

TRANSPORTNE MREŽNE TEHNOLOGIJE ZA DISTRIBUCIJU IPTV SADRŽAJA

Andreja Samčović, Goran Marković
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Sadržaj: U radu su predstavljene neke savremene mrežne tehnologije koje se mogu koristiti za distribuciju televizijskog i video sadržaja preko internet protokola. Opisane su osnovne mogućnosti koje nudi internet protokol televizija (IPTV), kao i generička arhitektura mreže za podršku IPTV servisa. Posebno su razmatrane optičke mrežne tehnologije kao što su Ethernet preko SDH/SONET, Ethernet preko optičkog vlakna, Ethernet sa agregacijom linkova, kao i aktuelni trendovi u oblasti optičkih transportnih mreža.

Ključne reči: IPTV, video, transportne mrežne tehnologije, Ethernet, optičke transportne mreže

1. Uvod

Smatra se da je isporuka video servisa generalno najkritičniji i najteži problem za telekomunikacione provajdere prilikom isporuke "triple-play" servisa, koje čine video, podaci i govor. Transport miksa video signala, podataka velikim brzinama, kao i glasa, je od vitalnog značaja za održavanje konkurentske pozicije prema kablovskim operatorima, što zahteva nova rešenja, naročito imajući u vidu zahteve za distribuciju televizijskih sadržaja internet protokolom (*Internet Protocol* – IP). Gigabitski *Ethernet* može da ponudi efikasnu eksploataciju mreže u kombinaciji sa pouzdanim SDH/SONET (*Synchronous Digital Hierarchy / Synchronous Optical Networks*) optičkim mrežama, multipleksiranjem po talasnim dužinama (*Wavelength Division Multiplexing* - WDM), i/ili optičkom transportnom infrastrukturu (*Optical Transport Infrastructure* - OTN). Pokazuje se da naredna generacija SONET može da obezbedi uravnotežen pristup, imajući u vidu ekonomski faktor mreže, kao i pouzdanost mreže za distribuciju *triple-play* sadržaja [1]. U ovom radu se razmatraju neke potencijalne transportne mrežne tehnologije za distribuciju IP televizijskog i video sadržaja.

Internet Protokol televizija (*Internet Protocol TeleVision* - IPTV) je sistem putem koga se korisnicima pružaju usluge televizije preko internet protokola koristeći arhitekturu i mrežne metode grupe internet protokola i infrastrukturu koja koristi komutaciju paketa, umesto da se koristi standardna radiodifuzija ili kablovska mreža [2]. IPTV je jedno od najnovijih dostignuća iz oblasti primene telekomunikacija u

televizijske svrhe. Kao što i sama reč kaže, to je zapravo prenos TV signala preko IP strukture. Razvojem telekomunikacija, a posebno tehnika prenosa, došlo je do mogućnosti da se preko standardnih telefonskih struktura prenosi velika količina podataka. Tako je razvijena asimetrična digitalna pretplatnička linija, engl. *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL), koja je neophodna za funkcionisanje IPTV-a. Pored tehnika prenosa, primenjene su i nove tehnike kompresije, koju je neophodno obaviti pre distribucije video signala kroz sistem. Najčešće primenjivani postupci za kompresiju su standard H.264 i *Motion Picture Expert Group* standardi MPEG-2 i MPEG-4. Kombinacijom ovih dostignuća dobijamo mogućnost prenosa digitalnog TV signala do velikog broja domaćinstava preko telefonske parice. Kako bi se IPTV izdvojila od kablovske mreže ili satelitskog prenosa, pored standardnih usluga kao što su televizija, *pay per view*, premium kanali, IPTV pruža i dodatne usluge kao što su video na zahtev, sadržaj na zahtev, pretraživanje interneta, digitalni video rekorder i druge.

2. IPTV servisi i zahtevi za protokom

IPTV postaje zajednički imenitelj za sisteme kod kojih se televizija i/ili video signali distribuiraju do rezidencijalnih pretplatnika preko širokopojasne veze. Vodeći svetski telekomunikacioni provajderi koriste IPTV kao novu mogućnost za zaradu na lokalnim tržištima. IPTV je takođe ključni element sistema *triple play*, gde su objedinjeni video servis, prenos podataka i glas u jednom paketu. Od IPTV servisa se očekuje da će rasti brzim tempom u narednih nekoliko godina, kao i širokopojasni pristup [3]. Najveći broj rezidencijalnih korisnika pristupa širokopojasnim servisima preko provajdera internet servisa. Tipično se pretplatnička veza uspostavlja bakarnim paricama preko digitalne pretplatničke linije ADSL, ili savremenije verzije ADSL2. Pretplatnički saobraćaj ima svojstvo da bude eksplozivan (*bursty*). Multipleksiranje pretplatničkog saobraćaja vrši se pomoću DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*). Multiplekser može da se nalazi na centralnoj ili na udaljenoj lokaciji. Saobraćaj se preusmerava ka provajderima internet servisa preko transportne infrastrukture zasnovane na internet protokolu. Brzina veze lokalne petlje varira zavisno od uslova, udaljenosti pretplatnika od lokacije multipleksera, kao i tipa korišćene xDSL (*Digital Subscriber Line*) tehnologije.

Razvoj tehnologija kao što su VDSL (*Very High speed Digital Subscriber Line*) i VDSL2 omogućio je veće protoke signala u iznosima od nekoliko desetina Mb/s na kraćim udaljenostima pretplatnika. Pri ovim protocima, lokalni provajderi telekomunikacionih servisa imaju mogućnost uvođenja video servisa kako bi povećali svoje prihode i svoju ponudu učinili kompetitivnom naspram kablovskih operatera. Međutim, digitalni video saobraćaj ima tendenciju ka većim protocima, npr. 2 Mb/s za TV standardne rezolucije (*Standard Definition* – SDTV), i 8 Mb/s za TV visoke rezolucije (*High Definition TV* - HDTV), što obično rezultira i većom prosečnom pretplatnom. Kapacitet transportne mreže mora biti pojačan i projektovan tako da podrži veće prosečne protoke ka korisniku, kada se video servisi nude preko xDSL linije [4]. Rezidencijalni širokopojasni pristup preko xDSL tehnologije ima za cilj podršku pristupu internetu i web-baziranim servisima. Novije xDSL platforme mogu da podrže veći protokom za individualne rezidencijalne pretplatnike. Ovo otvara mogućnost za nove izvore prihoda lokalnim provajderima servisa koji mogu da iskoriste svoje postojeće bakarne infrastrukturne petlje.

Čitava paleta novih servisa može biti ponuđena korisnicima, uključujući elektronski programski vodič (*Electronic Programme Guide* - EPG), digitalnu TV (DTV), servis "plati-pa-gledaj" ("pay per view" - PPV), video na zahtev (*Video on Demand* - VoD), integrisane TV servisi (*caller ID*, web portal, pauziranje TV programa uživo, digitalna muzika, roditeljski nadzor), sistem za hitno uzbunjivanje zasnovan na IP, kao i mrežni personalni video rekorder (*Network–Personal Video Recorder* - N-PVR).

Prenos televizijskog/video signala u svojoj nekomprimovanoj formi zahteva veoma veliki propusni protok koji je izvan protoka koji podržavaju savremene VDSL tehnologije. Međutim, došlo je do značajnog napretka (stepen video kompresije veći od 50:1) u protekloj deceniji u razvoju i implementaciji komercijalnih tehnologija za video kompresiju. Tehnologija video kompresije na bazi standarda MPEG-2 se koristi u kablovskom, digitalnom satelitskom i većini desktop video prenosa. Poboljšana video kompresija u okviru standarda MPEG-4 nudi dodatne pogodnosti pri kompresiji video signala koje omogućuju prenos TV signala visoke rezolucije. Tabela 1 pokazuje protoke komprimovanog televizijskog video prenosa, na osnovu MPEG standarda.

Tabela 1. Protoci komprimovanog videa za pojedine standarde

Standardi za video kompresiju	TV video rezolucija	Protoci komprimovanog videa
MPEG-2	SDTV	2,5-3,5 Mb/s
	HDTV	16-19 Mb/s
MPEG-4	SDTV	1,5-2 Mb/s
	HDTV	6-8 Mb/s

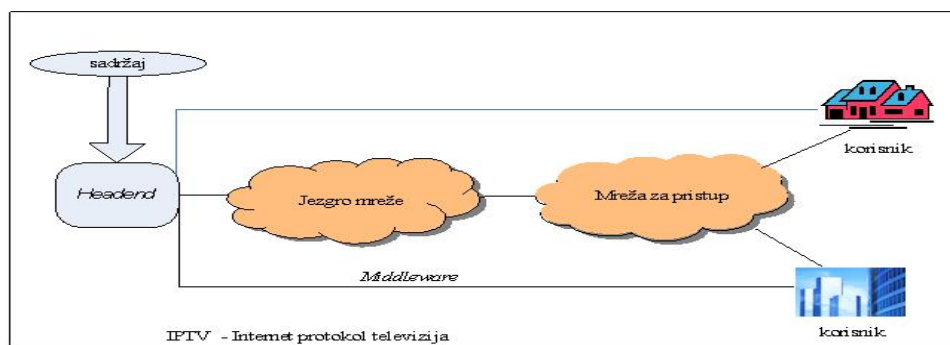
Televizijski video prenos je veoma asimetričan, pri čemu se većina saobraćaja odvija u gradskim područjima. Tehnologija xDSL podržava asimetrične brzine prenosa podataka, sa većim kapacitetom od centralne lokacije ka pretplatnicima. Pristup internetu i web-baziranim servisima takođe ima tendenciju da ima veći odlazni saobraćaj ka rezidencijalnim korisnicima. Ukupni odlazni saobraćaj može da se izračuna na osnovu određenih pretpostavki o tome koje programe korisnik želi da gleda, kao i pristupa internetu, zbog toga što su još uvek ograničeni podaci o stanju na terenu u pogledu novih video i web-baziranih aplikacija. Pored toga, velike brzine i eksplozivnost saobraćaja imaju tendenciju da budu veoma promenljivi zavisno od doba dana, kao i uslova na lokalnom tržištu telekomunikacionih usluga. U slučaju odlaznog xDSL saobraćaja ka pretplatničkim domovima sa protokom od 15 do 25 Mb/s, može se planirati dva do pet SDTV kanala i jedan ili dva HDTV kanala, uz istovremeni prenos podataka. Saobraćaj generisan od strane pretplatnika se sastoji, pre svega, od izbora programa i kontrole saobraćaja, što čini mali deo propusnog opsega komprimovanog videa (ne računajući podatke drugih aplikacija). Zbog toga se pri analizi zahteva propusnog opsega i poređenju troškova transportnih tehnologija koristi odlazni saobraćaj.

Unikast saobraćaj značajno varira zavisno od biznis modela provajdera servisa. Neki provajderi mogu da izaberu da obezbede, pre svega, emitovanje televizijskih kanala, dok drugi mogu da se odluče više za personalizovane video servise, na primer za video na zahtev ili mrežni personalni videorekorder. Dakle, pri analizi modela transportne mreže treba uzeti u obzir miks difuzije i unikast video servisa. Pored toga, za složenije mreže zasnovane na optičkim topologijama, treba pretpostaviti *Ethernet* vezu

između centralne lokacije i multipleksera od 1 Gb/s, uz miks difuzije i unikast video servisa. Sledeća generacija SONET/SDH sistema podržava *Ethernet*. Pored toga, SONET/SDH omogućava efikasnu difuziju video saobraćaja ka svim čvorovima u okviru prstena. Ove funkcije obezbeđuju atraktivna ekonomska svojstva mreže koja proističu iz efikasnosti propusnog opsega, fleksibilnosti i jednostavnijih operacija. Usled ograničenja raspoloživosti optičkih vlakana, moguća je kombinacija sa WDM tehnologijom.

3. Generička IPTV mreža

Generički IPTV sistem prikazan je na Slici 1. Različiti video sadržaj dolazi od video *headenda*. Video strimovi se zatim prikupljaju koristeći *middleware* kontrolu za distribuciju pretplatnicima. Video se dalje prenosi do različitih lokacija preko metro optičke transportne mreže. Od centralnih lokacija video strimovi se distribuiraju do multipleksera pomoću pristupne optičke mrežne infrastrukture. Funkcionalni elementi generičke IPTV mreže biće opisani u nastavku ovog rada.



Slika 1. Generička IPTV mreža

Sadržaj i izvor. Video sadržaj može doći iz više izvora: (a) prethodno komprimovani video sadržaj može da se prenosi preko satelita za distribuciju na mreži; (b) analogni video može da se prenosi radiodifuzijom; (c) MPEG-formatirane filmske datoteke mogu da se memorišu na lokalnom VoD serveru; i (d) video trake ili živi sadržaj može doći iz lokalnih javnih, obrazovnih ili vladinih ustanova. Prethodno formatirani sadržaj može takođe da dolazi iz drugog *headenda* (na primer, od regionalnog ka lokalnom *headendu*), naročito ako se lokalni oglas ubaci u video protok pre slanja lokalnim pretplatnicima.

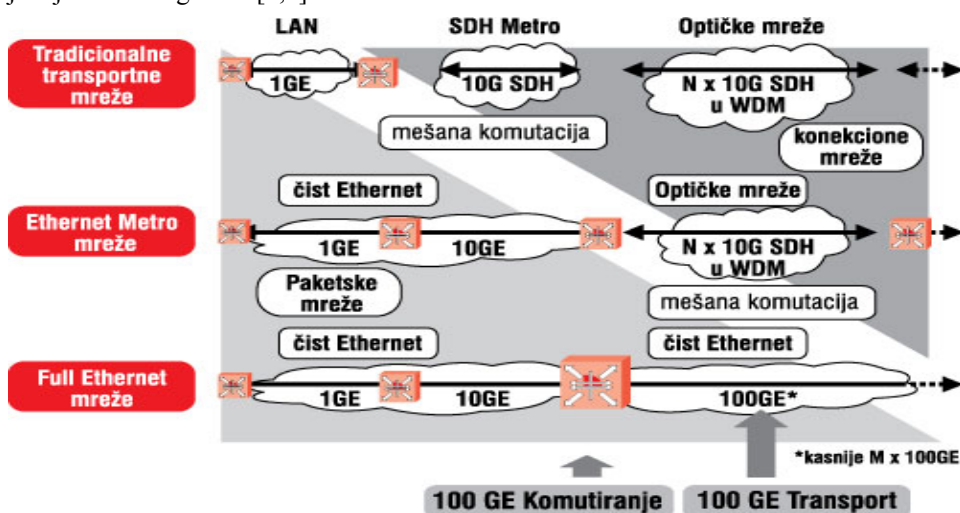
Headend. *Headend* prima signale iz izvora video sadržaja, koduje ih i prenosi ka odlaznoj transportnoj mreži. *Headend* može da opsluži VoD servere, *middleware* (posredničke) servere, EPG servere i da podrži operativne sisteme provajdera servisa.

Middleware. *Middleware* obuhvata prezentaciju i upravljanje signalima. Ima zaduženje da obezbedi dosledno pakovanje, rezervisanje, obezbeđenje, usluge praćenja i obaveštavanja; poravnanje i upravljanje naplate sadržaja, kao i interfejs sa drugim mrežnim elementima i infrastrukturu provajdera servisa.

IP video. Oprema korisnika obično uključuje xDSL modem i obezbeđuje *Ethernet* interfejs za povezivanje na *set-top box* (STB). STB zatim povezuje TV prijemnik startovanjem video *middleware* softvera. Integrisani kućni *gateway* može da kombinuje DSL modem i STB funkcionalnost.

4. Transportne mreže za IPTV distribuciju

Trenutno dominantna tehnologija optičkog prenosa u svetu je SDH/SONET, koja obezbeđuje pouzdan i široko rasprostranjen prenos digitalnih signala po optičkim vlaknima [5]. Ovaj metod prenosa se već više od dve decenije koristi na telekomunikacionom tržištu. U početku je bio prvenstveno namenjen prenosu govora, a danas se u velikoj meri koristi i za prenos podataka. Sve doskoro, najveći protok ostvaren u transportnoj mreži bio je 10 Gb/s. Danas operatori počinju da implementiraju protoke od 40 Gb/s. Međutim, naredne generacije optičkih transportnih mreža neće biti konekciono, već beskonekciono orijentisane. Nagoveštaj takvih tehnologija, koje su paketski orijentisane, predstavlja vrlo prisutan 10 Gb *Ethernet*, koji u principu ne obezbeđuje potpunu međuoperativnost sa SDH. Tačnije, mreže nove generacije baziraće se na internet protokolu i kroz tako unificiranu mrežnu platformu podržavati prenos govora, podataka i video signala. Iako je *Ethernet* tradicionalno tehnologija lokalnih mreža, njegov permanentni razvoj doveo je do penetracije *Etherneta* do nivoa regionalnih i gradskih mreža, dok su poslednja istraživanja i potreba za standardizacijom doveli do razvoja 100 Gb *Etherneta*, koji bi u bliskoj budućnosti mogao da postane tehnologija izbora i ozbiljan konkurent ostalim tehnologijama koje se primenjuju u transportnom delu mreže (Slika 2). Standardizacija 40 Gb i 100 Gb *Etherneta* završena je u junu 2010. godine [6,7].



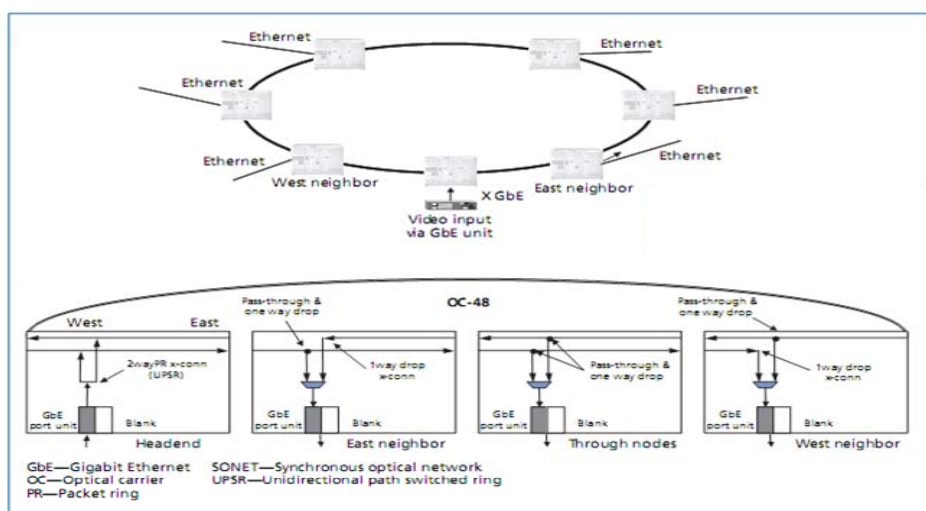
Slika 2. Transportne mreže za IPTV distribuciju

Iako je pitanje standarda od značaja za efikasnost, kvalitet i pouzdanost prenosa, protok signala duž jednog optičkog kanala limitiran je brzinom rada elektronskih komponenti koje se primenjuju u optičkim predajnicima i prijemnicima. Međutim, tehnika multipleksiranja po talasnim dužinama (WDM) omogućila je da se jednim optičkim vlaknom prenosi od nekoliko do nekoliko desetina ili stotina kanala, pri čemu je svaki od njih uspostavljen na različitoj talasnoj dužini. Postojeći WDM sistemi već duže vremena koriste i do 80 kanala. Međutim, poslednjih godina, pojavili su se sistemi koji podržavaju prošireni spektar talasnih dužina, koji obuhvata do 192 talasne dužine. Primenom standardnih sistema koji obezbeđuju bitske protoke od 10 Gb/s po kanalu

(talasnoj dužini) omogućena je brzina prenosa signala čiji red veličine dostiže ili prevazilazi 1 Tb/s. Pri tome se ovakav prenos može ostvariti na rastojanjima koja prevazilaze nekoliko hiljada kilometara, što ukazuje na izuzetno veliki proizvod bitskog protoka i rastojanja koji se može postići u transportnim mrežama. U nastavku rada će biti opisane neke optičke transportne mrežne tehnologije koje se mogu koristiti za distribuciju IPTV sadržaja.

Ethernet preko SONET/SDH

Kako se očekuje da će *Ethernet* u budućnosti postati ozbiljan konkurent ostalim tehnologijama koje se primenjuju u transportnom delu mreže, kombinacija *Etherneta* i SDH tehnologije predstavlja potencijalno najekonomičnije rešenje za ostvarivanje regionalnih telekomunikacionih mreža. U mnogim tehnologijama sledeće generacije za optički prenos dominira SONET/SDH, kako u javnim, tako u velikoj meri i privatnim telekomunikacionim mrežama. Optička vlakna omogućavaju da se izgradi efikasna topologija sa prstenom. *Ethernet* komutacija, kao i interfejs standardi, daju provajderima servisa priliku da ponude nove digitalne video servise, korišćenjem SONET/SDH mreža. Ova tehnologija omogućava efikasno transportno rešenje za digitalni video usklađivanjem postojeće optičke transportne infrastrukture.



Slika 3. *Ethernet preko SONET "drop and continue"*

Pored aplikacija tipa *point-to-point*, difuzne aplikacije za video distribuciju preko SONET/SDH mogu biti efikasno podržane pomoću funkcije "drop and continue". Imajući u vidu kapacitet, SONET/SDH mreža može da se koristi za prenos video signala sa lokacije *headenda* provajdera TV servisa prema udaljenim čvorovima. Kod ove aplikacije, dolazni video signal se multiplicira ka više izlaznih portova i šalje ka nekoliko distribucionih čvorova. Kao što je prikazano na Slici 3, funkcija "drop and continue" kod SONET/SDH se koristi za izdvajanje video signala iz glavnog prstena i usmeravanje ka drugim prstenovima i distribucionim čvorovima, zadržavajući video signal koji prelazi kroz glavni transportni prsten. Difuzni video ulaz sa video čvora se prenosi po prstenu i

zatim vodi ka centralnim lokacijama, što je ilustrovano na Slici 3. Na strani *headenda*, digitalni video se uključuje u jednosmernu putanju komutiranog prstena. U posrednim čvorovima, video ide u oba smera sve dok ne stigne do zapadnog i istočnog suseda, što je pokazano na Slici 3.

Ethernet preko optičkog vlakna (Ethernet over Fiber - EoF)

Konfiguracija EoF je tipa *point-to-point Ethernet* veze, čime se proširuje u meš *Ethernet* mreže komutatora. Kod EoF rešenja, saobraćajni inženjering se postiže kroz rezervisanje veza između *Ethernet* komutatora. Neke EoF mreže, međutim, nude samo "best-effort" servise, gde nivo pretplate ograničava performanse prenosa paketa. U tom slučaju se povećava džiter po putanji. Ove mreže mogu da se prepoznaju po nedostatku nivoa ugovaranja servisa od strane operatora. Ključne prednosti EoF tehnologije su niže cene, i protok od 10 Mb/s do 1 Gb/s. Nedostaci EoF su što njena oporavak traži više vremena, kao i veće kašnjenje i džiter koje može prouzrokovati baferovanje saobraćaja, jer prolazi kroz više *Ethernet* komutatora.

Novije generacije EoF mreže posebno tretiraju pitanja kašnjenja, džitera i robusnosti u pogledu vremena oporavka. Telekomunikacioni operatori danas postaju sve više zainteresovani za korišćenje *MultiProtocol Label Svitching* (MPLS) tehnike saobraćaja unutar jezgra EoF mreže, zbog ponude *point-to-point* i *multipoint-to-multipoint* servisa kroz virtualne privatne LAN servise. Ovaj pristup ima potencijal da obezbedi smanjeno kašnjenje i smanjeno vreme oporavka. Još jedno potencijalno rešenje koristi *Ethernet* preko SONET u jezgru mreže sa tehnologijom EoF u pristupnim prstenovima, zbog dokazane pouzdanosti SONET tehnologije. Kada EoF uključi navedene pogodnosti u svom jezgru, postaće atraktivna za poslovne korisnike. Međutim, uprkos ovim poboljšanjima, i dalje EoF ne nudi mali džiter.

Ethernet mreža sa agregacijom linkova

Agregacijske mreže osiguravaju nivo transportnih servisa između čvorova pristupne mreže i ivičnih čvorova *core* mreže. Agregacijska mreža mora biti fleksibilna za uvođenje novih servisa, proširenja i promene paketa servisa kod krajnjeg korisnika, a istovremeno podržava nekoliko poslovnih modela: agregaciju maloprodajnih usluga za rezidencijalne i poslovne korisnike, usluge međusobnog povezivanja, kao i servise tipa *peer to peer*. Mreža sa agregacijom linkova ima važnu ulogu u isporuci širokopoljasnih servisa rezidencijalnim i poslovnim korisnicima. Opslužni čvorovi mogu da se smeste bilo gde, nezavisno od transportne topologije. To može da bude bliže ivicama *core* mreže, ili bliže korisniku, što omogućuje smanjenje ukupnih troškova.

5. Pravci razvoja optičkih transportnih mreža

Tehnologija optičkih transportnih mreža (OTN), standardizovana od strane Međunarodne unije za telekomunikacije ITU-T kroz preporuke G.872 (*Architecture of Optical Transport Networks*) i G.709 (*Network Node Interfaces for the Optical Transport Networks*) krajem 1990-tih i početkom 2000-tih godina, smatra se jednim od najznačajnijih standarda i solucija za prenos podataka, govora i video signala u optičkim komunikacionim mrežama. Najnovijom preporukom G.709, verzija 3, iz decembra 2009. godine standardizovane su unapređene mogućnosti za buduće optičke transportne mreže, uključujući tu i *Ethernet* povećanim brzinama (40 GbE i 100 GbE), prvenstveno kroz

specifikaciju novih ODU (*Optical channel Data Unit*) i OTU (*Optical channel Transport Unit*) jedinica, novog mapiranja za CBR (*Constant Bit Rate*) saobraćaj, kao i novu generičku proceduru mapiranja (GMP, *Generic Mapping Procedure*) ODU jedinica nižeg reda u ODU jedinice višeg reda [8]. Osim toga, ODU jedinice se mogu direktno mapirati u OTU optičke kanale (talasne dužine). Različite mogućnosti mapiranja ODU jedinica obezbeđuju maksimalnu fleksibilnost za efikasan prenos podataka kroz OTN. Za 100-Gb *Ethernet* standardizovane su nove ODU4/OTU4 jedinice. Takođe su specificirane i nove veličine slotova za prenos podataka brzinama od 1,25 Gb/s (ODU0 jedinice), kako bi se efikasnije mapirali GbE tokovi (prethodne verzije G.709 preporuke su specificirale minimalnu granularnost od približno 2,5 Gb/s – ODU1 interfejsi). Preporukom G.709 v3 dodatno su specificirani i fleksibilni kontejneri (ODUflex), koji omogućavaju mapiranje korisničkih signala sa proizvoljnim protokom, podržavajući istovremeno i CBR (TDM) saobraćaj kao i paketski/frame (IP i MPLS/ *Ethernet*), bazirani saobraćaj sa promenljivim protocima. Za razliku od klasičnih ODU jedinica, kao što su ODU1, ODU2 i ODU3, koje imaju fiksnu veličinu za mapiranje korisničkih signala, ODUflex kontejneri podržavaju mapiranje različitih binarnih protoka, *Ethernet* signala i drugih korisničkih signala sa protocima manjim od 1,25 Gb/s (ODU0), obezbeđujući tako visoku efikasnost u prenosu signala. Standardizacijom ODU0 i ODUflex kontejnera omogućen je efikasan prenos *Ethernet* i IP/MPLS paketskog saobraćaja, čime OTN postaju optimizovane za paketski prenos isto kao što su i SDH/SONET mreže bile 1990-tih godina optimizovane za TDM prenos E1/T1 saobraćaja.

Maksimalni protoci koji su trenutno podržani u OTN po jednom optičkom kanalu su neznatno veći od 100 Gb/s, što je pogodno za prenos trenutno maksimalnih 100 Gb *Ethernet* tokova. U cilju održavanja još većih protoka, trenutno su u toku aktivnosti na standardizaciji OTU5 jedinica, čiji će kapaciteti zavisiti od maksimalnih binarnih protoka koje budu zahtevali budući korisnički signali. To će najverovatnije biti *Ethernet* tokovi sledećeg višeg hijerarhijskog nivoa, među kojima se kao kandidati trenutno razmatraju 400 GbE, 1 TbE ili potencijalno još veći protoci. Od budućih OTN mreža se očekuje da budu sposobne da omoguće prenos signala ovako velikim protocima na potencijalno velikim udaljenostima, čak i do nekoliko hiljada kilometara. To će zahtevati efikasno prevazilaženje trenutno prisutnih ograničenja u prenosu optičkih signala, kao i značajne tehnološke napretke u opremi. Inovativne tehnike koje se trenutno razvijaju sa ciljem da omoguće realizaciju 100 GbE, kao što su napredne modulacione tehnike (npr. DP (*Dual Polarization*) – QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*)), digitalni koherentni prijemnici i napredne tehnike za korekciju grešaka (FEC, *Forward Error Correction*) nagoveštavaju da će taj cilj biti dostignut. Standardizacione aktivnosti za OTU5 interfejse se trenutno razmatraju na različitim standardizacionim skupovima i akademskim konferencijama, da bi se očuvao korak sa industrijskim inovacijama.

6. Zaključak

U ovom radu su razmotrene optičke transportne tehnologije za distribuciju IPTV video sadržaja u okruženju provajdera servisa. Predstavljene su moderne tehnologije, kao što su *Ethernet* preko SONET/SDH, *Ethernet* preko optičkih vlakana, zajedno sa varijacijom koja uključuje agregaciju linkova, kao i neke tehnologije sledeće generacije. U slučaju difuznog video i unicast saobraćaja, SONET/SDH i *Ethernet* preko optičkih

vlakana pokazuju niz atraktivnih svojstava. Trendovi razvoja u ovoj oblasti potvrđuju uključivanje razmotrenih tehnologija u regionalnu optičku transportnu mrežu. Pri tome je težište na prenosu video signala od centralne lokacije ka pretplatnicima IPTV sadržaja. Sve u svemu, *Ethernet* preko SONET/SDH može da obezbedi u bliskoj budućnosti ravnotežu između ekonomskih faktora i pouzdanosti. To je atraktivno rešenje za prenos video signala, kako u *core*, tako i u pristupnim IPTV distributivnim mrežama. Tokom vremena, kako se unikast video saobraćaj povećava, mreža može da evoluiru u susret potrebama mešovitog saobraćaja.

Iako su optičke mreže zasnovane na SONET/SDH standardu trenutno dominantna tehnologija u mrežama velikog broja telekomunikacionih operatora, one su u osnovi veoma neefikasne i neekonomične da podrže stalno rastući saobraćaj u mreži (prvenstveno kao posledica eksponencijalnog rasta internet saobraćaja), koji je u osnovi *bursty* karaktera, paketski baziran i sa različitim granularnostima zahtevanim od strane pojedinačnih korisnika. Kao jedna od idealnih solucija koja bi mogla efikasno da zameni postojeće SONET/SDH transportne mreže, poslednjih godina od strane ITU-T istraživačke grupe SG15 ubrzano se radi na standardizaciji tehnologije optičkih transportnih mreža (OTN), koje će podržati napredne servise sa izrazito velikim zahtevanim propusnim opsezima, kako sa konstantnim tako i sa varijabilnim protokom. OTN će proširiti prednosti SDH/SONET mreža povećanjem optičkih transmisionih kapaciteta i rastojanja na kojima se može ostvariti prenos optičkih signala (implementacijom WDM multipleksera i optičkih pojačavača). Buduće OTN mreže će u kombinaciji sa WDM tehnologijom omogućiti direktno i fleksibilno mapiranje mnoštva korisničkih signala (baziranih na različitim protokolima (IP, *Ethernet*, SONET/SDH ili OTN) i digitalnim protocima), na pojedine talasne dužine. OTN tehnologija se trenutno pozicionira kao ekonomski efikasna i pouzdana tehnologija sa virtuelno neograničenim transportnim kapacitetima, što će je evidentno učiniti pobjedničkom transportnom tehnologijom u mrežama većine telekomunikacionih operatora, danas i u budućnosti.

Literatura

- [1] D.Gvozdić, "Trendovi razvoja optičkih telekomunikacionih sistema", *Telekomunikacije*, broj 2, januar 2009.
- [2] R.Jain, „I want my IPTV“, *IEEE Multimedia*, Vol.12, No.3, pp 95-96, July-September 2005.
- [3] M.L. El-Sayed, Y. Hu, S. Kulkarni, N. Wilson, "Comparison of transport technologies for IPTV distribution," *Bell Labs Technical Journal*, Vol.11, No.2, pp. 215-240, 2006.
- [4] I.Reljin, A.Samčović, "Razvoj multimedijalnih servisa u širokopojasnom okruženju", *XXVII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju PosTel 2009*, str. 277-286, Beograd, 15-16. decembar 2009.
- [5] P.Ivaniš, D.Drajić, "Simulacioni model optičkog transportnog sistema i njegova primena na dizajn efikasnih zaštitnih kodova", *Infoteh-Jahorina*, Vol.8, Ref.B-I-7, str. 108-112, mart 2009.
- [6] M. Carroll, J. Roese, T. Ohara, "The Operator's View of OTN Evolution", *IEEE Communication Magazine*, Vol. 48., No.10, pp.46-53, Sept. 2010.

- [7] Gumaste, N. Krishnaswamy, "Proliferation of the OTN: A Use Case Based Study", *IEEE Communication Magazine*, Vol. 48., No.10, pp.54-61, Sept. 2010.
- [8] J. Roesse *et al.*, "Optical Transport network Evolving with 100 Gigabit Ethernet", *IEEE Communication Magazine*, pp.S28-S34, March 2010.

Abstract: *Some advanced network technologies for distribution of television and video content over Internet protocol are presented in this paper. The main capabilities which offer Internet Protocol TeleVision (IPTV), as well as the generic IPTV network architecture are described. Modern network technologies such as Ethernet over SONET/SDH, Ethernet over fiber, Ethernet with link agregation and Ethernet over Optical Transport Network are considered particularly.*

Keywords: *IPTV, video, transport network technologies, Ethernet, optical transport networks*

TRANSPORT NETWORK TECHNOLOGIES FOR DISTRIBUTION OF IPTV CONTENT

Andreja Samčović, Goran Marković