

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

Marin Štefanac

ETHERNET U SVJETLOVODNOJ
TELEKOMUNIKACIJSKOJ MREŽI

Diplomski rad

Rijeka, 2013.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

ETHERNET U SVJETLOVODNOJ
TELEKOMUNIKACIJSKOJ MREŽI

Predmet: Optoelektronički sustavi

Mentor: dr.sc. Irena Jurdana

Student: Marin Štefanac

Matični broj: 601983 21 0009040002 5

Studij: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

Rijeka, 2013.

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Povijest komunikacijskog standarda Ethernet.....	3
3.	Karakteristike Ethernet standarda	4
3.1.	Implementacija Ethernet standarda u mrežama za prijenos podataka.....	6
3.2.	Oznake Ethernet standarda.....	10
3.3.	Sastavnice Ethernet tehnologije	13
3.3.1.	Predkomunikacijski sinkronizacijski paket.....	14
3.3.2.	Izvorišna i odredišna adresa	15
3.3.3.	Informacijska polja za određivanje prosljeđivanja mrežnog prometa	17
3.3.4.	Protokol za upravljanje logičkim vezama	18
3.3.5.	Zaglavlje podmrežnog pristupnog protokola	19
3.3.6.	Podatkovno polje.....	20
3.3.7.	Sekvenca provjere stanja informacijskih okvira	21
3.3.8.	Oznake informacijskih okvira	22
3.3.9.	Prioritet mrežnog prometa.....	25
3.3.10.	Upravljanje pristupa Ethernet medijem.....	26
3.3.11.	Ethernet 10 Gigabit mreža.....	32
4.	Primjena Ethernet tehnologije.....	36
4.1.	Primjena etherneteta u lokalnim mrežama	36
4.2.	Ethernet u pristupnim mrežama	41
4.3.	Ethernet u gradskim mrežama.....	43
4.4.	Ethernet u globalnim mrežama i mrežama za prijenos podataka na velike udaljenosti 43	
4.5.	Vrste ethernet usluga.....	43
4.6.	Ethernet infrastrukture.....	47
4.6.1.	Infrastruktura za prijenos izvornog ethernet informacijskog okvira.....	47
4.6.2.	SONET/SDH infrastruktura	48
4.6.3.	Tehnologija robusnih paketnih prstenova	50
4.6.4.	ATM.....	50

4.6.5.	IP/MPLS	50
5.	Instalacija i upravljanje ethernet uslugom.....	53
5.1.	Verifikacija ethernet performansi.....	53
5.1.1.	Konfiguracije mreže za mjerenje karakterističnih parametara.....	54
5.1.2.	RFC 2544 test.....	57
5.2.	Određivanje značajki svjetlovodnih niti.....	66
5.3.	Ispitivanje grešaka individualnih bitova informacije	66
5.3.1.	Ethernet GigE i 10GigE mreže u pasivnim optičkim mrežama	67
5.3.2.	Ethernet GigE i 10GigE mreže u DWDM sustavima	68
5.3.3.	Ispitivanje prihvatljivosti ethernet usluga	69
6.	Ethernet usluga za prijenos glasovnog i video sadržaja.....	70
6.1.	Tehnike za ispitivanje mreža u svrhu prijenosa glasovnih i video usluga	71
7.	Nadzor ethernet mreža	76
7.1.	Nadzor mrežnog prometa i mrežnih karakteristika	76
7.2.	Udaljeno ispitivanje ethernet mreža	77
7.2.1.	Upravljanje pristupnim mrežama primjenom 802.3ah standarda	79
7.2.2.	Demarkacijski uređaji	79
7.2.3.	Ethernet ispitne sonde	81
8.	Zaključak.....	82
	Popis slika i tablica.....	83
	Literatura	86

1. Uvod

U radu je dan pregled ethernet komunikacijskog standarda u području svjetlovodne komunikacijske tehnologije. Razvoj tehnologija za prijenos informacija kao i razvoj komunikacijskih mreža kritične su za razmatranje standarda za prijenos podataka. U radu je proučen ethernet standard zbog njegove široke primjene te zbog svestranosti i sveobuhvatnosti korištenja. U drugom poglavlju navedena je povijest ethernet standarda. Opisan je razvoj prvobitnog ethernet standarda kao i implementacija narednih inačica. Definiran je način na koji je ethernet protokol standardiziran te implementiran korištenjem koaksijalne tehnologije u svrhu kreiranja prvobitnih lokalnih računalnih mreža. U trećem poglavlju opisane su karakteristike ethernet standarda. Definirana je implementacija ethernet standarda u mrežama za prijenos podataka kao i oznake ethernet standarda. Opisani su sastavni dijelovi ethernet tehnologije odnosno uloga predkomunikacijskog sinkronizacijskog paketa, primjena izvorišnih i odredišnih adresa, korištenje informacijskog polja za određivanje prosljeđivanja mrežnog prometa. Također je pojašnjen protokol za upravljanje logičkim vezama kao i sastavnica zaglavlje podmrežnog pristupnog protokola. Definirano je podatkovno polje, sekvenca provjere stanja informacijskih okvira, oznake informacijskih okvira kao i značaj prioritiziranja mrežnog prometa. Na kraju je opisano upravljanje pristupa ethernet medijem kao i funkcija ethernet 10 gigabitnih mreža. U četvrtom poglavlju opisana primjerna ethernet tehnologije. Definirana je razlika primjene u lokalnim, pristupnim, gradskim i globalnim mrežama kao i mrežama za prijenos podataka na velike udaljenosti. Navedene su vrste ethernet usluga te različite ethernet infrastrukture. Obrazložena je razlika između infrastrukture za prijenos izvornog ethernet informacijskog okvira, SONET, ATM, IP/MPLS infrastruktura kao i tehnologije robusnih paketnih prstenova. U petom poglavlju opisana je instalacija i upravljanje ethernet uslugom. Okarakterizirana je verifikacije ethernet performansi primjenom mjerenje karakterističnih parametara. Također je opisano određivanje značajki svjetlovodnih niti te ispravljanje grešaka individualnih bitova informacije. Naveden je postupak ispitivanja ethernet GigE i 10GigE mreža u pasivnim optičkim mrežama te u DWDM sustavima. U šestom poglavlju objašnjena je ethernet usluga za prijenos glasovnog i video sadržaja te tehnike za ispitivanje mreža u svrhu prijenosa navedenih usluga. U sedmom poglavlju opisan je princip nadzora ethernet mreža. Naveden je princip nadziranja mreža i

mrežnih karakteristika kao i tehnike udaljenog ispitivanja ethernet mreža. Pojašnjene su tehnike udaljenog ispitivanja poput upravljanje pristupnim mrežama primjenom 802.3ah standarda, korištenje demarkacijskih uređaja te primjena ethernet ispitnih sondi.

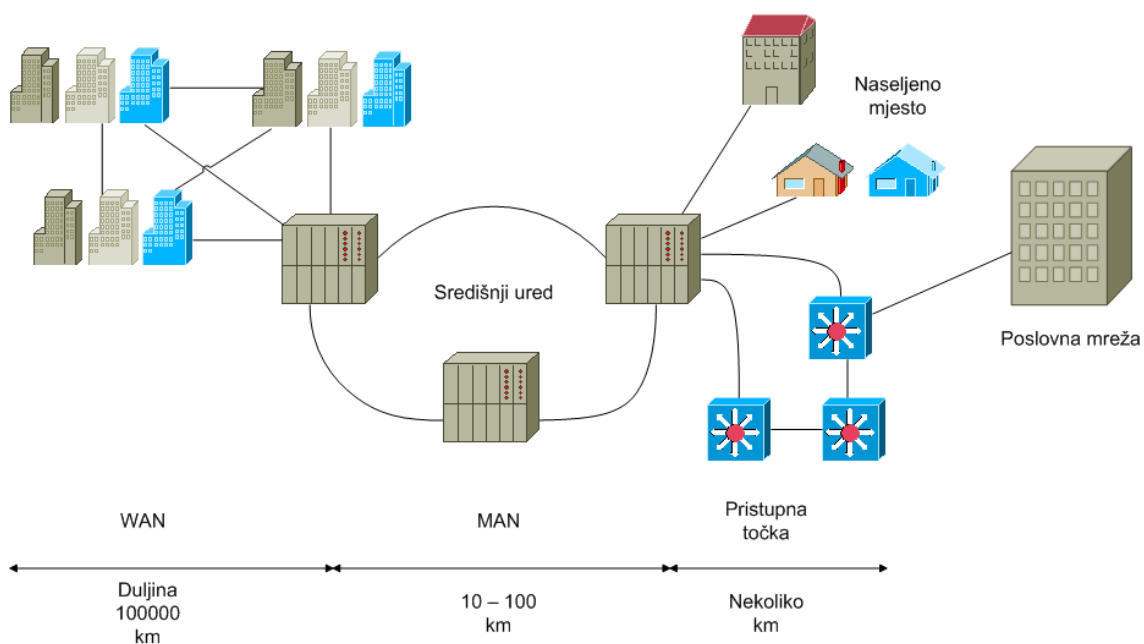
2. Povijest komunikacijskog standarda Ethernet

Ethernet komunikacijski standard razvijen je tijekom 70-tih godina 20. stoljeća u Xerox Palo Alto centru za istraživanje. Razvio ga je Dr. Robert M. Metcalfe. U početku je Ethernet razvijen kao eksperimentalni Ethernet u svrhu informacijske podrške tijekom razvoja i dizajniranja projekta "Ured Budućnosti". Eksperimentalni Ethernet prenosio se koaksijalnim kabelom promjera **1,25 cm** te je ostvarivao brzinu prijenosa podataka od **3 Mb/s**. Prvo javno predstavljanje Ethernet komunikacijskog standarda prezentirano je 1976. godine na nacionalnoj računalnoj konferenciji u Sjedinjenim Američkim Državama.

Prva formalna specifikacija Ethernet standarda nazvana DIX publicirana je 1980. godine od strane DEC-Intel-Xerox tvrtke. Druga inačica DIX standarda objavljena je dvije godine kasnije pod imenom Ethernet 2. U 1983. godini, IEEE institut (*eng. Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*) objavio je vlastiti komunikacijski standard baziran LAN standardu (*eng. Local Area Network, LAN*) odnosno lokalnoj komunikacijskoj mreži. Novonastali IEEE standard nazvan je IEEE 802.3 standard te se bazirao na detekciji signala nosioca višestrukim pristupom uz detekciju kolizije podataka (*eng. Carrier-Sense Multiple-Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical-Layer Specifications*). 802.3 standard temeljen je na Ethernet 2 standardu. Razlika Ethernet 2 i 802.3 standarda je u formatu informacijskih okvira te poboljšane komunikacijske kompatibilnosti između obje vrste komunikacijskih okvira unutar jedinstvene lokalne komunikacijske odnosno LAN mreže. IEEE 802.3 standard zahtijevao je specijalizirani 10 milimetarski koaksijalni kabel za povezivanje uređaja u topologiju sabirnice (*eng. Bus Topology*). U svrhu redukcije dimenzija kabela potrebnog za povezivanje komunikacijskih uređaja IEEE institut je 1985. godine objavio 802.3a komunikacijski standard koji je odredio mogućnost korištenja 5 milimetarskog koaksijalnog kabela. Iako se od 1985. godine cjelokupna Ethernet oprema za povezivanje lokalnih LAN mreža izrađuje prema 802.3a standardu, većina informacijskih okvira zadržava DIX Ethernet 2 format.

3. Karakteristike Ethernet standarda

Komunikacijski protokol Ethernet se zasniva na računalnoj mrežnoj tehnologiji temeljenoj na komunikaciji razmjenom informacijskih okvira i prijenosu istih kroz sustav lokalnih i gradskih mreža kao i mreža za prijenos podataka na velike udaljenosti prema slici 1. Informacijski se okviri definiraju kao sekvenca bitova koji sačinjavaju jedinicu prijenosa podataka u podatkovnom sloju ili sloju pristupa komunikacijske mreže. Oni su mjera podataka koji se odašilju između informacijskih komunikacijskih točaka. Sadrže odaslane podatke, ali i informacije o protokolu i specifičnim komunikacijskim adresama. Sastoje se od sekvence bitova koje odašilje predajna stanica (*eng. Transmitter Station*) tijekom trajanja provjere stanja informacijskih okvira (*eng. Frame Checking Sequence, FCS*) nakon sinkronizacije komunikacije korištenjem predkomunikacijskog sinkronizacijskog paketa (*eng. Preamble*).

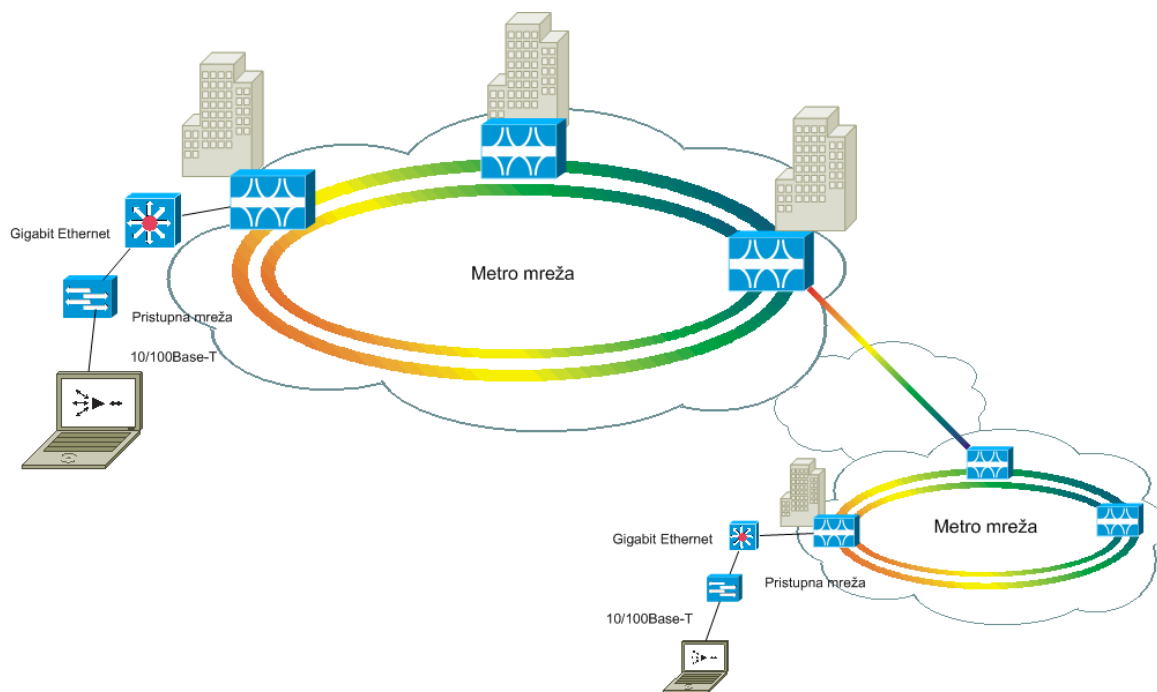


Slika 1: Prikaz pristupnih mreža, MAN mreža i WAN mreža

- Sekvenca provjere stanja informacijskih okvira - FCS - kodirana vrijednost generirana od strane predajne komunikacijske stanice. Dodjeljuje se prema pojedinom informacijskom okviru u svrhu otkrivanja potencijalnih grešaka prijenosa. Implementira se kao 32-bitni ciklični kod za provjeru redundancije.
- Ciklični kod za provjeru redundancije - (*eng. Cyclic Redundancy Check, CRC*) - Tehnika za provjeru postojanja potencijalnih grešaka uslijed prijenosa podataka. Osigurava preciznost prijenosa digitalnih podataka u komunikacijskom kanalu. Odašlani se signal dijeli u segmente predodređene veličine. Segmenti se dijele u odnosu na specifični broj odnosno djelitelj. Kao rezultat matematičke operacije dijeljenja promatra se ostatak dijeljenja koji se spaja s izvornom porukom te se skupa s njom odašilje u komunikacijski kanal. Prijamna stanica ponovno proračunava ostatak. Ukoliko se odašlani i novoproračunati ostatak ne podudaraju postoji greška u prijenosu
- Predkomunikacijski sinkronizacijski paket - (*eng. Preamble*) - Sastoji se od sekvence od 62 kodirana bita. Sinkronizacijski se paket odašilje prije slanja informacijskih paketa u svrhu osiguravanja sinkronizacije fizičkih sastavnica i radnih satova predajne i prijamne komunikacijske stanice.

3.1. Implementacija Ethernet standarda u mrežama za prijenos podataka

Ethernet standard je najkorištenija komunikacijska tehnologija u konstrukciji mreža za prijenos podataka. Implementira se u regionalnim odnosno metro mrežama (*eng. Metropolitan Area Network, MAN*) kao i u globalnim komunikacijskim mrežama (*eng. Wide Area Network, WAN*) prema slici 2. Ethernet se standard u komunikacijsku infrastrukturu implementira kao direktni 802.3a protokol ili kao kombinacija različitih informacijskih tehnika prijenosa podataka odnosno informacijskih infrastruktura.

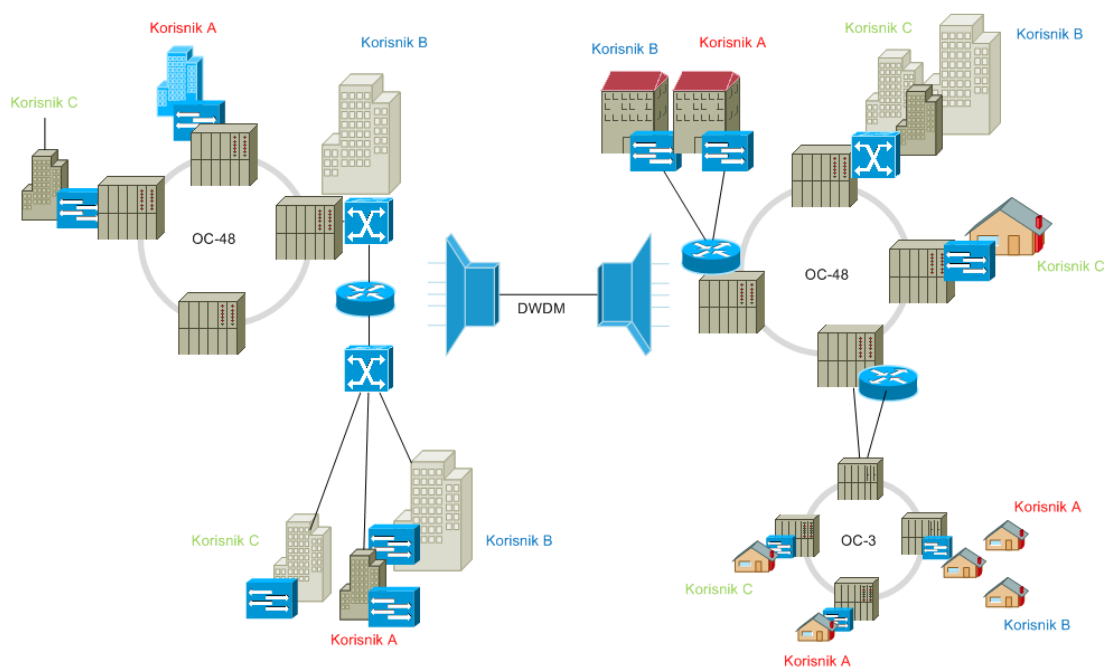


Slika 2: Prikaz pristupnih, LAN, MAN i WAN mreža

Korištene tehnike prijenosa podataka:

- Model asinkronog prijenosa (*eng. Asynchronous Transfer Mode, ATM*) - Mrežni protokol za prijenos podataka. Koristi se za multipleksiranje i preusmjeravanje podatkovnih paketa u sustavima široko-pojasne komunikacije uz malo kašnjenje.
- Prijenos informacijskih okvira (*eng. Frame Relay*) - Standardizirana tehnologija prijenosa podataka unutar informacijskih mreža koja određuje fizičke i logičke slojeve odnosno poveznice s aspekta digitalnih komunikacijskih kanala
- Generalizirana procedura kreiranja informacijskih okvira (*eng. Generic Framing procedure, GFP*) – Protokol za prilagođavanje mrežnog prometa. Stvara sučelje između mreža s preusmjeravanjem paketa i mreža za prijenos podataka. GFP mapira protokole bazirane na informacijskim paketima (Ethernet, FICON, ESCON) u formu prikladnu za prijenos SONET/SDH protokolom.
- Sinkronizirana optičke mreža (*eng. Synchronous Optical Network, SONET*) - Protokol za povezivanje temeljnih mreža za prijenos podataka (*eng. Backbone Network*). Karakteristike SONET mreže su visoke brzine prijenosa podataka uz gigabitnu širinu komunikacijskog pojasa
- Sinkronizirana Digitalna Hijerarhija (*eng. Synchronous Digital Hierarchy, SDH*) - Protokol za prijenos podataka optičkim mrežama. Koristi se uz SONET protokol.
- Multipleksiranje širokom podjelom valne duljine (*eng. Coarse Wavelength-Division Multiplex, CWDM*) - Metoda kombiniranja višestrukih signala niti korištenjem laserske zrake uz promjenu valne duljine izračenog svjetla u svrhu odašiljanja informacija svjetlovodnom niti.
- Multipleksiranje gustom podjelom valne duljine (*eng. Dense Wavelength-Division Multiplex, DWDM*) - Omogućava odašiljanje višestrukih informacijskih kanala odnosno valnih duljina unutar jedne optičke niti. Komercijalni DWDM sustavi koriste 160 zasebnih informacijskih kanala.

Korištenje navedenih tehnika u kombinaciji s Ethernet informacijskom tehnologijom omogućava stvaranje pouzdane informacijske infrastrukture prema slici 3.



Slika 3: Primjena ethernet VLAN usluge u svrhu kreiranja individualnih virtualnih mreža unutar MAN strukture

Namjena Ethernet informacijske tehnologije:

- Preusmjeravanje informacijskih paketa (*eng. Switching and Routing*)
- Usluge virtualnih lokalnih mreža (*eng. Virtual Local Area Network, VLAN*)
- Višeprotokolarno preusmjeravanje informacijskih paketa prema oznakama putanje (*eng. Multiprotocol Label Switching, MPLS*)
- Prosljeđivanje IP adresa (*eng. Internet Protocol Forwarding*)
- Usluge upravljanja mrežnim prometom (*eng. Traffic Management*)

Primarni razlog korištenja Ethernet standarda relativno je nizak cjenovni razred navedene tehnologije. Prilikom postavljanja Ethernet infrastrukture kao i pripadnih usluga, potrebno je relativno malo vremena. Upravljanje i nadzor Ethernet infrastrukturom moguće je vršiti s udaljenog računala što pojednostavljuje korištenje usluge.

Većina lokalnih mreža zasniva se na Ethernet protokolu. Korištenje Ethernet opreme omogućava promjenu brzine prijenosa podataka (*eng. Bit-rate*) kao i statističko multipleksiranje. Ovime je omogućena pojednostavljena integracija lokalnih mreža s regionalnim mrežama za prijenos podataka.

3.2. Oznake Ethernet standarda

Oznake Ethernet standarda baziraju se na karakteristikama odnosno fizikalnim karakteristikama pojedine inačice standarda poput brzine prijenosa ili komunikacijskog medija. Ethernet standard temelji se na prijenosu podataka u temeljnom pojasu frekvencija (*eng. Baseband Signalling*). Podaci se ne prenose modulacijom informacije na val nosilac (*eng. One-At-A-Time Transmission*), već se prijenos podataka vrši korištenjem cjelokupnog dostupnog frekvencijskog spektra. U tablici 1 dan je pregled glavnih Ethernet standarda

Tablica 1: Glavni Ethernet standardi

Godina	Naziv	IEEE oznaka	Brzina prijenosa	Karakteristike	Uporaba
1983	10Base-5 (Thicknet)	802.3	10 Mb/s	50 Ω; 10 mm koaksijalni kabel; topologija sabirnice	Ne
1985	10Base-2 (Thinnet)	802.3a	10 Mb/s	50 Ω; 5 mm koaksijalni RG58 kabel; topologija sabirnice	Ne
1990	10Base-T	802.3i	10 Mb/s	100 Ω; UTP kabel kategorije 3; topologija zvijezde; link od 100 metara	Da
1993	10Base-F (Ethernet over Fiber)	802.3j	10 Mb/s	Izvor svjetla 850 nm; dvije multimodne svjetlovodne niti	Da
1995	100Base-T4	802.3u	100 Mb/s	100 Ω; UTP kabel kategorije 3	Ne
1995	100Base-TX	802.3u	100 Mb/s	100 Ω; UTP kabel kategorije 5	Najčešći
1995	100Base-FX	802.3u	100 Mb/s	Izvor svjetla 1300 nm; dvije multimodne svjetlovodne niti	Da
1997	Full-Duplex Ethernet - FDX	802.3x	10 Mb/s i 100 Mb/s	-	Za sve primjene

1997	100Base-T2	802.3y	100 Mb/s	100 Ω; UTP kabel kategorije 3	Ne
1998	VLAN	802.3ac	-	Podrška za VLAN označavanje	Da
1998	1000Base-SX	802.3z	1 Gb/s	Izvor svjetla 850 nm - jedna multimodna svjetlovodna nit	Da
1998	1000Base-LX/HX	802.3z	1 Gb/s	Izvor svjetla 1300 nm - jedna multimodna ili jednomodna svjetlovodna nit	Da
1998	1000Base-CX	802.3z	1 Gb/s	Bakreni STP kabel; link 100 metara	Da
1999	1000Base-T (Gigabit Ethernet)	802.3ab	1 Gb/s	100 Ω; UTP kabel kategorije 5//5e	Da
2002	10 Gigabit Ethernet (10 GigE)	802.3ae	10 Gb/s	Izvor svjetla 850 nm preko multimodne niti, Izvor svjetla 1310 nm ili 1550 nm preko jednomodne niti. Metoda prijenosa Full-duplex. Obuhvaća sučelje s WAN mrežom (<i>eng. Wide Area Network, WAN</i>) u svrhu komunikacije sa SONET/SDH mrežom	Da
2004	Ethernet za prvobitni pristup (<i>eng. Ethernet in the First Mile</i>)	802.3ah	1 Gb/s	<p>Pružna podršku za:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spajanje bakrenim kabelom od točke do točke • Spajanje svjetlovodnom niti od točke do točke • Podrška za udaljeno otkrivanje kvara • Podrška za udaljenu indikaciju mrežne petlje • Podrška za nadzor konekcije 	Da

10Base-T standard predstavlja ključan napredak pri razmatranju Ethernet tehnologije. Koristi jeftini UTP kabel kategorije 3 umjesto skupljeg koaksijalnog kabela. Korišteni UTP kabel nema zaštitnog elektromagnetskog oklopa što daljnje pojeftinjuje proizvod. Ovime se omogućava povezivanje informacijskih jedinica u topologiju zvijezde naspram prethodne topologije sabirnice. Topologija u obliku zvijezde pojednostavljuje instalaciju i upravljanje informacijskom mrežom kao i pregled i popravak potencijalnih problema.

Brzina 100Base-T standarda povećana je 10 puta u odnosu na prethodni 802.3a standard. Iz tog se razloga 100Base-T standard još naziva i brzi Ethernet (*eng. Fast Ethernet*). Izvedbom 1000Base-T Gigabit Ethernet standarda brzina prijenosa kao i cjelokupne performanse povećane su 10 puta naspram 100Base-T standarda. Standard 1000Base-T prvobitno je namijenjen za uporabu u kombinaciji s svjetlovodnim nitima ili kratkim oklopljenim STP kablom s uvijenim paricama. Daljnjim razvojem 1000Base-T standarda omogućeno je korištenje jeftinijeg UTP kabela kategorije 5 odnosno kategorije 5e.

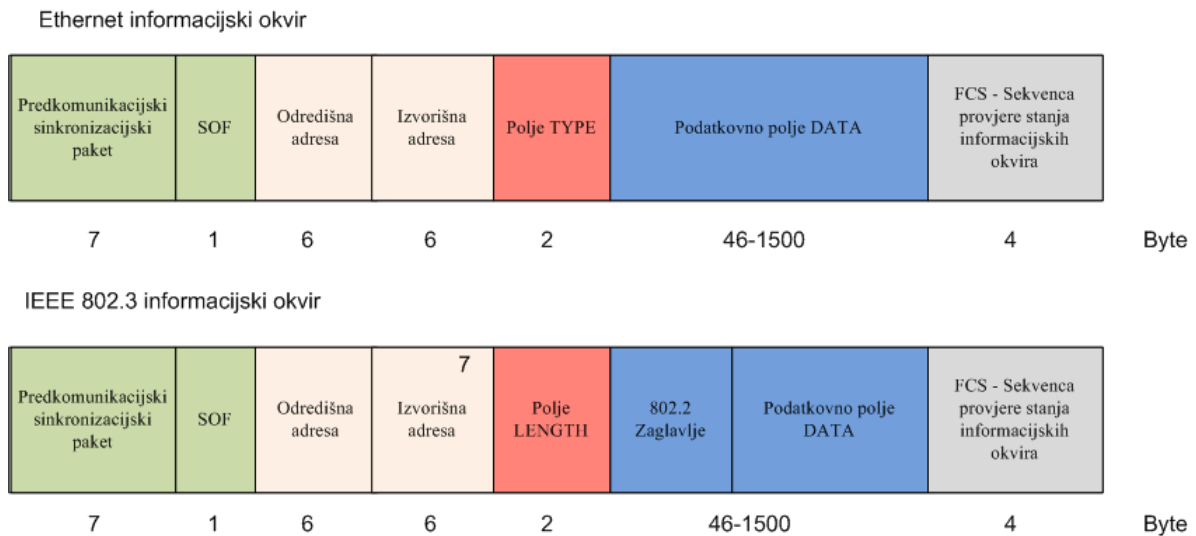
Uvođenjem 10 Gigabit inačice odnosno 10 GigE Ethernet standarda omogućena je integracija LAN i WAN informacijskih mreža. Navedeni 10 GigE standard pruža podršku za spajanje dva različita fizička sučelja s različitim radnim brzinama. Jedno sučelje se odnosi na lokalne informacijske mreže s brzinom deset puta većom od brzine GigE mreža odnosno LAN PHY mreže. Drugo se sučelje odnosi na WAN PHY informacijske mreže koje imaju radnu brzinu od **9,585 Gb/s**. Navedene brzine prijenosa koriste se i kod SONET/SDH sustava za prijenos podataka.

3.3. Sastavnice Ethernet tehnologije

Karakteristike najčešće korištenih Ethernet mreža su:

- Brzina prijenosa - **10 Mb/s, 100 Mb/s, 1000 Mb/s**
- Povezivanje - CSMA/CD
- Dimenzija MAC adrese – 6 bajtova
- Minimalna dimenzija informacijskog okvira – 64 bajta
- Maksimalna dimenzija informacijskog okvira – 1518 bajtova

Ethernet i 802.3 standard definiraju dva najkorištenija tipa informacijskih okvira prema slici 4.



Slika 4: Prikaz strukture ethernet i 802.3 informacijskih okvira

Funkcionalne sastavnice informacijskih okvira možemo podijeliti na:

- Predkomunikacijski sinkronizacijski paket
- Izvorišna i odredišna adresa
- Informacijska polja za prosljeđivanje mrežnog prometa
- Protokol za upravljanje logičkim vezama
- Zaglavlje podmrežnog pristupnog protokola

3.3.1. Predkomunikacijski sinkronizacijski paket

Karakteristična komponenta Ethernet i 802.3 informacijskih okvira je predkomunikacijski sinkronizacijski paket odnosno preamble. U Ethernet informacijskoj mreži ne postoji mehanizam za sinkronizaciju vremena. Iz tog je razloga potrebno odrediti specifično vrijeme koje mrežni uređaji koriste u svrhu detekcije postojanja odaslano signal. Kako bi mrežni uređaj detektirao odaslani signal, unutar informacijskog okvira se uvode predinformacijski bitovi. Na taj se način mrežni uređaji sinkroniziraju prije nego što zaprime bitove koji prenose informaciju.

Predkomunikacijski sinkronizacijski paket zapisan je kao sedam bajtova u obliku alternirajućeg niza jedinica i nula:

- 7 x 10101010

Oznaka za početak okvira (*eng. Start-Of-Frame, SOF*) označava kraj sinkronizacijskog ciklusa mrežnih uređaja i početak slanja informacijskih bitova. Forma oznake za početak okvira sastoji se od dva bajta alternirajućih jedinica i nula uz razliku da se na kraju bajta nalaze dvije jedinice:

- 2 x 10101011

3.3.2. Izvorišna i odredišna adresa

Izvorišna kao i odredišna adresa zapisuju se u obliku MAC adrese (*eng. Media Access Control Address*) prema slici 5. MAC adrese su adrese sklopovskih sastavnica koje jedinstveno identificiraju specifične uređaje odnosno informacijske čvorove na mreži.



Slika 5: Izvorišna i odredišna adresa u informacijskom okviru

- Izvorišna adresa – Podrazumijeva odašiljanje poruke sa specifičnog mrežnog uređaja stoga je uvijek u formi jednočvorne adrese (*eng. Single-Node Unicast*)
- Odredišna adresa – Podrazumijeva primatelja odaslane poruke.
 - Jedan primatelj - Jednočvorna adresa
 - Grupa primatelja – Adresa grupe čvorova (*eng. Group of nodes - Multicast*)
 - Svi mogući primatelji – Adresa svih čvorova (*eng. All nodes - Broadcast*)

Svaka pojedina adresa je povezana s specifičnim korisničkim odnosno poslužiteljskim mrežnim uređajem. Adresa se sastoji od 48 bitnog podatkovnog polja unutar kojeg se zapisuje globalno jedinstven identifikacijski broj. Adrese se dijele u dva karakteristična dijela:

- Jedinstveni organizacijski identifikator (*eng. Organizationally Unique Identifier, OUI*) – Dodjeljuje se mrežnoj komunikacijskoj kartici (*eng. Network Interface Card, NIC*) od strane IEEE organizacije
- Serijski broj mrežne komunikacijske kartice – dodjeljuje se specifičnoj kartici od strane proizvođača

Svi se različiti formati MAC adresa mogu predočiti binarnim zapisom. Jedinstveni se organizacijski identifikator unutar MAC adrese zapisuje s 24 bita informacije. Od tih 24 bita najbitniji su:

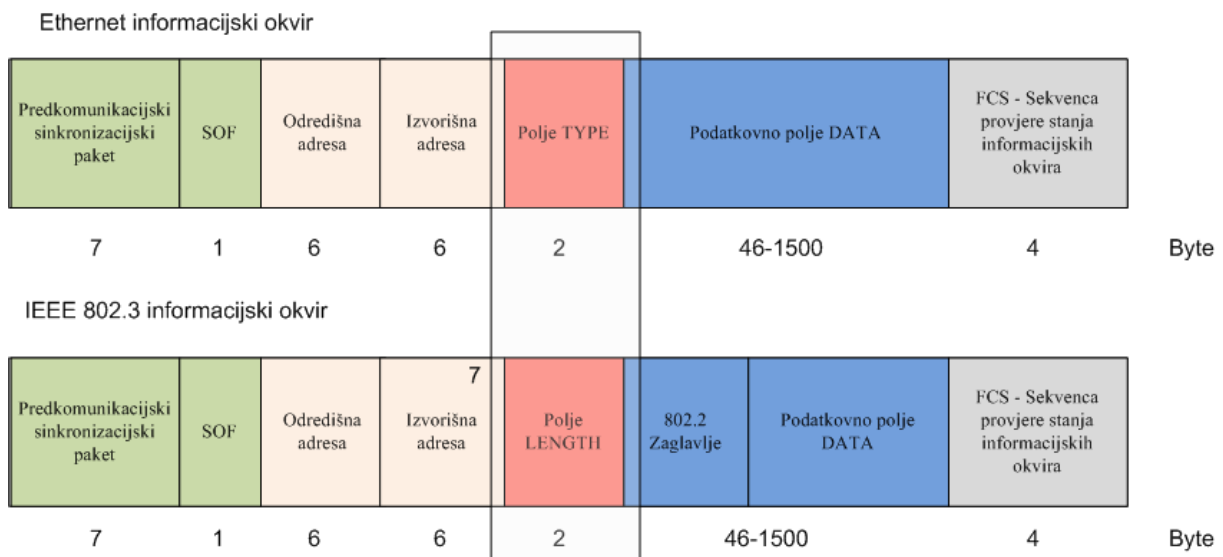
- Bit 47
 - Ukoliko je jednak nuli, predstavlja individualnu adresu
 - Ukoliko je jednak jedinici, predstavlja adresu s grupom čvorova
- Bit 46
 - Ukoliko je jednak nuli, predstavlja univerzalnu IEEE metodu adresiranja
 - Ukoliko je jednak jedinici, predstavlja lokalnu metodu adresiranja

Specifična MAC adresa je FF-FF-FF-FF-FF-FF. Navedena adresa se koristi isključivo kao adresa za slanje informacije svim čvorovima odnosno kao broadcast adresa.

Nedostatak sustava MAC adresiranja je činjenica da se sustav temelji na linijskoj shemi adresiranja uređaja (*eng. Flat addressing scheme*). Mana linijskog adresiranja proizlazi iz činjenice da je za pronalazak specifičnog mrežnog uređaja potrebno pregledati sve individualne uređaje spojene na mrežu. Zbog navedenog se nedostataka MAC adresiranje koristi isključivo na lokalnoj razini.

3.3.3. Informacijska polja za određivanje prosljeđivanja mrežnog prometa

Karakteristična razlika između Ethernet 2 i 802.3 standarda je razlika u identifikaciji protokola. Unutar Ethernet 2 protokola koristi se polje TYPE dok se u IEEE 802.3 protokolu koristi polje LENGTH. Navedena se polja koriste za identifikaciju protokola sloja 3 (*eng. Layer 3 Protocol*). Navedenim se protokolom kodiraju podaci koji tvore stvarnu informaciju (*eng. Payload*). Kodiranjem protokolom sloja 3 omogućava se prosljeđivanje mrežnog prometa prema definiranim mrežnim uređajima sloja 3 prema slici 6.

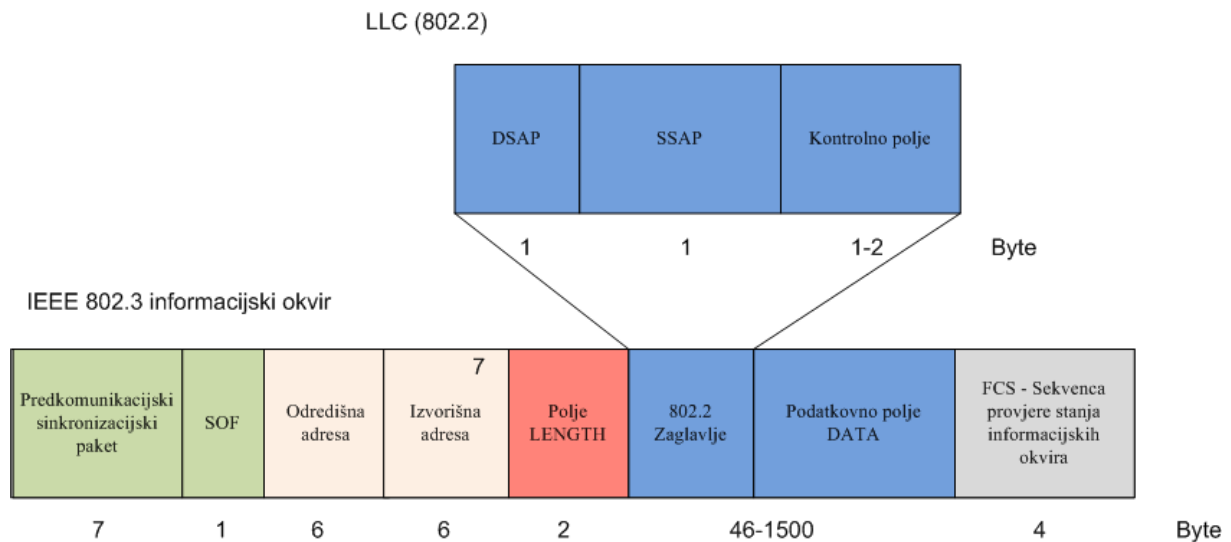


Slika 6: TYPE i LENGTH polja

- Ethernet polje TYPE – identificira vrstu protokola specifičnog podatkovnog polja u svrhu prosljeđivanja komunikacije protokolima višeg sloja
- 802.3 polje LENGTH – označava karakterističnu dimenziju podataka u podatkovnom polju

3.3.4. Protokol za upravljanje logičkim vezama

Standard 802.3 baziran je na polju LENGTH. Zbog korištenja navedenog polja ne postoji funkcija TYPE polja unutar IEEE 802.3 informacijskog okvira. Kao zamjena za polje TYPE kreiran je protokol za upravljanje logičkim vezama (*eng. Logical Link Control, LLC*). Dodatni je LLC protokol smješten iznad MAC sloja, ali se i dalje nalazi unutar podatkovnog sloja 2 prema slici 7.



Slika 7: Lokacija LLC protokola

Na razini LLC protokola nije u potpunosti definiran Ethernet protokol. Iz tog se razloga LLC protokol može koristiti i u ostalim vrstama lokalnih komunikacijskih mreža. Zbog višestrukih mogućnosti LLC protokola, kreiran je zasebni LLC sloj. Navedeni se LLC sloj sastoji od:

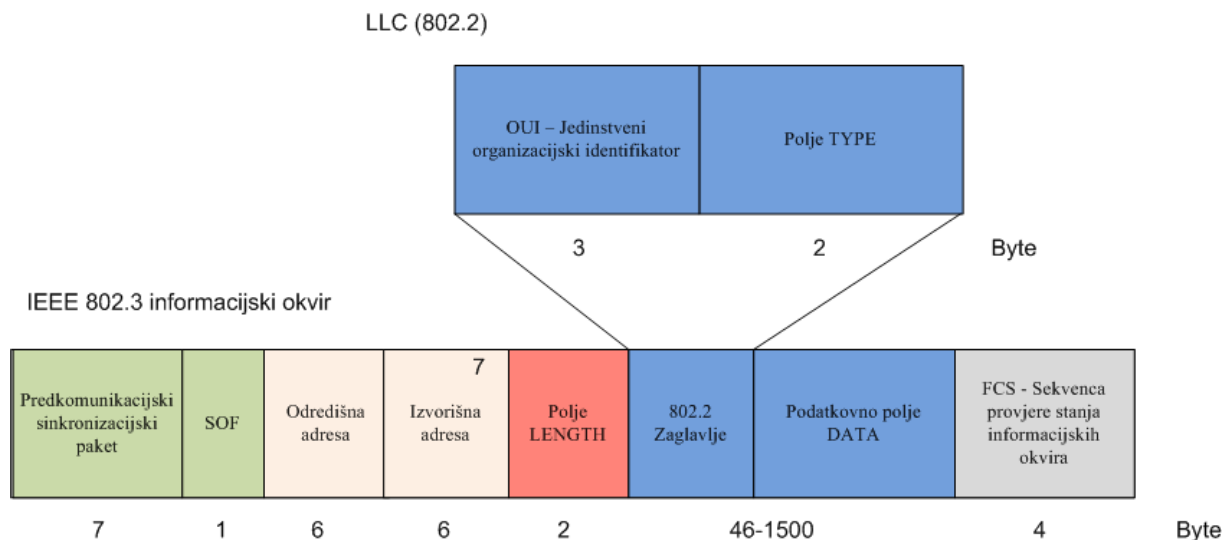
- Izvorišne/odredišne pristupne točke usluga (*eng. Destination or Source Service Access Points, DSAP/SSAP*) – Pristupne točke obuhvaćaju ekvivalentnu radnu funkciju kao i Ethernet 2 polje TYPE. Sastoje se od niza brojeva sa svrhom identifikacije protokola više razine kojima je za rad potreban pristup sadržaju podatkovnog polja. Za identifikaciju specifičnog protokola koristi se sedam bitova odnosno 128 karakterističnih brojevanih oznaka. Od 128 mogućih oznaka, 64 se brojevanje oznake alociraju za ISO protokole dok se preostalih 64 dodjeljuje specijaliziranim vlasničkim protokolima. Primarni bit odredišnih pristupnih točaka usluge identificira adresu usluge kao individualnu ili grupnu. Primarni bit izvorišnih pristupnih točaka usluge definira je li protokolarna

podatkovna jedinica (*eng. Protocol Data Unit, PDU*) specificirana kao jedinica za naredbu ili jedinica za odziv na informaciju.

- Kontrolno polje (*eng. Control field*) – Sastoji se od jednog bita informacije. U specijalnim se slučajevima koriste dva bita. Upravljačko polje prenosi 802.3 kontrolnu informaciju o vrsti usluge poput stanja povezanosti mrežnih jedinica.
- Dodatni bitovi u informacijskom okviru – Koriste se u svrhu osiguravanja minimalne potrebne duljine informacijskog okvira.

3.3.5. Zaglavlje podmrežnog pristupnog protokola

Zaglavlje podmrežnog pristupnog protokola (*eng. Subnetwork Access Protocol, SNAP*) karakteristična je komponenta 802.3 informacijskog okvira prema slici 8.

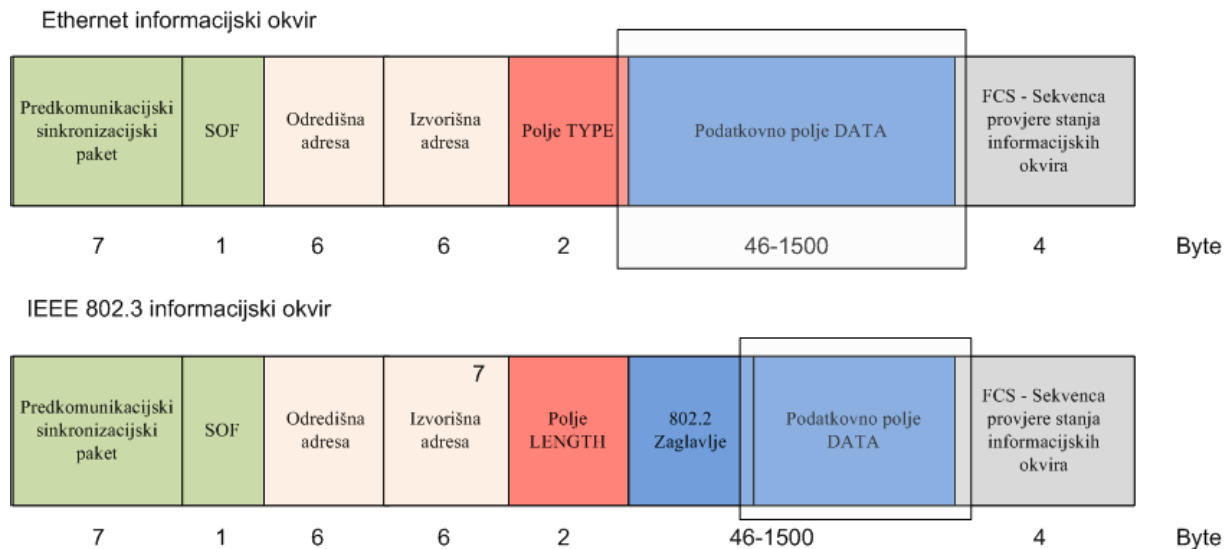


Slika 8: Prikaz lokacije zaglavlja podmrežnog pristupnog protokola

Podatkovno polje TYPE, Ethernet 2 standarda sadržava više od 1500 različitih vrijednosti dok zapis izvorišnih pristupnih usluga (*eng. Source Service Access Point, SSAP*) LLC protokola sadržava najviše 128. SNAP zaglavlje se dodaje u LLC sloj u svrhu osiguravanja kompatibilnosti Ethernet 2 i 802.3 informacijskog okvira. U SNAP segmentu informacijskog okvira, DSAP i SSAP komponente 802.3 informacijskog zaglavlja se podešavaju na heksadecimalnu vrijednost 0XAA. Prvih se pet bajtova podatkovnog polja koristi za opisivanje protokolarne identifikacije. Prva tri bajta određuju jedinstveni organizacijski identifikator dok se posljednja dva bajta koriste za određivanje vrijednosti TYPE podatkovnog polja.

3.3.6. Podatkovno polje

Razlike Ethernet 2 i IEEE 802.3 informacijskog okvira je i procesiranje podatkovnog polja prema slici 9.



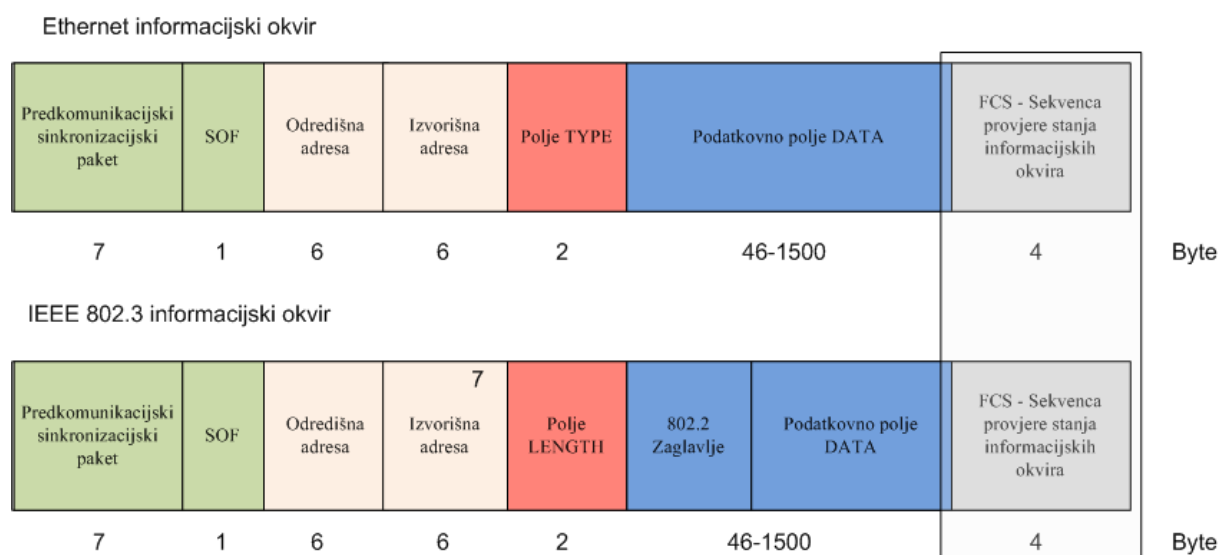
Slika 9: Prikaz lokacije podatkovnog polja

Podaci zapisani unutar informacijskog okvira se po završetku procesiranja fizičkog i konekcijskog sloja Ethernet protokola šalju u onaj protokol višeg sloja koji je identificiran u polju TYPE. Ethernet protokol pri izvršavanju radne operacije zahtjeva najmanje 46 bajtova podataka. Ethernet 2 standard ne specificira postojanje dodatnih bitova unutar informacijskog okvira. Ipak, zbog navedenog ograničenja od 46 bajtova, svi se dodatni bitovi moraju ukloniti. Uklanjanje dodatnih bitova se vrši protokolom više razine.

Kod IEEE 802.3 standarda, viši protokol nije direktno identificiran već se koriste informacije zapisane unutar podatkovnog dijela informacijskog okvira. Po završetku procesiranja fizičkog i konekcijskog sloja podaci se šalju u protokol višeg sloja. Minimalna veličina informacijskog okvira je 64 bajta. Ukoliko je skup podataka nedovoljan da popuni podatkovni dio informacijskog okvira, dodaju se dodatni bitovi za dopunjavanje. Navedeni se dodatni bitovi uklanjaju neposredno prije odašiljanja informacijskog okvira protokolu u višem sloju.

3.3.7. Sekvenca provjere stanja informacijskih okvira

Sekvenca provjere stanja informacijskih okvira je kodirana vrijednost generirana od strane predajne komunikacijske stanice. Dodjeljuje se prema pojedinom informacijskom okviru u svrhu otkrivanja potencijalnih grešaka prijenosa. Implementira se kao 32-bitni odnosno 4-bajtni ciklični kod za provjeru redundancije prema slici 10.



Slika 10: Prikaz lokacije sekvence provjere stanja informacijskih okvira

Nad navedenim se bitovima izvršava ciklični kod za provjeru redundancije (*eng. Cyclic Redundancy Check, CRC*). Navedeni ciklični kod je tehnika za provjeru postojanja potencijalnih grešaka uslijed prijenosa podataka. Osigurava preciznost prijenosa digitalnih podataka u komunikacijskom kanalu. Odaslani se signal dijeli u segmente predodređene veličine. Segmenti se dijele u odnosu na specifični broj odnosno djelitelj. Kao rezultat matematičke operacije dijeljenja promatra se ostatak dijeljenja koji se spaja s izvornom porukom te se skupa s njom odašilje u komunikacijski kanal. Prijamna stanica ponovno proračunava ostatak. Ukoliko se odaslani i novoproračunati ostatak ne podudaraju postoji greška u prijenosu. Ukoliko se otkrije greška u promatranom informacijskom okviru, navedeni se okvir odbacuje.

U svrhu ostvarivanja ispravnog rada Ethernet uređaja implementira se period čekanja između odašiljanja individualnih informacijskih okvira (*eng. Interframe Gap, IFG*) odnosno informacijskih paketa (*eng. Interpacket Gap, IPG*). Vrijeme čekanja je vrijeme oporavka mrežnih uređaja između dva sukcesivna informacijska okvira kojim se omogućuje izvođenje

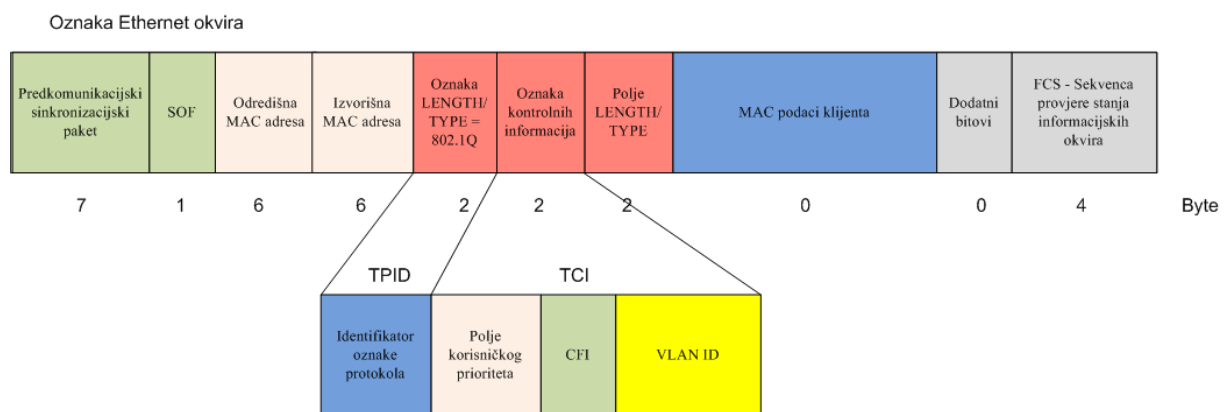
radnih operacija potrebnih za primitak slijedećeg informacijskog okvira. Trajanje vremena čekanja povezano je uz brzinu prijenosa bitova. Minimalno vrijeme čekanja je ono vrijeme potrebno za prijenos 96 bita odnosno 12 bajtova informacije.

Trajanja vremena čekanja naspram brzine prijenosa informacija:

- **10 Mb/s** Ethernet - vrijeme čekanja iznosi **9,6 μ s**
- **100 Mb/s** Ethernet - vrijeme čekanja iznosi **960 ns**
- **1 Gb/s** Ethernet - vrijeme čekanja iznosi **96 ns**

3.3.8. Oznake informacijskih okvira

Prva inačica Ethernet standarda definira minimalnu veličinu informacijskih okvira od 64 bajta, a maksimalnu 1518 bajta informacija. Uvođenjem 802.1Q standarda uvedeno je povećanje veličine informacijskog okvira u svrhu odvajanja mrežnog prometa prema zasebnim segmentima lokalne mreže. Nakon 802.1Q standarda, minimalna veličina informacijskog okvira je 68 bajtova dok je maksimalna veličina 1522 bajta informacije. Ovim je izmjenama omogućeno dodavanje VLAN informacijskih oznaka u strukturu informacijskih okvira. Korištene oznake Ethernet informacijskog okvira prikazane su na slici 11.



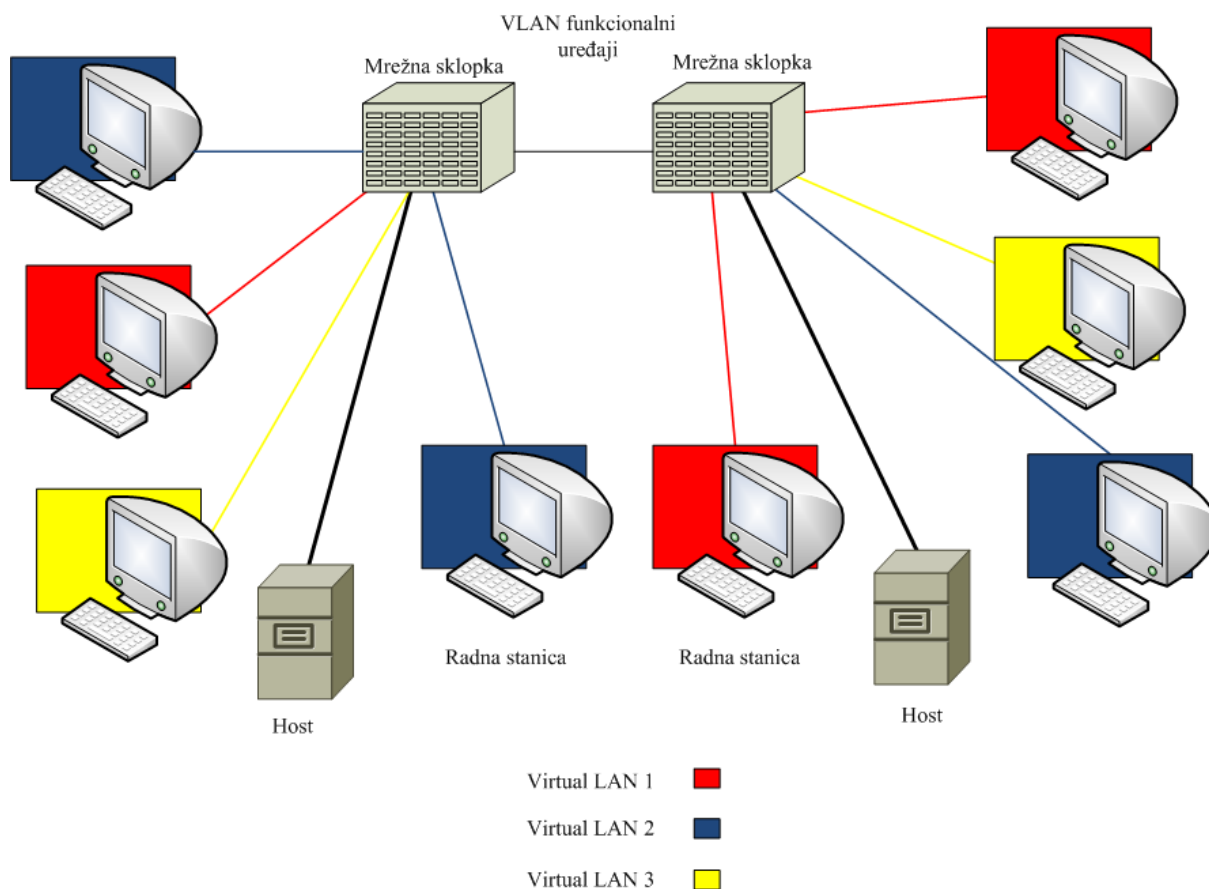
Slika 11: Lokacija ethernet okvira i VLAN identifikacije

- Identifikator oznake protokola (*eng. Tag Protocol Identifier, TPID*) – Pokazuje na oznaku zaglavlja okvira. Zauzima dva bajta informacije.
- Upravljačko polje informacijske oznake (*eng. Tag Control Field, TCI*) –
Dijeli se na:
 - Polje korisničkog prioriteta (*eng. User Priority Field*) – 3 bita
 - Indikator kanoničkog formata (*eng. Canonical Format Indicator, CFI*)
- 1 bit – Koristi se za obilježavanje postojanja odnosno nepostojanja polja za preusmjeravanje informacija
 - Identifikator virtualne lokalne mreže (*eng. Virtual Local Area Network Identifier, VID*)

Korištenje oznaka za VLAN omogućava stvaranje virtualnih lokalnih mreža i segregaciju mrežnog prometa unutar Ethernet infrastrukture. Uporaba virtualnih lokalnih mreža omogućava grupiranje mrežnih uređaja u logički odvojene informacijske domene. Segregacija mreže prema logičkim domenama zahtjeva korištenje dodatnog identifikacijskog zaglavlja u podatkovnom sloju Ethernet protokola. Prema 802.1Q standardu, uređaji se u VLAN mrežu mogu spojiti korištenjem mrežnog sučelja odnosno mrežnog porta, MAC adrese uređaja ili prema vrsti protokola individualnog mrežnog uređaja. Za spajanje uređaja u VLAN mrežu koristi se mrežni filter odnosno preusmjerivačka baza podataka (*eng Router/Switch Database*) neovisno o tome koja se metoda koristi za spajanje uređaja u VLAN mrežu. Podaci u bazi podataka mogu biti statički i dinamički.

- Protokol za generičku dodjelu atributa (*eng. Generic Attribute Registration Protocol, GVRP*) – Koristi se za dinamičko ažuriranje radne komunikacije između mrežnog porta i VLAN mreže (*eng. Port-to-VLAN*). Također se koristi za komunikaciju između VLAN zasebnih mrežnih preusmjerivača
- Protokol za grupno odašiljanje (*eng. Group Multicast Registration Protocol, GMRP*) – Koristi se za odašiljanje signala prema višestrukom broju mrežnih uređaja unutar jedinstvene VLAN mreže bez utjecaja na rad ostalih VLAN mreža

Na slici 12 prikazan je primjer VLAN mreže s dva preusmjerivača mrežnog prometa.



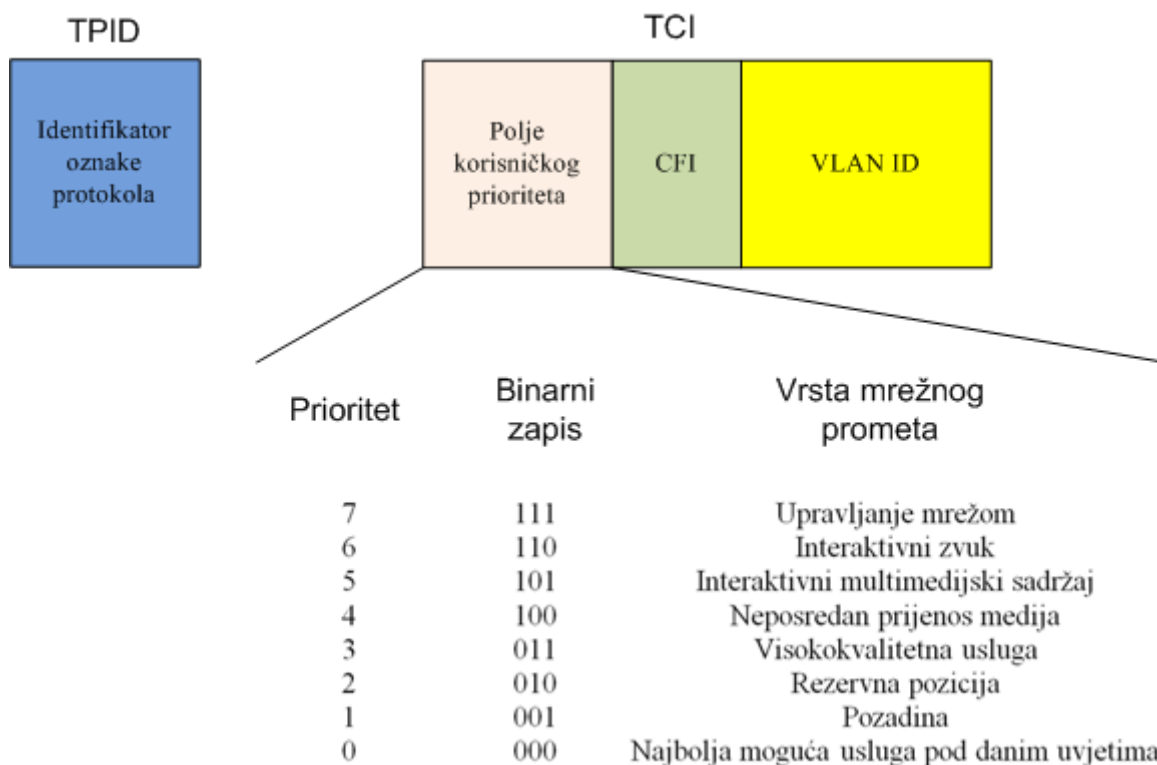
Slika 12: Primjer virtualne lokalne mreža (VLAN)

U slučaju implementacije ovakvog tipa sustava u sklopu 802.3Q standarda, mrežni preusmjerivači mogu ispravno raditi s VLAN zaglavljem informacijskog okvira. Vrsta mrežnog rada kod kojeg mrežni preusmjerivači mogu ispravno raditi s VLAN zaglavljem naziva se stvarnom vezom (*eng. True Link*). Komunikacija stvarnom vezom koristi eksplicitno označavanje. Oznaka VLAN zaglavlja dodaje se mrežne pakete u slučaju eksplicitnog označavanja. Ostali uređaji u mreži koji nisu dio VLAN strukture koriste pristupnu vezu (*eng. Access link*) uz implicitno označavanje paketa. Ukoliko postoji kombinacija VLAN pogodnih i nepodgovnih mrežnih uređaja, koristi se hibridna veza (*eng. Hybrid Link*).

3.3.9. Prioritet mrežnog prometa

Označavanje informacijskih okvira se koristi za stvaranje specifičnih VLAN mreža. Osim toga, označavanje se koristi i za određivanje prioriteta mrežnog prometa. Određivanje prioriteta mrežnog prometa uvedeno je 802.1p standardom. Navedenim je standardom omogućeno međupovezivanje individualnih MAC adresabilnih uređaja. Tijekom trajanja prikupljanja podataka (*eng. Traffic Buffering*), mrežni uređaj određuje koji se informacijski paket prvi šalje. Određivanje prioriteta paketa tijekom prikupljanja podataka koristi se u slučajevima dvije podatkovne veze s različitim brzinama prijenosa podataka.

U Ethernet informacijskom okviru postoje bitovi koji određuju prioritet poslanih podataka prema slici 13.



Slika 13: Prioritet i vrste mrežnog prometa

- Polje prioriteta korisnika (*eng. User Priority Value*) – To je polje veličine 3 bita. Omogućava određivanje 8 razina prioriteta. Nulta razina predstavlja najniži prioritet dok najviši prioritet predstavlja razina 7.

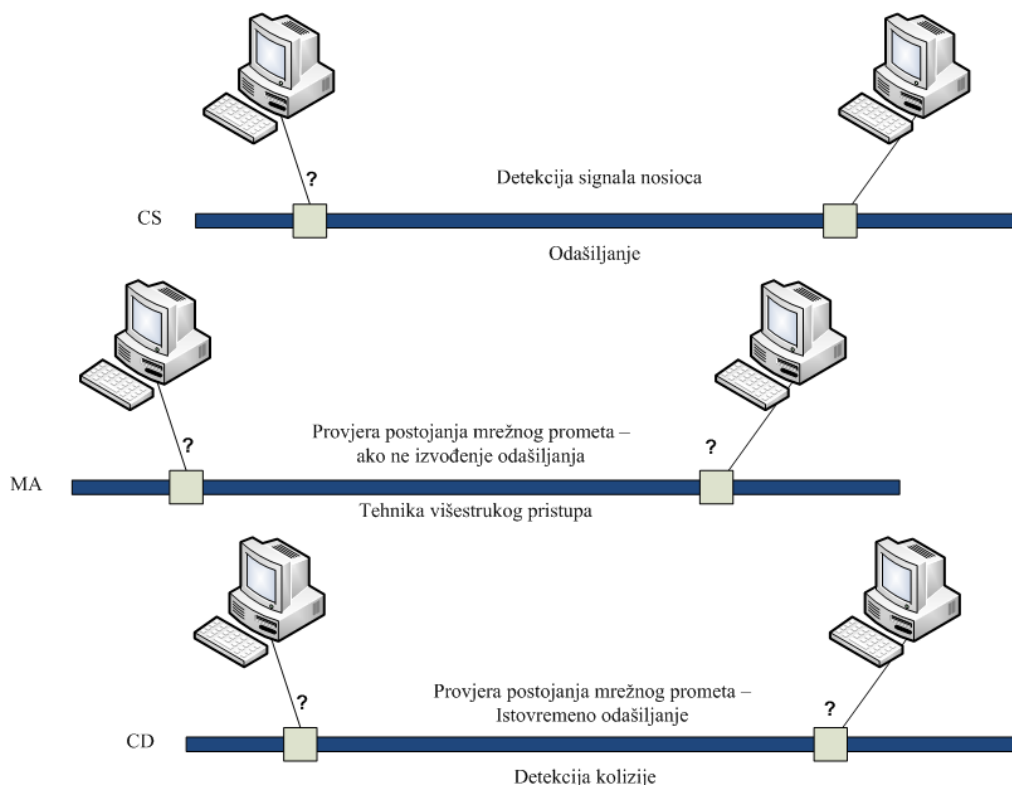
Korištenjem različitih razina prioriteta moguće je dodijeliti klasu specifičnom VLAN uređaju prema protokolu, MAC adresi ili broju porta preko kojeg je uređaj spojen. Implementacijom klasa specifičnih uređaja moguće je kreirati politiku prioritiziranja mrežnog prometa.

3.3.10. Upravljanje pristupa Ethernet medijem

Postoje dvije tehnike medijskim upravljanjem pristupom Ethernet standarda:

- Poluduplex (*eng. Half-duplex*)
- Potpuni duplex – (*eng. Full-duplex*)

Kod poluduplex Ethernet infrastrukture, mrežno ožičenje je zajedničko predajnom i prijamnom uređaju. Iz tog razloga mrežni uređaj ne može slati i primiti podatke istovremeno. Zbog nemogućnosti istodobnog slanja i primanja podataka potrebno je koristiti metodu upravljanja mrežnim prometom. Tehnika upravljanja mrežnim prometom koja se koristi u poluduplex sustavima je CSMA/CD prikazana na slici 14.

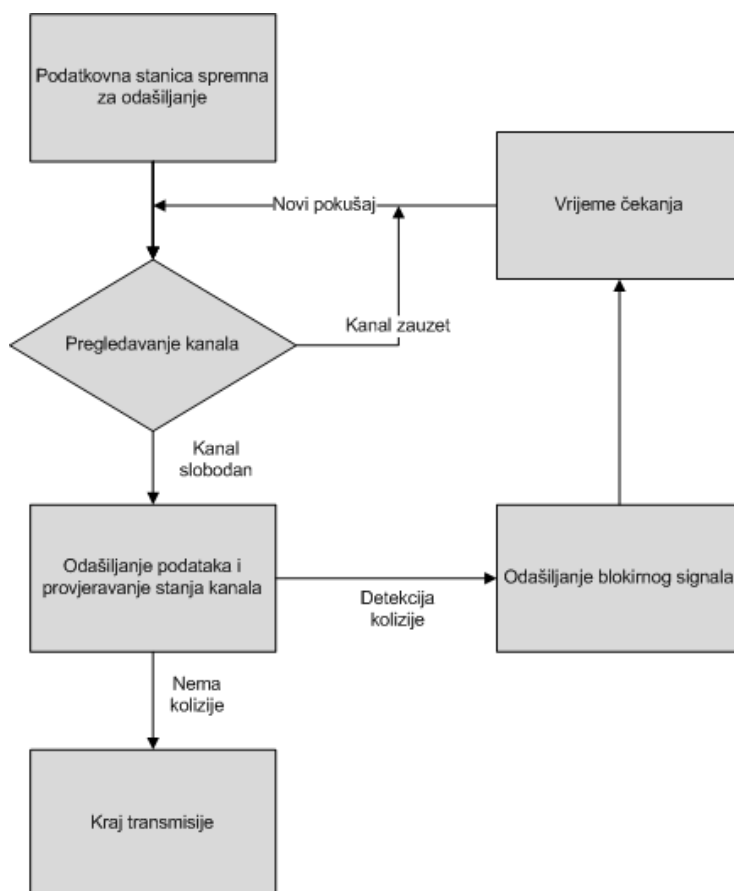


Slika 14: Prikaz CSMA/CD tehnike upravljanja mrežnim prometom

CSMA/CD tehnika se sastoji od:

- Detekcija signala nosioca (*eng. Carrier Sense, CS*) - U danom trenutku samo jedan uređaj može odaslati signal na mreži. Iz tog razloga postoji potreba za određivanjem stanja trenutne mrežne komunikacije. Detekcija signala nosioca određuje postoji li aktivna komunikacija u poluduplex mreži. Ukoliko ne postoji aktivna komunikacija, mrežni uređaj može poslati signal.
- Tehnika višestrukog pristupa (*eng. Multiple Access, MA*) - U Ethernet poluduplex infrastrukturi ne postoji direktna kontrola pristupa. Iz tog se razloga koristi tehnika višestrukog pristupa. Tehnika višestrukog pristupa definira hijerarhiju mrežnih uređaja na način da veći broj mrežnih uređaja ima jednaka prava na pristup odnosno slanje i primanje informacijskih paketa.
- Detekcija kolizije (*eng. Collision Detection, CD*) – U slučaju da dva ili više mrežnih uređaja pokuša u isto vrijeme pristupiti komunikacijskom kanalu dolazi do kolizije mrežnih paketa. Detekciju odnosno potvrdu da se dogodila kolizija mrežnih paketa potvrđuje NIC mrežna kartica. Mrežni uređaji koji su odgovorni za koliziju podataka prekidaju s radom i generiraju blokirajući signal sa svrhom zaustavljanja rada ostalih mrežnih uređaja. Podaci koji su već odaslani označavaju se kao podaci s greškom. Nakon izvršavanja koraka ispravka i sprječavanja kolizije, mrežni se uređaji koji su uzrokovali koliziju privremeno zaustavljaju u radu (*eng. Backoff Strategy*). Nakon isteka vremena privremenog zaustavljanja, mrežni uređaji ponovno ulaze u fazu detekcije signala nosioca.

CSMA/CD algoritam prikazan je na slici 15.



Slika 15: CSMA/CD algoritam

U infrastrukturi potpunog duplexa, mrežni su uređaji spojeni na način da mogu slati i primiti podatke u isto vrijeme. Prednost ovog pristupa je da full-duplex može omogućiti dvostruko veći širinu komunikacijskog pojasa od poluduplex konfiguracije. Mrežni uređaj u full-duplex konfiguraciji ne mora vršiti detekciju komunikacije ili kolizije paketa. Iz tog se razloga ne koristi CSMA/CD tehnika upravljanja mrežnim prometom. U svrhu upravljanja mrežnim prometom full-duplex mreže, kreiran je IEEE 802.3x mehanizam upravljanja tokom podataka (eng. *IEEE 802.3x Flow control*).

Full-duplex signalni sustavi koji podržavaju 802.3x mehanizam upravljanja tokom podataka su:

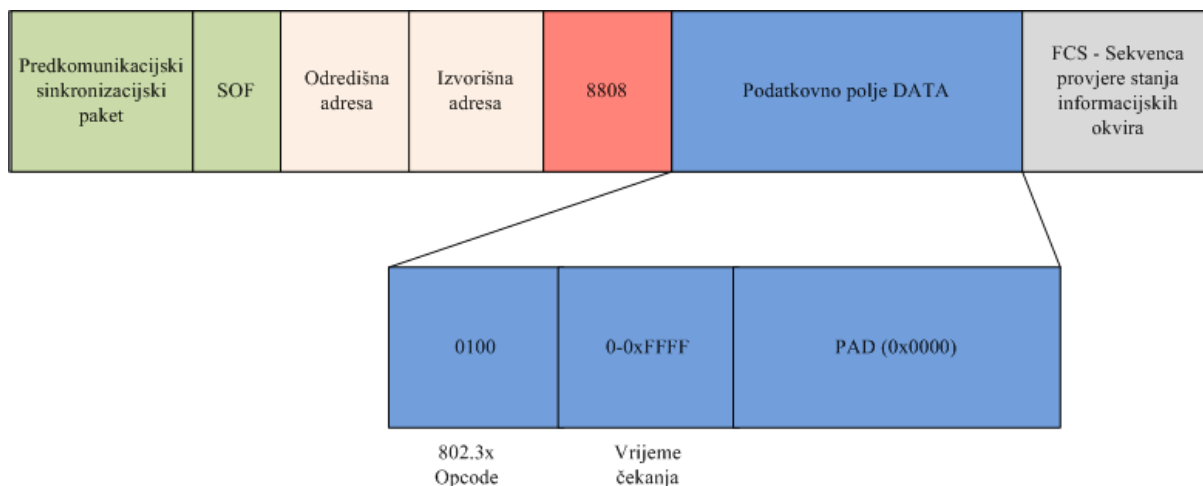
- 10Base-T
- 100Base-TX
- 100Base-FX
- 1000Base-T/X

Mehanizam upravljanja tokom podataka upravlja razmjenom informacija u mreži. Ukoliko mrežni uređaj ne može procesirati informacijske okvire, komunikacijskom partneru se odašilje poruka privremenog zaustavljanja mrežnog prometa (*eng. Pause message*). U poruci o privremenom zaustavljanju je navedeno vrijeme trajanja prestanka slanja informacijskih paketa. Bez korištenja mehanizma za upravljanje tokom podataka, dolazi do preopterećenja informacijskog spremnika. U tom su slučaju sve odaslane informacije izgubljene te je potrebno izvršiti ponovno odašiljanje prvobitne informacije. Upravljanje tokom podataka smanjuje potrebu za ponovnim odašiljanjem informacijskih paketa uslijed zagušenja veze što dovodi do smanjenja ukupne količine informacijskog prometa u mreži. Mehanizam upravljanja tokom podataka definira se za susjedne uređaje u mreži (*eng. Point-to-Point Link*). Upravljanje tokom podataka nije implementirano od početka do kraja mrežne veze (*eng. End To End Link*).

Osim 802.3x mehanizma razvijen je i XON/XOFF mehanizam. Rad mehanizma XON/XOFF:

1. Odašilje okvir zaustavljanja/nastavka rada (*eng. Pause Frame*) – Zaustavlja promet u mreži
2. Ponovno odašilje okvir zaustavljanja/nastavka rada – Pokreće promet u mreži

Okvir zaustavljanja i nastavka rada oblikovan je kao karakteristični Ethernet okvir prema slici 16. Specifičnost okvira zaustavljanja/nastavka rada je da je vrijednost polja TYPE jednaka 8808. Vrijeme zaustavljanja se specificira u DATA komponenti okvira prema navedenoj slici 16.



Slika 16: Oblikovanje i lokacija polja za zaustavljanje/nastavak rada

Osim upravljanja tokom podataka, za upravljanje komunikacijom para Ethernet uređaja koristi se tehnika automatskog uspostavljanja komunikacije (*eng. Auto-Negotiation*). Mrežni uređaji s aktivnom podrškom za automatsko uspostavljanje komunikacije izmjenjuju informacije o rasponu brzina prijenosa, vrsta prijenosa (potpuni duplex ili poluduplex struktura) i podršci za upravljanje tijekom podataka. Navedena izmjena informacija omogućuje uspostavljanje najkvalitetnije moguće veze između para mrežnih uređaja. U sustavima 1000Base-T, mehanizam automatskog uspostavljanja komunikacije uključuje i podršku za primarni radni sat (*eng. Master Clock*).

Mehanizam za automatsko uspostavljanje komunikacije u slučaju:

- Veze temeljene na bakrenim kabelima – Pri provjeri integriteta veze koristi se tehnika normalnog pulsnog signala (*eng. Normal Link Pulse, NLP*) ili tehnika brzog pulsnog signala (*eng. Fast Link Pulse, FLP*)
- Veze temeljene na optičkim kabelima – Umjesto FLP signala koristi se set specijaliziranih upravljačkih simbola

Pravila dodjele prioriteta Ethernet mreži naspram mehanizmu za automatsko uspostavljanje komunikacije prikazan je u tablici 2.

Tablica 2: Prikaz pravila za određivanje prioriteta u mehanizmu za automatsko uspostavljanje komunikacije

Razina prioriteta mehanizma za automatsko uspostavljanje komunikacije	Vrsta Ethernet mreže
A	1000Base-T
B	100Base-TX Full-Duplex
C	100Base-T4
D	100Base-TX
E	10Base-T Full-Duplex
F	10Base-T

10 GigE Ethernet mreža nema podršku za rad s navedenom tehnikom uspostavljanja komunikacije. Mehanizam za automatsko uspostavljanje komunikacije vrši provjeru od F prema A sve dok se ne postigne najviša moguća kvaliteta veze. Preusmjerivači i poslužitelji mogu promijeniti postavke komunikacije postavljene od strane mehanizma za automatsko uspostavljanje komunikacije.

U full-duplex sustavima koristi se tehnika agregacije veza (*eng. Link Aggregation*). Mehanizam agregacije veza omogućava povećanu raspoloživost veze uz povećanje komunikacijskog pojasa između para Ethernet uređaja kombiniranjem fizičkih komunikacijskih veza u jedinstvenu logičku cjelinu.

Agregacija veza omogućava implementaciju višestrukih komunikacijskih veza između:

- Para mrežnih preusmjerivača
- Preusmjerivača i poslužitelja
- Preusmjerivača i korisničke radne stanice

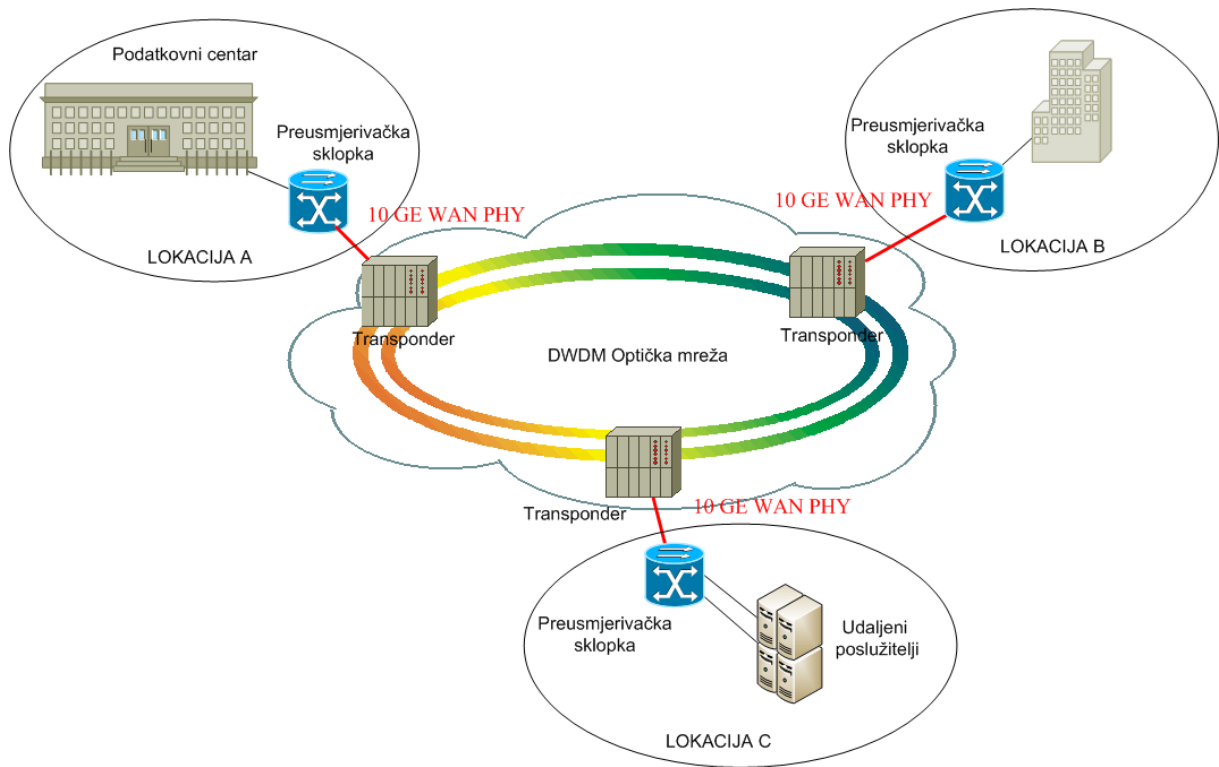
Prednosti agregacije veza su:

- Povećanje širine komunikacijskog pojasa kombiniranjem raspoloživih komunikacijskih linija
- Raspodjela mrežnog opterećenja distribuiranjem mrežnog prometa
- Redundancija uslijed postojanja većeg broja komunikacijskih veza

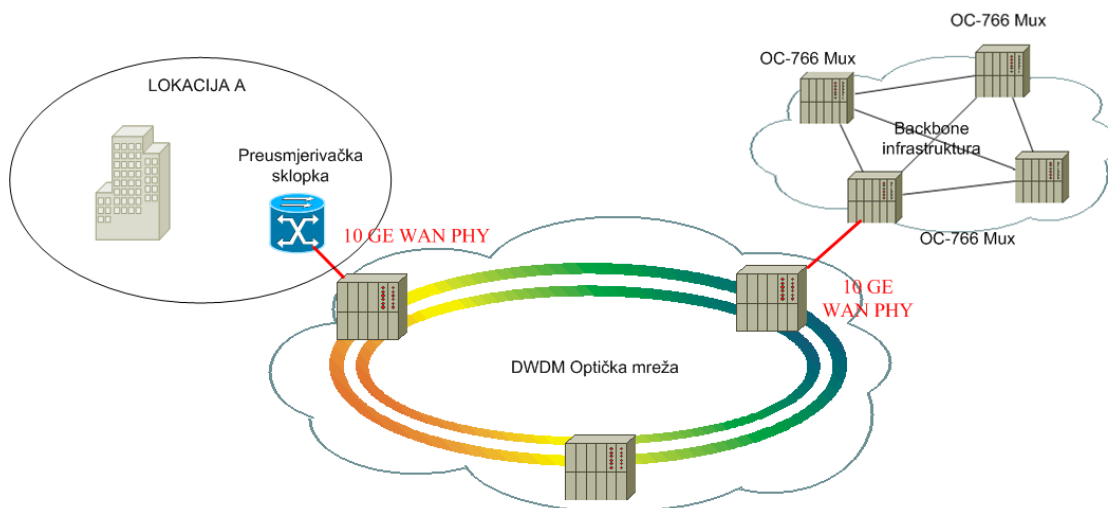
Mehanizam agregacije veza može se implementirati u specifičnom slučaju. Komunikacijske veze moraju biti postavljene u obliku point-to-point, sustav mora biti full-duplex i agregirani linkovi moraju imati jednaku brzinu prijenosa podataka.

3.3.11. Ethernet 10 Gigabit mreža

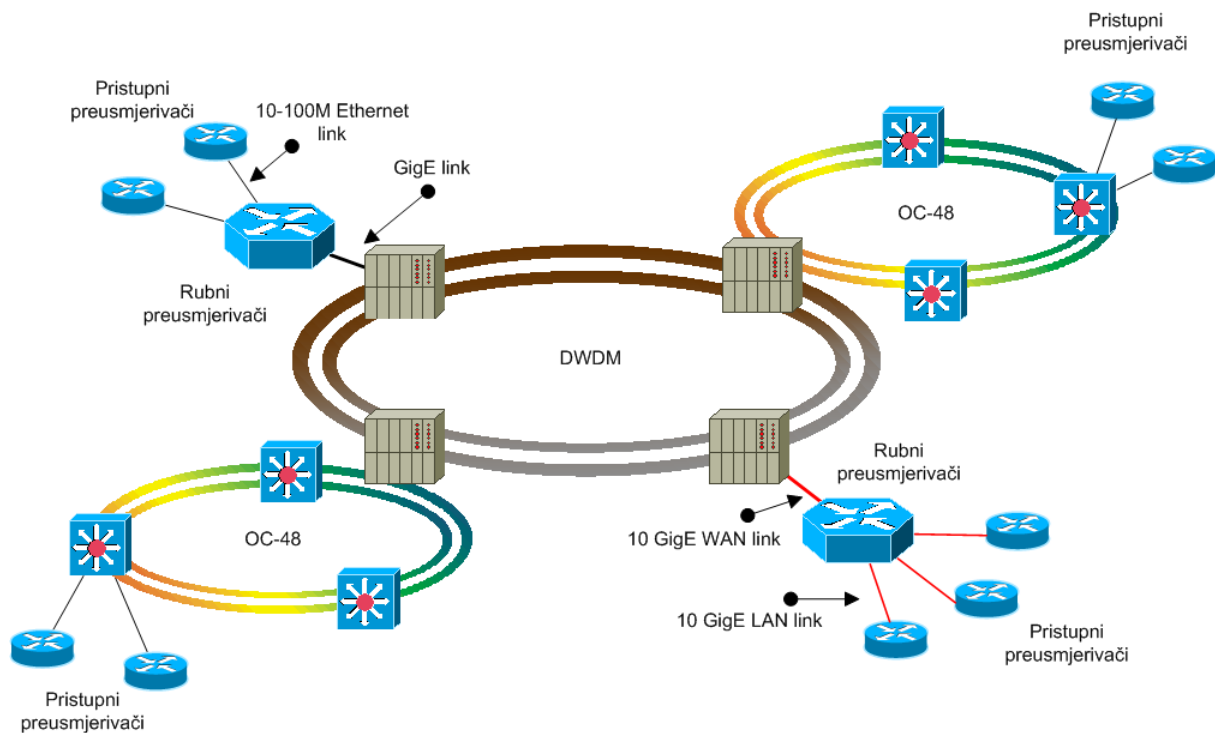
Ethernet 10 gigabit mreža naziva se i 10 GigE mrežom. Za razliku od 10/100/1000 Mb/s ethernet mreža, 10 GigE mreža je optimizirana za LAN i WAN komunikacijske strukture. Glavnina 10 GigE mreža za rad koristi komponente SONET/SDH sustava. Time se omogućava jednostavnija integracija 10 GigE i SONET/SDH sustava za prijenos podataka. Ethernet 10 Gigabit mreža za rad koristi 802.3 informacijske okvire. Gigabitna ethernet mreža radi isključivo u obliku point-to-point veza s full-duplex strukturom. Primjena ethernet 10 gigabitnih mreža je prikazana na slikama 17, 18 i 19.



Slika 17: Primjena 10 GigE WAN PHY mreže uz ITU-T kompatibilnost



Slika 18: Primjena 10 GigE WAN PHY mreže uz OC-768 kompatibilnost



Slika 19: Prikaz karakteristične primjene 10 GigE WAN i LAN PHY mreža

Specifikacije fizičkog sloja:

- LAN PHY – Radna brzina LAN PHY mreže je **10 Gb/s**. Koristi se isključivo za agregaciju i prienos GigE mrežnog prometa. Moguće je korištenje serijskog sučelja ili sučelja s multipleksiranjem uz podjelu valnih duljina signala. Serijsko sučelje implementira 64B/66B kodiranje signala uz linijsku brzinu prijenosa od **10,313 Gb/s**. Multipleksiranje podjelom valnih duljina odnosno 10Base-LX4 koristi 8B/10B kodiranje na četiri različita kanala. Svaki od četiri kanala radi s brzinom od **3,125 Gb/s**. Ukupna linijska brzina prijenosa podataka je **12,500 Gb/s**.
- WAN PHY – Brzina WAN PHY mreže je **9,5846 Gb/s**. Koristi se kao podrška pri spajanju 10 GigE i SONET/SDH mreža. Implementira sloj WAN sučelja u LAN PHY mrežu (*eng. WAN Interface Sublayer, WIS*). Sloj WAN sučelja zaprima podatkovne informacije te ih spaja sa SONET/SDH informacijskim okvirom. Na taj se način kreira pojednostavljeni SONET OC-192c/SDH STM-64c informacijski okvir. Stvarna brzina prijenosa WAN PHY mreže je zbog neistovjetnosti s karakterističnim SONET/SDH okvirom kao i zbog korištenja 64B/66B metode

kodiranja niža od LAN PHY mreže. WAN PHY se koristi kao sučelje između asinkronih i sinkronih mreža za prijenos podataka.

Karakteristike WAN PHY mreže:

- Podrška za kombinaciju vlastitih informacijskih okvira sa SONET/SDH okvirima
- Zanemaruje postojanje linijskih i sekcijskih podatkovnih komunikacijskih kanala (*eng. Data Communication Channel, DCC*)
- Zanemaruje postojanje administratorskih sustava za konfiguraciju sustava za prijenos podataka (*eng. Orderwire*)
- Pruža podršku za pokazivačko procesiranje (*eng. Pointer Processing*) čime se omogućuje rad na OC-768/STM-256 mrežama za prijenos podataka
- Podrška za primopredaju signala transportnih podatkovnih mreža (*eng. Facility Loopback*)

4. Primjena Ethernet tehnologije

Ethernet se koristi različitim vrstama mreža za prijenos podataka:

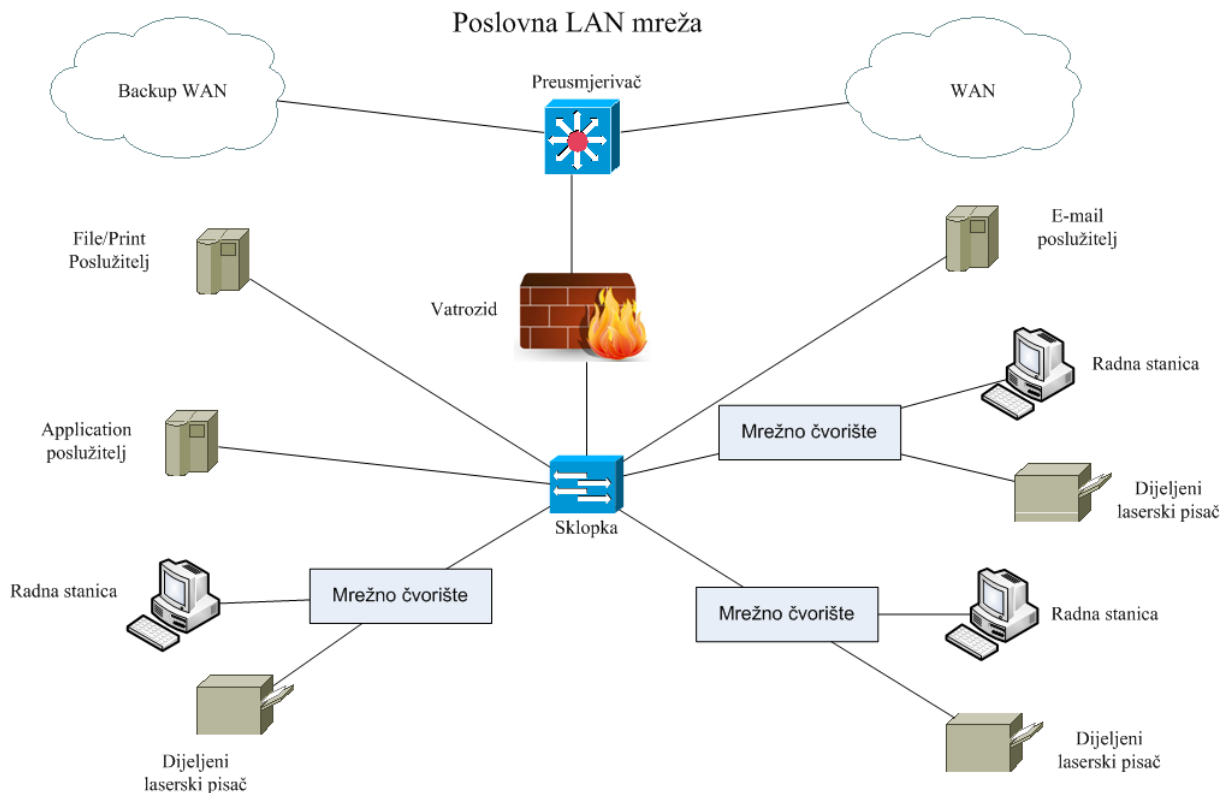
- Lokalne mrežama – LAN
- Pristupne mreže
- Metropolitan mreže – MAN
- Mreže za udaljen prijenos podataka – (*eng. Long Haul WAN*)

4.1. Primjena etherneteta u lokalnim mrežama

Lokalne mreže su skup računala i pripadnih mrežnih uređaja smještenih u logičku strukturu na geografski maloj lokaciji poput zgrade ili grupe zgrada. Uređaji se u LAN mrežu povezuju koaksijalnim kabelima, kabelima s parom uvijenih bakrenih parica, svjetlovodnim nitima, sustavima s infracrvenim svjetlom ili bežičnom radiovezom.

Ethernet je najkorištenija LAN tehnologija. Najčešći LAN ethernet standardi su 10Base-T, 100Base-T i 1000Base-T.

Na slici 20 prikazana je karakteristična LAN mrežna klijent/poslužitelj arhitektura.



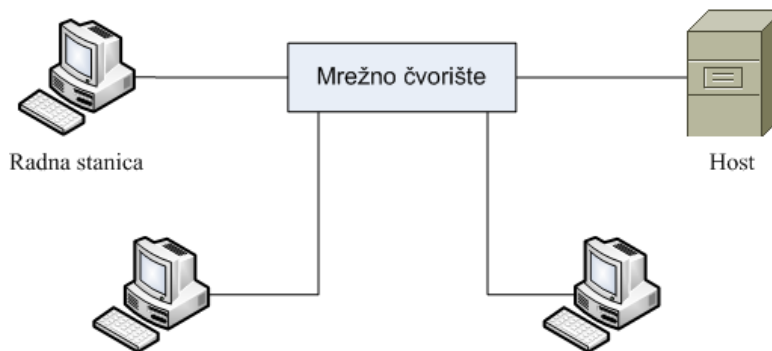
Slika 20: Prikaz karakteristične LAN poslovne mreže

Manje ethernet mreže poput LAN mreža za kućanstvo ne koriste informacijski poslužitelj već koriste arhitekturu povezivanja između klijenata (*eng. Peer-to-Peer Architecture*).

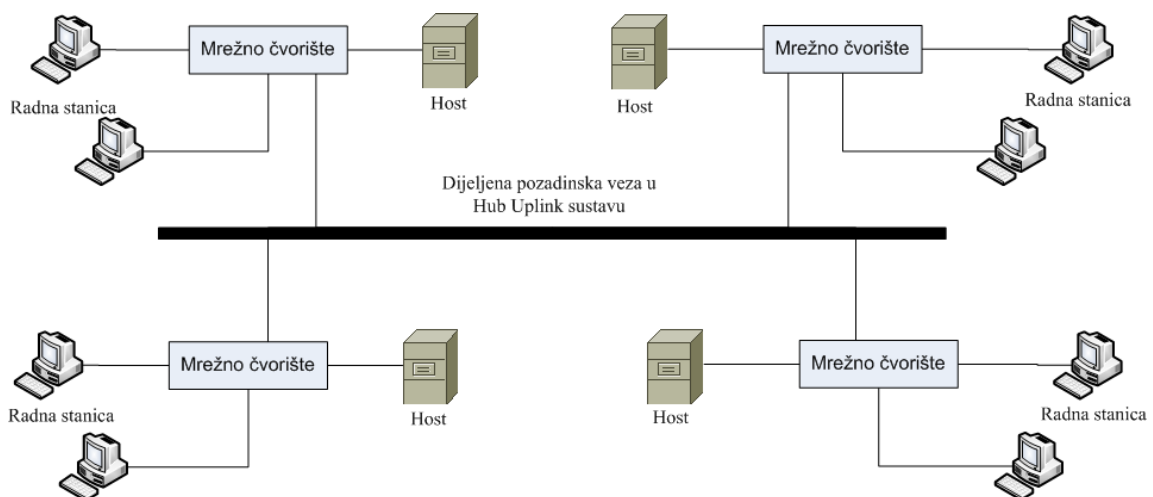
Karakteristične komponente LAN mreže su:

- Mrežni ponavljač (*eng. Repeater*) – Uređaj koji povezuje dva segmenta mreže. Manipulacijom logičke strukture mreže i spajanjem segmenata zaobilaze se ograničenja nastala zbog predefiniраних duljina kabela. Ponavljač regenerira odnosno obnavlja oslabljeni mrežni signal. Najveći mogući broj mrežnih ponavljača između bilo koja dva klijentska računala ne smije biti veći od četiri.
- Mrežno čvorište (*eng. Hub*) – Koristi se kao mrežni ponavljač s većim brojem mrežnih portova. Mrežno se čvorište koristi za povezivanje uređaja u jedinstvenu logičku cjelinu. Čvorišta mogu imati različita sučelja prema specifičnim vrstama kabela. Osim toga mogu vršiti i pretvorbu brzine prijenosa podataka. Kao i u slučaju mrežnih ponavljača, najveći broj serijski spojenih mrežnih čvorišta je četiri. Svi se mrežni uređaji spojeni na čvorište nalaze u jedinstvenoj domeni kolizije mrežnog prometa. Iz

tog razloga navedeni mrežni uređaji moraju imati omogućenu podršku za upravljanje kolizijom. Budući da je domena kolizije jedinstvena za uređaje spojene na čvorište, pojedini uređaji moraju vršiti odašiljanje podataka prema redoslijedu odnosno jedan po jedan. Za male i srednje količine mrežnog prometa koristi se CSMA/CD tehnika upravljanja kolizijom. U slučaju velikih mrežnih opterećenja većinu mrežnog prometa zauzimaju događaji kolizije informacija. Zato se u slučaju velikog opterećenja koristi segmentacija mreže uporabom mrežnih preusmjerivača. Na slici 21 je prikazana uredska LAN mreža s 10Base-T mrežnim čvorištem, dok je na slici 22 prikazano dodavanje korisnika u mrežu primjenom višestrukih čvorišta.



Slika 21: Uredska LAN mreža s 10Base-T mrežnim čvorištem

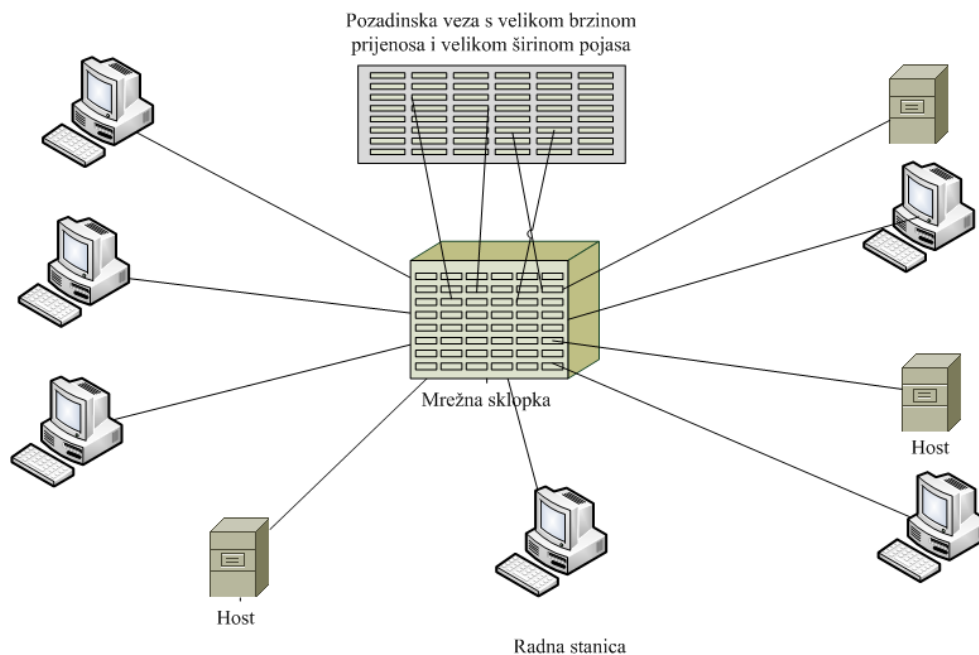


Slika 22: Prikaz dodavanja korisnika u mrežu primjenom višestrukih mrežnih čvorišta

- Mrežni most (*eng. Bridge*) – Mrežni most dijeli mrežu u dva odvojena segmenta. Korištenjem mrežnog mosta, mrežni se promet ograničava na isključivo jedan segment osim u slučaju da specifični mrežni uređaj zahtjeva pristup drugom segmentu mreže (*eng. Bridging*). Mrežno segmentiranje se izvodi prema MAC adresama mrežnih uređaja. Segmentiranjem mreže smanjuje se protok podataka čime se umanjuje broj mrežnih kolizija.
- Mrežna sklopka (*eng. Switch*) – Uređaj koji se koristi kao multisegmentni mrežni most. Pojedini je segment mrežne sklopke spojen na pripadni port. Svaki se mrežni port odnosno segment može spojiti sa bilo kojim preostalim portom odnosno segmentom. Sklopke imaju veliku širinu komunikacijskog pojasa. Ovime se omogućuje privremena aktivna veza između para mrežnih uređaja (*eng. Wire-speed*) uz istovremenu aktivaciju povezivanja drugog para mrežnih uređaja. Ukoliko su svi klijenti u LAN mreži neposredno spojeni s mrežnom sklopkom, brzina prijenosa podataka je maksimalna moguća uz nepostojanje kolizije mrežnog prometa. Mrežne sklopke omogućuju istovremeno odašiljanje većeg broja informacijskih signala. Sklopke mogu biti izvedene na način da omogućuju rad s VLAN informacijskim okvirima što omogućuje stvaranje virtualnih lokalnih mreža. Za rad mrežnih sklopki koriste se navedene tehnike prespajanja mrežnog prometa:
 - Direktno prespajanje (*eng. Cut-Through*) – U slučaju direktnog prespajanja, informacijski se okvir prosljeđuje u trenutku primitka (*eng. On-the-Fly*). Ovo je najbrža vrsta prosljeđivanja okvira, ali ne omogućava korištenje FCS provjere. Problem s direktnim prespajanjem očituje se na način da povezani uređaji moraju raditi u istom LAN komunikacijskom formatu.
 - Modificirano direktno prespajanje (*eng. Modified Cut-Through*) – Ima sporiju brzinu prijenosa od direktnog prespajanja. Sprema 64 bajta zaprimljenog informacijskog okvira prije nego što se okvir prosljeđuje. Nedostaci modificiranog direktnog prespajanja su jednaki kao i u slučaju direktnog prespajanja. Koristi se za uklanjanje kratkih okvira (*eng. Short Frames / Runts*).
 - Spremi/Proslijedi prespajanje (*eng. Store and Forward*) – Najsporija tehnika prespajanja mrežnog prometa. U potpunosti sprema informacijski okvir prije daljnjeg prosljeđivanja. Ovime se omogućava

potpuna FCS provjera okvira. Također je moguće prespojiti podatkovno polje na mrežni uređaj s LAN formatom različitim od formata uređaja koji je odaslao izvorni signal.

Na slici 23 je prikazana LAN mrežna topologije funkcionalno određena mrežnom sklopkom sloja 2.

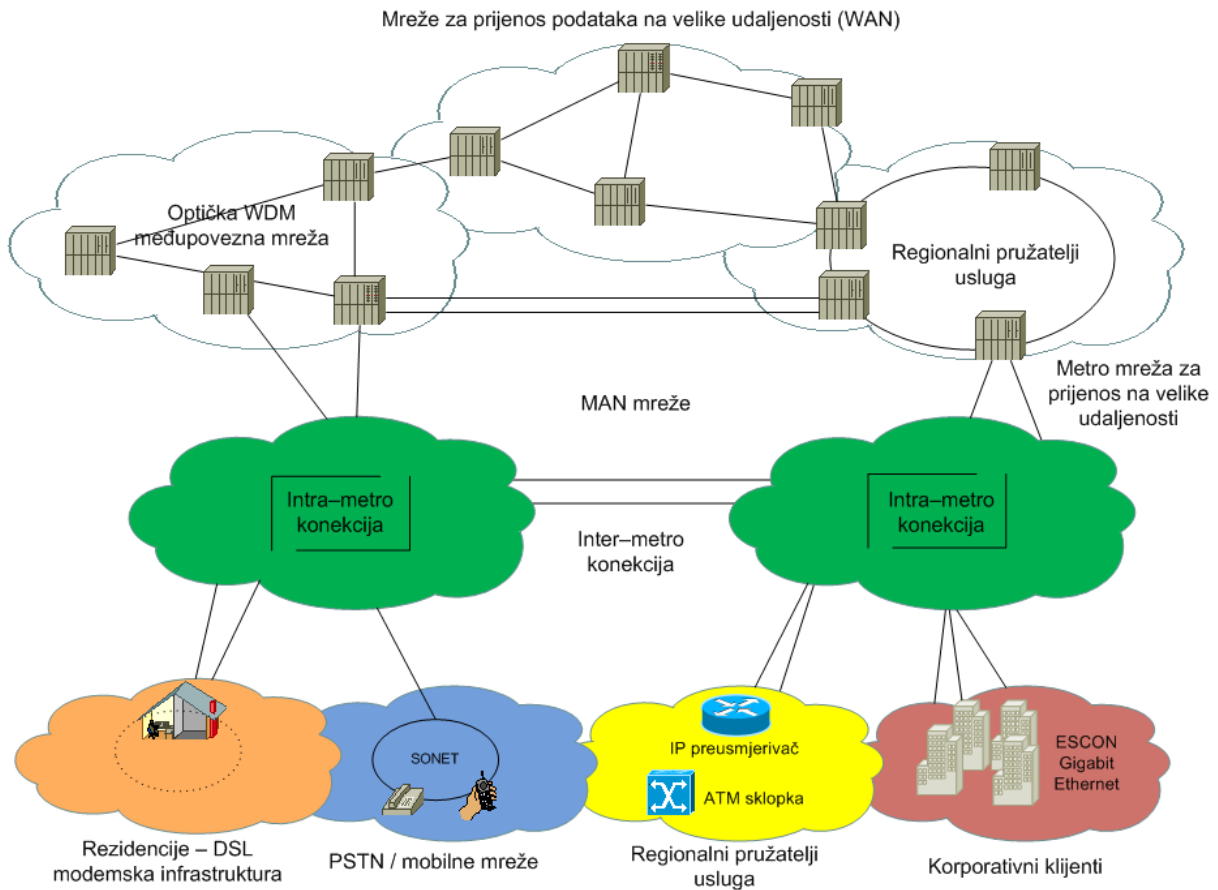


Slika 23: Karakteristična poslovna LAN mreža s mrežnom sklopkom sloja 2

- Mrežni preusmjerivač (*eng. Router*) – Uređaj koji obavlja funkciju višeslojne mrežne sklopke. Mrežni se preusmjerivač koristi za upravljanje mrežnim prometom sloja 3 odnosno internet protokolom. Radna funkcija uređaja obuhvaća pregledavanje IP adrese mrežnog uređaja te određivanje MAC adrese uređaja povezanog s promatranom IP adresom. Povezivanje MAC i IP adrese mrežnog uređaja omogućuje ispravno prosljeđivanje mrežnog prometa u sloju 2 ethernet mreže. Za povezivanje MAC i IP adresa mrežnih uređaja, mrežni preusmjerivači koriste ARP protokol.

4.2. Ethernet u pristupnim mrežama

Osobna računala i mrežni uređaji LAN mreže povezani su s globalnom mrežom korištenjem pristupne mreže (*eng. Access Network*) prema slici 24.



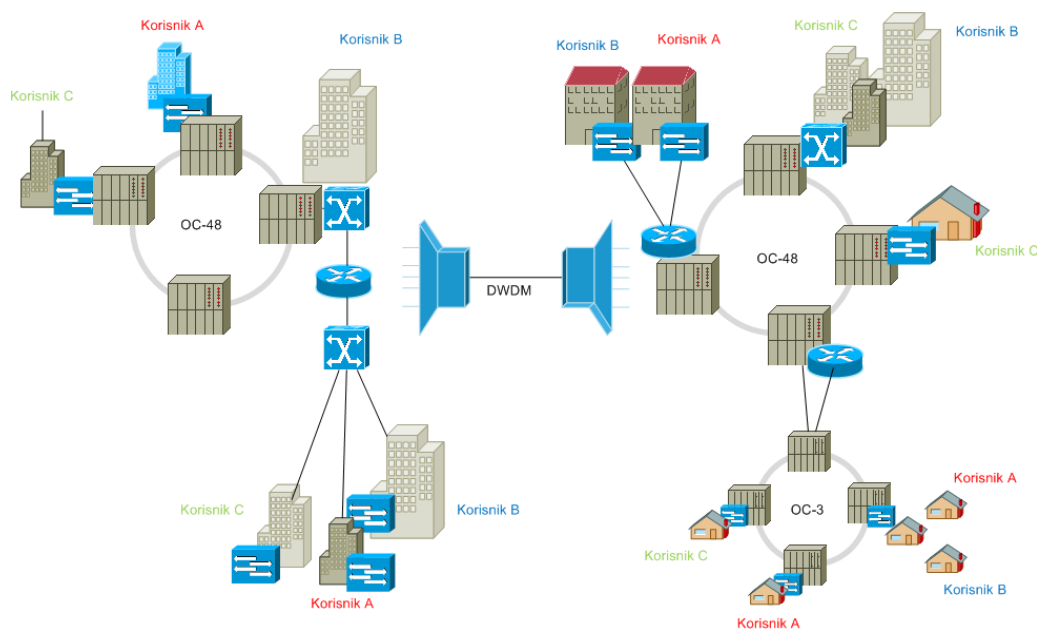
Slika 24: Prikaz veza između pristupnih, MAN i WAN mreža

Pristupna se mreža definira kao mreža duljine jedne milje koja povezuje lokalnu i metro odnosno gradsku mrežu. Pokriva relativno malo geografsko područje unutar kojeg povezuje mrežne pretplatnike odnosno LAN korisnike s MAN mrežom. Ukoliko se metro mreža nalazi u neposrednoj blizini lokalne mreže moguće je izbjeći korištenje sustava pristupne mreže. Za spajanje udaljenih MAN mreža koriste se prijenosne mreže za velike udaljenosti (*eng. Long Haul Telecom Networks*) te se kreiraju WAN mreže.

Za implementaciju pristupnih mreža koriste se prijenosni mediji poput bakrenih kabela, hibridnih svjetlovodno-koaksijalnih kabela (*eng. Hybrid fiber coax, HFC*) ili svjetlovodnih niti. Svjetlovodne se pristupne mreže implementiraju u obliku pasivnih optičkih mreža (*eng.*

Passive Optical Network, PON) ili kao FTTx strukture. Pristupne mreže obuhvaćaju podršku za rad s ATM protokolom, tehnikom prijenosa informacijskih okvira, SONET/SDH sustavom, ethernet protokolom i višeprotokolarnim preusmjeravanjem informacijskih paketa prema oznakama putanje (MPLS). Iako se ethernet usluge mogu implementirati korištenjem bilo koje od navedenih pristupnih tehnologija, najjeftinija i najjednostavnija metoda je korištenje ethernet pristupnih linija.

Karakteristična brzina rada ethernet pristupnih mreža je **1000 Mb/s** što obuhvaća strukturu gigabitnog etherneteta odnosno GigE strukturu. Mrežni se promet prosljeđuje mrežnom korisniku korištenjem pristupnog mrežnog preusmjerivača ili prespojnika. Na taj se način može ograničiti propusnost mrežnog prometa od strane metro mreže prema korisniku. Propusnost se može povećavati ili smanjivati u koracima od **1 Mb/s**. Korištenjem VLAN oznaka u informacijskim okvirima, pružatelji usluga mogu segmentirati mrežni promet i na taj način kreirati sigurne virtualne mreže prema pojedinom korisniku koristeći zajedničku mrežnu infrastrukturu (*eng Common Backbone*) prema slici 25.



Slika 25: Prikaz sigurnih virtualnih mreža prema individualnim korisnicima u MAN mreži

4.3. Ethernet u gradskim mrežama

Gradske odnosno MAN mreže karakteristično pokrivaju geografska područja površine od nekoliko stotina kilometara te opslužuju gradska područja. Gradske mreže povezuju pristupne mreže te služe kao veza za povezivanje s WAN mrežama. Najčešća tehnologija za izvedbu MAN mreža je SONET/SDH. Koristi point-to-point topologiju ili topologiju s dodavanjem i uklanjanjem multipleksiranih signala u obliku prstena (*eng. Add/Drop Multiplexer ring topology, ADM*). Osim SONET/SDH tehnologije koristi se i 10 GigE ethernet tehnologija zbog manjih troškova implementacije i jednostavnijeg preventivnog i korektivnog održavanja.

4.4. Ethernet u globalnim mrežama i mrežama za prijenos podataka na velike udaljenosti

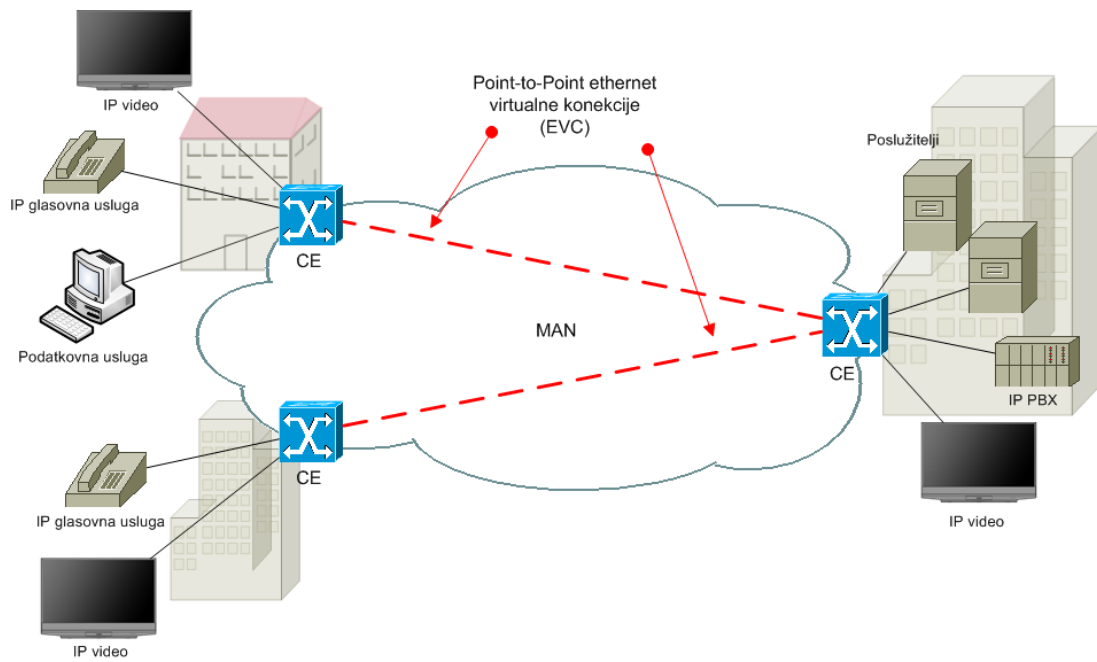
Globalna odnosno WAN mreža pokriva veliko geografsko područje korištenjem mreža za prijenos podataka na velike udaljenosti. Mreže za prijenos podataka na velike udaljenosti prostiru se na udaljenosti od nekoliko tisuća kilometara i povezuju MAN mreže u globalnu strukturu. Karakteristična izvedba WAN infrastrukture zasniva se na SONET/SDH tehnologiji uz korištenje DWDM tehnologije. Uvođenjem 10GigE etherneteta omogućeno je korištenje zasebne valne duljine u DWDM mreži za prijenos podataka na velike udaljenosti u svrhu prijenosa ethernet informacijskog okvira u izvornom obliku čime se pojednostavljuje implementacija ostalih ethernet usluga.

4.5. Vrste ethernet usluga

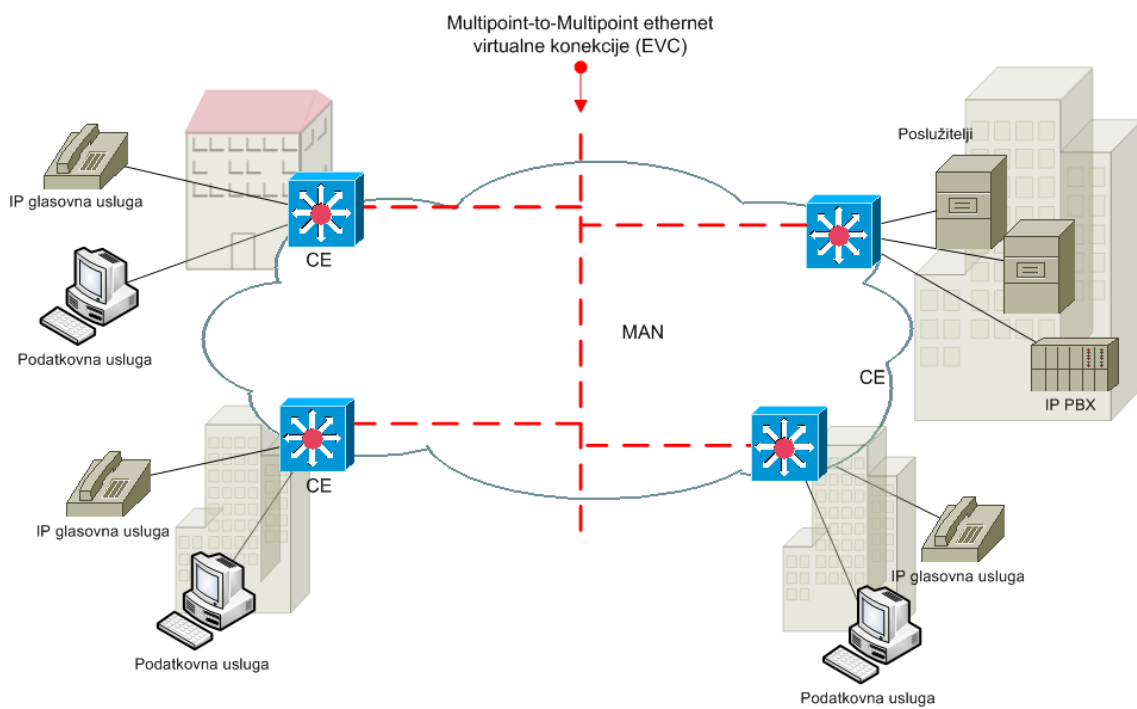
Ethernet usluge se mogu podijeliti na linijske usluge i usluge u sustavu lokalnih mreža.

- Ethernet linijske usluge – E-Line – Koriste se kod point-to-point veza. E-Line usluga se koristi za stvaranje privatnih komunikacijskih veza, usluga za pristup Internetu temeljenih na ethernet tehnologiji i kreiranju ethernet virtualnih privatnih mreža.
- Ethernet LAN usluge – E-LAN – Koriste se za multipoint-to-multipoint povezivanje. E-LAN usluge su namijenjene za implementaciju ethernet lokalnih virtualnih privatnih mreža i ethernet transparentnih LAN usluga uz korištenje izvornih ethernet informacijskih okvira.

Na slici 26 prikazana je E-line usluga dok je na slici 27 prikazana E-LAN ethernet usluga.



Slika 26: Prikaz ethernet linijske usluge



Slika 27: Prikaz ethernet LAN usluge

Na slikama 25 i 26 prikazan je raspored mreža za prijenos podataka te načini povezivanja LAN infrastrukture korisničkom opremom (*eng. Customer Edge, CE*) s MAN mrežom. Za povezivanje pojedinog korisnika potreban je jedan CE uređaj neovisno o broju implementiranih ethernet virtualnih konekcija (*eng. Ethernet Virtual Connection, EVC*).

Obje vrste ethernet usluga omogućuju korištenje privatnih i virtualnih mrežnih usluga. U slučaju privatnih usluga, korisniku se dodjeljuje specifična širina kanala neovisno o stvarnoj zauzetosti kanala. Privatna usluga ne koristi specifično dodijeljene fizičke konekcije već koristi uslugu predodređene širine kanala (*eng. Dedicated-Bandwidth Service*) koja se implementira korištenjem javne mrežne infrastrukture. Odvajanje individualnih korisnika se ostvaruje enkapsulacijom paketa i kreiranjem specifičnih logičkih veza.

Za razliku od privatnih, virtualne usluge vrše podjelu komunikacijskog pojasa na korisnike mrežne usluge. Korištenje virtualnih usluga je jeftinije od privatnih zbog činjenice da pružatelji virtualnih usluga mogu procesirati komparativno veću količinu mrežnog prometa dinamičkom raspodjelom neiskorištenog kapaciteta komunikacijskog kanala.

Kombinacijom virtualnih i privatnih E-Line i E-LAN usluga kreiraju se četiri vrste ethernet usluga:

- Usluga ethernet privatnih linija (*eng. Ethernet Private Lines*) – Ova se usluga temelji na point-to-point konekciji s predodređenom veličinom komunikacijskog pojasa (*eng. Dedicated Bandwidth*). Ethernet se informacijski okviri individualnih korisnika separiraju u ethernet sloju te se uz to korisnicima dodjeljuje uvijek dostupna širina komunikacijskog pojasa odnosno brzina prijenosa informacija (*eng. Committed Information Rate, CIR*). Ethernet privatne linije vrše funkciju privatnih linija s vremenskim multipleksiranjem signala (*eng. Time Division Multiplex Based Private Lines*) uz prednost rada s izvornim ethernet sučeljem (*eng. Native Ethernet Interface*) prema korisniku i opremi pružatelja mrežnih usluga. Ethernet privatne linije podržavaju uslugu ethernet interneta, mrežne pristupne usluge te usluge međupovezivanja LAN mreža (*eng. LAN-to-LAN interconnect*).
- Usluga ethernet virtualne privatne linije (*eng. Ethernet Virtual Private Line*) – Ova se usluga temelji na point-to-point konekciji uz podijeljenu širinu komunikacijskog pojasa (*eng. Shared Bandwidth*). Dijeljenje komunikacijskog kanala vrši se korištenjem TDM kanala u transportnoj mreži ili u mrežnoj topologiji temeljenoj na primjeni mrežnih sklopki i preusmjerivača (*eng. Switched-Fabric Network*). Usluga

virtualnih privatnih linija implementira se u obliku najboljeg mogućeg rješenja za korisnika ili u obliku razina koje definiraju CIR odnosno brzinu prijenosa informacija te ostale parametre poput mrežne latencije. Virtualne privatne linije se mogu definirati kao point-to-point virtualne konekcije (EVC) između dva korisnika. Višestruki broj EVC konekcija je moguće objediniti kreiranjem hub-and-spoke mrežne arhitekture. U mrežnoj topologiji hub-and-spoke omogućeno je povezivanje više udaljenih korisničkih stanica s glavnom stanicom s aspekta korisnika (*eng. Operator Point of Presence, POP*).

- Usluga ethernet privatne lokalne mreže (*eng. Ethernet Private LAN*) – Ethernet privatne lokalne mreže se nazivaju i EPLan mrežama. Usluga EPLan mreža omogućuje povezivanje u više točaka (*eng. Multipoint connectivity*) uz predodređenu širinu komunikacijskog pojasa. Podatke odaslane od strane korisnika koji se nalazi na specifičnoj mrežnoj lokaciji može primiti jedan ili više korisnika koji se nalaze na različitim mrežnim lokacijama. Svaka individualna mrežna lokacija povezana je u multipoint-to-multipoint ethernet virtualnu mrežu (EVC) te koristi predodređene mrežne resurse. Zbog toga nije potrebno vršiti multipleksiranje individualnih ethernet informacijskih okvira. Ukoliko je potrebno dodati novu mrežnu lokaciju u EPLan uslugu, lokacija se spaja na postojeću EVC mrežu. EPLan usluga iz perspektive korisnika konfigurira individualne LAN mreže u logički jedinstvenu veliku LAN mrežu.
- Usluga ethernet virtualne privatne lokalne mreže (*eng. Ethernet Virtual Private LAN*) – Ethernet virtualne privatne lokalne mreže se nazivaju i EVPLan mrežama. EVPLan usluga objedinjuje virtualne privatne LAN usluge (*eng. Virtual Private LAN Service, VPLS*), transparentne LAN usluge (*eng. Transparent LAN Service, TLS*) i virtualne privatne prespojne mreže (*eng. Virtual Private Switched Network, VPSN*). EVPLan usluga pruža podršku za rad u ethernet sloju 2 čime se omogućuje ostvarivanje multipoint veza ethernet mrežnih uređaja. Separacija mrežnih korisnika se ostvaruje enkapsulacijom VLAN mrežnim oznakama ili višeprotokolarnim preusmjeravanjem informacijskih paketa prema oznakama putanje (MPLS).

4.6. Ethernet infrastrukture

Prijenos podataka ethernet protokolom nije ograničen na korištenje jedne vrste infrastrukture. Implementacija infrastrukture ovisi njenoj pouzdanosti, upravljivosti, administrativnim mogućnostima, standardiziranosti i utjecaju na održavanje i potencijalne buduće preinake. Najčešća metoda integracije ethernet usluga je korištenje optičke WDM/SONET/SDH infrastrukture ili implementacija paketnih tehnologija poput IP/MPLS.

4.6.1. Infrastruktura za prijenos izvornog ethernet informacijskog okvira

Karakteristična metoda prijenosa ethernet prometa je prijenos izvornog ethernet informacijskog okvira korištenjem iznajmljene optičke niti (*eng. Dark Fiber*) ili u obliku DWDM signala. U svrhu upravljanja mrežnim prometom, u metro mrežama se koriste mrežne sklopke. Uporabom sklopki se omogućuje jednostavna implementacija ethernet virtualnih privatnih linija kao i virtualnih privatnih LAN usluga. Ukoliko se ethernet prenosi u izvornom obliku nije moguće u potpunosti odijeliti specificiranu širinu komunikacijskog pojasa u svrhu kreiranja ethernet privatnih linija ili privatnih LAN usluga. Izvorni ethernet prijenosni sustavi ne mogu osigurati preusmjeravanje mrežnog prometa u periodu manjem od 50 milisekundi. Također ne pružaju podršku za upravljanje, administraciju i održavanje sustava (*eng. Operations, Administration, Maintenance, OEM*). Iz tog razloga izvorne ethernet prijenosne mreže ne mogu zadovoljiti potrebnu kvalitetu usluge (*eng. Quality of Service, QoS*).

4.6.2. SONET/SDH infrastruktura

SONET/SDH mreže su najkorišteniji tip infrastrukture za prijenos ethernet mrežnog prometa. Koriste se za izvedbu usluga ethernet privatnih linija. Također se koriste za implementaciju ethernet virtualnih privatnih linija kao i ethernet virtualnih privatnih lokalnih mreža korištenjem integriranog prespajanja mrežnog prometa i tehnologije robusnih paketnih prstenova.

Ethernet informacijski se okviri u SONET/SDH mrežama sekvencijalno enkapsuliraju u generičke informacijske okvire temeljene na generaliziranoj procedure kreiranja informacijskih okvira. Novostvoreni se GFP okviri mapiraju u postojeći SONET kanal virtualnom konkatencijom (*eng. Virtual Concatencation, VCAT*).

Usporedba infrastruktura za prijenos ethernet mrežnog prometa prikazana je u tablici 3.

Tablica 3: Usporedba infrastruktura za prijenos ethernet mrežnog prometa

Kriterij	SONET	Izvorni Ethernet
Redundancija	Redundancija je ostvarena automatskim zaštitnim prespajanjem (<i>eng. Automatic Protection Switching, APS</i>) u vremenu od 50 milisekundi	Redundancija je ostvarena algoritmom u obliku stabla s intervalom manje od jedne minute (<i>eng. Spanning Tree Algorithm</i>). Korištenje algoritma podrazumijeva karakteristično vrijeme uključivanja redundancije od 30 sekundi.
Interoperabilnost proizvođača opreme	Jedino u slučaju ako oba proizvođača imaju GR-253 podršku.	Ako proizvođači imaju IEEE 802.3 podršku
Utjecaji na održavanje	Podrška za testiranje mreže metodom petlje (<i>eng. Loopback Capability</i>)	Manjak podrške za testiranje mreže metodom petlje. Informacije o stanju mrežnih uređaja se prikupljaju statistikom prikupljenom udaljenim praćenjem stanja (<i>eng. Remote monitoring statistics, RMON</i>)
Uspostavljanje veze	Upravljanje elementima SONET mreže vrši se linijskim naredbama na mrežnom sučelju (<i>eng. Line Interface Commands</i>) ili korištenjem sustava za upravljanje mrežnim elementima (<i>eng. Element Management System, EMS</i>)	Upravljanje ethernet mrežnim preusmjerivačima i sklopkama se vrši linijskim naredbama ili sustavom za upravljanje mrežnim elementima
Detekcija grešaka	Omogućuje B1, B2 i B3 detekciju. Omogućuje podjelu mreže prema specifičnim mrežnim sekcijama, linijama ili putanjama.	Omogućuje provjeru grešaka sekvencijske provjere stanja informacijskih okvira (FCS) kao i provjeru trenutnog statusa mrežnog linka. Koristi podjelu mreže prema rasponu među-mrežnih veza.

4.6.3. Tehnologija robusnih paketnih prstenova

Tehnologija robusnih paketnih prstenova (*eng. Resilient Packet Ring, RPR*) zasniva se na kombinaciji mreža s prespajanjem paketa (*eng. Packet-Switched Networks*) s topologijom dualnih prstenova. Navedena tehnologija robusnih paketnih prstenova podržava vrijeme oporavka mreže manje od 50 milisekundi. Navedena se tehnologija može primijeniti u SONET/SDH kao i u izvornim ethernet mrežama za prijenos podataka. Prednost RPR tehnologije je efikasnost raspodjele širine pojasa u mrežnim prstenovima implementacijom metoda dijeljenja komunikacijskog pojasa, prenamjene fizičkih komponenti i statističkog multipleksiranja.

4.6.4. ATM

Ethernet mrežni promet je moguće prenositi korištenjem ATM mreža. Prijenos ATM mrežom vrši se na način da se koriste informacije u individualnim ethernet informacijskim okvirima u svrhu mapiranja okvira prema specificiranim ATM virtualnim mrežnim krugovima kao i ATM klasama mrežnih usluga. Navedenom se metodom ostvaruje fleksibilnost u point-to-point i multipoint-to-multipoint mrežnoj topologiji kao i zadržavanje optimalnog broja korisnika u mrežnoj strukturi. Nedostatak ATM tehnologije je relativno visoka cijena izvedbe i otežana skalabilnost sustava.

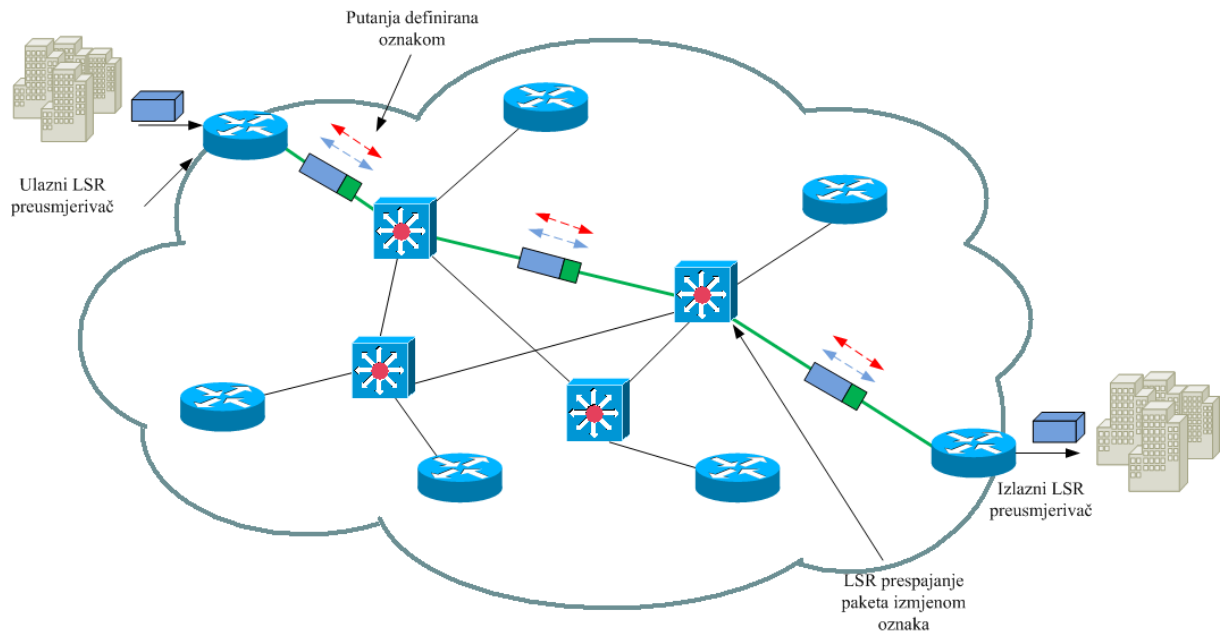
4.6.5. IP/MPLS

Prednosti prvotnog tipa ethernet IP usluga za prijenos podataka je relativno mala cijena, fleksibilnost izvedbe, potpuna podrška za VLAN usluge i brzo preusmjeravanje mrežnog prometa. Ipak, postoje i nedostaci poput smanjene pouzdanosti, skalabilnosti i sigurnosti naspram TDM i ATM usluga. Mrežni preusmjerivači ne mogu izvršiti identifikaciju mrežnog uređaja prema IP adresi u realnom vremenu. U svrhu ispravljanja navedenih nedostataka razvijena je IP/MPLS tehnologija.

MPLS je tehnologija prosljeđivanja mrežnih paketa na upravljačkoj razini (*eng. Control-Plane Packet-Forwarding Technology*). Implementacijom MPLS tehnologije omogućuje se mrežni prijenos vremenski osjetljivih informacija te se pojednostavljuje nadgledanje i

upravljanje mrežom. MPLS tehnologije se mogu primijeniti na IP,ATM sustave kao i na sustav prijenosa informacijskih okvira.

Rad MPLS sustava temelji se na stvaranju virtualnih informacijskih tunela odnosno putanja s prespajanjem oznaka (*eng. Label-Switching Paths, LSP*) te korištenjem navedenih tunela za stvaranje odluka za prosljeđivanje podataka prema slici 28.



Slika 28: Povezivanje lokacija MPLS tehnologijom

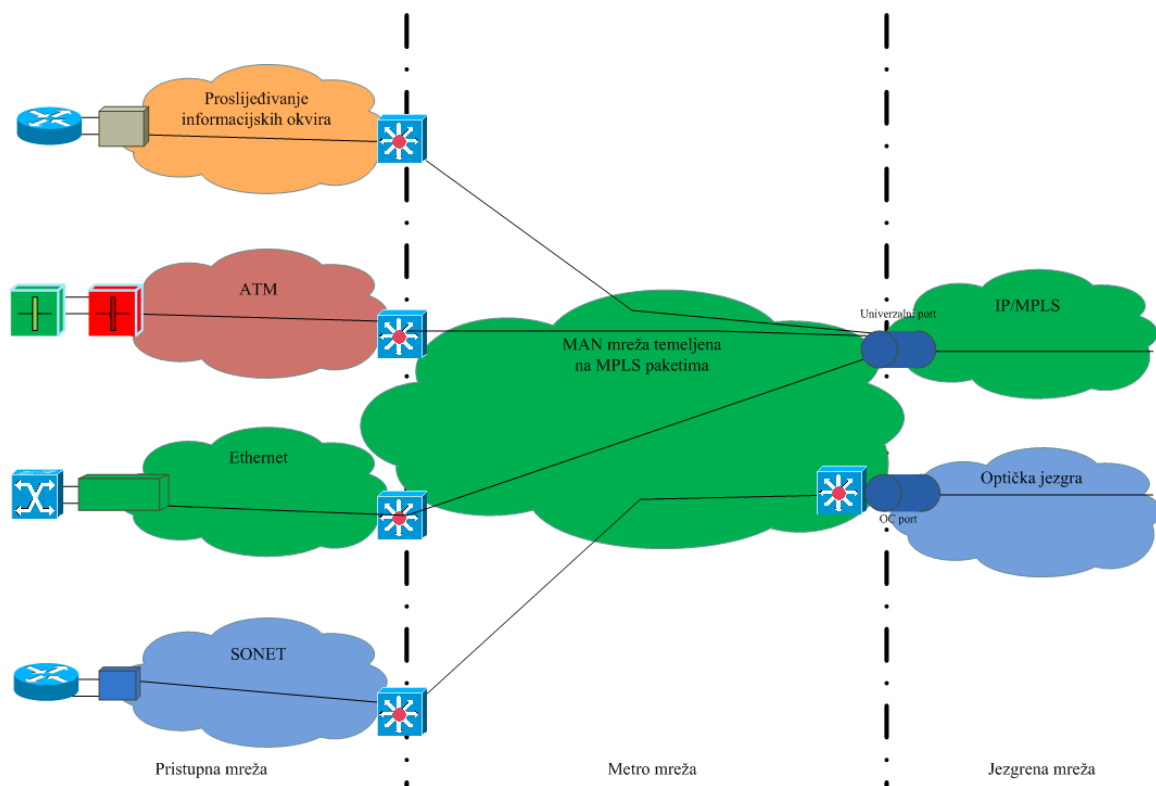
Ulazni rubni LSP mrežni preusmjerivač s zaštitom mrežne komunikacije (*eng. Ingress-Edge Label-Switching Router, LSR*) vrši analizu zaglavlja individualnih paketa sloja 3 u svrhu identifikacije odredišne adrese paketa. Nakon određivanja adrese rubni LSR preusmjerivač dodjeljuje mrežnom paketu specifičnu oznaku. LSR mrežni preusmjerivači u logičkoj jezgri mreže pregledavaju dodijeljene oznake u svrhu prosljeđivanja paketa do sljedećeg mrežnog skoka (*eng. Network Hop*). Prilikom skoka LSR preusmjerivač uklanja postojeću oznaku te dodjeljuje novu oznaku čime se definira nova odredište nakon sljedećeg skoka. Posljednji preusmjerivač je izlazni rubni LSP mrežni preusmjerivač s zaštitom mrežne komunikacije (*eng. Egress-Edge Label-Switching Router*). Navedeni izlazni preusmjerivač uklanja mrežnu oznaku s individualnih mrežnih paketa te ih dalje prosljeđuje.

Putanje s prespajanjem oznaka se kreiraju u virtualnim privatnim mrežama u svrhu ostvarivanja predodređenih performansi mreže ili za preusmjeravanje mrežnog prometa kao tehnika umanjivanja mrežnog opterećenja.

MPLS tehnologija se koristi za:

- Kreiranje virtualnih privatnih mreža
- Kreiranje IP tunela unutar postojeće mreže
- Prioritiziranje mrežnog prometa
- Upravljanje kvalitetom mrežne usluge
- Upravljanje širinom pojasa

MPLS tehnologija konvergira specifične usluge za prijenos podataka u jedinstvenu IP/MPLS temeljnu mrežu (*eng. IP/MPLS Core Network*) prema slici 29. Na taj se način eliminira postojanje zasebnih mrežnih struktura pojedinih vrsta protokola sloja 2.



Slika 29: Konvergencija usluga u IP/MPLS mrežu

5. Instalacija i upravljanje ethernet uslugom

Primjenom tehnologija za prijenos podataka poput ATM sustava ostvaruje se zadovoljavajuća razina kvalitete usluge. Prilikom razmatranja kvalitete usluge potrebno je razmotriti faktore kao što su:

- Troškovi ulaganja
- Troškovi održavanja
- Karakteristično vrijeme neispravnog rada sustava (*eng. Typical Downtime*)
- Srednje vrijeme do obnove (*eng. Mean-Time-To-Repair, MTTR*)
- Vrijeme ispada sustava iz rada
- Minimalne performanse
- Zadovoljstvo korisnika

Za razliku od ATM usluga, ethernet usluge nisu razvijene s ciljem kvalitete usluge. Iz tog razloga izvorni tip ethernet usluga nije omogućavao diferenciranje visoko i niskoprioritetnog mrežnog prometa. Nedostatak prioritiziranja onemogućio je kombiniranje različitih vrsta usluga na singularnom linku uz zadržavanje predefiniраниh performansi rada. Zbog inherentnih nedostataka u polju kvalitete usluge potrebno je ispitivati ethernet opremu u svrhu potvrđivanja performansi usluge.

5.1. Verifikacija ethernet performansi

Za provjeru ethernet performansi potrebno je ispitati nekoliko parametara poput:

- Propusnost (*eng. Throughput*) – Ispitivanje raspoloživosti performansi ethernet usluga
- Latencija (*eng. Latency*) – Ispitivanje kašnjenja u prijenosu informacija
- Uzastopni informacijski okviri (*eng. Back-to-Back Frames*) – Ispitivanje prekida u prijenosu sukcesivnih okvira
- Gubitak informacijskih okvira (*eng. Frame Loss*) – Ispitivanje integriteta usluga

Mjerenjem navedenih parametara, kreira se karakteristična vrijednost mrežne usluge (*eng. Baseline*).

5.1.1. Konfiguracije mreže za mjerenje karakterističnih parametara

Za ispitivanje mrežnih parametara koriste se mrežne konfiguracije:

- Konfiguracija za ispitivanje dvostrukim setom opreme (*eng. Dual-test-set Configuration*)
- Konfiguracija za ispitivanje dvostrukim portovima (*eng. Dual-Port Configuration*)
- Jednoportna konfiguracija za ispitivanje u petlji (*eng. Single-Port Loopback Configuration*)

Konfiguracija za ispitivanje dvostrukim setom opreme koristi se za lokalno ili udaljeno ispitivanje od uređaja do uređaja (*eng. Head-to-Head Testing*) i prikazana je na slici 30.



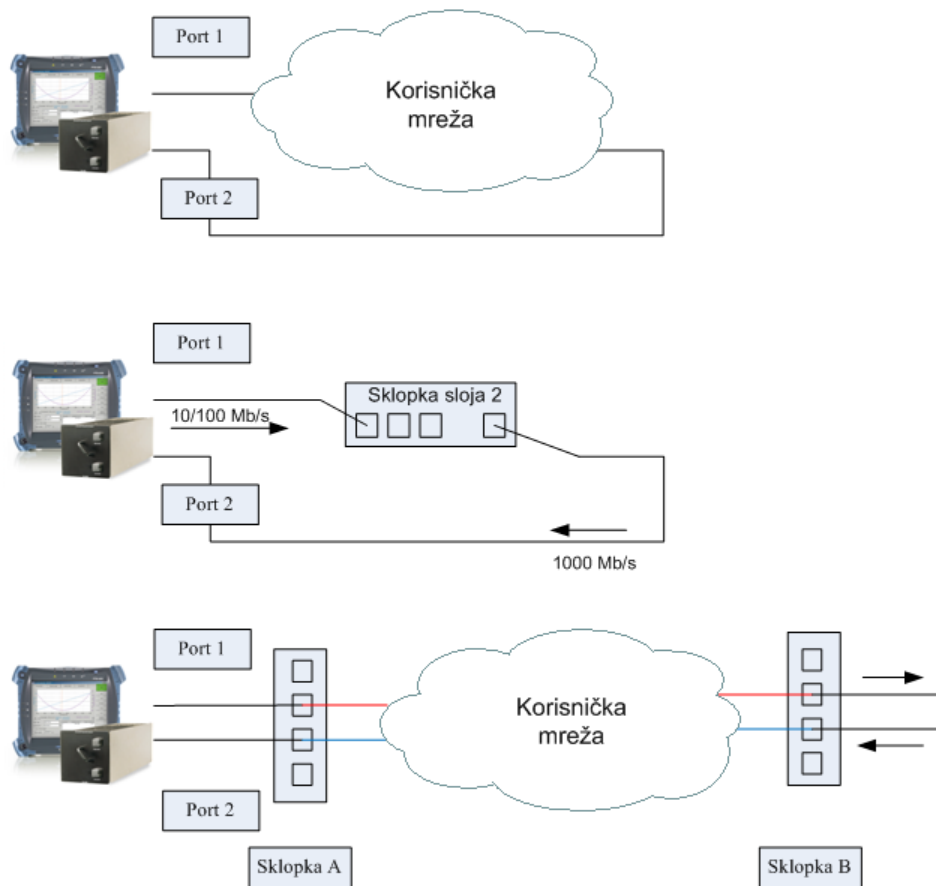
Slika 30: Konfiguracija za ispitivanje dvostrukim setom opreme

Ispitivanje se vrši spajanjem uređaja u formi primarni/sekundarni uređaj (*eng. Master/Slave Configuration*). Master/Slave konfiguracija se karakteristično koristi za:

- Ispitivanje cjelokupne mreže (*eng. End-to-End Testing*)
- Ispitivanje preusmjeravane mreže (*eng. Routed Network*)

Pri ispitivanju konfiguracijom s dvostrukim setom opreme korisnik upravlja jednim setom opreme kojeg se naziva lokalni set dok je drugi set odnosno udaljeni set spojen na predefiniranu lokaciju u mreži. Lokalni set opreme upravlja udaljenim setom odašiljanjem signala putem mreže koju se ispituje. Korištenjem dva seta opreme jednostavno se određuje smjer mrežnog prometa kao i performanse mreže u oba smjera odašiljanja signala.

Konfiguracija za ispitivanje dvostrukim portovima prikazana je na slici 31.

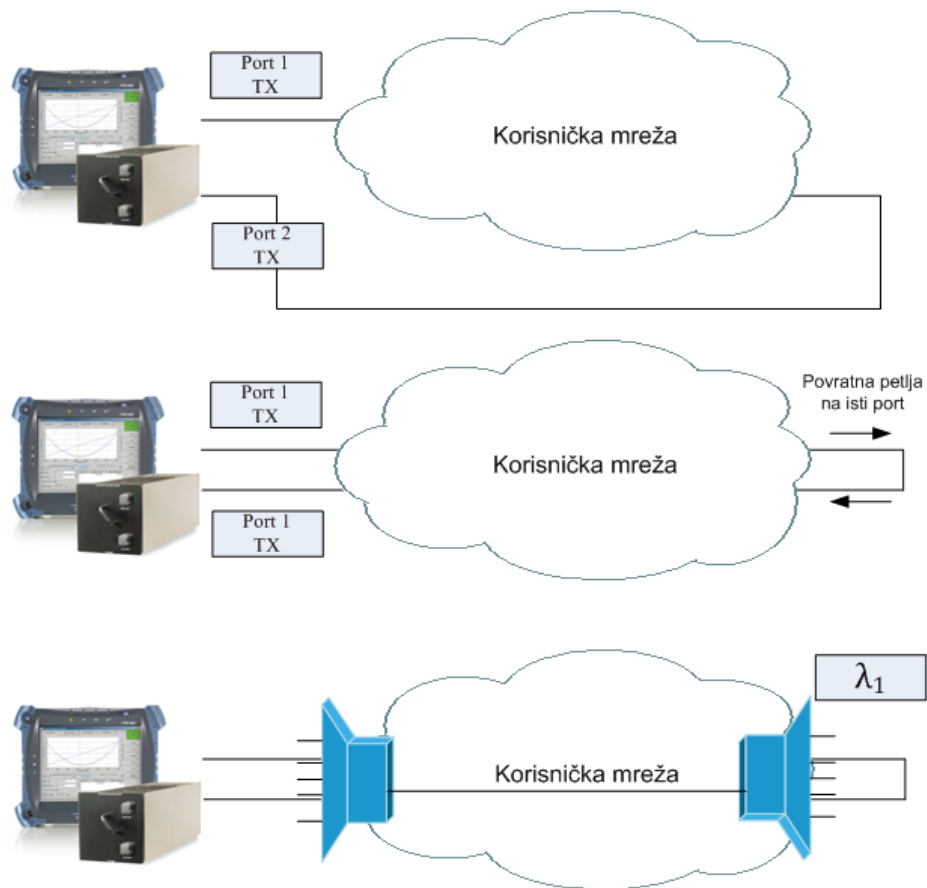


Slika 31: Konfiguracija za ispitivanje dvostrukim portovima

Navedena se konfiguracija koristi za:

- Lokalno ispitivanje mrežnih sklopki
- Ispitivanje uređaja u idealnim uvjetima (*eng. Lab environment*)
- Ispitivanje s dva kraja u slučaju opreme s velikim brojem portova (*eng. High Port Density*)

Za rad jednoportne konfiguracija za ispitivanje u petlji potreban je samo jedan set mjerne opreme. Za razliku od konfiguracije s dvostrukim portovima, jednoportna konfiguracija koristi petlju koja povezuje predajnu konekciju porta s prijamnom konekcijom istog porta prema slici 32.



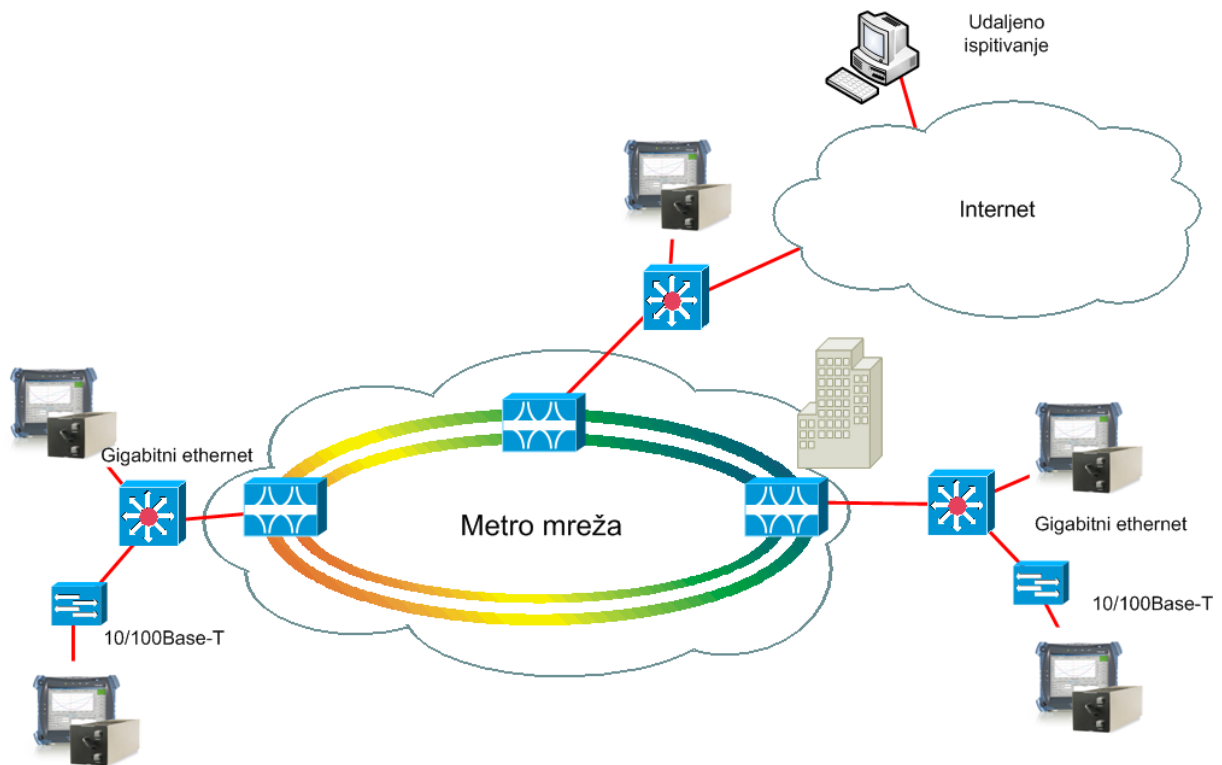
Slika 32: Jednoportna konfiguracija za ispitivanje u petlji

Jednoportna konfiguracija za ispitivanje u petlji se koristi za:

- DWDM sustave
- Ispitivanje potpune mreže – U slučajevima kad se na kraju mreže nalaze uređaji koji omogućuju povrat signala na isti port sklopovskom ili softverskom tehnikom petlje

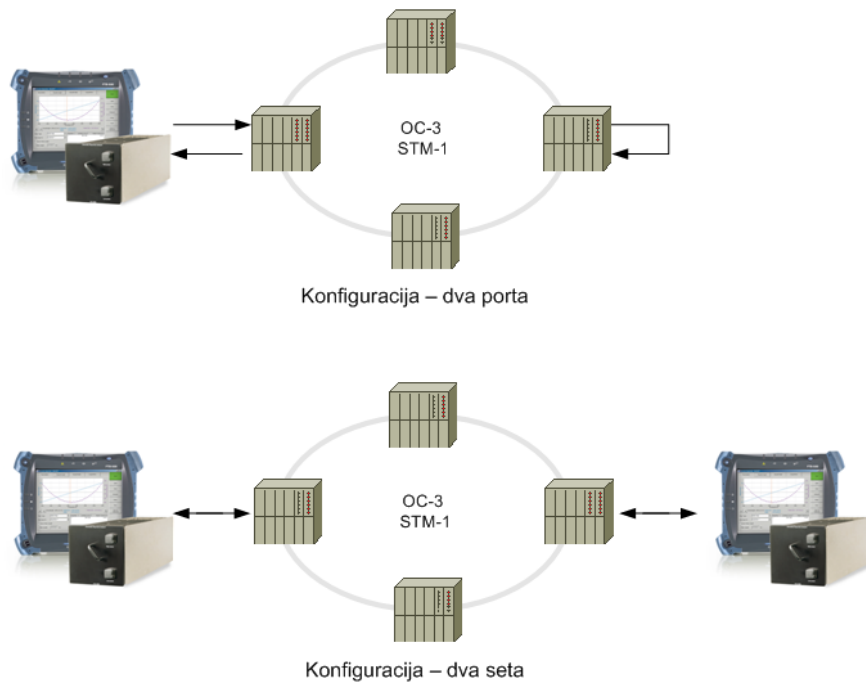
5.1.2. RFC 2544 test

Mrežno ispitivanje RFC 2544 testom obuhvaća generiranje i analiziranje mrežnog prometa 10/100/1000Base-T, 1000Base-SX, 1000Base-LX i 000Base-ZX full-duplex mreža za prijenos podataka. Analiziranje kao i generiranje mrežnog prometa navedenih mreža moguće je vršiti sa svim formatima i dimenzijama informacijskih okvira. Podrška za analizu svih formata okvira osigurava kvalitetno ispitivanje veza između lokalnih mreža (*eng. LAN-to-LAN Connectivity*), postupak prijenosa i prosljeđivanja informacijskih okvira, SONET/SDH mrežne sustave, SONET/SDH hibridne multipleksirane mreže, ethernet temeljen na mrežnim sklopkama (*eng. Switched Ethernet*), sustave virtualnih lokalnih mreža, sustave temeljene na unajmljenim svjetlovodnim nitima kao i sustave temeljene na optičkom prijenosu signala multipleksiranjem valnih duljina (*eng. Wave Division Multiplex, WDM*). Za ispitivanje se koriste mjerni uređaji s podrškom za odašiljanje signala pri brzini jednakoj ili većoj od maksimalne brzine signala kojeg je moguće odaslati promatranom informacijskom infrastrukturom. Bitan čimbenik mjernog procesa je korištenje automatiziranih uređaja. Korištenjem automatiziranih uređaja, automatizira se i mjerni proces. Na taj se način smanjuje potencijalna greška mjerenja te se povećava pouzdanost dobivenih mjernih vrijednosti. Ispitivanje mreže može se vršiti metodom od kraja do kraja (*eng. End-to-End Testing*), metodom od kraja do centra (*eng. End-to-Core Testing*) te udaljenom metodom (*eng. Remote Testing*) prema slici 33.



Slika 33: Tehnike ispitivanja mreže od kraja do kraja, od kraja do centra te udaljenom metodom

Mrežna propusnost se odnosi na maksimalnu brzinu prijenosa podataka gdje ne postoji gubitak informacijskih okvira od strane uređaja pod ispitivanjem (*eng. Device Under Test, DUT*) niti mreže pod ispitivanjem (*eng. Network Under Test, NUT*). Ispitivanje propusnosti primjenjuje se na mrežu te na mrežne uređaje korištene u mreži. Mjerenje propusnosti mreže osigurava korištenje mrežnih uređaja s dovoljno visokom brzinom preusmjeravanja mrežnih paketa. Propusnost mreže funkcijski je usporediva sa širinom komunikacijskog pojasa. Moguće je mjeriti u oba smjera odašiljanja signala primjenom dvoportnom konfiguracijom za ispitivanje u petlji ili ispitivanjem u jednom smjeru korištenjem dvostrukog seta opreme prema slici 34.



Slika 34: Mjerenje mrežne propusnosti

Utjecaji na rezultat mjerenja propusnosti mreže:

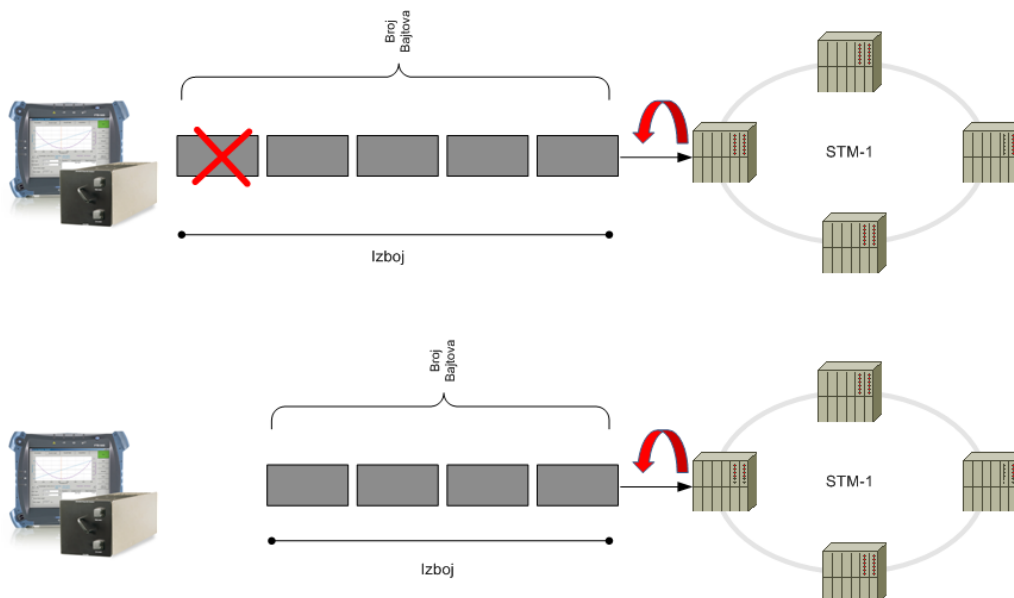
- Mjerenje propusnosti jedinstvene mrežne putanje naspram agregirane mrežne putanje (*eng. Single Path Vs. Aggregate*) – U slučajevima mjerenja propusnosti jedinstvene mrežne putanje zadovoljavajuća se pouzdanost mjerenja postiže sa samo nekoliko mjerenja. Za razliku od jedinstvene putanje, u agregiranim se mrežama putanja dinamički mijenja korištenjem MPLS ili nekog drugom protokola za upravljanje mrežnim prometom. Kao rezultat preusmjeravanja mrežnih paketa MPLS protokolom, mrežni paketi pri svakom mjerenju propusnosti prolaze različitim mrežnim putanjama unutar mreže. Iz tog razloga rezultati mjerenja propusnosti značajno variraju. U svrhu određivanja zadovoljavajuće preciznosti vrijednosti mrežne propusnosti potrebno je izvršiti veći broj mjerenja te iz dobivenih rezultata odrediti najnižu propusnost mreže.
- Opterećenje mreže (*eng. Load*) – Odnosi se na količinu mrežnog prometa na mreži pristupnoj liniji generiranog od strane korisnika ili ispitnim ethernet mrežnim uređajem. Opterećenje mreže se mjeri u svrhu određivanja i sprječavanja pojave potencijalnog zagušenja mrežnog prometa (*eng. Congestion*). Zagušenje prometa može uzrokovati gubitak informacijskih okvira, porast mrežne latencije kao i mrežnu koliziju.

- Jednosmjerno ispitivanje naspram dvosmjernog mrežnog ispitivanja (eng. *Unidirectional Vs. Bidirectional Testing*) – Dvosmjerno mrežno ispitivanje podrazumijeva odašiljanje signala od primarnog uređaja za ispitivanje prema sekundarnom te zatim povratak signala od sekundarnog prema primarnom uređaju. Širine kanala pristupnih linija su karakteristično asimetrične odnosno brzine prijenosa prema i od korisnika nisu jednake. Iz tog razloga dvosmjerno ispitivanje ne opisuje mrežnu propusnost s zadovoljavajućom preciznošću već definira opće vrijednosti ispitane mreže. Za razliku od dvosmjernog ispitivanja propusnosti, jednosmjerno se ispitivanje temelji na dva zasebna ispitivanja. Prvo ispitivanje podrazumijeva odašiljanje signala od primarnog uređaja prema sekundarnom te očitavanje izmjerenih vrijednosti. Nakon toga se test ponavlja samo se mijenja smjer odašiljanja signala. Na ovaj se način mjere dvije različite propusnosti asimetrične mreže odnosno propusnost od korisnika (eng. *Upload*) i propusnost prema korisniku (eng. *Download*).
- Potreba za procesiranjem vrijednosti kontrolnog zbroja (eng. *Checksum Processing*) – Procesiranje vrijednosti kontrolnog zbroja usporava prijenos podataka, reducira ukupnu mrežnu propusnost te utječe na gubitak informacijskih okvira. Iz tog se razloga koristi mjerna oprema s mogućnošću mjerenja propusnosti mreža s i bez procesiranja vrijednosti kontrolnog zbroja.
- Veličina mrežnih paketa (eng. *Packet Size*) – U mrežama za prijenos podataka mrežni paketi manje veličine mogu se prenositi brže od paketa veće veličine, ali se mogu i češće izgubiti u prijenosu. Prednost velikih paketa očituje se u činjenici da je omjer količine podataka naspram veličine zaglavlja veći u slučaju velikih paketa naspram manjih paketa. Zbog navedenih karakteristika informacijskih paketa potrebno je odrediti kompromisno rješenje koje pruža dovoljno veliku brzinu prijenosa uz dovoljno veliku količinu podataka (eng. *Payload*).

Procedura za ispitivanje mrežne propusnosti se sastoji od četiri koraka:

- Korak 1: Odašiljanje specifičnog broja informacijskih okvira specifičnom brzinom prijenosa u DUT/NUT sustavu odnosno kroz promatrani uređaj ili mrežu.
- Korak 2: Ukoliko je broj odašlatih informacijskih okvira jednak broju zaprimljenih informacijskih okvira, smatra se da uređaj odnosno mreža zadovoljavaju propusnost za danu brzinu prijenosa. Nakon toga se brzina prijenosa povećava te se ispitivanje provodi ponovno.
- Korak 3: Ukoliko je broj zaprimljenih informacijskih okvira manji od broja odašlatih okvira, brzina prijenosa se smanjuje te se ispitivanje provodi ponovno.
- Korak 4: Mrežna propusnost se definira kao najbrža brzina prijenosa podataka u uređaju ili mreži prilikom koje je broj odašlatih informacijskih okvira jednak zaprimljenom broju okvira

Ispitivanje uzastopnih informacijskih okvira odnosno mjerenje mrežnog izboja (*eng. Burst*) podrazumijeva sekvencijsko odašiljanje informacijskih okvira fiksne veličine uz minimalnu dozvoljenu vremensku distancu između sukcesivnih okvira prema slici 35.



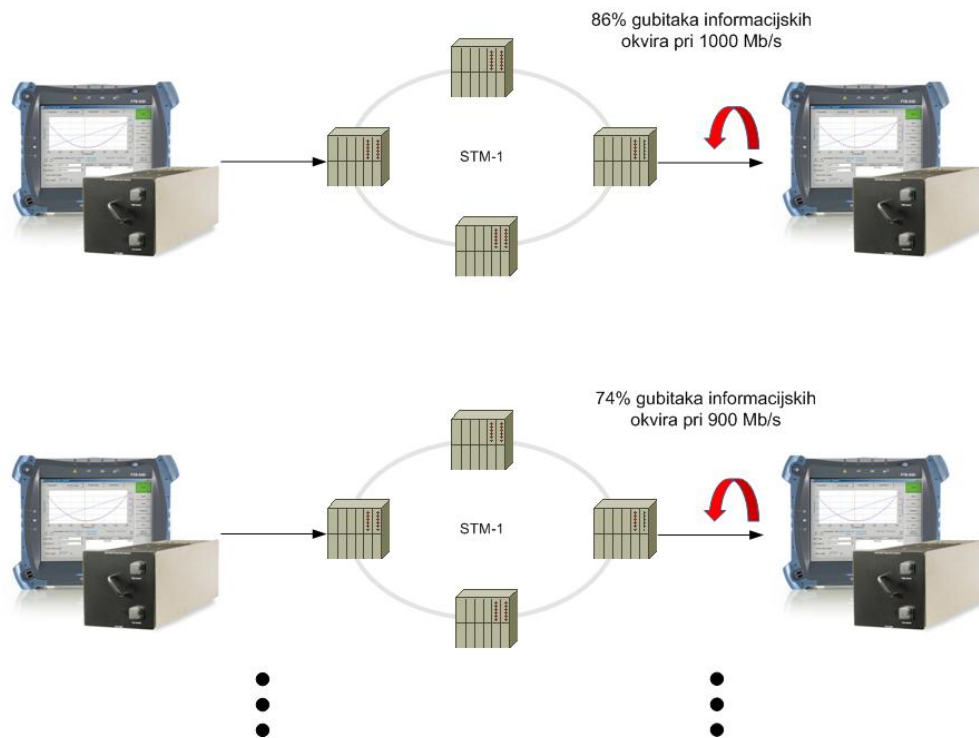
Slika 35: Ispitivanje mrežnog izboja

Ispitivanje započinje iz stanja u kojem je sustav u radu, ali ne postoji trenutni mrežni promet (*eng. Idle State*). Mjerena vrijednost je broj informacijskih okvira u maksimalno velikom izboju okvira bez gubitka okvira na mreži ili mjerenom mrežnom uređaju.

Procedura ispitivanja mrežnog izboja odnosno broja sukcesivnih informacijskih okvira:

- Korak 1: Odašiljanje izboja odnosno određenog broja informacijskih okvira s minimalnom međuokvirnom distancom prema mreži ili uređaju pod ispitivanjem. Nakon odašiljanja broji se broj okvira koje mreža odnosno uređaj prosljeđuje dalje u sustav.
- Korak 2: Ukoliko je broj odaslanih okvira jednak broju prosljeđenih okvira, broj okvira u izboju se povećava te se ponovno vrši ispitivanje.
- Korak 3: Ukoliko je broj prosljeđenih okvira manji od broja odaslanih okvira, broja okvira u izboju se smanjuje te se ponovno izvodi ispitivanje.
- Korak 4: Izmjerena vrijednost testa je jednaka broju informacijskih okvira u mrežnom izboju s najvećim brojem okvira s kojim testirani uređaj odnosno mreža može ispravno raditi odnosno raditi na način da ne postoje gubici okvira.
- Korak 5: Vremensko trajanje jednog testa ne smije biti kraće od dvije sekunde te se mora ponoviti minimalno pedeset puta. Kao ukupni rezultat ispitivanja uzima se srednja vrijednost izmjerenih rezultata.

Mreže za prijenos podataka kao i mrežni uređaji prosljeđuju informacijske okvire u sustavu za prijenos podataka. Gubitak informacijskih okvira odnosi se na onaj postotak informacijskih okvira koji nisu prosljeđeni od strane mreže ili mrežnih uređaja pod uvjetima stalnog opterećenja zbog nedostatka mrežnih resursa. Ispitivanje gubitka informacijskih okvira koristi se za mjerenje performansi preopterećene mreže prema slici 36.



Slika 36: Ispitivanje gubitka informacijskih okvira

Navedeno ispitivanje omogućuje stvaranje predikcija rada mreže u najgorim mogućim slučajevima poput potpunog onesposobljavanja rada mreže iscrpljivanjem mrežnih resursa (eng. *Broadcast Storm*).

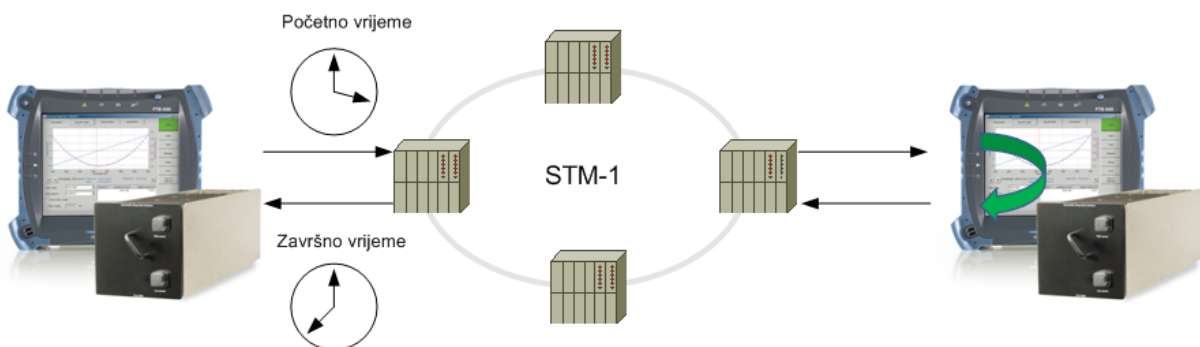
Procedura za ispitivanje gubitka informacijskih okvira:

- Korak 1: Odašiljanje specifičnog broja informacijskih okvira prema mreži ili uređaju pod ispitivanjem. Nakon odašiljanja broji se ukupni broj okvira koje je mreža odnosno uređaj prosljedila u sustav.
- Korak 2: Za specifičnu brzinu prijenosa, gubitak informacijskih okvira se izračunava prema slijedećoj jednadžbi:

$$\text{Gubitak informacijskih okvira} = \frac{\text{Broj odaslanih okvira} - \text{Broj primljenih okvira}}{\text{Broj odaslanih okvira}} \times 100\%$$

- Korak 3: Potrebno je izvršiti veći broj mjerenja za slučajeve prijenosa informacija korištenjem različitih veličina informacijskih okvira.

Mrežna latencija je mrežni parametar koji utječe na uređaja koji rade na principu odašiljanja podataka nakon potpunog prikupljanja (*eng. Store and Forward Devices*). Latencija podrazumijeva vremenski interval između ulaznih i izlaznih informacijskih okvira odnosno vrijeme proteklo od trenutka kada mreža ili uređaj zaprimi posljednji bit ulaznog informacijskog okvira do trenutka kada se kao odziv pojavi prvi bit izlaznog informacijskog okvira. Kružna latencija (*eng. Round Trip Latency*) se odnosi na vrijeme potrebno da se informacijski okvir vrati u izvornu točku odašiljanja prema slici 37.



Slika 37: Ispitivanje kružne latencije

Veliki problem u sustavima za prijenos podataka je varijabilnost mrežne latencije te se iz tog razloga latencija mreže mora ispitati i izmjeriti. Specifični problemi koje uzrokuje mrežna latencija, očituju se u glasovnim mrežnim uslugama (*eng. Voice over Internet Protocol, VoIP*). U slučaju VoIP usluga, varijabilna ili velika latencija mogu uzrokovati degradaciju kvalitete korisnikovog glasa.

Procedura za ispitivanje mrežne latencije:

- Korak 1: Određivanje mrežne propusnosti mjenog DUT/NUT sustava prema veličinama informacijskih okvira
- Korak 2: Sekvencijsko odašiljanje informacijskih okvira specificirane veličine kroz DUT/NUT sustav uz poznatu mrežnu propusnost prema specifičnom odredištu
- Korak 3: Odašiljanje označenog informacijskog okvira nakon 60 sekundi sekvencijskog odašiljanja. Prilikom odašiljanja označenog informacijskog okvira zapisuje se vremenski pečat odašiljanja (*eng. Transmission Timestamp*). Označeni se informacijski okvir zaprima na prijamnoj strani mreže te se zapisuje vrijeme primitka odnosno vremenski pečat primitka (*eng. Detection Timestamp*).
- Korak 4: Mrežna se latencija određuje prema jednadžbi

Mrežna latencija = Prijamni vremenski pečat – Vremenski pečat odašiljanja

- Korak 5: Ispitivanje se mora ponoviti minimalno dvadeset puta. Kao krajnji rezultat se uzima srednja vrijednost izmjerenih vrijednosti.

5.2. Određivanje značajki svjetlovodnih niti

Ethernet mreže za prijenos podataka poput GigE i 10GigE mreža stvaraju alternativnu metodu prijenosa podataka naspram SONET/SDH infrastrukture u metro mrežnim arhitekturama. Značajke svjetlovodnih niti (*eng. Fiber Characterization*) u svjetlovodnim sustavima potrebno je odrediti u svrhu osiguravanja maksimalne kvalitete prijenosa uz optimalan rad mreže. Ključan faktor prilikom razmatranja svjetlovodnih niti je kromatska (*eng. Chromatic Dispersion, CD*) i polarizacijska disperzija (*eng. Polarisation Mode Dispersion, PMD*). Navedene disperzije kao posljedicu imaju proširenje odašlanog signala i limitiranje maksimalne brzine prijenosa u sustavima za prijenos podataka na velike udaljenosti. Kromatska i polarizacijska se disperzija moraju mjeriti s dovoljnom preciznošću da se može osigurati željena brzina prijenosa podataka.

5.3. Ispitivanje grešaka individualnih bitova informacije

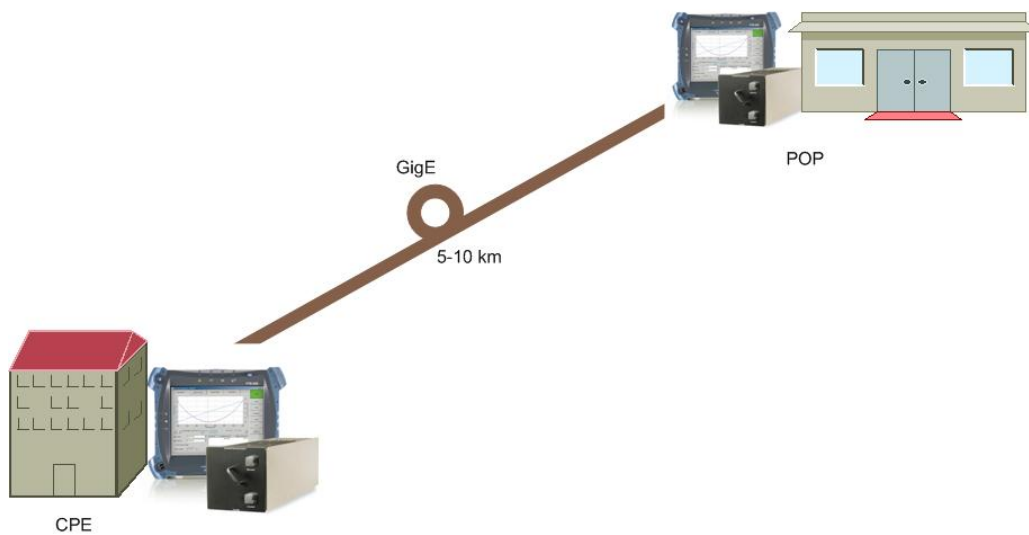
Ethernet se informacijski okviri prijenose na velike udaljenosti korištenjem različitih vrsta medija u sloju 1 poput 10Base-FL, 100Base-FX, 1000Base-LX mreža. Zato postoji potreba za ispitivanjem ethernet mrežnog prometa na razini individualnih bitova (*eng. Bit-Error-Rate Testing, BERT*). Ispitivanje individualnih bitova implementira se uporabom pseudonasumičnog binarnog niza (*eng. Pseudo-Random Binary Sequence, PRBS*) enkapsuliranog u ethernet informacijski okvir. Tehnika enkapsulacije omogućuje prebrojavanje individualnih bitova unutar specifičnih informacijskih okvira što povećava preciznost detekcije grešaka u fizičkim mrežnim sustavima za prijenos podataka.

Implementacija BERT tehnike ispitivanja bitova se koristi u sustavima gdje se ethernet promet prenosi transparentno korištenjem uređaja sloja 1:

- Ethernet u sustavu multipleksiranja gustom podjelom valne duljine (*eng. Ethernet Over DWDM*)
- Ethernet u sustavu multipleksiranja sa širokom podjelom valne duljine (*eng. Ethernet Over CWDM*)
- Ethernet u sustavu neposjedničkih svjetlovodnih niti (*eng. Ethernet Over Dark Fiber*)
- Ethernet u bežičnom svjetlovodnom sustavu (*eng. Ethernet Over Free-Space Optics*)
- Ethernet u sustavima bežičnih lokalnih mreža (*eng. Ethernet Over Wireless LANs*)

5.3.1. Ethernet GigE i 10GigE mreže u pasivnim optičkim mrežama

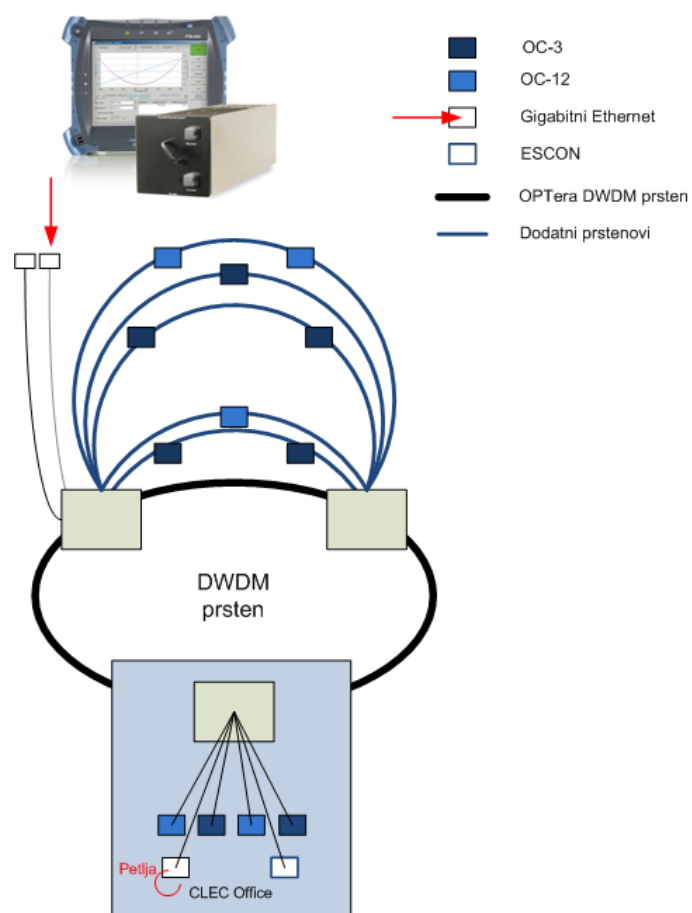
U svrhu implementacije point-to-point kao i point-to-multipoint pristupnih mreža koriste se i sustavi neposjedničkih niti kao i sustavi pasivnih optičkih mreža primjenom svjetlovodnih primopredajnika u fizičkom sloju (*eng. Physical-Layer Fiber Transcievers*). Zbog inherentnih nedostataka optičkih izvora svjetlosti kao i strukturalnih nesavršenosti svjetlovodnih niti, navedeni sustavi imaju smanjenu mrežnu propusnost. Testiranje svjetlovodnih sustava BERT tehnikom osigurava ispravnost niti kao i mogućnost sustava za ispravan rad uz potpuno gigabitno opterećenje bez pogrešno odaslanih bitova. Prikaz ispitivanja BERT sustavom prikazan je na slici 38.



Slika 38: Ispitivanje GigE svjetlovodnog kabela u pristupnoj mreži

5.3.2. Ethernet GigE i 10GigE mreže u DWDM sustavima

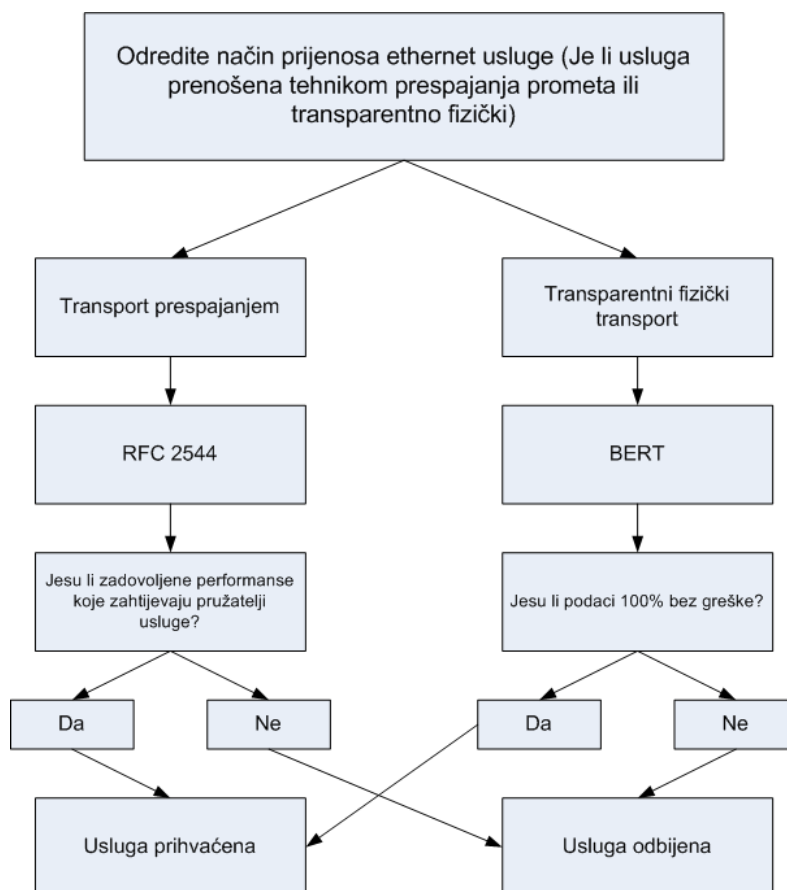
Ukoliko se gigabitni ethernet promet prenosi DWDM mrežom ukupna se mrežna propusnost smanjuje zbog atenuacije signala kao i zbog utjecaja informacijskog preslušavanja (*eng. Crosstalk*). BERT tehnika za ispitivanje individualnih bitova se koristi u svrhu potvrđivanja ispravnosti prijenosa ethernet GigE mrežnog prometa u DWDM sustavu prema slici 39.



Slika 39: Ispitivanje prijenosa GigE prometa u DWDM mreži

5.3.3. Ispitivanje prihvatljivosti ethernet usluga

Vrsta i temeljitost ispitivanja ethernet usluga ovisi o vrsti usluga koje se koriste u mrežnom sustavu za prijenos podataka. Na slici 40 je prikazan pristup ispitivanju usluga s prespajanjem podatkovnog prometa kao i usluga zasnovanim na transparentnom fizičkom prijenosu primjenom RFC 2544 odnosno BERT tehnika ispitivanja.



Slika 40: Prikaz procesa ispitivanje usluge

Svi navedeni testovi su definirani na način da ih je moguće izvesti na dijelu mreže (*eng. End-to-Core*) ili na cjelokupnoj mreži (*eng. End-to-End*). U obje vrste prijenosa cjelokupno se ispitivanje mreže zasniva na korištenju para prijenosnih mjernih jedinica te korištenju para jedinica za ispitivanje s oba kraja mreže. Ukoliko nije moguće ili je praktički neostvarivo, implementira se alternativna metoda ispitivanja. Druga se metoda odnosi na postavljanje ispitnog uređaja na centralnu točku mreže (*eng. Network Central Office*) te slanje informacijskog tehničara za ispitivanje s drugog kraja.

6. Ethernet usluga za prijenos glasovnog i video sadržaja

Zbog porasta potražnje za glasovnim (*eng. Voice over IP*) i video uslugama (*eng. IP Video*) postoji potreba za implementacijom glasovnih i video sadržaja korištenjem internet protokola u sustavu ethernet mrežnog prometa. Zbog visokih zahtjeva na kvalitetu ethernet glasovnih i video usluga potrebno uključiti utjecaj navedenih usluga na cjelokupne performanse mreže kao i utjecaj na ukupnu kvalitetu usluga. Tehnike ispitivanje poput verificiranje povezanosti mreže i ping naredbi nisu dovoljne za jednoznačno određivanje mrežnih značajki u uvjetima promjene stanja odnosno porastu mrežnog prometa. Ukoliko nije moguće ispitati mrežne značajke s potpunom sigurnošću, potrebno je predimenzionirati mrežni sustav u svrhu potpunog zadovoljavanja uvjeta za rad glasovnih i video usluga.

Glasovne i video IP usluge su osjetljive na kašnjenje mrežnog prometa. Karakteristični čimbenici koji utječu na kašnjenje prometa su međupaketno kašnjenje (*eng. Packet Jitter*) i neispravno sekvenciranje paketa (*eng. Out-of-Order Packets*). Multimedijski se mrežni promet odašilje zajedno s drugim vrstama podatkovnog prometa. Iz tog razloga, kanalno zahtjevnije mrežne usluge (*eng. Bandwidth-Demanding Applications*) poput protokolarnih usluga za prijenos podataka (*eng. File Transfer Protocol, FTP*) i usluga za udaljeno stvaranje rezervnih kopija podataka (*eng. Remote Backup*) degradiraju kvalitetu glasovnih i video usluga. Problem uzrokovan kanalno zahtjevnim uslugama potrebno je rješavati u procesu prvotne implementacije mreže. Prilikom prvotnog ispitivanja mrežnih parametara potrebno je simulirati uzorke realnog mrežnog prometa, odrediti utjecaj realnog mrežnog prometa na glasovne i video usluge te prilagoditi mrežne parametre u svrhu optimizacije prijenosa vremenski osjetljivih multimedijских paketa.

6.1. Tehnike za ispitivanje mreža u svrhu prijenosa glasovnih i video usluga

Ispitivanje mreže za prijenos podataka sa svrhom prijenosa glasovnih i video usluga potrebno je vršiti na specifični način. Mjerenje se izvodi uzimajući u obzir čimbenike koji simuliraju stvarno stanje mrežnog sustava. Na taj se način ostvaruje zadovoljavajuća točnost mjerenja.

Tehnike mjerenja koje uzimaju u obzir čimbenike koji simuliraju stvarno stanje sustava:

- Simulacija korisničke mreže (*eng. Simulating the Customer's Network*)⁴
- Simulacija realnog mrežnog prometa (*eng. Simulating Real World Patterns*)
- Izvođenje jednosmjernog ispitivanja (*eng. Performing Unidirectional Testing*)

Simulacija korisničke mreže podrazumijeva realističnu simulaciju i analizu interakcije višestrukog broja mrežnih usluga koje se prenose na jednom linku. U svrhu simuliranja realnog mrežnog stanja, ispitni uređaji rekreiraju okružje mrežnog klijenta na LAN i WAN mrežnoj razini. Kako bi se vršila korisnička emulacija mrežnog prometa upravlja se mrežnom propusnošću i mrežnim tokom. Za ostvarivanje mrežnog prioriteta ekvivalentnog korisnikovom prioritetu, primjenjuju se tehnike VLAN označavanja informacijskih paketa tijekom ispitivanja mrežnog prometa.

Simulacija realnog mrežnog prometa podrazumijeva izvođenje analize mrežnog prometa višestrukih kanala. Funkcionalna analiza simulira realni mrežni promet generiranjem jedinstvenog ispitnog niza paketa za svaku individualnu mrežnu uslugu. Glasovne i video usluge se simuliraju visokoprioritetnom vezom s promjenjivom širinom pojasa i učestalim mrežnim izbojima. Niskoprioritetne mrežne usluge se simuliraju vezom s kontinuiranom mrežnom propusnošću. U svrhu zadovoljavanja mjerne preciznosti, ethernet mjerni uređaji podržavaju ispitivanje nezavisno promjenjivih mrežnih tokova (*eng. Streams*). Mrežni tokovi sadržavaju informacijske okvire koji simuliraju one vrste podataka koje mrežni korisnici karakteristično odašilju odnosno preuzimaju. U tablici 4 su prikazane karakteristike mrežnih paketa koji se koriste za simulaciju glasovnih usluga dok su u tablici 5 prikazane karakteristike mrežnih paketa koji se koriste za simulaciju video usluga.

Tablica 4: Parametri mrežnih paketa za simulaciju glasovnih usluga

Vrsta mrežnog paketa	Karakteristike	Vrijednost
VoIP G.711	<p>Ne postoji glasovni kompresijski algoritam:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brzina prijenosa glasa 64 kb/s • Veličina informacije 100 B 	<p>Veličina IP paketa = 140 B</p> <p>Podatkovna brzina = 64 kb/s</p> <p>Linijska brzina = 80 f/s</p>
VoIP G.723.1	<p>Kompresija glasovnog kanala:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brzina prijenosa glasa 6,4 kb/s • Veličina informacije 24 B 	<p>Veličina IP paketa = 64 B</p> <p>Podatkovna brzina = 6,4 kb/s</p> <p>Linijska brzina = 33,3 f/s</p>
VoIP G.729	<p>Kompresija glasovnog kanala:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brzina prijenosa glasa 8 kb/s • Veličina informacije 10 B 	<p>Veličina IP paketa = 50 B</p> <p>Podatkovna brzina = 4 kb/s</p> <p>Linijska brzina = 50 f/s</p>

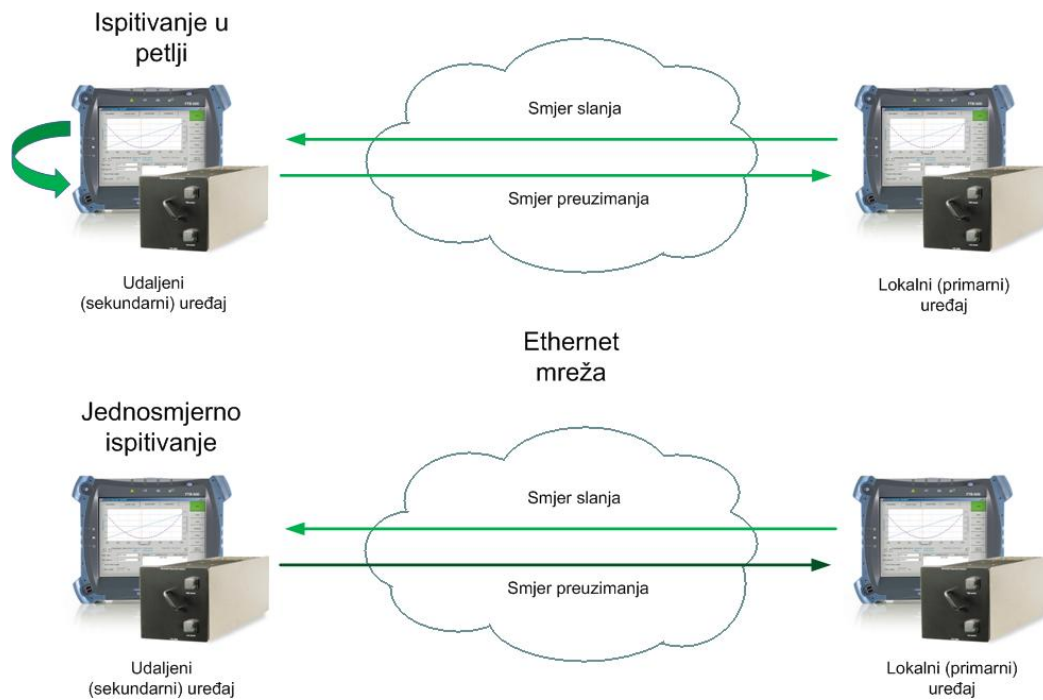
Tablica 5: Parametri mrežnih paketa za simulaciju video usluga

Neposredan prijenos video sadržaja (<i>eng. Video Streaming</i>)	Veličina video informacija (Byte)	Širina pojasa video sadržaja	Veličina ethernet informacijskih okvira (bit)
Usluga poslovne visokokvalitetne videokonferencije	915	107	973
LAN videokonferencija	779	77	837
DSL videokonferencija	363	65	421
28K videokonferencija	288	5	346
Neposredan prijenos zabavnog video sadržaja	1343	155	1401
Radioprijenos visoke kvalitete zvuka	681	30	739
80K zvučni sadržaj	697	15	755
20K zvučni sadržaj	476	7	533
28K video sadržaj	384	8	442

Parametri informacijskih paketa u tablicama 4 i 5 koriste se u svrhu konfiguracije ispitnih uređaja za ispitivanje glasovnih i video mrežnih usluga. U slučajevima mreža s više informacijskih tokova, tijekom izvođenja ispitivanja individualnih tokova potrebno je vršiti upravljanje i nadzor mrežnog prometa, propusnosti, zauzetosti kanala i prioriteta informacijskih paketa. Upravljanje individualnim tokovima osigurava ispravno izvođenje različitih vrsta realističnih simulacija mrežnog prometa.

Nakon izvođenja simulacije korisničke mreže i simulacije realnog mrežnog prometa potrebno je odrediti izvođenje jednosmjernog ispitivanja. Proces jednosmjernog ispitivanja podrazumijeva određivanje utjecaja smjera prijenosa prometa na brzinu prijenosa te na cjelokupne karakteristike mreže. Mrežni promet pristupnih mreža je asimetričan. Asimetričnost mrežnog prometa je mjera razlike brzine preuzimanja podataka naspram brzine odašiljanja podataka u vezi. Zbog asimetričnosti mreže, problemi vezani uz kvalitetu usluge su često povezani samo s jednim smjerom prijenosa podataka. Problemi asimetričnosti očituju se u glasovnim i video uslugama na način da jedan od dva korisnika koji se koriste uslugom ima problem jeke, ispada iz mreže te kašnjenja audio i video signala dok drugi korisnik nema nikakvih problema.

U svrhu ispitivanja i rješavanja problema vezanih uz utjecaj asimetričnosti mreže koristi se ispitna oprema s funkcijom nezavisnog ispitivanja individualnih smjerova odašiljanja i primanja mrežnog prometa. Ukoliko je nemoguće koristiti unidirekcionalnu opremu potrebno je vršiti mjerenje u petlji. Na slici 41 je prikazan princip mjerenja u petlji kao i unidirekcionalno mjerenje.



Slika 41: Prikaz jednosmjernog mjerenja i mjerenja u petlji

Problem s mjerenjem u petlji je nemogućnost odvajanja utjecaja odaslanog i primljenog mrežnog prometa te se stoga rezultat mjerenja određuje kao srednja vrijednost svih rezultata.

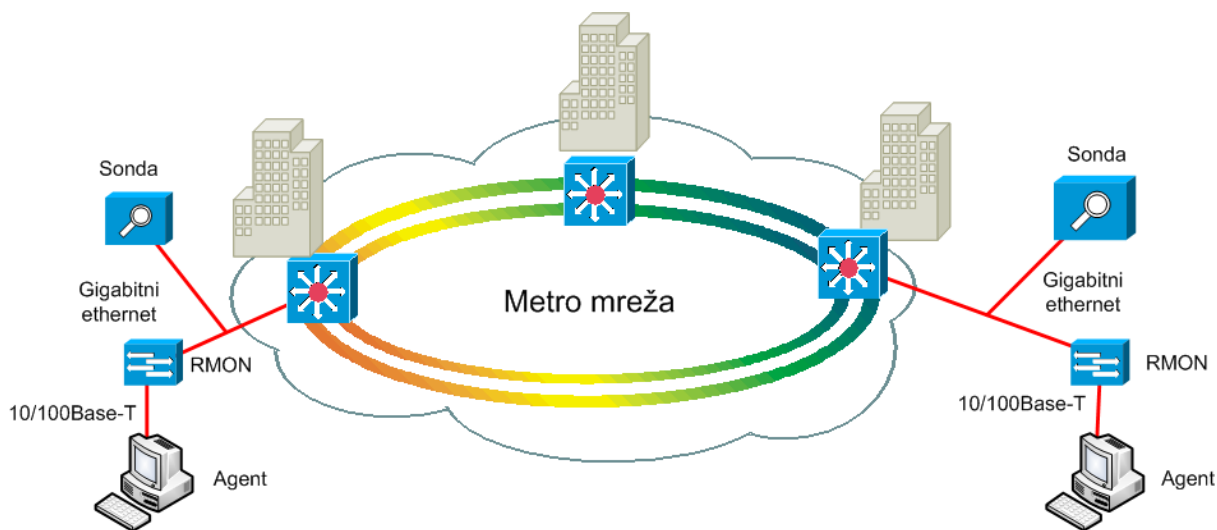
Jednosmjerno mjerenje omogućuje određivanje zasebnih vrijednosti za individualne smjerove odašiljanja prometa. Problem s jednosmjernim ispitivanjem je nemogućnost neposrednog mjerenja mrežne latencije. Mrežna se latencija može mjeriti jednosmjerno jedino korištenjem složenih sinkronizacijskih tehnika (*eng. Clock Synchronization Schemes*) često izvedenih mjerenjem signala globalnog sustava za određivanje pozicije (*eng. Global Positioning System, GPS*). Latencija se mjeri primjenom mjernog sustava za mjerenje u petlji. Za razliku od latencije jednosmjerno je moguće mjeriti mrežnu propusnost, izboje, gubitak informacijskih okvira kao i međupaketno kašnjenje.

7. Nadzor ethernet mreža

Mrežne usluge mreža za prijenos podataka moraju zadovoljavati predefimirane radne kriterije. Iz tog se razloga tok mrežnog prometa kao i karakteristični parametri mreže kontinuirano nadziru tijekom radnog stanja mreže za prijenos podataka. Nadzor mreže osigurava da se na mreži može pravodobno izvršiti preventivno ili korektivno održavanje.

7.1. Nadzor mrežnog prometa i mrežnih karakteristika

Nadzor mrežnih karakteristika podrazumijeva nadzor karakterističnih mrežnih parametara u realnom vremenu. Izvodi se periodičkim upitima prema mrežnim elementima ili mrežnim mjernim sondama o statističkim podacima vezanim uz karakteristične mrežne parametre. Nadzor mrežnog prometa i karakterističnih parametara se implementira primjenom jednostavnog mrežnog upravljačkog protokola (*eng. Simple Network Management Protocol, SNMP*) i protokola za udaljeni nadzor (*eng. Remote Monitoring, RMON*) prema slici 42.



Slika 42: Nadzor mrežnog prometa primjenom protokola za udaljeni nadzor

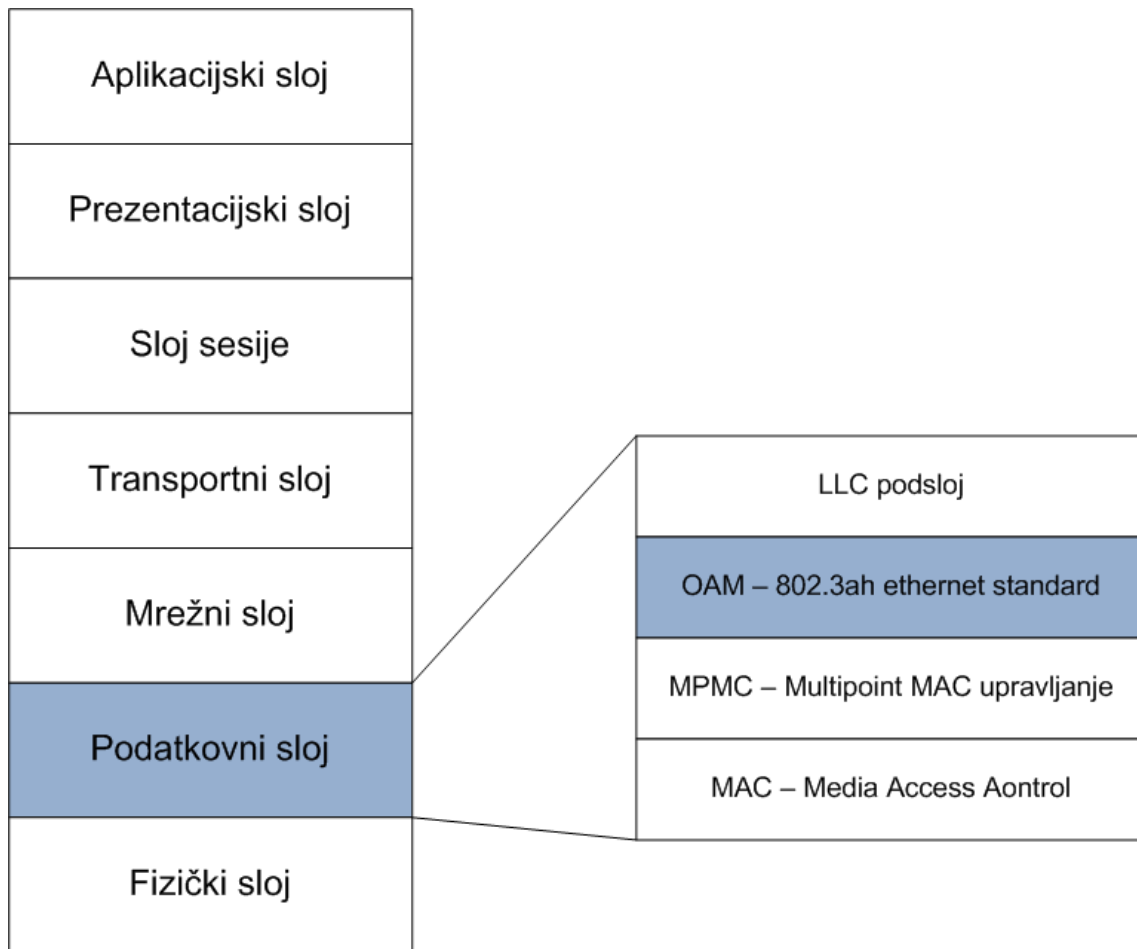
Navedeni protokoli čine standardne metode prikupljanja mrežnih informacija upitima prema mjernim sondama ili samim mrežnim uređajima. Mjerne se sonde u ethernet mrežnim sustavima za nadzor izvode implementacijom specijaliziranog sklopovlja ili u formi

programskih aplikacijskih agenata instaliranim na specifičnom mrežnom elementu ili osobnom računalu.

Mjerne sonde analiziraju različite protokole i protokolarne slojeve u svrhu određivanja performanse ethernet mreže. U sustavima aktivnih aplikacija za nadzor mrežnih parametara, sonde odašilju sintetski generirane podatke u cjelokupni mrežni promet. Sintetski podaci se koriste u svrhu određivanja karakteristične performanse mreže. Pasivne mjerne sonde ispituju stanje mreže bez dodavanja sintetski generiranih podataka u mrežni promet. Statistički se podaci kombiniraju sa sustavom alarma. Korištenje alarmnih sustava pojednostavljuje detekciju problema u radu i mrežnih grešaka. Mjerne sonde i sustavi za analizu protokola ispituju mrežni segment. Segmentirano ispitivanje smanjuje detekcijsku zonu što skraćuje vrijeme detekcije greške te pojednostavljuje identifikaciju, ispitivanje i rješavanje problema. Primjenom segmentiranog ispitivanja i detekcije greške se mogu ispraviti prije nego što se problem s mrežnom uslugom očituje na strani korisnika. Statistički se podaci vezani uz mrežni promet spremaju u zasebnu bazu podataka. Proučavanjem statističkih podataka pronalaze se uzorci s dugoročnim utjecajem na mrežu. Uzorci se koriste za proaktivno upravljanje mrežnim prometom u realnom vremenu na optimalan način.

7.2. Udaljeno ispitivanje ethernet mreža

Kompleksni postupak instalacije i održavanje ethernet mreža se pojednostavljuje implementacijom IEEE 802.3ah standarda za ispitivanje mreža. Navedenim se standardom kreira podsloj izvođenja radne funkcije, administracije i održavanja (*eng. Operation, Administration and Maintenance Sublayer, OAM*) u sloju ethernet podatkovnog linka u modelu međupovezanosti otvorenih sustava (*Open Interconnection Reference Model, OSI*) prema slici 43.



Slika 43: Prikaz podsloja za izvođenje radne funkcije, administracije i održavanja

Ispitivanja temeljena na principima 802.3ah standarda odnose se na pouzdanost, radne performanse, kvalitetu usluge i detekciju i pronalazak grešaka u ethernet sustavima za prijenos podataka. Standard 802.3ah specificira principe ispitivanja u petlji prema korisničkom segmentu mreže. Tehnikom jednostranog ispitivanja omogućuje se izvođenje proaktivnog upravljanja mrežom. Također se ubrzava i oporavak onih usluga koje su onesposobljene zbog pojave greške. Osim ispitivanja u petlji, standard 802.3ah određuje pravila za oporavak u slučaju kvara na udaljenoj lokaciji, aktivaciju obavijesti, prikupljanje statističkih podataka o nadziranim mrežnim vezama te dijagnostiku sustava.

Standard 802.3ah se temelji na DS1/3 pristupnom standardu za održavanje te se kao takav jednostavno integrira u postojeće sustave.

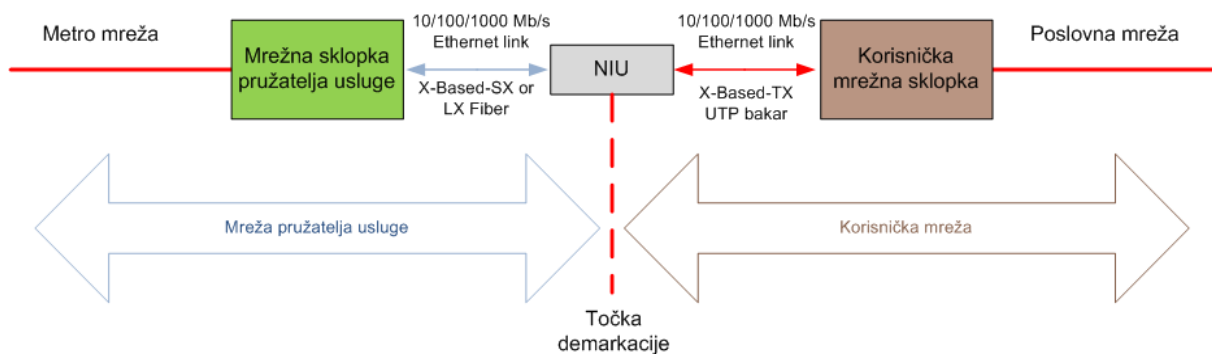
7.2.1. Upravljanje pristupnim mrežama primjenom 802.3ah standarda

Udaljeno ispitivanje 802.3ah standardom temelji se na komponentama:

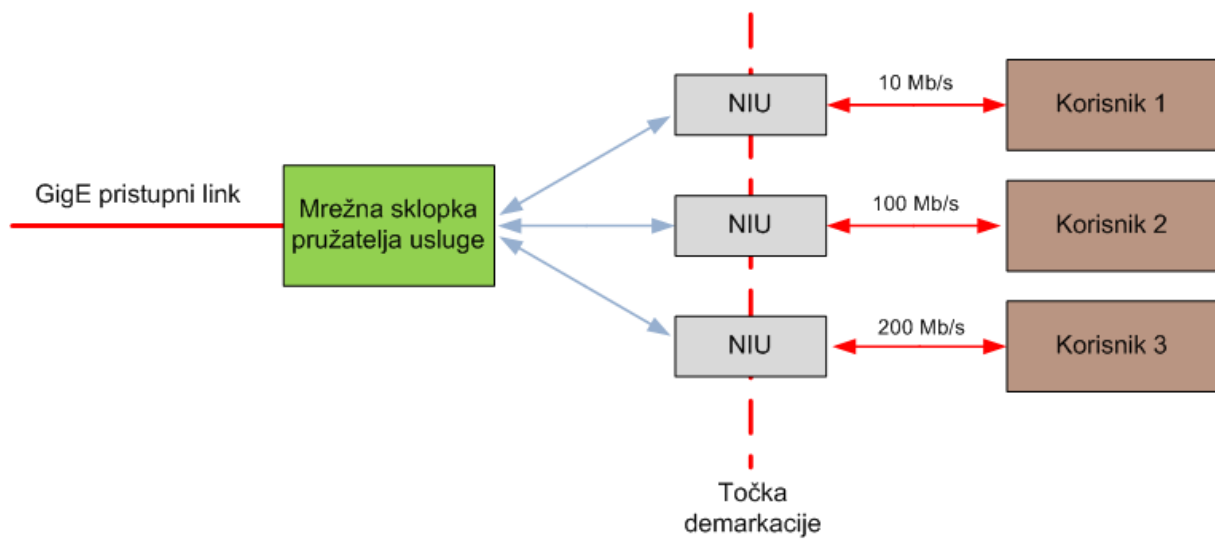
- Demarkacijski uređaj pozicioniran između korisničke mreže i mreže pružatelja usluga
- Sonda za udaljeno ispitivanje s mogućnošću izvođenja evaluacija mrežnih performansi
- Upravljačka programska aplikacija s funkcijom identifikacije i katalogiranja demarkacijskih uređaja

7.2.2. Demarkacijski uređaji

Karakteristična vrsta demarkacijskog uređaja je jedinica mrežnog sučelja (*eng. Network Interface Unit, NIU*). Jedinica mrežnog sučelja označava granicu između klijenta i pružatelja mrežnih usluga. Osim jedinica mrežnog sučelja, u svrhu demarkacije koriste se i 802.3ah kompatibilne ethernet mrežne sklopke sloja 2. Ethernet se mrežne sklopke koriste rijetko zbog nepraktičnosti administracije mreže. Problem nastaje u slučajevima kad jedna mrežna sklopka posluhuje više klijenata ili kad je sklopka u vlasništvu klijenta. Karakteristična mrežna instalacija jedinice mrežnog sučelja u pristupnoj mreži prikazana je na slici 44 dok je karakteristična instalacija većeg broja korisnika na jedinstvenoj pristupnoj mreži prikazana na slici 45.



Slika 44: Prikaz demarkacije jednog korisnika prema pristupnoj mreži



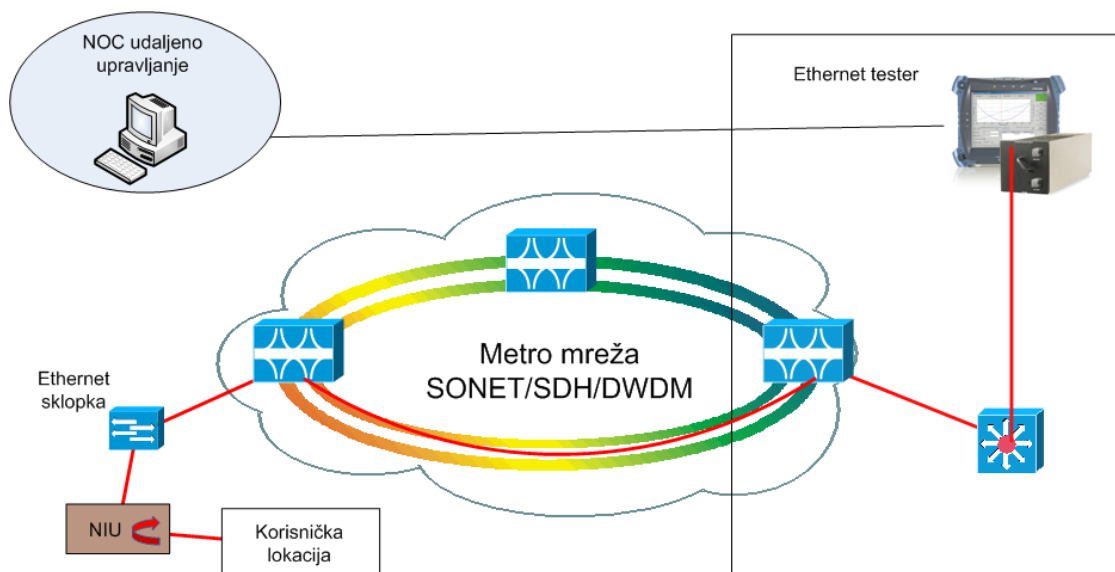
Slika 45: Prikaz demarkacije većeg korisnika prema pristupnoj mreži

Moguće je povezati veći broj jedinica mrežnog sučelja u jedinstvenu mrežnu sklopku. Kompozitna se mrežna sklopka koristi za odjeljivanje odnosno demarkaciju specifičnih segmenata mreže u slučajevima gdje je veći broj korisnika povezan jedinstvenom pristupnom vezom odnosno linkom.

Kako bi se ostvarila optičko-električna konverzija signala, jedinice mrežnog sučelja se kombiniraju s konverterima medijskog sadržaja. Pretvorba iz optičkog u električni signal se vrši između Svjetlovodne pristupne linije i ethernet poslovne mreže povezane bakrenim kabelima. Napredne jedinice mrežnog sučelja imaju napredne radne funkcije poput funkcije za pretvorbu brzine prijenosa signala uz prilagodbu širine pojasa. Primjenom naprednih NIU jedinica, pružateljima usluga se omogućuje izvođenje promjena širine kanala na strani korisnika u realnom vremenu. One jedinice mrežnog sučelja koje su kompatibilne s 802.3ah standardom koriste se za prikupljanje informacija i statističkih podataka o stanju mrežnih konekcija, za detekciju prekida rada mrežnih linkova te za javljanje pojave događaja bitnih za stanje na mreži.

7.2.3. Ethernet ispitne sonde

Za izvršavanje 802.3ah standardiziranih ispitnih mjerenja potrebno je koristiti kompatibilni 802.3ah ethernet ispitni uređaj. Korištenje 802.3ah kompatibilnog ethernet mjernog uređaja omogućuje povećanje preciznosti mjerenja performansi mreže kao i detekcije grešaka. Ispitivanja kompatibilna s 802.3ah standardom temelje se na aktivaciji jedinice mrežnog sučelja primjenom ispitivanja u strukturi petlje. Navedena se vrsta ispitivanja izvodi iz centralne radne stanice ili iz specificirane udaljene lokacije prema slici 46.



Slika 46: Ispitivanje u strukturi petlje primjenom ethernet ispitnih uređaja, ispitnih sondi i demarkacijskih uređaja

Karakteristična ispitivanja koja se izvode primjenom NIU jedinica su skup RFC 2544 analiza mrežnih performansi odnosno mjerenje mrežne propusnosti, latencije, gubitka informacijskih okvira i tolerancije mrežnih izboja. Primjenjuje se i BERT tehnika ispitivanja kao i testovi specifični za uslugu koja se prenosi mrežnom. Karakteristični specifični testovi podrazumijevaju ispitivanje međupaketnog kašnjenja kao i ukupnog utjecaja na kašnjenje signala za potrebe glasovnih i video usluga te ostalih vremenski osjetljivih mrežnih usluga. Prednost korištenja ethernet ispitnih sondi je efikasno rješavanje karakterističnih problema ethernet podatkovnih mreža. Karakteristični problemi ethernet podatkovnih mreža su povezani s karakteristikama i ograničenjima korisničke podatkovne mreže. Udaljeno ispitivanje primjenom ethernet sondi omogućuje brzu detekciju problema i identificiranje uzroka i lokacije problema.

8. Zaključak

U radu je dan pregled ethernet komunikacijskog standarda. Naveden je povijesni razvoj ethernet standarda te određivanje podjela prema definiranju različitih IEEE verzija protokola. Definiran je princip standardizacije ethernet protokola te postupni napredak i modifikacija protokola u svrhu integracije sa svjetlovodnom tehnologijom za prijenos podataka. Navedene su i opisane karakteristike ethernet standarda podjelom standarda na primjene u pristupnim mrežama, LAN, MAN i WAN mrežama. Određene su razlike u strukturi informacijskih okvira za različite primjene te su objašnjene razlike između karakterističnih tipova informacijskih okvira odnosno razlike između izvornog ethernet 2 okvira i IEEE 802.3 okvira te uzroci navedenih razlika. Definirana je upotreba ethernet standarda u poluduplex i fullduplex mrežama te razlika u primjenama protokola. Naveden je primjer implementacije ethernet standarda u svjetlovodnu SONET/SDH strukturu za prijenos podataka u formi ethernet 10 GigE mreže. Pokazano je da prijenos podataka ethernet protokolom nije ograničen na korištenje jedne vrste infrastrukture zbog činjenice da implementacija infrastrukture ovisi njenoj pouzdanosti, upravljivosti, administrativnim mogućnostima, standardiziranosti i utjecaju na održavanje i potencijalne buduće preinake. Uspoređene su vrste ethernet infrastrukture te je uočeno da je najčešća metoda integracije ethernet usluga korištenje optičke WDM/SONET/SDH infrastrukture ili implementacija paketnih tehnologija poput IP/MPLS. Objašnjen je postupak verifikacije ethernet performansi ispitivanjem parametara poput propusnosti, latencije, ispitivanja prekida u prijenosu sukcesivnih okvira te gubitka informacijskih okvira. Opisan je princip ispitivanja RFC 2544 testom te su određene konfiguracije mreže za mjerenje karakterističnih parametara te je uočeno da je najčešća ispitna konfiguracija jednoportna konfiguracija za ispitivanje u petlji koja se koristi za ispitivanje DWDM sustava ili ispitivanje cjelokupne mreže. Naveden je postupak ispitivanja ethernet GigE i 10GigE mreža u pasivnim optičkim mrežama te u DWDM sustavima. Određene su tehnike mjerenja kojima se ispituju mreže za prijenos glasovnih i video usluga simuliranjem stvarnog stanja sustava. Naveden je princip nadziranja mreža udaljenim ispitivanjem ethernet mreža primjenom 802.3ah standarda, demarkacijskim uređajima i ispitnim sondama. Nastavak razvoja ethernet tehnologije povećava ukupnu pouzdanost u radu, brzinu prijenosa informacija te općenito kvalitetu sustava za prijenos podataka.

Popis slika i tablica

Slika 1: Prikaz pristupnih mreža, MAN mreža i WAN mreža	4
Slika 2: Prikaz pristupnih, LAN, MAN i WAN mreža	6
Slika 3: Primjena ethernet VLAN usluge u svrhu kreiranja individualnih virtualnih mreža unutar MAN strukture	8
Slika 4: Prikaz strukture ethernet i 802.3 informacijskih okvira.....	13
Slika 5: Izvorišna i odredišna adresa u informacijskom okviru	15
Slika 6: TYPE i LENGTH polja	17
Slika 7: Lokacija LLC protokola.....	18
Slika 8: Prikaz lokacije zaglavlja podmrežnog pristupnog protokola.....	19
Slika 9: Prikaz lokacije podatkovnog polja.....	20
Slika 10: Prikaz lokacije sekvence provjere stanja informacijskih okvira.....	21
Slika 11: Lokacija ethernet okvira i VLAN identifikacije	22
Slika 12: Primjer virtualne lokalne mreže (VLAN)	24
Slika 13: Prioritet i vrste mrežnog prometa	25
Slika 14: Prikaz CSMA/CD tehnike upravljanja mrežnim prometom.....	26
Slika 15: CSMA/CD algoritam	28
Slika 16: Oblikovanje i lokacija polja za zaustavljanje/nastavak rada.....	30
Slika 17: Primjena 10 GigE WAN PHY mreže uz ITU-T kompatibilnost	33
Slika 18: Primjena 10 GigE WAN PHY mreže uz OC-768 kompatibilnost.....	33
Slika 19: Prikaz karakteristične primjene 10 GigE WAN i LAN PHY mreža	34
Slika 20: Prikaz karakteristične LAN poslovne mreže	37
Slika 21: Uredska LAN mreža s 10Base-T mrežnim čvorištem	38
Slika 22: Prikaz dodavanja korisnika u mrežu primjenom višestrukih mrežnih čvorišta	38

Slika 23: Karakteristična poslovna LAN mreža s mrežnom sklopkom sloja 2.....	40
Slika 24: Prikaz veza između pristupnih, MAN i WAN mreža	41
Slika 25: Prikaz sigurnih virtualnih mreža prema individualnim korisnicima u MAN mreži .	42
Slika 26: Prikaz ethernet linijske usluge	44
Slika 27: Prikaz ethernet LAN usluge.....	44
Slika 28: Povezivanje lokacija MPLS tehnologijom.....	51
Slika 29: Konvergencija usluga u IP/MPLS mrežu	52
Slika 30: Konfiguracija za ispitivanje dvostrukim setom opreme	54
Slika 31: Konfiguracija za ispitivanje dvostrukim portovima	55
Slika 32: Jednoportna konfiguracija za ispitivanje u petlji	56
Slika 33: Tehnike ispitivanja mreže od kraja do kraja, od kraja do centra te udaljenom metodom.....	58
Slika 34: Mjerenje mrežne propusnosti.....	59
Slika 35: Ispitivanje mrežnog izboja.....	61
Slika 36: Ispitivanje gubitka informacijskih okvira	63
Slika 37: Ispitivanje kružne latencije	64
Slika 38: Ispitivanje GigE svjetlovodnog kabela u pristupnoj mreži.....	67
Slika 39: Ispitivanje prijenosa GigE prometa u DWDM mreži	68
Slika 40: Prikaz procesa ispitivanje usluge	69
Slika 41: Prikaz jednosmjernog mjerenja i mjerenja u petlji	75
Slika 42: Nadzor mrežnog prometa primjenom protokola za udaljeni nadzor	76
Slika 43: Prikaz podsloja za izvođenje radne funkcije, administracije i održavanja	78
Slika 44: Prikaz demarkacije jednog korisnika prema pristupnoj mreži.....	79
Slika 45: Prikaz demarkacije većeg korisnika prema pristupnoj mreži	80
Slika 46: Ispitivanje u strukturi petlje primjenom ethernet ispitnih uređaja, ispitnih sondi i demarkacijskih uređaja.....	81

Tablica 1: Glavni Ethernet standardi.....	10
Tablica 2: Prikaz pravila za određivanje prioriteta u mehanizmu za automatsko uspostavljanje komunikacije	31
Tablica 3: Usporedba infrastruktura za prijenos ethernet mrežnog prometa	49
Tablica 4: Parametri mrežnih paketa za simulaciju glasovnih usluga	72
Tablica 5: Parametri mrežnih paketa za simulaciju video usluga	73

Literatura

<http://www.ieee802.org/3/>

<http://metroethernetforum.org/>

<http://www.ethernetsummit.com/>

<http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/technology/ethernet>

<http://www.level3.com/en/solutions/business-need/ethernet/>

<http://mreze.layer-x.com/s020300-0.html>

<http://www.jdsu.com/en-us/Pages/Home.aspx>

<http://www.cisco.com/>

<http://cecs.wright.edu/~bwang/course/ceg790/epons.pdf>

http://www.glenkramer.com/ucdavis/papers/cos_jon.pdf

http://www.axis.com/products/video/about_networkvideo/ip_networks.htm

<http://www.waset.org/journals/waset/v57/v57-46.pdf>

<http://www.edrawsoft.com/Network-Protocol.php>

http://eprints.eemcs.utwente.nl/8852/01/Boomsma_final.pdf

http://glenkramer.com/ucdavis/papers/epon_wiley.pdf