pasivnih optičkih mreža, različitih protokola višeg sloja, što u konačnici rezultira različitim ostvarenim brzinama prijenosa podataka. Obzirom na vrstu multipleksiranja postoje, [36]:

- APON (Asynchronous Transfer Mode-based PON)
- BPON (Broadband PON)
- EPON (Ethernet-based PON)
- GPON (Gigabit PON)
- WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing PON)

2.2.2.1. APON

APON je prvi PON sustav koji je postigao značajnu komercijalnu primjenu, s fizičkim slojem temeljenim na asinkronom načinu prijenosa (ATM - *Asynchronous Transfer Mode*). Podržane brzine prijenosa kreću se do 622 Mbit/s u dolaznom i do 155 Mbit/s u odlaznom smjeru. Domet prijenosa iznosi do 20 km, a optička poveznica koja povezuje OLT i ONU (engl. *Optical Network Unit*) može posluživati najviše 32 krajnja korisnika.

2.2.2.2. BPON

BPON tip pasivne optičke mreže normiran je preporukama ITU-T G.983, te koristi ATM preklapanje za pridjeljivanje vremenskog otvora. Asimetričan je kao i ADSL te u silaznoj vezi brzine prijenosa iznose 622 Mbit/s, dok je brzina prijenosa u uzlaznoj vezi reducirana na

155 Mbit/s. BPON prenosi govor i podatke na 1490 nm koristeći IP protokol na razini L3, a za prijenos videa rezervirana je posebna valna duljina od 1550 nm. Nedostaci BPON-a su danas premalena brzina po korisniku (20-30 Mbit/s), veliko zaglavlje ATM protokola i cijena.

2.2.2.3. EPON

Ethernet PON ili EPON je optička pristupna tehnologija usvojena kao standard 802.3 od strane IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 2004. godine. Temelji se na *Ethernetu* kao transportnom mehanizmu. Prijenosne brzine definirane su *Ethernet* standardima: 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s ili 10 Gbit/s, a ovisi od udaljenosti između OLT-a i ONT-a, [2].

2.2.2.4. GPON

Gigabit PON ili GPON je optički pristupni sustav koji se temelji na ITU-T preporuci G.984. U osnovi je nadogradnja na BPON te uključuje podršku za veće brzine prijenosa. Omogućuje brzine prijenosa podataka od 622 Mbit/s i 1,25 Gbit/s simetrično, kao i 2,5 Gbit/s *downstream* i 1,25 Gbit/s *upstream* kod asimetričnog prijenosa. GPON sustav pruža podršku za *Ethernet* 10 Mbit/s i 100 Mbit/s, te ATM, TDM i SONET, [1].

2.2.2.5. WDM-PON

WDM-PON tip pasivne optičke mreže temelji se na upotrebi različitih valnih duljina za svakog pojedinog pretplatnika. Za razliku od tradicionalnih PON arhitektura gdje se jedan optički signal dijeli između 32 ili više korisnika, kod WDM-PON-a svakom korisniku dodijeljena je vlastita valna duljina koju kontinuirano koristi. Glavna prednost WDM-PON sustava je prijenosni kapacitet dostupan svakom pojedinom pretplatniku te sigurnost i skalabilnost mreže, [35].

2.3. IPTV putem kabela TV mreže

Potaknuti tehnološkim razvojem i zahtjevima korisnika, operatori kabela televizije (CATV – *Cable Television*) tijekom godina uložili su značajna sredstva u nadogradnju postojeće mreže za podršku naprednih komunikacijskih usluga poput IPTV-a. Napravljene su određene preinake unutar infrastrukture mreže kabela televizije s ciljem omogućavanja širokopojasnog prijenosa podataka.

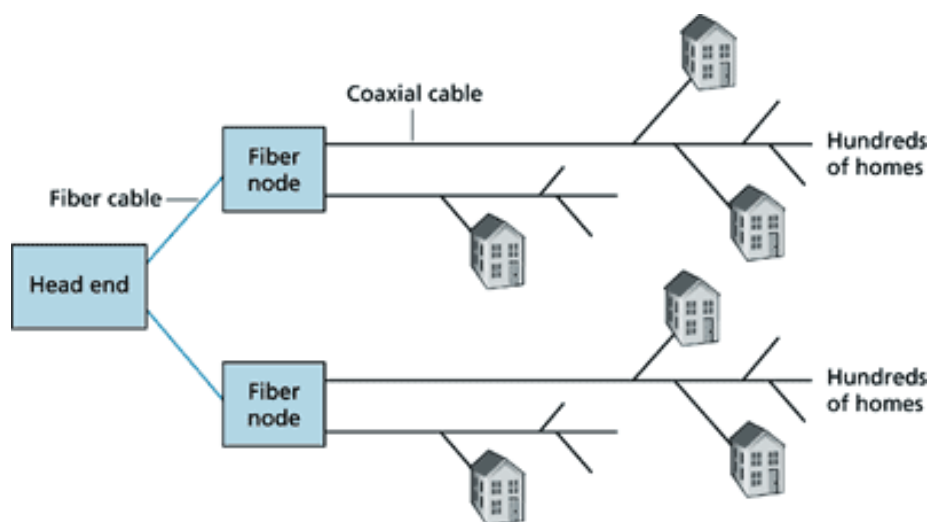
Hibridna optičko-koaksijalna mreža HFC (engl. *Hybrid Fiber/Coax*) temelji se na konfiguraciji optičkih i koaksijalnih kabela. Fizička svojstva optičkih i koaksijalnih kabela podržavaju mrežu koja radi na nekoliko gigabita u sekundi. Takve mreže sposobne su simultano

emitirati analogne i digitalne usluge. Mogućnost proširivih kapaciteta i zadovoljenje pouzdanosti koje zahtijevaju IPTV usluge čine mrežu idealnom za rukovanje komunikacijskim uslugama sljedeće generacije.

Translacija postojeće mreže temeljene na radijskoj frekvenciji RF na IP-bazirani komutirani digitalni video (SDV – *Switched Digital Video*) zahtijeva instalaciju brojne opreme. Uobičajeni IPTV kabelski sustav sastoji se od konfiguracije IP i RF uređaja koji se koriste za prijenos video signala mrežnom infrastrukturom. To su primjerice GigE usmjerivači i preklopnici, koji agregiraju IPTV promet, optička transportna mreža (pr. SONET, ATM, DWDM) te u regionalnim uredima locirani modulatori koji primaju IPTV sadržaj, vrše konverziju IP paketa u RF te ga dalje prosljeđuju HFC mrežom prema korisničkim Set-Top Box jedinicama, [2]. xx.

Temeljne komponente ove pristupne tehnologije čine završni sustav CMTS (engl. *Cable Modem Termination System*) u sklopu CATV centrale, kabelski modemi CM (engl. *Cable Modem*) na strani korisnika te koaksijalni, odnosno HFC medij.

Hibridna optičko-koaksijalna HFC mreža zasniva se na DOCSIS (engl. *Data Over Cable Service Interface Specification*) standardima. Posljednje izdanje standarda omogućuje operaterima veće kapacitete za isporuku IP-VoD i *multicast*² usluga, veliki domet te velike brzine prijenosa podataka, [2].



Slika 6. HFC mreža, [9]

² Multicast – proces istovremenog slanja video signala višestrukim korisnicima

B.net, jedan od vodećih pružatelja širokopojsnih usluga u Hrvatskoj, vlastite usluge temelji upravo na modernoj HFC dvosmjernoj 862 MHz mreži. Implementacijom EuroDocsis 3.0 tehnologije, B.net osigurava kontinuitet u pružanju najnaprednijih video, podatkovnih i glasovnih usluga, a upravo IPTV tehnologijama razvijaju interaktivna video rješenja u SD i HD formatu, [37].

2.4. IPTV putem satelitskih veza

Razvojem tehnologija te postepenom konvergencijom mreža, Internet Protokol (IP) javlja se kao poželjan način distribucije video sadržaja putem satelitske veze. Veća propusnost u odnosu na zemaljske transmisijske mreže čini satelitske veze pogodnim za IP-bazirane *triple-play* usluge, odnosno prijenos digitalnog video sadržaja, VoIP (*Voice over IP*) te brzi pristup Internetu. Mnogi operatori satelitskih mreža počeli su koristiti vlastitu satelitsku mrežnu platformu za isporuku IP video sadržaja kabelskim i telekomunikacijskim *Head-end* poslužiteljima te IPTV podatkovnim centrima. U operativnom centru sadržaj se zaprima, agregira, kodira i šifrira. Nakon obrade, sadržaj se odašilje na satelit i prenosi prema video koncentratorima. Video *hubovi* najčešće su upravljani od strane kabelskih ili telekom operatora koji vlastitom mrežnom infrastrukturom dostavljaju IPTV usluge pretplatnicima, [2]. IPTV usluge mogu se isporučiti upotrebom hibridnih satelitskih ili standardnih IP Set-Top Box uređaja, upotrebom Set-Top Box uređaja s ugrađenom memorijom za dostavu sadržaja na zahtjev te korištenjem satelitskog *broadband* modema.

2.5. IPTV putem bežičnih radijskih mreža

Radijski širokopojsni pristup predstavlja alternativnu distribucijsku platformu za isporuku IPTV usluga pretplatnicima. Omogućuje brzine prijenosa od nekoliko desetaka Mbit/s, brzu implementaciju i jednostavno pokrivanje određenoga područja. Tehnologijama i normama za upravljanje radiofrekvencijskim spektrom omogućena je implementacija bežičnih širokopojsnih pristupnih sustava koji predstavljaju zahvalno rješenje za dostavu *triple-play* usluga. Prednost u odnosu na žičane i optičke sustave iskazuje se u ekonomičnosti implementacije, a smatra se da je bežična tehnologija podjednako primjenjiva kod rezidencijalnih, kao i kod poslovnih korisnika.

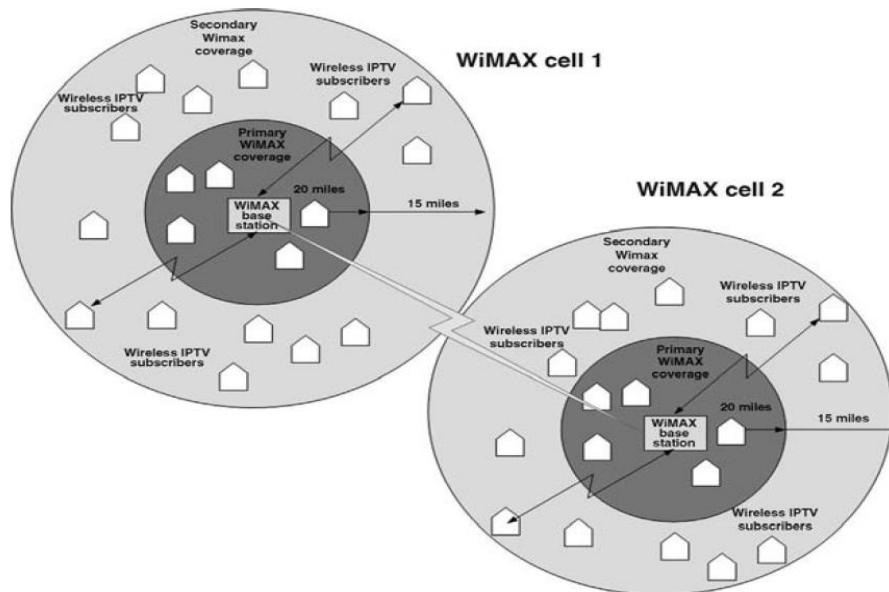
Najznačajnije bežične pristupne tehnologije širokopojasnog pristupa korištene za IPTV usluge čine:

- Fiksni WiMAX
- Mobilni WiMAX
- Bežične Mesh mreže
- 3G mrežne tehnologije
- 4G mrežne tehnologije

2.5.1. Fiksni WiMAX

Fiksni WiMAX (engl. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) naziv je za bežičnu širokopojasnu IP tehnologiju velikog kapaciteta, baziranu na IEEE 802.16-2004 standardu. Isplativa je fiksna bežična alternativa kablskom i DSL sustavu, a radi unutar licenciranih i nelicenciranih frekvencijskih pojaseva, unutar radiofrekvencijskog spektra od 2 do 11 GHz. Preferirana opcija radne frekvencije za aplikacije u realnom vremenu poput IPTV-a jesu licencirane frekvencije u rasponu od 3400 do 3600 MHz radi manje vjerojatnosti pojave smetnji. Zbog svojih karakteristika, WiMAX tehnologija lakše je primjenjiva u područjima slabije razvijene telekomunikacijske infrastrukture, a ujedno i isplativija za operatore od izgradnje infrastrukture za xDSL tehnologije ili optičke infrastrukture. Relativno malim brojem baznih stanica moguće je ostvariti pokrivenost dometa 20 kilometara. Između bazne stanice i korisničkog terminala ne mora postojati optička vidljivost, što omogućuje korištenje i u urbanim sredinama, [2].

WiMAX pruža maksimalnu teoretsku brzinu od približno 70 Mbit/s unutar područja pokrivenosti koje iznosi 15 do 50 kilometara. Konstantna unaprjeđenja prijenosne usluge pridodala su WiMAX skupu tehnologija koje pružaju visoku kvalitetu prijenosa *triple-play* usluga. U usporedbi s mobilnim mrežama, WiMAX pruža znatno širi spektar frekvencija za prijenos, a samim time i veliku brzinu prijenosa podataka, koja ovisi o implementaciji, ali i o proizvođačima opreme. Pod pretpostavkom da je sustav ispravno planiran i implementiran, pretplatnicima će biti osigurana adekvatna isporuka IPTV usluga.



Slika 7. Pojednostavljeni blok dijagram WiMAX sustava, [2]

2.5.2. Mobilni WiMAX

S ciljem pružanja širokopojsnih usluga u mobilnom okruženju razvijen je i 2005. godine odobren IEEE 802.16e standard, kao dopuna postojećem WiMAX IEEE 802.16 standardu. Takozvani mobilni WiMAX (engl. *Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access*) je širokopojsno bežično rješenje koje omogućava konvergenciju mobilne i fiksne mreže kroz zajedničku tehnologiju širokopojsnog radio-pristupa, a temelji se na tehnologijama poput OFDMA i optimiziranom *handoff*-u. Sustav djeluje u nekoliko licenciranih spektralnih pojaseva: 2.5, 3.3 i 3.4-3.8 GHz, a vršne brzine prijenosa podataka kreću se od 32 do 46 Mbit/s, [2].

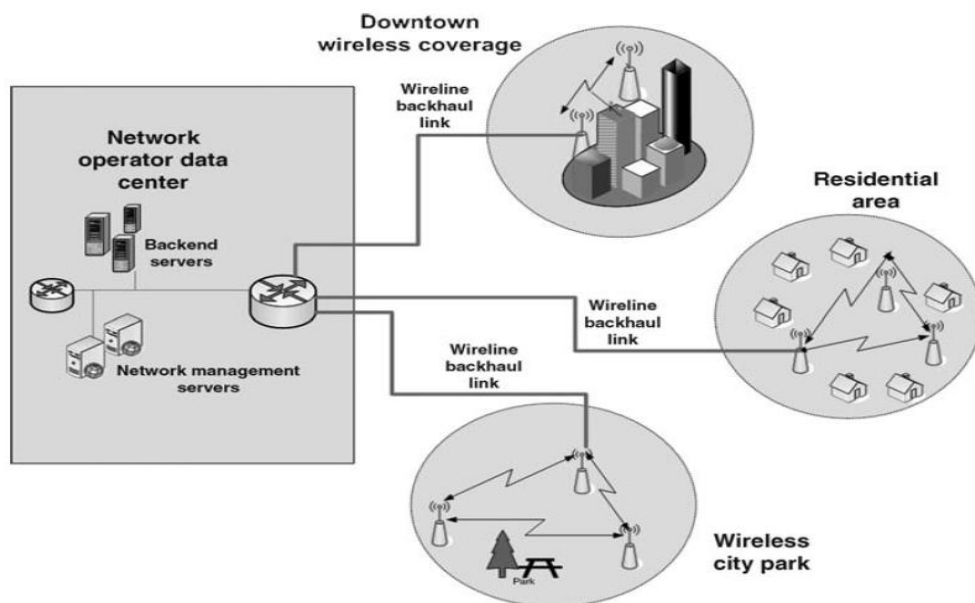
Mobilni WiMAX sadrži niz ključnih značajki nužnih za prijenos IPTV usluga i aplikacija. Omogućuje gledateljima pristup *multicast* isporuku TV emisija na zemljopisnim područjima osjetljivim na utjecaje višestrukih prijenosnih putova. Integrira se s IP multimedijalnim podsustavom (IMS – *IP Multimedia Subsystem*), čime je pojednostavljena međusobna komunikacija između IPTV aplikacija i drugih IP usluga, poput brzog pristupa Internetu i VoIP-a, [2]. Također, pruža podršku za naprednu mehanizme kvalitete usluga (QoS – *Quality of Service*), ključnih za aplikacije u realnom vremenu kao što je IPTV.

2.5.3 Bežične mesh mreže

Gradska bežična mesh mreža WMN (engl. *Wireless Mesh Network*), također poznata i kao „muni“ mreža (engl. *Municipal Network*), stalno je razvijajuća mreža koja predstavlja pomak u odnosu na tradicionalne centralizirane bežične sustave poput bežične LAN (WLAN) i mreže za mobilnu telefoniju. Mrežna je platforma upravljana od strane tijela lokalne samouprave ili u okviru javno-privatnog partnerstva, koja obećava isporuku IPTV usluga krajnjim korisnicima, [2].

Izgradnja muni mreža temelji se na IEEE 802.11 standardu te frekvencijskom spektru od 2.4 ili 5 GHz. Wi-Fi je temeljna tehnologija jer većina, ako ne i svi danas proizvedeni prijenosnici i ručna računala dolaze s ugrađenim Wi-Fi sučeljima. Implementacija ovog sustava u otvorenom okruženje zahtijeva korištenje brojnih, međusobno povezanih pristupnih točaka AP (engl. *Access Point*) te žičanu vezu koja pruža *backhaul*³ davatelju usluga širokopojsnog pristupa, [8].

Glavna prednost muni bežične mreže jest jednostavna implementacija te otpornost na kvarove u mreži, koja proizlazi iz mrežne topologije, odnosno velike povezanosti čvorova u mreži. Brojne takve mreže implementirane su u različitim gradovima diljem svijeta, [6].



Slika 8. Bežična „muni“ mesh mreža, [2]

³ Backhaul - termin koji se u telekomunikacijskim mrežama odnosi na dio mreže koji povezuje jezgenu mrežu s rubnim podmrežama.

2.5.4. 3G mrežne tehnologije

Pojavom naprednih inačica mobilnih mreža poput HSDPA (engl. *High Speed Downlink Packet Access*) te EV-DO (engl. *Evolution-Data Optimized*) temeljenih na 3G tehnologijama ostvarene su prijenosne brzine dostatne za isporuku niza IPTV aplikacija.

HSDPA je napredni 3G mobilni komunikacijski protokol, poznat pod oznakama 3.5G i 3G+, a omogućio je mrežama temeljenim na UMTS (engl. *Universal Mobile Telecommunications System*) mreži brzinu prijenosa od 14 Mbit/s u silaznoj vezi, kao i manju latenciju i *round-trip-time* (RTT). S druge strane, EV-DO 3G standard namijenjen za bežični radijski širokopojasni pristup osigurao je maksimalne brzine prijenosa do 4.9 Mbit/s, [2]. Iako nisu predstavljale idealnu platformu za isporuku IPTV usluga, EV-DO i HSDPA mreže osigurale su IPTV usluge potrošačima, naročito kod nedostupnosti DSL i kablskih širokopojasnih mrežnih sustava.

Daljnji razvoj 3G tehnologija omogućio je znatno učinkovitije korištenje mobilne propusnosti u odnosu na prethodne generacije mobilnih mreža. Pojavom HSPA+ (engl. *Evolved High Speed Packet Access*), korisnicima mobilnog širokopojasnog omogućena je maksimalna teoretska brzinu preuzimanja od 42 Mbps, a samim time i bolja kvaliteta IPTV usluga.

2.5.5. 4G mrežne tehnologije

Iz potrebe za podrškom novih naprednih IPTV usluga u mobilnom svijetu, od prijenosa velike količine podataka, multimedijalne telefonije, društvenog umrežavanja do strujanja HDTV signala, potaknut je razvoj nove tehnologije pod nazivom LTE (engl. *Long Term Evolution*), mreže četvrte generacije. Kapacitivnim ograničenjima i limitiranim mogućnostima postizanja viših performansi, 3G tehnologija brzog paketskog pristupa (HSPA – engl. *High Speed Packet Access*) postepeno biva zamijenjena novijom 4G mrežom, teoretske vršne brzine prijenosa podataka veće od 100 Mbit/s u silaznoj vezi, odnosno 50 Mbit/s u uzlaznoj vezi. Pojavom novih zahtjevnijih aplikacija poput videa na zahtjev, mobilne televizije, VoIP-a i online igara, rastu zahtjevi i očekivanja, ali i želja korisnika za jednostavnijim korištenjem visoke brzine prijenosa, čime mreža četvrte generacije predstavlja značajan napredak u svijetu mobilnih mreža, [7].

Na području Republike Hrvatske tri su operatora javnih mobilnih radijskih mreža, Hrvatski Telekom, Vipnet i Tele2.

3. ZNAČAJKE VIDEO SADRŽAJA

Temeljni koncept IPTV mreže zasniva se na isporuci video signala, odnosno video sadržaja putem mreža temeljenih na Internet Protokolu (IP). Videozapisi koji se pretplatnicima prenose putem Interneta zahtijevaju veliki mrežni kapacitet zbog čega je nužna implementacija jedne od mnogih danas dostupnih tehnika kompresije. Na prijemnoj strani vrši se reverzibilan postupak dekompresije audio i video signala, te u konačnici ostvaruje IPTV usluga.

Kompleksne datoteke poput video sadržaja okarakterizirane su brojnim parametrima, zbog čega je nužno opisati temeljne pojmove statične slike kao sastavnog dijela svakog tipa videa.

Pixel predstavlja najmanji mogući element digitalne slike. Može se smatrati jedinstvenom sitnom točkom boje koja predstavlja dio slike, te čini sastavni dio svih oblika digitalnih fotografija i videozapisa. Svaki pixel sadrži vrijednost koja predstavlja nijansu i zasićenost boje te lokaciju.

Luma je dio video signala koji predstavlja svjetlinu, odnosno intenzitet svakog pojedinog pixela. Maksimalna vrijednost koristi se za potpuno bijeli pixel, dok najmanja predstavlja crni pixel.

Chroma, s druge strane, predstavlja boju svakog pixela, dio je video signala s informacijom potrebnom za stvaranje slike u boji. Svaki pixel izveden je kao skup RGB (*Red-Green-Blue*) fosfornih točkica, čijom se kombinacijom ostvaruju sve nijanse boje vidljive ljudskom oku.

Scanning je proces kojim se luma i chroma vrijednosti video snimke snimaju, pohranjuju, isporučuju te prikazuju slijednim redoslijedom. Informacije za svaki pojedini pixel nižu se određenim redoslijedom, zbog čega je za ispravno funkcioniranje potrebna točna sinkronizacija, [13].

3.1. Svojstva video datoteke

Video datoteke znatno su složenije od nepomičnih slika (fotografija). Sačinjene su od mnoštva informacija poput slika, audio sadržaja i drugih podataka, zbog čega je njihova struktura izrazito kompleksna.

Video datoteke mogu se okarakterizirati sljedećim parametrima, [16]:

- **Rezolucija slike** u računalnoj industriji usvojena je kao fizički broj stupaca i redaka pixela koji čine sliku. Primjerice, SDTV (engl. *Standard-Definition Television*) čini omjer od 720×480 pixela, dok znatno kvalitetnija 1080p Full HD zahtijeva omjer od 1920×1080 pixela.
- **Format prikaza**, odnosno omjer slike (engl. *Aspect Ratio*) opisuje proporcionalan odnos između širine i visine prikaza. Dva najčešća formata su 4:3 za SD te 16:9 za HD video, [17].
- **Frame rate** je veličina kojom se iskazuje brzina pri kojoj su okviri snimljeni i namijenjeni reprodukciji, a iskazuje se u jedinici sekundi (fps – engl. *Frames per second*). Jedan okvir (engl. *Frame*) predstavlja jednu sliku iz slijeda slika te čini temeljnu jedinicu videa.
- **Bitrate** je parametar kojim se iskazuje količina podataka koja se prenosi u jedinici vremena. Odnosi se na pohranjenu količinu podataka za svaku sekundu medija koji se reproducira [19], a ovisno o kontekstu, izražava se u jedinicama kbit/s ili Mbit/s. Jedna je od ključnih značajki video datoteke jer specificira potreban mrežni kapacitet za reprodukciju bez prekida. Viši *bitrate* u pravilu znači bolju kvalitetu, no ukoliko pojedini dio sustava za reprodukciju ne može pratiti *bitrate*, videozapis će biti isprekidan ili se u potpunosti zaustaviti.
- **Audio sample rate** je veličina kojom se iskazuje koliko se često audio signal uzorkuje prilikom pretvorbe iz analognog u digitalni oblik, a izražava se u jedinici Herz (Hz). Broj uzoraka mora biti minimalno dvostruko veći od najviše frekvencije signala koji se uzorkuje, a danas najčešće korištene vrijednosti iznose 32000, 44100, 48000 ili čak 96000 uzoraka u sekundi, [13].

3.2. Kompresija

Jedan od osnovnih ograničavajućih faktora mreža temeljenih na Internet Protokolu ograničen je prijenosni kapacitet. Prijenos videa, kao i ostalog IPTV multimedijalnog sadržaja, zahtijeva odgovarajući *bandwidth*. Upravo iz tog razloga implementiraju se kompresijski mehanizmi, kojima se nastoji smanjiti broj bitova za reprezentaciju sadržaja. Video signali prenošeni IP mrežom najčešće su komprimirani s ciljem uklanjanja redundantnih informacija bez uklanjanja korisnog sadržaja, [13].

Razvojem naprednijih mehanizama, ali i procesorske snage, omogućen je prijenos više informacija uz znatno manje bitova. Ulazna datoteka, bio to dokument, slika, audio, video snimka ili pak kontinuirani tok podataka poput digitalnog video signala, u koderu se komprimira te kao rezultat nastaje novi podatak ili tok podataka manjeg broja bitova. Za korištenje sadržaja potrebno je dekoderom izvršiti reverzibilan postupak.

Primjena kompresije ključna je za IPTV sustave. Komprimirani video *stream* zahtijeva znatno manji *bandwidth* od nekomprimiranog, zbog čega je moguće prenijeti višestruke video signale upotrebom jednakog prijenosnog kapaciteta. Primjerice, neobrađeni HD signal okupira i do 1.5 Gbps širine pojasa, što je oko tisuću puta više nego standardni ADSL pruža. Bez komprimiranja ne bi postajalo načina za prijenos HD videa do pretplatnika standardnom IPTV mrežom, [14].

Tehnike kompresije mogu se razvrstati u dvije široke kategorije, [21]:

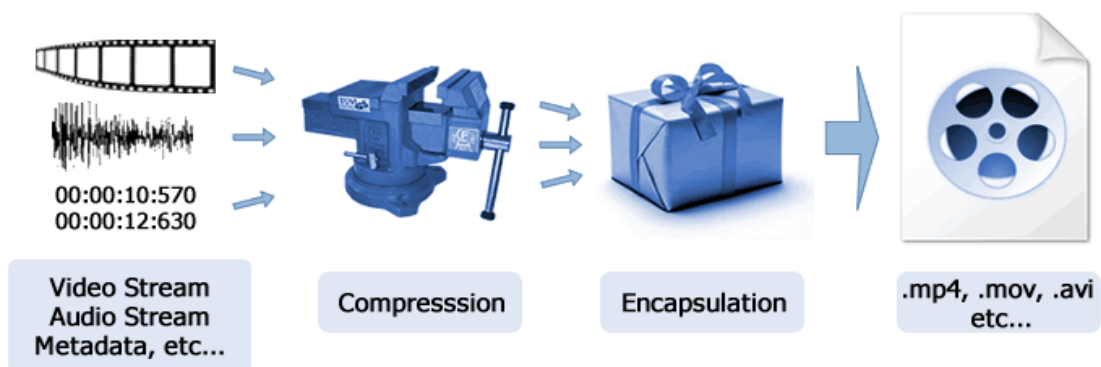
- **Kompresija bez gubitaka** (engl. *Lossless*) koristi se kada je važno sačuvati svaki bit originalnog materijala. Razvijena je za uklanjanje redundancije na način da je podatke moguće regenerirati u originalnom obliku. Od posebne važnosti je za računalne programe.
- **Kompresija s gubicima** (engl. *Lossy*) koristi se kada je važno očuvati značenje signala, ali ne nužno svaki bit. Dizajnirana je za trajno uklanjanje manje bitnih informacija. Većina najčešće korištenih video i audio kompresijskih sustava upravo su s gubicima. Za audio i video kompresiju najčešće se koristi kompresija s gubicima s perceptivnim kodiranjem.

3.2.1. Video kompresija

Komprimiranje videa izvodi se upotrebom video kodeka (engl. *Codec*), alata koji obrađuje videozapis i pohranjuje ga u niz byte-ova, [21]. Kodek, odnosno koder-dekoder koristi jedan ili više algoritama za kompresiju radi učinkovitog smanjenja veličine audio i video datoteke, [20]. Kompresija videozapisa obično se izvodi uklanjanjem ponavljajućih slika, zvukova ili scena. Primjerice, videozapis može imati istu pozadinu, sliku ili zvuk koji se reproducira nekoliko puta. Kompresija videozapisa uklonit će sve redundantne podatke s ciljem smanjenja veličine video datoteke.

Originalni format videa komprimiranjem mijenja se ovisno o upotrijebljenom kodeku, zbog čega za reprodukciju video datoteke video *player* mora podržavati taj video format ili biti integriran s komprimiranim kodekom.

Temeljni standardi video kodiranja, odnosno kompresije široko upotrebljavanih za IPTV usluge su: MPEG-2, MPEG-4 Part 2, H.264 te HEVC, no razvijeni su i mnogi drugi.



Slika 9. Tijek obrade video signala, [26]

3.2.1.1. MPEG-2

MPEG-2 drugi je po redu razvijeni standard od strane Moving Picture Experts Group (MPEG). Dugi niz godina bio je jedan od prevladavajućih kompresijskih standarada. Podrška različitih rezolucija, uključujući i *High-Definition* (720p i 1080i) osigurala je implementaciju MPEG-2 standarda u širokom rasponu aplikacija, od digitalne HD televizije, DVD-a, širokodifuznih *broadcast* servisa, do distribucije kablanske i satelitske televizije. MPEG-2 podržava multipleksiranje brojnih audio i video tokova te pet-kanalni audio i Advanced Audio Codec (AAC), [14].

3.2.1.2. MPEG-4 Part 2

Inačica MPEG-4 ISO/IEC skupine standarda, MPEG-4 Part 2, poznat kao i MPEG-4 Advanced Simple Profile (ASP), je video kodek visokih performansi sa svojstvom skalabilnosti i otpornosti na pogreške. MPEG-4 ASP pruža veće omjere kompresije od MPEG-2 za istu dobivenu kvalitetu videozapisa. Iz tog je razloga standard korišten za *Video On Demand* usluge, online multimedijske usluge te isporuku sadržaja prijenosnim uređajima. Popularne implementacije MPEG-4 Part 2 standarda su DivX, *open source* Xvid i Apple QuickTime MPEG kodek, [24].

3.2.1.3. H.264

Razvijen od strane Joint Video Team-a (JVT) te standardiziran od strane International Telecommunication Union (ITU), H.264 standard posljednjih godina postao je jedan od najčešće korištenih standarada digitalnog video kodiranja. Također poznat pod nazivom MPEG-4 AVC (engl. *Advanced Video Coding*) te kao MPEG-4 Part 10, H.264 nudi visoku učinkovitost kodiranja, manje zahtjeve za pohranom te smanjuje vizualne anomalije, [13].

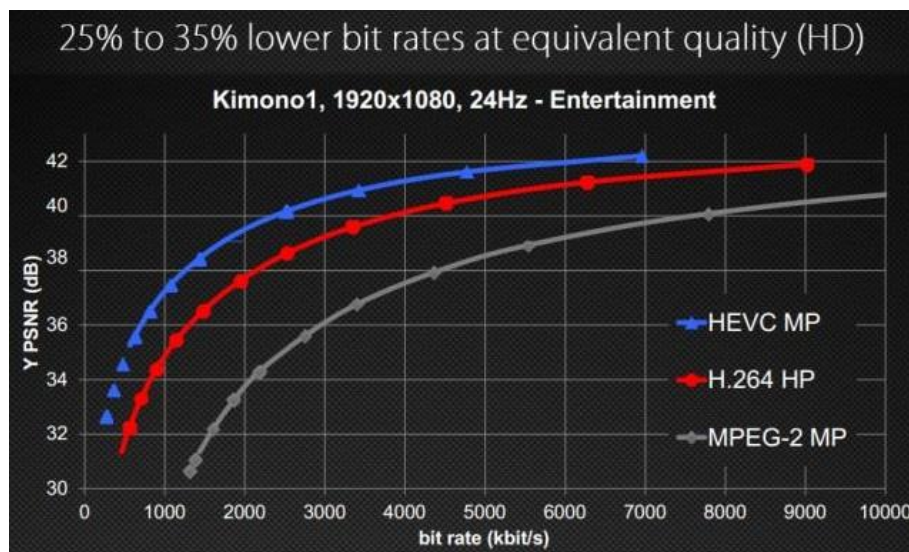
Primarno je razvijen s ciljem pružanja dobre kvalitete videa pri bitno nižim brzinama prijenosa od prethodnih standarada, bez prevelikog povećanja kompleksnosti. Fleksibilnost standarda omogućila je njegovu primjenu na širokoj paleti aplikacija, na širokom rasponu mreža i sustava, uključujući niske i visoke brzine prijenosa, niske i visoke rezolucije videa, DVD pohranu te ITU-T multimedijske telefonske sustave. Obično se koristi za kompresiju s gubicima.

Za isti sadržaj, H.264 postiže dvostruko veću učinkovitost kodiranja u odnosu na stariji H.262 standard. Pruža veću kvalitetu videozapisa korištenjem iste širine pojasa, odnosno istu kvalitetu videozapisa upotrebom manjeg kapaciteta.

3.2.1.4. HEVC

Pojava 4K UHD video usluga, napredniji mobilni terminalni uređaji te sveprisutni zahtjevi za videokonferencijama i internet streamingom stvorili su potrebu za kodiranjem većom učinkovitošću od one ostvarene primjenom H.264 standarda. Moving Picture Experts Group (MPEG) u suradnji s Video Coding Experts Group (VCEG) razvili su standard nazvan High Efficiency Video Coding (HEVC), također poznat i pod oznakom H.265.

HEVC standard dizajniran je za praćenje novih tehnologija, to jest da omogućí predstavljanje kodiranog video sadržaja na fleksibilan način za široku paletu različitih mrežnih okruženja. U usporedbi sa H.264 HEVC pruža dvostruko veći omjer kompresije podataka na istoj razini kvalitete videozapisa te znatno poboljšanje kvalitete slike pri istoj brzini prijensa, iako složenost dekodiranja H.265 nije značajno veća od H.264. Jedni od ciljeva standarda jesu otpornost na gubitak podataka, mogućnost integracije transportnog sustava te implementacija koristeći paralelne procesorske arhitekture, [22].



Slika 10. Učinkovitost HEVC kodeka, [27]

3.2.2. Audio kompresija

Video datoteke sačinjene su od mnoštva različitih oblika informacija, uključujući i audio sadržaja. U praksi, većina video kodeka koristi se uz tehnike kompresije zvuka kako bi se pohranili zasebni, ali komplementarni tokovi podataka kao jedan kombinirani paket pomoću takozvanih „multimedijalnih kontejnera“ (engl. *Multimedia container format*). Algoritmi kompresije zvuka implementirani su softverski u obliku kodeka, a omogućuju smanjenje potrebe audio datoteka za velikim prijenosnim i memorijskim kapacitetima.

Kao što je slučaj i kod video kompresije, audio sadržaj može biti komprimiran sa ili bez gubitaka. Ovisno o zahtjevima pojedinih aplikacija, audio datoteke mogu biti komprimirane upotrebom raznih kodeka, sukladno potrebama za stupnjem kompresije, [23]. Tijekom godina razvijeni i korišteni su mnogi audio kodeci, od kojih su danas najrašireniji MP3, AAC (engl. *Advanced Audio Coding*) i naprednija inačica HE-AAC (engl. *High-Efficiency AAC*) te WMA (engl. *Windows Media Audio*), [25].

Navedeni kodeci pružaju kompresiju s gubicima. Osnovna ideja ovih tehnika kompresije jest da se izvrši kvantizacija signala, odnosno da se komprimirani signal kodira manjim brojem bita nego originalni signal, uz što je moguće manje izobličenje. U kompresiji audio signala to se postiže upotrebom različitih psihoakustičkih efekata, prije svega maskiranjem. Raspodjela šuma kvantizacije direktno ovisi o amplitudnom spektru komprimiranog signala, zbog čega se kvantizacija mora vršiti u frekvencijskoj domeni, [43].

Blokovska obrada, iako česta metoda komprimiranja, zbog pojave diskontinuiteta na rubovima blokova (engl. *blocking artifacts*) neprihvatljiva je u kompresiji audio signala, stoga se koriste metode s preklapanjem blokova.

Modificirana diskretna kosinusna transformacija (MDCT – engl. *Modified Discrete Cosine Transform*) definirana je tako da u potpunosti eliminira izobličenje signala nastalo podjelom signala na preklapajuće blokove. Temelji se na uzimanju blokova signala dužine $2N$, za koje se računa N DCT-IV⁴ koeficijenata. Svakom bloku mogu se primijeniti i odgovarajući vremenski otvori, a rekonstrukcija se vrši na temelju koeficijenata iz preklapljenih blokova, [44]. MDCT transformacija dizajnirana je za postizanje savršene, potpune rekonstrukcije signala te čini sastavni dio spomenutih, danas najraširenijih kodeka.

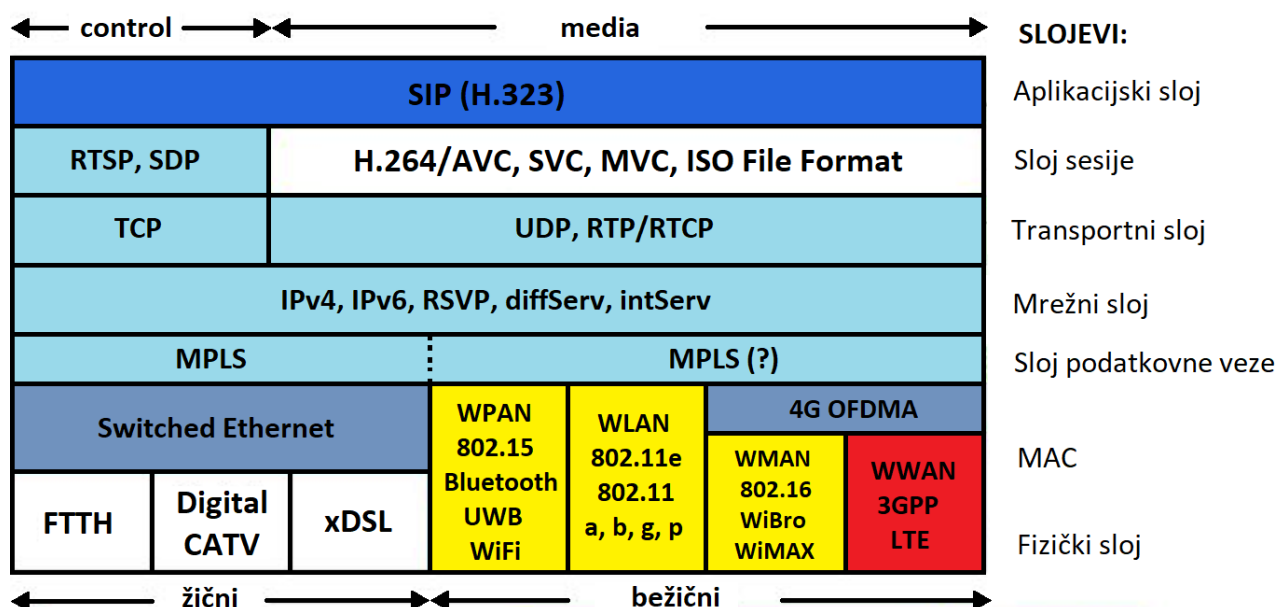
⁴ DCT-IV - engl. Discrete Cosine Transform of type IV

4. PROTOKOLNI SLOŽAJ

Svaki otvoreni komunikacijski sustav može se opisati pomoću skupa protokolnih slojeva poredanih po vertikali, od najnižega prema najvišemu. Takav uređeni slojeviti skup komunikacijskih protokola naziva se protokolni složaj, [41].

Isporuka sadržaja IPTV mrežom izuzetno je kompleksan proces, a korišteni protokoli ovise o zahtjevima pojedinih aplikacija te načinu isporuke. IPTV mreža temelji se na TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) skupini protokola, [47].

Protokolni složaj za IPTV usluge prikazan je u nastavku.

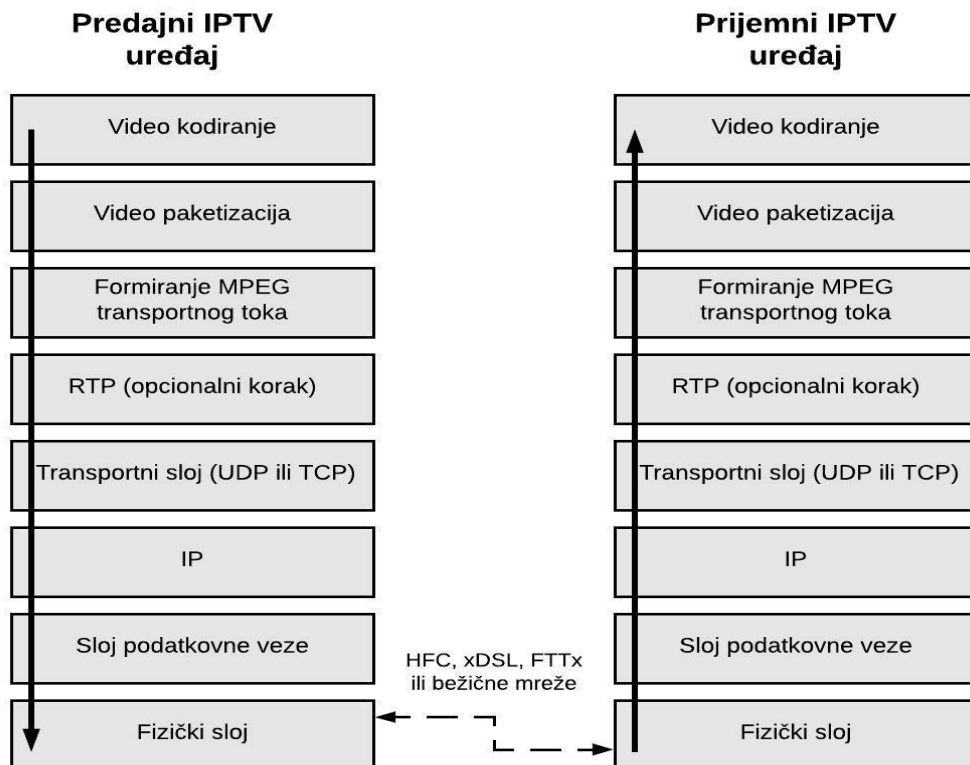


Slika 11. Protokolni složaj IPTV sustava

4.1. Formiranje transportnog toka i enkapsulacija podataka

IPTV omogućuje isporuku sadržaja u stvarnom vremenu, ali i njegovu pohranu te isporuku na zahtjev. Transport podataka IPTV mrežom izuzetno je kompleksan proces, a korišteni transportni protokoli ovise o zahtjevima pojedinih aplikacija te načinu isporuke. Konceptualni model IPTV mrežne strukture IPTV-CM (engl. *IPTV-communications model*) sastoji se od sedam slojeva, na temelju kojih se odvija proces transporta podataka. Viši slojevi aplikacijski su orijentirani, dok su niži zaduženi za transport, [2]:

- Sloj video kodiranja
- Sloj video paketizacije
- Sloj formiranja transportnog toka TS (engl. *Transport Stream*)
- RTP sloj (opcionalni korak)
- Transportni sloj
- IP sloj
- Sloj podatkovne veze
- Fizički sloj



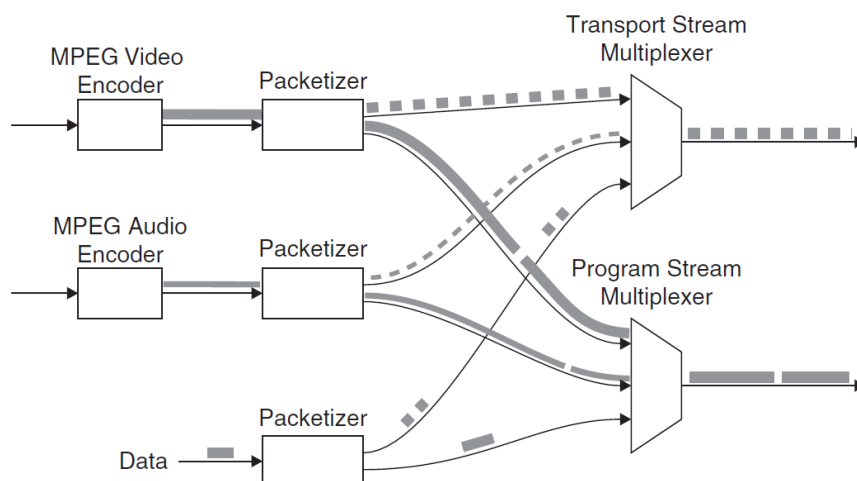
Slika 12. Konceptualni model IPTV mrežne strukture (IPTV-CM)

Proces transporta multimedijalnog sadržaja započinje formiranjem transportnog toka. Iako postoji mnogo kompresijskih sustava te MPEG video nije jedini tip videa koji se može prenositi IP mrežama, često se upravo MPEG tokovi temeljeni na međunarodnim standardnima proučavaju radi boljeg razumijevanja prijenosa podataka u IP mrežama, [13].

Komprimiranjem ulaznih signala, na izlazu MPEG kodera dobivaju se osnovni tokovi podataka ES (engl. *Elementary Stream*), koji sadrže samo jedan tip podataka, audio ili video, [28].

Kako bi se omogućio prijenos osnovnih tokova podataka digitalnom mrežom, vrši se paketizacija svakog pojedinog ES toka, čime se formiraju paketizirani osnovni tokovi PES (engl. *Packetized Elementary Stream*). PES tokovi mogu biti fiksne ili varijabilne duljine, a sadrže i zaglavlje s kodnim brojem. Sadrže vremensku informaciju potrebnu za sinkronizaciju zvuka i videa te omogućuju lakše upravljanje, [13].

Na sljedećem sloju formirani audio i video PES tokovi multipleksiraju se s korisničkim i kontrolnim podacima, čime nastaju transportni tokovi MPEG-TS (engl. *MPEG-Transport Stream*). Fiksne su duljine od 188 byte-a. Zaglavlje čine 4 byte-a, a u njima je sadržan identifikator paketa PID (engl. *Packet ID*) kojim se jedinstveno identificira pripadnost paketa pojedinom elementarnom toku unutar TS paketa. Upotrebom referentnog takta PCR (engl. *Program Clock Reference*) vrši se sinkronizacija između kodera i dekodera na transportnoj razini, [2], [28].



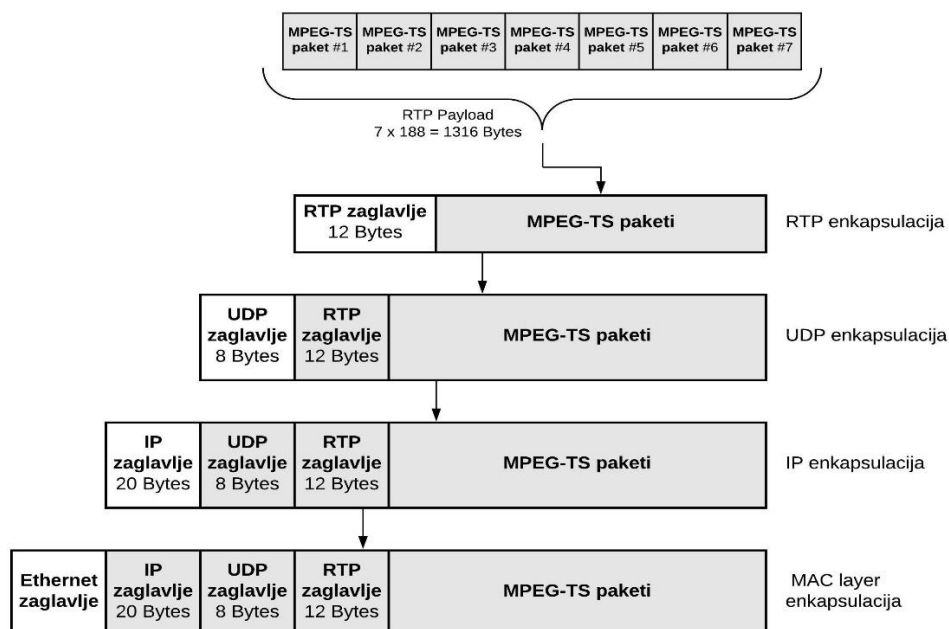
Slika 13. Formiranje MPEG transportnog toka, [13]

Formirani MPEG-TS paket predstavlja osnovnu jedinicu podataka za enkapsulaciju po definiranim slojevima IP modela (RTP/UDP/IP). Procesom enkapsulacije mijenja se format podataka, dodaju im se zaglavlja slojeva kroz koje prolaze, [4].

Iako se TS paket može izravno prosljediti transportnom sloju, najčešće se prvo prosljeđuje sloju koji koristi Real-time Transport Protocol (RTP). RTP osigurava kompletne audio i video tokove enkapsulacijom sadržaja u RTP pakete, koji se sastoje od zaglavlja i korisnog IPTV tereta. S ciljem efikasnijeg korištenja prijenosnog kapaciteta, uobičajeni *payload*⁵ čine višestruki TS paketi, najčešće njih sedam.

RTP paketi zatim se prosljeđuju transportnom sloju. User Datagram Protocol (UDP) najčešće je korišten transportni protokol. Enkapsulacijom ovog sloja dodaje se UDP zaglavlje veličine 8 byte-a.

U sljedećem koraku dodavanjem zaglavlja veličine 20 byte-a vrši se IP enkapsulacija, čime se formiraju IP datagrami koji sadrže video sadržaj i informacije za isporuku do odredišta, [2]. Dodavanjem zaglavlja sloja podatkovne veze formiraju se paketi (okviri) pogodni za prijenos fizičkom mrežom, a proces završava na fizičkom sloju zaduženom za definiciju mrežne topologije te mehaničkih i električnih specifikacija transmisijskog medija.

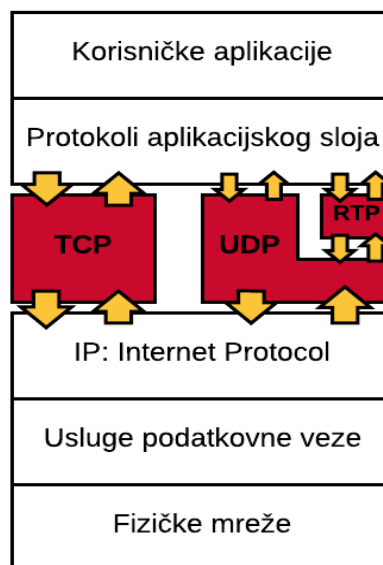


Slika 14. Enkapsulacija MPEG transportnog toka

⁵ Payload – koristan teret paketa, bez zaglavlja.

4.2. Temeljni transportni protokoli

IPTV omogućuje širok spektar interaktivnih usluga, za čiji je transport zaduženo mnoštvo protokola. Ovisno radi li se o *unicast* ili *multicast* načinu distribucije, isporuci sadržaja u stvarnom vremenu, videu na zahtjev, *pay-per-view* ili usluzi gledanja s pomakom (engl. *Time-shifted*), implementiraju se različiti transportni protokoli. Različiti protokoli pružaju različite usluge transporta, zbog čega je odabir optimalnog protokola ključan za ostvarivanje kvalitete usluga. Temeljne protokole zadužene za transport sadržaja u IPTV mrežama čine protokoli TCP, UDP, RTP, RTCP te noviji SCTP protokol.



Slika 15. Prikaz protokola transportnog sloja unutar mrežne hijerarhije

4.2.1. TCP

Transmission Control Protocol (TCP) jedan je od osnovnih transportnih protokola. Osigurava pouzdanu isporuku podataka kontroliranim redoslijedom od pošiljatelja prema primatelju. Konekcijski je orijentirani protokol, odnosno zahtijeva uspostavljanje virtualne veze između izvora i odredišta prije samog prijenosa podataka. Jedna od temeljnih značajki TCP protokola jest način na koji upravlja greškama u prijenosu, posebice izgubljenim paketima. U zaglavlju svakog segmenta sadržani su identifikatori kojima se utvrđuje gubitak ili pogrešan redoslijed pristizanja, na temelju kojih se vrši automatska retransmisija i time osigurava uspješna isporuka svakog pojedinog byte-a. TCP također omogućuje višestruke simultane veze koristeći izvorišne i odredišne brojeve porta.

Unatoč pouzdanoj isporuci koju osigurava, pojedini mehanizmi TCP protokol čine nepogodnim za video prijenos. Obzirom da prijenos u stvarnom vremenu zahtijeva vrlo brzu isporuku paketa, proces uspostave veze nije poželjan. Ne podržava *multicasting* i *broadcasting* koncepte, a izgubljeni i ponovno poslani paketi utječu na ukupno kašnjenje, zauzimaju potreban mrežni kapacitet te se u konačnici odbacuju kod prevelikog kašnjenja. Iako postoje bolja transportna rješenja implementirana u IPTV mrežama, TCP nalazi primjenu kod osiguravanja *Video-on-Demand* usluga, [13].

4.2.2. UDP

User Datagram Protocol (UDP) uz TCP protokol predstavlja temeljni transportni protokol TCP/IP skupine protokola. Bezkonekcijski je orijentirani (eng. *connectionless*) transportni mehanizam koji ne osigurava pouzdanu isporuku podataka. Prijenos se temelji na određenoj *socketu*⁶. Ne zahtijeva uspostavu veze između izvorišne i određene strane, a samim time nema niti kontrolu toka. Također, ne bilježi koji su segmenti poslani, niti se očekuje potvrda od njihovom prijemu, što UDP protokol čini nepouzdanim protokolom, [32].

Iako nema implementiran mehanizam automatske retransmisije i ne jamči isporuku segmenata, UDP je protokol pogodan za mnoge IPTV usluge. Zaglavlje UDP protokola vrlo je malo, svega 8 byte-a, što ga čini među najmanjima od protokola koji koriste IP. Zauzima mnogo manji propusni opseg mreže u odnosu na TCP protokol, ne zahtijeva uspostavu veze prije prijensa te osigurava mala kašnjenja. Također, iz tehničke perspektive UDP protokol lako je implementirati. Upotrebljava se za prijenos video sadržaja, naročito u stvarnom vremenu (engl. *real-time stream*), a obzirom da ne zahtijeva dvosmjernu komunikaciju, može biti implementiran u *broadcast* i *multicast* načinima prijensa.

4.2.3. RTP

Real-time Transport Protocol (RTP) razvijen je za upravljanje stvarno-vremenskim prometom na Internetu. Namijenjen je za multimedijalne aplikacije u stvarnom vremenu, odnosno za prijenos podataka koji zahtijevaju pravovremenu i točnu isporuku bez kašnjenja, poput glasa i videa. RTP nema implementiran mehanizam isporuke poput UDP ili TCP

⁶ Socket – krajnja točka komunikacije između procesa u IP mreži; sastoji se od IP adrese i oznake porta.

protokola, već radi povrh UDP protokola. Dizajniran je da koristi UDP za transport paketa, dodaje zaglavlje svakom paketu koji se zatim prosljeđuje UDP protokolu radi daljnje obrade.

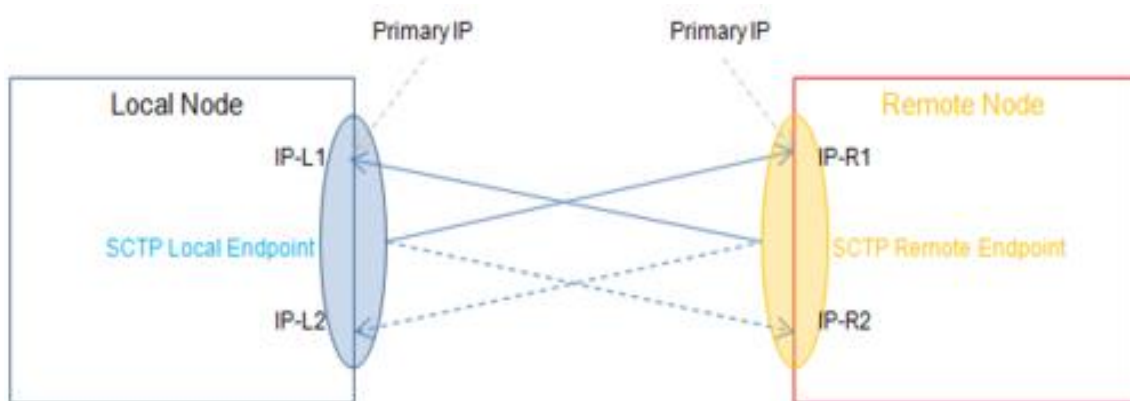
RTP protokol sadrži podršku za višestruke formate tokova, kao i podršku za sinkronizaciju različitih tokova. Time je omogućen zaseban prijenos audio i video sadržaja te njihovo spajanje na odredištu. Također, brojevima označava pakete kako bi bilo moguće utvrditi njihov gubitak ili pogrešan redosljed, te podržava *multicast* način isporuke. RTP protokol dodaje mnoge funkcionalnosti povrh UDP protokola, bez neželjenih mehanizama TCP protokola, [14].

Glavni nedostatak RTP protokola nedostatak je mehanizma za potvrdu o statusu veze, zbog čega se u radu uglavnom oslanja na **Real-time Transport Control Protocol (RTCP)**. RTCP je protokol za kontrolu prijenosa podataka. Djeluje u suradnji s RTP protokolom za prijenos tokova u stvarnom vremenu, a primarna funkcija mu je pružanje povratne informacije o kvaliteti RTP usluga. Uključuje funkcije za podršku sinkronizacije između različitih vrsta medija te *streaming* aplikacijama pruža informacije o kvaliteti mreže, broju gledatelja, kao i identitetu gledatelja, [32], [13].

4.2.4. SCTP

Stream Control Transmission Protocol (SCTP) konekcijski je orijentirani protokol transportnog sloja koji pruža *full-duplex* uslugu. Poput UDP protokola, podatke prenosi kao niz poruka, odnosno grupiranih byte-ova, a uz to osigurava pouzdan slijedni prijenos podataka s kontrolom toka i zagušenja poput TCP protokola. *Multihoming* uslugom SCTP protokol omogućuje upotrebu višestrukih IP adresa izvora i odredišta kao zaštitu u slučaju pogreške. Također, SCTP omogućuje prijenos višestrukih nezavisnih tokova paralelno, [29].

U eksperimentalnim istraživanjima provedenim od strane Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) SCTP protokol pokazao je veće brzine prijenosa korisnih podataka u odnosu TCP protokol te bolju kvalitetu usluga od UDP protokola za IPTV usluge u stvarnom vremenu, [31].



Slika 16. Sctp multihoming, [33]

4.3. Ostali značajniji protokoli

Internet Group Management Protocol (IGMP) komunikacijski je protokol koji koriste *hostovi* i susjedni usmjerivači na IP mrežama za uspostavljanje članstva u *multicast* grupi. IGMP pruža usmjerivačima način pridruživanja i napuštanja *multicast* grupa. Nije usmjerivački *multicasting* protokol, već isključivo protokol koji upravlja članstvom u grupi, odnosno daje *multicast* usmjerivačima informacije o članskom statusu *hostova* (usmjerivača) povezanih na mreži. Razvijene su tri verzije IGMP protokola. Verzije 1 i 2 pružaju takozvanu *any-source multicast* (ASM) uslugu, odnosno članovi grupe primaju *multicast* poruku bez obzira otkuda dolazi. S druge strane, posljednja verzija, IGMPv3 pruža potporu za „filtriranje izvora“, takozvanu *source-specific multicast* (SSM) uslugu kojom primatelj može odabrati primanje *multicast* poruke s popisa unaprijed definiranih izvora, [29].

File Delivery over Unidirectional Transport (FLUTE) protokol razvijen je za jednosmjernu isporuku podataka putem Interneta. Temelji se na *Asynchronous Layer Coding* (ALC) protokolu dizajniranom za skalabilnu *multicast* distribuciju. Protokol FLUTE može se koristiti za *multicast* i *unicast* isporuke, ali primarno je razvijen za jednosmjernu *multicast* isporuku sadržaja. FLUTE zahtijeva vezu između pošiljatelja i primatelja, ali ne i vezu između primatelja i pošiljatelja. Inherentno radi sa svim vrstama mreža, uključujući LAN, WAN, Intranet, Internet, asimetrične, bežične i satelitske mreže, te pruža oba *multicast* modela, *any-source* (ASM) i *source-specific* (SSM). Masivna skalabilnost primarni je cilj FLUTE protokola. IP *multicast* inherentno je masivno skalabilan, ali ne omogućuju funkcionalnost upravljanja sesijama, kontrolu zagušenja ili pouzdanost. Protokol FLUTE pruža upravo sve to bez žrtvovanja skalabilnosti IP *multicasta*, [46].

Real-Time Streaming Protocol (RTSP) kontrolni je protokol dizajniran za dodavanje funkcionalnosti procesu video streaminga. Protokol je aplikacijskog sloja dizajniran za rad s protokolima nižih slojeva poput RTP protokola. Temeljna uloga RTSP protokola je pružanje kontrole nad reprodukcijom sadržaja, omogućujući funkcije poput pauziranja ili pokretanja video sadržaja. RTSP posebno je namijenjen za korištenje s vremenski orijentiranim sadržajem, uključujući *streaming* zvuka i videozapisa. Dizajniran je za rad u *multicast* okruženju, no koristi se i za VoD aplikacije temeljene na *unicast* sesijama između klijenta i VoD poslužitelja, [32].

DVB SD&S Transport Protocol (DVBSTP) posebno je definiran protokol za isporuku metapodataka u arhitekturama u skladu s DVB-IP i OIPF (engl. *Open IPTV Forum*) normama. DVBSTP koristi se za isporuku SD&S XML⁷ zapisa preko IP *multicast* sustava. Određuje vrstu tereta koji se prenosi *Payload ID* poljem, kao i vrstu kompresijskog kodiranja, naznačeno poljem kompresije, [42].

Resource Reservation Protocol (RSVP) skup je komunikacijskih pravila koja omogućuju rezervaciju mrežnih resursa za *multicast* prijenos videozapisa i drugih poruka velikog kapaciteta. *Best-effort*⁸ usluga temeljna je filozofija usmjeravanja na Internetu, no nije prikladna za kontinuirani prijenos video i audio sadržaja. Upotrebom RSVP protokola moguće je rezervirati mrežni kapacitet prije isporuke sadržaja i na taj način sadržaj primiti većom prijenosnom brzinom i pouzdanijim protokom. RSVP također podržava i *unicast* prijenos te prijenos od više izvora do jednog odredišta, [40].

⁷ XML – Extensible Markup Language

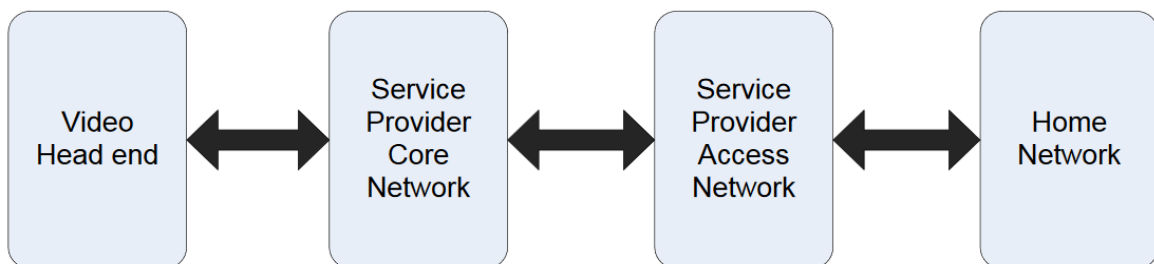
⁸ Best-effort usluga – tip mrežne usluge koji ne pruža jamstvo isporuke podataka

5. TEMELJNI MREŽNI ELEMENTI IPTV MREŽE

IPTV i Internet TV pojmovi su koji se nerijetko pogrešno zamjenjuju. Iako se temelje na istim jezgrenim tehnologijama, pristup isporuke videa baziranog na Internet Protokolu razlikuje im se. Za razliku od Internet televizije koja se temelji na javnoj Internet mreži za isporuku usluga, IPTV koristi sigurne dedicerane privatne mreže. Usluge Internet televizije najčešće su besplatne, no ne mogu osigurati kvalitetu poput tradicionalnih mreža, digitalne zemaljske, kabelske ili satelitske. S druge strane, IPTV usluge isporučuju se eksploatacijom zasebne mrežne infrastrukture, najčešće u vlasništvu pružatelja usluga. Upravo iz tog razloga telekomunikacijski operatori u mogućnosti su omogućiti *end-to-end* isporuku video sadržaja visoke kvalitete.

Mrežna infrastruktura IPTV-a sastoji se od četiri glavna elementa, [1]:

- IPTV podatkovni centar
- Jezgrena mreža
- Pristupna mreža
- Kućna mreža



Slika 17. Mrežni elementi IPTV sustava, [34]

IPTV podatkovni centar (engl. *Video Head End*), mrežno je čvorište u kojem se prikupljaju TV signali iz raznih izvora, uključujući kabelske, zemaljske i satelitske kanale, kanale proizvođača sadržaja te lokalne video kanale. Osim antenskog sustava za prijem i daljnje distribuiranje signala, IPTV podatkovni centar čine brojne hardverske komponente nužne za obradu i daljnju isporuku sadržaja IP mrežom. Svaki tok podataka kodira se video koderom u digitalni videozapis, koji se zatim enkapsulira u IP podatkovni tok i isporučuje odredištu. *Video Head End* sadrži i *real-time* video poslužitelj za *multicast* odašiljanje videa upotrebom RTP protokola. Također sadrži i *video-on-demand* poslužitelj velikog memorijskog kapaciteta. Time je omogućena pohrana te *unicast* isporuka različitog sadržaja u stvarnom vremenu s mogućnošću kontrole reprodukcije.

Jezgrena mreža (engl. *Core Network*) IPTV mrežne infrastrukture središnji je dio mreže komunikacijskog sustava. Može se smatrati sustavom isporuke koji omogućuje prijenos podataka između rubnih mreža. Svrha jezgrene mreže jest osiguravanje adekvatnog prijenosnog kapaciteta za sav mrežni promet između IPTV podatkovnog centra i odredišta, [34]. Preko jezgrene mreže podaci se prenose u obliku kodiranih video tokova koji se mogu sastojati od podataka prenošenih *broadcast*, *unicast* ili *multicast* transmisijama. U osnovi, jezgrena mreža je skup usmjerivača (engl. *router*) koji upravljaju IP protokolom i implementiraju različite transportne tehnike te kontrolu kvalitete usluge (QoS - engl. *Quality of Service*).

Pristupna mreža (engl. *Access Network*), također poznata i kao „posljednja milja“ (engl. „*last mile*“), omogućuje povezivanje korisnika, odnosno korisničke opreme na jezgrenu mrežu. U IPTV okruženju, davatelj usluga korisniku pristupnom mrežom pruža vezu velikog prijenosnog kapaciteta. Tom se vezom omogućuje isporuka višestrukih kanala, *VoIP* usluga i brzog pristupa Internetu od jezgrene mreže. Širokopojasni pristup može biti ostvaren višestrukim tehnologijama, primjerice implementacijom xDSL, FTTx ili WiMAX tehnologija. U lokalnoj centrali ili u sklopu lokalne petlje nalazi se DSLAM uređaj (eng. *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*), zadužen za multipleksiranje sadržaja *Triple Play* usluga, [30].

Korisnička, odnosno **kućna mreža** (engl. *Home Network*), posljednji je temeljni element mrežne infrastrukture IPTV-a. Zadužena je za distribuciju IPTV usluga unutar kućanstva. Dobra propusnost mreže unutar kuće ključni je čimbenik koji osigurava dobru isporuku IPTV usluge pretplatnicima, a razlikuje se ovisno o korištenoj mrežnoj tehnologiji. Krajnji korisnici moraju biti u mogućnosti primiti preneseni signal, dekodirati ga i prilagoditi za prikaz standardnom video prijemu. To je omogućeno upotrebom Set-Top Box-a, krajnjeg

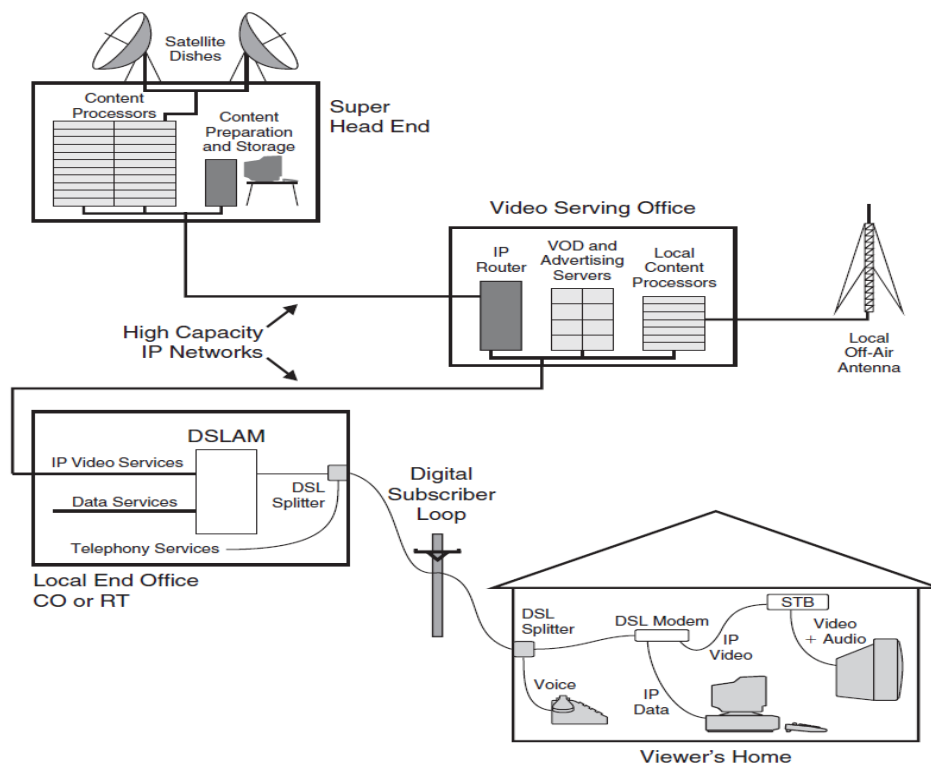
korisničkog uređaja s funkcijama dekodiranja komprimiranog videa, prevođenja primljenih metapodataka i isporuke video signala na TV.

6. ARHITEKTURA IPTV MREŽE

IPTV mreže vrlo su kompleksni sustavi. Mogu biti izgrađene da opslužuju milijune pretplatnika, a njihova složenost implementacije mreže zahtijeva suradnju mnoštva inženjera i tehničara. Instalacija i integracija sustava može biti na nacionalnoj razini i uključivati isporuku stotina kanala pokrivajući veliko geografsko područje, ili služiti lokalnoj zajednici sa samo nekoliko desetaka kanala. Kvalitetna implementacija opreme i transportnih mreža ključna je uspješno poslovanje.

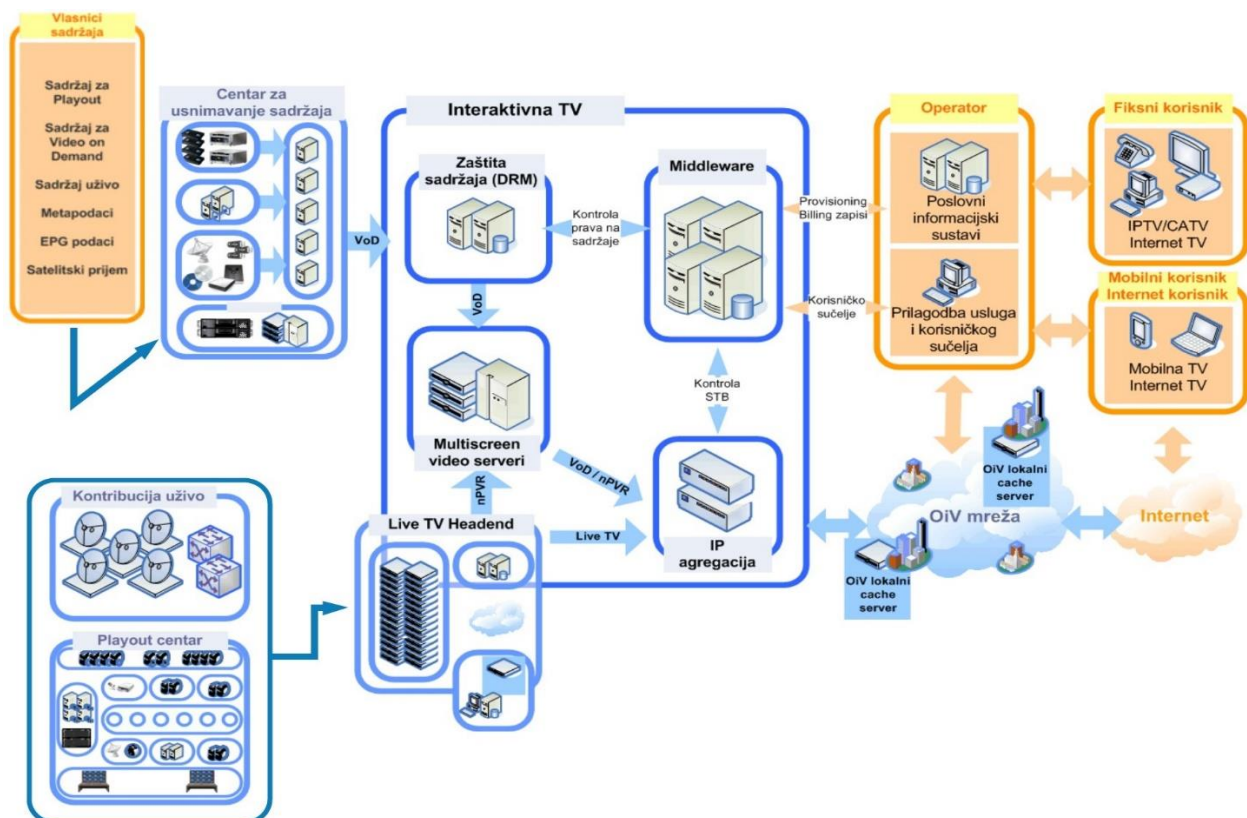
Veliki IPTV sustavi sastoje se od različitih objekata izgrađenih za dostavu video signala preko velikog geografskog područja, a temelje se na hijerarhijskom modelu kojeg čine:

- Super Head End
- Video Serving Office
- Local End Office
- Customer Premises



Slika 18. Arhitektura IPTV mreže, [14]

Hrvatski mrežni operator Odašiljači i veze d.o.o. (OiV) primjer je operatora s arhitekturom temeljenom na hijerarhijskom modelu. Djeluju na području radiokomunikacija i telekomunikacija, pružajući cjelovite usluge odašiljanja radijskih i televizijskih programa, prijenosa slike, zvuka i podataka, zakupa svjetlovoda, kolokacije i suvremene multimedijske usluge. Uslugama akvizicije i obrade sadržaja korisnicima omogućuju usnimavanje, provjeru kvalitete, arhiviranje i enkripciju multimedijskih sadržaja, kontribuciju sadržaja uživo te usluge profesionalnog TV *playouta*. Formatiranjem i paketiranjem sadržaja pružaju vremenski i novčano efikasan način lansiranja usluga baziranih na sadržajima, a implementacijom višeoperatorske servisne platforme, koja se sastoji od *middleware*, VoD i DRM podsustava, osigurali su pružanje interaktivnih TV usluga poput isporuke sadržaja uživo, sadržaja na zahtjev i usluga s dodanom vrijednošću za različite terminalne uređaje. Nude stotine TV kanala i bogatu VoD arhivu, te omogućuju implementaciju posebno prilagođenih i ekskluzivnih paketa audiovizualnih sadržaja. Usluge isporuke i distribucije multimedijskog sadržaja osiguravaju zemaljskim i satelitskim odašiljanjem, optičkim mrežama unutar regije te streamingom u mobilne mreže i Internet. Usluga prijenosa telekomunikacijskog kapaciteta podržava najrazličitije tehnološke platforme (PDH/SDH, *Ethernet/GbEthernet*, IP/MPLS) kao i prijenos podataka velikim brzinama, [38].



Slika 19. Arhitektura operatora Odašiljači i veze d.o.o., [38]

6.1. Super Head End

Super Head End (SHE) glavni je je izvor procesiranja u IPTV mreži. Sastoji se od mnoštva hardverskih i softverskih sustava, kao i osoblja nužnog za uspješnu provedbu brojnih funkcija. Osnovna uloga Super Head End-a prikupljanje je sadržaja s različitih izvora, njegova pretvorba u oblik pogodan za prijenos IPTV mrežom te daljnje prosljeđivanje.

IPTV mrežom isporučuje se različit sadržaj, od klasične televizije i specijaliziranih sportskih, glazbenih i dokumentarnih programa, do *premium* filmova i posebnih usluga dostupnih jedino IPTV pretplatnicima. Sadržaj se satelitskim prijemnicima ili zemaljskim putem prikuplja najčešće u kriptiranom digitalnom obliku, zbog čega je implementacija odgovarajućih prijemnika ključna za uspješan prijem i daljnje procesiranje.

Budući da davatelji sadržaja slobodno biraju metodu kompresije, formati dolaznih signala često se razlikuju. S ciljem pojednostavljenja prijenosa IPTV sustavom, dolazni sadržaj se procesom transkodiranja (engl. *transcoding*) pretvara u standardni format, standardnog *bitrate*-a, formata paketa i kompresijske tehnologije. Komprimirani video signali zatim se utiskuju u transportnu mrežu velikog kapaciteta kojom je Super Head End povezan s Video Serving Office (VSO) centralama. Korištene transportne mreže najčešće su izvedene zemaljskim putem. Također, česta je implementacija redundantnih mreža kojima se osigurava nesmetana isporuka u slučaju velikog kvara. Sigurnost transportne mreže između SHE i povezanih VSO centrala ključna je za isporuku videa na zahtjev, a temelji se na upotrebi enkripcije i sigurnih veza kojima se osigurava zaštita sadržaja od neovlaštenog pristupa i distribucije, [14].

6.3. Video Serving Office

Video Serving Office (VSO) mrežno čvorište pruža usluge daljnje obrade i isporuke video sadržaja na određenom geografskom području poput grada. Pristigli sadržaj iz *Super Head End* centrale, kao i lokalni sadržaj, dalje distribuira svakoj lokalnoj centrali u regiji u stvarnom vremenu. Osim brojnih poslužitelja (engl. *server*) za isporuku specijaliziranog sadržaja poput videa na zahtjev, Video Serving Office također često sadrži i odjele za naplatu te službu za korisnike.

Jedna od temeljnih funkcija VSO centrale jest procesiranje sadržaja specifičnog za određenu regiju. Slično kao kod Super Head Enda centrale, VSO centrala video procesorima

vrši pretvorbu videa u oblik pogodan za distribuciju. Nakon potrebnog formatiranja, u VSO centrali kreiraju se IPTV tokovi. Tokovi sastavljeni od paketa zatim se prenose lokalnim centralama (CO/RT – engl. *Central Office/Remote Terminal*). Mreža između VSO i CO/RT centrala mora biti velikog kapaciteta zbog čega se najčešće implementiraju višestruki *Gigabit Ethernet* linkovi upotrebom optike. Stupanj sofisticiranosti udaljene opreme određuje koliko tokova VSO centrala treba generirati, te u slučaju korištenja napredne opreme omogućuje se *multicast* način isporuke.

VoD (engl. *Video-on-Demand*) poslužitelji najčešće su sastavni dio VSO centrale. Omogućuju stvaranje individualnih, *unicast* veza, za isporuku usluga na zahtjev. Pretplatnicima je omogućeno upravljanje reprodukcijom, zbog čega se upotrebljavaju individualne veze kojima je moguće brzo i jedinstveno procesiranje naredbi.

Osim VoD poslužitelja, VSO centrala mora biti opremljena i aplikacijskim serverima za procesiranje naredbi korisnika. Prikupljaju se i procesiraju naredbe svakog individualnog Set-Top Box-a (STB), a osim *Video-on-Demand* naredbi pregleda, kupnje i kontrole sadržaja, uključuju interaktivne funkcije poput kupovine putem trgovačkih mreža (engl. *shopping network*). Autorizacijom STB uređaja prije prijenosa sprječava se neovlašteni pristup sadržaju, [14].

6.3. Local End Office

Mnoge IPTV mreže koriste postojeću fizičku infrastrukturu telekomunikacijskih operatora. Mogu biti implementirane dvije izvedbe Local End Office (LEO) centrale, Central Office (CO) centrala i Remote Terminal (RT), opremljene za isporuku sadržaja korisnicima. CO centrale sadrže opremu za komutaciju telefonskih poziva, a RT terminali sastoje se od uglavnom podzemnih sustava kojima se pretplatničke povezuju na najbližu CO centralu. U obje izvedbe može biti ugrađena oprema za dostavu IPTV usluga DSL linijama, a zadužena je za ostvarivanje nekoliko različitih funkcija.

Signali pristigli iz VSO centrale obično su dostavljeni IP mrežama velikog kapaciteta. U sklopu CO/RT (engl. *Central Office/Remote Terminal*) te se mreže povezuju na DSL pristupni *multiplexer* (DSLAM), koji služi kao Ethernet prespojnik. Promet iz VSO centrale prespaja se na DSL linije korisnika obradom i daljnjim usmjeravanjem na temelju IP adrese pristiglih paketa. Osim uloge prespojnika, DSLAM omogućuje i *multicasting* tehnologiju odašiljanja IPTV video sadržaja. Jedan pristigli tok podataka od VSO centrale replicira i na taj

način omogućuje višestrukim korisnicima gledanje istog sadržaja upotrebom samo jednog kanala. Implementacijom DSLAM uređaja omogućeno je ostvarivanje različitih usluga zajedničkim korištenjem kapaciteta DSL linije, [14].

6.4. Customer Premises

Za ostvarivanje IPTV uluga, dom pretplatnika (engl. *Customer Premises*) mora sadržavati odgovarajuću opremu. Potrebno je osigurati IPTV uređaje, njihovo napajanje te sustav mrežnog povezivanja.

Instalacija DLS modema nužna je za primanje digitalnih signala velike brzine od lokalne petlje te njihovu pretvorbu u oblik koji uređaji mogu koristiti. Ulogu razdvajanja govornog i podatkovnog prometa vrši DSL razdjelnik (engl. *splitter*), često kao sastavni dio modema. Vrlo bitna jedinica korisničke IPTV opreme jest Set-Top Box, uređaj koji pruža brojne funkcionalnosti bez kojih bi IPTV sustav bio neuporabljiv. Omogućuje dekodiranje dolaznih video signala, stvara sliku na zaslonu te podržava interaktivne funkcije, [14].

6.5. Održavanje kvalitete i zaštita video sadržaja

Proces isporuke IPTV usluga složen je i ovisi o velikom broju čimbenika. Jedan od osnovnih izazova pružatelja IPTV usluga jest osiguravanje zadovoljstva krajnjeg korisnika. Temeljni pristup postizanju toga je implementacija QoS (engl. *Quality of Service*) i QoE (engl. *Quality of Experience*) mjera za praćenje mrežnih parametara, ali i percepcije IPTV korisnika o pruženoj usluzi, [2].

Isporuka višestrukih TV kanala korisnicima od strane operatora koji nije primarni generator TV sadržaja zahtijeva i primjenu brojnih pravnih i sigurnosnih normi vezanih za distribuciju i korištenje dostupnih sadržaja.

6.5.1. Faktori koji utječu na kvalitetu video sadržaja

Kvaliteta isporuke video signala uvjetovana je brojnim tehničkim faktorima, koji izravno utječu na zadovoljstvo korisnika pruženom uslugom.

Audio/video sinkronizacija, odnosno njezin nedostatak jedan je od faktora koji utječu na cjelokupno zadovoljstvo uslugom. Nepodudaranje slike i zvuka prilikom reprodukcije izrazito je nepoželjno, a može biti uzrokovano nesinkroniziranim taktovima na predajnoj i prijemnoj strani, kao i pojavom uskog grla (engl. *bottleneck*) u mreži. Sinkronizacijom kodera i dekodera te pažljivim upravljanjem mrežom moguće je otkloniti taj problem, [14].

Loša kvaliteta izvornog, neobrađenog sadržaja jedan je od čimbenika koji uvelike utječu na krajnju kvalitetu usluge. Signali izvora sadržaja s puno šuma znatno utječu na učinkovitost procesa kompresije te u konačnici negativno utječu na kvalitetu isporučenog sadržaja, [2]. Ovaj se problem može riješiti izravnom suradnjom pružatelja usluga i davatelja sadržaja, izravnim dobivanjem sadržaja bez posrednika, te upotrebom opreme za smanjenje šumova radi lakše kompresije.

Odabir metode kompresije izravno utječe na kvalitetu isporučenog sadržaja. Ovisno o izboru kodeka i stupnju kompresije, javljaju se različiti tipovi distorzije slike. Moguće su pojave dijelova slike na pogrešnim lokacijama, distorzija video blokova, kvantizacijski šum, blokiranje i poskakivanje dijelova slike te zadržavanje dijelova slike unatoč promjeni scene, zbog čega je odabir optimalnog kodeka od velike važnosti, [2].

Oštećenja slike mogu biti uzrokovana brojnim razlozima, od šuma i pogrešaka u kodiranju/dekodiranju, neadekvatnog kabliranja, grešaka u prijenosu do samih grešaka nastalih prilikom transmisije, [14].

Oštećeni paketi (engl. *corrupted packets*) jedan su od faktora koji utječu na distorziju IPTV signala. Oštećenje se najčešće javlja prilikom procesa prijenosa, a uključuje modifikaciju korisnog IPTV tereta ili zaglavlja paketa, [2].

Gubitak paketa (engl. *packet loss*) jedna je od najčešćih grešaka koje se javljaju u sustavima temeljenim na IP protokolu, a javlja se zbog niza mogućih razloga, od oštećenih zaglavlja IP paketa, preopterećenosti mreže uslijed čega se paketi odbacuju, do neadekvatne i neispravne mrežne opreme. Izgubljeni ili ispušteni (engl. *dropped*) paketi mogu degradirati cjelokupni doživljaj gledanja zbog komprimirane prirode video sadržaja. Kompresijske tehnologije poput H.264/AVC izrazito su osjetljive na gubitak paketa, koji se očituje pojavom šuma, smrzavanjem te gubitkom slike, [14].

Također, pristizanje paketa pogrešnim redoslijedom jedan je od potencijalnih problema IPTV mreža, a rješava se privremenim pohranjivanjem paketa u mrežnim međuspremnicima, [2].

Kašnjenje je jedan od temeljnih parametara kvalitete IP mreža, a odnosi se na vrijeme potrebno da IP paket pristigne od IPTV poslužitelja do korisničkog IPTV uređaja. Mala kašnjenja neophodna su za isporuku kvalitetnog video sadržaja. Usluge IPTV mreža izrazito su osjetljive na kašnjenja, posebno ona uzrokovana preopterećenim poslužiteljima, usmjeravanjem, zagušenjima u mreži te čekanjem IP paketa u redovima za usmjeravanje, [2]. **Video jitter** nastaje kad paketi koji čini tok ne pristižu kontinuiranom brzinom, što u konačnici rezultira poremećajima i gubitkom slike, iznenadnim smrzavanjima te gubitkom audio/video sinkronizacije. Problem varijacija u kašnjenju rješava se osiguravanjem adekvatnih mrežnih kapaciteta, dodjeljivanjem prioriteta pojedinim paketima te implementacijom mrežnih međuspremnik (engl. *buffer*) za izjednačavanje razlika u međudolaznim vremenima, [14].

IP-VoD i *multicast* IPTV *streaming* poslužitelji također mogu imati negativan učinak na kvalitetu isporučene usluge ukoliko nisu dimenzionirani u skladu s vršnim zahtjevima krajnjih korisnika. **Zagušenja poslužitelja** očituju se smrzavanjem okvira (engl. *frames*) tijekom isporuke VoD ili *multicast* sadržaja, [2].

6.5.2. Zaštita sadržaja

Da bi mogli distribuirati sadržaj krajnjim korisnicima, operatori moraju otkupiti pravo na korištenje sadržaja od vlasnika autorskih prava. Pravo distribucije najčešće je ograničeno na određeni vremenski rok, broj prikazivanja ili broj preuzimanja sadržaja, što ugovorom određuju vlasnik sadržaja i operator, [13].

Uvjetovani pristup (CA – engl. *Conditional Access*) tehnologija je kojom se kontrolira pristup uslugama samo ovlaštenim korisnicima šifriranjem prenesenog sadržaja. Temelji se na enkripciji ili pseudo-slučajnom kodiranju (engl. *scrambling*), a ovlaštenim korisnicima dodijeljeni su numerički ključevi koji omogućuju hardverskoj ili softverskoj opremi unutar Set-Top Box-a dešifriranje signala. Sigurnosni modul potreban za dekrpciju signala najčešće je izveden u obliku pametne kartice (engl. *smart card*), a može biti sastavni dio Set-Top Box uređaja ili dodijeljen kao zasebna jedinica, [14].

Česta metoda označavanja prava vlasništva je i upotreba **vodenih žigova** (engl. *watermarking*). Temelji se na umetanju jedinstvenih identifikacijskih podataka u video ili audio tokove za praćenje upotrebe i dokazivanje autorskih prava nad sadržajem, bez utjecaja na kvalitetu reprodukcije sadržaja, [13].

Uz uvjetovani pristup (CA), **upravljanje digitalnim pravima** (DRM – engl. *Digital Rights Managment*) temeljna je sigurnosna značajka svakog IPTV sustava. Zajednički je naziv za skup tehnologija koje izdavačima ili vlasnicima autorskih prava omogućuju kontrolu uporabe nekog digitalnog zapisa. Iako ima dodirnih točaka sa zaštitom od kopiranja (engl. *copy protection*), DRM sustavi prije svega koriste se za zaštitu kreativnih sadržaja, kao što su glazba i film, dok se zaštita od kopiranja najčešće odnosi na programsku podršku (engl. *software*), [39].

7. ZAKLJUČAK

IPTV mreža izrazito je kompleksan sustav. Pretplatnicima osim klasičnih, omogućuje i široku paletu interaktivnih usluga, za čiju je isporuku nužno osiguravanje adekvatne propusnosti. Jedan od primarnih izazova IPTV pružatelja usluga jest upravo osiguravanje odgovarajućeg mrežnog kapaciteta između jezgre mreže i krajnjeg korisnika, takozvana „posljednja milja“. Ovisno o zahtjevima korisnika, fizičkoj izvedivosti te financijskoj dobiti i mogućnostima operatera, implementiraju se različite širokopojasne pristupne tehnologije.

Isporuka IPTV usluga može se osigurati različitim žičanim, optičkim i bežičnim pristupom. U najširoj upotrebi još uvijek su tehnologije iz xDSL skupine. ADSL i naprednije verzije ADSL2 i ADSL2+ te VDSL osiguravaju velike brzine prijenosa, no razvojem tehnologija raste i potreba za većim pristupnim brzinama. Budućnost širokopojasnog pristupa predstavlja implementacija optičkih tehnologija. Upravo odlična prijenosna svojstva optike razlog su velikih investicija telekomunikacijskih operatera u optičku infrastrukturu. Također, naglasak je i na razvoju i uporabi naprednih bežičnih mreža kojima se omogućuje pružanje usluga udaljenim, manje razvijenim područjima.

Prijenos videa kao niza statičnih slika temeljna je IPTV usluga. Kvaliteta sadržaja ovisi o brojnim parametrima koji karakteriziraju sliku, odnosno video u cjelini. Rezolucija, omjer stranica, *frame rate*, *bitrate* i *audio sample rate* samo su neka od tih svojstava. Veliku ulogu pri prijenosu sadržaja ima proces kompresije. Odabir optimalnog kodeka nužan je za kvalitetno komprimiranje sadržaja. U IPTV sustavima najčešće se implementiraju sustavi kompresije s gubicima, kako bi bila moguća distribucija ograničenim prijenosnim kapacitetima. Danas najčešće korišteni kodeci HEVC i H264 dio su MPEG skupine, a omogućuju visok stupanj kompresije uz očuvanje zadovoljavajuće kvalitete sadržaja.

Komprimiranjem sadržaja započinje proces formiranja transportnog toka i enkapsulacije podataka temeljen na konceptualnom modelu IPTV mrežne strukture. Osnovne transportne protokole u IPTV mrežama čine TCP, UDP, RTP i noviji protokol SCTP, a implementiraju se ovisno o zahtjevima pojedinih aplikacija. U najširoj je uporabi UDP protokol, odnosno implementacija RTP protokola povrh UDP protokola, koji obzirom na zahtjeve IPTV usluga za pravovremenom isporukom čine optimalan izbor protokola transportnog sloja.

Arhitektura IPTV sustava vrlo je složena i može se podijeliti na mrežne elemente i hijerarhijski koncipirane objekte izgrađene za isporuku video signala krajnjem korisniku. Četiri su temeljna mrežna čvorišta, odnosno centrale u IPTV arhitekturi. Super Head End glavno je središte prijema i procesiranja signala za daljnu distribuciju. Video Serving Office čvorište je također zaduženo za prijem i obradu signala, a sadrži i niz servera potrebnih za pružanje raznih IPTV usluga. Local End Loop centrale točke su u mreži opremljene uređajima za isporuku IPTV usluga DSL linijama, a posljednji objekt u prijenosnom lancu čine korisnički domovi, opremljeni uređajima poput modema, *splittera* i Set-Top Box jedinica. Mrežni dio čine jezgrena mreža čija je uloga osiguravanje adekvatnog prijenosnog kapaciteta između IPTV podatkovnog centra i odredišta, pristupna mreža kojom se omogućuje povezivanje korisničke opreme na jezgru mreže te kućna mreža zadužena za distribuciju IPTV usluga unutar kućanstva.

LITERATURA

- [1] Held G. Understanding IPTV. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, LLC; 2007.
- [2] O' Driscoll G. Next generation IPTV services and technologies. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2008.
- [3] Bingham JAC. ADSL, VDSL, and Multicarrier Modulation. Palo Alto, CA: John Wiley & Sons, Inc.; 2000.
- [4] Dubravić S. Tehnološke izvedbe FTTx kablskih sustava. KOM'2006: Zbornik radova sa Savjetovanja, 2006. Preuzeto sa: http://netiks.hr/wp-content/uploads/2014/12/KOM2006-TEHNOLOSKE_IZVEDBE_FTTx_KABELSKIH_SUSTAVA.pdf [Pristupljeno: lipanj 2018.]
- [5] Fiber Optic Network Products. FTTH Access Networks – AON vs. PON. Preuzeto sa: <http://www.fiberopticshare.com/ftth-access-networks-aon-vs-pon.html> [Pristupljeno: lipanj 2018.]
- [6] InfoSec, Municipal Wireless Network; 2009. Preuzeto sa: <https://www.infosec.gov.hk/english/technical/files/municipal.pdf> [Pristupljeno: lipanj 2018.]
- [7] Blajić T. LTE – nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup; 2010. Preuzeto sa: http://arhiva.ericsson.hr:8080/etk/revija/Br_1_2010/04.pdf [Pristupljeno: lipanj 2018.]
- [8] Centar Informacijske Sigurnosti, Mesh mreže; CIS-DOC-2011-03-008. Preuzeto sa: [https://www.cis.hr/files/dokumenti/CIS-DOC-2011-03-008\(1\).pdf](https://www.cis.hr/files/dokumenti/CIS-DOC-2011-03-008(1).pdf) [Pristupljeno: lipanj 2018.]
- [9] Simple Media Network, HFC. Preuzeto sa: <http://simtvnepal.com/HFC> [Pristupljeno: lipanj 2018.]
- [10] Wikipedia, VDSL. Preuzeto sa: <https://en.wikipedia.org/wiki/VDSL> [Pristupljeno: lipanj 2018.]
- [11] Jurelinac Z. Tehnologije širokopojasnog pristupa s pomoću optičkih niti – FTTx. Preuzeto sa: http://free-zg.t-com.hr/Zlatko_Jurelinac/lekcija12a.pdf [Pristupljeno: lipanj 2018.]
- [12] Belong, ADSL Connection Speeds. Preuzeto sa: <https://support.belong.com.au/adsl/troubleshooting/dsl-connection-speeds> [Pristupljeno: lipanj 2018.]
- [13] Simpson W. Video over IP, second edition. Oxford, UK: Elsevier Inc.; 2008.

- [14] Simpson W, Green H. IPTV and Internet Video. Oxford, UK: Elsevier Inc.; 2007.
- [15] Richardson IEG. H.264 and MPEG-4 Video Compression. Chichester, England: John Wiley & Sons Inc.; 2003.
- [16] dpBestflow, Video File Format Overview. Preuzeto sa: https://dpbestflow.org/Video_Format_Overview#characteristics-video-signal [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [17] Digital Photography School, Aspect Ratio: What it is and Why it Matters. Preuzeto sa: <https://digital-photography-school.com/aspect-ratio-what-it-is-and-why-it-matters/> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [18] Red, Video aspect ratios. Preuzeto sa: <http://www.red.com/learn/red-101/video-aspect-ratios> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [19] MakeUseOf, What Is Bitrate & Why Is It Important? Preuzeto sa: <https://www.makeuseof.com/tag/what-is-bitrate-and-why-is-it-important-makeuseof-explains/> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [20] Techopedia, Video Compression. Preuzeto sa: <https://www.techopedia.com/definition/18460/video-compression> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [21] MakeUseOf, All You Need to Know about Video Codecs, Containers, and Compression. Preuzeto sa: <https://www.makeuseof.com/tag/all-you-need-to-know-about-video-codecs-containers-and-compression/> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [22] Totic N, Samcovic A, Stojkovic N, Mladenovic S, Jankovic S. Komparativna analiza video kompresije MPEG-4, H.264/AVC i H.265/HEVC standarda. INFOTEH-JAHORINA Vol. 16, March 2017. Preuzeto sa: <https://infoteh.etf.ues.rs.ba/zbornik/2017/radovi/RSS-3/RSS-3-2.pdf> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [23] Mahdi OA, Mohammed MA, Mohamed AJ. Implementing a Novel Approach an Convert Audio Compression to Text Coding via Hybrid Technique. IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 9, Issue 6, No 3, November 2012. ISSN (Online): 1694-0814. Preuzeto sa: <http://ijcsi.org/papers/IJCSI-9-6-3-53-59.pdf> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [24] Prins M. Fast retransmission for multicast IPTV. Enschede, NL: University of Twente; 2008. Preuzeto sa: <https://www.utwente.nl/en/eemcs/dacs/assignments/completed/master/reports/2008-prins.pdf> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [25] Wilbert M. What is the Best Audio Codec for Online Video Streaming? DaCast; 2018. Preuzeto sa: <https://www.dacast.com/blog/best-audio-codec/> [Pristupljeno: srpanj 2018.]

- [26] Robertson MR. Video File Container Formats, Compression and Codecs – Oh My! , tubularinsights; 2010. Preuzeto sa: <http://tubularinsights.com/file-formats-containers-compression/> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [27] Hruska J. H.265 benchmarked: Does the next-generation video codec live up to expectations?, ExtremeTech; 2013. Preuzeto sa: <https://www.extremetech.com/computing/162027-h-265-benchmarked-does-the-next-generation-video-codec-live-up-to-expectations> [Pristupljeno: srpanj 2018.]
- [28] Stojanović, Z. Arhitektura, protokoli i servisi Interneta. Brčko: Evropski univerzitet Brčko Distrikta; 2015.
- [29] Forouzan BA. TCP/IP Protocol Suite, Fourth Edition. New York: McGraw-Hill; 2010.
- [30] Lopez D, Villanueva B, Rivas E. IPTV: next-generation network technologies and protocols. Bogota, Colombia: Universidad Distrial “Francisco Jose de caldas”; 2013. Preuzeto sa: <http://tecciencia.ecci.edu.co/index.php/TECCIENCIA/article/view/28/23> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [31] IEEE XploreDigitalLibrary. Performance of SCTP for IPTV Applications. Kobe, Japan. Published in: The 9th International Conference on Advanced Communication Technology; 2007. ISBN: 978-89-5519-131-8, ISSN: 1738-9445. Preuzeto sa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4195606/> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [32] TechTarget, IPTV, chapter 3: The Technology of Internet Protocol Networks. Preuzeto sa: <https://cdn.ttgtmedia.com/searchVoIP/downloads/IPTV.Technology.of.IP.Networks.Ch3.pdf> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [33] Wikipedia, Stream Control Transmission Protocol. Preuzeto sa: https://en.wikipedia.org/wiki/Stream_Control_Transmission_Protocol [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [34] Yu G, Westholm T, Kihl M, Sedano I, Aurelius A, Lagerstedt C, Ödling P. Analysis and characterization of IPTV user behavior. IEEE Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting - Bilbao, Spain; Duration: 2009 May 13 - 2009 May 15. Preuzeto sa: <http://portal.research.lu.se/portal/files/6309968/1423102.pdf> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [35] Fiber Optic Network Products. Viable Alternative for Next Generation FTTH-WDM-PON. Preuzeto sa: <http://www.fiberopticshare.com/viable-alternative-for-next-generation-ftth-wdm-pon.html> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [36] Fiber Optic Telecom. Preuzeto sa: <https://www.fiberopticstel.com/apon-bpon-epon-gpon-and-wdm-pon-brief-talk/> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [37] B.net: Svijet u vašem domu, B.net ukratko. Preuzeto sa: http://www.bnet.hr/b_net [Pristupljeno: 01.09.2018.]

- [38] Odašiljanje, multimedijske, mrežne usluge: OiV – Odašiljači i Veze, Multimedijske usluge. Preuzeto sa: https://www.oiv.hr/media/media_hr.aspx [Pristupljeno: 01.09.2018.]
- [39] Centar informacijske sigurnosti: CIS.hr, Upravljanje digitalnim pravima (DRM). Preuzeto sa: [https://www.cis.hr/www.edicija/Upravljanjedigitalnimpravima\(DRM\).html](https://www.cis.hr/www.edicija/Upravljanjedigitalnimpravima(DRM).html) [Pristupljeno: 02.09.2018.]
- [40] Search Networking: Networking information, news and tips, RSVP (Resource Reservation Protocol). Preuzeto sa: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/RSVP> [Pristupljeno: 02.09.2018.]
- [41] Hrvatska enciklopedija, mreža. Preuzeto sa: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=42221> [Pristupljeno: 01.09.2018.]
- [42] Stienstra AJ. Technologies for DVB Services on the Internet. Proceedings of the IEEE, Vol. 94, NO. 1, January 2006. Preuzeto sa: <http://www.tijbc.com/pruebas-7419/I0782916.pdf> [Pristupljeno: 02.09.2018.]
- [43] Odsek za računarsku tehniku i računarske komunikacije. Priprema za vežbe iz predmeta Osnovi algoritama i struktura DSP 2, Vežba 4. Novi Sad, Srbija. Preuzeto sa: <http://www.rtrk.uns.ac.rs/sites/default/files/materijali/lab/Ve%C5%BEba%20%20-%20Osnove%20kompresije%20audio%20signala.pdf> [Pristupljeno: 01.09.2018.]
- [44] Seršić D. Realni spektri. Obrada informacija. Zagreb, Hrvatska: Fakultet elektrotehnike i računarstva. Preuzeto sa: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/05-OI-RealniSpektri.pdf [Pristupljeno: 01.09..2018.]
- [45] Peraković D, Periša M, Šarić S, Forenbacher I. Arhitektura multimedijских mreža. Preuzeto sa: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/A/Arhitektura_telekomunikacijske_mreze/Materijali/6_Arhitektura_multimedijских_mreza_-_10112016.pdf [Pristupljeno: 01.09.2018.]
- [46] IETF | Internet Engineering Task Force, IETF Tools, RFC 3926 FLUTE – File Delivery over Unidirectional Transport. Preuzeto sa: <https://tools.ietf.org/html/rfc3926#page-35> [Pristupljeno: 02.09.2018.]
- [47] SearchTelecom: Telecom information, news and tips, IPTV (Internet Protocol television). Preuzeto sa: <https://searchtelecom.techtarget.com/definition/IPTV> [Pristupljeno: 02.09.2018.]

POPIS SLIKA

Slika 1. DSL dijagram	4
Slika 2. Usporedba vršnih brzina ADSL tehnologija obzirom na udaljenost (Mbit/s).....	6
Slika 3. Usporedba frekvencijskog pojasa ADSL2, ADSL2+ i VDSL tehnologija	7
Slika 4. FTTx arhitektura.....	9
Slika 5. Usporedba AON i PON mreža	11
Slika 6. HFC mreža.....	14
Slika 7. Pojednostavljeni blok dijagram WiMAX sustava	17
Slika 8. Bežična „muni“ mesh mreža	18
Slika 9. Tijek obrade video signala.....	23
Slika 10. Učinkovitost HEVC kodeka	25
Slika 11. Protokolni složaj IPTV sustava	27
Slika 12. Konceptualni model IPTV mrežne strukture (IPTV-CM).....	28
Slika 13. Formiranje MPEG transportnog toka	29
Slika 14. Enkapsulacija MPEG transportnog toka.....	30
Slika 15. Prikaz protokola transportnog sloja unutar mrežne hijerarhije	31
Slika 16. SCTP multihoming	34
Slika 17. Mrežni elementi IPTV sustava	36
Slika 18. Arhitektura IPTV mreže	39
Slika 19. Arhitektura operatora Odašiljači i veze d.o.o.	40

POPIS KRATICA

AAC (engl. Advanced Video Coding)

ADSL (engl. Asymmetric Digital Subscriber Line)

ALC (engl. Asynchronous Layer Coding)

AON (engl. Active Optical Network)

AP (engl. Access Point)

APON (engl. Asynchronous Transfer Mode-based Passive Optical Network)

ASM (engl. Any-source multicast)

ATM (engl. Asynchronous Transfer Mode)

BPON (engl. Broadband Passive Network)

CA (engl. Conditional Access)

CAP (engl. Carrierless Amplitude/Phase Modulation)

CATV (engl. Cable Television)

CM (engl. Cable Modem)

CMTS (engl. Cable Modem Termination System)

CO (engl. Central Office)

CO/RT (engl. Central Office/Remote Terminal)

DMT (engl. Discrete Multi-Tone)

DOCSIS (engl. Data Over Cable Service Interface Specification)

DRM (engl. Digital Rights Management)

DSL (engl. Digital Subscriber Line)

DSLAM (engl. Digital Subscriber Line Access Multiplexer)

DVBSTP (engl. DVB SD&S Transport Protocol)

DWDM (engl. Dense Wavelength Division Multiplexing)

EPON (engl. Ethernet-based Passive Optical Network)

ES (engl. Elementary stream)

EV-DO (engl. Evolution-Data Optimized)

FLUTE (engl. File Delivery over Unidirectional Transport)

FPS (engl. Frames per second)

FTTB (engl. Fiber To The Building)

FTTC (engl. Fiber To The Curb)

FTTCab (engl. Fiber To The Cabinet)

FTTH (engl. Fiber To The Home)

FTTN (engl. Fiber To The Node)

FTTx (engl. Fiber To The X)

GigE (engl. Gigabit Ethernet)

GPON (engl. Gigabit Passive Optical Network)

HD (engl. High Definition)

HDTV (engl. High-Definition Television)

HE-AAC (engl. High-Efficiency Video Coding)

HEVC (engl. High Efficiency Advanced Coding)

HFC (engl. Hybrid Fiber-Coax)

HSDPA (engl. High Speed Downlink Packet Access)

HSPA (engl. High Speed Packet Access)

HSPA+ (engl. Evolved High Speed Packet Access)

IEEE (engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers)

IGMP (engl. Internet Group Management Protocol)

IMS (engl. IP Multimedia Subsystem)

IP (engl. Internet Protocol)

IPTV (engl. Internet Protocol Television)

IPTV-CM (engl. Internet Protocol Television Communications Model)

ITU (engl. International Telecommunication Union)

ITU-T (engl. ITU Telecommunication Standardization Sector)

JVT (engl. Joint Video Team)

LAN (engl. Local Area Network)

LEO (engl. Local End Office)

LTE (engl. Long Term Evolution)

MDCT (engl. Modified Discrete Cosine Transform)

MPEG (engl. Moving Picture Experts Group)

OFDMA (engl. Orthogonal Frequency-Division Multiple Access)

OIPF (engl. Open IPTV Forum)

OLT (engl. Optical Line Terminal)

ONT (engl. Optical Network Terminal)

P2P (engl. Point-to-Point)

PCR (engl. Program Clock Reference)

PDH (engl. Plesiochronous digital hierarchy)

PES (engl. Packetized Elementary stream)

PID (engl. Packed ID)

PON (engl. Passive Optical Network)

POTS (engl. Plain Old Telephone Service)

PTP (engl. Point-to-Point)

QAM (engl. Quadrature Amplitude Modulation)

QoE (engl. Quality of Experience)

QoS (engl. Quality of Service)

RF (engl. Radio frequency)

RGB (engl. Red-Green-Blue)

RSVP (engl. Resource Reservation Protocol)

RT (engl. Remote Terminal)

RTCP (engl. Real-time Transport Control Protocol)

RTP (engl. Real-time Transport Protocol)

RTSP (engl. Real-Time Streaming Protocol)

RTT (engl. Round-trip time)

SCTP (engl. Stream Control Transmission Protocol)

SDH (engl. Synchronous digital hierarchy)

SDTV (engl. Standard-Definition Television)

SDV (engl. Switched Digital Video)

SHE (engl. Super Head End)

SONET (engl. Synchronous Optical Network)

SSM (engl. Source-specific multicast)

STB (engl. Set-Top Box)

TCP (engl. Transmission Control Protocol)

TCP/IP (engl. Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

TDM (engl. Time-Division Multiplexing)

TS (engl. Transport stream)

TV (engl. Television)

UDP (engl. User Datagram Protocol)

UMTS (engl. Universal Mobile Telecommunications System)

VCEG (engl. Video Coding Experts Group)

VDSL (engl. Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line)

VoD (engl. Video-on-Demand)

VoIP (engl. Voice over Internet Protocol)

VSO (engl. Video Serving Office)

WAN (engl. Wide Area Network)

WDM-PON (engl. Wavelength-Division Multiplexing Passive Optical Network)

WiMAX (engl. Worldwide Interoperability for Microwave Access)

WLAN (engl. Wireless Local Area Network)

WMA (engl. Windows Media Audio)

WMN (engl. Wireless Mesh Network)

XML (engl. Extensible Markup Language)

xDSL (engl. Digital Subscriber Line technologies)



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 i značajke IPTV mreže**

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

U Zagrebu, _____ 10.09.2018. _____

Student/ica:

Igor Mikić
(potpis)