



**Ozren
Kopajtić**

Ozren Kopajtić

Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Hrvatska
Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Croatia

Ključne riječi:

Ethernet

Javne pristupne mreže

Širokopojasne pristupne mreže

Javni Ethernet

Virtualna lokalna mreža

Komutirani Ethernet

Key words:

Ethernet

Public Access Networks

Broadband Access Networks

Public Ethernet

Virtual Local Area Network, VLAN

Switched Ethernet

Primjena tehnologije Ethernet u izgradnji javnih pristupnih telekomunikacijskih mreža

Sažetak

Ethernet danas ubrzano postaje glavna transportna tehnologija u modernim telekomunikacijskim mrežama. Nakon što je, u posljednjih 30-ak godina, preuzela potpuni primat u privatnim mrežama, tehnologija Ethernet je preuzeila vodstvo i u izgradnji javnih pristupnih širokopoja-

snih mreža. Ericsson je prepoznao taj industrijski trend te je prilagodio i razvio rješenja za izgradnju javnih Ethernet mreža u sklopu svog *Public Ethernet* koncepta.

Očito je da se primjena tehnologije Ethernet širi i na jezgrene transportne mreže, gdje su godinama dominirale kompleksne i skupe tehnologije poput sinkrone digitalne hijerarhije (SDH - *Synchronous Digital Hierarchy*) i tehnologije valnog multipleksiranja (WDM - *Wave Division Multiplex*). Premda je danas teško zamisliti da će Ethernet zamijeniti postojeće tehnologije u javnim jezgrenim mrežama, istražuje se i razvija tzv. *carrier Ethernet* tehnologija te se modificira standard kako bi uključio neke nove, naprednije mehanizme potrebne u izgradnji javnih jezgrenih mreža.

Ovaj članak opisuje glavne karakteristike tehnologije Ethernet, razmatra problematiku primjene tehnologije Ethernet u izgradnji javnih pristupnih telekomunikacijskih mreža (*Public Ethernet*) te ukratko opisuje mehanizme i ključne tehnološke komponente Ericssonovog rješenja javnih Ethernet mreža.

Applying Ethernet in public access telecom networks

Abstract

Today, Ethernet is rapidly becoming a primary transport technology in modern telecom networks. Over more than 30 past years Ethernet has completely overtaken the private and business networking segment and now strongly proceeds into the public broadband domain taking the lead as the preferred technology for deployment of public broadband access networks. Ericsson timely recognized this trend, adjusting and developing its broadband access solution portfolio named Public Ethernet.

Furthermore, it is now obvious that Ethernet is entering the core network area, traditionally dominated by complex and expensive technologies such as Synchronous Digital Multiplex (SDH) and Wave Division Multiplex (WDM). Although it is hard to imagine a complete replacement of incumbent transmission technologies with Ethernet-based system it is hard not to notice strong industry focus on research and development of carrier-based Ethernet, as well as modification of the existing standard in order to include some advanced capabilities. The goal is to create an effective Ethernet version (variant) able to either replace or complement the existing core transmission technologies.

This article describes major Ethernet characteristics using the "chosen topics" approach, discusses application of Ethernet in deployment of public broadband access networks and briefly looks into the components and mechanisms used in Ericsson Public Ethernet concept.

1. Uvod

Tehnologija Ethernet danas je najzastupljenija i najraširenija mrežna tehnologija za implementaciju lokalnih i korporacijskih mreža, a u proteklih nekoliko godina stekla je primat u implementaciji širokopojasnih javnih mreža, gdje se najčešće pojavljuje u agregacijskoj domeni sustava zasnovanih na pristupnoj tehnologiji (DSL - *Digital Subscriber Line*).

Tipična arhitektura javne širokopojasne mreže uključuje tri osnovne tehnološke cjeline (domene):

1. Pristupna domena. Kod tehnologije xDSL najčešće se koristi postojeća bakrena parica. U novije se vrijeme pojavljuje implementacija tehnologije Ethernet i u pristupnoj domeni, korištenjem bakrenog ili optičkog medija. U skoroj budućnosti očekuje se snažan porast broja korisnika koji se na javnu širokopojasnu mrežu spajaju korištenjem bežičnih mrežnih tehnologija zasnovanih na IEEE 802.x standardima (npr. 802.11, 802.15, 802.16, 802.16e, 802.20).

2. Agregacijska domena implementira se primjennom tehnologije Ethernet, pri čemu se inicijalna klasifikacija prometa provodi u rubnim čvorovima mreže – Ethernet komutatorima (*Ethernet Switches*).

3. Jezgrena domena utemeljena na internetskom protokolu (IP – *Internet Protocol*) ili IP jezgrena domena (IP CN - *IP Core Network*, ili IP CAN - *IP Connectivity Access Network*). Jezgrena domena počinje u točki terminacije mrežne okoline tehnologije Ethernet, najčešće kod prvog IP usmjeritelja (IP edge router). To je ujedno i točka u kojoj se terminira klasifikacija prometa uspostavljena u agregacijskoj domeni i provodi se klasifikacija prometa korištenjem alternativnih mehanizama osiguranja kvalitete usluge, npr. DiffServ, IntServ, MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*) itd.

U početku njene primjene implementacija tehnologije Ethernet zasnivala se na dijeljenom pristupu mediju i metodi detekcije kolizija, koja je omogućavala distribuciju pristupa na veći broj krajnjih korisnika. Povećanje propusnosti tehnologije Ethernet, opći napredak tehnologije i novi zahtjevi korisnika potakli su evoluciju Etherneta prema zvezdastoj topologiji, u kojoj se svakom korisniku dodjeljuje njegov segment, tj. ukida se problematika dijeljenog pristupa mediju i pojma dijeljene pristupne domene. Ključni mrežni element postaje Ethernet komutacijski čvor.

U širokopojasnoj pristupnoj mreži važno mjesto zauzimaju rubni Ethernet komutatori (*edge switch*, *edge node*). U osnovne funkcionalnosti tih čvorova ubrajaju se klasifikacija dolaznog i odlaznog prometa, razdvajanje pristupnih domena/korisnika, osiguranje kvalitete usluge i prioritizacija prometa.

2. Općenito o tehnologiji Ethernet

U upoznavanju s tehnologijom Ethernet korisno je napomenuti osnovne pojedinosti o njenom povijesnom razvoju te opisati glavne karakteristike komutiranog Etherneta: podjelu pristupa mediju, dvosmjerno odašiljanje i označavanje Ethernet okvira (*VLAN tagging*).

2.1. Kratka povijest razvoja tehnologije Ethernet

Tehnološki koncept Etherneta nastao je 1973. godine u laboratorijima korporacije Xerox (Palo Alto, Kalifornija, SAD). Tvorac koncepta bio je dr. Robert Metcalf, a tehnologiju je karakterizirala kumulativna propusnost od 2,94 Mbit/s. Taj originalni koncept često se naziva eksperimentalnim Ethernetom i bio je implementiran u prvoj komercijalnoj, mrežnoj radnoj stanici s grafičkim korisničkim sučeljem Xerox Alto.

Organizirane standardizacijske aktivnosti vezane uz tehnologiju Ethernet počele su tek 1979., kada su Xerox, Intel i DEC (*Digital Equipment Corporation*) postigli dogovor o zajedničkom razvoju, komercijalizaciji i standardizaciji tehnologije Ethernet. Prva revizija standardiziranog Ethernet rješenja objavljena je krajem 1980. godine, a druga 1982. godine. Obje verzije karakterizirala je fizička propusnost od 10 Mbit/s.

Otpriklje istovremeno s naporima konzorcija DEC-Xerox (DIX), organizacija IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) pokrenula je Projekt 802, u sklopu kojeg se tehnologijom Ethernet primarno bavila radna grupa (*Working Group*) 802.3. Prvi standard objavljen je 1983. godine i definirao je IEEE standard za lokalne mreže (LAN - *Local Area Network*), zasnovan na tehnologiji Ethernet. Razvoj tržišta, pojava novih zahtjeva (proširenje kolizijske domene, uvođenje širokog spektra različitih tipova medija i slično) te nagli rast instalirane baze Ethernet opreme utjecali su na proširenje osnovnog standardizacijskog okvira dodatnim specifikacijama i preporukama.

Daljnji važan korak u razvoju tehnologije Ethernet uslijedio je 1992. godine, kada je kompanija *Grand Junction Networks* razvila sustav čija je fizička (teoretska) propusnost iznosila 100 Mbit/s. Standard je ubrzo postao popularan pod imenom *Fast Ethernet* te danas predstavlja primaran tip tehnologije Ethernet u preplatničkoj petlji privatnih lokalnih mreža.

U 1998. godini IEEE je standardizirao novu verziju (tip) tehnologije Ethernet čiji je kumulativni kapacitet iznosio 1 Gbit/s (*Gigabit Ethernet*), a nekoliko godina kasnije uslijedio je i iskorak na širinu prijenosnog pojasa od 10 Gbit/s. Fi-

zički medij na ovim kapacitetima gotovo je isključivo optička parica.

Razvoj tehnologije Ethernet nastavlja se ubrzanim tempom, širenjem tehnološkog principa na bežične mreže, uvođenjem naprednih algoritama za kontrolu prometa, usmjeravanje i kvalitetu usluge te povećanjem kumulativnog kapaciteta na 20, 30 pa i iznad 100 Gbit/s. Veliki poticaj razvoju tehnologije Ethernet daje uvođenje Etherneta kao glavnog prijenosnog (enkapsulacijskog) mehanizma u javne i gradske širokopojasne mreže te širenje Ethernet komutacijskih mreža prema agregacijskoj domeni širokopojasnih pristupnih mreža.

2.2. Odnos IEEE 802.3 i referentnog modela OSI

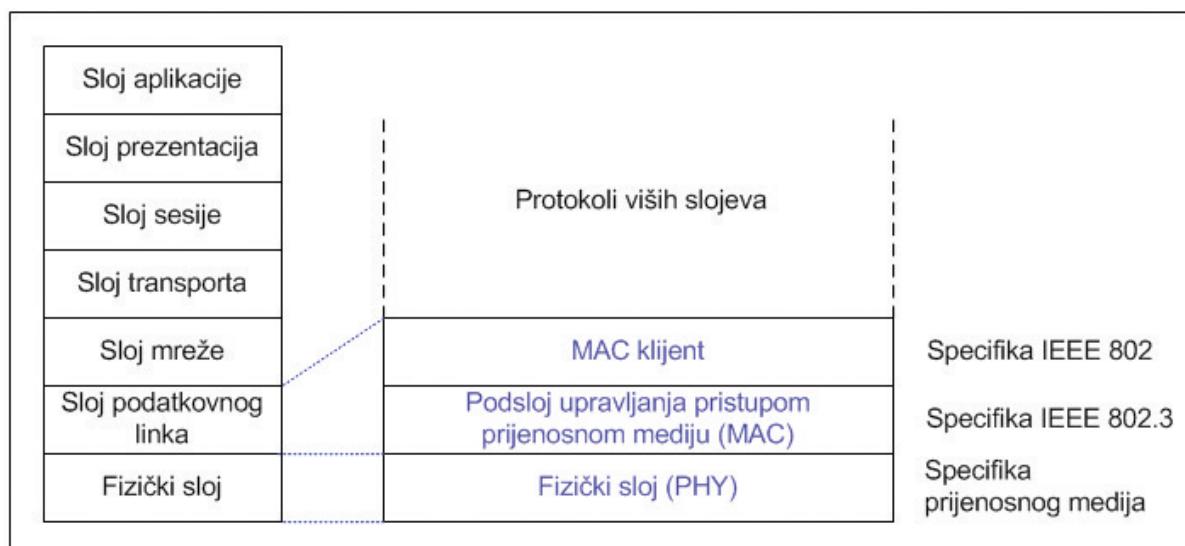
Slika 1. prikazuje logičke slojeve IEEE 802.3 modela i njihov položaj prema OSI (Open Systems Interconnection) modelu. Kao i kod svih IEEE 802 protokola, OSI sloj podatkovne veze (*data link layer*) podijeljen je na dva IEEE 802

ski entitet spojni mrežni element (npr. komutacijski čvor ili usmjeritelj; DCE - *Data Communication Equipment*). Entitet komunikacijskog mosta definira komunikacijsku funkcionalnost (kod tehnologije Ethernet radi se o komutiranju Ethernet okvira) između jednakih ili različitih mrežnih tehnologija (npr. *Ethernet-Ethernet*, *Ethernet-Token Ring* itd.). Entitet je definiran standardom IEEE 802.1.

U modernim širokopojasnim mrežama, entiteti komunikacijskih mostova ne postoje kao samostalne mrežne jedinice, nego su integrirani u logičku cjelinu komutacijskog čvora.

S obzirom na to da su specifikacije podsloja LLC i entiteta komunikacijskog mosta zajedničke za sve IEEE 802 protokole i implementacije, kompatibilnost među različitim varijantama i fizičkim medijima ostvaruje se unutar podsloja MAC klijenta.

On nadzire pristup pojedinom tipu medija i specifičan je za svaku varijantu IEEE 802.3. Svi standardizirani podslojevi MAC klijenta moraju zadovoljavati osnovni skup logičkih funkcionalnosti te specifična proširenja karakteristična za



Slika 1. Položaj tehnologije Ethernet (standardizirane u sklopu IEEE 802 projekta) u odnosu na referentni OSI model

podsloja - podsloj upravljanja pristupom prijenosnom mediju (MAC - *Medium Access Control*), i tzv. MAC klijent.

Podsloj MAC klijenta može biti:

- Podsloj upravljanja pristupom logičkoj vezi (LLC - *Logical Link Control*), ako je komunikacijski entitet krajnja stanica (DTE - *Data Terminal Equipment*). LLC podsloj definira sučelje između podsloja MAC i viših slojeva protokolnog složaja krajnje stanice. Podsloj LLC definiran je standardima IEEE 802.2.
- Entitet komunikacijskog mosta, ako je komunikacijski entitet spojni mrežni element (npr. komutacijski čvor ili usmjeritelj; DCE - *Data Communication Equipment*). Entitet komunikacijskog mosta definira komunikacijsku funkcionalnost (kod tehnologije Ethernet radi se o komutiranju Ethernet okvira) između jednakih ili različitih mrežnih tehnologija (npr. *Ethernet-Ethernet*, *Ethernet-Token Ring* itd.). Entitet je definiran standardom IEEE 802.1.

pojedini medij, kapacitet, fizičke karakteristike, itd.

Fizički sloj IEEE 802.3 specifičan je za svaki tip medija, definirani transmisijski kapacitet i kodiranje signala. Kao primjer možemo uzeti Gigabit Ethernet, koji podržava bakreni i optički medij, ali svaka implementacijska varijanta definira zasebnu metodu kodiranja signala, tip medija, itd.

Standard IEEE 802.3 specificira, dakle, i Ethernet podsloj za upravljanje pristupom prijenosnom mediju te detalje vezane uz fizički sloj, tj. tip i karakteristike medija, karakteristike konektora i slično.

Podsloj za upravljanje pristupom prijenosnom mediju ujedno detektira i zauzetost komunikacijskog medija. Uvođenjem principa komutiranog rješenja, u kojem se pojedine kolizijske domene razdvajaju implementacijom Ethernet komutatora, a komunikacijski linkovi postaju dvosmjerne

veze od točke do točke (*full duplex Point to Point* ili PtPi - *Peer to Peer*), omogućena je izgradnja velikih i kompleksnih sustava, sposobnih posluživati velike količine prometa te je uklonjena potreba za funkcijom detektiranja kolizije.

Dva glavna zadatka podloša za upravljanje pristupom prijenosnom mediju su:

- enkapsulacija LLC podataka, priprema okvira za slanje, parsiranje i detekcija pogrešaka kod primljenih okvira;
- nadzor pristupa mediju, uključujućiiniciranje transmisije okvira i proceduru vraćanja linka u operativno stanje nakon pada (*failure recovery procedures*).

2.3. Format Ethernet okvira prema IEEE 802.3 specifikaciji

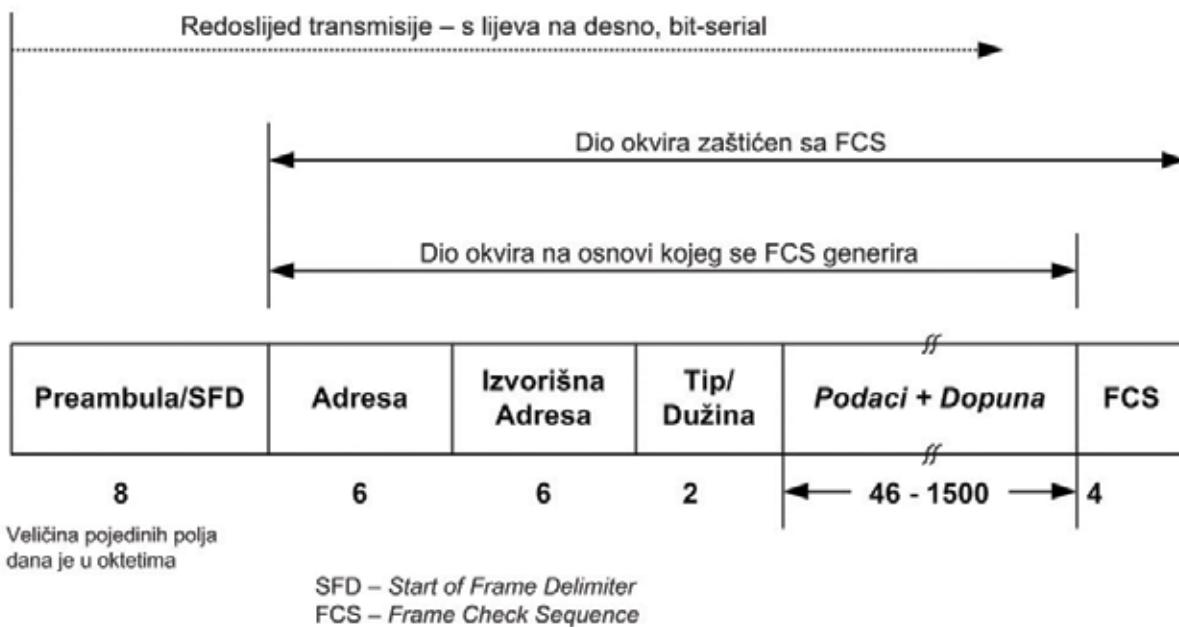
Postoje dva oblika formata Ethernet okvira:

- Enkapsulacija po tipu okvira (*Type Encapsulation*) - uobičajeniji oblik enkapsulacije, predstavlja originalni format definiran u DIX verziji tehnologije Ethernet. U praksi se često označava kao Ethernet 2 (npr. u protokolnim analizatorima poput Ethereal-a).
- Enkapsulacija po dužini okvira (*Length Encapsulation*) - originalni IEEE 802.3 format, koji nikad nije dostigao popularnost enkapsulacije po tipu okvira.

IEEE 802.3 specifikacije podržavaju obje enkapsulacije od 1997. godine. Važno je napomenuti da praktične implementacije širokopojasnih mreža zasnovanih na tehnologiji Ethernet primarno koriste enkapsulaciju po tipu okvira, koja je detaljno opisana u nastavku ovog poglavlja. *Slika 2.* ilustrira obe osnovna standardizirana formata Ethernet okvira.

Pored osnovnog formata Ethernet okvira, standardizirana su i proširenja tog formata, npr. za potrebe primjene CSMA/CD principa u Gigabit Ethernet rješenju, ili za uvođenje VLAN označavanja okvira. Osnovna polja karakteristika su svih oblika Ethernet okvira i imaju sljedeće značenje:

- **Preamble/SFD:** Svi Ethernet okviri počinju s 8 okteta koji sadrže preambulu i oznaku početka okvira (SFD - *Start of Frame Delimiter*). Preamble se koristi prilikom sinkronizacije prijamnika na dolazni okvir i sastoji se od sedam okteta čija je predefinirana vrijednost oxAA (Bx10101010). SFD također ima fiksnu vrijednost (oxD5, Bx11010101). Time se postiže efekt kojim 7 uzastopnih okteta tipa 10101010... sinkronizira prijamnik na dolazni slijed bitova, dok završni oktet označava kraj preambule i početak okteta (dvije uzastopne binarne jedinice na početku okteta).
- **Odredišna adresa:** Polje sadrži 48-bitnu adresu odredišta okvira. Sama adresa može biti individualnog (prvi bit ima vrijednost 0) ili grupnog tipa (prvi bit s lijeva ima vrijednost 1).
- **Izvođišna adresa:** Polje sadrži 48-bitnu adresu izvođišnog entiteta. Prvi bit izvođišne adrese je uvijek 0, tj. adresa je uvijek individualnog tipa (*unicast*).
- **Tip/Dužina:** Detaljna rasprava problematike ovog polja ne spada u opseg ovog rada pa je stoga dan samo osnovni opis funkcionalnosti i namjene polja. Polje se sastoji od 32 bita i može imati dva značenja, ovisno o primjenjenom tipu enkapsulacije:
 - Enkapsulacija po tipu okvira - definira protokol koji



Slika 2. Osnovni oblici enkapsulacije i formata Ethernet okvira

se koristi "iznad" Ethernet razine, tj. klijent protokol (npr. TCP/IP) koristeći identifikator protokola (vrijednost polja između 1536 i 65535).

→ Enkapsulacija po dužini okvira - označava veličinu polja "Podaci + dopuna". S obzirom na to da je u tehnologiji Ethernet maksimalna veličina datagrama 1500 okteta, vrijednost polja može biti između 1 i 1500.

- Podaci + dopuna: Serija od N okteta čija vrijednost nije predefinirana (vrijednost upisuje komunikacijski protokol više razine). Ukoliko je broj podatkovnih okteta manji od 46, polju se dodaje dopuna (*padding*) kojim se duljina polja povećava na 46 okteta.
- FCS (*Frame Check Sequence*) - Polje duljine 4 okteta, koje sadrži zaštitnu sekvencu (CRC - *Cyclic Redundancy Check*): polje generira MAC entitet na izvođačkoj strani upotrebom standardiziranog polinoma ($G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$).

2.4. Dvosmjerno odašiljanje okvira

Općenito gledano, tehnologija Ethernet nije izvorno zamisljena kao dvosmjerni (*full-duplex*) komunikacijski model. Dvosmjerna komunikacija omogućena je uvođenjem komu-

marno zbog nedostatka kompleksnog mehanizma za nadzor i upravljanje pristupom mediju (CSMA/CD).

U regularnim operativnim uvjetima (tj. kada na komunikacijskom linku ili u mreži nema zagušenja) Ethernet okviri šalju se u trenutku kada je okvir spremjan na odašiljanje na fizički medij, a nakon isteka međuokvirnog kašnjenja (IFG - *Inter-Frame Gap*). Minimalna zahtijevana vrijednost međuokvirnog kašnjenja definirana je za svaku pojedinu širinu prijenosnog pojasa, kao što je to prikazano na *Slici 3*.

Dvosmjerni komunikacijski model proširio se uvođenjem tehnologije Ethernet koja podržava brzine do 10/100 Mbit/s (FE - *Fast Ethernet*), a kasnije, uvođenjem brzina od 1 Gbit/s postao je *de facto* standard u modernim mrežama zasnovanim na tehnologiji Ethernet. Moderne komunikacijske mreže zasnovane na tehnologiji Ethernet isključivo koriste dvosmjerno odašiljanje okvira.

2.5. Kontrola toka na dvosmjernim komunikacijskim linkovima

Za razliku od tradicionalne metode dijeljenog pristupa mediju, gdje je CSMA/CD algoritam kontrolirao pristup prijenosnom pojusu, a time i problematiku kontrole toka (*flow control*), dvosmjerni komunikacijski linkovi zahtijevaju



Slika 3. Skica dvosmjernog (full-duplex) komunikacijskog linka u tehnologiji Ethernet

tacijskih čvorova te se još uvijek u standardizacijskim dokumentima predstavlja kao opcionalna funkcionalnost.

Dvosmjerna komunikacija je, dakle, opcionalna funkcionalnost podsloja za upravljanje pristupom prijenosnom mediju koja omogućava istovremeno odašiljanje i primanje Ethernet okvira na direktnom (PtP - *point-to-point*) komunikacijskom linku. Kada se analizira sama funkcionalnost dvosmjerne komunikacije ona je puno jednostavnija od tradicionalne, jednosmjerne (*half-duplex*) komunikacije, pri-

uvođenje alternativnog mehanizma kontrole toka, čiji je zadatak spriječiti zagušenje direktne komunikacijske veze. Pri tome je važno napomenuti da se pitanje razloga pojave zagušenja ne uzima kao ulazni element u radu mehanizma kontrole toka.

Mehanizam kontrole toka kod dvosmjerne komunikacije je vrlo rudimentaran i zasnovan je na tzv. *Pause* okvirima koje odredište (primatelj) šalje prema izvođaču (pošiljatelju). Nakon primanja okvira *Pause*, izvođač prekida slanje

okvira u skladu s vremenskim intervalom koji je definiralo odredište. *Slika 4.* prikazuje mehanizam kontrole toka speciran standardom IEEE 802.3.

Ukoliko se zagušenje na odredištu riješi prije isteka intervala definiranog u *Pause* okviru, odredište šalje tzv. *Zero Pause* okvir kojim se izvorištu javlja da nastavi slati okvire. Ukoliko se niti nakon isteka definiranog intervala čekanja (*time to wait interval*) nije razriješilo zagušenje, odredište šalje novi *Pause* okvir s novom vrijednošću vremena čekanja.

Može se primijetiti da mehanizam kontrole toka tehnologije Ethernet ne uzima u obzir problematiku kašnjenja s kraja na kraj, unošenja varijacije u vrijeme međudolazaka okvira (*jitter*) ili eventualne retransmisije uslijed odbacivanja paketa. Implementacija tehnologije Ethernet pretpostavlja da se tim pojavama bave napredni mehanizmi kontrole toka, implementirani u protokolima viših razina (npr. TCP, SCTP, RTP, aplikacijski protokoli itd), krajnji čvorovi, proxy uređaji i rubni usmjeritelji u IP mrežama (*Edge Routers*).

2.6. Označavanje virtualnih lokalnih mreža

Mogućnost označavanja virtualnih lokalnih mreža (VLAN tagging, Virtual Local Area Network tagging) uvedena je standardom IEEE 802.Q. Integralni dio standarda je i njegova opcija IEEE 802.p koja unutar novog polja Ethernet okvira definira i dodatne bitove za signaliziranje razine prioriteta dotičnog okvira (*priority bits*). VLAN tagging:

- Omogućava uvođenje prioriteta posluživanja i komutacije Ethernet okvira čime se praktički uvodi mehanizam za kontrolu kvalitete usluge u tehnologiju Ethernet.
- Omogućava logičku separaciju fizičke lokalne mreže na nekoliko podmreža čime se uvođe dodatni elementi mrežne

sigurnosti, olakšava fizičko planiranje mreža, razdvajanje prometa pojedinih grupa korisnika (ili grupa usluga u javnoj pristupnoj mreži).

- Pojednostavljuje upravljanje mrežom sa stanovišta rekonfiguriranja arhitekture, premještanja korisnika, planiranja razvoja mreže i uvođenja novih usluga.

Ethernet okvir s označavanjem virtualnih lokalnih mreža zadržava oblik standardnog MAC okvira, kojem je između izvorišne adrese i polja tipa/dužine ubačeno zaglavje virtualne lokalne mreže, tj. VLAN zaglavje (polje) od 4 okteta (*Slika 5.*).

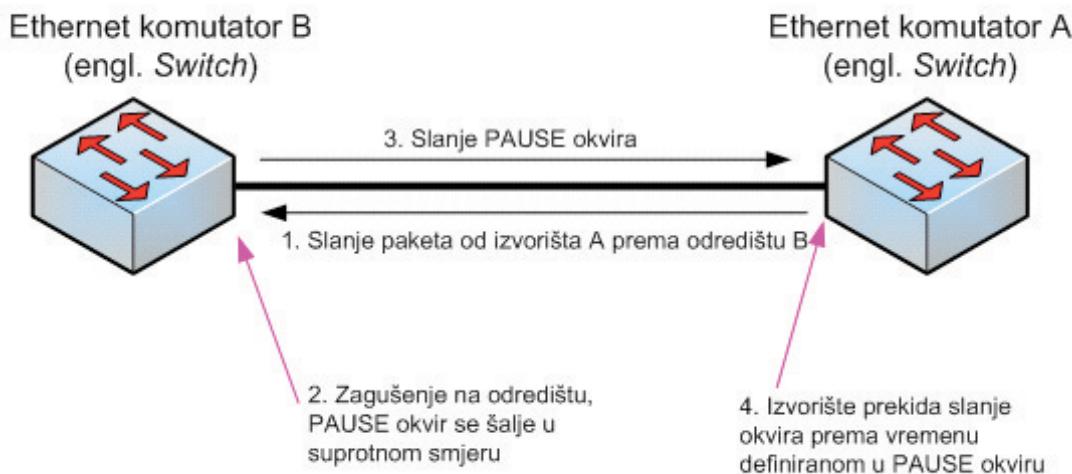
Zaglavje tipa VLAN sadrži dva informacijska elementa:

- Identifikator VLAN zaglavja (engl. VLAN type ID) - predefinirana vrijednost heksadecimalne oznake 0x8100), služi za indikaciju postojanja i početka VLAN zaglavja.
- Kontrolna informacija - sadrži informaciju o prioritetu okvira (3 bita) i identifikaciju virtualne lokalne mreže kojoj okvir pripada (VLAN ID, 11 bita).

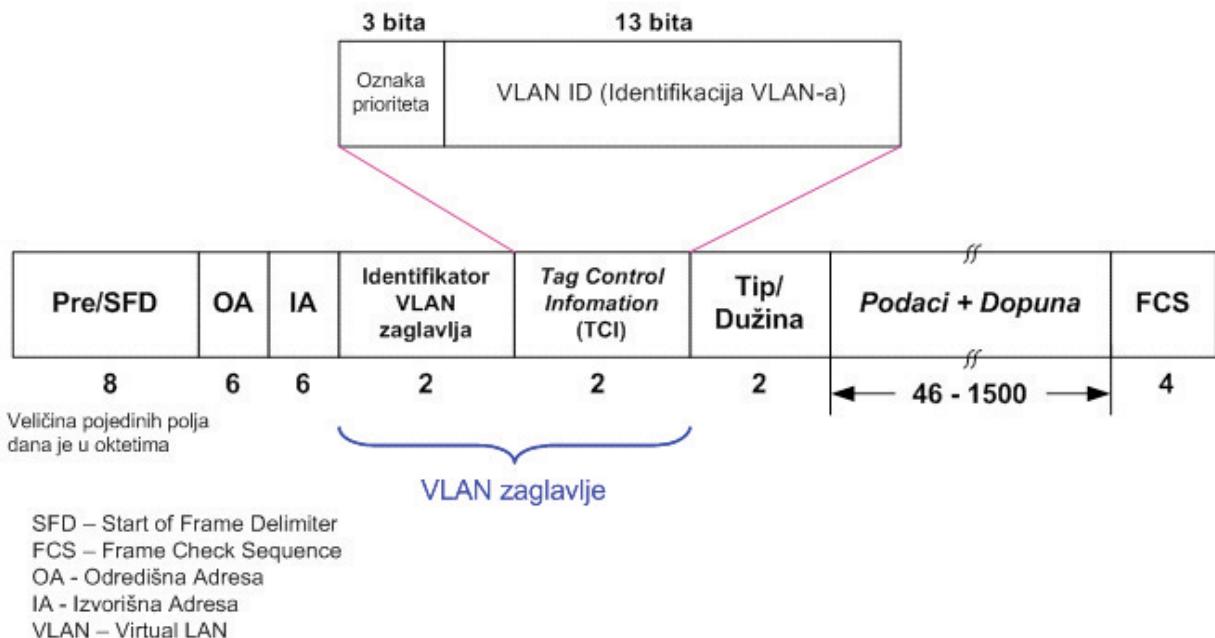
Odredišna strana komunikacijskog Ethernet kanala (primatelj) analizira vrijednost polja tipa/dužine i, nakon identifikacije okvira kao VLAN okvira, izvodi jednu od sljedeće dvije operacije:

- Ukoliko je odredište (tj. MAC entitet na odredišnoj strani) sučelje na Ethernet komutacijskom čvoru, okvir se komutira u skladu s definiranim prioritetom na sva sučelja koja pripadaju definiranoj virtualnoj lokalnoj mreži.
- Ukoliko je odredište sučelje na krajnjoj komunikacijskoj točki, MAC entitet uklanja VLAN zaglavje i nastavlja obradu kao da se radi o običnom okviru.

3. Primjena tehnologije



Slika 4. Pojednostavljeni prikaz principa rada mehanizma za kontrolu toka u IEEE 802.3



Slika 5. Format Ethernet okvira s VLAN zaglavljem (VLAN-tagged frame)

Ethernet u javnim pristupnim i agregacijskim mrežama

Temeljne karakteristike tehnologije Ethernet - jednostavnost implementacije i cijena realizacije - učinile su je popularnom u evoluciji postojećih i izgradnji novih širokopojasnih mreža. U posljednjih 30-ak godina tehnologija Ethernet gotovo je potpuno istisnula ostale tehnologije iz područja lokalnih i pristupnih širokopojasnih mreža, a u posljednjih nekoliko godina to se događa i u području javnih komunikacijskih mreža.

Prilikom realizacije javne jezgrene i pristupne komunikacijske mreže potrebno je voditi računa o nekoliko tehnoloških zahtjeva koji su potpuno različiti od potreba lokalnih i velikih poslovnih mreža:

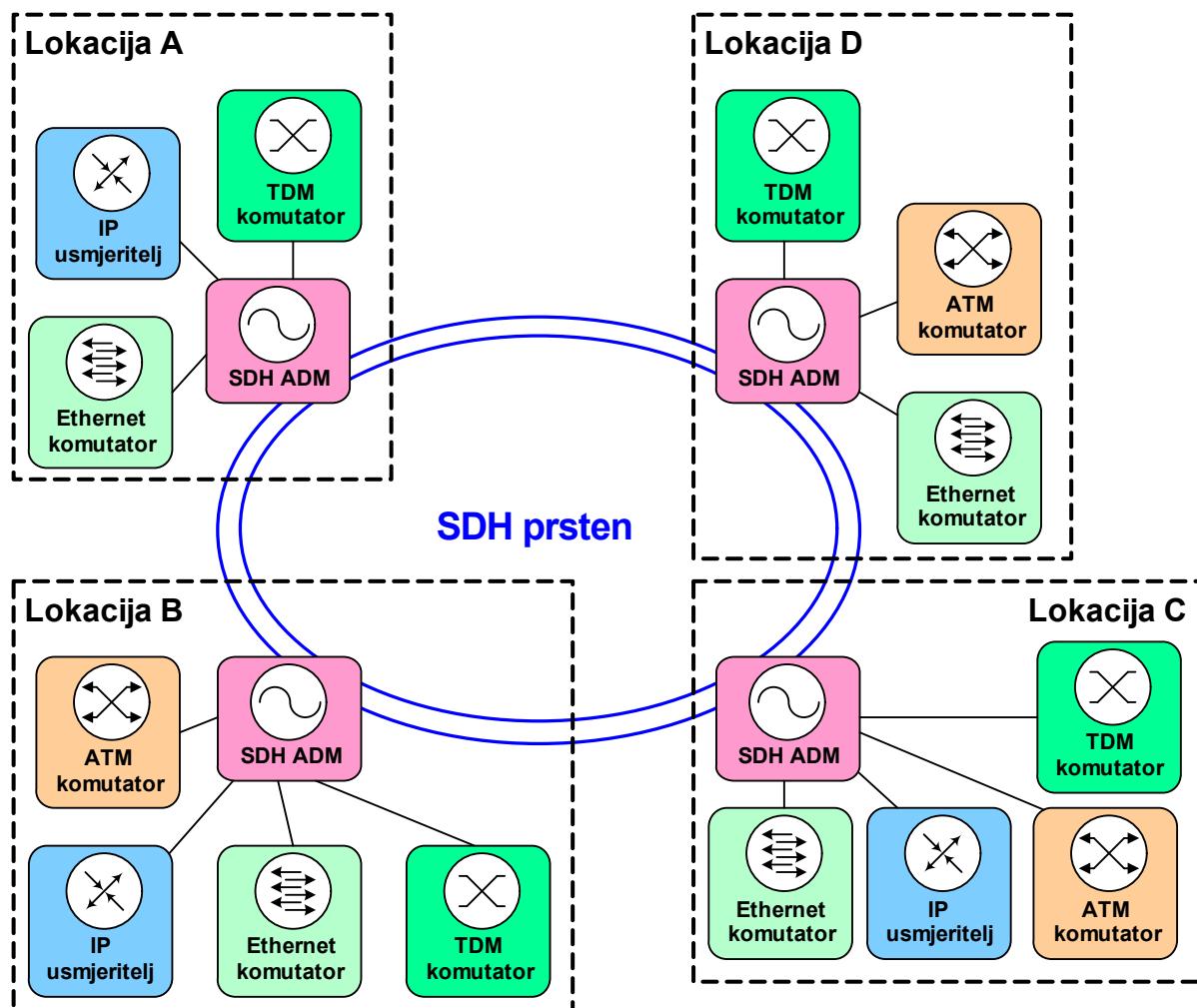
- Geografsko pokrivanje - javne komunikacijske mreže moraju osigurati točku pristupa ili spajanja (PoP - Point of Presence; PoC - Point of Connection) na velikom broju lokacija i na širem geografskom području.
- Skalabilnost - broj krajnjih korisnika, a time i čvorova u mreži obično je iznimno velik, što svakako utječe na arhitekturu i organizaciju mreža.
- Kapacitet - razvojem Interneta i uvođenjem tzv. soft-switch rješenja (tj. komutacije govora preko IP nositelja) u mobilne i fiksne mreže te općom konvergencijom svih tipova prometa i mreža u tzv. All-IP konceptu, postavljaju se iznimni zahtjevi na kapacitete komutacijskih čvorova i širini prijenosnog pojasa javnih mreža nove generacije.
- Kvaliteta usluge i klasifikacija prometa - konvergenci-

jom komunikacijskih mreža dolazi i do konvergencije različitih usluga na jednu prijenosnu tehnologiju, čime se javlja potreba za efikasnom primjenom mehanizama prioritizacije i separacije raznih vrsta prometa.

Danas je problematika širine prijenosnog pojasa i geografskog pokrivanja u tehnologiji Ethernet riješena uvođenjem prijenosnog kapaciteta od 10 Gbit/s, odnosno razvojem tzv. *long-haul* optičkih rješenja koji omogućavaju povezivanje komutacijskih čvorova direktnim vezama na udaljenosti iznad 100 km. Skalabilnost se rješava uvođenjem hijerarhijske organizacije javne Ethernet mreže i adekvatnim planiranjem, dok je pitanje podrške tehnologije IP neupitno. Pitanje osiguranja kvalitete usluge ostaje još uvijek nedorečeno, kao i povezivanje Ethernet mehanizama za osiguranje kvalitete usluge (i prioritizacije prometnih tokova) s mehanizmima raspoloživim u tehnologiji IP (npr. DiffServ).

3.1. Tradicionalne tehnologije i arhitekture javnih komunikacijskih mreža

Kada se govorи о tradicionalnim arhitekturama i tehnologijama modernih javnih komunikacijskih mreža, ključnom tehnologijom smatra se tehnologija sinkrone digitalne hijerarhije (SDH - Synchronous Digital Hierarchy), širokopojasnog prijenosnog sustava zasnovanog na principu komutacije kanala (TDM - Time Division Multiplex). Tehnologija SDH u javnim mrežama koristi optičku infrastrukturu i posjeduje veoma korisne karakteristike redundancije i pouzdanosti. Glavni problem tehnologije SDH je taj što zahtije-

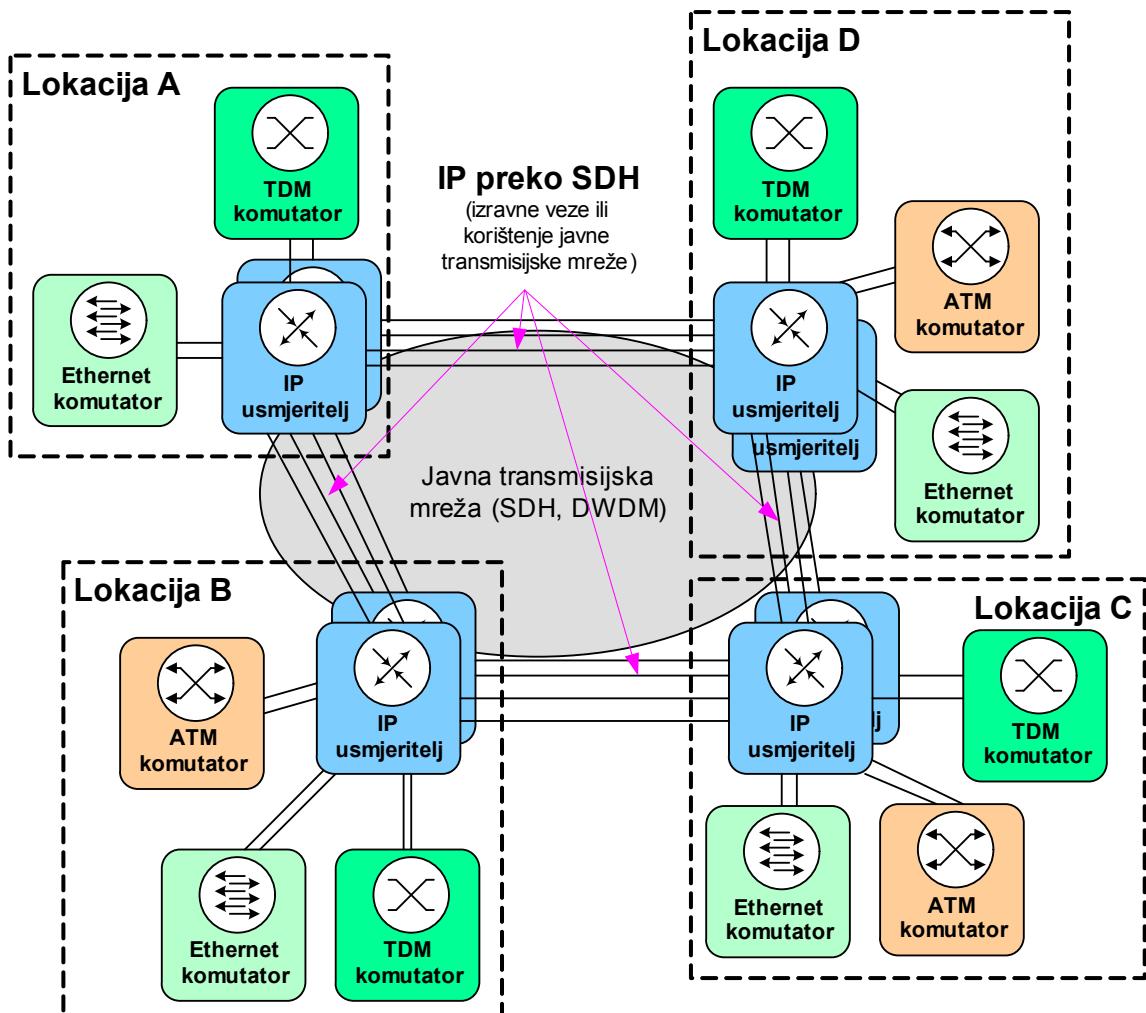


Slika 6. Pojednostavljeni primjer prstenaste arhitekture SDH mreže s ilustracijom povezivanja različitih tehnologija i komunikacijskih protokola

problem tehnologije SDH je taj što zahtijeva kvalitetnu sinkronizaciju čvorova (ADM - *Add and Drop Multiplexer*), a sama implementacija mrežnih elemenata i komponenti je neusporedivo skuplja nego kod tehnologije Ethernet. Primarna namjena tehnologije SDH je izgradnja kvalitetne transmisione mreže za prijenos svih oblika prometa. Implementacija tehnologije sa svim njenim naprednim funkcionalnostima predstavlja osnovu današnje prijenosne (zemaljske) telekomunikacijske infrastrukture.

Specifičnost SDH mreža je njihova neovisnost o višim slojevima komunikacijskih protokola s obzirom da je SDH tehnologija prvog i drugog OSI sloja. Različiti tipovi i vrste čvorova, mreža i protokola koriste SDH kao transparentnu i krajnje pouzdanu komunikacijsku infrastrukturu (*Slika 6.*), uključujući tu i prijenos Ethernet paketa korištenjem SDH infrastrukture.

Velika cijena izgradnje javne komunikacijske mreže zasnovane na prijenosnoj tehnologiji SDH, visoki troškovi održavanja i kompleksnost same tehnologije, usmjerili su evoluciju javnih komunikacijskih mreža, pojednostavljajući samu mrežnu arhitekturu i uklanjajući prestenastu organizaciju SDH mreže. Ključni gradivni element javnih komunikacijskih mreža postaje usmjeritelj temeljen na internetskom protokolu (IP usmjeritelj), pri čemu se povezivanje čvorova često izvodi preko direktnih optičkih veza, korištenjem tzv. *dark fiber* infrastrukture. SDH je pri tome zadržan kao fizički sloj samog transmisionskog sučelja, ali je funkcionalnost tehnologije svedena na problematiku enkapsulacije viših protokola, iskorištenje fizičkih karakteristika (pristup mediju i specifika korištenog medija) te prijenos sinkronizacijske između dva čvora IP mreže. *Slika 7.* ilustrira arhitekturu evoluirane javne mreže



Slika 7. Pojednostavljeni primjer moguće arhitekture javne komunikacijske mreže izgrađene na tehnologiji utemeljenoj na internetskom protokolu

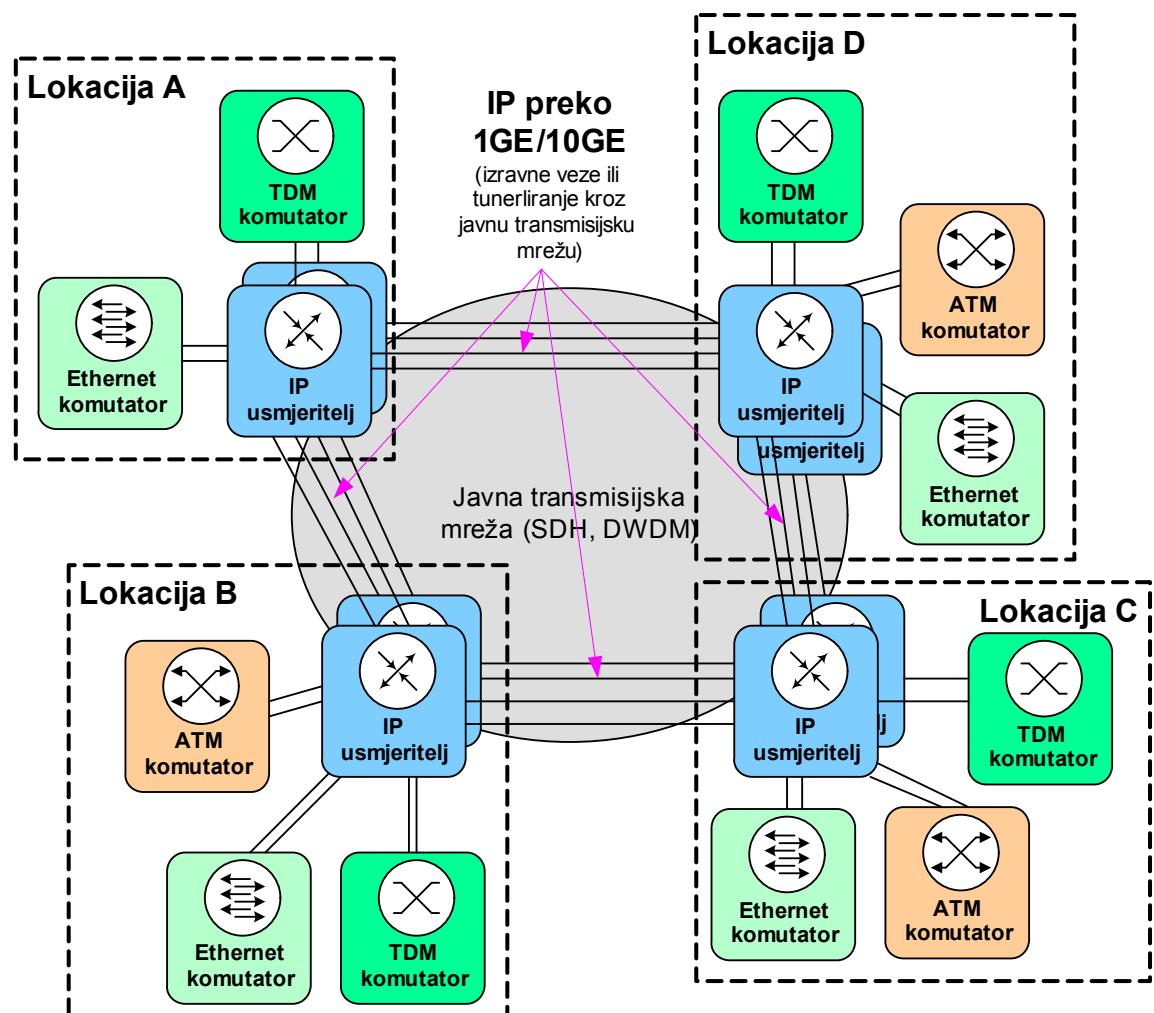
zasnovane na tehnologiji IP, primjenjenu na sustav koji prikazuje *Slika 6*.

Primjenom gore opisanih principa u velikoj se mjeri rješavaju problemi migracije jezgrenih javnih mreža na IP tehnologiju, kao i primjene svih naprednih mehanizama koje IP donosi (npr. MPLS, napredni QoS mehanizmi itd.). Glavni nedostatak rješenja je korištenje SDH tehnologije kao transportnog mehanizma povezivanja IP čvorova. Kao što je ranije napomenuto, SDH je skupa tehnologija, čije korištenje u formi tehnologije direktnih veza (*point-to-point*) definitivno nije prikladno. Kao smisleno i logično rješenje nameće se uvođenje tehnologije u formi direktnih veza iznimno velike širine prijenosnog pojasa (1 i 10 Gbit/s Ethernet).

Sama arhitektura IP mreže ostaje identična (*Slika 8*) samo se za realizaciju fizičkih veza koriste neusporedivo jefitnija

Ethernet sučelja. Ovakav princip realizacije jezgrenih komunikacijskih mreža olakšava planiranje i integraciju agregacijskih i pristupnih mreža koje se danas, gotovo bez iznimke, realiziraju korištenjem tehnologije Ethernet (*All-Ethernet*).

Važno je napomenuti da mogućnost izgradnje jezgrenih IP mreža samo korištenjem direktnih komunikacijskih veza nikako ne podrazumijeva izumiranje specijaliziranih transmisijskih mreža zasnovanih na evoluciji tehnologije valnog multipleksiranja (WDM - *Wave Division Multiplex*). Velike javne jezgrevne mreže i dalje zahtijevaju izgradnju posebne transmisijske infrastrukture velikog kapaciteta.



Slika 8. Pojednostavljeni primjer moguće arhitekture javne komunikacijske mreže izgrađene na tehnologiji temeljenoj na Internetskom protokolu, korištenjem tehnologije Ethernet za realizaciju direktnih veza

3.2. Arhitektura i organizacija agregacijskih i pristupnih mreža nove generacije

Jednostavnost i troškovna učinkovitost primjene tehnologije Ethernet učinili su je ključnom tehnologijom u izgradnji javnih pristupnih i agregacijskih širokopojasnih komunikacijskih mreža. Primjena tehnologije Ethernet u javnim komunikacijskim mrežama može se razdijeliti u nekoliko faza:

Faza 1 (kraj 90-ih godina prošloga stoljeća): Uvođenje Etherneta kao agregacijske tehnologije u javnim širokopojasnim xDSL mrežama.

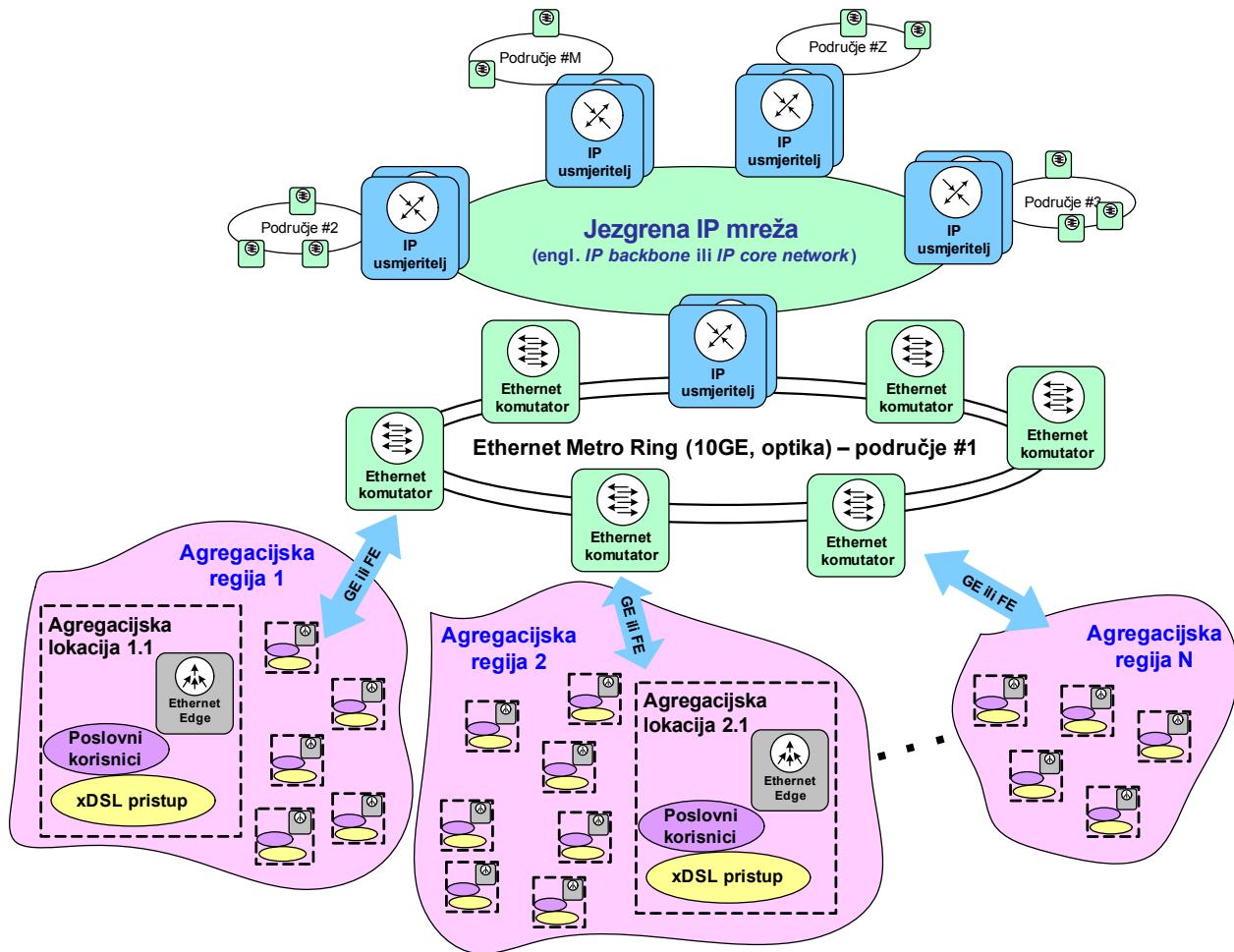
Faza 2 (2000. - danas): Uvođenje Etherneta kao agrega-

cijске tehnologije širokog spektra za različite tipove pristupa (xDSL, iznajmljene linije, native Ethernet pristup, WLAN/WiMAX itd.) - izgradnja tzv. Metro Ethernet mreže i uvođenje Ethernet prstenova radi povećane pouzdanosti.

Faza 3 (2005. - danas): Uvođenje Etherneta kao tehnologije prvog izbora u izgradnji pristupne domene (*last mile*) javne komunikacijske mreže.

Većina pružatelja širokopojasnih usluga danas koristi rješenje druge faze, s tendencijom migracije prema rješenju treće faze. Slika 9. ilustrira tipičnu organizaciju javne pristupne mreže izgradene u skladu s postavkama druge i treće faze primjene tehnologije Ethernet.

Ključna razlika između mreža druge i treće faze je u promjeni komunikacijske paradigme s kraja na kraj (*end to end*, e2e), koja sada podrazumijeva neprekinut slijed Ethernet paketa. Slika 10. ilustrira Ethernet e2e koncept koji će



Slika 9. Konceptualna arhitektura javne širokopojasne pristupne mreže nove generacije

biti ključna karakteristika širokopojasnih komunikacijskih mreža u budućnosti.

Osnovna karakteristika e2e koncepta je korištenje Ethernet enkapsulacije na cijelom komunikacijskom putu između klijenta i poslužitelja (u klijent-poslužitelj komunikacijskom modelu), tj. između dva komunicirajuća entiteta. Teoretski, ovakvo rješenje omogućava izgradnju javne komunikacijske mreže isključivim korištenjem tehnologije Ethernet, s obzirom da tehnologija omogućava velik adresni prostor, diferencijaciju i klasifikaciju prometa te potpuno asinkronu organizaciju mreže.

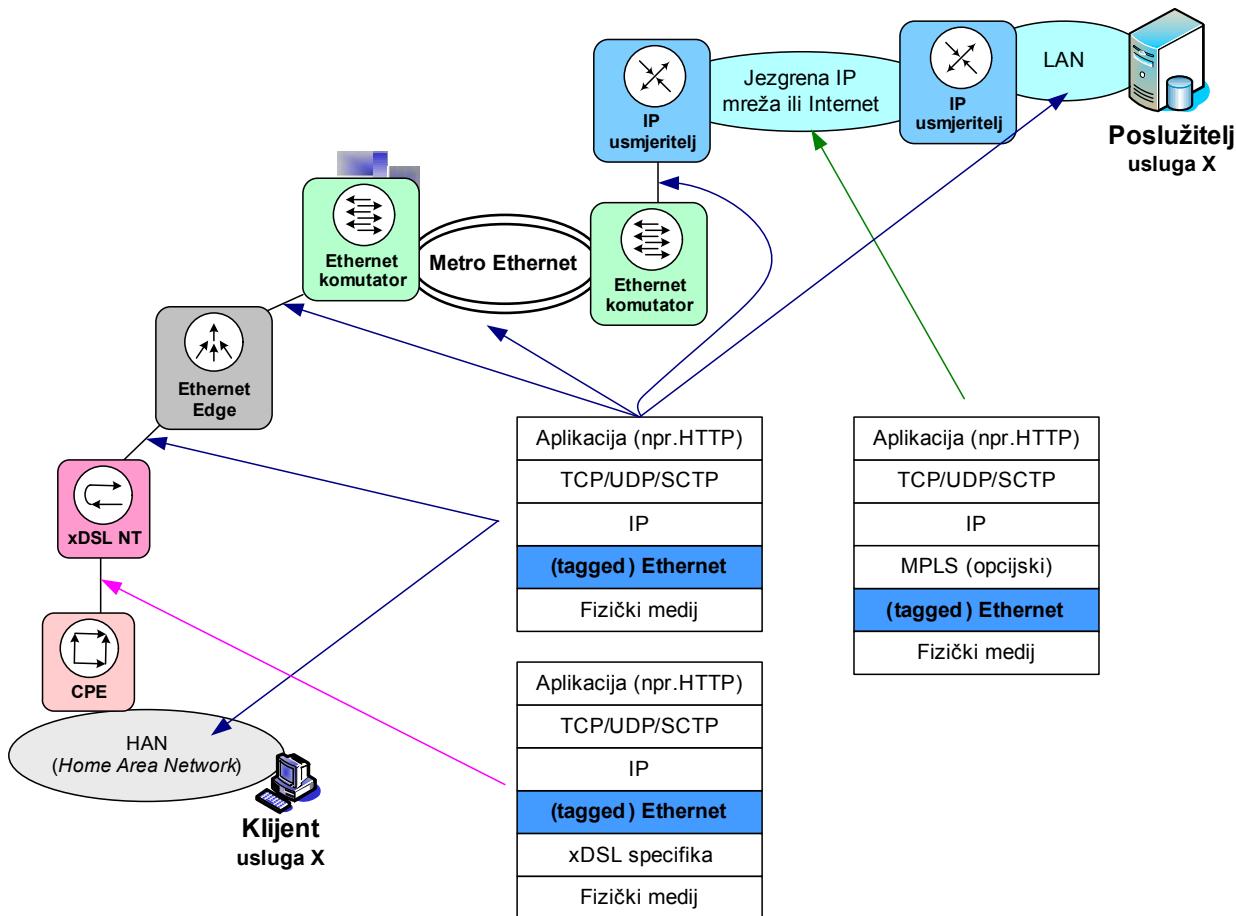
Opisano rješenje zasad ostaje u domeni teorije s obzirom da:

- Adresni prostor definiran tehnologijom Ethernet ne

posjeduje adresnu hijerarhiju čime se ograničava skalabilnost mreže.

- Organizacija Ethernet MAC adrese otežava dizajn optimalnog algoritma usmjeravanja.
- Nepostojanje tzv. algoritama usmjeravanja (*routing algorithms*), poput OSPF, RIP i BGP, otežava definiranje i izgradnju administrativno odvojenih Ethernet domena, što je od ključne važnosti u izgradnji, upravljanju i eksploraciji javnih komunikacijskih mreža.
- Iako Ethernet posjeduje mehanizme diferencijacije i klasifikacije prometa upitna je održivost (i smislenost) tih mehanizama iz perspektive komunikacijskih rješenja s kraja na kraj.

Kada se govori o primjeni Etherneta u javnim mrežama govori se primarno o dvije domene, tj. principa primjene:



Slika 10. Komunikacijska e2e paradigma primjenom tehnologije Ethernet u javnim širokopojasnim mrežama

- Primjena tehnologije Ethernet kao enkapsulacijskog mehanizma na direktnim komunikacijskim vezama između pojedinih čvorova mreže (npr. IP usmjeritelja) pri čemu se usmjeravanje, kvaliteta usluge (QoS – Quality of Service) i ostale napredne funkcionalnosti realiziraju na IP sloju.
- Primjena Ethernet tehnologije u izgradnji javnih pristupnih i agregacijskih širokopojasnih mreža gdje se Ethernet mehanizmi separacije, diferencijacije i klasifikacije prometa koriste u cijeloj pristupnoj domeni, dok se komunikacija na IP sloju (uključujući i mehanizme osiguravanja kvalitete usluge na IP sloju) realiziraju na rubnom IP čvoru (IP Edge Router).

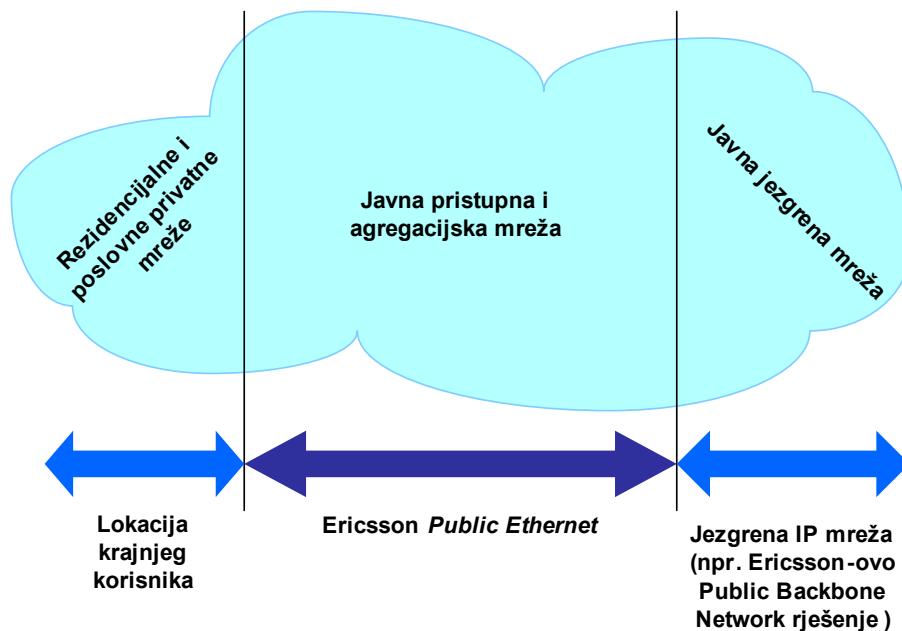
4. Ericssonov koncept javnog Etherneta

Ericssonovo rješenje za izgradnju javnih Ethernet mreža, tj. javnoga Ethereta (PE - Public Ethernet) pozicionirano je kao komunikacijska arhitektura koja povezuje rezidencijalne i poslovne mreže sa javnim (jezgrenim) komunikacijskim sustavima (Slika 11.).

Kao što je ranije napomenuto, problematika izgradnje javne širokopojasne Ethernet mreže u mnogočemu je kompleksnija od primjene tehnologije Ethernet u privatnim mrežama. Stoga su u sklopu rješenja javnoga Etherneta definirani tzv. ključni elementi (PEKC - *Public Ethernet Key Components*):

- kvaliteta usluge
- separacija (diferencijacija) prometa
- sigurnost
- sposobnost istodobnog odašiljanja većem broju korisnika (engl. *multicast*)
- pouzdanost i raspoloživost
- upravljanje sustavom
- definiranje, aktivacija i nadzor usluga i prometnih tokova (*Service Provisioning*).

Razmatranje ključne komponente upravljanja sustavom (*telecom management*) svojom kompleksnošću i specifičnošću izlazi izvan okvira ovog članka i neće se dodatno diskutirati u idućim poglavljima.



Slika 11. Pozicioniranje rješenja javnoga Ethernet u javnoj širokopojasnoj mreži telekomunikacijskog operatora

Ključni elementi realizirani su ključnim mehanizmima i protokolima raspoloživima u Ericssonovom rješenju javne Ethernet mreže (PEKM - *Public Ethernet Key Mechanism*):

- komutirani Ethernet (*Switched Ethernet*)
- virtualna lokalna mreža (VLAN)
- određivanje prioriteta u prometu
- Internet protokol za upravljanje grupama (*IGMP - Internet Group Management Protocol*) - protokol za realizaciju multicast elemenata
- oblikovanje prijenosnog pojasa (*bandwidth shaping*)
- forsirano komutiranje na MAC razini (*MAC FF - MAC Forced Forwarding*)
- virtualno MAC adresiranje (*Virtual MAC*).

Posljednja dva mehanizma donekle su specifična za Ericssonovo rješenje javne Ethernet mreže.

Kako bi se moglo provesti razmatranje pozicioniranja i utjecaja ključnih elemenata i mehanizama unutar Ericssonovog rješenja javnoga Etherneta potrebno je definirati referentni model rješenja (PERN - *Public Ethernet Reference Network*), što prikazuje Slika 12.

Premda referentni model prepostavlja stablastu strukturu mreže alternativne arhitekture su moguće, poput prstene-ve arhitekture. U modelu PERN, širokopojasni poslužitelj za pristup iz udaljenosti (BRAS - *Broadband Remote Access Server*) predstavlja ključnu točku agregacijske domene u kojoj se implementiraju funkcionalnosti selekcije i akti-

vacije usluga (prometnih tokova), inteligentnog IP usmjeravanja, naplate, itd. Referentne točke (u) i (v) definirane su u skladu s ITU-T preporukama gdje se točka (u) definira kao preplatnička petlja, a točka (v) kao sučelje prema telekomunikacijskom čvoru (lokalnoj centrali).

4.1. Ključne komponente rješenja javnoga Etherneta

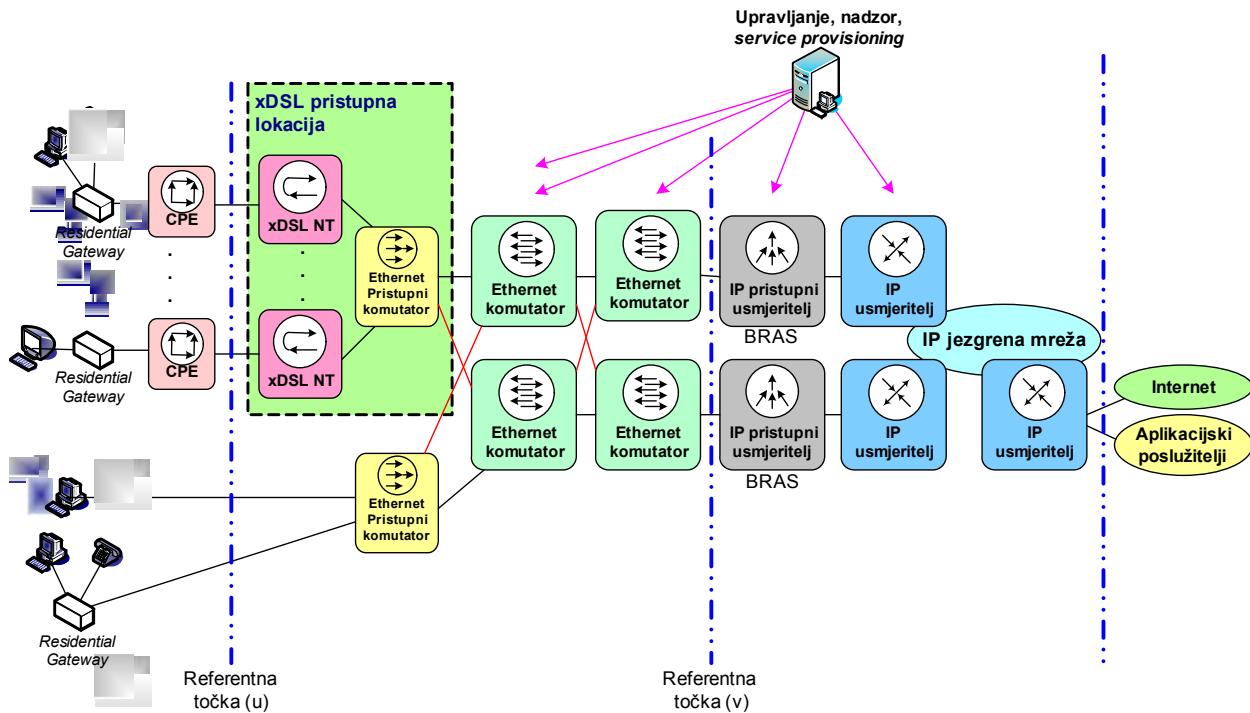
4.1.1. Kvaliteta usluge

Komponenta kvalitete usluge u modelu PERN implementira se sljedećim mehanizmima:

- upotrebom mehanizma prioritizacije definiranim u IEEE 802.1p;
- oblikovanjem širine prijenosnog pojasa;
- mapiranjem IEEE 802.1p oznaka na DiffServ kodove.

Realizacija kvalitete usluge je usko povezana s mehanizmima diferencijacije i separacije prometa, poput forsiranog komutiranja na MAC razini i virtualne lokalne mreže.

Standard IEEE 802.1p definira mehanizam koji omogućava prioritizaciju označenih paketa unutar Ethernet komutatora. Mehanizam definira 8 razina prioriteta korištenjem 3 bita unutar Ethernet zaglavlja. Radi se o relativno rudimentarnom mehanizmu koji omogućava implementaciju tzv. relativne prioritizacije, u kojoj se okviri većeg prioriteta uvijek prosljeđuju prije okvira nižeg prioriteta. Kako bi se komponenta kvalitete usluge realizirala u cijelokupnoj pristupnoj i agrega-



Slika 12. Referentni model javne Ethernet mreže (PERN)

cijskoj domeni u rubne Ethernet komutatore uvodi se funkcionalnost oblikovanja i nadziranja širine prijenosnog pojasa, dok se u BRAS čvorovima definira mapiranje između IEEE 802.1p oznaka i DiffServ kodova. Slika 13. ilustrira mehanizme koji se unutar modela PERN koriste za realizaciju koncepta kvalitete usluge.

4.1.2. Separacija prometa

Separacija prometa između različitih korisnika, poslužitelja i usluga predstavlja jednu od ključnih komponenti u izgradnji javne Ethernet mreže. Mehanizmi separacije tvore osnovu na kojoj se realiziraju komponente sigurnosti i osiguranja kvalitete usluge. Implementacija komponente separacije prometa onemogućava postojanje direktnih prometnih tokova između čvorova Ethernet mreže bez operatorovog znanja, čime se povećava sigurnost, smanjuje opasnost neovaštenog prisluškivanja prometa te smanjuje mogućnost prijevare (*Fraud Prevention*). Ericssonovo rješenje javne Ethernet arhitekture podržava sve zastupljene metode diferencijacije i separacije prometa pri čemu je u relaciji konkretnih projekata preferiran mehanizam koji kombinira virtualnu lokalnu mrežu i forsirano komutiranje na MAC razini:

- protokol od točke do točke preko tehnologije Ethernet (PPPoE - Point to Point Protocol over Ethernet);

- virtualne gradske mreže (VMAN - Virtual Metropolitan Area Network)
- Q-in-Q;
- virtualne lokalne mreže
- kombinacija virtualne lokalne mreže i forsiranog komutiranja na MAC razini
 - preporučena metoda za izgradnju javnih (rezidencijalnih) pristupnih mreža.

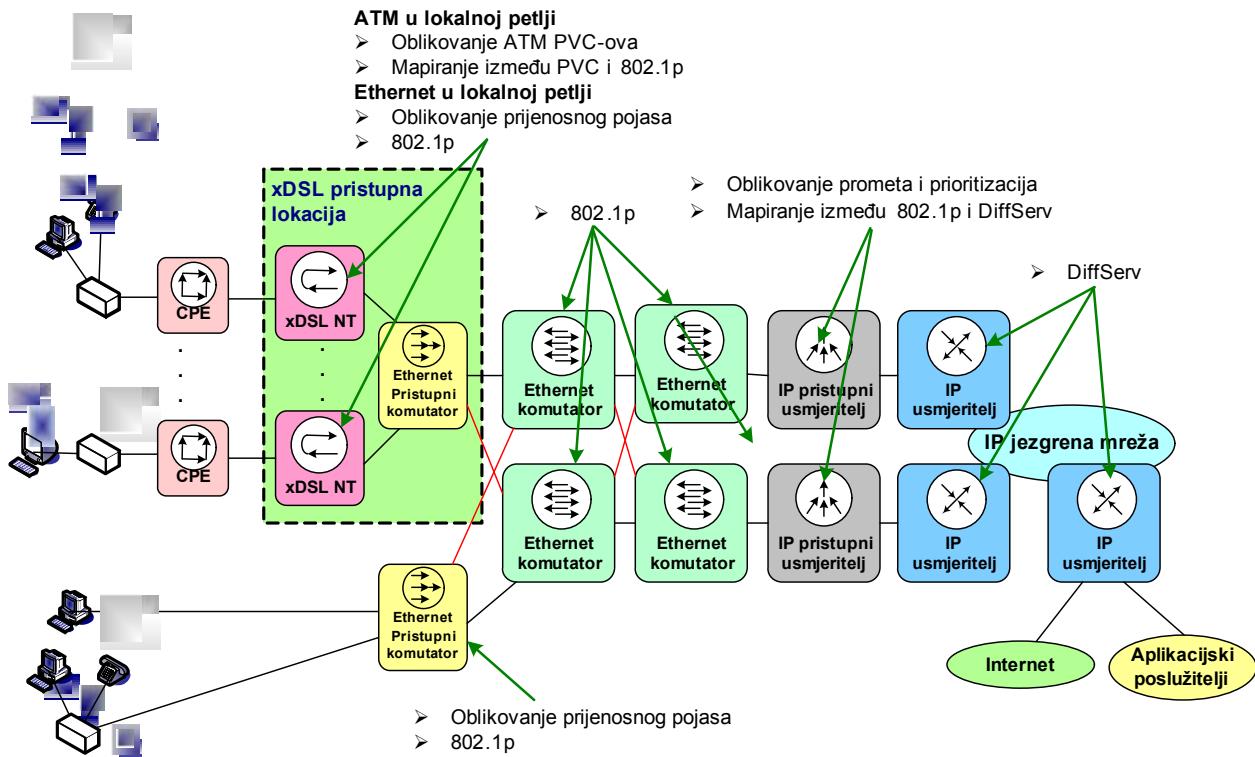
Promet može teći samo u smjeru od korisnika prema BRAS čvoru, čime se postiže potpuna separacija prometa putem tradicionalne virtualne lokalne mreže.

Slika 14. prikazuje primjer korištenja komponente separacije prometa upotrebom preporučenog mehanizma kombiniranja virtualne lokalne mreže i forsiranog komutiranja na MAC razini unutar javne Ethernet mreže.

4.1.3. Sigurnost

Temeljni sigurnosni mehanizmi u PERN modelu su:

- forsirano komutiranje na MAC razini - mehanizam separacije prometa i usluga;
- DHCP opcija 82 - omogućava praćenje korisnika;
- virtualne MAC adrese - omogućava praćenje korisnika;
- razni filtri - npr. PPPoE filter, IP/MAC anti-spoofing



Slika 13. Pozicioniranje i implementacija ključne komponente kvalitete usluge unutar modela PERN

filter.

Dvije osnovne sigurnosne funkcije koju donose gore nabrojani mehanizmi su sprječavanje direktne komunikacije dvaju ili više korisnika unutar Ethernet domene (čime se eliminira opasnost prisluskivanja prometa) te sprječavanje lažiranja identiteta korištenjem lažne IP ili MAC adrese (*address spoofing*).

Slika 15. ilustrira princip upotrebe pojedinih mehanizama u realizaciji temeljnog sigurnosnog koncepta modela PERN.

4.1.4. Istovremeno odašiljanje većem broju primatelja

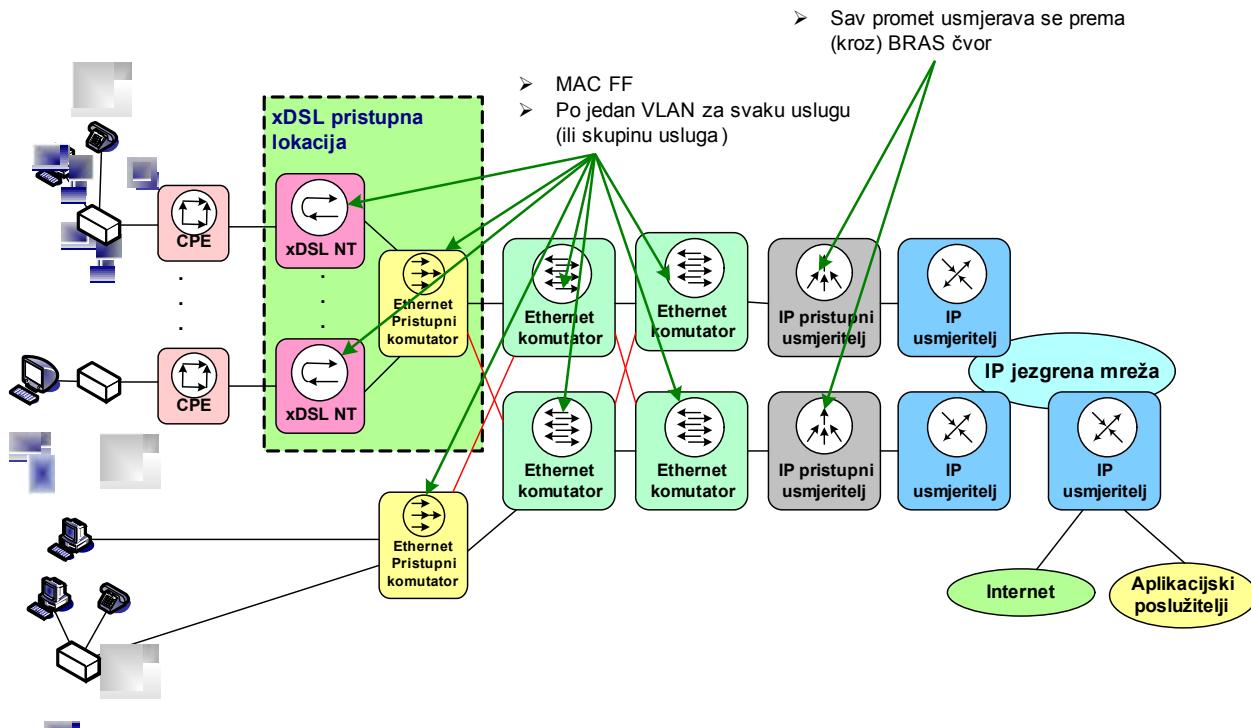
Istovremeno odašiljanje većem broju primatelja (*multicast*) omogućava implementaciju usluga koja po prirodi uključuju simultano sudjelovanje većeg broja krajnjih korisnika - poput televizijskog ili radijskog programa, raznih vijesti i slično. Osnovni mehanizmi koji omogućavaju implementaciju *multicast* koncepta u modelu PERN su IGMP snooping (u Ethernet komutatorima), PIM-SM mapiranje u BRAS čvoru te PIM-SM mehanizam u IP dijelu mreže.

4.1.5. Pouzdanost i raspoloživost

Smisao izgradnje pouzdane i robusne mreže jest u postizanju otpornosti sustava na pojave kvarova, havarija, ispada čvorova i dijelova sustava te minimizaciju utjecaja raznih operativnih aktivnosti i problema (npr. proširenja mreže, promjene programske podrške i sklopolja u čvorovima mreže, promjenama konfiguracije mreže i čvorova itd.). Primarni cilj je sprječiti narušavanja kvalitete usluge pružene krajnjem korisniku, tj. "prikrivanje" efekta eventualnih operativnih problema u sustavu od krajnjeg korisnika.

Svaki funkcionalni sloj OSI komunikacijskog modela posjeduje mehanizme koji utječu na izgradnju pouzdane telekomunikacijske mreže:

- općeniti mehanizmi;
- geografsko razmještanje ključnih čvorova
- implementacija MPLS tehnologije u jezgrenom dijelu mreže u cilju stvaranje redundantne komunikacijske infrastrukture
- sloj mreže;
- virtualni redundantni usmjeriteljski protokol (VRRP - *Virtual Router Redundancy Protocol*)
- ESRP (*Extreme Standby Router Protocol*)
- HSRP (*Hot-Standby Router Protocol*)
- višeprotokolno usmjeravanje temeljem oznaka



Slika 14. Primjer implementacije ključne komponente separacije prometa u modelu PERN

(MPLS - Multi-Protocol Label Switching)

- razni protokoli usmjeravanja u IP mrežama - OSPF, BGP, IS-IS
- sloj podatkovne veze;
- Spanning Tree i Rapid Spanning Tree;
- agregacija veza (link aggregation, IEEE 802.1ad);
- automatsko zaštitno komutiranje u tehnologiji Ethernet (EAPS - Ethernet Automatic Protection Switching);
- fizički sloj ili sloj prijenosnog medija;
- redundantna fizička sučelja na komunikacijskim čvorovima;
- implementacija posebne transmisijске mreže korištenjem tehnologije valnog multipleksiranja (WDM, DWDM) ili sinkrone digitalne hijerarhije (SDH).

Slika 16. ilustrira pozicioniranje mehanizama pouzdanosti i raspoloživosti u modelu PERN. Mehanizmi fizičkog sloja nisu prikazani na slici zbog jednostavnosti i razumljivosti prikaza.

4.2. Ključni mehanizmi u izgradnji javne Ethernet

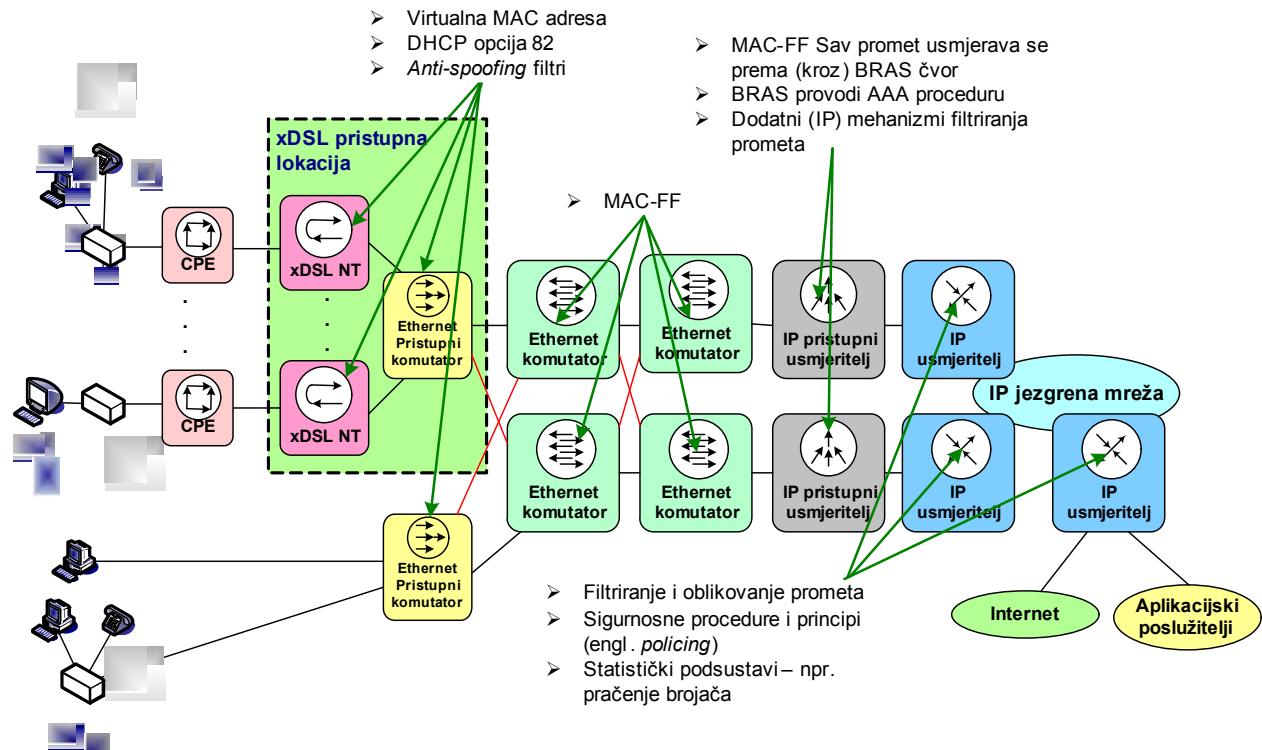
mreže

Iz razmatranja ključnih komponenti rješenja javne Ethernet mreže i modela PERN (PEKM) jasno se vidi preklapanje i konzistentna primjena nekoliko ključnih Ethernet mehanizama.

4.2.1. Virtualna lokalna mreža

Virtualna lokalna mreža definira logički izdvojenu domenu unutar jedne fizičke Ethernet mreže. Korištenjem mehanizma virtualne lokalne mreže javna Ethernet mreža razdvaja se na logičke podmreže definirane pojedinim tipom usluge. Tako se, na primjer, može definirati poseban VLAN za tradicionalan Internet promet, poseban VLAN za prijenos govora preko IP tehnologije (VoIP - Voice over IP) ili za prijenos televizijske usluge (IP TeleVision, IPTV). Mechanizam virtualne lokalne mreže standardiziran je u IEEE 802.1Q.

S obzirom da mehanizam virtualne lokalne mreže radi isključivo na sloju podatkovne veze, komunikacija između dvije krajnje stanice u dvije različite virtualne lokalne mreže (ili dva logička entiteta odvojena VLAN separacijom) uvijek mora prolaziti kroz IP usmjeritelj, tj. čvor koji implementira logiku sloja mreže. Time se također omogućava efikasna separacija uslužnih domena.



Slika 15. Primjer primjene ključne komponente sigurnosti unutar modela PERN

4.2.2. Određivanje prioriteta

Određivanje prioriteta kod slanja okvira definirano je standardom IEEE 802.1p. Prije odašiljanja Ethernet okvir se klasificira i označava u skladu sa željenim prioritetom (postavlja se oznaka prioriteta u zaglavljtu Ethernet okvira). Komutacijski čvorovi pristupne Ethernet mreže komutiraju okvire u skladu s njihovim oznakama prioriteta pri čemu se okvirima s višim prioritetom daje prednost u proceduri komutacije. Sam standard definira 8 razina prioriteta, iako se u praksi pokazalo da se zadovoljavajući rezultati postižu implementacijom do 4 razine prioriteta. U javnim pristupnim Ethernet mrežama označavanje okvira se u smjeru od korisnika prema mreži provodi u rubnom čvoru Ethernet mreže (Ethernet pristupni komutator na *Slici 12*), dok se u smjeru od mreže prema krajnjem korisniku označavanje provodi u rubnom usmjeritelju (BRAS čvor, gdje se provodi i mapiranje *DiffServ* i IEEE 802.1p oznaka) ili u prvom sljedećem Ethernet komutatoru.

4.2.3. Internetski protokol za upravljanje grupama

Krajnji korisnici (tj. klijenti) koriste internetski protokol za upravljanje grupama (IGMP) kako bi signalizirali pripadnost nekoj multicast sesiji, odnosno, namjeru

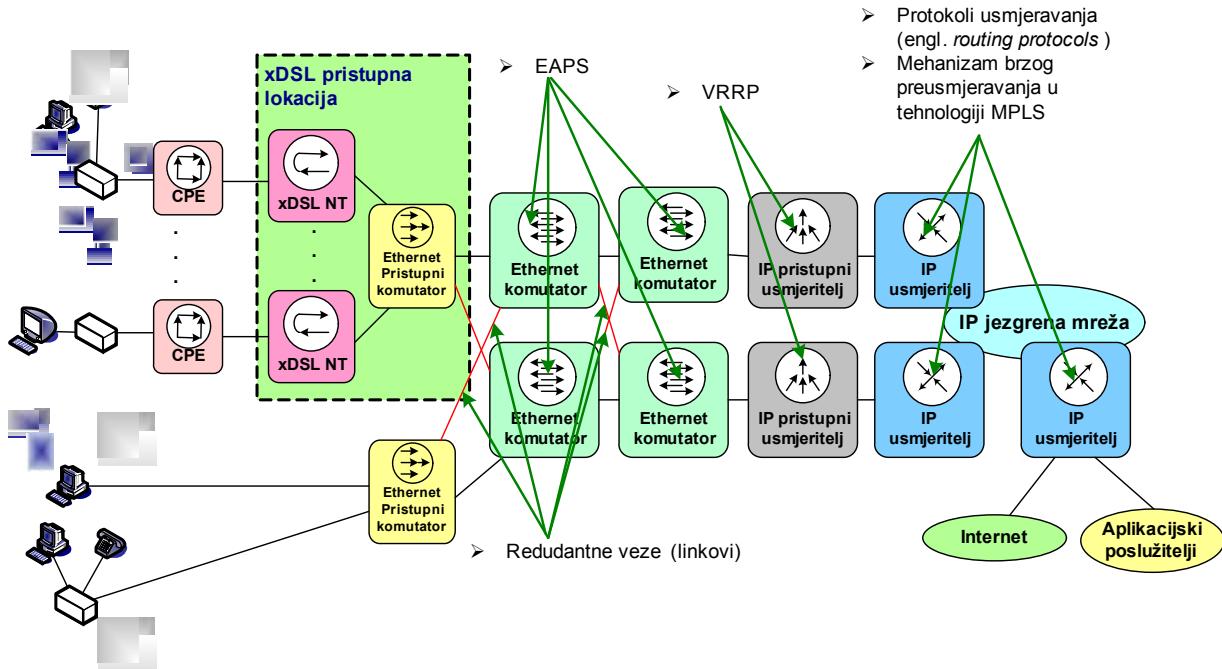
pristupanja takvoj sesiji. Protokol IGMP se također koristi i u signalizaciji između IP usmjeritelja unutar zajedničke podmreže, kako bi definirali koji će usmjeritelj usmjeravati promet neke *multicast* sesije na dotičnoj podmreži. Funkcija protokola IGMP je da:

- definira i sadrži informaciju o članstvu klijenata u nekoj *multicast* sesiji unutar pojedine podmreže ili segmenta;
- omogući IP usmjeritelju u donošenju odluke o usmjeravanju (prosljedivanju) prometa neke *multicast* sesije na određenu podmrežu.

4.2.4. Oblikovanje prijenosnog pojasa

Mehanizmi oblikovanja prijenosnog pojasa (*bandwidth shaping*) razlikuju se ovisno o tipu preplatničke petlje - xDSL ili Ethernet. Glavne funkcije mehanizma oblikovanja prijenosnog pojasa su:

- zaštita pristupne mreže (domene) od preopterećenja prevelikim prometnim zahtjevima,
- implementacija koncepta ograničene širine prijenosnog pojasa u kojem krajnji korisnici dobivaju točno onoliko kapacitet (tj. širine prijenosnog pojasa) koliko je definirano u njihovom tarifnom paketu;



Slika 16. Primjer realizacije ključne pouzdanosti i raspoloživosti u modelu PERN

- omogućavanje kreiranja diferenciranog kataloga usluga u kojem se operatoru omogućava definiranje skalabilne tržišne ponude u smislu tarifnih paketa s definiranom širinom prijenosnog pojasa.

Važno je napomenuti da mehanizam oblikovanja prijenosnog pojasa ne može zaštititi mrežu u slučaju aktiviranja prevelikog broja korisnika u mreži (*over-booking*), planiranog preopterećenja mreže (*over-provisioning*) ili statističke devijacije u prometnom profilu.

Mehanizam oblikovanja prijenosnog pojasa čine dvije temeljne komponente:

Oblikovanje širine prijenosnog pojasa - princip se zasniva na punjenju redova u komutacijskim čvorovima (*queuing*) u trenucima kada dolazi do primanja prevelikog broja okvira unutar fiksnog vremenskog intervala. Time se provodi "izravnavanje" prometnog modela i smanjuje se usnopljenost prometa (*burstiness*), karakteristična za internetski promet. Popratna pojava je da se oblikovanjem povećava ukupno kašnjenje kao i varijacija u vremenu međudolazaka okvira, stoga je oblikovanje nepriskladno za interaktivan, stvarnovremenski promet (npr. video ili VoIP). S druge strane, oblikovanje je idealno za usnopljeni promet s niskom tolerancijom gubitka paketa (npr. elektronička pošta, baze podataka i sl.).

Upravljanje redovima i odbacivanjem okvira (*bandwidth*

policing) - radi se o relativno grubom rješenju u kojem se sav višak prometa pojedine sesije koja je narušila dopuštene parametre širine prijenosnog pojasa jednostavno odbacuje. Iako takav pristup može uzrokovati probleme ukoliko aplikacija nije u stanju smanjiti brzinu kreiranja i odašiljanja okvira (npr. TCP/IP klijent posjeduje skup algoritama koji mu omogućavaju smanjenje brzine odašiljanja paketa/okvira i prilagođavanje definiranoj širini prijenosnog pojasa). S druge strane, ovaj mehanizam ne uvodi dodatno kašnjenje i varijaciju vremena međudolazaka okvira čime je pogodan za multimedijalne sesije poput IP TV-a i VoIP-a.

4.2.5. Forsirano komutiranje na MAC razini

Funkcionalnost forsiranoga komutiranja na MAC razini (MAC FF) definitivno je najefikasnija metoda separacije prometnih tokova pojedinih korisnika i usluga, koja, kombinirana s mehanizmom virtualne lokalne mreže, predstavlja preferiranu ključnu komponentu separacije prometa u Ericssonovom rješenju javnog Etherneta. *Slika 17.* ilustrira princip MAC FF na modelu PERN.

Osnovni element mehanizma MAC FF je da promet uvijek prolazi logičku vezu između klijenta i rubnog IP usmjeritelja (BRAS čvora), dok je direktna komunikacija

između dva klijenta kroz komutiranu (Ethernet) domenu nemoguća. U kombinaciji s VLAN mehanizmom postiže se izvanredna efikasnost separacije prometa te skalabilnost u vrlo velikim javnim mrežama.

4.2.6. Virtualno MAC adresiranje

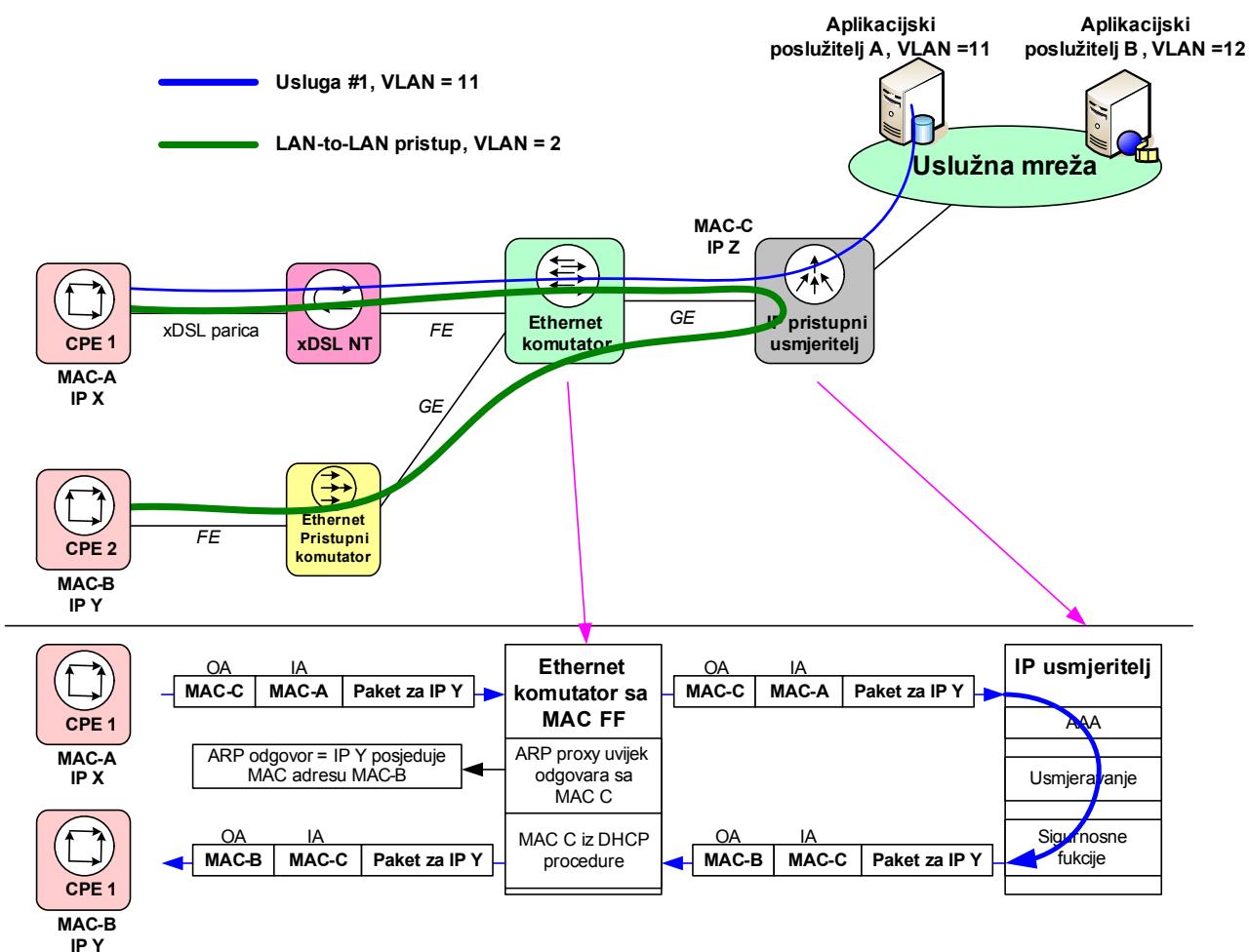
U tradicionalnim (starijim) xDSL rješenjima svaki "modem" posjeduje ATM PVC do BRAS čvora. Informacija o toj permanentnoj vezi, zajedno s korisničkim imenom i dodijeljenom IP adresom, čini temeljni dio korisničkog profila u bazi podataka RADIUS poslužitelja. Takav zapis osigurava jednoznačnu identifikaciju korisnikove lokacije, čak i kada korisnik upotrebljava lažno korisničko ime i zaporku.

Zbog relativne neskalabilnosti mehanizma VLAN (do 4096 individualnih VLAN-ova unutar jedne pristupne domene) u javnoj pristupnoj Ethernet mreži izgrađenoj po modelu PERN, veći broj korisnika pojavljuje se s istovjetnom iden-

tifikacijom (zbog dijeljenja VLAN identifikatora između više korisnika - VLAN ID označava uslugu, a ne "modem") koja je u ATM rješenju služila za lociranje korisnika.

Za rješavanje toga problema koriste se dvije metode:

- DHCP opcija 82 koju DSLAM (Ericsson EDA čvor) dodaje kako bi omogućio jednoznačnu identifikaciju DSL točke. Informacija uključena kroz Opciju 82 dolazi do DHCP poslužitelja i može se proslijediti do RADIUS poslužitelja, gdje se spremi u korisnikov profil. Problem ove metode je što zahtijeva korištenje DHCP koncepta, tj. dinamičkog dodjeljivanja IP adresa što nije uvek slučaj (ili barem ne bi trebao biti slučaj u sustavima koji krajnjim korisnicima omogućavaju stalan pristup mreži).
- Virtualno MAC adresiranje, pri čemu se izvorišna (originalna) MAC adresa zamjenjuje predefiniranim MAC adresem u DSLAM-u, koja jednoznačno identificira pristupnu DSL točku (tj. pretplatničku paricu). Ta metoda se može koristiti u kombinaciji s PPPoE i DHCP metodama, a virtu-



Slika 17. Princip rada MAC FF prikazan na jednostavnom komunikacijskom modelu javne pristupne Ethernet mreže

5. Zaključak

Ethernet danas ubrzano postaje glavna transportna tehnologija u modernim telekomunikacijskim mrežama. Nakon što je u posljednjih 30-ak godina preuzeo potpuni primat u privatnim mrežama, Ethernet je preuzeo primat i u izgradnji javnih pristupnih širokopojasnih mreža. Ericsson je prepoznao ovaj industrijski trend te je prilagodio i razvio rješenja za izgradnju javnih Ethernet mreža u sklopu svog koncepta *Public Ethernet* (javni Ethernet).

Očito je da se primjena tehnologije Ethernet širi i na jezgrene transportne mreže, gdje su godinama dominirale kompleksne i skupe tehnologije poput sinkrone digitalne hijerarhije (SDH) i tehnologije valnog multipleksiranja (WDM). Premda je danas teško zamisliti da će Ethernet zamijeniti postojeće tehnologije u javnim jezgrenim mrežama, primjećuje se snažan fokus industrije u vidu istraživanja i razvoja tzv. *carrier Ethernet* tehnologije te modifikacije standarda kako bi uključio neke nove i naprednije mehanizme potrebne u izradnji javnih jezgrenih mreža. Uska povezanost tehnologije Ethernet s *all-IP* vizijom komunikacijskog svijeta, njegova jednostavnost i tržišni udio u rezidencijalnom i poslovnom segmentu čine Ethernet tehnologijom prvog izbora u izgradnji javnih širokopojasnih pristupnih mreža, a kroz kontinuiranu tehnološku evoluciju, ciljanim transportnim mehanizmom u konvergiranim javnim telekomunikacijskim mrežama.

6. Kratice:

<i>AAA</i>	-	<i>Authentication, Authorization and Accounting</i>
<i>ADM</i>	-	<i>Add and Drop Multiplexer</i>
<i>ATM</i>	-	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
<i>BGP</i>	-	<i>Border Gateway Protocol</i>
<i>BRAS</i>	-	<i>Broadband Remote Access Server</i>
<i>CSMA/CD</i>	-	<i>Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection</i>
<i>DCE</i>	-	<i>Data Communication Equipment</i>
<i>DHCP</i>	-	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
<i>DiffServ</i>	-	<i>Differentiated Services</i>
<i>DSL</i>	-	<i>Digital Subscriber Line</i>
<i>DTE</i>	-	<i>Data Terminal Equipment</i>
<i>DWDM</i>	-	<i>Dense Wave Division Multiplex</i>
<i>EAPS</i>	-	<i>Ethernet Automatic Protection Switching</i>
<i>ESRP</i>	-	<i>Extreme Standby Router Protocol</i>
<i>FCS</i>	-	<i>Frame Check Sequence</i>
<i>FE</i>	-	<i>Fast Ethernet</i>
<i>GE</i>	-	<i>Gigabit Ethernet</i>
<i>HSRP</i>	-	<i>Hot-Standby Router Protocol</i>
<i>HTTP</i>	-	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
<i>IEEE</i>	-	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
<i>IFG</i>	-	<i>Inter-Frame Gap</i>
<i>IP</i>	-	<i>Internet Protocol</i>
<i>IPTV</i>	-	<i>IP TeleVision</i>
<i>IS-IS</i>	-	<i>Intermediate System - Intermediate System</i>
<i>LLC</i>	-	<i>Logical Link Control</i>
<i>MAC</i>	-	<i>Medium Access Control</i>
<i>MAC FF</i>	-	<i>MAC Forced Forwarding</i>
<i>MPLS</i>	-	<i>Multi-Protocol Label Switching</i>
<i>OSI</i>	-	<i>Open System Interconnection</i>
<i>OSPF</i>	-	<i>Open Shortest Path First</i>
<i>PE</i>	-	<i>Public Ethernet</i>
<i>PEKC</i>	-	<i>Public Ethernet Key Components</i> ,
<i>PEKM</i>	-	<i>Public Ethernet Key Mechanism</i>
<i>PERN</i>	-	<i>Public Ethernet Reference Network</i>
<i>PoC</i>	-	<i>Point of Connection</i>
<i>PoP</i>	-	<i>Point of Presence</i>
<i>PPPoE</i>	-	<i>Point to Point Protocol over Ethernet</i>
<i>PVC</i>	-	<i>Permanent Virtual Circuit</i>
<i>QoS</i>	-	<i>Quality of Service</i>
<i>RTP</i>	-	<i>Real Time Protocol</i>
<i>SCTP</i>	-	<i>Stream Control Transmission Protocol</i>
<i>SDH</i>	-	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
<i>SFD</i>	-	<i>Start of Frame Delimiter</i>
<i>TCP</i>	-	<i>Transmission Control Protocol</i>
<i>TDM</i>	-	<i>Time Division Multiplex</i>
<i>UDP</i>	-	<i>User Datagram Protocol</i>
<i>VLAN</i>	-	<i>Virtual Local Area Network</i>
<i>VMAN</i>	-	<i>Virtual Metropolitan Area Network</i>
<i>VoIP</i>	-	<i>Voice over IP</i>
<i>VRRP</i>	-	<i>Virtual Router Redundancy Protocol</i>
<i>WDM</i>	-	<i>Wave Division Multiplex</i>
<i>WLAN</i>	-	<i>Wireless Local Area Network</i>

7. Literatura:

- [1] Interna Ericssonova dokumentacija
- [2] William Stallings: "Data & Computer Communications - International Edition", 7. izdanje, Prentice Hall, 2003
- [3] David Allan i ostali: "Ethernet as Carrier Transport Infrastructure", IEEE Communications Magazine, IEEE Communications Society, USA, Veljača 2006.
- [4] Sam Halabi: "Metro Ethernet", Cisco press, USA, 2003
- [5] Ray Horak: "Communications Systems and Networks", 3. izdanje, Wiley Publishing inc., Indianapolis, USA, 2002.
- [6] Alen Bažant i drugi: "Osnovne Arhitektur Mreža", 1. izdanje, Element, Zagreb, Hrvatska
- [7] Rich Seifert: "The Switch Book", 2. izdanje, John Wiley and Sons inc., USA, 2000.
- [8] "Cisco Internetworking technologies handbook"

Adresa autora:

Ozren Kopajtić

e-mail: ozren.kopajtic@ericsson.com

Ericsson Nikola Tesla d.d.

Krapinska 45

p.p. 93

HR-10002 Zagreb

Hrvatska

Uredništvo je primilo rukopis 13. studenoga 2006.