LOKALNE I PRISTUPNE MREŽE

Silvano Jenčić

SKRIPTA, 2. izdanje

ISBN: 978-953-8566-03-5

Split, 2024.

IZDAVAČ

Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije

AUTOR

Silvano Jenčić, viši predavač

RECENZENTI

Toni Jončić, predavač
dr. sc. Tonko Kovačević, profesor stručnog studija u t.i.

LEKTURA I KOREKTURA

prof. dr. sc. Jadranka Nemeth-Jajić

ISBN : 978-953-8566-03-5

Odlukom Povjerenstva za izdavačku djelatnost Sveučilišta u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Urbroj: 2181-193-111-45, ovo djelo se objavljuje kao izdanje Sveučilišnog odjela za stručne studije Sveučilišta u Splitu.

Sadržaj

Popis slika

Popis tablica

Predgovor

Skripta su namijenjena studentima Sveučilišnog odjela za stručne studije koji slušaju predmet Lokalne i pristupne mreže na prijediplomskom studiju elektronike. Također može poslužiti i kao temeljna literatura za sve koji su zainteresirani za detaljniji uvid u tehnologije komunikacijskih mreža.

Skripta *Lokalne i pristupne mreže* nastala su temeljem višegodišnjeg prikupljanja materijala i predavanja koja je pri Sveučilišnom odjelu za stručne studije Sveučilišta u Splitu održavala dr. sc. Marija Vrdoljak, red. prof., a u elektronički oblik pretvorio Marijo Nižetić, dipl. inž. el.

Novo, drugo izdanje skripata dopunjeno je poglavljima koja objašnjavaju ulogu OSI referentnog modela u razvoju mrežnih protokola, konfiguracije mrežnih topologija i značajke prijenosnih medija s kojima se povezuju uređaji u mreži.

Poglavlja o mrežnim protokolima također su dopunjena detaljnijim opisom rada samih protokola uz objašnjenje strukture okvira koji se koriste za prijenos podataka.

Skripta su sada tematski podijeljena na dva dijela. U prvom su dijelu objašnjene značajke i vrste prijenosnih medija i značajke mrežnih uređaja te je dan pregled najznačajnijih protokola koji se koriste na razini lokalnih mreža (Ethernet, Token Bus, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN, DQDB, VPN, WLAN). U drugom su dijelu predstavljene arhitekture pristupnih mreža (xDSL, koaksijalne, FITL, WiMAX) koje su danas u primjeni.

Autor

1. Lokalne mreže

Lokalna mreža, LAN (*Local Area Network*), komunikacijska je mreža koja omogućuje međusobno povezivanje i razmjenu podataka između uređaja unutar određenog područja. Mreža se zove lokalna jer je obično instalirana unutar jedne ili više zgrada na ograničenom prostoru. Uređaji koji se povezuju mogu biti raznovrsni, od osobnih računala, terminala, telefona, faksimila do senzora, video primopredajnika i slično.

Povećanjem udaljenosti razmještaja LAN mreža između velikih privatnih i javnih ustanova povećavali su se i zahtjevi za podatkovnom komunikacijom izvan lokalne mreže. To je dovelo do izgradnje metropolitanske (gradske) mreže, MAN (*Metropolitan Area Network*), čija je glavna namjena upravo povezivanje postojećih LAN mreža.

LAN i MAN mreže općenito karakterizira:

- relativno velika brzina prijenosa podataka (do 1 Gbit/s)
- mogućnost priključenja velikog broja (nekoliko stotina) računala na zajednički komunikacijski kanal
- mogućnost osiguravanja najjednostavnijih mehanizama koji imaju zahtijevanu funkcionalnost i performanse
- dobra pouzdanost i dobre osobine u pogledu učestalosti pogrešaka u prijenosu podataka
- kompatibilnost, odnosno mogućnost povezivanja uređaja različitih proizvođača u mrežu
- efikasno korištenje komunikacijske mreže
- stabilnost pod velikim opterećenjem
- jednostavna realizacija pristupa svim korisnicima sustava
- skalabilnost, odnosno jednostavna instalacija mrežnih sustava i mogućnost njihova proširenja
- jednostavna mogućnost rekonfiguracije mreže
- lako održavanje i
- niska cijena.

Prve verzije LAN mreža na tržištu su se pojavile početkom 80-ih godina prošlog stoljeća, a povezivale su krajnje uređaje u mrežu pomoću tzv. *dijeljenog medija* (*shared media*). Od sredine 90-ih godina prošlog stoljeća u LAN mreže sve se više uvode *LAN preklopnici* (*LAN switches*). Iako danas u LAN mrežama još uvijek koegzistiraju obje topologije, trendovi ipak pokazuju znatno poboljšanje iskorištavanja dijeljenog medija, posebno u području bežične komunikacije. Razlog prije svega proizlazi iz činjenice da dijeljeni medij omogućuje prijenos podataka većem broju korisnika i to u oba smjera istovremeno, tzv. *potpuni dupleksni* način rada (*full duplex mode*).

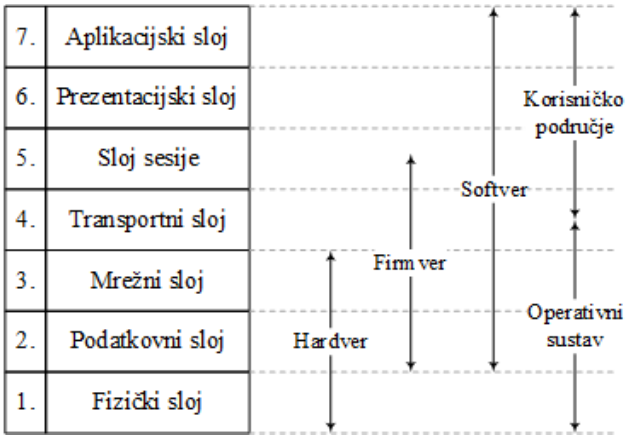
Uređaji u lokalnim mrežama međusobno komuniciraju na principu ravnopravnosti (*peer-to-peer*), što znači da svaki uređaj može u određenom trenutku, neovisno o ostalim uređajima, započeti komunikaciju. Kod mreža s dijeljenim medijem neophodno je stoga da svi okviri koje šalju uređaji sadržavaju adresu primatelja (odredišta) i adresu pošiljatelja (izvorišta).

1.1. OSI referentni model

Rastući problemi u komunikaciji zbog nekompatibilnosti mreža (opreme i protokola) različitih proizvođača doveli su 1984. godine do stvaranja OSI referentnog modela, a donijela ga je Međunarodna organizacija za standardizaciju – ISO (*International Organization for Standardization*). ISO/OSI referentni model (*Open Systems Interconnection Reference Model*) specificiran je od CCITT-a i ISO-a kao standard ISO/IEC 7498. OSI model je apstraktan, slojevit model koji stručnjacima pruža važne smjernice i preporuke u razvoju mrežnih protokola. Mrežni komunikacijski protokol predstavlja skup određenih pravila (za prikaz podataka, signalizaciju, autorizaciju i otkrivanje pogrešaka) koja su potrebna da bi se podatci mogli prenijeti preko komunikacijskog kanala.

1.1.1. Arhitektura ISO/OSI referentnog modela

OSI model je podijeljen u sedam slojeva, a svaki sloj opisuje skup funkcija i usluga koje su neophodne da bi se mogla ostvariti komunikacija između uređaja. Podjelom na slojeve omogućeno je da se, pridržavanjem smjernica, protokoli za pojedini sloj razvijaju neovisno o protokolima drugih slojeva. Na sl. 1.1. prikazani su slojevi OSI referentnog modela i njihova primjena.

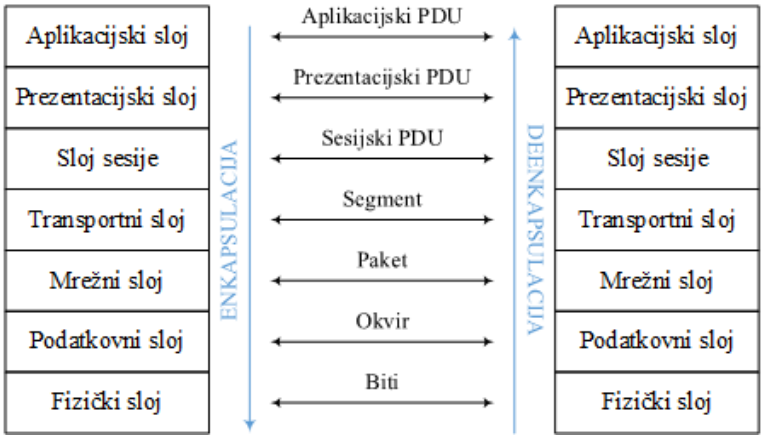


Slika 1.1. Slojevi OSI referentnog modela

Unutar istog uređaja odnosno OSI modela slojevi su poredani u vertikalnoj hijerarhiji jedan iznad drugog. Svaki sloj može preko sučelja komunicirati samo s višim ili nižim susjednim

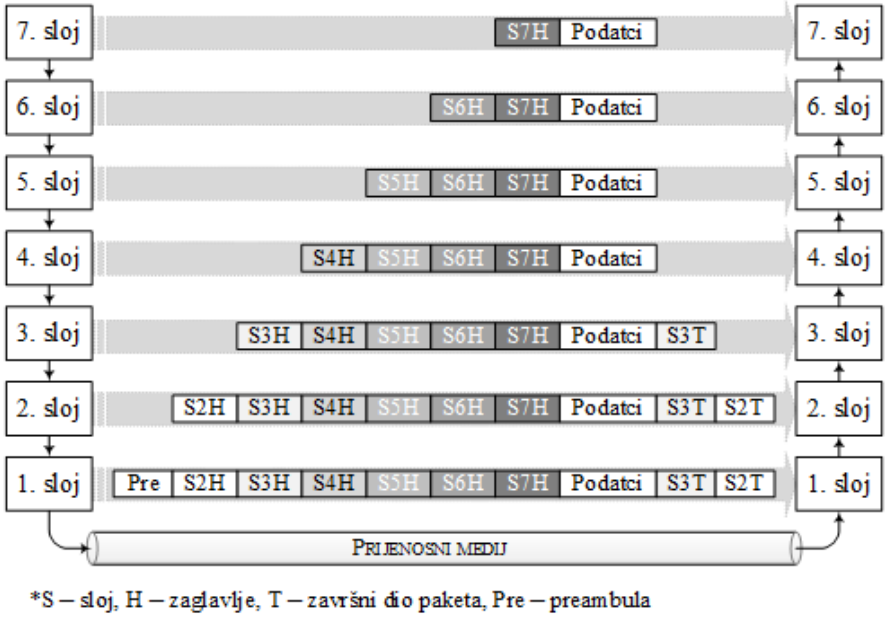
slojem tako da se viši slojevi uvijek koriste uslugama nižih slojeva. Točka u kojoj protokol višeg sloja može pristupiti uslugama nižeg sloja naziva se SAP (*Service Access Points*). SAP možemo pojednostavljeno promatrati kao memorijsku lokaciju na kojoj viši sloj može preuzeti podatke s nižeg sloja. Svakom je SAP-u dodijeljena jedinstvena adresa.

U komunikaciji između dvaju uređaja slojevi OSI modela povezani su u tzv. *peer-to-peer* komunikaciji. Svaki sloj jednog uređaja komunicira naime samo s istim slojem drugog uređaja. Fizički prijenos podataka ostvaren je tako da se podatci iz viših slojeva prosljeđuju nižim slojevima postupkom enkapsulacije te se tako zapakirani šalju preko komunikacijskog kanala. Svaki sloj OSI modela prije prosljeđivanja podataka nižem sloju dodaje i dio upravljačkih informacija protokola svojeg sloja kroz posebno zaglavlje, sl. 1.3. Upravljačke funkcije iz zaglavlja omogućuju pozivanje odgovarajućih funkcija i usluga protokola određenog sloja. Podatci zajedno sa zaglavljem nazivaju se PDU (*Protokol Data Unit*) i predstavljaju oblik pakiranja podataka za određeni sloj, kao što je prikazano na sl. 1.2. Na nižim se slojevima iza PDU-a dodaju i polja za označavanje kraja bitova podataka te polje za provjeru ispravnosti prijenosa podataka.



Slika 1.2. Arhitektura OSI referentnog modela

Enkapsulacija se ovisno o protokolu na višim slojevima obično ne koristi. Na nižim slojevima umjesto naziva PDU koristi se naziv 'segment' za PDU transportnog sloja, 'paket' za PDU mrežnog sloja i 'okvir' za PDU podatkovnog sloja. Na fizičkom sloju nema pakiranja podataka, već se okviri primljeni od podatkovnog sloja šalju preko prijenosnog medija kao niz bita. Na prijamnoj strani vrši se obrnuti postupak deenkapsulacije u kojem se na razini svakog sloja najprije procesiraju upravljačke informacije pripadajućeg zaglavlja, a zatim se zaglavlje uklanja prije prosljeđivanja podataka višem sloju. Prijenos podataka primjenom OSI referentnog modela prikazan je na sl. 1.3.



Slika 1.3. Prijenos podataka u OSI modelu

Uloge slojeva OSI referentnog modela

Aplikacijski sloj omogućuje korisničkim programima pristup mreži, ali ne opisuje sučelje programa prema korisniku. Primjeri protokola ovog sloja jesu prijenos datoteka preko mreže (FTP), usluge elektroničke pošte (POP3, SMTP), pristup internetu (HTTP), upravljanje mrežom (E i drugo. Podatke i zahtjeve korisničkih programa aplikacijski sloj prosljeđuje prezentacijskom sloju.

Prezentacijski sloj vodi računa o sintaksi i formatu podataka aplikacijskog sloja kako bi se omogućila njihova razumljivost na odredištu neovisno o korisničkom programu. Također, prezentacijski sloj vodi računa o kodiranju i kompresiji podataka. Primjeri formata podataka su tekst (ASCII , RTF, EBCDIC,…), glazba (MP3, WAV,...), slike (GIF, JPG, TIF,...) i video (AVI, MPEG, MOV,...).

Sloj sesije odgovoran je za uspostavljanje, održavanje i prekid komunikacijske veze između uređaja. U slučaju pada komunikacijske veze (sesije) sloj će pokušati obnoviti prekinutu vezu. Prijenos podataka u sesiji može biti ostvaren u simpleksu, poludupleksu i dupleksu. Sloj sesije također vodi računa o sinkronizaciji i segmentiranju paketa u mrežnoj vezi.

Aplikacijski, prezentacijski i sesijski sloj obično se nazivaju višim slojevima, a protokoli koji se koriste u tim slojevima nazivaju se višim protokolima. Viši su protokoli općenito implementirani u softver i ne koriste se isključivo za određeni sloj, već se pojedini protokoli mogu koristiti u više slojeva. Preostali slojevi obično se nazivaju nižim slojevima. U niže slojeve spadaju transportni, mrežni, podatkovni i fizički sloj.

Transportni sloj je zadužen za pouzdan prijenos podataka između uređaja. Podatci se šalju u velikom broju fragmenata koji se na prijmu ujedinjuju u originalnu poruku. Ovaj sloj provjerava i ispravlja pogreške u prijenosu te traži ponovno slanje fragmenata po potrebi. U prijenosu podataka transportni se sloj može koristiti vezom s uspostavom poziva ili onom bez uspostave poziva. Kod veze s uspostavom poziva za svaki primljeni paket uređaj mora poslati potvrdu prijma. Jedni su od važnijih protokola na ovom sloju TCP (*Transmission Control Protocol*) i UDP (*User Datagram Protocol*). TCP se koristi vezom s uspostavom poziva, a UDP onom bez uspostave poziva.

Mrežni sloj se koristi kada se komunikacija odvija preko više mreža. Za slučaj samo jedne mreže ovaj sloj nije potreban. Sloj pruža usluge povezivanja i odabira najbolje putanje za paket podataka jer podatci do odredišta mogu putovati različitim putanjama. Razmjena podataka ostvarena je primjenom logičkog adresiranja, tako da sloj ne vodi računa o tome jesu li podatci stigli na odredište. Ta je zadaća ostavljena protokolima viših slojeva (TCP). Najčešće su korišteni protokoli IP (*Internet Protocol*) i IPX (*Internetwork Packet Exchange*).

Podatkovni sloj je zadužen za kreiranje okvira od podataka viših slojeva, za njihovo slanje preko prijenosnog medija i za prijam na odredišnom uređaju. Ovaj sloj također vrši upravljanje brzinom protoka podataka, provjeru i korekciju ispravnosti primljenih okvira te fizičko adresiranje uređaja dodavanjem odgovarajućih polja u zaglavlje ili završni dio okvira. Podatkovni sloj podijeljen je na dva podsloja: LLC (*Logical Link Control*) i MAC (*Media Access Control*). LLC podsloj predstavlja sučelje prema protokolima mrežnog sloja, a odgovoran je za upravljanje komunikacijom i za provjeru pogrešaka u prijenosu. MAC podsloj upravlja pristupom prijenosnom mediju. Primjeri su protokola ovog sloja IEEE 802.3 (Ethernet), IEEE 802.11 (bežični prijenos), FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*), Frame Relay i dr.

Fizički sloj vrši pretvorbu podataka u digitalni signal koji se šalje na prijenosni medij. Ovaj sloj definira tip prijenosnog medija (bakreni vodič, svjetlovod, radijski signal), sučelje između uređaja i prijenosnog medija, električne karakteristike signala, postupke kodiranja i modulacije, topologiju mreže itd.

1.1.2. Primjer primjene OSI referentnog modela kod *web*-pretraživača

Na aplikacijskom sloju *web*-pretraživač koristi se kao korisničko sučelje za pristup *web*-stranicama. *Web*-pretraživač u ovom slučaju ne predstavlja aplikacijski sloj. Stvarni pristup između *web*-pretraživača i *web*-servera definiran je HTTP protokolom.
Format podataka kojima se pristupa na *web*-stranicama određen je funkcijama prezentacijskog sloja. Uobičajeni formati korišteni na internetu su HTML, XML, JPEG, PHP, GIF itd. Također, kodiranje i kompresija podataka koji se koriste određeni su funkcijama ovog sloja.
Sloj sesije odgovoran je za uspostavljanje, održavanje i prekid komunikacije između računala i *web*-servera te za to hoće li se komunikacija ostvariti u poludupleksu ili dupleksu.

TCP protokol kao sastavni dio transportnog sloja osigurava pouzdan prijenos podataka između *web*-servera i klijent-računala.
Logička adresa (u ovom slučaju IP) konfigurirana na klijent- i server-računalu dio je funkcija mrežnog sloja. U sklopu ovog sloja definira se i najbolja putanja prijenosa podataka primjenom usmjerivača. Budući da se podatci ne mogu slati direktno na logičku adresu na podatkovnom sloju, IP adrese se translatiraju u fizičke adrese. Podatci se zatim pakiraju u okvire i šalju na prijenosni medij.
Kabelska instalacija, bežična veza, mrežne kartice, koncentratori i ostali uređaji koji osiguravaju fizičku vezu između klijent-računala i *web*-servera rade na fizičkom sloju.

1.2. Standardi lokalnih mreža

Organizacija IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) definirala je arhitekturu lokalnih mreža kojom su u odnosu na OSI referentni model obuhvaćena samo dva sloja: fizički i podatkovni sloj. Podatkovni sloj je podijeljen na dva podsloja: sloj upravljanja pristupom prijenosnom mediju (MAC, *Media Access Control*) i sloj upravljanja logičkim vezama (LLC, *Logical Link Control*).

- **MAC podsloj**

Na MAC podsloju definirani su algoritmi za pristup mediju, kreiranje okvira i otkrivanje pogrešaka u prijenosu signala. Upravljanje pristupom mediju može se ostvariti na dva načina: centralizirano ili decentralizirano. Kod centraliziranog upravljanja uvijek postoji nadređeni uređaj koji upravlja komunikacijom i daje dopuštenje ostalim uređajima za pristup mediju odnosno slanju paketa (okvira). Kod decentraliziranog pristupa svi uređaji imaju mogućnost pristupa mediju kada nema aktivnosti na mreži s tim da se pravo pristupa određuje tako da ga dobije onaj uređaj koji je prvi počeo sa slanjem okvira. Problem do kojeg može doći jest istovremeno slanje okvira više uređaja ili tzv. sudar okvira (*collision*), koji se rješava ovisno o vrsti protokola lokalne mreže. MAC podsloj sklopovski je implementiran na mrežnoj kartici uređaja ili u priključku uređaja (*port*) ako uređaj ima ugrađen veći broj priključaka (npr. Ethernet preklopnik, usmjernik, …).

- **LLC podsloj**

Na LLC podsloju definirana je metoda kojom je protokolima višeg sloja omogućeno korištenje zajedničke fizičke veze unutar LAN-a (*Local Area Networks*). Ovaj podsloj je implementiran kao pogonski program (*driver*) mrežne kartice uređaja ili kao programski modul mrežnog uređaja. Podsloj LLC zadužen je za adresiranje, upravljanje mrežom (uspostava, održavanje i prekid logičke komunikacije), međusobno povezivanje lokalnih mreža spojnim uređajima itd. Unutar ovog podsloja definirana su tri tipa LLC-a, odnosno tri vrste usluga koje ovaj podsloj pruža protokolima višeg sloja:

1. ***LLC Tip 1*** – podržava bespojnu uslugu bez potvrde primitka okvira (*unacknowledged connectionless service*)

2. ***LLC Tip 2*** – podržava spojnu uslugu (*connection-mode service*)

3. ***LLC Tip 3*** – podržava bespojnu uslugu s potvrdom primitka okvira (*acknowledged connectionless service*).

Podsloj LLC specificiran je kao standard IEEE 802.2 i jednak je za sve vrste lokalnih mreža. Većina se LAN-ova koristi *LLC Tip 1* uslugom.

Godine 1988. IEEE je izradio seriju standarda 802.x za lokalne mreže koji su specificirani unutar međunarodnog standarda ISO 8802, i to:

- IEEE 802.1 - arhitektura, obuhvaća pitanja koja su zajednička svim vrstama lokalnih mreža: adresiranje, upravljanje mrežom, povezivanje pomoću mostova i dr.
- IEEE 802.2 - protokol podatkovnog sloja (LLC, *Logical Link Control*)
- IEEE 802.3 - fizički sloj i način pristupa za asinkrone sabirničke mreže (Ethernet-CSMA/CD)
- IEEE 802.4 - fizički sloj i način pristupa za sinkrone sabirničke mreže (*Token Bus*)
- IEEE 802.5 - fizički sloj i način pristupa za sinkrone prstenaste mreže (*Token Ring*)
- IEEE 802.6 - fizički sloj i način pristupa za gradske mreže (MAN) s DQDB (*Distributed Queue Dual Bus Token*) tehnologijom (rijetko se koriste)
- IEEE 802.7 - fizički sloj i način pristupa za širokopojasne mreže
- IEEE 802.8 - fizički sloj i način pristupa za optičke MAN mreže (FDDI)
- IEEE 802.9 - standardizira ISLAN sučelje (*Integrate Services LAN Interface*)
- IEEE 802.10 - definira raspored ključeva za LAN/MAN sigurne mreže
- IEEE 802.11 - fizički sloj i način pristupa za bežične mreže (WLAN)
- IEEE 802.12 - fizički sloj i način pristupa za lokalne mreže s prioritetom (*Demand Priority*) (100 VG-AnyLAN)
- IEEE 802.14 - fizički sloj i način pristupa za širokopojasne mreže (*Broadband Local Area Networks*), koje se koriste tehnologijom kabelske televizije

- IEEE 802.15 - fizički sloj i način pristupa za bežične mreže malog dometa (Bluetooth, ZigBee, …)
- IEEE 802.16 - fizički sloj i način pristupa za bežične mreže u području 10-60 GHZ (WiMAX).

1.3. Vrste lokalnih mreža

Lokalne mreže se mogu podijeliti s obzirom na:

- vrstu prijenosa
- topologiju, tj. konfiguraciju čvorova i grana
- pristupni protokol
- zajednički prijenosni medij
- brzinu prijenosa po zajedničkom mediju.

1.3.1. Vrste prijenosa kod lokalnih mreža

Osnovna gruba podjela lokalnih mreža proizlazi iz frekvencijskog pojasa unutar kojeg se obavlja prijenos signala. Tako se temeljni frekvencijski pojas (*baseband*) definira kao onaj pojas kojim se obavlja prijenos izvorno bez uporabe modulacije. Digitalni signali prenose se medijem primjenom Manchester ili diferencijalnog Manchester koda, a cijeli se frekvencijski spektar prijenosnog medija koristi za prijenos signala. Prijenos je dvosmjeran, a obično se kao medij danas upotrebljava oklopljena upletena parica ili svjetlovodni kabel.

Neoklopljena upredena parica (UTP) susreće se u trima kategorijama (standard EIA-568-A) za koje su definirane prijenosne karakteristike za brzine do 16 MHz (kategorija 3), do 20 MHz (kategorija 4) i do 100 MHz (kategorija 5).

Kategorije 3 i 5 najčešće su korištene: kategorija 3, obična telefonska parica, instalirana je u većini zgrada, dok se nove (pre)instalacije uglavnom rade s kategorijom 5. Oklopljena upredena parica (STP) ima bolja svojstva na nižim brzinama (zaštićena je od vanjskih elektromagnetskih utjecaja, skuplja je i neprikladna za instaliranje). Standard EIA-568 definira STP 150 Ω i UTP 100 Ω za kabel, konektore itd.

Prijenos u transponiranom frekvencijskom pojasu, tj. širokopojasni (*Broadband*) sustav, u području lokalnih mreža smatra se onaj koji zahtijeva širinu kanala veću od 4 kHz. Obavlja se analogni prijenos informacija uporabom modema, a moguće je korištenje više kanala (uporabom FDM-a) za podatke, govor, sliku itd. Obično se upotrebljava CATV koaksijalni kabel (75 Ω).

LLC protokol omogućuje protokolima višeg sloja (u OSI referentnom modelu lokalne mreže to su protokoli mrežnog sloja) da zajednički dijele (*share*) – upotrebljavaju fizički link u LAN-u.

1.3.2. Topologije lokalnih mreža

Topologija predstavlja strukturu povezivanja više uređaja ili stanica u mreži. Može biti *logička* ili *fizička*.

- ***Logička topologija*** upućuje na koji je način ostvaren prijenos podataka između uređaja na mreži, a određena je općenito mrežnim protokolima.

Najčešće korištene takve topologije kod LAN-ova su zvijezda, sabirnica i prsten u raznim varijantama: jednostruke, dvostruke, jednosmjerne, dvosmjerne itd.
Tipični primjeri mreža izvedenih u topologiji sabirnice su Ethernet i DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*), a prstena *Token Ring* i FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*).
Općenito, kada govorimo o topologiji neke lokalne mreže, tada mislimo na njezinu logičku konfiguraciju.

- ***Fizička topologija*** prikazuje fizički raspored uređaja na mreži i njihovu povezanost. U tom slučaju obično govorimo o kabliranju ili ožičenju lokalne mreže. Fizičke topologije dijele se na četiri osnovna tipa: *mesh*, zvjezdasta, linearna i prstenasta topologija.

Mesh topologija

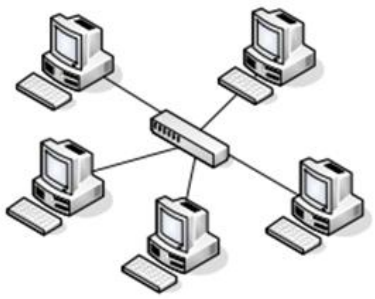
U *mesh* topologiji svaki je uređaj povezan usmjerenom vezom sa svim ostalim uređajima, sl. 1.4. Za potpunu dvosmjernu komunikaciju između svih uređaja u ovoj topologiji potrebno je realizirati $n(n-1)/2$ fizičkih veza za n uređaja. Da bi podržao toliko veza, svaki uređaj na mreži mora sadržavati $n-1$ ulaznih i izlaznih priključaka. U odnosu na ostale topologije ova topologija ima niz prednosti. Veze između uređaja neovisne su jedna o drugoj, tako da neispravnost rada pojedinih veza ne utječe na ukupni rad sustava, čime je znatno pojednostavljeno otkrivanje pogrešaka. Dodatna je prednost sigurnost i privatnost sustava jer se prijenos podataka odvija samo između uređaja koji su direktno povezani.

Slika 1.4. *Mesh* topologija

Nedostatak je velika kabelska instalacija koja zauzima dosta prostora i korištenje velikog broja ulaznih/izlaznih priključaka na uređajima. Spajanje novih uređaja na mrežu složeno je i skupo jer zahtijeva instalaciju dodatne opreme i kabela. Iz tog se razloga *mesh* topologija koristi samo u posebnim slučajevima, npr. pri povezivanju glavnog računala na sabirnicu hibridne mreže koja može uključivati nekoliko drugih topologija.

Zvjezdasta topologija

U zvjezdastoj topologiji (*star*) svaki je uređaj povezan usmjerenom vezom sa središnjim uređajem, kao što je npr. koncentrator ili preklopnik, sl. 1.5. Između samih uređaja ne postoji direktna veza, već se sva komunikacija odvija preko središnjeg uređaja. Neispravnost pojedine veze ne utječe na rad ostalih veza u sustavu.

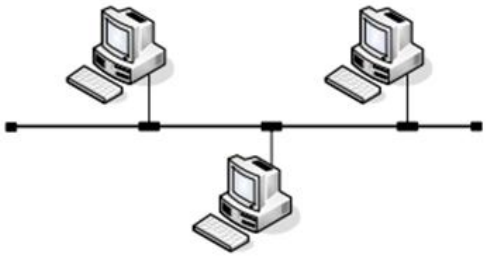


Slika 1.5. Zvjezdasta topologija

Budući da je spajanje svakog uređaja na središnji uređaj ostvareno preko samo jednog priključka, troškovi instalacije znatno su manji, a konfiguracija sustava je pojednostavljena. Povezivanjem više koncentratora može se ostvariti tzv. distribuirana zvjezdasta topologija. Zvjezdasta topologija najčešće se koristi u LAN mrežama.

Linearna topologija

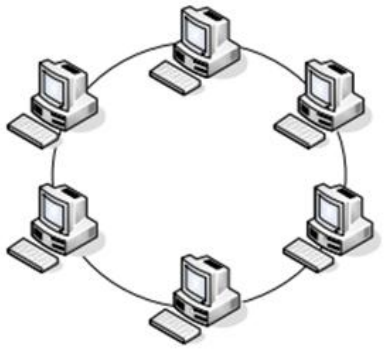
Linearna topologija ili sabirnica (*bus*) predstavlja višespojnu vezu u kojoj su na sabirnicu paralelno spojeni svi uređaji, sl. 1.6. Sabirnica treba biti zaključena na oba kraja karakterističnom impedancijom kako bi se smanjile refleksije signala, a time i smetnje u prijenosu. Broj uređaja ograničen je brzinom prijenosa i duljinom sabirnice. Komunikacija je kod ove topologije ostvarena u poludupleksu, a uređaji se mogu spajati i odspajati sa sabirnice bez utjecaja na komunikaciju ostalih uređaja. Prekid kabela na sabirnici dovodi do prestanka komunikacije između svih uređaja, što otežava otkrivanje pogreške.



Slika 1.6. Topologija sabirnice

Prstenasta topologija

U prstenastoj topologiji (*ring*) svaki je uređaj povezan usmjerenom vezom s uređajem koji mu prethodi i koji slijedi iza njega, sl. 1.7. Prijenos signala odvija se duž prstena u jednom smjeru, od uređaja do uređaja, dok ne stigne na odredište. Neispravnost rada bilo kojeg uređaja dovodi do prekida komunikacije cijelog sustava, tako da to otežava uključivanje ili isključivanje uređaja na mreži. Ovo se može prevladati korištenjem topologije dvostrukog prstena. Broj uređaja i duljina prstena ograničeni su brzinom prijenosa i prijenosnim medijem. Komunikacija između uređaja u prstenastoj topologiji ostvarena je metodom *token passing*.



Slika 1.7. Prstenasta topologija

Pored osnovnih tipova u praksi se često koriste i hibridne topologije koje zapravo predstavljaju kombinacije osnovnih topologija. Jedna od najčešćih je stablo, koja predstavlja kombinaciju zvijezde i sabirnice.

1.3.3. Pristupni protokoli

Metoda pristupa većeg broja korisnika zajedničkom mediju najšire je korištena razlika pojedinih lokalnih mreža. Pristupni protokol je skupina pravila koja određuje redoslijed kojim stanice mogu pristupiti korištenju zajedničkog medija (komunikacijskih kanala).

Pristupni protokoli trebaju zadovoljiti određene uvjete od kojih su najvažniji sljedeći:

- jednostavnost
- racionalnost
- robusnost i
- ravnopravnost.

Racionalnost predstavlja karakteristiku protokola da ima malu potrošnju komunikacijskih i pocesorskih resursa medija i stanica.

Robusnost predstavlja svojstvo protokola da se u slučaju pogrešaka pri prijenosu i pristupu mediju takve situacije mogu razriješiti te se sustav može oporaviti i nastaviti normalno raditi. U idealnom slučaju mehanizam oporavka trebao bi biti uključen samo u onim stanicama koje komuniciraju u trenutku kad dolazi do pogrešaka.

Ravnopravnost (*fairness*) u pristupu zajedničkom mediju omogućuje svim stanicama ravnopravno korištenje mrežnih kapaciteta. To znači da niti jedna od stanica ne može zauzeti sav prijenosni kapacitet i time monopolizirati mrežne resurse. Pojedine mreže koriste se prioritetnim pristupom mediju kod kojeg su stanice podijeljene u prioritetne razrede. U tom slučaju stanice iz višeg prioritetnog razreda mogu pristupiti većem mrežnom kapacitetu nego stanice s nižim prioritetom, što dovodi do toga da se nekim stanicama blokira pristup mediju u trenutcima velikog prometnog opterećenja (tzv. tranzijentno blokiranje).

Pristup mediju u LAN mrežama upravljan je u MAC (*Medium Access Control*) podsloju. Upravljanje pristupom prijenosnom mediju može se ostvariti na dva načina:

- centralizirano i
- decentralizirano.

Kod centraliziranog upravljanja uvijek postoji nadređeni uređaj koji upravlja komunikacijom i daje dopuštenje ostalim uređajima za pristup mediju odnosno slanju paketa (okvira).

Kod decentraliziranog pristupa svi uređaji imaju mogućnost pristupa mediju kada nema aktivnosti na mreži s tim da se pravo pristupa određuje tako da ga dobije onaj uređaj koji je prvi počeo sa slanjem okvira. Problem do kojeg može doći jest istovremeno slanje okvira više uređaja ili tzv. sudar okvira (*collision*), koji se rješava ovisno o vrsti protokola lokalne mreže. Decentralizirani način pristupa najčešće se koristi kod lokalnih mreža.

Budući da su ovdje posebno važna svojstva prometa koji generiraju stanice, podsjetimo se na dvije osnovne vrste prometa prisutnih kod mreža:

- približno kontinuiran promet – struja bitova (*stream traffic*) – takva je obično govorna veza ili prijenos velike datoteke i
- praskovit promet (*burst traffic*) – kakav je najčešće običan interaktivni promet terminal-računalo). Kod uobičajenih LAN mreža posebno je izrazit praskovit promet.

Upravljanje pristupom mediju možemo također podijeliti:

- na sinkrono (determinističko) i
- na asinkrono (dinamičko).

Kod sinkronog pristupa određeni kapacitet dodjeljuje se pojedinoj vezi. Takva deterministička metoda nije optimalna za LAN/MAN mreže, gdje potrebni komunikacijski kapaciteti pojedine stanice općenito nisu predvidivi.

Asinkroni (dinamički) postupak ima očite prednosti, a možemo ga podijeliti u tri skupine:

- ***Ciklički ili kružni pristup*** (*Round Robin*)

  Koristi se kod velikog broja stanica. Može biti ostvaren s centraliziranim (*polling*) i decentraliziranim (*token bus, token ring*) upravljačkim pristupom. Kod ovog pristupa svaka stanica u sekvencijalnom logičkom redoslijedu dobiva odobrenje za slanje okvira. Stanica koja dobije odobrenje može odustati od slanja okvira (npr. nema ništa za slanje), ali nakon isteka odobrenog vremena ona pravo odašiljanja prosljeđuje sljedećoj stanici u logičkoj sekvenciji. Ova je metoda vrlo učinkovita kada je aktivan velik broj stanica. Kod aktivnosti malog broja stanica, tj. kod malog prometa, obično su druge pristupne metode znatno učinkovitije.

- ***Slučajan ili natjecateljski pristup***

  Kod ove pristupne metode sve stanice mogu slučajno pristupiti mediju, bez centralne kontrole redoslijeda pristupa (predstavlja decentraliziranu metodu pristupa). U biti, stanice zauzimaju medij u međusobnom natjecanju pa se metoda i zove natjecateljska (*contention*). Ovu metodu odlikuje jednostavnost, visoka učinkovitost kod malog i srednjeg prometa te prikladnost za posluživanje praskovitog prometa. Kod velikog

prometa (aktivnosti velikog broja stanica) može doći do prometnog kolapsa (*deadlock*), tj. do degradacije performansi (veliko kašnjenje, mala ili gotovo nikakva propusnost). Tipičan protokol te vrste kod LAN mreža je IEEE 802.3 CSMA/CD, Ethernet.

- ***Rezervacijski pristup***

  Rezervacijski pristup mediju, centralizirani ili decentralizirani, prikladan je za kontinuirani promet i rjeđe se koristi kod lokalnih mreža. Obično je vrijeme na mediju podijeljeno u odsječke slično kao kod sinkronoga vremenskog multipleksa (TDM), a stanica koja želi pristup rezervira budući vremenski odsječak, praktički na neograničeno vrijeme. Rezervacija može biti centralizirana ili decentralizirana. Ova se metoda zove TDMA (*Time Division Multiple Access*), a često se koristi kod paketnih radio i satelitskih komunikacija. Postoji i stariji FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) te u novije vrijeme CDMA (*Code Division Multiple Access*) i WDMA (*Wavelength Division Multiple Access*).

Prva dva pristupa dominantna su u LAN mrežama.

1.3.4. Zajednički prijenosni medij

S obzirom na prijenosni medij lokalne mreže dijele se na žičane i bežične.

1.3.4.1. Žičani medij

S obzirom na karakteristike možemo ih podijeliti u dvije osnovne skupine: klasične kabele i svjetlovodne kabele.

1.3.4.1.1. Klasični kabeli

Ovoj skupini pripadaju kabeli s bakrenim vodičima od kojih su najznačajniji u primjeni kabel s upletenom paricom i koaksijalni kabel. Njihova velika prednost niže su cijene kabela i komponenata za spajanje te jednostavna montaža. Razvojem tehnologije proizvodnje bakrenih kabela i uređaja za digitalni prijenos signala omogućene su brzine od 100 Mbit/s, 1000 Mbit/s, 10 Gbit/s, pa sve do 40 Gbit/s, što ih približava karakteristikama svjetlovodnih kabela. Postoje međutim nedostatci u pogledu ograničenja duljine, osjetljivosti na mehanička oštećenja, osjetljivosti na razliku potencijala i elektromagnetske smetnje te gubitke signala u ovisnosti o frekvenciji. Ti su nedostatci uzrokovani ne samo tipom kabela nego i specifikacijom sučelja (format podataka, razine signala itd.).

1.3.4.1.1.1. Standardizacija

Standardiziranjem mrežne opreme uvode se početkom 1990. standardi koji definiraju performanse mrežne opreme i njihovu kategorizaciju odnosno klasifikaciju.

Američki standard EIA/TIA-568, kao prvi prihvaćeni, uveo je podjelu po kategorijama kabelskih komponenata prema vrsti kabela koji se koristi za podršku rada aplikacija do određene širine propusnog pojasa. Kategorizacija obuhvaća neoklopljene bakrene kabele s upletenim paricama te višemodne i jednomodne svjetlovodne kabele.

Međunarodni standard ISO/IEC 11801 definira klase kojima se specificiraju performanse veze između dviju točaka povezivanja, obuhvaćajući i sve pripadne komponente koje ispunjavaju zahtjeve za podršku rada aplikacija do određene širine propusnog pojasa. U ovom standardu definiraju se dvije vrste bakrenih kabela s upletenim paricama, oklopljeni i neoklopljeni, dvije vrste višemodnih svjetlovodnih kabela, 62.5/125 μm i 50/125 μm, te jednomodni 9/125 μm svjetlovodni kabeli.

Europski standard EN 50173 obuhvatio je oba standarda, a primjenjuje se u zemljama Europske zajednice.

Tablica 1.1. Podjela kabela po klasama

KLASA	FREKVENCIJSKI OPSEG
A	< 100 kHz
B	1 MHz
C	16 MHz
D	100 MHz
E	500 MHz
E_A	600 MHz
F	600 MHz
F_A	1000 MHz

*A – Augmented (proširen)

Tablica 1.2. Podjela kabela po kategorijama

KATEGORIJA	FREKV. OPSEG	PRIMJENA
1*	1 MHz	Analogni prijenos
2*	4 MHz	Analogni i digitalni prijenos
3	16 MHz	Token Ring 4 Mbit/s, 10Base-T, 100Base-T4
4	20 MHz	LAN
5	100 MHz	Token Ring 16 Mbit/s, Token Ring 100 Mbit/s, ATM 25 Mbit/s, ATM 155 Mbit/s, 100Base-TX, 1000Base-T
5e	100 MHz	LAN(poboljšana kategorija 5, stroži zahtjevi u pogledu preslušavanja i slabljenja)
6	250 MHz	1000Base-TX, ATM LAN 1200 Mbit/s
6_A	500 MHz	10Gbase-T
7	650 MHz	1000Base-TX2
7_A	1000 MHz	10Gbase-T, Broadband CATV

*A – Augmented (proširen). Kategorija 1 i 2 se više ne koristi.

Kabeli na vanjskom omotaču sadrže oznake koje osim podataka o proizvođaču, vrsti kabela, kategoriji, testu, potvrdi i oznaci duljine sadržavaju i oznaku o poprečnom presjeku AWG-u (*American Wire Gauge*). Što je brojčani podatak AWG-a manji, to je veći poprečni presjek vodiča, kabel je deblji, ima bolje fizičke osobine, ali je i teži. Primjer za najčešće korištene presjeke dan je u tablici 1.3.

Tablica 1.3. AWG tablica presjeka vodiča

AWG N°	PROMJER MM	PRESJEK MM^2
22	0,644	0,325
23	0,573	0,259
24	0,511	0,205
25	0,455	0,163
26	0,405	0,128

1.3.4.1.1.2. Kabel s upletenom paricom

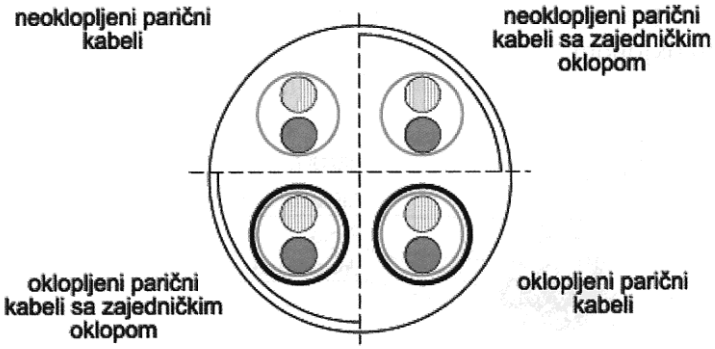
Uvijanjem parica smanjuje se utjecaj smetnji i preslušavanja na prijamnom kraju. Struje koje teku kroz vodiče jedne parice jednake su po iznosu, ali suprotnog smjera. Na taj se način smanjuje emitirana energija koja je uzrok preslušavanja kod drugih parica unutar kabela, a smanjuje se i osjetljivost na vanjske smetnje.

Smanjenjem koraka uvijanja povećava se otpornost na smetnje. Valna duljina magnetskog polja u tom je slučaju puno veća od koraka uvijanja i u vodičima se induciraju struje jednakog iznosa, ali suprotnog smjera, koje diferencijalni prijamnik ne detektira kao smetnje. Međutim, duljina koraka uvijanja ograničena je mehanički. Na frekvencijama višim od 40 MHz uvijanje više nije dovoljna zaštita od elektromagnetskih smetnji, pa je u tom slučaju potrebno koristiti se oklopljenim kabelima. Parametar koji određuje kvalitetu oklapanja jest prijenosna impedancija oklopa. Što je vrijednost prijenosne impedancije oklopa manja, to je oklop bolji.

Kao i svaki drugi vodič, oklop se ponaša kao antena, pretvarajući elektromagnetsku smetnju u struju koja teče oklopom ako nije propisno uzemljen. Ta struja inducira, s druge strane, struje u vodičima parica unutar kabela. Sve dok su struje simetrične, prijamnik neće zamijetiti nikakvu smetnju. Oklopljeni kabel je efikasan u smanjenju smetnji samo ako je propisno uzemljen.

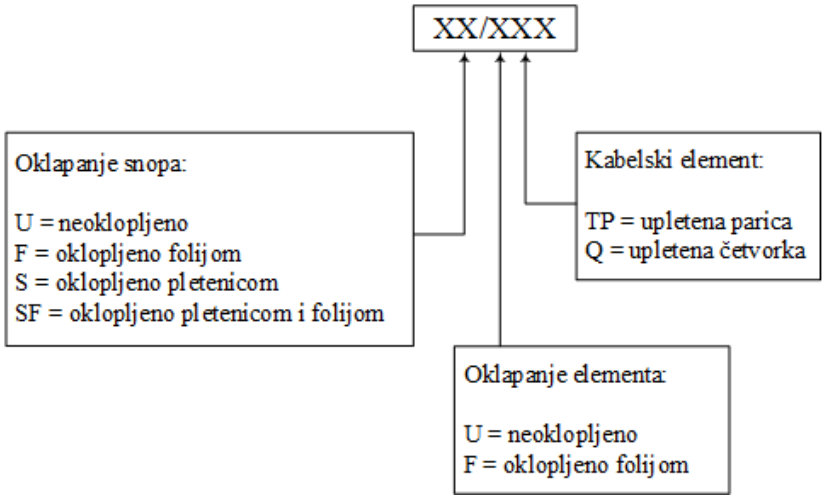
Kabele s upletenim paricama prema sl. 1.8. možemo podijeliti:

- na neoklopljene parične kabele
- na neoklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom
- na oklopljene parične kabele
- na oklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom.



Slika 1.8. Tipovi kabela s upletenim paricama

Konstrukcijske izvedbe kabela ovise o načinu na koji je izveden oklop i o tome jesu li parice upletene u dvojke ili četvorke. Konstrukcijski akronimi za simetrične kabele po standardu HRN EN 50173-1 dani su na sl.1.9.



Slika 1.9. Konstrukcijski akronimi za simetrične bakrene kabele

Pregled kraćih naziva:

- **U/UTP** (stara oznaka UTP – ***U**nscreened/**U**nscreened **T**wisted **P**air*) – naziv koji se najviše koristi za neoklopljene parične kabele iako ga neki proizvođači rabe i za neoklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom.

- **F/UTP** (stara oznaka FTP – ***F**oil screened/**U**nscreened **T**wisted **P**air*) – naziv koji se koristi za neoklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom, najčešće izvedene od aluminijske folije.

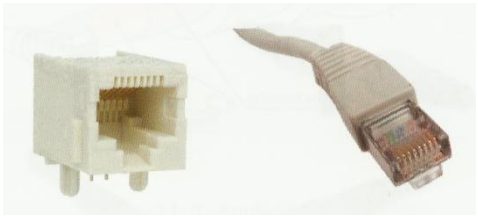
- **U/FTP** (stara oznaka STP – ***U**nscreened/**F**oil screened **T**wisted **P**air*) – naziv koji se koristi za oklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom.

- **SF/UTP** (stara oznaka S-STP – *Braid&Foil screened/**U**nscreened **T**wisted **P**air*) – naziv koji se koristi za oklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom, najčešće oklopljene pletenicom i folijom.

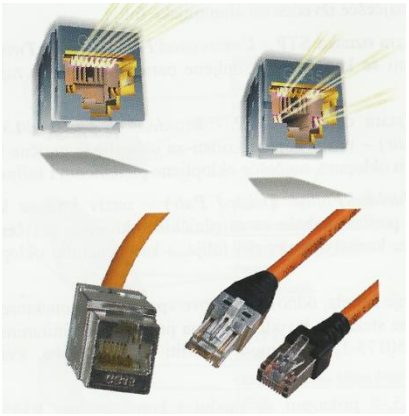
- **S/FTP** (***S**hielded/**F**oiled **T**wisted **P**air*) – naziv koji se koristi za oklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom, pri čemu se za oklop parica upotrebljava aluminijska folija, a kao generalni oklop bakrena pletenica.

1.3.4.1.1.2.1. Konektori i načini spajanja

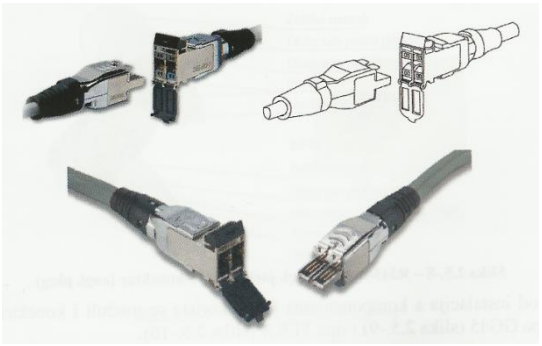
Za povezivanje kabela kategorije 5e, 6 i 6_A najčešće se koriste modul i konektor tipa RJ-45 (sl. 1.10.), a za kabele kategorije 7 moduli i konektori tipa GG-45 i TERA (sl. 1.11. i 1.12.).



Slika 1.10. RJ-45 konektor i modul

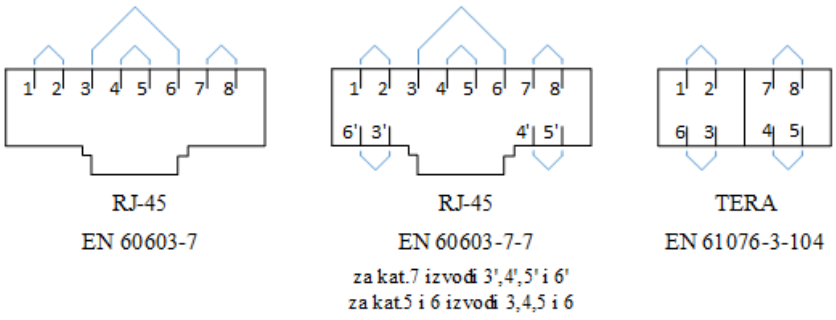


Slika 1.11. GG-45 konektor i modul



Slika 1.12. TERA konektor i modul

Način spajanja vodiča kabela s četiri parice za sve konektore prikazan je na sl. 1.13.

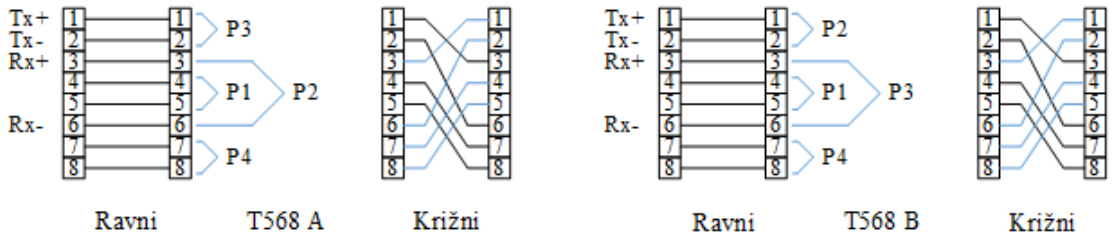


Slika 1.13. Spajanje 4-paričnog kabela na konektore

Način spajanja vodiča 4-paričnog kabela na konektor RJ-45 moguće je izvesti na dva načina prema standardima TIA/EIA T568A i T568B, sl. 1.14. Koji od standarda upotrijebiti zavisi od prihvaćenih lokalnih standarda, a funkcionalno su oba ista. Obje sheme razlikuju se samo po bojama za koje su invertirane parice 2 i 3, ali su spojevi po brojčanim priključcima isti.

Tablica 1.4. Raspored vodiča na RJ-45

IZVOD NA RJ-45	VODIČ U 4-PARIČNOM KABELU	
	T568A	T568B
1	Bijelo / zelena	Bijelo / narančasta
2	Zelena	Narančasta
3	Bijelo / narančasta	Bijelo / zelena
4	Plava	Plava
5	Bijelo / plava	Bijelo / plava
6	Narančasta	Zelena
7	Bijelo / smeđa	Bijelo / smeđa
8	Smeđa	Smeđa



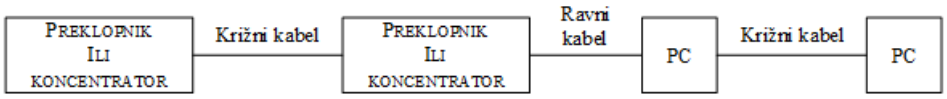
Slika 1.14. EIA/TIA 568A i 568B spajanja 4-paričnih kabela

Kod instalacije kabela preporučuje se spajanje svih osam vodiča da bi se ostvarila kompatibilnost za buduće potrebe, ali je to neophodno samo ako se koristimo 100Base-T4 standardom odnosno kabelima kategorije 3, 4 i 5. Pri primjeni standarda 100Base-TX (kategorija kabela 5, 5e ili više) ili 100Base-T vodiči 4 i 5 (parica 1) i vodiči 7 i 8 (parica 4) ne koriste se u normalnom radu LAN-a. To vrijedi kod primjene ravnog i križnog kabela. Ponekad se ove parice koriste za telefoniju ili posebne namjene (npr. dodatno napajanje – *Power-over-Ethernet*).

Za nove instalacije preporučuje se uporaba kabela kategorije 5e ili 6 koji podržavaju brzine rada 10 Mbit/s, 100 Mbit/s ili 1 Gbit/s. Za brzine veće od 10 Gbit/s i udaljenosti veće od 100 m potrebno je koristiti se kabelom kategorije 6a.

Maksimalna duljina segmenta za parične kabele je 100 m. Primjenom koncentratora (*hubs*) ta se udaljenost može povećati. Za 10Base-T standard moguće je povezati koncentratore u pet uzastopnih segmenata duljine 500 m, a kod 100BaseT/Tx udaljenost između koncentratora može biti do 200 m. Moderni komutacijski preklopnici (*switch*) mogu dodatno povećati ove udaljenosti (ovisno o tipu i proizvođaču).

Uređaji u LAN mreži mogu biti povezani ravnim (*Straight ili Patch*) i križnim (*Crossover*) kabelima ovisno o njihovoj primjeni, kao što je prikazano na slici 1.15.



Slika 1.15. Spajanje uređaja primjenom ravnog i križnog kabela

Ravni kabeli koriste se za povezivanje DTE↔DCE uređaja, a križni za vezu DTE↔DTE i DCE↔DCE uređaja. Da bi se izbjegla upotreba križnih kabela, većina proizvođača na koncentratorima i komutacijskim preklopnicima rabi *UPLINK* priključke koji omogućuju međusobno povezivanje s ravnim kabelom. Križni kabeli danas se praktično koriste samo za uređaje starijeg datuma jer svi moderni uređaji imaju ugrađenu automatsku funkciju prepoznavanja spojenog kabela (*auto-sense*) tako da se mogu koristiti obje vrste kabela.

1.3.4.1.1.2.2. Kabelski parametri

Kvaliteta i karakteristike prijenosa određenog prijenosnog medija određene su kabelskim parametrima i njihovom usporedbom s teoretskim vrijednostima. Parametri, njihove granične vrijednosti, mjerna procedura i minimalna točnost opreme koja se u postupku koristi definirani su međunarodnim standardima. Parametri dani u specifikacijama i podatci dobiveni mjernim instrumentima izraženi su u dB i predstavljaju uvijek omjere napona, a ne snage. Najvažniji kabelski parametri koji utječu na kvalitetu prijenosa signala jesu slabljenje i preslušavanje, pri čemu valja upamtiti da je prijenosni medij bolji što mu je slabljenje manje u decibelima, dok za preslušavanje vrijedi suprotna logika, tj. prijenosni medij ima manje preslušavanje što mu je vrijednost u decibelima veća.

Specifikacija najvažnijih parametara

- **Slabljenje signala** (*Attenuation*) predstavlja gubitak signala uzrokovan prolaskom kroz prijenosni medij. Slabljenje amplitude signala izražava se vrijednošću u dB po jedinici dužine.

- **Preslušavanje** (*Crosstalk*) pojavljuje se kod kabela s više upletenih parica. Preslušavanje predstavlja vrijednost signala koji se pojavljuje u susjednoj parici. Što je veća vrijednost u dB pojedinog parametra preslušavanja, to je bolja izolacija od preslušavanja među paricama i to je kabel kvalitetniji.

- **NEXT** *(Near End Cross Talk)* – signal preslušavanja na bližem kraju koji se pojavljuje kao posljedica signala u susjednoj parici.

- **PS NEXT** *(Power Sum Near End Cross Talk)* – signal preslušavanja koji se pojavljuje u određenoj parici kao posljedica signala u svim susjednim paricama na bližem kraju.

- **FEXT** *(Far End Cross Talk)* – signal preslušavanja na daljem kraju kabela koji se pojavljuje kao posljedica signala u susjednoj parici.

- **ELFEXT** *(Equal Level Far End Cross Talk)* – parametar koji pokazuje odnos vrijednosti FEXT-signala i oslabljenog korisnog signala na daljem kraju parice.

- **PS ELFEXT** *(Equal Level Far End Cross Talk)* – predstavlja zbroj ELFEXT-signala preslušavanja sa svih parica u kabelu.

- **ACR** *(Attenuation to Crosstalk Ratio)* – parametar koji prikazuje odnos slabljenja signala i parametra preslušavanja na najslabijoj parici na određenoj frekvenciji. Normama su određene minimalno dopuštene vrijednosti ACR-parametara za pojedine aplikacije.

- **PS ACR** (*Power Sum Attenuation to Cross Talk Ratio*) – odnos slabljenja signala i gubitaka zbog preslušavanja više izvora smetnji.

- **Karakteristična impedancija i gubitak zbog povratnog signala** *(Characteristic Impedance and Return Loss)* – karakteristična impedancija predstavlja idealnu vrijednost impedancije određenog prijenosnog kruga pri određenoj frekvenciji. Posljedica povezivanja krugova s nejednakim vrijednostima impedancije jest pojava refleksije signala, odnosno slabljenje korisnog signala.

- **Kašnjenje zbog propagacije signala** *(Propagation Delay)* – predstavlja omjer dužine prijenosnog medija prema brzini prijenosa signala u dotičnom mediju, a karakterizirano je vrijednošću za paricu s najvećim kašnjenjem.

- **Nesimetričnost brzine propagacije** *(Delay Skew)* – predstavlja razliku u kašnjenjima propagacije signala između dviju parica.

Razvojem sve većih brzina prijenosa na višim frekvencijama (više od 250 MHz) i sve složenijeg kodiranja dolaze do izražaja sve više i neželjena preslušavanja između samih kabela. Takva preslušavanja i međudjelovanja nazivaju se stranim preslušavanjem (*Alien Crosstalk*), a predstavljaju neželjeni utjecaj signala smetnji od parica jednog ili više kabela na parice drugog kabela. Iz tog se razloga za kabelske sustave klasa E_A i F_A definiraju novi kabelski parametri kako bi se osigurala funkcionalnost prijenosa (npr. za aplikacije 10Gbase-SX):

- **PS ANEXT** $_{\mathbf{avg}}$ (*Power Sum Alien Near End Crosstalk*) – predstavlja srednji zbroj neželjenih stranih preslušavanja koji se pojavljuje u određenoj parici kao posljedica signala u paricama susjednog kabela na bližem kraju.

- **PS AACR-F** $_{\mathbf{avg}}$ (*Power Sum Attenuation to Alien Crosstalk Ratio at Far End*) – predstavlja srednji zbirni omjer slabljenja signala i stranog preslušavanja na daljem kraju.

1.3.4.1.1.3. Koaksijalni kabel

Koaksijalni kabel sastoji se od jezgre bakrenog vodiča unutar sloja izolatora oko kojeg se nalazi metalni oklop (aluminijska folija i/ili bakrena pletenica). Oklop služi kao drugi vodič, ali i kao zaštita od smetnji. S vanjske strane kabel je zaštićen slojem plastike.

Koaksijalni kabeli kategorizirani su po RG (*Radio Goverment*) specifikaciji. Svaki RG broj predstavlja jedinstveni skup fizičkih specifikacija uključujući promjer središnjeg vodiča, debljinu i tip unutrašnjeg izolatora, izvedbu zaštitnog oklopa te veličinu i tip vanjskog plašta.

Postoje različite izvedbe koaksijalnih kabela, od kojih se u lokalnim mrežama najviše primjenjuju:

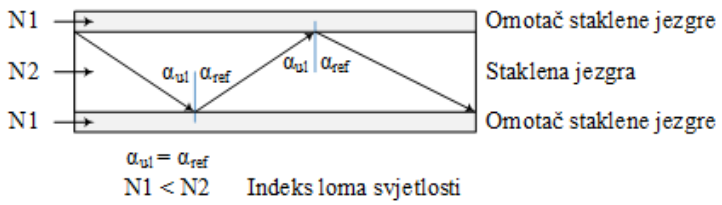
- RG-11 50Ω debeli koaksijalni kabel – debeli Ethernet (*Thick Ethernet – 10 mm*)
- RG-58 50Ω kabel – tanki Ethernet (*Thin Ethernet – 5 mm*)
- RG-59 75Ω (TV/CATV, engl. *Broadband Ethernet*)
- RG-62 (ARC-Net, IBM 3270).

Koaksijalni kabel zbog svojeg se znatno većeg frekvencijskog opsega počeo upotrebljavati u analognim telefonskim mrežama jer je omogućivao prijenos do 10 000 kanala. Kasnije je našao

primjenu i u digitalnom prijenosu za brzine do 600 Mbit/s, ali se danas uglavnom zamjenjuje svjetlovodnim kabelima, posebno u telefoniji.
U digitalnom prijenosu koristio se u ranim verzijama Ethernet LAN-a. Koaksijalnim kabelom RG-58 koristio se 10base-2 ili *Thin Ethernet* za prijenos podataka na brzinama od 10 Mbit/s i na udaljenostima do 185 m. Kabelom RG-11 koristio se 10Base-5 ili *Thick Ethernet* za prijenos od 10 Mbit/s i na udaljenostima do 5000 m.

1.3.4.1.1.4. Svjetlovodni kabeli

Svjetlovodni kabel sastoji se od svjetlovodnih vlakana položenih unutar staklene jezgre obložene plastičnim omotačem. Svjetlost se unutar vlakna rasprostire zbog refleksije koja nastaje na graničnim dijelovima medija jer staklena jezgra ima indeks loma veći od indeksa loma omotača, sl. 1.16.



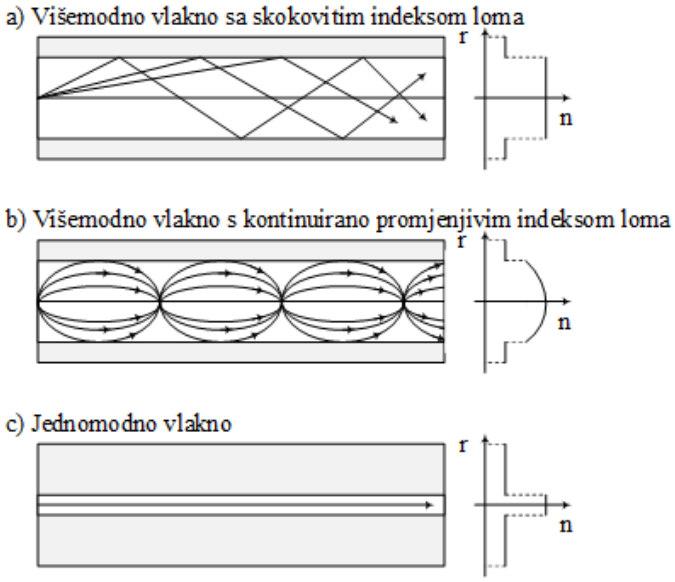
Slika 1.16. Prostiranje svjetlosne zrake kroz svjetlovodno vlakno

Po jednom svjetlovodnom vlaknu može se prostirati više elektromagnetskih valova, a broj valova ili modova određen je valnom duljinom svjetlosti, indeksom loma jezgre i omotača te promjerom jezgre. S obzirom na broj modova koji se šire vlaknom, razlikujemo:

- višemodna ili multimodna (*multimode fiber*) vlakna koja mogu podržavati širenje nekoliko tisuća modova
- jednomodna ili monomodna (*singlemode fiber*) vlakna kroz koja se može širiti samo jedan mod.

S obzirom na geometrijske karakteristike svjetlovodnih vlakana, odnosno način širenja svjetla unutar jezgre, možemo ih podijeliti u tri osnovne skupine, sl. 1.17.:

- višemodna vlakna sa skokovitim indeksom loma (*multimode step index fiber*)
- višemodna vlakna s kontinuirano promjenjivim indeksom loma (*multimode graded index fiber*)
- jednomodna vlakna (*monomode fiber*).



Slika 1.17. Vrste svjetlovodnih vlakana

Kod višemodnog vlakna promjer jezgre znatno je veći od valne duljine svjetlosti koja se širi jezgrom (2r = 25 – 150 μm), pa se kroz njih može istodobno širiti više stotina modova. Svjetlost se kroz jezgru u odnosu na os vlakna širi pod različitim kutovima, što odgovara različitim dužinama puta i vremenu dolaska na mjesto prijma. Ovakvo širenje po višestrukim putanjama dovodi do proširenja impulsa, tj. do disperzije, što ograničava maksimalnu moguću brzinu prijenosa signala. Za višemodna vlakna obično se koristi promjer od 50 i 62,5 μm.

Kod višemodnih vlakana s kontinuirano promjenjivim indeksom, tzv. gradijentnih vlakana, disperzija je manja jer se indeks loma jezgre mijenja postupno u koncentričnim kružnicama. Jezgra ima višeslojnu strukturu, a indeks loma mijenja se ovisno o njezinu polumjeru. Na taj se način zrake ne odbijaju u diskretnoj točci, nego bivaju postupno zakrivljene te prate gotovo sinusoidnu putanju u vlaknima. Zbog manjeg indeksa loma u područjima dalje od centra, zrake koje putuju pod većim kutom imaju veću brzinu od onih koje propagiraju u središnjem dijelu vlakna. Zbog male disperzije kod ovih se vlakana signali mogu prenositi s puno većom brzinom.

Kod jednomodnih vlakana jezgra je promjera reda veličine valne duljine svjetla pa se može širiti samo jedan mod. Zbog toga je disperzija signala, a time i slabljenje signala puno manje (obično manje od 0,5 dB/km), što omogućuje velike brzine prijenosa reda 50 Gbit/s. Jednomodna vlakna izrađuju se s jezgrom od 9 μm.

S obzirom na materijal od kojih su proizvedena, vlakna se dijele na:

- Staklena vlakna – ova su vlakna u najširoj upotrebi, a kao materijal rabi se ultračisti, ultratransparentni silicijev dioksid (SiO_2), kojem se dodaju nečistoće da bi se postigao željeni indeks loma. Tako npr. germanij i fosfor povećavaju indeks loma, dok ga bor i fluor smanjuju.

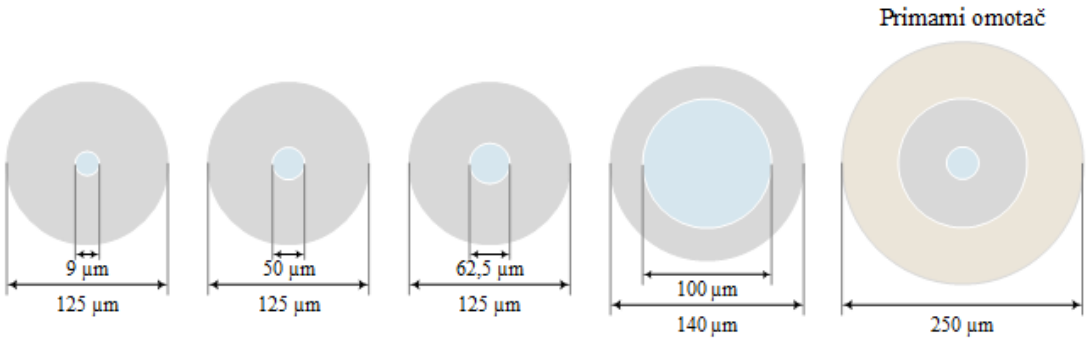
- Stakleno-plastična vlakna (*PSC – Plastic-Clad Silica*) – imaju staklenu jezgru i plastični omotač.

- Plastična vlakna – imaju plastičnu jezgru i omotač. U usporedbi s ostalim vrstama ova vlakna imaju lošije karakteristike što se tiče slabljenja signala i širine prijenosnog pojasa, ali se zbog niske cijene i jednostavnosti instalacije često koriste.

U svjetlovodnim sustavima koriste se dva tipa izvora svjetlosti, LED (*Light Emitting Diode*) i LASER. Valne duljine zračenja koje se koriste u svjetlovodnim sustavima jesu 820 nm, 1300 nm i 1550 nm. Za upotrebu u višemodnim kabelima LED emitira zračenje u „prozorima“ 820 nm do 850 nm (GaAlAs) i 1300 nm (GaInAs). Svjetlovodna vlakna s valnim duljinama zračenja od 1550 nm koriste se isključivo za prijenos na velikim udaljenostima u jednomodnim sustavima uz korištenje LASERA.
Općenito je LED jeftiniji, temperaturno stabilniji, dužeg vijeka trajanja i zahtijeva manje složenu elektroniku nego LASER. S druge strane, LASER ima puno bolja svojstva u pogledu emitiranog zračenja. Izlazni snop LASER-a je usmjereniji, svjetlost je koherentna, a zračenje monokromatsko.

1.3.4.1.1.4.1. Oznake dimenzija kabela

Svjetlovodna vlakna definirana su dvjema brojčanim oznakama od kojih se prva odnosi na promjer jezgre, a druga na promjer omotača, sl. 1.18.



Slika 1.18. Dimenzije svjetlovodnih vlakana

Oznake dimenzija kabela su:

- 9/125 μm
- 50/125 μm
- 62,5/125 μm
- 100/140 μm.

Osim promjera vlakna, u specifikaciju kabela ulazi i vanjski promjer plašta. Standardizirane su vrijednosti promjeri od 250 μm i 900 μm. Također su definirane i boje vanjskog plašta svjetlovodnog kabela prema dimenzijama svjetlovodnih vlakana. Najčešće se koriste sljedeće boje:

- 50/125 – narančasta
- 62,5/125 – siva
- 100/140 – zelena
- jednomodni – žuta.

Svjetlovodni kabeli za vanjsko polaganje najčešće imaju vanjski omotač crne boje.

1.3.4.1.1.4.2. Parametri svjetlovodnih kabela

- **Numerička apertura NA** (ili numerička otvorenost) – predstavlja mjernu sposobnost skupljanja svjetlosti u svjetlovodu, a izračunava se prema formuli:

$$NA = n_0 \cdot \sin\alpha_{max}$$

n_0 – indeks loma medija iz kojeg pada zraka na poprečni presjek vlakna
α_{max} – upadni kut zrake.

- **Disperzija** – označava promjenu amplitude i oblika impulsa svjetlosti koji prolazi kroz svjetlovodno vlakno.

  Razlikujemo tri vrste disperzije:

  - *Modalna disperzija* – nastaje zbog različitog vremena propagiranja svjetlosnih zraka. Ova vrsta disperzije ne postoji kod jednomodnih vlakana.

  - *Disperzija materijala* – nastaje zbog razlike u brzinama propagiranja različitih valnih duljina svjetlosti. Efekt je jače izražen kod LED izvora koji imaju širok spektar emitiranja, dok je kod LASERA značajnije smanjen. Isto tako na disperziju materijala utječe i centralna frekvencija emitiranja jer je u različitim „prozorima“ emitiranja različita i promjena brzine propagacije s valnom duljinom.

- *Disperzija zbog vođenja valova* – nastaje u jednomodnim vlaknima zbog razlike u prijenosnim karakteristikama jezgre i plašta.

- **Slabljenje signala** – predstavlja gubitak ili smanjenje snage svjetlosnog signala u prijenosu. Kod prostiranja modova dio energije gubi se zbog rasipanja i apsorpcije svjetlosti u jezgri svjetlovodnog kabela. Vrijednosti parametra variraju od 300 dB/km za plastična vlakna do 0,21 dB/km za jednomodna. Slabljenje signala također ovisi o valnoj duljini. Najmanji su gubitci u dijelu spektra od 829 nm do 850 nm, 1300 nm i 1550 nm.

- **Širina propusnog opsega** – određena je područjem frekvencija u kojima se amplituda ne smanjuje više od polovice.

Proizvođači često ne specificiraju disperziju, nego daju podatak umnoška širine prijenosnog područja i dužine kabela u MHz/km. Tako npr. podatak od 400 MHz/km znači da kabel može prenijeti signal frekvencije 400 MHz na udaljenost od jednog kilometra, odnosno 200 MHz na dva kilometra ili 800 MHz na 500 m.

- **Jakost vlakna** – predstavlja mehaničko svojstvo, odnosno čvrstoću vlakna na istezanje. Ovaj parametar zavisi od načina proizvodnje vlakna čija površina mora biti izrađena bez pogrešaka, a samo vlakno bez mikropukotina. Mikropukotine se pod povećanim opterećenjem šire te mogu izazvati puknuće vlakna. Svjetlovodna vlakna imaju ograničenja u savijanju te se definira minimalni dopušteni polumjer savijanja samog kabela koji ne smije biti manji od 10 polumjera. Savijanjem se uz opasnost od mehaničkog oštećenja povećava efekt slabljenja signala.

1.3.4.1.1.4.3. Specifikacije svjetlovodnih kabela

Jednomodni i višemodni kabeli specificirani su unutar standarda ISO/IEC IS1 1801, CENELEC EN 50173 i ANSI/TIA/EIA-568-C.3. Za prijenosnu karakteristiku svjetlovodnog kabela bitno je slabljenje signala i širina prijenosnog pojasa. Standardi ISO/IEC IS1 1801 i CENELEC EN 50173 uveli su nove parametre: kategoriju kabela i klasu kanala, prikazane u tablici 1.5.

Tablica 1.5. Kategorije i klase svjetlovodnih kabela

KATEGORIJA SVJETLOVODA	KLASA KANALA	MAKSIMALNA DULJINA (M)
Višemodni		
OM1/OM2/OM3	OF-300	300
	OF-500	500
	OF-2000	2000
Jednomodni		
OS1/OS2	OF-300	300
	OF-500	500
	OF-2000	2000
OS2*	OF-5000	5000
	OF-10000	10000

Stakleni kabeli kategorije OM1 i OM2 mogu imati promjer jezgre 62,5 ili 50 µm, a kabeli kategorija OM3 mogu imati promjer jezgre samo od 50 µm. Njihovi prijenosni parametri specificirani su na valnim duljinama 850 nm i 1300 nm.

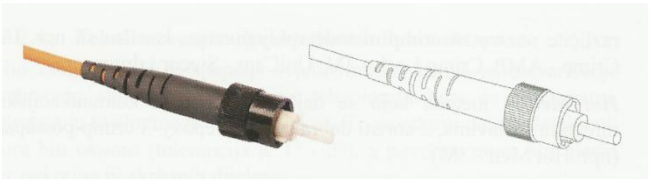
Stakleni jednomodni kabeli kategorija OS1 i OS2 mogu imati promjer jezgre 10 µm. Njihovi prijenosni parametri specificirani su na valnim duljinama 1310 nm, 1383 nm i 1550 nm.

Plastični višemodni kabeli kategorije OP1 mogu imati promjer jezgre 975 µm, a prijenosni parametri specificirani su im na valnoj duljini 650 nm, dok višemodni kabeli kategorije OP2 mogu imati promjer jezgre 200 µm, ali su im prijenosni parametri specificirani na valnim duljinama 650 nm, 850 nm i 1300 nm.
Parametri koji određuju prijenosne karakteristike kod višemodnih kabela jesu maksimalno dopušteno slabljenje (dB/km), minimalna širina prijenosnog područja (MHz/km) i maksimalno propagacijsko kašnjenje (ns/m), dok su parametri kod jednomodnih kabela maksimalno dopušteno slabljenje (dB/km) i maksimalno propagacijsko kašnjenje (ns/m).

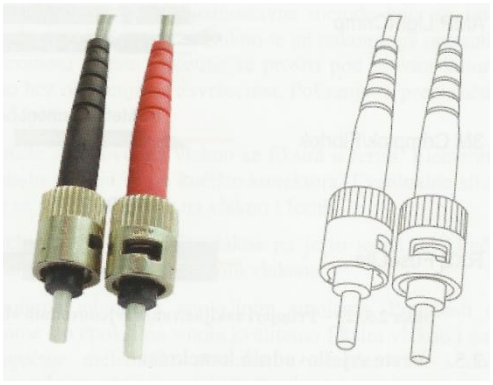
Klase svjetlovodnih kanala OF-xx definiraju maksimalno dopuštene dužine kanala do kojih će biti podržana određena aplikacija.

1.3.4.1.1.4.4. Vrste konektora

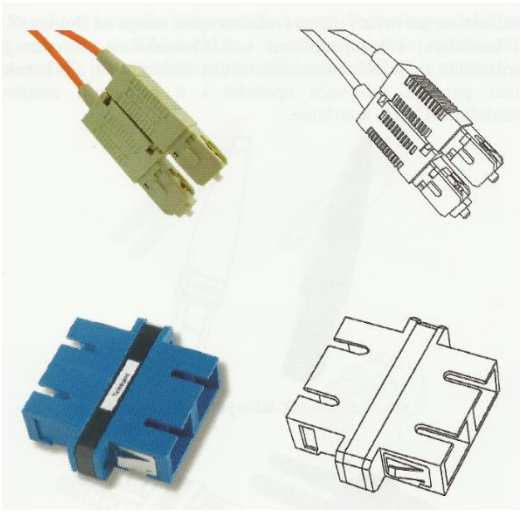
Konektori koji se danas primjenjuju za povezivanje svjetlovodnih kabela prikazani su na slikama 1.19. – 1.23. Najveći gubitci signala prema važećim standardima ne smiju prijeći 0,75 dB za par konektora, 0,3 dB za spojeve u LAN-ovima i 1-3 dB za jeftine aplikacije.



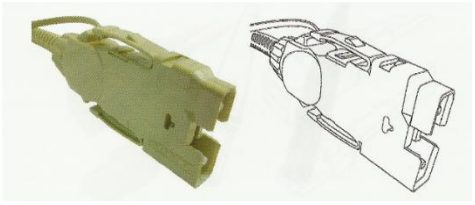
Slika 1.19. FC-konektor



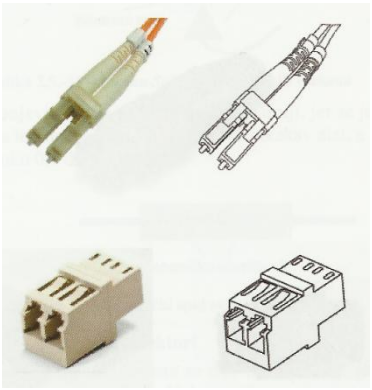
Slika 1.20. ST-konektor



Slika 1.21. SC-konektor



Slika 1.23. FDDI-konektor



Slika 1.22. LC-konektor

1.3.4.1.1.4.5. Prednosti i nedostatci

Primjena svjetlovodnih kabela donosi niz prednosti, kao što su:

- električna izolacija između prijamne i predajne strane
- neosjetljivost na elektromagnetske smetnje
- veću širinu propusnog pojasa
- veće dužine prijenosnog segmenta
- veću sigurnost i tajnost prijenosa signala
- male gubitke, neovisne o frekvenciji
- manje dimenzije i težinu
- ne prouzrokuju elektromagnetske smetnje
- prikladni su za upotrebu u eksplozivnim područjima.

Međutim, još uvijek je cijena instalacije skuplja za 15 – 20 % od klasičnih kabela, a također su skuplje i komponente aktivnih uređaja dva do tri puta. Instalacija je puno složenija jer zahtijeva stručnu osposobljenost i primjenu posebnih alata.

1.3.4.2. Bežični medij

Razvoj bežičnih lokalnih mreža odlikuje se sljedećim prednostima:

- ne treba kablirati kod preoblikovanja mreže
- velika pokretnost radnih stanica (neke mogu biti uvijek pokretne)
- lako uključenje na brzu osnovnu mrežu (npr. na MAN)
- potiče razvoj tzv. osobnih komunikacija.

S obzirom na korišteni frekvencijski spektar bežični LAN-ovi mogu se podijeliti u dvije glavne skupine:

- ***Radio LAN*** – moguće je postići veće brzine, ali uz veće troškove; osjetljivost na interferencije je znatna, frekvencije uglavnom moraju biti odobrene (licencirane). Važnije podvrste s obzirom na frekvencijsko područje, odnosno korištenu modulaciju, jesu mikrovalno područje (GHz) i "raspršeni spektar"(*spread spectrum*, MHz).

- ***Infracrveni LAN*** – ograničen je na manje brzine (velika disperzija signala). Geografska pokrivenost je mala (optička vidljivost), mali su troškovi i ne treba odobrenje frekvencija.

1.3.5. Brzine prijenosa po zajedničkom prijenosnom mediju

S obzirom na brzinu prijenosa LAN-ovi se mogu podijeliti na:

- ***Spori LAN*** – brzina je obično 10 Mbit/s – 20 Mbit/s, a tipični su predstavnici te skupine uobičajeni LAN-ovi: Ethernet brzine 10 Mbit/s (IEEE 802.3 CSMA/CD – 10Base-T, 10Base-2, 10Base-5, 10Base-F), IEEE 802.4 *Token Bus* brzine 10 Mbit/s i IEEE 802.5 *Token Ring* brzine 4 i 16 Mbit/s.
- ***Brzi LAN*** – brzina se obično kreće između 50 i 150 Mbit/s. Prijenosni medij je svjetlovodno vlakno (jednomodno ili višemodno), a tipični su predstavnici *Fast Ethernet* brzine 100 Mbit/s (IEEE 802.3u – 100Base-T4, 100Base-TX, 100Base-FX), 100VG AnyLan brzine 100 Mbit/s (IEEE 802.12), FDDI brzine 100 Mbit/s (IEEE 802.8) i DQDB standard brzine do 155 Mbit/s (IEEE 802.6).
- ***Superbrzi LAN*** – brzina je reda Gbit/s. Primjeri ovog LAN-a su gigabitni Ethernet brzine od 1 Gbit/s (IEEE 802.3z) i ANSI standard X3T9.3 za HIPPI (*High Performance*

Parallel Interface) za povezivanje brzih (super)računala na temelju bakrenog prijenosnog medija.

- ***Ultrabrzi LAN*** – brzine ulaze u područje Tbit/s. Razvijeno je više eksperimentalnih mreža (npr. *Multi-hop network*, AT&T) koje se temelje na principu valnog multipleksa (WDMA).

1.3.6. Osnovne značajke lokalnih mreža

Najvažnije karakteristike koje određuju performanse lokalnih mreža jesu:

- ***kašnjenje (D)*** – vrijeme koje prođe od početka odašiljanja paketa (okvira) do završetka njegove uspješne isporuke odredištu
- ***propusnost mreže (S)*** – ukupna brzina prijenosa podataka između čvorova (obavljeni promet)
- ***iskoristivost medija (I)*** – dio ukupnoga korištenog kapaciteta.

Parametar S često je izražen normaliziran u odnosu na kapacitet pa ga se može interpretirati i kao iskoristivost medija. Na primjer, ako se u trajanju od 1 sekunde Ethernet mrežom prenosi 1 Mbit, tada je S = 0,1. Dakako, ova se propusnost odnosi na ukupnu količinu prenesenih bita, tj. i informacijskih i svih dodatnih bita (zaglavlja okvira, zaštitni biti itd.). Postoje i druge brojne analize performansi LAN i MAN mreža, ali ih zbog opsežnosti nećemo ovdje iznositi. Najčešće su S i D prikazani u ovisnosti o ponuđenom prometu, koji ovdje predstavlja ukupan broj paketa svih vrsta ponuđenih mreži. Taj je promet također često izražen kao dio kapaciteta mreže.

Najvažniji čimbenici koji utječu na performanse LAN i MAN mreža jesu:

- kapacitet
- propagacijsko kašnjenje
- duljina okvira
- mrežni protokol
- ponuđeno prometno opterećenje
- broj stanica priključenih na mrežu.

Ovdje ćemo raspraviti samo prva tri čimbenika. Najveći utjecaj kod LAN protokola ima MAC protokol, dok se LLC obično uzima u obzir kod analize performansi s kraja na kraj (npr. kod umrežavanja). Ponuđeni promet i broj stanica najčešće se smatraju neovisnim varijablama, tako da se analize svode na ovisnost performansi o tim dvjema varijablama. Kod umrežavanja LAN mreža uporabom WAN mreže (npr. X.25, satelitska veza) važna je i učestalost pogrešaka koja uvjetuje ponovno odašiljanje okvira što smanjuje propusnost mreže. Naravno, kod analize performansi same LAN mreže to nije bitno, jer je učestalost pogrešaka u lokalnoj mreži vrlo mala.

Bitna razlika između lokalnih i međumjesnih mreža jest u brzini prijenosa *C* i duljini komunikacijskog puta *d*. Umnožak *C·d* važno je obilježje neke mreže, koje neposredno određuje njezine performanse. Ako je brzina propagacije signala kroz mrežu *v* približno 2/3 brzine svjetlosti (tj. *v* = 200 000 km/s, odnosno 5 μs/km), tada *C·d*/*v* odgovara ***duljini komunikacijskog puta izraženoga u bitima***. Na primjer, ako je duljina Ethernet kabela 1 km, tada je njegova "duljina" u bitima 10 Mbit/s × 5 μs = 50 bita.

Drugim riječima, 50 bita „juri“ između para stanica na krajevima kabela. Ako zamislimo da naša mreža ima 100 puta veću duljinu, tada bi duljina veze bila 5000 bita, pa bi mrežom „letjelo“ barem 10 000 bita prije nego bi predajnik primio potvrdu o ispravnom ili neispravnom prijmu odaslanih paketa. Slično bi bilo i s povećanjem brzine prijenosa.

Pretpostavimo sada da je duljina paketa (okvira) *L* bita, tj. vrijeme potrebno predajniku da ubaci okvir na medij iznosi *L*/*C*. Tada je *C·d*/*v·L* omjer duljine puta u bitima i duljine okvira ili omjer propagacijskog kašnjenja *d*/*v* i trajanja slanja okvira *L*/*C*. Omjer *C·d*/*v·L* naziva se ***duljinom komunikacijskog puta izraženoga u paketima (okvirima)*** i kod LAN mreža obično iznosi između 0,01 i 0,1, a za brze mreže može biti veći od 1.

Na primjer, uzmimo da dvije lokalne Ethernet mreže međusobno komuniciraju preko geostacionarne satelitske veze brzine 1 Mbit/s za koju je propagacijsko kašnjenje *d*/*v* u jednom smjeru oko 250 ms. Ako pretpostavimo da se obavlja prijenos neke datoteke Ethernet okvirima maksimalne duljine *L* = 1500 bajta, tada će duljina komunikacijskog puta u jednom smjeru iznositi 250 ms × 1 Mbit/s = 250 000 bita, odnosno 21 Ethernet okvir.

$$\frac{C \cdot d}{v \cdot L} = \frac{d/v}{L/C} = \frac{250\ ms}{\frac{1500 \cdot 8\ bita}{1\ Mbit/s}} = \frac{250\ ms \cdot 1\ Mbit/s}{1500 \cdot 8\ bita} = 21\ okvir \qquad (1.1)$$

Drugim riječima, oko 42 okvira u svakom trenutku nije pod kontrolom predajnika. Ako bismo povećali brzinu prijenosa na 10 Mbit/s, tada bismo imali oko 420 nekontroliranih okvira, što je izvor nestabilnosti i niza drugih vrlo teških problema, posebno kod kanala s izraženim smetnjama, kakav je slučaj kod satelitskih veza. Slični se problemi javljaju i kod MAN mreža i općenito kod brzih mreža. Ne ulazeći u daljnje razmatranje niza prisutnih poteškoća, možemo spomenuti da se često kao mjera performansi neke mreže koristi umnožak *C* × *RTD* (*Round Trip Delay*) umjesto C·D. RTD je ukupno kašnjenje (suma kašnjenja zbog propagacije, predaje, prijma, obrade itd.) potrebno da predajnik dobije potvrdu ispravnog prijma odaslanog okvira (paketa). Na temelju tih parametara mogu se odrediti propusnost i iskoristivost LAN mreža.

2. Lokalne mreže s malim brzinama prijenosa

Najznačajniji protokoli lokalnih mreža kod kojih su ostvarene male brzine prijenosa jesu:

- IEEE 802.3 CSMA/CD, Ethernet
- IEEE 802.4 Token Bus
- IEEE 802.5 Token Ring.

2.1. IEEE 802.3 CSMA/CD (Ethernet)

Čista ALOHA

Preteča ovoga protokola bio je ALOHA protokol razvijen za paketne radijske mreže. Kod tog protokola (tzv. čista ALOHA), kada neka stanica ima okvir za slanje, ona ga i pošalje neovisno o stanju na mediju.
Nakon toga stanica čeka na potvrdu prijma, koja maksimalno može iznositi RTD (*Round Trip Delay*) vrijeme koje je jednako dvostrukom najvećem vremenu kašnjenja okvira između dviju najudaljenijih stanica. Ako stanica ne primi potvrdu ispravnog prijma okvira unutar tog vremena, ona ponovno odašilje isti okvir.
Prijamna stanica može primiti i neispravan okvir zbog šuma u kanalu ili zbog interferencije s drugim okvirom koji je poslala neka druga stanica (tzv. sudar ili kolizija okvira). U tom slučaju prijamna stanica jednostavno ignorira pogrešan okvir, a potvrdu pozitivnog prijma šalje samo za ispravan okvir.
Posljedica jednostavnosti protokola međutim slaba je iskoristivost medija (kanala), od samo 18 %, zbog aktivnosti velikog broja stanica odnosno velikog prometa.

Poboljšana ALOHA

Kod poboljšanog ALOHA protokola, tzv. S-PLOHA (*Slotted* ALOHA), vrijeme na kanalu podijeljeno je na jednake odsječke čije je trajanje jednako trajanju odašiljanja okvira. Sve stanice su sinkronizirane s nekim centralnim taktom, a odašiljanje je dopušteno samo na početku pojedinog odsječka. Time su sudari paketa mogući samo na početku vremenskog odsječka, čime je iskoristivost medija udvostručena, tj. iznosi najviše 37 %.

Oba ALOHA protokola imaju slabu učinkovitost jer ne iskorištavaju osnovnu prednost lokalnih mreža, a to je da je propagacijsko kašnjenje d/v između stanica vrlo malo u usporedbi s trajanjem odašiljanja okvira L/C.

Na primjer, ako je vrijeme propagacije između dviju stanica veliko u usporedbi s vremenom odašiljanja okvira, tada će proći znatno vrijeme prije nego što okvir dođe do odredišne stanice, a u tom intervalu druge stanice mogu slati svoje okvire pa je vjerojatnost sudara velika (manja propusnost).

Ako je pak propagacijsko kašnjenje malo u usporedbi s trajanjem odašiljanja okvira, tada nakon početka odašiljanja okvira sve ostale stanice to mogu „čuti“ i odustati od slanja svojih okvira sve dok kanal ne postane „gluh“. Sudari su rijetki i događaju se uglavnom kada dvije stanice gotovo istovremeno žele odaslati svoje okvire. Dakle, sudari se događaju uglavnom unutar jednog TD-a. To je bio i glavni razlog za razvoj CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) protokola.

CSMA

Kod CSMA protokola svaka stanica može početi sa slanjem okvira proizvoljno čim detektira neaktivnost na mediju (kanalu). Naime, kod ovog protokola sve stanice na mreži osluškuju medij i ako detektiraju neaktivnost u određenom vremenu, mogu početi sa slanjem okvira. Ako je medij zauzet, stanica odlaže svoje odašiljanje okvira za neki drugi vremenski odsječak. Kada stanica pošalje okvir, čeka određeno vrijeme na potvrdu primitka (ovisno o RTD-u), a ako ne primi potvrdu, pretpostavlja da je došlo do sudara i pokušava ponovno poslati okvir.

Do sudara (kolizije) okvira dolazi zbog propagacijskog kašnjenja signala na mediju između stanica koje se nalaze na različitim udaljenostima. Može se naime dogoditi da zbog propagacijskog kašnjenja signala dvije ili više stanica u isto vrijeme detektiraju neaktivnost na mediju i počnu istovremeno sa slanjem podataka.

Maksimalna iskoristivost CSMA protokola ovisi o duljini okvira i vremenu propagacije. Dulji okviri i manje propagacijsko kašnjenje daju veću iskoristivost.

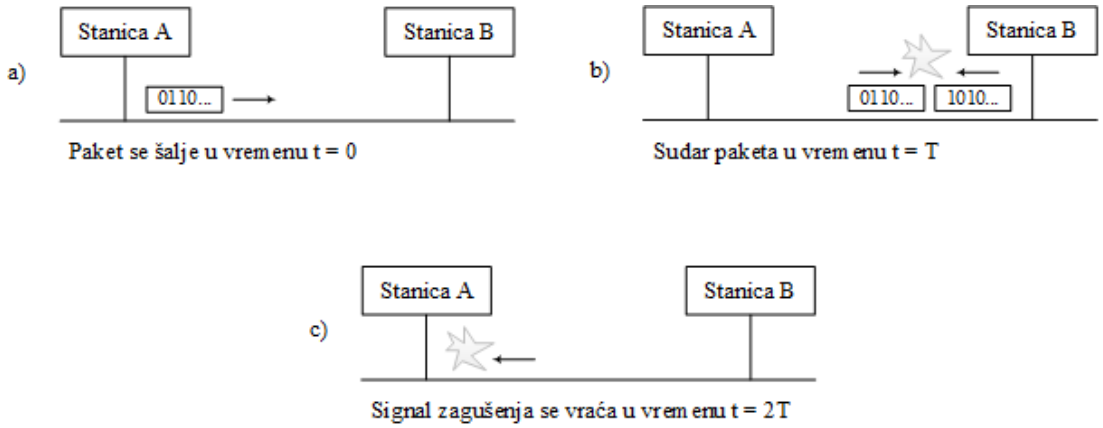
Postoje razni algoritmi za odlaganje pristupa mediju na određeno vrijeme, od kojih ćemo spomenuti samo tri najznačajnija:

- *nonpersistent* CSMA – ako je medij zauzet, stanica čeka slučajan vremenski interval (*back-off time*) i provjerava je li medij slobodan, odnosno ponovno pokušava pristupiti mediju. Budući da se stanicama dodjeljuje različito vrijeme za pristup, vjerojatnost sudara je manja kada se medij oslobodi za slanje.
- *1-persistent* CSMA – stanica osluškuje medij sve dok ne detektira neaktivnost na mediju pa onda ponovno pokušava odaslati okvir. Ako je više stanica spremno za slanje, uvijek će doći do sudara.
- *p-persistent* CSMA – predstavlja kombinaciju prethodnih dvaju protokola. Ako se dogodi sudar, onda čeka slučajno vrijeme i ponovno pokušava poslati okvir.

Iako je CSMA protokol učinkovitiji od obaju ALOHA protokola, to je još uvijek nedovoljno. Kad dođe do sudara dvaju okvira, medij se ne koristi tijekom njihova odašiljanja, čime se smanjuje propusnost. Poboljšanje je ostvareno metodom detekcije sudara (CD, *Collision Detection*).

CSMA/CD

Kod CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) metode svaka stanica prati signal na mediju i ako utvrdi da nema aktivnosti, može poslati okvir. Ako dvije stanice istovremeno započnu slanje paketa (okvira), detektira se sudar (kolizija) nakon kojeg sve stanice prestaju sa slanjem, a ponovno slanje dopušteno je za svaku stanicu nakon slučajnog vremena određenoga BEB algoritmom (*Binary Exponential Backoff*). Postupak detekcije sudara kod CSMA/CD metode prikazan je na sl. 2.1.



Slika 2.1. Detekcija sudara kod CSMA/CD metode

Prije svakog slanja okvira stanica provjerava postoji li već aktivnost odnosno komunikacija na mreži. To je ostvareno mjerenjem napona signala na mediju. Ako je izmjereni napon dovoljno velik, stanica A će zaključiti da neka druga stanica već šalje okvir te će odgoditi slanje svojeg okvira. Ako je izmjereni napon signala dovoljno malen, stanica A u tom će slučaju zaključiti da nema komunikacije i da je medij slobodan. Prije slanja novog okvira stanica mora pričekati da prođe vrijeme koje je definirano kao razmak između dvaju okvira. Taj se vremenski razmak naziva *Inter Frame Gap*, a mora iznositi 96 vremena trajanja bita.

Ako stanica A počne slati okvir na mrežu, a u isto vrijeme druga stanica počne sa slanjem svojeg okvira, stanica A će izmjeriti povećani napon što joj ukazuje da je došlo do sudara. Svaka stanica koja je detektirala sudar prestat će sa slanjem i istovremeno generirati signal zagušenja (engl. *jam signal*) duljine od 32 do 48 bita koji se sastoji od samih „1“. Signal zagušenja šalje se kao *broadcast* telegram svim stanicama na mreži kako ne bi došlo do slanja okvira ostalih stanica.

Da bi metoda CSMA/CD ispravno funkcionirala, okvir mora imati određenu minimalnu duljinu. Naime, stanica koja šalje okvir može detektirati sudar tek nakon što primi povratni signal zagušenja. Budući da se detekcija signala sudara vrši samo za vrijeme slanja okvira, signal zagušenja mora biti primljen prije nego stanica pošalje zadnji bit okvira. To znači da vrijeme prijenosa okvira mora biti jednako najmanje dvostrukom vremenu propagacije signala

između dviju najudaljenijih stanica, sl. 2.1. Za standardni Ethernet brzine prijenosa 10 Mbit/s maksimalno vrijeme propagacije signala između dviju najudaljenijih stanica mora iznositi 25,6 μs, što znači da stanica koja šalje okvir može detektirati sudar unutar 51,2 μs (prema specifikaciji 802.3 u vrijeme propagacije uključena su i kašnjenja signala na uređajima). Iz ovog slijedi da je minimalna duljina okvira za standardni Ethernet jednaka 10 Mbit/s x 51,2 μs = 512 bita ili 64 bajta. Ako stanica unutar tog vremena ne primi signal zagušenja, pretpostavlja se da je okvir uspješno poslan.

Budući da je maksimalno vrijeme propagacije okvira ovisno o prijenosnoj brzini signala, s porastom brzine smanjeno je vrijeme detekcije sudara te je isto tako smanjena i najveća moguća duljina mrežnog segmenta. U tablici 2.1. prikazana je usporedba vremena detekcije sudara okvira i dopuštene duljine mrežnih segmenata kod Ethernet standarda.

Tablica 2.1. Vrijeme detekcije sudara okvira i duljine mrežnih segmenata kod Ethernet standarda

TIP ETHERNETA	BRZINA PRIJENOSA (Mbit/s)	VRIJEME DETEKCIJE SUDARA (μs)	MAKSIMALNA DULJINA MREŽNOG SEGMENTA (m)
Standardni	10	51.2	> 100 / 500*
Fast	100	5.12	100
Gigabit	1000	0.512	25

Podatci su prikazani za bakrene parične kabele i *koaksijalni kabel

2.1.1. Algoritam slanja Ethernet okvira nakon kolizije

Kada detektira sudar okvira, stanica prestaje sa slanjem okvira podataka i započinje slanje signala zagušenja svim ostalim stanicama na mreži. U isto vrijeme pomoću binarnog algoritma BEB (*Binary Exponential Backoff*) stanica generira slučajno vrijeme nakon kojeg će ponovno pokušati sa slanjem okvira podataka. Slučajno vrijeme izračunava se kao broj fiksnih vremenskih odsječaka (*slots*), a trajanje svakog odsječka jednako je vremenskom trajanju 512 bita pri određenoj prijenosnoj brzini signala. Broj vremenskih odsječaka *r* za svaku stanicu određen je izrazom:

$$0 < r < 2^k,\ k = \min(n, 10) \qquad (2.1)$$

gdje *k* predstavlja broj mogućih uzastopnih sudara.

Budući da *k* najviše može iznositi 10, svakoj se stanici može dodijeliti od 0 do 1023 vremenska odsječka. Vrijednost *r* određena je slučajnim izborom jedne od mogućih vrijednosti u svakoj Ethernet stanici. Vrijednosti vremenskih odsječaka u funkciji broja sudara prikazane su u tablici 2.2.

Tablica 2.2. Vrijednosti vremenskih odsječaka u funkciji broja sudara (kolizija)

BROJ SUDARA	PROCIJENJENI BROJ STANICA	VRIJEDNOST VREMENSKIH ODSJEČAKA (r)	VRIJEME ČEKANJA DO PONOVNOG SLANJA (μs)
1	1	0……1	0……51.2
2	3	0……3	0……153.6
3	7	0……7	0……358.4
4	15	0……15	0……768.0
5	31	0……31	0……1587.2
6	63	0……63	0……3225.6
7	127	0……127	0……6502.4
8	255	0……255	0…..13056.0
9	511	0……511	0…..26163.2
10	1023	0…..1023	0…..52377.6
11	1023	0…..1023	0…..52377.6
12	1023	0…..1023	0…..52377.6
13	1023	0…..1023	0…..52377.6
14	1023	0…..1023	0…..52377.6
15	1023	0…..1023	0…..52377.6
16	Nije podržan	-	Okvir se odbacuje

Iz tablice 2.2. možemo vidjeti da će nakon prvog sudara okvira svaka stanica pričekati slučajno odabran 0 ili 1 broj vremenskih odsječaka prije nego pošalje novi okvir. Ako za dvije stanice dođe do sudara drugi put uzastopno, svaka će od njih poslati novi okvir nakon slučajnog odabira broja odsječaka između mogućih vrijednosti 0, 1, 2 ili 3. Vjerojatnost da će dvije stanice odabrati istu vrijednost i tako doći do ponovnog sudara iznosi sada 25 % u odnosu na 50 % koliko je bilo u prvom pokušaju. Općenito nakon *k* uzastopnih sudara vrijednost broja vremenskih odsječaka koje može odabrati svaka stanica iznosi od 0 do 2^k-1. Nakon 10 uzastopnih sudara vrijednost broja vremenskih odsječaka ograničena je na 1023 jer je to i maksimalan broj stanica koje podržava Ethernet na fizičkom mediju. Ako je broj sudara veći od 16 stanica, prijavit će se pogreška u komunikaciji koju rješavaju viši slojevi protokola. Velik broj sudara upućuje na veliku opterećenost mreže zbog povećanog broja stanica. BEB algoritam omogućuje eksponencijalnim povećanjem broja vremenskih odsječaka dovoljan broj odsječaka kako bi se smanjila vjerojatnost pojave sudara s povećanjem broja stanica.

Kolizije su normalna pojava na Ethernet mreži i predviđene su u dizajnu mreže. Razina kolizije bit će veća što je veći broj uređaja na Ethernet mreži pa o tome treba voditi računa jer će to utjecati na smanjenje ukupnog frekvencijskog opsega mreže zbog povećanog prijenosa podataka.

Sažeto se može reći da je CSMA/CD protokol jednostavan, stanicama pruža ravnopravan pristup mediju i ima dobre performanse za mali i srednji promet. Najkritičnija je detekcija sudara, dijagnostika pogrešaka i loše performanse za velika prometna opterećenja.

2.1.2. Struktura Ethernet okvira

Struktura IEEE 802.3 MAC okvira prikazana je na sl. 2.2. Nakon slanja okvira Ethernet nema ugrađen mehanizam koji bi omogućio provjeru je li okvir primljen na prijamniku. Ako se na strani prijamnika utvrdi da primljeni okvir nije ispravan, najčešće se zahtjev za ponovno slanje okvira implementira kroz više protokolarne slojeve (npr. kroz transportni sloj).

Preambula	SFD	Odredišna adresa	Izvorišna adresa	Duljina/tip podataka	LLC/Podatci	Provjera pogreške (CRC)
7 bajta	1 bajt	6 bajta	6 bajta	2 bajta	1500 bajtova	4 bajta

Slika 2.2. Struktura IEEE 802.3 okvira

- **Preambula**
  Polje preambule sadržava 7 bajta (56 bita) naizmjeničnih 1 i 0, koji omogućuju sinkronizaciju takta prijamnika s nadolazećim okvirom. 56-bitna struktura omogućuje uspješnu sinkronizaciju čak i u slučaju da prijamnik propusti dio bita na početku. Preambula nije (formalno) dio okvira jer se dodaje na fizičkom sloju pri slanju okvira. Na prijmu fizički sloj, prije nego što proslijedi okvir MAC podsloju, uklanja preambulu.

- **Oznaka početka okvira** (*SFD – Start Frame Delimiter*)
  Polje SFD sadržava fiksnu sekvenciju od 8 bita (10101011) koja signalizira početak okvira odnosno nailazak polja odredišne adrese.

- **Odredišna adresa** (*DA – Destination Address*)
  Odredišna adresa sastoji se od 6 bajta i sadržava fizičku adresu stanice koja će primiti okvir (paket).

- **Izvorišna adresa** (*SA – Source Address*)
  Izvorišna adresa sastoji se također od 6 bajta i sadržava fizičku adresu stanice koja je poslala okvir.

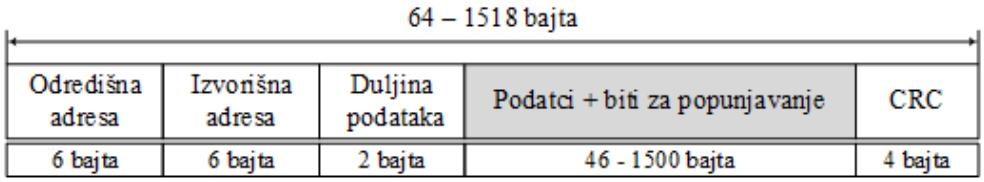
- **Duljina/tip korisničkih podataka**
  Koristi se za definiranje duljine polja korisničkih podataka. Ako je vrijednost polja manja od 1518, radi se o polju koje definira duljinu podataka koji slijede, a ako je vrijednost polja veća od 1536, definira se tip PDU paketa koji je enkapsuliran u okvir.

- **Podatci**
  Ovo polje sadrži podatke enkapsulirane od protokola viših slojeva. Minimalna veličina je 46, a maksimalna 1500 bajtova.

- **Provjera pogreške** (*FCS – Frame Check Sequence*)
  Na kraju okvira nalazi se polje od 4 bajta koje se koristi za provjeru ispravnosti primljenog okvira. Provjera se vrši metodom cikličkog kodiranja CRC-32 na strani predajnika i prijamnika. CRC se računa iz svih polja, osim preambule, SFD i samog CRC polja. Prijamnik uspoređuje primljenu vrijednost s izračunanom, a ako ona nije ista, znači da okvir nije primljen ispravno te se odbacuje.

2.1.2.1. Duljina okvira

Ethernet je definirao ograničenja na minimalnu i maksimalnu duljinu okvira, kao što je prikazano na sl. 2.3.



Slika 2.3. Minimalna i maksimalna duljina IEEE 802.3 okvira

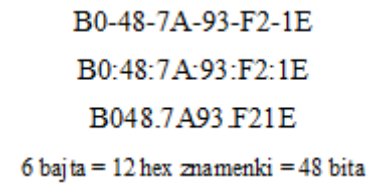
Najmanja duljina okvira u Ethernet standardu iznosi 512 bita ili 64 bajta (bez preambule i SFD polja). Minimalna duljina okvira neophodna je za ispravan rad CSMA/CD metode prijenosa signala. Ako se uzme u obzir da na zaglavlje i završni dio okvira otpada 18 bajta (6 bajta odredišne adrese, 6 bajta izvorišne adrese, 2 bajta polja duljine podataka i 4 bajta CRC), tada minimalna duljina korisničkih podataka iznosi 64 – 18 = 46 bajta. Ako su paketi viših slojeva za popunjavanje korisničkog polja manji od 46 bajta, okvir se dopunjava kako bi se popunila razlika (*padding*).

Maksimalna duljina okvira (bez preambule i SFD polja) u Ethernetu iznosi 1518 bajta. Ako se uzme u obzir 18 bajta zaglavlja i završnog dijela, maksimalna duljina polja korisničkih podataka iznosi 1500 bajta. Ograničenje maksimalne duljine samo je dio povijesnog nasljeđa. Za to su postojala dva razloga. Prvi je bila visoka cijena memorija u vremenu nastanka Etherneta pa se ograničenjem nastojala smanjiti upotreba memorije. Drugi je razlog bio brža dostupnost mediju ostalih stanica, što ne bi bilo moguće ako jedna stanica šalje predugo podatke.

2.1.2.2. Adresiranje

Adresiranje je u Ethernetu ostvareno pomoću fizičke i logičke adrese. Fizičko adresiranje odvija se u MAC podsloju podatkovnog sloja sa zadaćom upravljanja pristupom mediju. Svaki uređaj na Ethernet mreži, kao što je npr. PC, PLC, preklopnik, usmjerivač i sl., ima svoju

mrežnu karticu, a svaka mrežna kartica u sebi sadržava fizičku MAC adresu koja je trajno zapisana u ROM-u. Fizička adresa sastoji se od 6 bajta (48 bita) i zapisana je u heksadecimalnom obliku korištenjem spojnice, dvotočke ili točke za razdvajanje znamenaka, sl. 2.4.



Slika 2.4. MAC adresa

MAC adresa je logički podijeljena u dva dijela. Prva tri bajta (24 bita ili prvih 6 heksadecimalnih znamenaka) predstavljaju oznaku proizvođača i za sve kartice tog proizvođača su iste. Ostala 3 bajta su jedinstvena za svaku karticu i dodjeljuje ih proizvođač. Da bi poslao podatke u Ethernetu, potrebno je da uređaj pored MAC adrese poznaje i logičku IP adresu. Logička IP adresa omogućuje pronalaženje uređaja i usmjerivanje toka podataka do njega. Ako poznajemo samo IP adresu uređaja kojem šaljemo podatke, njegovu MAC adresu možemo odrediti pomoću ARP protokola (*Address Resolution Protocol*).

Općenito kod adresiranja možemo razlikovati tri vrste adresa: *Unicast*, *Multicast* i *Broadcast* adrese. *Unicast* adresa se koristi samo u direktnoj komunikaciji između dvaju uređaja. *Multicast* adresa se koristi kada se podatci s jednog uređaja šalju određenoj grupi uređaja, a *broadcast* adresa je poseban slučaj *multicast* adrese kada svi uređaji na mreži primaju poslane podatke.

Kod fizičke adrese izvorišna adresa uvijek je *unicast* adresa. Podatci se naime mogu slati samo iz jedne stanice, kao što smo vidjeli iz CSMA/CD protokola. Odredišna adresa može upotrijebiti sva tri tipa adresiranja: *unicast*, *multicast* i *broadcast*. *Unicast* adresa u tom se slučaju razlikuje od *multicast* adrese po najmanje značajnom bitu (LSB) u prvom bajtu odredišne adrese. Ako je ovaj bit „0“, adresa je *unicast*, a ako je „1“, adresa je *multicast*. *Broadcast* adresa je predstavljena s 48 jedinica ili u heksadecimalnom obliku FF:FF:FF:FF:FF:FF.

2.1.3. Standardni Ethernet

Standardni Ethernet razvijen je za rad na brzinama od 10 Mbit/s. Upravljanje pristupom mediju ostvareno je metodom CSMA/CD unutar MAC podsloja, a prijenosni signal kodira se Manchester metodom. S obzirom na vrstu prijenosnog medija standardni Ethernet na razini fizičkog sloja specificira četiri tipa Etherneta:

- 10Base5 (*Thick Ethernet*)
- 10Base2 (*Thin Ethernet*)
- 10Base-T (*Twisted-Pair Ethernet*)
- 10Base-FL (*Fiber Link Ethernet*).

10Base5 *Thick* Ethernet upotrebljava kao prijenosni medij „debeli“ koaksijalni kabel (npr. RG-8/U) karakteristične impedancije 50 Ω pa je po tome i dobio naziv. Kabel je vanjskog promjera 10 mm, žute ili narančaste boje, označen vidljivim prstenima na svakih 2,5 m duljine kao indikacija gdje stanice mogu biti spojene. Maksimalna duljina segmenta je 500 m uz mogućnost spajanja ukupno do pet segmenata (2500 m). Svaki segment na krajevima mora biti zaključen otpornikom karakteristične impedancije. Na jednom segmentu dopušteno je spojiti najviše 100 stanica, s minimalnim međusobnim razmakom od 2,5 m. Oklop kabela mora biti uzemljen na jednom kraju.

Priključivanje uređaja može se ostvariti primjenom N koaksijalnog konektora ili probojnog (vampirskog) kontakta. Kod primjene N konektora potrebno je rezati kabel, što je problematično s aspekta pouzdanosti, diskontinuiteta medija i cijene, a kod primjene probojnog kontakta može se dogoditi da prijelazni otpor kontakta bude velik. Stoga se u oba slučaja na kabel instalira priključna jedinica MAU (*Media Attachment Unit*). Veza između priključne jedinice i stanice ostvaruje se posebnim sučeljem priključne jedinice AUI (*Attachment Unit Interface*) preko tzv. DIX konektora. AUI sučelje upotrebljava 15-polni priključak, a maksimalna duljina kabela je 50 m.

10Base2 ili *Thin* Ethernet upotrebljava „tanki“ koaksijalni kabel RG-58 A/U ili C/U karakteristične impedancije 50 Ω. Kabel je vanjskog promjera oko 5 mm. Maksimalna duljina segmenta je 185 m, uz mogućnost spajanja ukupno do pet segmenata (925 m). Svaki segment na krajevima mora biti zaključen otpornikom karakteristične impedancije. Na jednom segmentu dopušteno je spojiti najviše 30 stanica, s minimalnim međusobnim razmakom od 0,5 m. Priključivanje uređaja ostvareno je primjenom BNC koaksijalnog konektora i T razvodnog člana. Priključna jedinica (MAU) ugrađena je u vezni sklop. Nedostatak mreža temeljenih na koaksijalnom kabelu jest taj da zbog pogreške na kabelu cijeli sustav može pasti.

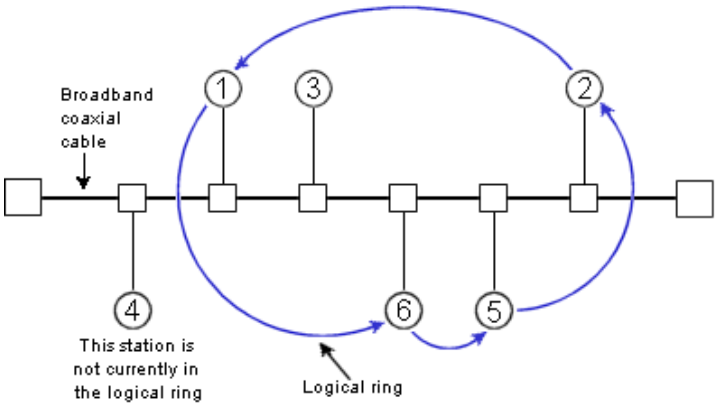
10Base-T upotrebljava zvjezdastu topologiju i kabel s upletenom paricom koji može biti s oklopom ili bez njega. Kabel sadržava 4 parice (8 vodiča) od kojih se koriste samo dvije, jedna za prijam, a druga za slanje, povezane prema standardu EIA-568B. Stanice su spojene na

koncentrator. Maksimalna duljina segmenta je 100 m, a dopušteno je spojiti ukupno šest segmenata u seriju, od kojih dva segmenta za krajnje uređaje i njih četiri između zvjezdišta. To znači da maksimalna struktura stabla može imati tri razine, od kojih dvije razine topologije zvijezde i jednu razinu računala. Priključivanje uređaja ostvareno je primjenom RJ-45 modularnog konektora.

10Base-FL upotrebljava zvjezdastu topologiju za povezivanje stanica na koncentrator. Maksimalna udaljenost koju je moguće ostvariti jest 2000 m. Koriste se jednomodna (skuplja, manje gušenje) i višemodna (jeftinija, veće gušenje) vlakna, sve promjera 125 μm. Ova je mreža po svemu ekvivalentna mreži 10Base-T, osim što se umjesto parica za svaki segment koriste po dvije svjetlovodne niti.

2.2. IEEE 802.4 (Token Bus)

Ovaj se tip LAN protokola uglavnom koristio u industrijskoj automatizaciji i danas je manje u primjeni pa ga samo ukratko predstavljamo. Stanice su kod ovog protokola spojene na sabirnicu tako da formiraju logički prsten, kao što je prikazano na sl. 2.5. Svaka stanica na sabirnici zna koja je stanici ispred, a koja je iza nje. Fizički one mogu biti spojene bilo gdje na sabirnicu, a logički raspored stanica neovisan je o fizičkom rasporedu. Pri formiranju logičkog prstena stanice se slažu prema adresi (od najveće prema najmanjoj).



Slika 2.5. IEEE 802.4 standard – Token Bus

Svaka stanica dobiva pravo pristupa mediju pomoću kontrolnog okvira (*token*) koji sadržava adresu odredišne stanice. *Token* se kreće kroz logički prsten u smjeru padajućih adresa stanica. Stanica koja drži *token* jedina ima pravo slati okvire. Budući da samo jedna stanica može imati *token*, spriječena je mogućnost sudara.

Stanici je pristup mediju dopušten samo za određeni vremenski period, nakon čega se *token* mora proslijediti sljedećoj stanici koja odgovara susjednoj adresi na logičkom prstenu neovisno o fizičkom rasporedu stanice. Na taj je način spriječeno da pojedina stanica predugo zadržava

promet mrežom. Stanica će proslijediti *token* sljedećoj stanici kada je poslala sve pripremljene podatke, ako nema podataka za slanje ili ako je isteklo dopušteno vrijeme za slanje.

Okvir s podatcima šalje se svim stanicama, a prihvaća ga samo stanica koja je adresirana. Dodavanje i brisanje stanica iz logičkog prstena u nadležnosti je MAC protokola.

Kod ovog standarda također je moguće definirati i četiri klase prioriteta i to:

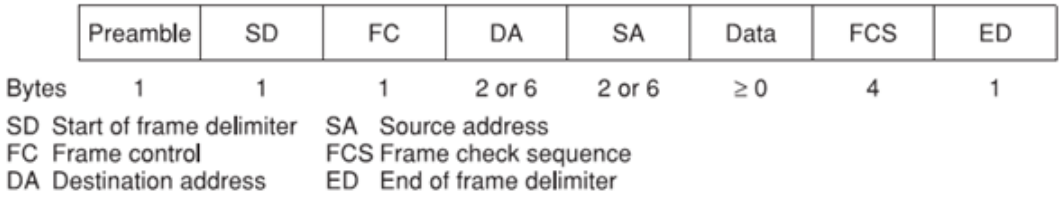
- alarmi i kvarovi
- kontrolne poruke u stvarnom vremenu
- periodične poruke
- poruke koje nisu kritične.

Stanica koja drži token najprije šalje podatke s najvišim prioritetom. Poruke s nižim prioritetom šalju se jedino ako je definirano vrijeme THS (*Token Holding Station*) veće od stvarnog vremena ponovnog dolaska *tokena* TRT (*Token Rotation Time*). To znači da je promet na mreži malen.

Najveće su prednosti ovog protokola u odličnim performansama (visokoj propusnosti) koje se ne degradiraju povećanjem duljine medija, u kontroliranom pristupu mediju i unaprijed poznatom najvećem vremenu čekanja. Glavni su nedostatci složenost protokola i dodatna kontrolna (redundantna) informacija koja se ubacuje u mrežu (izražena je kod malog prometnog opterećenja).

2.2.1. Struktura IEEE 802.4 okvira

Struktura IEEE 802.4 MAC okvira prikazana je na sl. 2.6.



Slika 2.6. Struktura IEEE 802.4 okvira

- **Preambula**
  Polje preambule sadržava 1 bajt (8 bita) naizmjeničnih 1 i 0, koji omogućuju sinkronizaciju takta prijamnika s nadolazećim okvirom.

- **Oznaka početka okvira** (*SD – Start Delimiter*)
  Polje SD sadržava fiksnu sekvenciju od 8 bita (10101011) koja signalizira početak okvira.
- **Upravljanje okvirom** (*FC – Frame Control*)
  Ovo polje omogućuje razlikovanje okvira s podatcima od upravljačkih okvira. Ako je okvir s podatcima, polje nosi informaciju o prioritetu okvira i eventualno identifikator na osnovi kojeg će prijamna stanica potvrditi točan ili netočan primitak okvira. Ako je okvir upravljački, polje sadržava sekvencije koje služe za prosljeđivanje *tokena*, dodavanje i uklanjanje stanica iz prstena, obnavljanje izgubljenog *tokena* i dr.

- **Odredišna adresa** (*DA – Destination Address*)
  Odredišna adresa sastoji se od 2 ili najčešće 6 bajta i sadržava fizičku adresu stanice koja će primiti okvir (paket).

- **Izvorišna adresa** (*SA – Source Address*)
  Izvorišna adresa sastoji se također od 2 ili najčešće 6 bajta i sadržava fizičku adresu stanice koja je poslala okvir.

- **Podatci**
  Ovo polje sadržava podatke koji se šalju, a može biti duljine do 8182 bajta, što je pet puta dulje od polja kod 802.3 standarda.

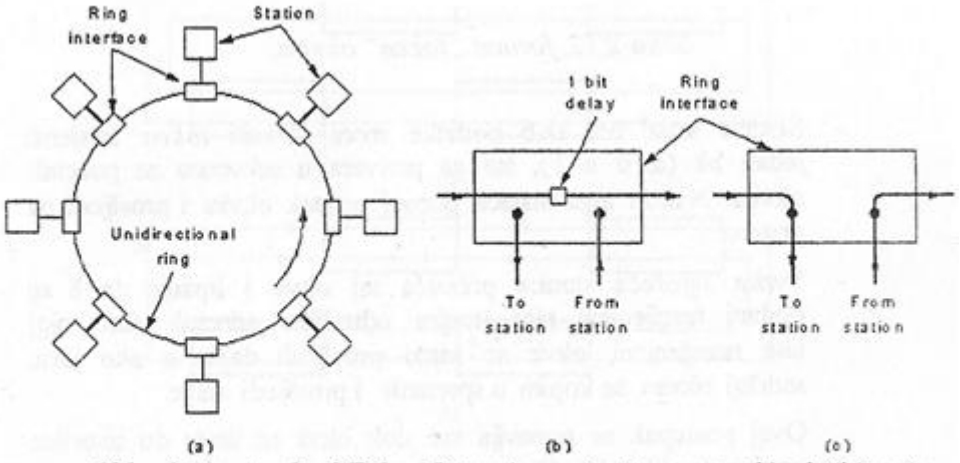
- **Provjera pogreške** (*FCS – Frame Check Sequence*)
  Polje je duljine 4 bajta kao kod standarda 802.3 i koristi se istom metodom CRC-32 za provjeru ispravnosti primljenog okvira.

- **Oznaka završetka okvira** (*ED – End Delimiter*)
  Polje ED je duljine jednog bajta i označava kraj okvira.

2.3. IEEE 802.5 (Token Ring)

Token Ring standard omogućuje povezivanje do 250 stanica s različitim razinama prioriteta. Međutim, brzine prijenosa od 1,4 i 16 Mbit/s ipak su danas razlog zbog kojeg se sve više koristi Ethernet koji može raditi na brzinama većima od 1 Gbit/s uz znatno jednostavniju instalaciju same mreže.

Ovaj protokol upotrebljava kao i *Token Bus* prstenastu topologiju, slika 2.7., u kojoj je pristup mediju svake stanice određen kontrolnim okvirom, tzv. *tokenom*. Fizički prsten je formiran od stanica koje su međusobno povezane jedna na drugu u *point-to-point* nizu. Povezivanje može biti ostvareno paricom, koaksijalnim kabelom ili svjetlovodnim vlaknom.



Slika 2.12. standard:Token Ring:a) mreža tipa prsten b)osluškivanje c) prijenos

Slika 2.7. IEEE 802.4 standard – Token Ring

Kada nema komunikacije između stanica, mrežom kruži *token* veličine 3 bajta, koji se sastoji od polja SD (*Start Delimiter*), AC (*Access Control*) i ED (*End Delimiter*).

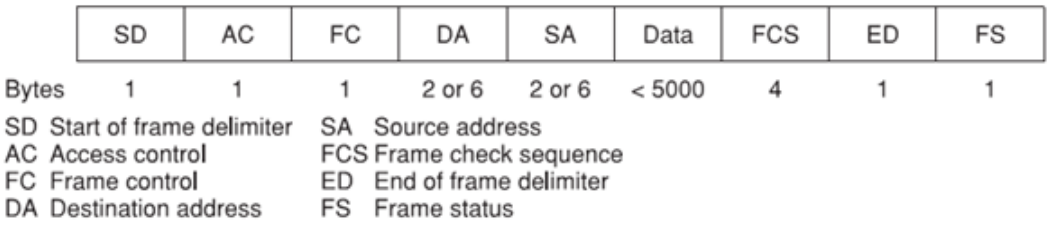
Stanica koja želi poslati podatke mora preuzeti *token* te mu izmijeniti jedan bit (iz 0 u 1), što ga pretvara u početnu sekvenciju samog okvira koji se prije slanja još dopuni ostalim poljima.

Svaka sljedeća stanica u nizu preuzima poslani okvir na medij, provjerava adresu odredišta i ako su podatci namijenjeni njoj, kopira sadržaj okvira u spremnik, a ako nisu, prosljeđuje okvir dalje. Postupak se ponavlja sve dok okvir ne dođe do stanice koja je poslala okvir. Izvorišna stanica tada će ukloniti okvir odnosno podatke s prstena te regenerirati token koji ponovno vraća u prsten.

Osnovna prednost ovog protokola u odnosu na *Token Bus* jest mogućnost prijenosa na veće udaljenosti bez prigušenja signala jer svaka stanica koja primi signal pojača ga prije daljnjeg slanja sljedećoj stanici. Ovaj je protokol inače vrlo učinkovit kod velikih prometnih opterećenja te pruža pošten pristup mediju.

2.3.1. Struktura IEEE 802.5 okvira

Struktura IEEE 802.5 MAC okvira prikazana je na sl. 2.8.



Slika 2.8. Struktura IEEE 802.5 okvira

- **Oznaka početka okvira** (*SD – Start Delimiter*)
  Polje SD sadržava fiksnu sekvenciju od 8 bita (10101011) koja signalizira početak okvira.

- **Upravljanje pristupom** (*AC – Access Control*)
  Polje AC je duljine jednog bajta i sadržava *token* bit, monitor bit, bitove prioriteta i bitove rezervacije. Na taj način pruža mogućnost rezervacije i definiranje prioriteta *tokena* za sljedeći dolazak *tokena*.

- **Upravljanje okvirom** (*FC – Frame Control*)
  Ovo polje omogućuje razlikovanje okvira s podatcima od upravljačkih okvira.

- **Odredišna adresa** (*DA – Destination Address*)
  Odredišna adresa sastoji se od 2 ili najčešće 6 bajta kao i kod 802.4 standarda.

- **Izvorišna adresa** (*SA – Source Address*)
  Izvorišna adresa sastoji se također od 2 ili najčešće 6 bajta kao i kod 802.4 standarda.

- **Podatci**
  Ovo polje sadrži podatke koji se šalju i nema ograničenja, osim vremena trajanja prijenosa.

- **Provjera pogreške** (*FCS – Frame Check Sequence*)
  Polje je duljine 4 bajta kao kod standarda 802.3 i 802.4 te se koristi istom metodom CRC-32 za provjeru ispravnosti primljenog okvira.

- **Oznaka završetka okvira** (*ED – End Delimiter*)
  Polje ED je duljine jednog bajta i označava kraj okvira.

- **Status okvira** (*FS – Frame Status*)
  Polje FS je duljine jednog bajta, a pomoću njega prijamna stanica može označiti svoj status odnosno aktivnost (je li prepoznata adresa i je li okvir uspješno kopiran).

3. Lokalne mreže s velikim brzinama prijenosa

Devedesetih godina prošlog stoljeća došlo je do sve većih zahtjeva za proširenjem mogućnosti djelovanja lokalnih mreža, pogotovo na području poslovnih komunikacija. Broj korisnika, spektar usluga i količina prometa svakim se danom povećava, tako da je i razumljiv zahtjev za povećanjem brzine prijenosa. Razvoj tehnologije omogućio je povećanje brzine prijenosa na 100 Mbit/s. Za realizaciju te brzine prijenosa usvojeno je više standarda, od kojih su najpoznatiji:

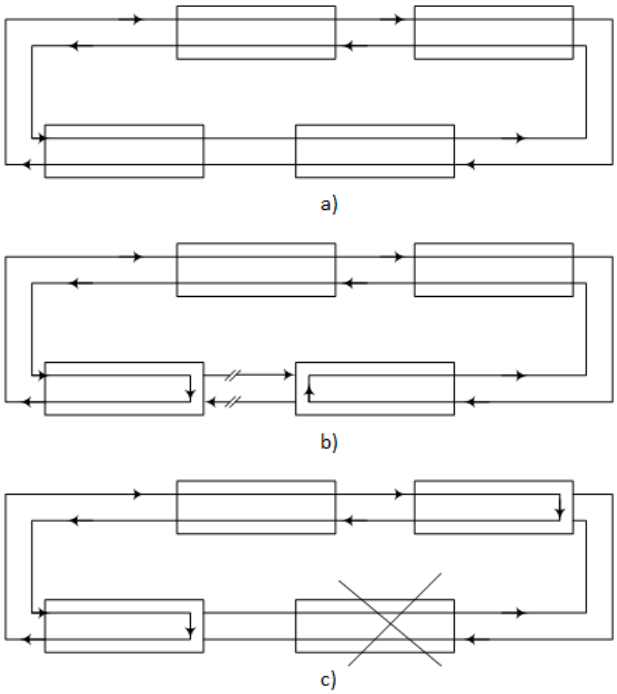
- FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*)
- Brzi Ethernet (*Fast Ethernet*)
- 100VG-Any LAN
- DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*)
- mreža temeljena na paketskoj komutaciji
- lokalna mreža s ATM tehnologijom.

3.1. FDDI

FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*) protokol definiran je IEEE 802.8 standardom koji se temelji na modificiranom IEEE 802.5 *Token Ring* standardu. FDDI omogućuje značajno povećanje brzine prijenosa podataka (deset puta veću pojasnu širinu nego Ethernet mreža), koja je ostvarena primjenom svjetlovodne tehnologije. Prva verzija FDDI-ja razvijena je samo za podatkovne aplikacije. Nova verzija FDDI-II omogućuje integraciju podatkovnih usluga i usluge u realnom vremenu (govor, video).

FDDI se temelji na topologiji dvostrukog prstena (primarni i sekundarni) što mu daje otpornost na kvarove, slika 3.1. Smjer kretanja podataka po primarnom prstenu uvijek je suprotan onomu na sekundarnom prstenu, koji inače služi kao rezervni put ako dođe do pojave različitih neispravnosti. FDDI-jem se može povezati do 500 stanica, pri čemu razmak između susjednih stanica može iznositi i do 2 km za višemodna vlakna odnosno do 20 km za jednomodna vlakna.

Dodatne su prednosti da se mogu postići visoke performanse uz visoku neosjetljivost na prometna preopterećenja, mogućnost ravnopravne dodjele mrežnih resursa i mogućnost pojedinačnog optimiziranja linkova između stanica (linkovi su *point-to-point*).

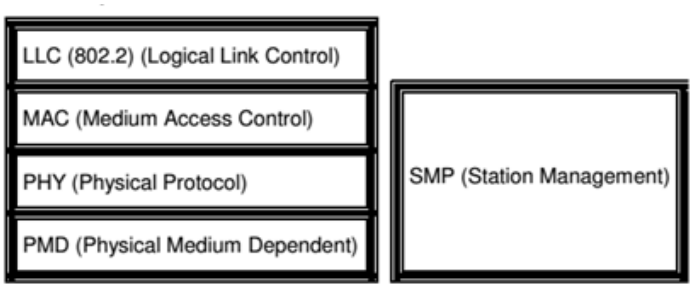


Slika 3.1. Rekonfiguriranje dvostrukog FDDI prstena: a) normalni način rada, b) kvar na linku, c) kvar na čvoru.

IEEE 802.8 skupina definirala je unutar donja dva sloja OSI modela podslojeve koji se koriste za FDDI standard, slika 3.2. Oni sadržavaju četiri osnovna sloja:

- sloj ovisan o fizičkom mediju PMD (*Physical Medium Dependent*)
- fizički sloj PHY (*Physical layer*)
- sloj upravljanja pristupom prijenosnom mediju MAC (*Media Access Control*)
- sloj upravljanja stanicom SMT (*Station Management*).

Prva dva sloja odgovaraju fizičkom sloju OSI modela, MAC sloj pripada podatkovnom sloju, a SMT je sloj zajednički za oba sloja.



Slika 3.2. Arhitektura FDDI protokola

Fizički sloj PMD definira parametre kao što su vrste prijenosnih medija ili vrste svjetlovodnih predajnika i prijamnika. Ovisno o odabranim parametrima postoji više varijanata:

- Osnovna varijanta upotrebljava višemodno vlakno na prozoru od 1325 nm. Ova je varijanta jeftinija jer se koristi jeftinijim LED predajnikom, a kabel ima dva vlakna (po jedno za svaki smjer u normalnom načinu rada).
- Druga varijanta upotrebljava jednomodno vlakno i skuplja je jer se koristi predajnikom s laserskom diodom. Udaljenosti između stanica mogu biti do 20 km.
- Također postoji varijanta koja predstavlja kombinaciju prvih dviju. Na jednom se prstenu mogu upotrijebiti obje te varijante, npr. na kraćim udaljenostima višemodno, a na duljima jednomodno vlakno.

Na ***fizičkom podsloju PHY*** vrši se prekodiranje signala koji dolaze s MAC sloja u FDDI 4B/5B simbole. Ti simboli prenose se svjetlovodnim vlaknom u obliku impulsa, tako da je moguće prikazati 16 simbola (0-F), a da se ne pojave četiri nule uzastopno. Time je ostvarena znatno bolja sinkronizacija. Svaka FDDI stanica opremljena je svojim vlastitim generatorom takta čime se podržava sinkronizam na fizičkom sloju. Uspostavljanje i podržavanje sinkronizma vrši se shemom distribuiranih generatora takta.

MAC sloj upravlja pristupom mediju korištenjem kontrolnog okvira (*tokena*) koji kruži mrežom. Princip prijenosa u FDDI mreži prikazan je na slici 3.3.

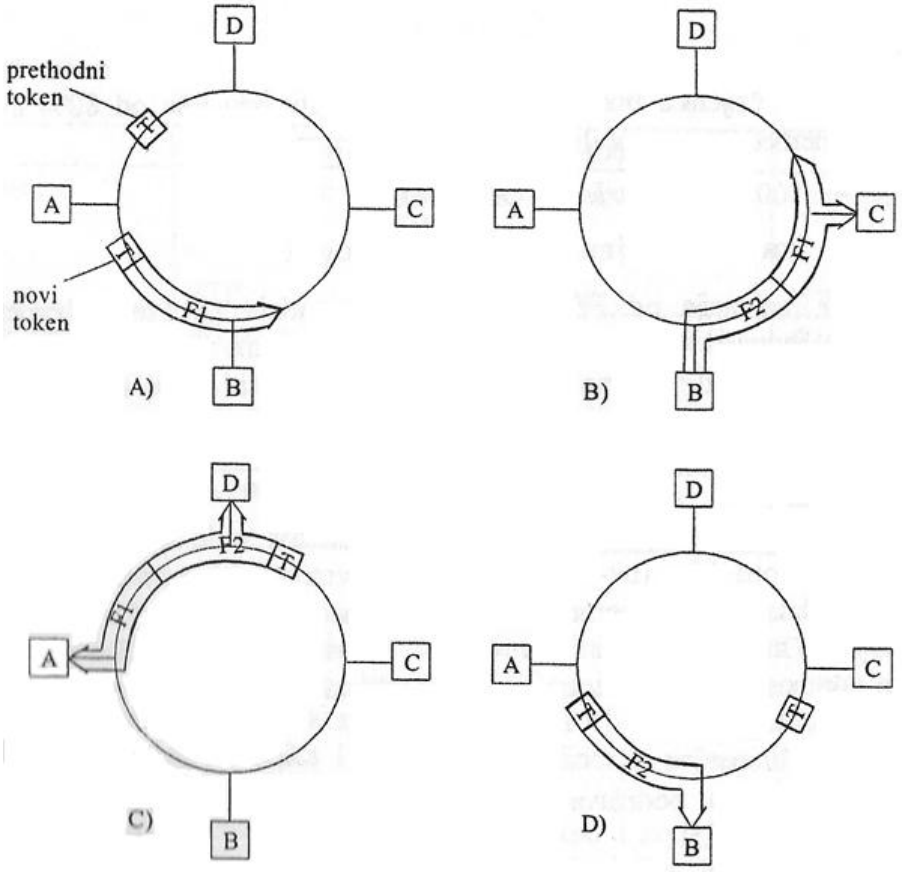
Ako neka stanica želi odaslati jedan ili više okvira s podatcima, mora najprije „uhvatiti“ kontrolni okvir koji se prosljeđuje od stanice do stanice. U trenutku kada je *token* došao do te stanice, ona ga zadržava, odnosno uklanja s prstena, i počinje sa slanjem jednog ili više okvira s podatcima. Nakon završetka slanja stanica vraća *token* na prsten kako bi sljedećoj stanici koja čeka na slanje svojih okvira omogućila slanje.

Sljedeća stanica u prstenu koja primi *token* i okvir s podatcima provjerava adresu odredišta okvira. Ako je adresa njezina, kopira okvir s podatcima i sve prosljeđuje sljedećoj stanici. Ako nije, sve primljene okvire samo proslijedi sljedećoj stanici. Ovaj se postupak ponavlja na svakoj stanici duž prstena sve dok *token* i okvir s podatcima ne dođu do izvorišne stanice, odnosno

stanice koja je poslala okvir s podatcima. Izvorišna stanica tada uklanja okvir s podatcima, a dalje prosljeđuje samo *token*.

Ako i ostale stanice žele poslati svoje okvire s podatcima, one ne čekaju da se poslani okvir ukloni s prstena, kao što je to bio slučaj kod *Token Ringa*, već „uhvate“ postojeći *token,* uklanjaju ga s prstena, pošalju svoje okvire s podatcima u nastavku već postojećih te nakon završetka slanja okvira s podatcima ponovno ubacuju *token*.

Svaka izvorišna stanica uvijek uklanja s prstena samo okvire s podatcima koje je sama poslala. Međutim, prije nego što izvorišna stanica očita svoju adresu (izvorišnu adresu) na okviru koji je poslala i počne brisati okvir s podatcima, već je prošlo prvih pet polja okvira koja ostaju neobrisana. Neobrisane dijelove okvira izbrisat će sljedeća stanica koja šalje svoje podatke.

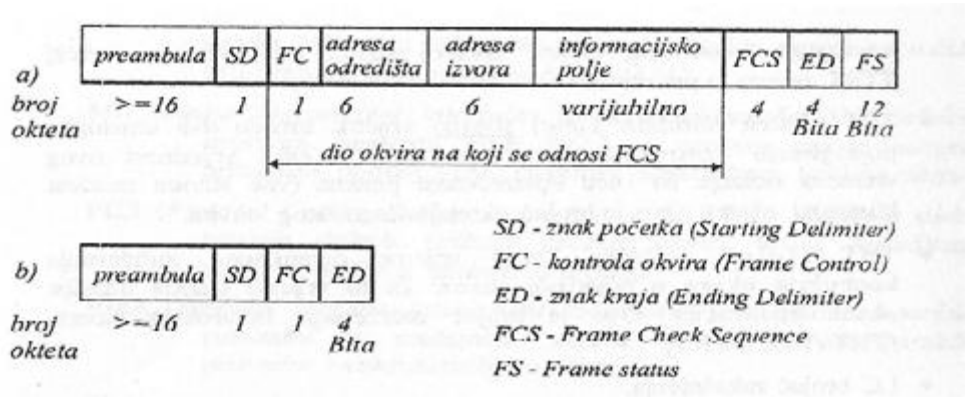


Slika 3.3. FDDI prijenos okvira

Primjer: Stanica A šalje okvir F1 stanici C, a stanica B šalje okvir F2 stanici D. U ovom primjeru najprije stanica A hvata *token*, odašilje okvir F1 i generira novi *token*. Stanica B također hvata *token*, odašilje okvir F2 i generira novi *token*. Stanica C prima okvir F1 od stanice

A, stanica A briše svoj okvir F1, a stanica D prima okvir F2 od stanice B. Zatim stanica B briše svoj okvir F2, tako da na prstenu ostaje *token* koji je raspoloživ za sljedeće stanice C, D, A itd.

Struktura okvira s podatcima i tokena za FDDI protokol prikazana je na slici 3.4.



Slika 3.4. Struktura okvira FDDI standarda: a) okvir s podatcima, b) *token* okvir.

Sloj upravljanja stanicom STM upravlja radom FDDI stanice, nadgleda rad mreže i otklanja odstupanja od normalnog režima rada. SMT sloj sadržava cijeli niz funkcija koje su grupirane na dvije hijerarhijske razine, nižu i višu.

Na nižoj razini najvažnije su funkcije inicijalizacija stanica i koordiniranje procesom umetanja i uklanjanja stanica, a na višoj razini funkcije detekcije dupliciranih adresa, nadgledanje stanica i praćenje (monitoring) stanica koje su u procesu određivanja i izdvajanja mjesta kvara.

3.1.1. FDDI-II

FDDI-II je proširena verzija FDDI mreže koja podržava prijenos podatkovnih, govornih i video informacija te integrira komutaciju kanala i paketa.

FDDI-II mreža koristi se TTR protokolom (*Time Token Rotation*) koji daje veći prioritet uslugama u realnom vremenu (govor, video) nego podatkovnim uslugama. Naime, uslugama u realnom vremenu najprije se dodijeli potrebni kapacitet, a preostali kapacitet koristi se za podatkovne aplikacije. Ovaj protokol ima dva načina rada, sinkroni i asinkroni.

TTR protokol se temelji na mjerenju pojedinih vremena kojima upravljaju brojači, a odnose se na kontrolni okvir. To su:

- TTRT (*Target Token Rotation Time*) predstavlja ciljno vrijeme dolaska kontrolnog okvira. U tom vremenu sve stanice ulaze u proces prisvajanja kontrolnog okvira. Svakoj stanici dodjeljuje se različit TTRT ovisno o prioritetu.

- TRT (*Token Rotation Time*) jest stvarno vrijeme koje prođe između dvaju uzastopnih pojavljivanja kontrolnog okvira na stanici. Velika vrijednost tog vremena upućuje na veću opterećenost prstena (više stanica zauzima kontrolni okvir). To vrijeme ujedno predstavlja i brojač okretaja kontrolnog okvira.
- THT (*Token Hold Time*) označava vrijeme dopuštenog zadržavanja kontrolnog okvira u pojedinoj stanici.
- LC je brojač zakašnjenja.

Osnovni je princip rada ovog protokola taj da stanica može poslati slijed podataka samo onda kada je vrijeme TRT manje od TTRT-a. U suprotnom, kontrolni okvir smatra se zakašnjelim pa se stanice mogu njime koristiti samo za sinkroni prijenos. To drugim riječima znači da nakon što je zauzet kontrolni okvir, sinkroni se promet može stalno odašiljati (usluge u realnom vremenu), dok paketske usluge mogu zauzeti kontrolni okvir samo kada je od vremena zadnjeg prijma kontrolnog okvira prošlo manje od TTRT-a.

Moguće je odrediti različite performanse za FDDI ovisno o prometu (tj. različitim veličinama paketa) i konfiguraciji mreže (broju stanica, udaljenosti i sl.). Postoje brojne studije i znanstveni izvještaji o performansama FDDI-ja, a ovdje donosimo samo osnovne zaključke. Za kratke pakete najveće prometno opterećenje jest blizu 60 %, a za vrlo duge pakete može se dosegnuti vrlo veliko prometno opterećenje, posebno kod kratkih prstena. Pritom je, dakako, kašnjenje za duge pakete znatno veće nego za kratke.
Također se pokazuje da duljina prstena ima bitno veći utjecaj na performanse od broja stanica na prstenu. Tako su kraći prsteni znatno učinkovitiji od dugačkih, jer je potrebno vrijeme kruženja kontrolnog okvira između susjednih stanica znatno duže kod duljih prstena.

FDDI mreža bila je dominantna na području od 100 Mbit/s sve do pojave brzog Etherneta. Postojeća FDDI mreža danas se uglavnom koristi kao *backbone* mreža informacijskih sustava kod velikih korporacija. Nove FDDI instalacije rijetko se grade.

3.2. Brzi Ethernet

Brzi Ethernet (*Fast Ethernet*) ili 100Base-T specificiran je standardom IEEE 802.3 godine 1995. Standard podržava brzine prijenosa podataka do 100 Mbit/s s mogućnošću rada u poludupleksu i dupleksu. Struktura okvira i adresiranje zadržano je kao kod standardnog Etherneta. Umjesto sabirničke topologije koristi se samo zvjezdasta topologija, koja je ostvarena primjenom koncentratora i preklopnika.

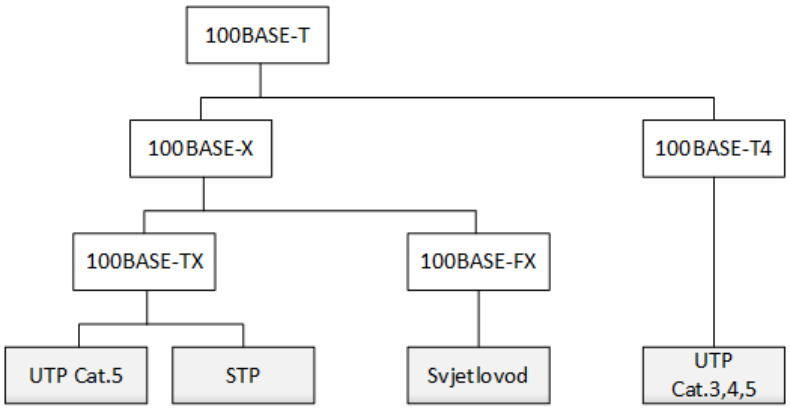
Dupleksnu komunikaciju moguće je ostvariti samo primjenom preklopnika. Kod dupleksne komunikacije ne koristi se metoda CSMA/CD s obzirom na to da nema kolizije signala jer je svakom priključku (portu) preklopnika dodijeljen poseban kanal za komunikaciju. Na taj način na prijenos podataka između dvaju uređaja ne može utjecati komunikacija uređaja s ostalih

kanala odnosno priključaka. Za razliku od preklopnika, u radu koncentratora koristi se poludupleksna komunikacija metodom pristupa CSMA/CD. Koncentratori naime rade kao klasični obnavljači, odnosno samo vrše funkciju prosljeđivanja signala sa svakog ulaznog priključka na sve ostale priključke, tako da je moguća kolizija podataka kada više uređaja počne slati istovremeno.

Pored dupleksne komunikacije *Fast Ethernet* standard uveo je i mogućnost automatskog dogovaranja (*Autonegotiation*) između uređaja o načinu i brzini rada. Tako je moguće razmijeniti postavke komunikacije, povezati uređaje koji rade na različitim brzinama na način da se uređaj koji podržava veću brzinu može prilagoditi brzini uređaja s nižom brzinom, izvršiti provjeru svojstava koncentratora ili preklopnika sa stanice i drugo.

U odnosu na FDDI mrežu, koja također podržava brzinu od 100 Mbit/s, *Fast Ethernet* je zadržao kompatibilnost s postojećim 10Base-T (standardni Ethernet) mrežama s obzirom na strukturu okvira, adresiranje i zvjezdastu topologiju. To je posebno važno jer je do tada u svijetu 80 % mreža bilo realizirano u standardnom Ethernetu. Pored toga, izvedba mreže jeftinija je u odnosu na FDDI, a nadogradnja na *Fast* Ethernet može se ostvariti jednostavnom zamjenom mrežne opreme bez potrebe dodatnog kabliranja.

Na razini fizičkog sloja *Fast Ethernet* standard definira tri verzije, slika 3.5.



Slika 3.5. Brzi Ethernet – verzije s prijenosnim medijima

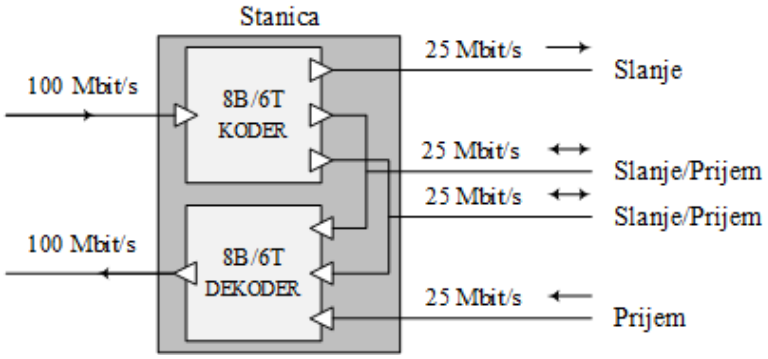
Možemo ih i dodatno kategorizirati u dvije skupine: 2-žičnu i 4-žičnu konfiguraciju, prema broju parica koje se koriste za prijenos signala. Kod 2-žične konfiguracije koristi se kabel s upletenom paricom kategorije 5 (100Base-TX) ili svjetlovodni kabel (100Base-FX). Četverožična (4-žična) konfiguracija je dizajnirana za kabele s upletenim paricama od kategorije 3 na više (100Base-T4).

100Base-Tx – za prijenos se koristi dvjema paricama i to neoklopljenim UTP-om kategorije 5, 5e, 6, 7 ili oklopljenim STP-om. Komunikacija je ostvarena u dupleksu, po jedna parica za svaki smjer. Maksimalan domet segmenta je 100 m. Kodiranje i dekodiranje ovdje nije

ostvareno Manchester metodom jer bi to za prijenosne brzine od 100 Mbit/s zahtijevalo frekvencijski opseg signala od 200 Mbauda. Posljedica povećanja frekvencije signala bila bi veće slabljenje signala, tako da ne bi bilo moguće ostvariti maksimalnu duljinu segmenta od 100 m koja je podržana CSMA/CD metodom. Stoga se kodiranje izvodi u dvama koracima. U prvom se koraku koristi 4B/5B blok kodiranje, kojim je omogućena sinkronizacija takta signala uz neznatno povećanje bitske brzine od 125 Mbit/s. U drugom se koraku dobiveni niz kodira kombinirano s NRZ-I i MLT-3 kodom prije slanja na medij, što smanjuje maksimalnu frekvenciju signala na 31,25 MHz.

100Base-FX – za prijenos se koriste dva višemodna svjetlovodna vlakna. Komunikacija je ostvarena u dupleksu, po jedno svjetlovodno vlakno za svaki smjer. Maksimalan domet segmenta je 400 m. Kodiranje je također izvedeno u dvama koracima. U prvom se koraku koristi 4B/5B blok kodiranje, dok se u drugom koraku dobiveni niz kodira pomoću NRZ-I koda prije slanja na medij.

100Base-T4 – dizajniran je za upotrebu UTP kabela kategorije 3 i više na brzinama prijenosa od 100 Mbit/s. To je osobito ekonomski opravdano za zgrade gdje već postoji instalacija UTP kabela kategorije 3 koji se koriste za potrebe telefonije. Komunikacija je poludupleksna, a maksimalan domet segmenta je 100 m. Da bi se ostvarila brzina prijenosa od 100 Mbit/s, koriste se četiri parice uz primjenu 8B/6T blok kodiranja. Blok kodom 8B/6T omogućena je sinkronizacija takta uz istovremeno smanjenje frekvencijskog opsega signala sa 100 na 75 Mbauda. Budući da svaka parica UTP kabela kategorije 3 nije u mogućnosti podržati frekvencijski opseg veći od 25 Mbauda, 100Base-T4 dizajniran je za rad na 25-Mbaud frekvencijskom opsegu. Za jednosmjeran prijenos u ovom bi se slučaju moralo koristiti šest parica (tri parice za svaki smjer po 75 Mbauda). Da bi se omogućio prijenos preko četiri parice, dvije parice koriste se za jednosmjerni prijenos, a ostale dvije za dvosmjerni prijenos, sl. 3.6. Parice koje se koriste za jednosmjerni prijenos uvijek se mogu koristiti u jednom smjeru za prijenos signala kolizije.



Slika 3.6. Kodiranje i prijenos signala kod 100Base-T4

Pregled karakteristika standarda brzog Etherneta prikazan je u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Pregled karakteristika standarda 100Base-T

	100Base-TX		100Base-FX	100Base-T4
Prijenosni medij	dvije parice STP	dvije parice UTP Cat.5, 5e, 6 ili 7	dvije optičke niti	četiri parice UTP Cat.3, 4 ili 5
Linijski kod	4B5B, MLT-3	4B5B, MLT-3	4B5B, NRZ-I	8B6T
Najveća duljina segmenta	100 m	100 m	130 m, 160 m, 200 m, 400 m	100 m
Raspon mreže	do 200 m	do 200 m	do 400 m	do 200 m

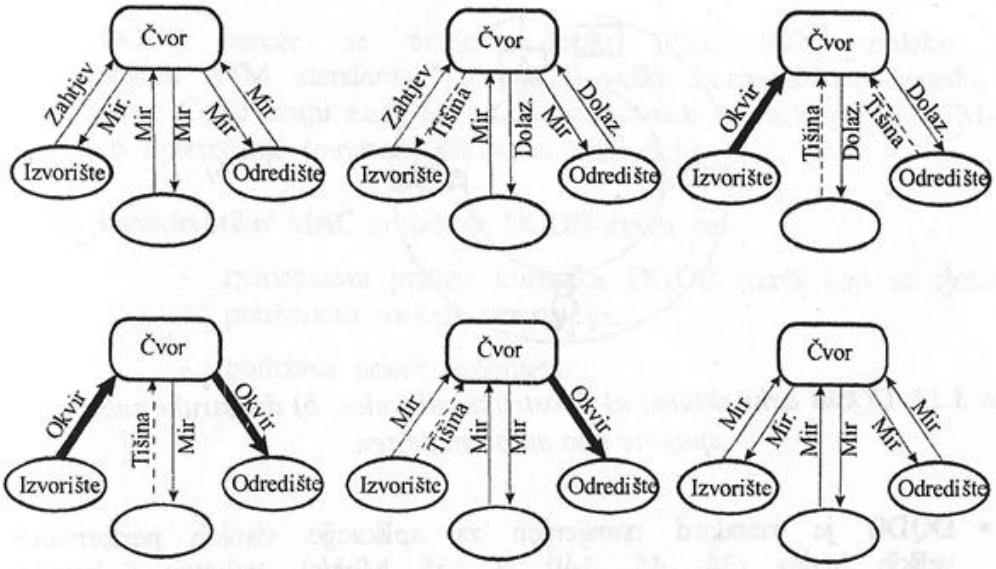
3.3. 100VG-AnyLAN

U skladu s razvojem brzog Etherneta razvijao se i drugi protokol čija je osnovna ideja bila integracija svih vrsta prometa. Ova ideja dovela je do razvoja standarda IEEE 802.12 poznatoga pod nazivom 100VG-AnyLAN (značenje imena: 100 Mbit/s, *VG-Voice Grade category 3 twisted pair cable*; AnyLAN može prenositi Ethernet i *Token Ring* podatkovne okvire). Ovaj je standard razvio Hewllet-Packard 1995. godine.

Dva su osnovna nedostatka CSMA/CD protokola za primjenu u 100 Mbit/s mrežama, a to su zahtjev za detekcijom sudara koji smanjuje fizički doseg mreže i nepodržavanje višestrukih prioriteta.

100VG-AnyLAN omogućio je prijenos podataka brzinom od 100 Mbit/s paralelno po četiri parice na kabelima kategorije 3 i više te osigurao integraciju Ethernet i *Token Ring* prometa. Protokol podržava prijenos prioritetom na zahtjev (*The Demand Priority MAC Protocol*), tj. osigurava dvije razine prioriteta zbog podržavanja usluga u relnom vremenu. Primjenom ovog protokola izbjegnuto je segmentiranje mreže.

Princip rada MAC protokola prikazan je na slici 3.7.



Slika 3.7. Princip rada MAC protokola 100VG-AnyLAN mreže

U stanju mirovanja mreže, stanice i mrežni čvor (inteligentni HUB) međusobno razmjenjuju signal mirovanja – Mir (*idle*). Kada neka stanica ima spremne okvire za prijenos, šalje Zahtjev (*request*) lokalnom mrežnom čvoru. Ako više stanica istovremeno pošalje Zahtjev, mrežni čvor ih sve provjerava, te jednoj od njih dopušta prijenos. Signalizacijski signal kojim mrežni čvor nekoj stanici dopušta prijenos sastoji se u prekidu slanja znaka mirovanja, tako da na paricama vlada Tišina (*silence*). Stanica detektira Tišinu i koristi se i tim dvjema paricama za prijenos podataka.

U istom trenutku kada je odabrao izvorišnu stanicu, mrežni čvor ostalim stanicama šalje signal dolaska, Dolaz (*incoming*), kako bi ih upozorio na eventualni prijam okvira. Nakon toga sve stanice prestaju slati znak mirovanja kako bi omogućile čvoru slanje okvira po sve četiri parice.

Izvorišna stanica odašilja svoje okvire mrežnom čvoru, a kada mrežni čvor definira odredišnu stanicu, prosljeđuje joj okvire. Okviri se prosljeđuju samo stanici kojoj su namijenjeni, dok ostalim stanicama mrežni čvor upućuje samo znak mirovanja (*idle*). Na taj način osigurana je privatnost. Nakon završetka slanja okvira izvorišna stanica šalje znak mirovanja ili novi zahtjev.

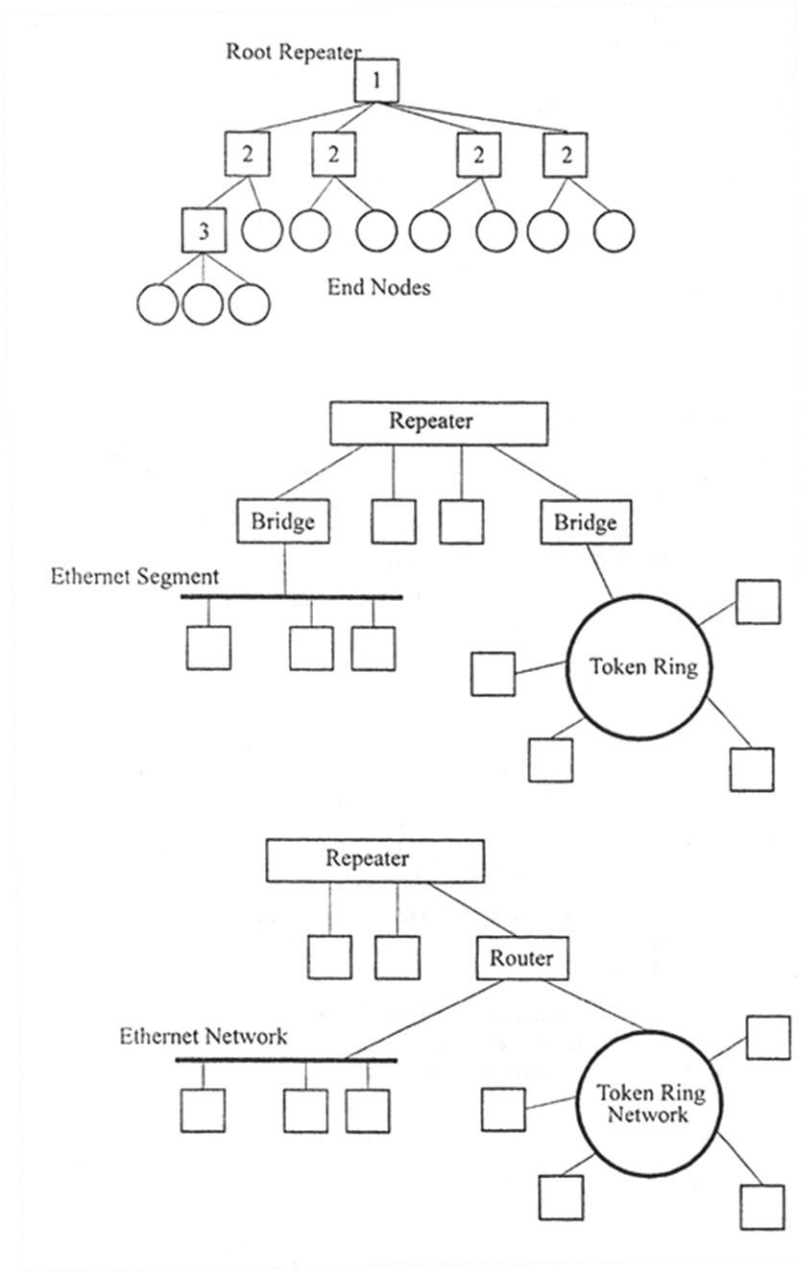
Čim mrežni čvor završi prijenos okvira jedne stanice, odmah može odabrati sljedeću izvorišnu stanicu. On odlučuje koja će sljedeća stanica dobiti pravo prijenosa okvira. Na taj se način osigurava da nijedna stanica ne pošalje dva okvira dok sve stanice ne dobiju priliku.

Da bi protokol mogao podržavati dvije razine prioriteta, definirane su dvije vrste signala zahtjeva za prijenos okvira, i to:

- zahtjev normalnog prioriteta (REQ_N)
- zahtjev visokog prioriteta (REQ_H).

Zahtjev normalnog prioriteta koristi se za prijenos podataka, a zahtjev visokog prioriteta za prijenos usluga osjetljivih na kašnjenje (govor, slika, …). Redoslijed udovoljavanja zahtjevima za prijenos ostvaren je tako da mrežni čvor udovoljava najprije zahtjevu visokog prioriteta, čak i u slučaju da ga ponovno šalje ista stanica.
Ako više stanica šalje zahtjeve visokog prioriteta, mrežni čvor će prenositi okvire svakog od njih pazeći pri tom da jedna stanica ne pošalje dva okvira dok ostale nisu poslale ni jedan.
Ako jedna stanica normalnog prioriteta čeka duže od određenoga vremenskog prioriteta (obično 250 ms), njezin se zahtjev može proglasiti zahtjevom visokog prioriteta.

Primjeri topologija povezivanja 100VG-AnyLAN mreža prikazani su na slici 3.8.



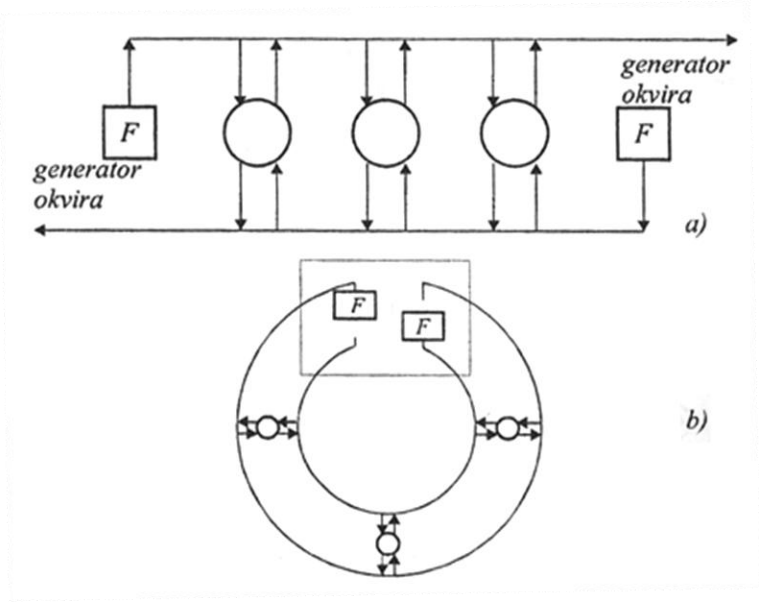
Slika 3.8. Primjeri topologija 100VG-AnyLAN mreže

3.4. DQDB

DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*) jest standard za MAN mreže, a definiran je standardom IEEE 802.6. Temelji se na topologiji dvostruke sabirnice i pristupnog mehanizma distribuiranih redova čekanja. Standard se razvio iz distribuiranog pristupnog mehanizma koji se javio 1988. godine u Australiji pod imenom QPSX (*Queued Packet and Synchronous Switch*). Razvoj DQDB mreže unutar IEEE 802 odvijao se paralelno sa standardizacijom ATM standarda unutar ITU-a, tako da postoji vrlo velika kompatibilnost između tih dvaju standarda.

DQDB standard je namijenjen za aplikacije visokih performansi i brzina (34, 45, 140 ili 155 Mbit/s), paketnu i kanalnu komutaciju u MAN mrežama koje su konceptualno ekvivalentne LAN mrežama, ali pokrivaju veća područja (čitave gradove). Za razliku od FDDI, DQDB nije specificiran za prijenos samo po svjetlovodnom vlaknu, nego i za radio-relejne i satelitske linkove.

Način rada i topologija DQDB mreže prikazani su na slici 3.9.



Slika 3.9. DQDB arhitektura: a) dvostruke sabirnice, b) dvostruke sabirnice spojene kao otvoreni prsten.

Topologija se sastoji od dviju jednosmjernih sabirnica u kojima se okviri prenose u suprotnim smjerovima. Na krajevima sabirnica nalaze se tzv. „head end“ stanice koje generiraju DQDB okvire (segmente u DQDB terminologiji), slika 3.9a.

Pristupne jedinice (čvorovi) povezani su na obje sabirnice uporabom odgovarajućih ulaznih/izlaznih jedinica. Ulazne jedinice su spojene na sabirnicu za učitavanje pridošlih

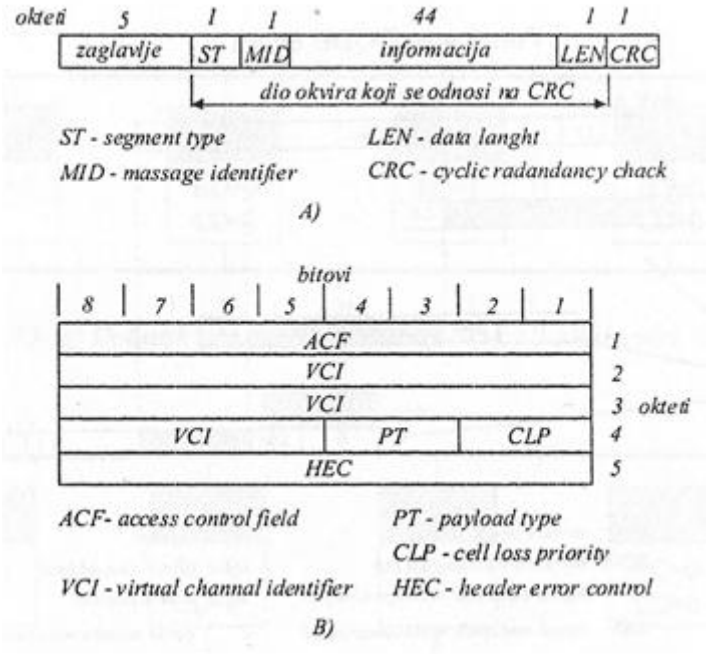
podataka koji prolaze transparentno kroz čvorove, a izlazne su spojene na ispisnu sabirnicu. Ispisivanje podataka na svakoj sabirnici obavlja se pomoću logičke ILI funkcije između podataka koji su već na sabirnici i podataka iz čvora (ako su raspoloživi).

Time se postiže visok stupanj pouzdanosti, jer podatci ne prolaze kroz čvor, a kvar ili uklanjanje čvora iz sabirnice ne remeti ispravan rad mreže. Ako pak dođe do kvara na sabirnici, tada se mora aktivirati procedura za njezinu rekonfiguraciju. To je jedino moguće ako je sabirnica instalirana kao dvostruki otvoreni prsten, slika 3.9b. U tom se slučaju uklanjanjem funkcija generatora okvira sabirnice zatvaraju na svojim krajevima, a to je moguće jedino ako su krajevi sabirnice smješteni na istoj lokaciji. Mjesta prekida ili kvara sabirnice sada se smatraju „prirodnim“ krajnjim točkama sabirnice. S druge strane, čvorovi do kvara postaju generatori okvira.

Ne ulazeći u daljnje obrazlaganje rada DQDB-a, navedimo da su performanse takve mreže ovisne o poziciji stanice na sabirnici, tj. prisutni su problemi ravnopravnog pristupa korisnika DQDB mreži, koji se rješavaju primjenom metoda rezervacije.

Struktura DQDB ćelije

DQDB definira, poput ATM-a, ćeliju sa zaglavljem od 5 okteta (malo se razlikuje od ATM-a) i korisničko opterećenje (*payload*) od 48 okteta. Struktura ćelije prikazana je na slici 3.10.



Slika 3.10. a) Struktura DQDB ćelije, b) zaglavlje DQDB ćelije.

- **Zaglavlje ćelije**
  Zaglavlje ćelije je duljine 5 bajta i strukturirano je kao na slici 3.10b.

  - ***Polje pristupa mediju*** (*ACF – Access Control Field*) – sadržava bitove važne za pristup mediju, kao što su zauzeće (*Busy* bit), tip okvira (SLT bit), rezervaciju (*Request* bitove) itd.
  - ***Identifikator virtualnog kanala*** (*VC – Virtual Channel Identifier*) – ne koristi se ako mreža radi kao DQDB MAN (ST i MID polje se koristi). Koristi se ako mreža radi kao DQDB LAN na privatnom čvoru UNI.
  - ***Tip informacije*** (*PT – Payload Type*) – prvi bit označava *Data* ili *Control*, a drugi bit zagušenje.
  - ***Ćelija gubitka prioriteta*** (*CLP – Cell Loss Priority*) – definira odbacuje li se ćelija u slučaju zagušenja („1“) ili ostavlja („0“).
  - ***Provjera pogreške*** (*HEC – Header Error Check*) – provjera ispravnosti primljenog zaglavlja. Također se koristi CRC metodom.

- **Tip segmenta** (*ST – segment type*)
  Polje duljine jednog bajta definira redni broj ćelije (jedina, prva, srednja, posljednja).

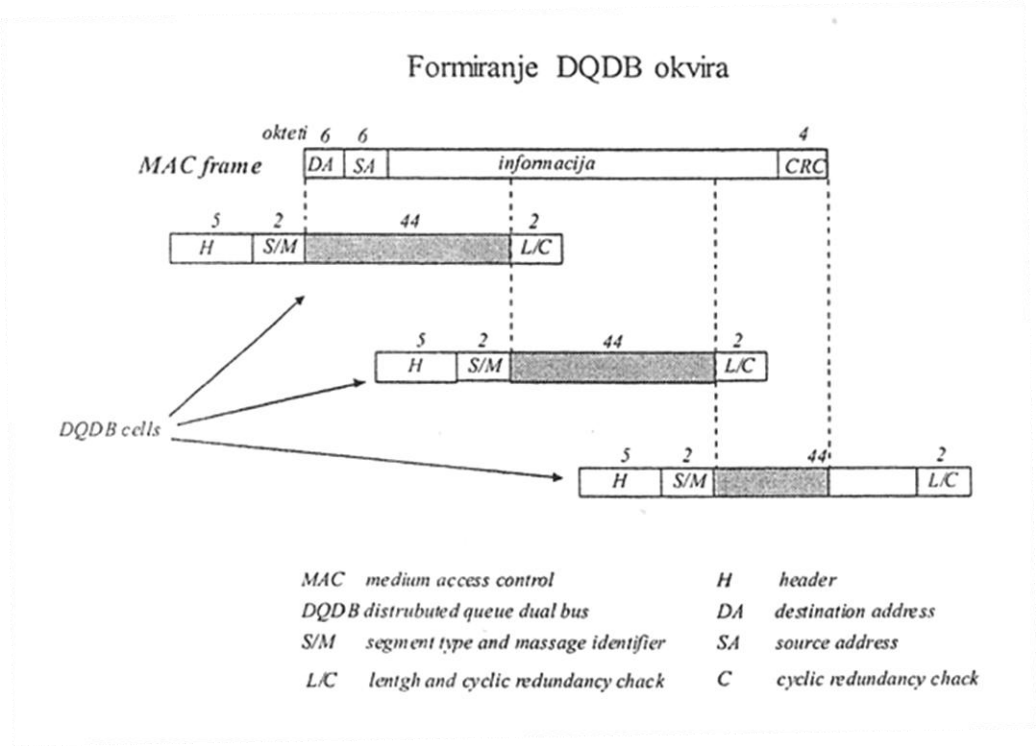
- **Identifikator poruke** (*MID – Message identifier*)
  Polje MID duljine jednog bajta označava pripadnost MAC okviru. Za iste MAC okvire broj identifikatora je isti.

- **Duljina podataka** (*LEN – Data Length*)
  LEN duljine jednog bajta definira duljinu informacijskog polja koje može biti veličine do 44 bajta.

- **Provjera pogreške** (*CRC – Cyclic Redundancy Check*)
  Polje je duljine jednog bajta i koristi se istom metodom CRC za provjeru ispravnosti primljenog okvira.

Formiranje DQDB okvira

Struktura DQDB okvira prikazana je na slici 3.11.



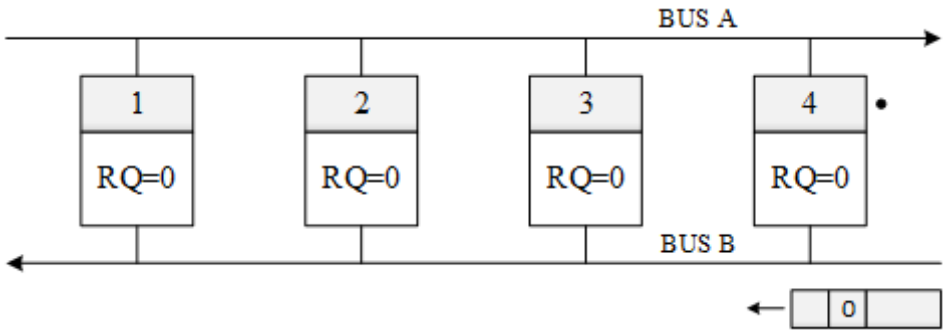
Slika 3.11. Struktura DQDB okvira

Princip rada DQDB protokola

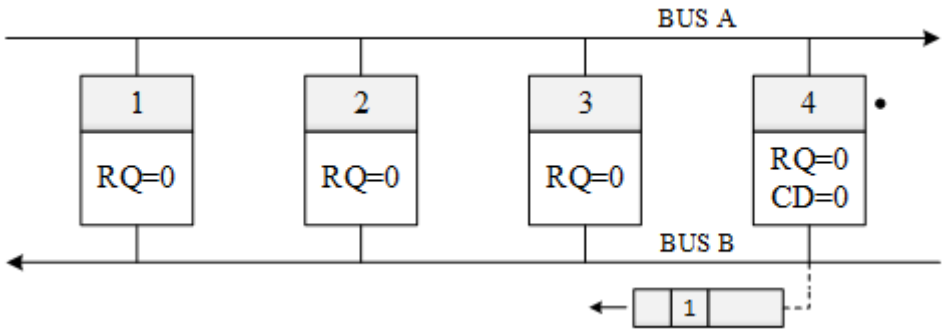
Princip rada DQDB protokola prikazan je na slikama 3.12a. do 3.12l. U svojem radu protokol rabi dva brojača:

- *RQ (Request Counter)* – brojač koji kaže koliko stanica čeka u rezervacijskom redu
- *CD (Countdown Counter)* – brojač koji kaže koja je stanica na redu za slanje podataka.

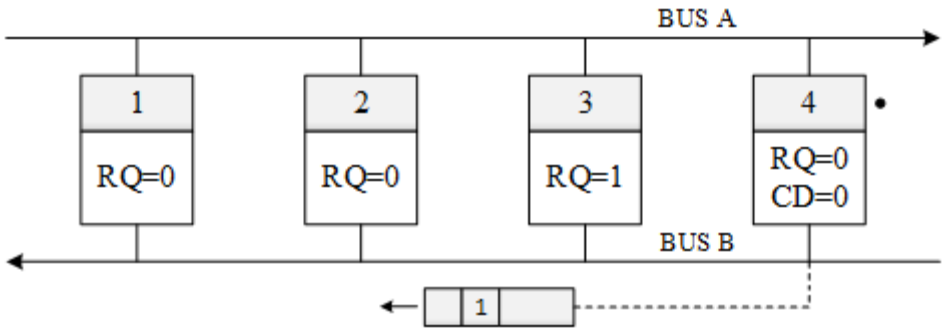
Stanica mreže koristi se sljedećim vremenskim odsječkom ako je na brojaču vremenskih odsječaka (koje zahtijevaju druge stranice) vrijednost jednaka nuli u trenutku kada stanica želi poslati poruku. Vrijednost na brojaču povećava se za svaki odsječak u skladu sa zahtjevom drugih stanica, a koji dolazi iz smjera odredišta. Ova se vrijednost smanjuje za svaki prazan odsječak prema odredištu. To znači da svaka stanica podržava brojenje vremenskih odsječaka za svaki smjer prijenosa. Paketi varijabilne dužine prispjeli iz lokalnih mreža u DQDB mrežu cijepaju se na 53 oktetna segmenta za prijenos u vremenskim odsječcima po odabranoj sabirnici.



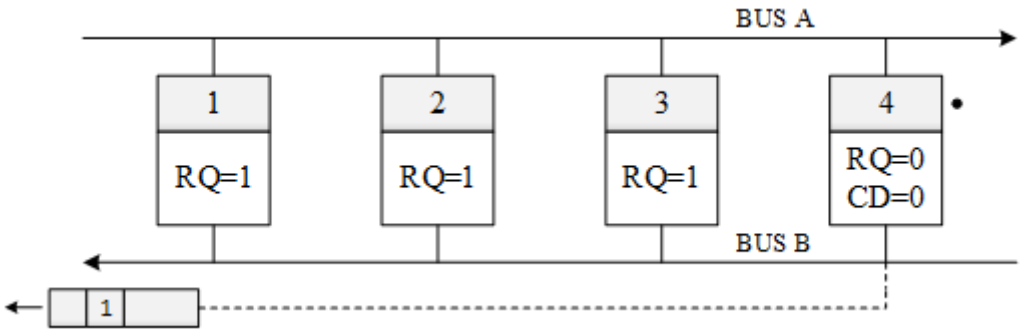
Slika 3.12. a) Situacija prije nego što je stanica 4 zatražila prijenos



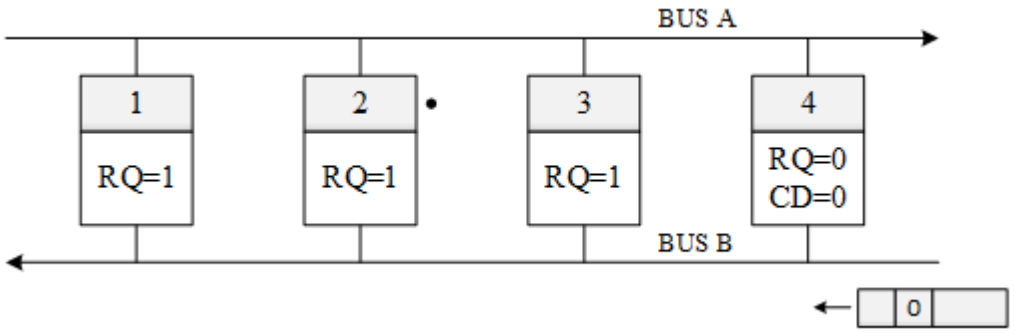
Slika 3.12. b) Stanica 4 podnosi zahtjev za prijenos tako da *request bit* u kontrolnom okviru postavi u 1, a svoj CD brojač postavi u 0 (*down counter*).



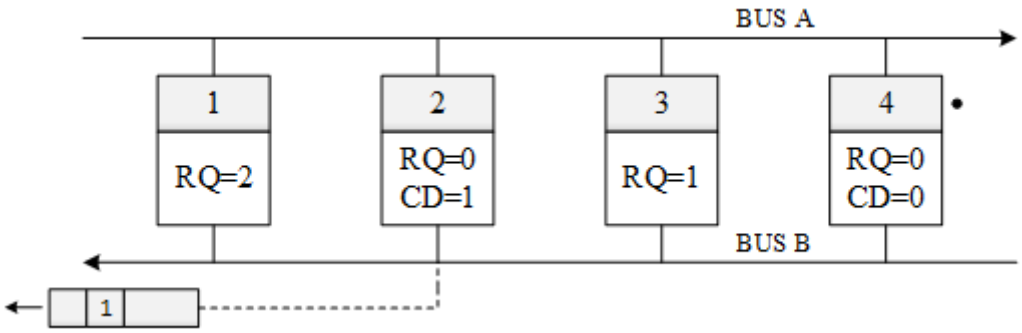
Slika 3.12. c) Stanica 3 „vidi“ da je neka stanica postavila zahtjev za prijenos pa postavlja svoj RQ brojač u 1 (*request counter*).



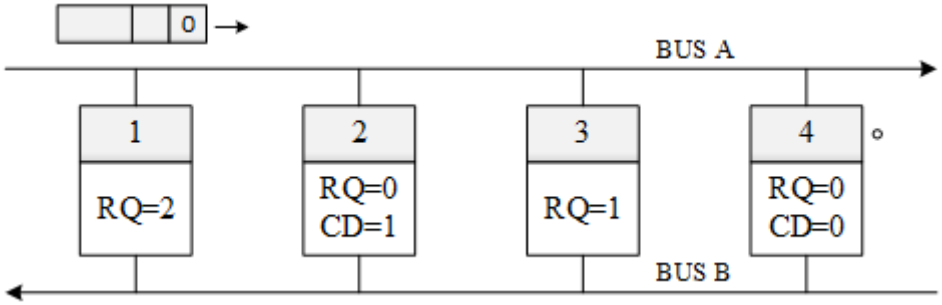
Slika 3.12. d) Stanica 2 i 1 također „vide“ da je neka stanica postavila zahtjev za prijenos pa postavljaju svoje RQ brojače u 1.



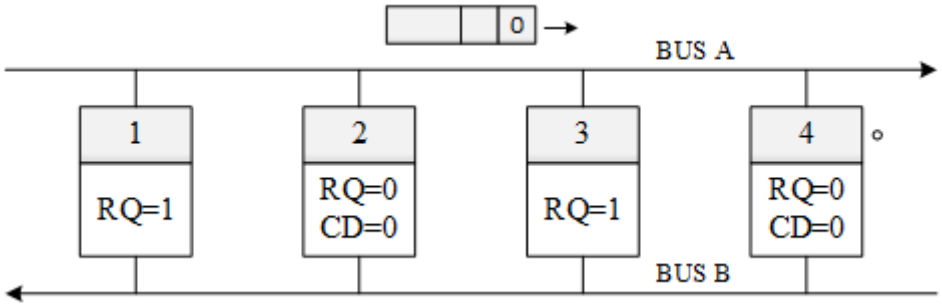
Slika 3.12. e) Dolazak novog praznog kontrolnog okvira na sabirnicu B



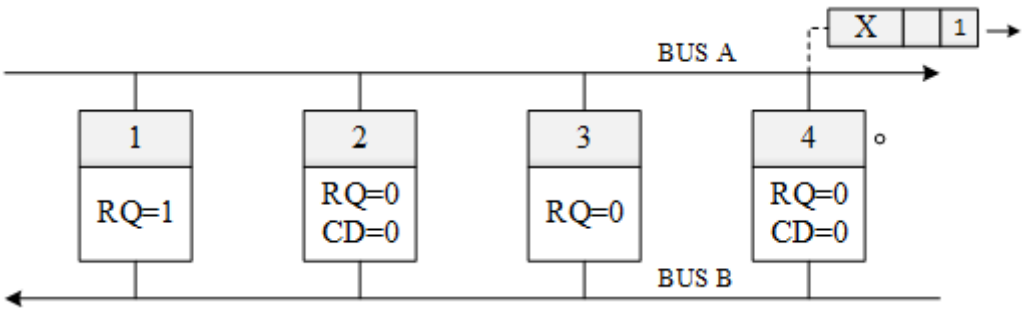
Slika 3.12. f) Sada i stanica 2 podnosi zahtjev za prijenos tako da *request bit* u kontrolnom okviru postavi u 1, svoj RQ brojač postavi u 0, a CD brojač u 1 (*u CD kopira sadržaj RQ*). Stanica 1 „vidi“ da je još neka stanica postavila zahtjev za prijenos pa postavlja svoj RQ brojač u 2.



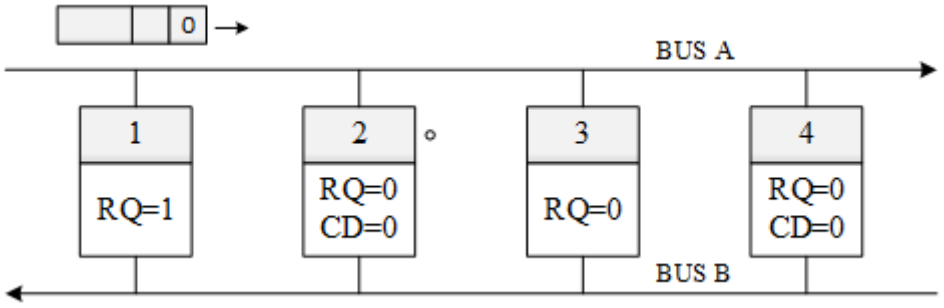
Slika 3.12. g) Dolazak novog praznog kontrolnog okvira na sabirnicu A



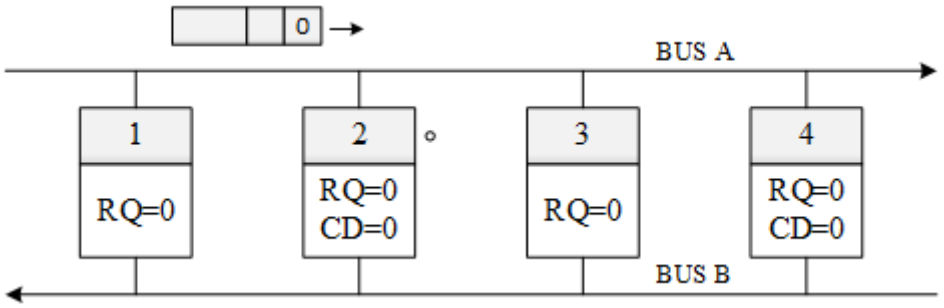
Slika 3.12. h) Prazni kontrolni okvir prolazi pored stanica 1 i 2. Stanica 1 smanjuje RQ brojač na 1, a stanica 2 smanjuje svoj CD brojač na 0.



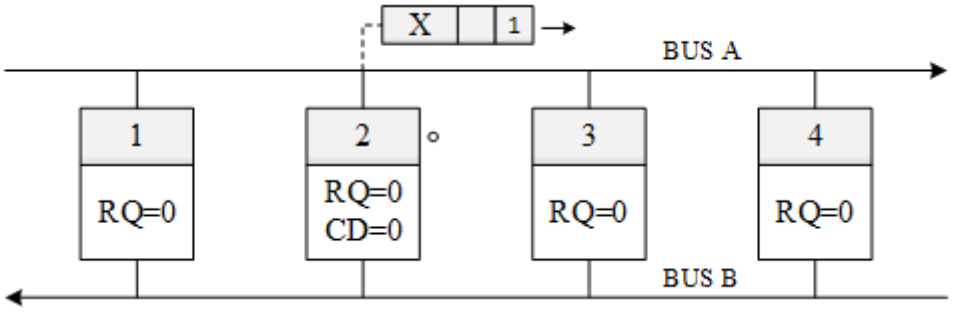
Slika 3.12. i) Prazni kontrolni okvir prolazi pored stanica 3 i 4. Stanica 3 smanjuje RQ brojač na 0, a stanica 4 odašilje svoj paket.



Slika 3.12. j) Dolazak novog praznog kontrolnog okvira na sabirnicu A



Slika 3.12. k) Prazni kontrolni okvir prolazi pored stanice 1 koja smanjuje RQ brojač na 0.



Slika 3.12. l) Prazni kontrolni okvir prolazi pored stanice 2 koja odašilje svoj paket.

3.5. Gigabitni Ethernet

Gigabitni Ethernet standardiziran je 1998. godine specifikacijom IEEE 802.3z. Standard podržava brzine prijenosa podataka do 1000 Mbit/s. Slično kao i kod *Fast Etherneta* podržana je ista struktura okvira i adresiranje te mogućnost rada u poludupleksu s koncentratorima i dupleksu s preklopnicima. Također je podržano svojstvo autodogovaranja postavaka komunikacije između uređaja. Osnovna razlika u odnosu na *Fast Ethernet* je ta što se u poludupleksnom načinu rada kod primjene CSMA/CD metode koriste različite minimalne duljine okvira da bi se postigle veće udaljenosti za prijenos signala. Kod dupleksa udaljenost je određena samo slabljenjem signala s obzirom na to da nema kolizije signala između stanica.

U slučaju standardne minimalne duljine okvira od 512 bita kod CSMA/CD metode maksimalna duljina mrežnog segmenta iznosi 25 m, što proizlazi iz 100 puta manjeg vremenskog odsječka kolizije (0,512 μs) koji je ovisan o brzini prijenosa. Da bi se povećala duljina mrežnog segmenta, koristi se CSMA/CD metoda s većom duljinom minimalnog okvira koji iznosi 512 bajta (4096 bita). Na taj je način moguća duljina segmenta povećana na 200 m.

Na razini fizičkog sloja gigabitni Ethernet definira četiri verzije koje možemo kategorizirati u dvije skupine: 2-žičnu i 4-žičnu konfiguraciju.

Kod 2-žične konfiguracije može se koristiti kratkovalni svjetlovodni kabel (1000Base-SX), dugovalni svjetlovodni kabel (1000Base-LX) ili bakreni STP kabel (1000Base-CX). Četverožična (4-žična) konfiguracija rabi kabel s upletenom paricom kategorije 5 (1000Base-T).

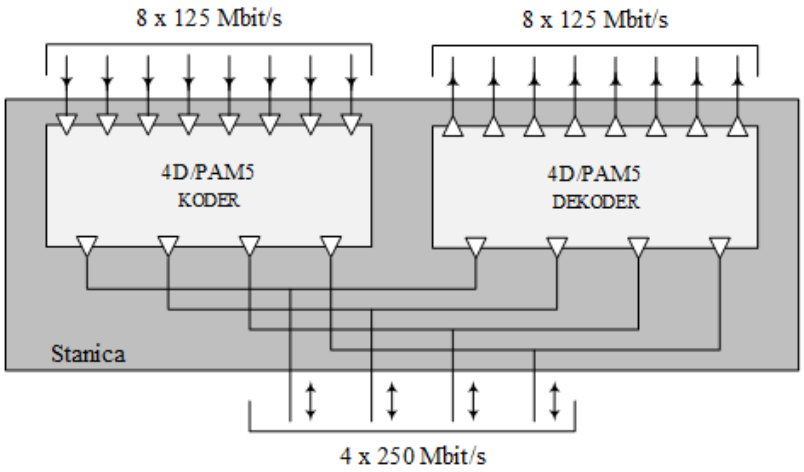
Kod 2-žične konfiguracije uvijek se jedna svjetlovodna nit ili bakrena parica koristi za slanje, a druga za prijam. Kodiranje je u prvom koraku ostvareno metodom 8B/10B kojom je omogućena sinkronizacija takta signala uz prijenosnu brzinu od 1,25 Gbit/s. U drugom koraku dobiveni se niz kodira pomoću NRZ koda prije slanja na medij.

1000Base-SX – specificira uporabu dvaju višemodnih svjetlovodnih vlakana koja se koriste u I. prozoru (850 nm). Primjenom vlakna promjera jezgre 62,5 μm moguće je ostvariti domet do 220 m, a s promjerom jezgre od 50 μm domet i do 550 m.

1000Base-LX – specificira uporabu dvaju jednomodnih ili višemodnih svjetlovodnih vlakana koja se koriste u II. prozoru (1300 nm). Primjenom višemodnih vlakana promjera jezgre 62,5 μm moguće je ostvariti domet do 500 m, a s promjerom jezgre od 50 μm domet i do 550 m. Primjenom jednomodnih vlakana promjera jezgre 9 μm moguće je ostvariti domet od 3 do 5 km.

1000Base-CX – specificira uporabu dviju oklopljenih upletenih parica STP. Maksimalan domet koji je moguće postići jest 25 m.

1000Base-T – dizajniran je za rad s UTP kabelom kategorije 5 i više. Rad s četirima paricama omogućuje prijenosne brzine od 1 Gbit/s. Kod ove konfiguracije nije moguće rabiti dvije parice za slanje, a dvije za prijam jer bi svaka parica trebala ostvariti prijenos signala od 500 Mbit/s što premašuje kapacitet kabela UTP kategorije 5. Da bi se smanjio frekvencijski opseg za slanje od 1,25 Gbit/s preko četiri parice, koristi se linijsko kodiranje 4D-PAM5 (*4-dimensional, 5-level pulse amplitude modulation*), sl. 3.13. Na taj je način preko svake parice ostvarena brzina prijenosa od 250 Mbit/s, što podržava UTP kabel kategorije 5. Maksimalna duljina mrežnog segmenta kod ovog standarda iznosi 100 m.



Slika 3.13. Kodiranje i prijenos signala kod 1000Base-T

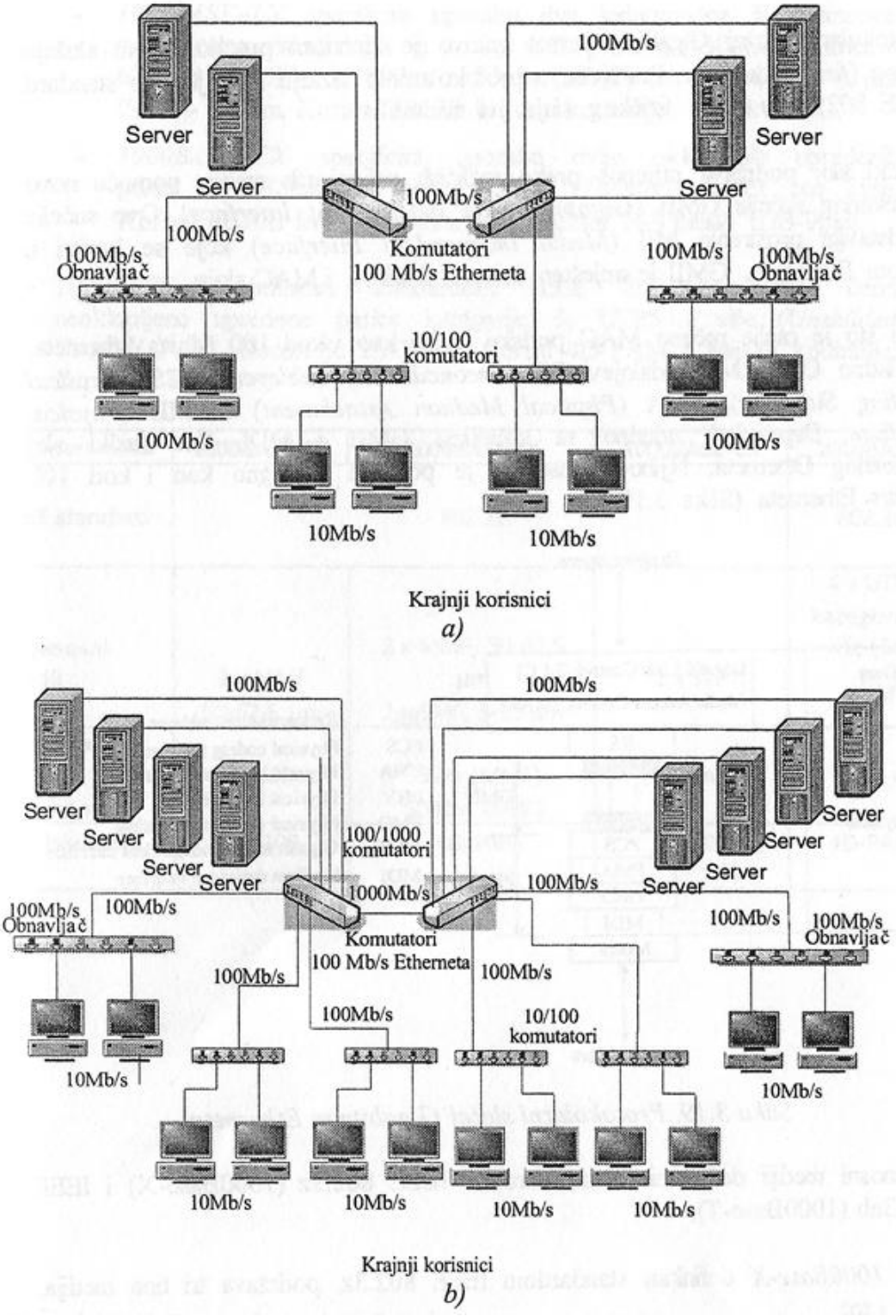
Pregled karakteristika standarda Gigabitnog Etherneta prikazan je u tablici 3.2.

Tablica 3.2. Pregled karakteristika standarda 100Base-X i 1000Base-T

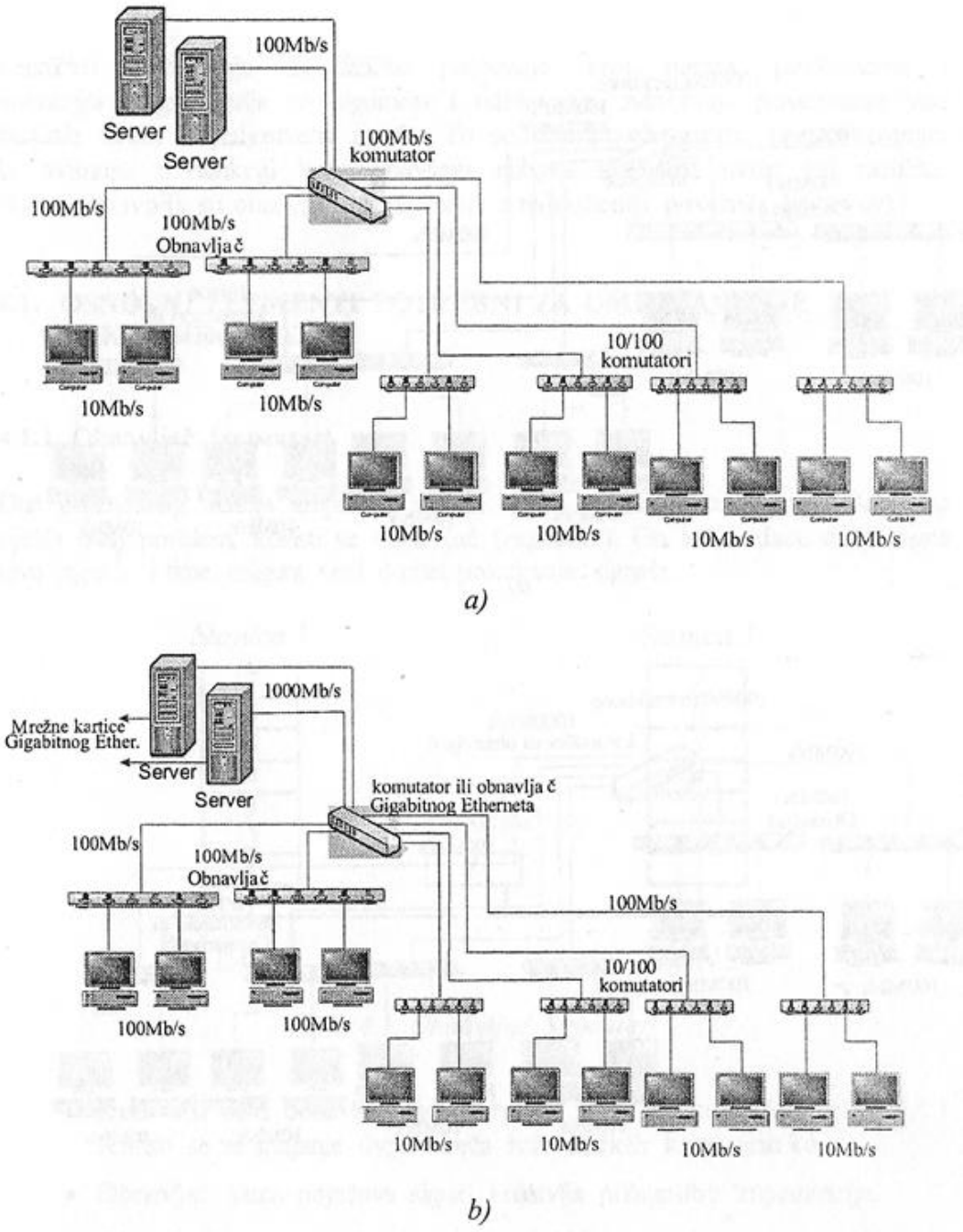
PHY PARAMETAR	1000Base-SX	1000Base-LX	1000Base-CX	1000Base-T
IEEE standard	802.3z			802.3ab
Prijenosni medij	2 x MMF 50 – 62,5 µm	2 x MMF, 50 – 62,5 µ 2 x SMF, 8 – 10 µm	2 x STP	4 x UTP-5 ili više (5e, 6, 7,..)
Najveća duljina segmenta	220 – 550 m	550 m (MMF) 5000 m (SMF)	25 m	100 m
Linijski kod	8B/10B	8B/10B	8B/10B	4D-PAM5

Gigabitni Ethernet se zbog mogućnosti jednostavnije nadogradnje postojećih LAN mreža koje su se temeljile na Ethernetu pokazao kao znatno jeftinija tehnologija u usporedbi s mrežnim tehnologijama sličnih performansi. Prelazak na novu tehnologiju ostvaren je jednostavnom zamjenom mrežnih uređaja, a također nije bilo potrebno izvoditi novo kabliranje.

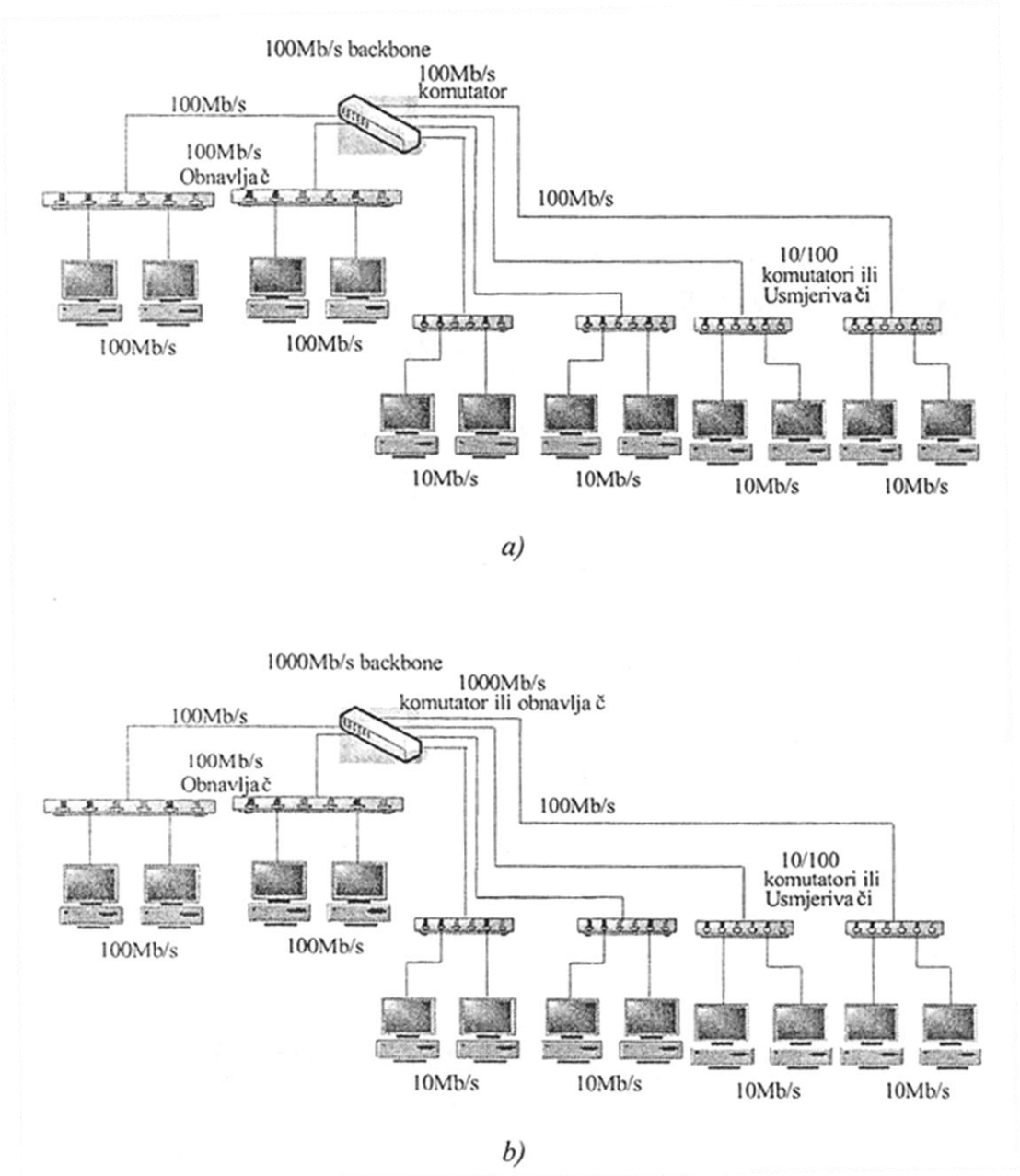
Na slikama 3.14, 3.15. i 3.16. prikazani su neki primjeri jednostavne nadogradnje s mreže brzog Etherneta na gigabitni Ethernet.



Slika 3.14. Prikaz nadogradnje Ethernet mreže za poboljšanje veze komutator-komutator: a) Ethernet mreža prije nadogradnje, b) nadogradnja mreže do gigabitnog Etherneta.



Slika 3.15. Prikaz nadogradnje Ethernet mreže za poboljšanje veze poslužnik (server)-komutator: a) Ethernet mreža prije nadogradnje, b) nadogradnja mreže do gigabitnog Etherneta.



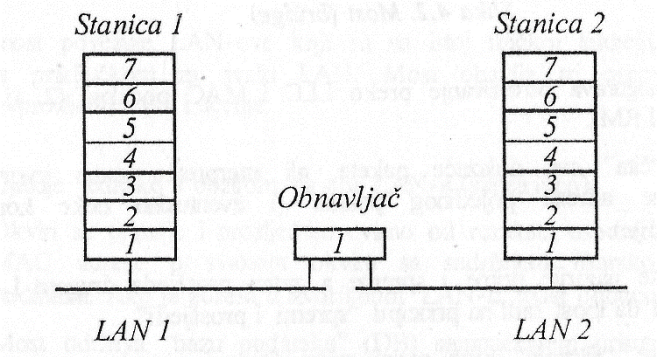
Slika 3.16. Prikaz nadogradnje Ethernet mreže za poboljšanje komutirane temeljne mreže: a) temeljna Ethernet mreža prije nadogradnje, b) nadogradnja mreže do gigabitnog Etherneta.

4. Povezivanje lokalnih mreža

Tehnička ograničenja na fizičko proširenje, broj stanica, performanse i operacijska ograničenja na sigurnost i održavanje zahtijevaju povezivanje više lokalnih mreža u jedinstvenu mrežu. To se ostvaruje odgovarajućim mrežnim uređajima za povezivanje čija složenost ovisi o funkciji koju obavljaju. Osnovni uređaji koji se koriste za umrežavanje lokalnih mreža jesu obnavljač, koncentrator, most, preklopnik, usmjerivač, poveznik i medijski pretvornik.

4.1. Obnavljač

Obnavljač (*Repeater*) uređaj je koji omogućuje samo pojačanje dolaznog električnog signala. Obnavljač radi na razini fizičkog sloja OSI modela, slika 4.1., što znači da ne vrši komutaciju paketa, konverziju protokola niti modificiranje formata ili sadržaja okvira. Primjenom ovog uređaja moguće je dodatno povećati duljinu mrežnog segmenta i broj stanica spojenih na LAN mrežu. Koristi se za spajanje dviju mreža istih fizičkih karakteristika.



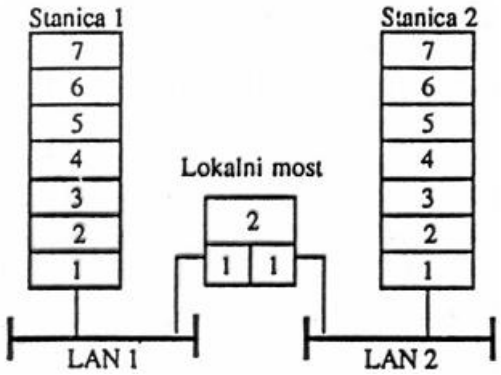
Slika 4.1. Obnavljač (*repeater*)

4.2. Koncentrator

Koncentrator (*Hub*) uređaj je koji radi na razini fizičkog OSI sloja, što znači da nema mogućnost usmjeravanja paketa, već samo prosljeđuje dolazne pakete s određenog priključka na sve ostale priključke. Ovisno o tipu koncentratora prosljeđivanje paketa može biti ostvareno s pojačanjem signala ili bez pojačanja signala. Koncentratori se koriste u mrežama koje su izvedene s paričnim kabelima. Razlikuju se uglavnom po broju priključaka, a nalazimo ih u raznim varijantama od 4 do 24 priključka. Nedostatak u njegovu radu jest da pri istovremenom slanju paketa dvaju ili više uređaja dolazi do kolizije (sudaranja paketa) na koncentratoru što dovodi do prestanka komunikacije. Uređaji mogu ponovno početi sa slanjem paketa tek nakon vremena koje je za svaki uređaj određeno algoritmom protokola.

4.3. Most ili premosnik

Most ili premosnik (*Bridge*) mrežni je uređaj koji omogućuje segmentiranje lokalne mreže. Veza između dvaju mrežnih segmenata može imati različite električne karakteristike i protokole. Most radi na razini 2. podatkovnog sloja OSI referentnog modela, odnosno omogućuje povezivanje stanica preko MAC i LLC podsloja, slika 4.2. Uređaj provjerava MAC zaglavlje (izvorišnu i odredišnu adresu te eventualno neke kontrolne informacije) i ispravnost svakog okvira koji prima. Okviri se spremaju, a zatim prosljeđuju drugom LAN-u nakon filtriranja. Svrha je filtriranja da se onemogući isporuka okvira za koje se zna da im je odredište u izvorišnom LAN-u. Uloga je mosta naime da se između dvaju LAN-ova prosljeđuje samo međupromet, dok se lokalni promet zadržava u LAN-u iz kojeg je potekao. LAN mreže povezane mostom nalaze se na istoj podmreži.



Slika 4.2. Most (*Bridge*)

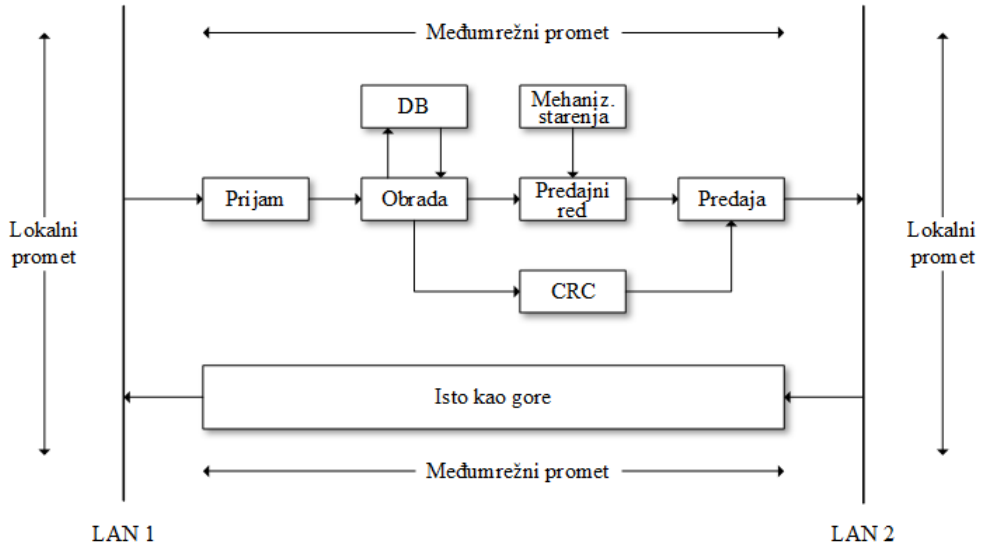
Za povezivanje dvaju istovrsnih LAN-ova (npr. dva Etherneta) koriste se tzv. MAC mostovi. Lokalne mreže različitih protokola MAC podsloja (npr. Ethernet i *Token Ring*) moguće je povezati *mješovitim* ili *translacijskim* mostom. Pretvorba između različitih formata okvira ostvaruje se u mostu na razini LLC podsloja.

Drugi oblik realizacije mješovitog mosta jest *enkapsulacijski most*, koji se koristi pri povezivanju istovrsnih lokalnih mreža kroz LAN druge vrste (npr. dva Etherneta preko *Token Ringa*). Okviri jednog LAN-a tada se enkapsuliraju u korisničko polje MAC PDU-a drugog LAN-a.

Mostovi uobičajeno imaju dva priključka (*porta*), ali postoje i oni s više priključaka. Osim filtriranja i prosljeđivanja okvira, mostovi posjeduju i funkciju učenja topologije LAN-a na temelju izvorišnih adresa upisanih u primljene okvire. Adrese se upisuju u posebne tablice mostova i pridružene su po priključcima tako da se okviri prosljeđuju na drugi segment samo ako je MAC adresa odredišta različita od adrese pošiljatelja.

4.3.1. Funkcije mosta kod povezivanja lokalnih mreža

Na slici 4.3. prikazane su glavne funkcije mosta kod povezivanja lokalnih mreža. S obzirom na lokaciju lokalnih mreža možemo razlikovati lokalne i udaljene mostove.



Slika 4.3. Glavne funkcije mosta

4.3.1.1. Lokalni most

Lokalni most povezuje LAN mreže koje se nalaze na istoj fizičkoj lokaciji. Njegova je uloga da osim filtriranja i prosljeđivanja okvira također pamti topologiju LAN mreže.

Lokalni most radi u mreži simetrično, odnosno jednako u odnosu na obje LAN mreže. Okviri se primaju i prosljeđuju ovisno o rezultatima usporedbe odredišne adrese u svakom okviru sa sadržajem tablice podataka filtarskog spremnika.

Most održava tu tablicu (DB – bazu podataka) samoučenjem prisutnih adresa stanica u svakom LAN-u preko nadzora izvorišnog adresnog polja unutar okvira.

Naime, pri svakom prijmu okvira most provjerava postoji li za izvorišnu adresu sadržanu u primljenom okviru i za priključak na kojem je okvir primljen odgovarajući zapis u tablici (DB). Ako ne postoji, most ga kreira kao redak u tablici i pridružuje mu vremenski brojač. Zapis se briše iz tablice (DB) ako brojač nakon specificiranog vremena dođe na nulu. Na taj je način izbjegnuta mogućnost da zapis zauzima mjesto u tablici ako je neka stanica dulje vrijeme neaktivna ili ugašena.

Ako most primi okvir čija mu odredišna adresa nije poznata, tada će ga proslijediti na sve priključke (*portove*), osim na onaj na kojem je okvir primljen. Takav način rada naziva se

preplavljivanje mreže (*floading*) i nije poželjan, pogotovo u velikim lokalnim mrežama jer značajno povećava količinu prometa.

Uvijek je moguće da dođe do pogreške u okviru dok se on nalazi unutar mosta. Zato je važno da se zaštitni bitovi (CRC) u okviru ponovno ne izračunavaju u mostu, već se oni (CRC) izvlače iz primljenog okvira te se ponovno koriste kada se okvir odašilje na izlazni LAN. Time se osigurava integritet podataka s kraja na kraj. Kada se donese odluka o daljnjem prosljeđivanju okvira, oni se prenose u transmisijski (predajni) red čekanja, iz kojeg će se uzimati kad god je to moguće, te odašiljati prema izlaznom LAN-u. Okviri koji u mostu borave duže od dopuštenog maksimuma odbacuju se pomoću mehanizma starenja.

Sporiji mostovi mogu se koristiti programskim pretraživanjem i održavanjem tablice (DB), dok se kod bržih mostova to obavlja sklopovski. Mostovi u kojima se funkcije samoučenja, filtriranja i prosljeđivanja okvira obavljaju softverski danas se sve više istiskuju iz uporabe i zamjenjuju LAN preklopnicima drugog sloja (*Layer 2 switch*) u kojima su funkcije mosta implementirane hardverski. LAN preklopnik obavlja istu funkciju kao i most s većim brojem priključaka (*multiport bridge*).

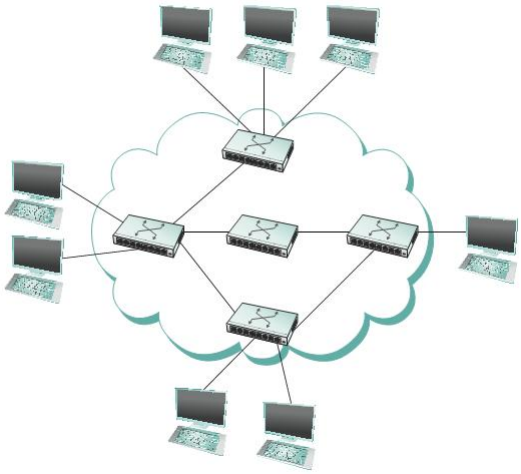
4.3.1.2. Udaljeni most

Udaljeni most omogućuje povezivanje LAN-ova na različitim lokacijama. U ovom slučaju je efektivno pola mosta na svakoj lokaciji, a obje su polovice povezane nekim mehanizmom za prijenos podataka (npr. svjetlovodno vlakno, satelit itd.). Konceptualno takav most može biti izrađen „prijelomom“ lokalnog mosta i uporabom podatkovne veze između tih polovica (po mogućnosti s protokolom na mrežnoj razini). Zato govorimo o *polumostu* ili *udaljenom mostu* na svakoj lokaciji.

Uporabom brzog prijenosa podataka na vezi između udaljenih mostova omogućuje se i velika brzina između LAN-ova pa ta vrsta mosta ima velik značaj (LAN-WAN-LAN). Vremenska kašnjenja prisutna kod rada udaljenog mosta kompliciraju mehanizme starenja i stavljanja okvira u transmisijski red čekanja.

4.4. Preklopnik

Lokalna je mreža u današnje vrijeme najčešće realizirana primjenom preklopnika ili komutatora (*Switch*), kao što je to prikazano na slici 4.4. Kao što je rečeno u prethodnom poglavlju, mostove su zbog njihove manje brzine rada istisnuli iz uporabe preklopnici drugog sloja (*Layer 2 switch*) koji obavljaju iste funkcije kao i most, ali brže, jer su sve funkcije implementirane hardverski.



Slika 4.4. Lokalna mreža s preklopnikom

Primjena preklopnika dodatno je poboljšala performanse mreže, pogotovo u odnosu na konfiguracije gdje se koristi prijenos signala po zajedničkom prijenosnom mediju. Nedostatak lokalnih mreža kada se koristi zajednički prijenosni medij, ogleda se u podjeli raspoložive pojasne širine na sve aktivne korisnike, što dovodi do smanjenja brzine prijenosa i povećanja kašnjenja signala. Naime, svakoj stanici tada se dodjeljuje ukupna pojasna širina mreže u ograničenim vremenskim razmacima ovisno o protokolu upravljanja pristupom zajedničkom mediju. Na taj se način smanjuje brzina prijenosa podataka pojedinih stanica, što je posebno izraženo kod povećanog prometa (većeg broja stanica). Naime, kašnjenja u prijenosu rastu s porastom broja stanica jer se tada veći broj stanica natječe za dio ukupne pojasne širine.

Povezivanje stanica u LAN mrežu s preklopnikom ostvareno je primjenom zvjezdaste topologije, slika 4.4. Preklopnik radi na 2. podatkovnom sloju OSI referentnog modela. Podatke koje preklopnik primi od stanice na jednom od svojih priključaka ne prosljeđuje svima, nego samo odredišnoj stanici, što omogućuje optimalno segmentiranje mreže. Svaka stanica u ovom je slučaju povezana na zaseban medij (jedan priključak), čime se postižu veće brzine prospajanja (komutiranja), i do desetak Gbit/s. Propusnost u lokalnim mrežama s preklopnicima jednaka je pojasnoj širini mreže i nije ovisna o broju priključenih stanica, sve dok je broj stanica jednak ili manji od broja priključaka preklopnika. Zaključno se može reći da mreža realizirana s preklopnikom osigurava veću propusnost, kraće vrijeme čekanja i nižu cijenu koštanja po priključnoj točci od mreža realiziranih primjenom mostova i usmjerivača.

Preklopnici se koriste dvama osnovnim načinima prospajanja (*store-and-forward* i *cut-through*) i dvjema izvedenicama (*fragment-free cut-through* i *adaptive cut-through*):

- ***Store-and-forward*** (spremi i proslijedi) – preklopnik prvo učitava svaki paket u privremenu memoriju, a nakon toga ga šalje na odredište. Prednost je ovog načina u ograničenju prijenosa neispravnih okvira. Nedostatak je veliko kašnjenje koje ovisi o duljini paketa.

- ***Cut-through*** (pročitaj adresu i proslijedi) – preklopnik počinje prosljeđivati paket čim pročita odredišnu adresu. Nedostatak ove metode je taj što može proslijediti paket s pogreškom, jer se bitovi za provjeru pogreške nalaze tek na kraju paketa (može provjeriti ispravnost paketa, ali ga ne može odbaciti). Pored toga, nedostatak je i mogućnost prosljeđivanja paketa manjih od 64 bajta, koji su uglavnom posljedica ranih kolizija i nazivaju se *fragmenti*.
- ***Fragment-free cut-through*** (pročitaj adresu i proslijedi sve osim fragmenata) – preklopnik pohranjuje paket do prvih 64 bajta te izbjegava prenošenje paketa manje duljine od dopuštene.
- ***Adaptive cut-through*** – inteligentan način rada u kojem se provodi *cut and through* prospajanje, ali se provjerava CRC ispravnost okvira pri prolazu kroz ulazni priključak. Kada postotak neispravnih okvira prijeđe određenu razinu, prelazi se na *store-and-forward* način, ili na cijelom preklopniku ili samo na tom ulazu. Kada se broj pogrešaka smanji ispod definiranog iznosa, vraća se na *cut-through* način prijenosa. Ovaj način rada iskorištava najbolje karakteristike dvaju osnovnih načina rada i sve se više primjenjuje.

4.4.1. Funkcije preklopnika kod povezivanja lokalnih mreža

Preklopnik (*Switch*) zapravo je most s više priključaka koji prosljeđuje pakete između segmenata lokalne mreže spojenih na različite priključne točke. Kamo će paket biti proslijeđen preklopnik odlučuje na temelju MAC adrese odredišta koja se nalazi u zaglavlju paketa. Paket čije je odredište mrežni čvor spojen na istu priključnu točku preklopnika kao i izvorišni čvor bit će zanemaren. Odluka o prosljeđivanju donosi se na razini 2. podatkovnog OSI sloja.

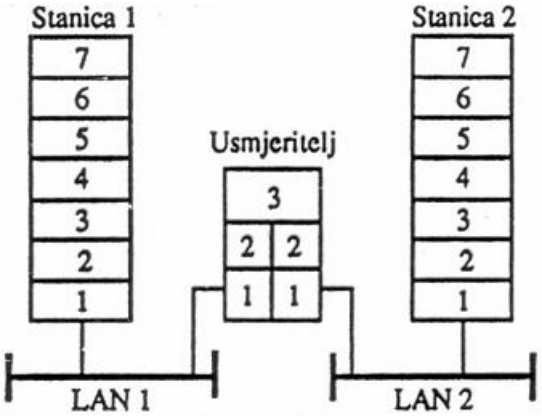
Preklopnik pri prijenosu ne mijenja pakete (za razliku od usmjerivača koji ih mijenjaju da bi dodali adresu sljedećeg *hopa*), već samo prosljeđuje one pakete koje je potrebno prenijeti iz jednog segmenta LAN mreže na drugi. Kod većeg broja segmenata lokalne mreže, koji djeluju neovisno i istovremeno, primjenom preklopnika omogućena je veća ukupna propusnost mreže u odnosu na mrežu temeljenu na zajedničkom pristupnom mediju.

S obzirom na položaj međuspremnika možemo razlikovati tri osnovna tipa preklopnika:

1. preklopnici s međuspremnikom na ulazu (*input buffered*)
2. preklopnici s međuspremnikom na izlazu (*output buffered*)
3. preklopnici sa zajedničkom memorijom (*shared memory*).

4.5. Usmjerivač

Usmjerivač (*Router*) mrežni je uređaj koji vrši usmjerivanje komunikacijskih paketa između različitih mrežnih segmenata koji se koriste istim protokolom. Putanja paketa određuje se na osnovi mrežne adrese i ostalih informacija definiranih u zaglavlju okvira. Usmjerivač je uređaj koji radi na razini mrežnog sloja OSI referentnog modela, slika 4.5., te na taj način omogućuje i povezivanje lokalnih mreža koje imaju različite formate okvira na 2. sloju, što *most* ne može riješiti zbog njihove nekompatibilnosti. Usmjerivač se osobito koristi u povezivanju mreža na WAN (*Wide Area Network*) ili u kreiranju druge lokalne mreže koja na mrežnom sloju predstavlja zasebnu podmrežu. Danas se u LAN-ovima usmjerivači sve češće zamjenjuju LAN preklopnicima trećeg sloja (*Layer 3 switch*) koji se ne temelji na softverskoj, nego na hardverskoj implementaciji prosljeđivanja paketa zbog čega je njihova brzina rada znatno veća od brzine rada usmjerivača.



Slika 4.5. Usmjerivač (*router*)

4.5.1. Funkcije usmjerivača kod povezivanja lokalnih mreža

Usmjerivač (*router*) djeluje na trećem (mrežnom ili IP) sloju OSI modela. Veća inteligencija prisutna u usmjerivaču omogućuje mu kontrolu prometa i usmjerivanja. Uz vrlo profinjene tehnike pretraživanja tablica usmjerivanja, usmjerivač određuje optimalne staze (rute) kroz mrežu. Time se mogu ravnomjerno prometno opteretiti višestruke staze između izvorišnih i odredišnih LAN-ova, tj. bitno se mogu umanjiti moguća zagušenja u mreži. Tijekom eventualnih zagušenja, za razliku od mosta, usmjerivač može i obnoviti okvire, tako da ne dođe do njihova prekomjernog gubljenja.

Usmjerivač obavlja dvije osnovne funkcije, a to su odabir najboljeg mogućeg puta do odredišta i funkcija prospajanja:

- Funkcija odabira puta prosljeđivanja paketa jest funkcija kojom usmjerivač bira optimalni put prema svakom poznatom odredištu na temelju podataka iz tablice usmjerivanja.
- Funkcija prospajanja unutarnja je funkcija usmjerivača gdje on prima paket na jednom svojem sučelju i prosljeđuje ga na drugo.

S obzirom na načine usmjerivanja prometa usmjerivači se dijele na statičke i dinamičke:

- Statički upotrebljavaju staze (rute) koje su unaprijed određene (tzv. fiksne staze) od administratora mreže. Kod ovih usmjerivača administrator mora dodavati i brisati statičke staze kako bi kompenzirao bilo kakve promjene u topologiji mreže. Njihova primjena je praktična jedino kod malih mreža u kojima se javlja samo neznatan broj promjena.

- Dinamički određuju staze usmjerivanja na temelju informacija o stazama koje se dinamički razmjenjuju nekim od protokola usmjerivanja između samih usmjerivača. Na odabranu stazu može utjecati „povijest“ mrežnog prometa i ponašanja mreže, odnosno usmjerivanja, te složenost staze koja se za različite protokole usmjerivanja (RIP, OSPF, EIGRP, ISIS, BGP, …) različito izračunava. Na složenost staze također mogu utjecati i parametri kao što su broj usmjerivača do odredišta, kumulativno kašnjenje ili pojasna širina (*bandwith*) pojedine staze do odredišta itd. Uporaba usmjerivača s dinamičkim usmjerivanjem preporuča se kod znatno zahtjevnijih ili ekstenzivnijih aktivnosti u WAN mreži. Dinamičke usmjerivače možemo dodatno podijeliti na vanjske i unutarnje:
  - Vanjski EGP (*Exterior Gateway Protocol*) koriste se u radu između različitih autonomnih sustava (najpoznatiji je BGP protokol (*Border Gateway Protocol*).
  - Unutarnji IGP (*Interior Gateway Protocol*) koriste se u radu unutar jednog autonomnog sustava (najpoznatiji protokoli su RIP, EIGRP, OSPF, ISIS, …).

  Unutarnji usmjerivači rabe dva algoritma i to algoritam vektora udaljenosti (*Distance-vector routing protocol*) i algoritam stanja veze (*Link-state routing protocol*).

Najjednostavniji usmjerivači podržavaju samo jedan protokol. Oni s većim brojem protokola i većim brojem priključaka (*portova*), dakako, češće se koriste. Uz RISC procesore postižu se brzine na unutarnjoj sabirnici od 800 Mbit/s, što omogućuje povezivanje na višim stupnjevima vremenskog multipleksa (npr. iznajmljenim kanalom) i povezivanje s MAN mrežom (npr. FDDI).

Rad algoritma dinamičkoga usmjerivanja

Usmjerivači moraju međusobno izmjenjivati informacije potrebne za ažuriranje tablica usmjerivanja, tj. oni moraju biti u mogućnosti razdvojiti pakete s takvim informacijama.

Većina usmjerivača rabi RIP (*Routing Information Protocol*) algoritam (algoritam vektora udaljenosti) koji izračunava distanciju, odnosno najpovoljniji put između usmjerivača i odredišta izražen kao najmanji broj usmjerivača (*hop*-ova) kroz koje promet mora proći do odredišta. Pri tome RIP ignorira ostale atribute staze usmjerivanja poput kapaciteta svake grane (bit/s) i stvarne duljine pojedine grane (km). Posljedica je da stvarno odabrana staza nije i najbolja.

Ograničenje je RIP protokola da se može koristiti samo u mrežama s manje od 15 skokova, pa se rjeđe koristi u mrežama povezanima na internet. Osim toga, uporabom RIP protokola unosi se u mrežu određena redundancija. Na primjer, svaki usmjerivač mora slati kopiju svoje tablice do svakog susjednog usmjerivača približno svakih 30 s. U velikim mrežama (npr. sastavljenima od grana kapaciteta do 64 kbit/s) to dodatno prometno opterećenje može znatno smanjiti propusnost i druge performanse mreže.

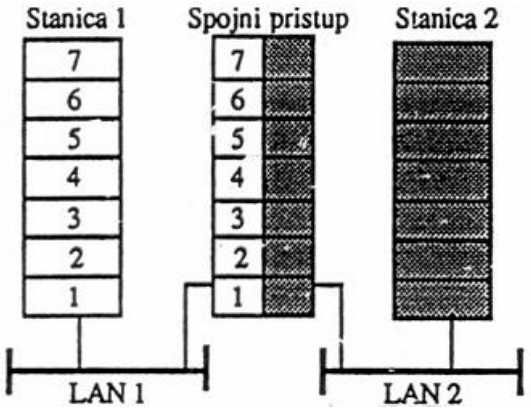
Da bismo izbjegli dodano opterećenje mreže takvim „jalovim“ prometom, možemo se poslužiti jednom od sljedećih metoda. Prva je da se rjeđe ažuriraju tablice usmjerivanja, što međutim povećava vrijeme odziva (reakcije) usmjerivača u slučaju kvarova ili pojave zagušenja. Druga se metoda svodi na slanje kopija tablica usmjerivanja samo kada dođe do promjene stanja pojedine staze (grane) do neke mreže (odredišta).

Najznačajniji protokol je OSPF (*Open Shortest Path First*) koji se temelji na drugoj metodi (algoritam stanja veze) uz primjenu dodatne logike. Dodatna je logika da u slučaju kvara ili zagušenja usmjerivač može ili odbaciti pakete ili, još bolje, informirati izvorište da uspori slanje paketa (treći i četvrti sloj OSI modela zaduženi su za kontrolu toka i kontrolu zagušenja najčešće uporabom klizećih prozora, kontrolom brzine generiranja bitova ili kombinacijom tih postupaka).

OSPF je otvoren usmjerivački protokol koji je danas najpopularniji i koji je najčešći kod velikih računalnih mreža. Temelji se na otvorenim standardima što znači da se njime mogu koristiti različiti proizvođači opreme i da ga podržava nekoliko operacijskih sustava. Za razliku od RIP protokola, odabir najpovoljnijeg puta temelji se na metrici za čiji se izračun uzima u obzir više atributa i to broj skokova, pojasna širina, opterećenje, kašnjenje i pouzdanost.

4.6. Poveznik

Poveznik (*Gateway*) slično kao i most (premosnik) omogućuje komunikaciju između sabirnica različitog tipa i protokola (npr. u jednom LAN-u TCP/IP, a u drugom IBM SNA (*System Network Architecture*) ili IPX protokol), slika 4.6. Kao sličan primjer može se navesti povezivanje govornog signala iz telefonske mreže u IP mrežu (*Voice over IP*). Međutim, za razliku od mosta, poveznik može raditi na razini od četvrtog do sedmog sloja OSI modela.



Slika 4.6. Poveznik (*Gateway*)

4.7. Medijski pretvornik

Medijski pretvornik (*Media Converter*) predstavlja aktivni uređaj za povezivanje različitih fizičkih medija istog protokola. Najčešće se koristi za pretvorbu signala iz svjetlovodnog u parični medij i obratno.

5. Usporedna analiza lokalnih mreža

Lokalne mreže velikih brzina koje smo upoznali u prethodnim poglavljima imaju svoje prednosti i nedostatke koji ovise prije svega o konkretnoj primjeni. Obično se kod većine uredskih LAN mreža primjenjuje brzi Ethernet ili 100VG-AnyLAN. Za brze osnovne (*backbone*) LAN mreže dobar je izbor FDDI tehnologija, dok je za veću uštedu pri ulaganju u brzu mrežu vjerojatno najbolje rješenje prospojni (komutirani) LAN.

Brzi Ethernet

Prednost brzog Etherneta jest što je to proširenje uobičajenog dobro standardiziranog i pouzdanog Etherneta. Osnovni je nedostatak primjena protokola CSMA/CD jer s porastom broja stanica, a time i prometa, dolazi i do porasta sudara, što smanjuje brzinu prijenosa.
100Base-T bolje radi u lokalnom području koje obuhvaća manji broj stanica (za male urede) nego pri primjeni na osnovnu (*backbone*) mrežu.

Općenito Ethernet lokalne mreže imaju velike mogućnosti nadogradnje. Dokaz velikih razvojnih mogućnosti pojava je gigabitnog Etherneta (1000 mbit/s). Gigabitni Ethernet koji je razvijen na temelju brzog Etherneta rabi isti format okvira i isti CSMA/CD protokol.

100VG-AnyLAN

Pristupna tehnika 100VG-AnyLAN-a temelji se na prioritetnim zahtjevima i u osnovi je „deterministička“. MAC protokol s prioritetom podržava dvije razine prometa. Time se jamči siguran pristup što ga čini idealnim za aplikacije s oštrim vremenskim zahtjevima (npr. multimedijske usluge).

Tehnologija podržava Ethernet i *Token Ring*, a cijene uređaja koje podržavaju ovu tehnologiju već su sada usporedive s onima za brzi Ethernet.

Neka testiranja multimedijskih videoaplikacija pokazuju da 100VG-AnyLAN koncentrator (*hub*) radi s 97 Mbit/s u usporedbi sa 60 Mbit/s kod 100Base-T za istu aplikaciju. Razlog je tomu što velika količina podataka koje generira videoaplikacija rezultira velikim brojem sudara i time se smanjuje propusnost 100Base-T.

FDDI

FDDI tehnologija po pretpostavkama će ostati i dalje najbolji izbor za osnovnu (*backbone*) brzu LAN mrežu, posebno kada se radi o većim udaljenostima. Prednost FDDI tehnologije jest u solidnim i pouzdanim standardima, a glavni su nedostatci još uvijek visoke cijene u usporedbi s brzim Ethernetom i komutiranim LAN-om. Troškovi i složenost FDDI mreže glavna su prepreka za njezino široko prihvaćanje u okolini radnih stanica.

FDDI se koristi više u SAD-u nego u Europi. Radne stanice s FDDI mrežom uglavnom su instalirane u bankama, osiguravajućim tvrtkama i korporacijama koje žele infrastrukturu brzine 100 Mbit/s.

Osnovne karakteristike tehnologija 100Base-T, 100 VG-AnyLAN i FDDI dane su u tablici 5.1.

Tablica 5.1. Karakteristike tehnologija 100Base-T, 100VG-AnyLAN i FDDI mreže

<table>
<tr><th>TEHNOLOGIJA</th><th>D_{max} između mrež. čvora i rad. stanice</th><th>Zahtijevani prijenosni medij</th><th>Standard (protokol)</th><th>Cijena opreme</th></tr>
<tr><td>100Base-T</td><td>100 m</td><td rowspan="2">neokloplјena upletena parica</td><td>IEEE 802.3 (CSMA/CD)</td><td>niska</td></tr>
<tr><td>100VG-AnyLAN</td><td>100 m</td><td>IEEE 802.12 (protokol s prioritetom zahtjeva)</td><td>srednja</td></tr>
<tr><td rowspan="2">FDDI</td><td>2 km</td><td>višemodno svjetlov. vlakno</td><td rowspan="2">IEEE 802.8 (protokol pronalaženja znaka)</td><td rowspan="2">visoka</td></tr>
<tr><td>20 km</td><td>jednomodno svjetlov. vlakno</td></tr>
</table>

Komutirani LAN (s preklopnicima)

Primjena prospajanja (komutacije) u Ethernetu i *Token Ringu* omogućila je povećanje brzine prijenosa uz jeftiniju cijenu te povećanje ukupne pojasne širine bez potrebe za dodatnim kabliranjem ili kupnjom novih mrežnih adaptera za svaki mrežni čvor.

Za neke je korisnike, umjesto brzine prijenosa od 100 Mbit/s po zajedničkom mediju, bolje rješenje uporaba preklopnika s 10 Mbit/s priključnim točkama za korisnike i 100 Mbit/s priključnim točkama za servere. Iako lokalna mreža realizirana na taj način ima manju propusnost od 100 Mbit/s lokalne mreže s prijenosom po zajedničkom mediju, dosta je jeftinija te je interesantna velikom krugu korisnika. Također su poboljšanja u odnosu na klasični 10 Mbit/s Ethernet značajnija.
Gotovo svi proizvođači mrežne opreme sada nude opremu za komutirani LAN, koja se danas uglavnom gradi u Hrvatskoj.

6. Virtualne privatne mreže

Virtualna privatna mreža VPN (*Virtual Private Network*) privatna je računalna mreža ostvarena uporabom infrastrukture javne telekomunikacijske mreže (npr. ATM mreže, *frame relay*, interneta, …). Privatnost se ostvaruje tuneliranjem i sigurnosnim postupcima. Pristup korisnika u virtualnoj privatnoj mreži ostvaruje se uporabom zajedničkih pristupnih linija do mrežnih prospojnika koji na zahtjev korisnika osiguravaju određeni kapacitet virtualnog kanala za komunikaciju između računala i radnih stanica. VPN mreža predstavlja ustvari WAN mrežu (*Wide Area Network*).

Virtualna privatna mreža ostvarena je u trenutku kada se jedan udaljeni korisnik ili dio mreže nakon provjere vjerodostojnosti uspješno spoji na matični dio mreže i ostvari sigurni komunikacijski kanal na javnom komunikacijskom kanalu uporabom metode šifriranja. S prekidom sigurnosnog komunikacijskog kanala prekida se i virtualna privatna mreža i ostaje samo javni komunikacijski kanal.

6.1. Privatne mreže

Privatne mreže velikih poslovnih korisnika u prošlosti su ostvarivane uporabom iznajmljenih linija ili izgradnjom vlastite privatne mreže. Svaki od tih dvaju pristupa ima svojih prednosti i nedostataka.

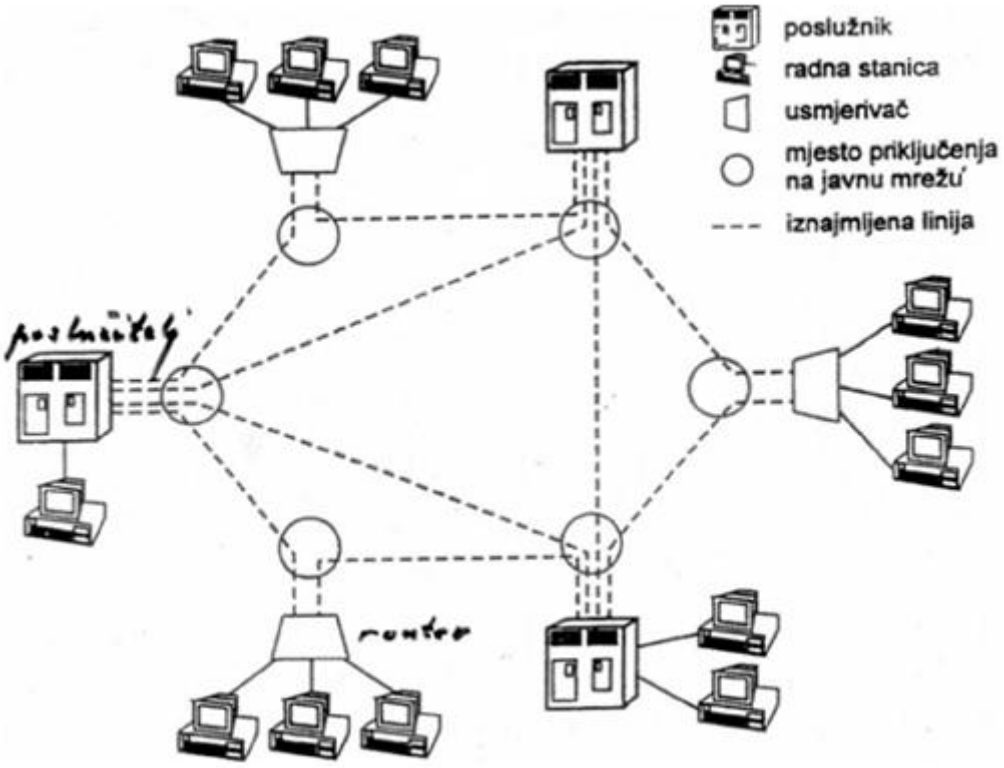
Izgradnjom privatne mreže poslovni korisnik se orijentira na uporabu vlastite instalirane opreme. Prednosti su takva pristupa:

- fleksibilnost i potpuno neovisno upravljanje mrežom
- jeftinija mrežna tehnologija
- visok stupanj sigurnosti podataka,

a nedostatci su:

- potreban je velik početni kapital za izgradnju, održavanje i upravljanje vlastitom mrežom
- obuka osoblja i osiguravanje čitave mrežne infrastrukture
- odvajanje značajnih financijskih sredstava za razvoj mreže u budućnosti
- linije među centralama potrebno je projektirati za vršnu brzinu prometa, a posljedica je toga velika zalihost linija i veliki dodijeljeni kapacitet vezi
- potrebna je oprema za obavljanje funkcija prospajanja i usmjerivanja.

Osnovne prednosti za uporabu iznajmljenih linija jesu manji početni kapital i manji troškovi održavanja i upravljanja mrežom. Međutim, cijena iznajmljenih linija varira ovisno o tipu veze, broju lokacija i udaljenosti između lokacija, ali je dugoročno u pravilu bila prilično visoka. Slika 6.1. prikazuje privatnu mrežu s iznajmljenim linijama.



Slika 6.1. Primjer privatne mreže s iznajmljenim linijama

Odlučujući čimbenici pri donošenju odluka o gradnji vlastite privatne mreže za mnoge poslovne korisnike su fleksibilnost i sigurnost od neovlaštenoga pristupa podatcima. Međutim, oba pristupa u dužem razdoblju karakteriziraju veliki troškovi održavanja i upravljanja mrežom te troškovi zakupa linija. Zbog toga sve više poslovnih korisnika prelazi na jeftiniju varijantu umrežavanja svojih lokalnih mreža preko javne telekomunikacijske mreže. Drugim riječima, u današnje vrijeme sve se više poslovnih korisnika odlučuje za realizaciju virtualne privatne mreže.

6.2. Virtualna privatna mreža (VPN)

Virtualna privatna mreža ima karakteristike kao i svaka druga mreža, jer osigurava razmjenu informacija između različitih entiteta koji joj pripadaju.

Riječ *virtualna* znači da je mreža logički formirana, neovisno o fizičkoj strukturi podslojne mreže (npr. interneta). Ne podržava stalne veze između krajnjih točaka korporacijske mreže, već se veza ostvaruje samo onda kada je potrebna. Kada više nije potrebna, veza se isključuje stavljajuću pojasnu širinu i druge mrežne resurse na raspolaganje ostalim mrežnim korisnicima.

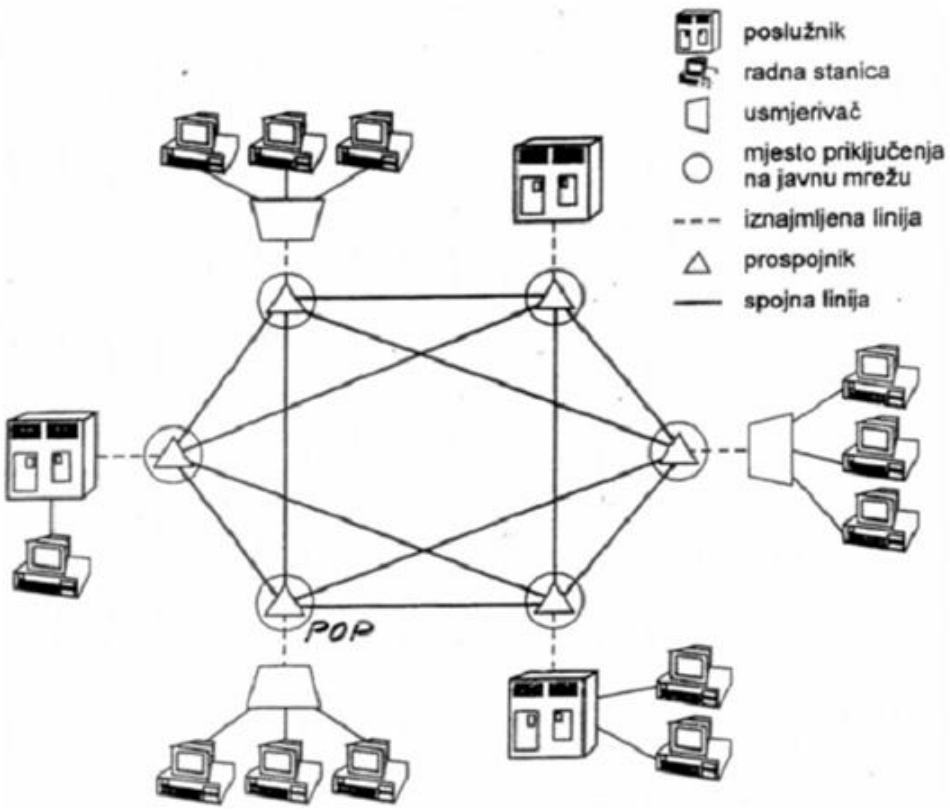
Također ima karakteristike privatne mreže, jer podržava zatvorenu komunikaciju samo za ovlaštene korisnike kojima je dopušten pristup različitim mrežnim sredstvima i uslugama.

VPN omogućuje tvrtkama da kroz privatnu računalnu mrežu povežu zemljopisno udaljene urede i djelatnike uporabom javne telekomunikacijske mreže kao infrastrukture za povezivanje. VPN je veoma prihvatljiv nadomjestak za stalne veze i telefonske (modemske) veze.

Na slici 6.2. prikazan je primjer jedne privatne virtualne mreže. Prednosti virtualnih privatnih mreža u usporedbi s privatnim mrežama su višestruke:

- vlasnik virtualne mreže ne treba ulagati financijska sredstva u prijenosne i komutacijske sustave, a jedini je trošak nabavka krajnje opreme (terminala)
- smanjuju se troškovi pristupa u mrežu
- tekući troškovi su proporcionalni uporabi mrežnih resursa, a ne odnose se na zahtijevanu vršnu brzinu kao kod privatnih mreža
- VPN mreža osigurava visok stupanj raspoloživosti i pouzdanosti, pokrivenost širokog područja, a također zaštitu od neovlaštenog pristupa podatcima (visok stupanj raspoloživosti osigurava moderna mrežna arhitektura projektirana za budući razvoj, dok zaštitu od neovlaštenog pristupa podatcima osiguravaju dodatne usluge kao što su zatvorene skupine korisnika, identifikacija korisnika mreže i razmjena adresa između pozvanog i pozivajućeg korisnika)
- omogućuje veliku skalabilnost mreže
- VPN mreža kao dio nacionalne mreže omogućuje povezivanje s međunarodnom mrežom, a pristup je osiguran iz analogne (POTS) telefonske mreže, digitalne mreže integriranih usluga ISDN ili neke od xDSL tehnologija (ADSL, VDSL, …)
- obučeno i kvalificirano osoblje javne telekomunikacijske mreže stalno je dostupno za konzultiranje i rješavanje eventualnih nastalih problema
- funkcionalnost i spektar usluga stalno se povećavaju s nadgradnjama sklopovske i programske podrške

- osiguravanje širokog spektra usluga korisnicima, kao što su elektronička pošta, sustav razmjene poruka (MHS – *Message Handling System*) temeljen na X.400, pristup internim bazama podataka i drugo.



Slika 6.2. Primjer virtualne privatne mreže

VPN mreže pored evidentnih prednosti imaju svoje specifične probleme, a i nedostatke. Najveći problem kod ovih mreža je sigurnost podataka, koja se mora jamčiti korisniku, što podrazumijeva osiguravanje vjerodostojnosti, nadzora pristupa te ostvarivanje povjerljivosti i integriteta podataka.

Ostali nedostatci VPN mreža su:

- utjecaj na učinkovitost ili općenito na karakteristike same mreže uglavnom je izvan kontrole samog korisnika
- oprema različitih proizvođača često može biti međusobno nekompatibilna, što je posljedica nedovoljno definiranih standarda
- potreba podešavanja različitih protokola koji se koriste u internim mrežnim tehnologijama.

Za stvaranje virtualnih privatnih mreža (VPN) na dijeljenoj infrastrukturi mogu se koristiti postojeće tehnologije drugog sloja OSI modela (npr. ATM, *frame relay*). ATM kao tehnologija drugog sloja bila je vrlo interesantna i to zbog mogućnosti formiranja više virtualnih kanala (VC – *Virtual Channel*) unutar jedne virtualne staze (VP – *Virtual Path*).
Prednost podatkovnog sloja VPN-a jest neovisnost korisnikova mrežnog sloja u smislu mrežnog dizajna za usmjerivanje, adresiranje itd.

Danas se najviše koristi IP VPN koji radi na trećem sloju uz primjenu IP protokola. Osnovna prednost IP VPN mreže jest smanjenje troškova izgradnje i održavanja mreže jer se infrastruktura interneta koristi za prijenos podataka. Veza preko interneta omogućuje ekonomično povezivanje udaljenih razgrananih ureda ili projektnih timova u centralnu korporacijsku mrežu. Time se osigurava daljinski pristup zaposlenicima te se smanjuju zahtjevi za opremom i podrškom.

IP VPN mreža korištenjem otvorene distribucijske infrastrukture interneta prenosi podatke između korporacijskih LAN-ova, ne oviseći o iznajmljenim linijama ili *frame relay* permanentnim virtualnim krugovima. Kompanije koje se koriste VPN-om preko interneta uspostavljaju vezu preko lokalnih spojnih točaka POP (*Point of Presence*) njihova pružatelja internetskih usluga (ISP) koji osigurava prijenos podataka do odredišta putem interneta. Budući da je internet javna mreža koja ne daje jamstvo za kakvoću i sigurnost prijenosa podataka, VPN mora podržavati mjere za zaštitu podataka od prisluškivanja i neovlaštenog pristupa.

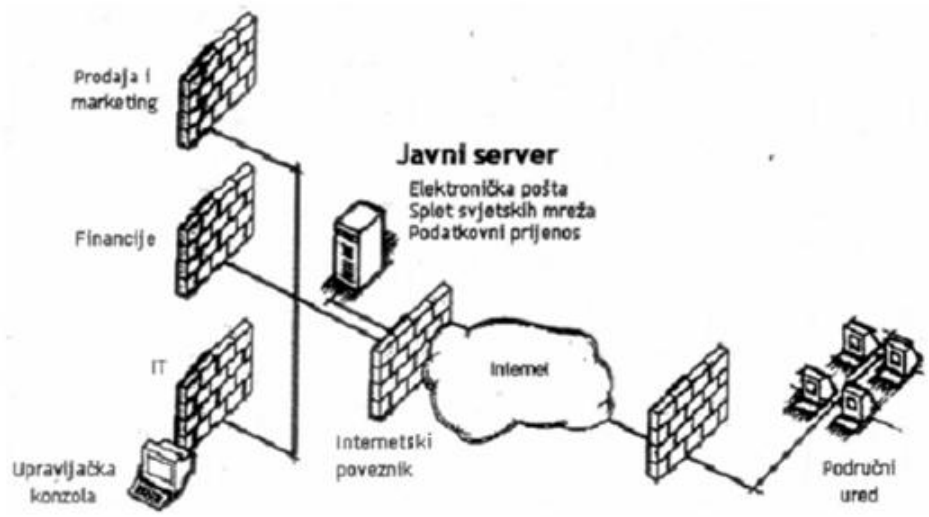
6.2.1. Vrste VPN mreža

Ovisno o primjeni možemo razlikovati različite vrste virtualnih privatnih mreža, a svaka od njih ima svoje specifične tehnološke zahtjeve. Općenito se IP VPN mreže mogu podijeliti u tri kategorije:

- intranet VPN mreže
- VPN mreže s udaljenim pristupom
- ekstranet VPN mreže.

6.2.2.1. Intranet VPN mreže

Intranet VPN mreže koriste se kao mreže između korporacijskih odjela i područnih ureda uz ostvarenje visokog stupnja sigurne komunikacije između njih, slika 6.3. Primarni tehnološki zahtjevi koji se postavljaju na takvu mrežu jesu *snažno šifriranje podataka* kako bi se zaštitile osjetljive informacije, *pouzdanost* kako bi se osigurala pravodobna mogućnost ostvarivanja kritičnih aplikacija, *skalabilnost* upravljanja da bi se ono moglo prilagoditi brzom povećavanju broja novih korisnika, ureda i aplikacija.

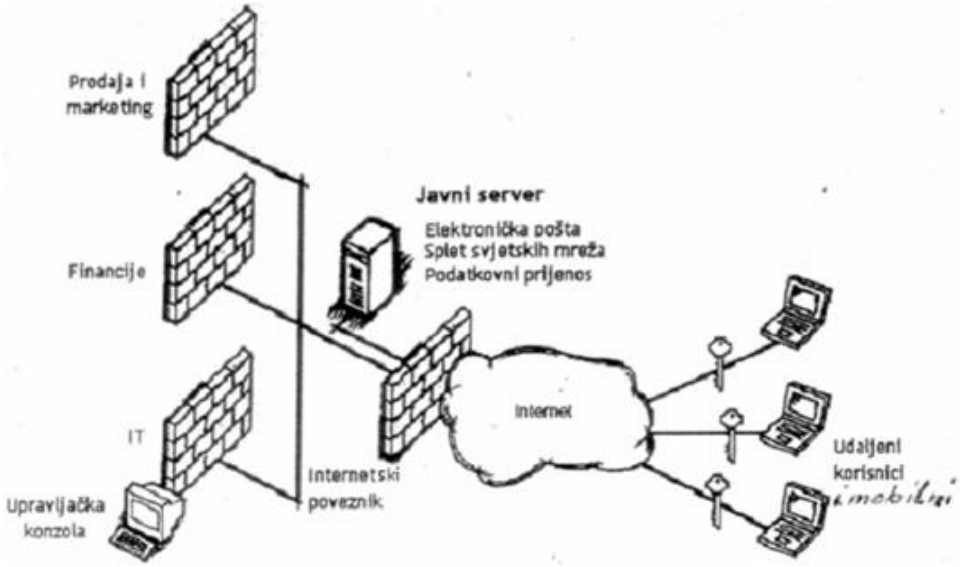


Slika 6.3. Intranet VPN mreža

Intranetska usluga osigurava zamjenu za skupe iznajmljene linkove, a najveća prednost joj je fleksibilnost, odnosno mogućnost da se jednostavno poveća kapacitet bilo kojeg linka ovisno o aplikaciji virtualne privatne mreže.

6.2.2.2. VPN s udaljenim pristupom

VPN s udaljenim pristupom je mreža koja omogućuje komunikaciju između korporacijske mreže i udaljenih ili mobilnih djelatnika, slika 6.4. Primarni tehnološki zahtjevi koji se postavljaju na takvu mrežu su *provjera vjerodostojnosti* radi ovjere identiteta udaljenih i mobilnih korisnika, *centralizirano upravljanje* i *visok stupanj skalabilnosti* glede omogućivanja pristupa velikom broju korisnika VPN mreži. Velika prednost ovakve mreže jest što ima manje troškove zbog eliminiranja upravljanja velikih modemskih veza i korištenje RAS-ova koji pripadaju pružatelju internetske usluge (ISP).



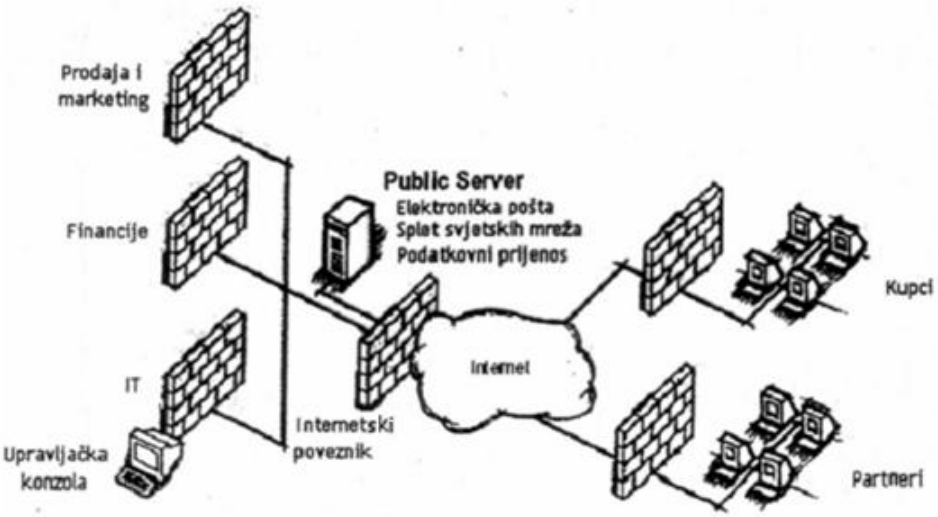
Slika 6.4. VPN mreža s udaljenim pristupom

Za rad ovakve mreže potrebne su dvije komponente. Prva komponenta je poslužitelj za upravljanje pristupom mreži NAS (*Network Access Server*), odnosno poslužitelj za udaljeni pristup RAS (*Remote Access Server*). Druga komponenta je klijentski softver koji je potreban za udaljeni pristup čija je zadaća da uspostavi i održava vezu s VPN-om.

Udaljeni korisnik vrši biranje (preko interneta) prema najbližem udaljenom pristupnom poslužitelju RAS-u koji uspostavlja sigurnu vezu na intranet kompanije te nakon uspješne provjere vjerodostojnosti omogućuje korisniku pristup vlasništvu kompanije.

6.2.2.3. Ekstranet VPN mreže

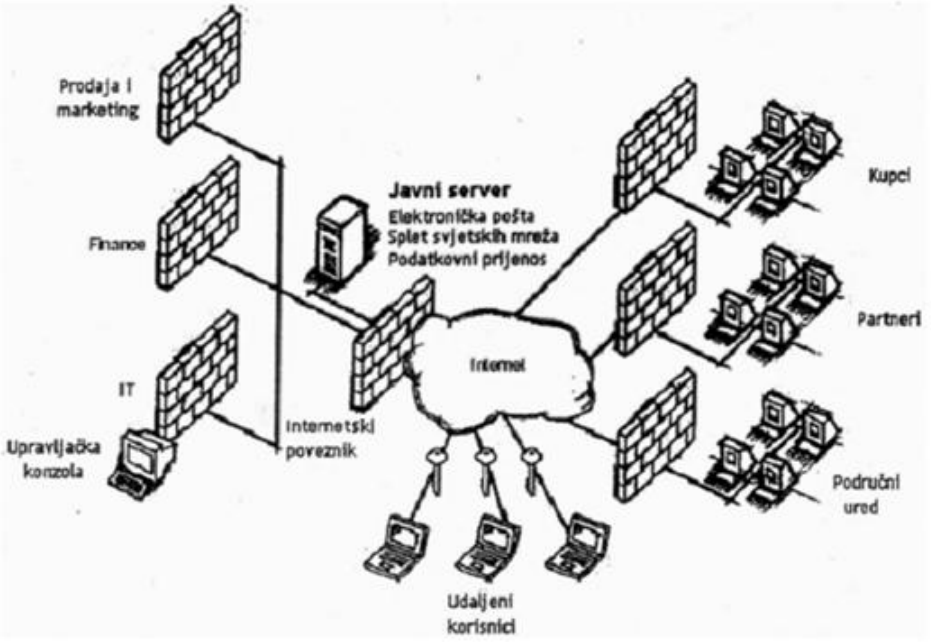
Ekstranet VPN mreža omogućuje komunikaciju između korporacije i njezinih strateških partnera, korisnika ili dobavljača, slika 6.5., koji su potpuno zasebni pravni subjekti s vlastitim mrežama. Takva mreža zahtijeva otvoreno rješenje koje se temelji na standardima da bi se osigurala interoperabilnost s različitim rješenjima koja mogu implementirati strateški partneri. Prihvaćeni standard za VPN mreže temeljene na internetu je standard sigurnosnog protokola interneta IPSec (*Internet Protocol Security*). Jednako je važan i nadzor prometa da bi se eliminirala prometna zagušenja u pristupnim točkama mreže i mogla jamčiti brza isporuka i odziv kritičnih podataka.



Slika 6.5. Ekstranet VPN mreža

Primarni tehnološki zahtjevi koji se postavljaju na ekstranet VPN mrežu jesu *fleksibilnost*, kojom se osigurava veza na nove vanjske korisnike unutar kratkog vremenskog razdoblja, i *brza komunikacija*, koja pomaže pri djelotvornom upravljanju i razmjeni podataka, što značajno smanjuje troškove.

Rješenje virtualne privatne mreže trebalo bi podržavati sve tri gore navedene aplikacije (intranet VPN, VPN s udaljenim pristupom, ekstranet VPN) da bi se udaljenim i mobilnim djelatnicima, područnim uredima širom svijeta te strateškim partnerima omogućio pristup mrežnim resursima. Međutim, ako korporacija planira implementirati samo jednu od ovih triju vrsta VPN-a u danom trenutku, tada odabrano rješenje mora osigurati mogućnost dodavanja jedne ili obiju preostalih vrsta VPN mreže. Slika 6.6. prikazuje implementaciju svih triju vrsta VPN mreže.



Slika 6.6. Implementacija sve tri vrste VPN mreža

6.3. VPN tehnologije

Dva najvažnija čimbenika o kojima treba voditi računa pri ostvarivanju VPN mreže preko interneta jesu *sigurnost* i *radni učinak*. Međutim, protokol nadzora prijenosa / međumrežni protokol TCP/IP i internet nisu projektirani tako da bi osiguravali ta dva čimbenika, jer velik broj korisnika i vrsta aplikacija ne zahtijevaju jake sigurnosne mjere niti zajamčene performanse. Kako VPN mreža, temeljena na internetu, treba poslužiti kao pouzdana zamjena za iznajmljene linije ili druge WAN veze, tehnologije koje jamče sigurnost i mrežne performanse moraju se dodati internetu.

Standardi za sigurnost mrežnih protokola na IP mrežama su razvijeni, pa se IP mreže mogu koristiti pri kreiranju VPN mreža. Rad na osiguravanju zajamčenih performansi vrlo je intenzivan, ali rezultati toga rada za sada nisu primijenjeni u IP mreži u širokim razmjerima.
TCP (*Transmission Control Protocol*) protokol osigurava pouzdan transport s kraja na kraj pomoću mehanizma potvrde i retransmisije uz očuvani redoslijed niza okteta. Najvažniji internetski protokoli koji djeluju na transportnom sloju jesu TCP i UDP.

6.3.1. Funkcije ostvarivanja sigurnosti prijenosa podataka

VPN mreže trebaju omogućiti četiri kritične funkcije koje će jamčiti sigurnost i integritet podataka, a to su:

- *provjera vjerodostojnosti* (*authentication* – identitet) – utvrđivanje potječu li podatci iz izvora za koji se to tvrdi. VPN osigurava provjeru identiteta korisnika i dopušta VPN pristup samo registriranim korisnicima. Korisnik se identificira svojim korisničkim imenom (*username*) i lozinkom (*password*).
- *nadzor pristupa* (*authorization* – pravo pristupa) – sprječavanje upada u mrežu neovlaštenim korisnicima. VPN mora osigurati provjeru da podatci koji dolaze stvarno dolaze s izvorišta s kojeg tvrde da dolaze i da osoba koja tvrdi da je pošiljatelj podataka to stvarno i jest te ima pravo pristupa određenim resursima. Definira ima li korisnik dopuštenu razinu pristupa.
- *ostvarivanje povjerljivosti* – sprječavanje čitanja ili kopiranja podataka dok prolaze kroz mrežu (internet). VPN mora osigurati kriptiranje podataka tako da ih nitko osim klijenata odnosno poslužitelja ne može pročitati.
- *ostvarivanje integriteta podataka* – osiguravanje pouzdanog protoka podataka kroz mrežu (internet). VPN mora osigurati provjeru integriteta podataka odnosno utvrditi jesu li podatci putem promijenjeni.

Za provjeru vjerodostojnosti na razini korisnika u VPN mreži i nadzor pristupa mrežnim resursima upotrebljavaju se lozinke, protokoli, usluge za provjeru vjerodostojnosti na daljinu, kao što je npr. usluga RADIUS (*Remote Authentication Dial-In User Service*) ili TACAC+ (*Terminal Access Controller Access Control system Plus*), ili se koristi neka digitalna ovjera (*Digital Certification*), a mogu se koristiti i karakteristični pristupni znakovi temeljeni na sklopovlju. Privatnost informacija koje se prenose VPN mrežom zaštićena je šifriranjem podataka.

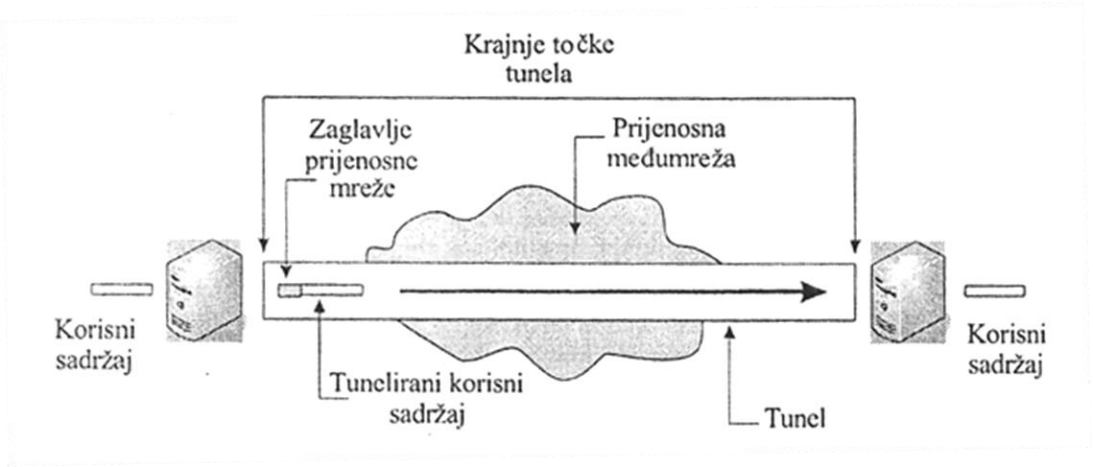
U prošlosti su se privatne mreže ostvarivale svojom infrastrukturom ili iznajmljivanjem žičanih linija po kojima bi se odvijao promet jednog korporacijskog korisnika. Kako bi se ta koncepcija proširila i na internet, gdje se promet velikog broja korisnika odvija preko iste veze, predloženi su brojni protokoli koji se temelje na principu tuneliranja. Tuneliranje je način ostvarivanja veze između točaka ulaza i izlaza u složenoj mreži.

6.3.2. Princip tuneliranja

VPN tehnologija se temelji na ideji mrežnog tuneliranja koje se sastoji od formiranja i održavanja logičke veze. Na toj logičkoj vezi paketi formirani pomoću posebnog VPN protokola enkapsulirani su u paket koji se koristi prijenosnim protokolom.

Za IP VPM mreže paketi formirani specifičnim VPN protokolom enkapsuliraju se u IP paket za prijenos preko interneta, pri čemu se enkapsulirani paket odvaja od IP paketa u prijamnoj mreži za dobivanje izvornog paketa. Protokol tuneliranja enkapsulira paket (ili okvir) tako da mu se dodaje dodatno zaglavlje.

Dodatno zaglavlje je potrebno za osiguravanje informacije usmjeravanja za enkapsulirani korisni sadržaj koji se prenosi internetom. Enkapsulirani paketi tada se usmjeravaju između krajnjih točaka tunela preko interneta, a kada dospiju na odredište, tada se deenkapsuliraju kako bi se dobio izvorni podatak, slika 6.7. Tuneliranje obuhvaća postupke enkapsulacije, prijenosa i deenkapsulacije.



Slika 6.7. Princip tuneliranja

Tuneli mogu sadržavati dvije vrste krajnjih točaka: računalo ili LAN sa sigurnosnim poveznikom koji može biti usmjerivač ili vatrozid. Međutim, ipak se samo dvije kombinacije ovih krajnjih točaka uzimaju u obzir pri projektiranju VPN mreže i to LAN-LAN i klijent-LAN.

Kod LAN-LAN tuneliranja sigurnosni poveznik u svakoj krajnjoj točki služi kao sučelje između tunela i privatne lokalne mreže. U takvim slučajevima korisnici lokalnih mreža mogu se transparentno koristiti tunelom za međusobnu komunikaciju.

Klijent-LAN tunel je vrsta tunela namijenjena mobilnim korisnicima koji se žele priključiti na korporacijsku lokalnu mrežu. Klijent, tj. mobilni korisnik koji želi uspostaviti vezu s korporacijskom mrežom radi razmjene podataka, pokreće stvaranje tunela uporabom posebnog programa (*Client Program*) na svojem računalu za komuniciranje s poveznikom, koji štiti odredišnu LAN mrežu.

6.3.2.1. Protokoli VPN tuneliranja

Da bi se tunel uspostavio, oba se korisnika tunela i poslužitelj tunela moraju koristiti istim protokolom tuneliranja. Za kreiranje VPN mreža preko interneta rabe se četiri osnovna protokola:

- protokol tuneliranja od točke do točke PPTP (*Point-to-point Tunneling Protocol*)
- protokol za prosljeđivanje na drugom sloju L2F (*Layer 2 Forwarding Protocol*)
- protokol tuneliranja na drugom sloju L2TP (*Layer 2 Tunneling Protocol*)
- sigurnosni protokol IPSec.

Protokol tuneliranja od točke do točke PPTP (*Point-to-point Tunneling Protocol*)

PPTP protokol je razvio Microsoft u suradnji s drugim tvrtkama. Protokol radi na drugom sloju OSI modela, što je prednost za korisnike jer, osim IP-a, omogućuje primjenu i drugih protokola, kao što su npr. IPX (*Internet Packet Exchange*) i NetBEUI (*Network Basic Input/Output System Extended User Interface*). PPTP osigurava dobru kompresiju, ali mu je sigurnost slabija strana.

Osnovna specifikacija protokola ne podržava šifriranje i autentifikaciju korisnika, već se oslanja na korisničke lozinke (*username*, *password*) u stvaranju ključeva. Implementacija PPTP-a koja dolazi s verzijama operacijskog sustava MS Windows ipak uključuje određene mehanizme šifriranja i korisničke autentifikacije.

PPTP nije temeljen na standardu niti je ratificiran od IEFT-a (*Internet Engineering Task Force*). Kao takav bio je na meti mnogih kritika zbog sigurnosnih propusta. Iako je od početnog izdanja MS Windowsa do danas poboljšana implementacija, stručnjaci za računalnu sigurnost preporučuju korištenje drugih rješenja, prvenstveno IPsec i L2TP.

Protokol za prosljeđivanje na drugom sloju L2F (*Layer 2 Forwarding Protocol*)

L2F protokol je razvila tvrtka Cisco, a nastao je gotovo paralelno s PPTP protokolom. Ta dva protokola posjeduju dosta sličnosti, s tim da L2F ima dodatne mehanizme za autentifikaciju te dopušta istovremeno uspostavljanje i održavanje većeg broja tunela.

L2F se koristi za uspostavu virtualne *point-to-point* veze između udaljenog korisnika i privatne mreže. Može se također koristiti s drugim protokolima prijenosa sloja podatkovne veze, kao što su *Frame Relay* i ATM. Za autentifikaciju rabi mehanizme PPP-a, ali uključuje podršku za TACACS+ (*Terminal Access Controller Access Control System Plus*) i RADIUS (*Remote Authetication Dial-In User Service*) autentifikaciju.

Protokol tuneliranja na drugom sloju L2TP (*Layer 2 Tunneling Protocol*)

L2TP protokol je nastao na temeljima triju protokola, PPP, PPTP i L2F, te je predložen kao IETF standard 1999. godine. Razvile su ga tvrtke Microsoft i Cisco. U svojoj početnoj definiciji nije pokrivao pitanja enkripcije i povjerljivosti podataka, već je taj zadatak prepuštao protokolima koje prenosi. Kasnije je ostvarenje povjerljivosti i autentifikacije obično rješavao u kombinaciji s protokolom IPsec.

Sigurnosni protokol IPSec

IPSec protokol razvio je kao standard za internetsku sigurnost trećeg sloja IETF još davne 1995., s tim da je obnavljan i nadopunjavan novim definicijama 1998., 2005. i 2010. godine. Protokol vodi računa o cjelovitosti podataka i sigurnosti te pokriva šifriranje, provjeru vjerodostojnosti i razmjenu ključeva. IPSec rabi 128-bitni ključ za šifriranje iako veličina ključa može varirati ovisno o sposobnostima svakog kraja veze. Pritom protokol naglašava sigurnost provjerom vjerodostojnosti obaju krajeva tunela pregovarajući o protokolu i ključu za šifriranje.

IPSec radi na trećem (mrežnom) sloju i koristi se za enkapsulaciju protokola od sloja interneta na više. Nije u stanju enkapsulirati protokole nižih slojeva. Može rabiti nekoliko različitih mehanizama enkripcije, protokole autentifikacije i ostale sigurnosne postavke. Općenito je dobro podržan kako na softverskoj, tako i na hardverskoj strani, što je jedna od glavnih prednosti ove tehnologije.

Postoje dva različita moda uporabe IPSec protokola, transportni i tunelski mod. U transportnom modu obavlja se provjera vjerodostojnosti ili šifriranje samo transportnog slojnog segmenta IP paketa zbog čega je pogodniji za uporabu u lokalnim mrežama. U tunelskom modu obavlja se provjera vjerodostojnosti ili šifriranje čitavog IP paketa zbog čega je pogodniji za uporabu na internetu. Transportni mod IPSec protokola može se pokazati korisnim u mnogim situacijama, dok tunel mod IPSec protokola omogućuje bolju zaštitu od napada i praćenje prometa (*Traffic Monitoring*) na internetu.

IPSec protokol se uzima kao najbolje rješenje glede sigurnosti u IP okruženju jer osigurava povjerljivost, integritet podataka, provjeru valjanosti i upravljanje ključem. IPSec protokol je dizajniran samo za rad s IP paketima, dok su protokoli PPTP i L2TP pogodniji za uporabu u višeprotokolnom ne-IP okruženju. Za tvrtke koje zahtijevaju fleksibilnu globalnu mrežu, siguran prijenos podataka, podržavanje udaljenih korisnika i ekstraneta, IPSec je najprikladnije rješenje.

IPSec se najviše koristi kod VPN mreža. Najveća je prednost IPSeca što se sigurnost može postići bez ikakve izmjene na individualnim računalima koja žele upotrebljavati IPSec.

Jedan je od razloga postojanja nekoliko protokola taj što neke kompanije rabe VPN kao zamjenu za servere s udaljenim pristupom dopuštajući mobilnim korisnicima i razgranatim uredima pristup u zaštićenu korporacijsku mrežu preko lokalnog pružatelja internetskih usluga,

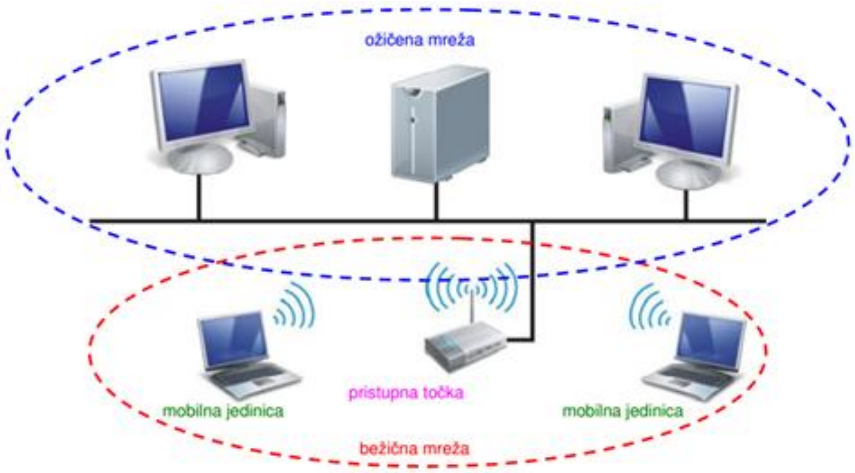
ISP (*Internet Service Provider*). Drugima VPN služi za prijenos prometa u sigurnim tunelima preko interneta između zaštićenih lokalnih mreža.

Protokoli tuneliranja na drugom sloju (PPTP, L2F i L2TP) temelje se na dobro definiranom PPP (*Point-to-Point*) protokolu koji zajedno s IPSec protokolom trećeg sloja podržava osnovne VPN mreže. To uključuje provjeru vjerodostojnosti korisnika, podršku token kartice, šifriranje podataka, upravljanje ključem i podržavanje više protokola.

Protokoli koji su razvijani za VPN odražavaju mogućnosti uporabe za različite namjene. Tako su PPTP, L2F i L2TP protokoli uglavnom namijenjeni za uporabu u biranim (*dial-up*) VPN mrežama, dok je IPSec protokol u prvom redu namijenjen za LAN-LAN tuneliranje.
Koji će se protokol izabrati, ovisi o tome kako se planira rabiti VPN mreža. Nekad su ograničenja glede uporabe protokola vezana za korištenu opremu, jer se ne može uvijek imati nadzor nad opremom. Primjerice, pri ostvarivanju VPN mreže za povezivanje s poslovnim partnerom nismo u poziciji diktirati koju će opremu on upotrijebiti na svojim lokacijama.

7. Bežične lokalne mreže

Bežične lokalne mreže WLAN (*Wireless Local Area Network*) fleksibilni su sustavi koji omogućuju podatkovne komunikacije velikih brzina unutar manjih područja pokrivanja. Bežične lokalne mreže odašilju i primaju podatke slobodnim prostorom putem elektromagnetskih valova, što osigurava pokretljivost korisnika, odnosno mogućnost povezivanja i pristup postojećim mrežnim resursima s različitih lokacija, slika 7.1.



Slika 7.1. Bežična LAN mreža

Instaliraju se kao nadogradnja postojećim lokalnim mrežama ili kao alternativa tradicionalnim žičanim LAN mrežama.

Kod tradicionalne LAN mreže korisnici su međusobno fizički spojeni kabelom, a mreža je uglavnom konfigurirana preko stacionarnih mrežnih čvorova. To otežava mogućnost promjene lokacije korisnika (fizičko odspajanje s jednog mjesta i spajanje na drugo mjesto) i mogućnost proširenja mreže što zahtijeva instalaciju dodatnih kabela uz povećanje troškova.

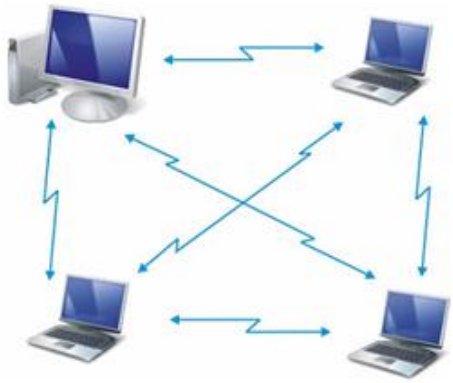
Kod bežičnih lokalnih mreža ti su problemi manji ili ih nema. Korisnici su pokretni unutar područja koje pokriva mreža, rekonfiguracija i proširenje mreže je fleksibilnije, pogotovo uz primjenu mobilnih računala (*notebook, laptop*).

7.1. Načini rada bežičnih lokalnih mreža

Standardom 802.11 definirana su dva načina rada WLAN mreže, i to *ad hoc* i *infrastrukturni*.

Ad hoc način rada, poznat i pod nazivom *peer-to-peer*, takav je način rada kod kojeg više bežičnih stanica može međusobno izravno komunicirati bez korištenja pristupne točke AP

(*Access Point*) ili veze sa žičanom mrežom, slika 7.2. Ovakva konfiguracija naziva se neovisna osnovna uslužna skupina, IBSS (*Independent Basic Service Set*).



Slika 7.2. *Ad hoc* način rada WLAN mreže

Kako ne postoji bazna jedinica, sve su stanice ravnopravne, tako da nije potrebno dodjeljivati dopuštenje odašiljanja povezanim stanicama. Stoga je ovaj način veoma jednostavan za instalaciju, ali je ograničen u pogledu fizičkih udaljenosti i mogućnosti. Domet stanica je ograničen na 60 – 100 metara, a bežične stanice ne mogu komunicirati sa žičanim lokalnim mrežama.

Kod ***infrastrukturnog*** načina rada bežična mreža sadržava niz bežičnih krajnjih stanica koje su barem s jednom pristupnom točkom AP povezane na infrastrukturu žičane mreže, slika 7.3. Ovakva konfiguracija naziva se osnovna uslužna skupina, BSS (*Basic Service Set*) i predstavlja osnovni element WLAN 802.11 mreža.

Slika 7.3. Infrastrukturni načina rada WLAN mreže

Dvije ili više BSS skupina čine podmrežu ili proširenu uslužnu skupinu, ESS (*Extended Service Set*). Stanice u infrastrukturnom načinu rada ne komuniciraju izravno jedna s drugom nego preko jedne ili više pristupnih točaka. Kako većina korporacijskih WLAN mreža zahtijeva pristup žičanoj LAN mreži za usluge pristupa internetu, to se za prijenos datoteka koristi infrastrukturni način.

Uzajamno povezane BSS skupine čine infrastrukturu, koja se po standardu 802.11 sastoji od nekoliko elemenata. Dvije ili više BSS skupina povezuju se distribucijskim sustavom DS (*Distributed System*), čime se povećava opseg funkcije distribucijskog sustava realiziran uporabom pristupnih točaka AP (*Access Point*). Pristupna točka omogućuje povezivanje BSS skupina, odnosno segmentiranje mreže radi povećanja brzine rada i dometa.

Definirane usluge koje DS sustav treba podržavati jesu usluge stanica SS (*Station Services*) i usluge distribucijskog sustava DSS (*Distribution System Services*).
Usluga stanica podrazumijeva provjeru vjerodostojnosti (*authentication*), deautentifikaciju, privatnost i dostavu MSDU (*MAC Service Data Unit*) okvira. Kod bežičnih sustava pristup prijenosnom mediju nije ograničen fizički kao kod kabelskih sustava. Stoga se za pristup mreži treba izvršiti provjera prava pristupa mrežne stanice, čime stanica potvrđuje svoj identitet i pravo pristupa uslugama. To se naziva provjera vjerodostojnosti, a obavlja se između stanica unutar IBSS ili stanice i pristupne točke unutar BSS sustava.

Postoje dva osnovna načina provjere vjerodostojnosti unutar arhitekture standarda 802.11:

- otvorena provjera vjerodostojnosti OSA (*Open System Authentication*), kod koje svaka stanica koja to zatraži dobiva pravo pristupa mreži
- provjera vjerodostojnosti zajedničkim ključem SKA (*Shared Key Authentication*), gdje korisnici trebaju posjedovati zajednički ključ koji je ranije dostavljen svim povjerljivim stanicama (instalacijom s USB-a).

Deautentifikacija se pokreće kada neka od stanica želi prekinuti vezu s pristupnom točkom, a privatnost je usluga korištenja algoritama šifriranja (WEP, WPA2) radi sprječavanja prisluškivanja prijenosa od strane neovlaštenih stanica. Dostava MSDU okvira osigurava prijenos podataka provjere vjerodostojnosti i šifriranja između različitih MAC pristupnih točaka.

Skupina IBSS (*Independent Basic Service Set*) neovisna je osnovna usluga. Za prijenos podataka izvan IBSS skupine jedna stanica u IBSS-u mora djelovati kao poveznik (*gateway*) ili usmjerivač (*router*), pri čemu se koristi programskim rješenjem.

Distribucijski sustav ostvaruje pet usluga: povezivanje, raskidanje, ponovno povezivanje, distribuciju i integraciju BSS skupina. Usluge povezivanja, raskidanja i ponovnog povezivanja osiguravaju mobilnost bežičnih stanica (kretanje između BSS segmenata unutar istog ESS segmenta i kretanja između različitih ESS segmenata). Stanica definira svoju pripadnost nekom BSS segmentu povezivanjem s nekom pristupnom točkom. Ovaj način povezivanja je dinamički ako su stanice u pokretu.

Kako stanica može biti priključena istodobno samo na jednu pristupnu točku (tako DS uvijek zna gdje se stanica nalazi), potrebno je dinamički povezivati i raskidati veze s pristupnim

točkama. Ovo skakanje veze s jedne na drugu pristupnu točku omogućuje korisniku nesmetano ostvarivanje prijenosa podataka dok je u pokretu, a naziva se *roaming*. *Roaming* se podržava samo unutar istog ESS segmenta. Ako prijeđemo u drugi SS segment, veza biva ponovno uspostavljena, ali se započeti prijenos ne nastavlja transparentno, nego ga treba ponovno uspostaviti. Usluge distribucije i integracije omogućuju prijenos korisničkih podataka do odredišta ako je odredište povezano na drugu pristupnu točku, odnosno BSS segment.

7.2. Pristupna točka AP

Pristupna točka AP (*Access Point*) primopredajni je uređaj koji predstavlja most između fiksne žičane mreže i bežičnih stanica u svojem dometu. Uloga joj je da prima, pohranjuje i prosljeđuje podatke između WLAN-a i klasične žičane mrežne strukture. Može podržavati promet manje grupe do 50 pokretnih stanica, a pri manjem prometu i do 200 stanica. Ovisno o konfiguraciji terena područje rada može iznositi i do nekoliko stotina metara. Antena je spojena na pristupnu točku i smještena je tako da pokriva željeno područje.

Ako postoji više pristupnih točaka tako da se područja (ćelije) koje pokrivaju međusobno preklapaju, one zajednički raspoređuju promet tako da se može dobiti veća zbirna propusnost. To omogućuje bežično priključenim stanicama da se kreću iz ćelije u ćeliju bez prekida rada. Jedna pristupna točka AP automatski predaje kontrolu drugoj te tako mogu pokriti veće područje na kojem korisnik ne gubi vezu s mrežom (*handover*).

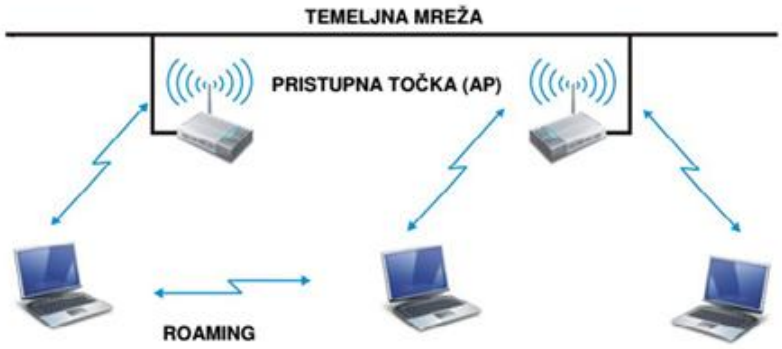
Krajnji korisnik komunicira s pristupnom točkom pomoću WLAN adaptera koji je ugrađen u PC karticu *notebooka* ili *laptopa*, ISA (*Industrial Standard Architecture*), ili PCI (*Peripheral Component Interconnect*) karticu ili potpuno integriran u računalo. WLAN adapter predstavlja sučelje klijenta mrežnog operacijskog sustava NOS (*Network Operation Systems*) i bežičnog linka preko antene.

Bežične lokalne mreže rabe frekvencije signala iz ISM (*Industrial, Scientific, Medical applications of radio*) frekvencijskog područja:

- 902 – 928 MHz (26 MHz širina pojasa)
- 2,4 – 2,5 GHz (100 MHz širina pojasa)
- 5,725 – 5,875 GHz (150 MHz širina pojasa).

7.2.1. Pridruživanje pristupnim točkama

Povezivanje korisnika s pristupnom točkom definira MAC sloj protokola 802.11. Kada paket temeljen na protokolu 802.11 dođe na granicu jedne ili više pristupnih točaka s obzirom na snagu signala i učestalost pogreške paketa, korisnik odabire pristupnu točku. Ako je prihvaćen od pristupne točke, korisnik se prilagođava radijskom kanalu na kojem je pristupna točka.
U određenim vremenskim intervalima (periodično) korisnik pregledava sve 802.11 kanale procjenjujući imaju li druge pristupne točke bolje performanse. Ako ustanovi da je to tako, pridružuje se novoj pristupnoj točki prebacujući se na radijski kanal na kojem je nova pristupna točka, slika 7.4.

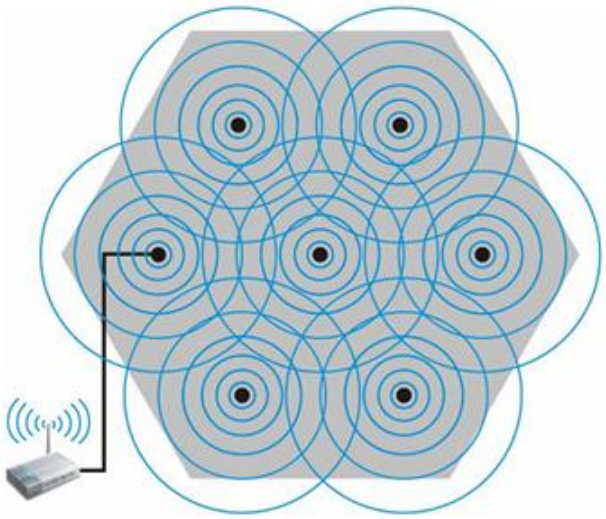


Slika 7.4. AP *roaming*

Do pridruživanja novoj pristupnoj točki obično dolazi, jer se bežična stanica fizički udaljava od izvorne točke. Informacijski signal slabi zbog tog udaljavanja, zbog promjena radijskih karakteristika u zgradi ili zbog velikog prometa mreže na izvornoj točki pristupa. Posljednji slučaj poznat je kao balansiranje korisničkim opterećenjem, pri čemu se efikasnije raspodjeljuje promet WLAN mreže preko dostupne bežične infrastrukture. Postupak dinamičnog pridruživanja pristupnim točkama omogućuje mrežnim menadžerima izgradnju WLAN mreža s veoma širokom pokrivenosti stvarajući niz preklapajućih 802.11b ćelija.

Da bi bili uspješni, IT (*Information Technology*) menadžeri zasigurno će ponovno upotrijebiti kanal, vodeći brigu da postave svaku pristupnu točku tako da se 802.11 DSSS kanal ne preklapa s korištenim kanalom susjedne pristupne točke, slika 7.5. Od četrnaest djelomično preklapajućih kanala, specificiranih 802.11 DSSS tehnikom, samo su tri kanala koja se ne preklapaju i upravo su oni najbolji za višećelijsko preklapanje.

Međutim, ako su dvije pristupne točke u nizu (na granici) jedna za drugom i ako su postavljene na istom kanalu ili djelomično preklapajućim kanalima, mogu prouzročiti međusobnu interferenciju. To dovodi do smanjivanja dostupnosti pojasne širine na mjestu preklapanja.



Slika 7.5. Neograničen *roaming*

7.3. Konfiguracije WLAN mreža

WLAN mreže spadaju u tzv. ćelijske (*celular*) mreže. Naziv ćelija primjenjuje se zbog oblika prostornog područja koje pokriva jedna pristupna točka AP. Stoga je ćelija područje pokrivanja jedne pristupne točke AP, koje je oko 100 metara u zatvorenom, a oko 300 metara u otvorenom prostoru ovisno o konfiguraciji prostora.

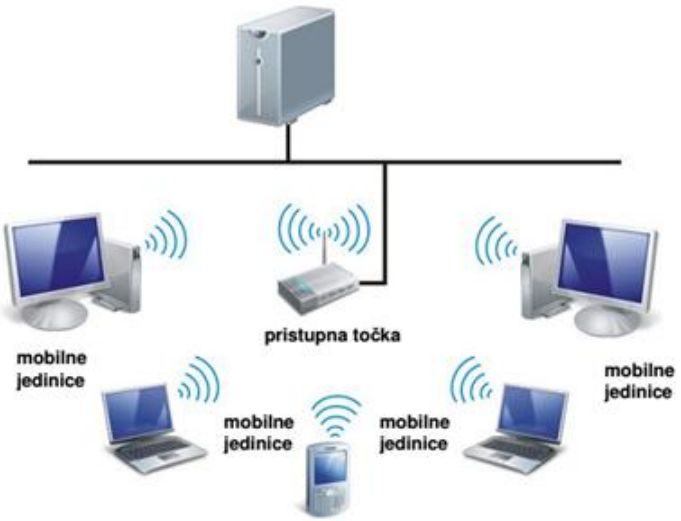
Postoje četiri konfiguracije bežične LAN mreže:

- ***konfiguracija jedne ćelije*** – WLAN mreža sastoji se od pristupne točke i bežičnih radnih stanica koje su s njom povezane
- ***konfiguracija preklapajućih ćelija*** – WLAN mreža sastoji se od dviju ili više susjednih pristupnih točaka čija se područja pokrivanja pomalo preklapaju
- ***višećelijska konfiguracija*** – WLAN mreža sastoji se od nekoliko pristupnih točaka instaliranih na istoj lokaciji, što povećava pristupnost
- ***višekoračna konfiguracija (multi-hop)*** – WLAN mreža sadržava AP-WB (*bridge*) parove koji proširuju područje pokrivenosti mreže.

Bežična LAN mreža uglavnom sadržava nekoliko tih konfiguracija na različitim mjestima unutar sustava.

Konfiguracija jedne ćelije

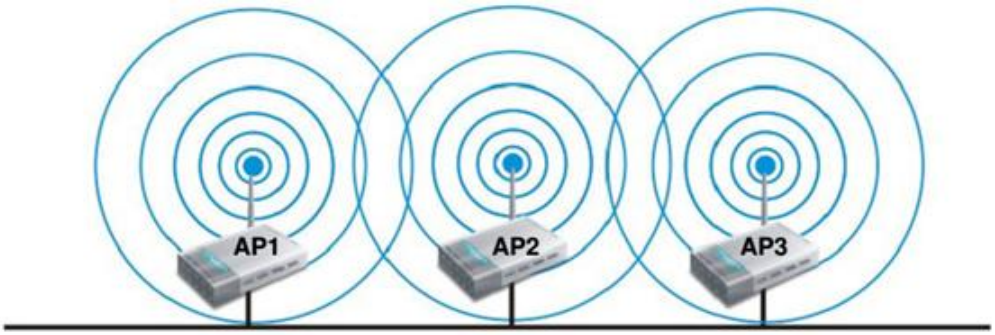
Ovo je najjednostavnija konfiguracija i služi kao osnova za druge konfiguracije. Ona sadržava jednu pristupnu točku i s njom povezane bežične radne stanice, slika 7.6. Ova se konfiguracija upotrebljava u demonstracijske svrhe, kada se samo želi pokazati da se različiti uređaji mogu povezati u mrežu bez kablova, ili u uredima gdje se nalazi samo nekoliko (približno deset) korisnika na malom prostoru.



Slika 7.6. Konfiguracija jedne ćelije

Konfiguracija preklapajućih ćelija

Kod ove se konfiguracije WLAN mreža sastoji od dviju ili više pristupnih točaka čija se područja pokrivanja preklapaju, slika 7.7. Ovo je inače najčešće korištena konfiguracija WLAN mreža.



Slika 7.7. Konfiguracija preklapajućih ćelija

Preklapanje prostora ima dva važna svojstva:

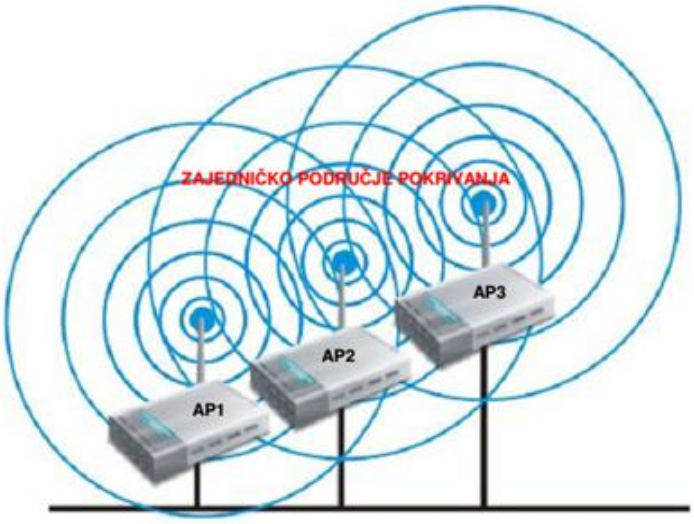
- svaka radna stanica smještena na području preklapanja može se povezati i komunicirati s prvom ili s drugom pristupnom točkom, što je vrlo važno kada je jedna od pristupnih točaka prometno preopterećena

- svaka radna stanica može se neometano (bešavno) pomicati iz područja jedne ćelije u područje druge ćelije bez gubitka veze. To svojstvo se naziva *roaming* (*handover* ili *handoff*).

Konfiguracija preklapajućih ćelija upotrebljava se za pokrivanje kata ili cijele zgrade gdje se korisnici žele kretati sa svojim mobilnim jedinicama bez gubitka veze s mrežom.

Višećelijska konfiguracija

Ova vrsta konfiguracije upotrebljava se u prostorima gdje se očekuje velik broj korisnika (stanica) koji zahtijevaju istodobni pristup mreži (konferencijske dvorane, zračne luke, hoteli itd.). Kod ove se konfiguracije dvije ili više pristupnih točaka instaliraju na istoj lokaciji, slika 7.8. Svaka pristupna točka ima isto ili približno isto područje pokrivanja tako da se svaka radna stanica može povezati i komunicirati s bilo kojom pristupnom točkom.



Slika 7.8. Višećelijska konfiguracija

Višekoračna konfiguracija

Ova se konfiguracija upotrebljava kada treba povezati dva područja koja nisu na liniji vidljivosti. To je omogućeno primjenom parova AP-WB (*Access Point – Wireless Bridge*) koji se postavljaju na lokaciju s koje se mogu vidjeti izvorne lokacije, slika 7.9. (djeluju kao točke proširenja EP – *Extension Point*). Točke proširenja ponašaju se kao pristupne točke odnosno točke prosljeđivanja, ali nisu povezane sa žičanom mrežom.

Slika 7.9. Višekoračna konfiguracija

Ove točke povećavaju domet mreže usmjerivanjem signala od korisnika prema pristupnoj točki ili nekoj drugoj točki proširenja. Na taj se način mogu povezati WLAN mreže dvaju udaljenih objekata ili područje gdje žičana LAN mreža nije dostupna. Dodavanjem još jedne pristupne točke AP-WB koja distribuira promet bežične temeljne mreže može se proširiti granica sustava, slika 7.10.

Slika 7.10. Proširena višekoračna konfiguracija

7.4. WLAN standardi

Intenzivno istraživanje i razvoj WLAN mreža, što je započelo devedesetih godina prošlog stoljeća, potaknulo je standardizacijsko tijelo IEEE na donošenje normativnih akata, od kojih su najznačajniji:

- ***Standard IEEE 802.11***, donesen 1997. godine, definira WLAN mreže koje rade u frekvencijskom području 2,4 GHz s brzinama prijenosa podataka od 1 Mbit/s i 2 Mbit/s. Te brzine nisu bile dovoljne za podržavanje većine usluga poslovnih korisnika.
- ***Standard IEEE 802.11b*** (*High Rate*), donesen u rujnu 1999., ima obilježja kompatibilnosti s osnovnim standardom uz ostvareno povećanje brzine prijenosa podataka od 5,5 Mbit/s i 11 Mbit/s. Ove mreže također rade u frekvencijskom području od 2,4 GHz. Na ovaj su se način WLAN mreže približile podatkovnim brzinama klasičnih žičanih mreža Ethernet (IEEE 802.3), *Token Bus* (IEEE 802.4) i *Token Ring* (IEEE 802.5).
- ***Standard IEEE 802.11a*** definira brzine prijenosa podataka do 54 Mbit/s u frekvencijskom području od 5 GHz (donesen 1999.).
- ***Standard IEEE 802.11g*** definira WLAN mreže koje rade u frekvencijskom području 2,4 GHz s brzinama prijenosa podataka od 54 Mbit/s (donesen 2003.).
- ***Standard IEEE 802.11-2007*** objedinjuje prethodne standarde (a, b, g) uz neke dopune i poboljšanja (d, h, j) (donesen 2007.).
- ***Standard IEEE 802.11n*** uvodi MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) tehniku i definira WLAN mreže koje rade u frekvencijskom području 2,4 i 5 GHz s brzinama prijenosa podataka do 600 Mbit/s (donesen 2009.).
- ***Standard IEEE 802.11ac*** osigurava još veće prijenosne brzine do 6,77 Gbit/s kroz kanal veće širine (80 MHz i 160 MHz), veći broj MIMO prostornih nizova (*spacial streams*) i veću razinu modulacije 256-QAM te višekorisnički MIMO (*multiuser* MIMO) pristup (donesen 2014.).

Sve navedene brzine predstavljaju maksimalne brzine (uključujući i signalizacijske bitove), pa je stvarna propusnost korisničkih informacija dosta niža (oko pola).

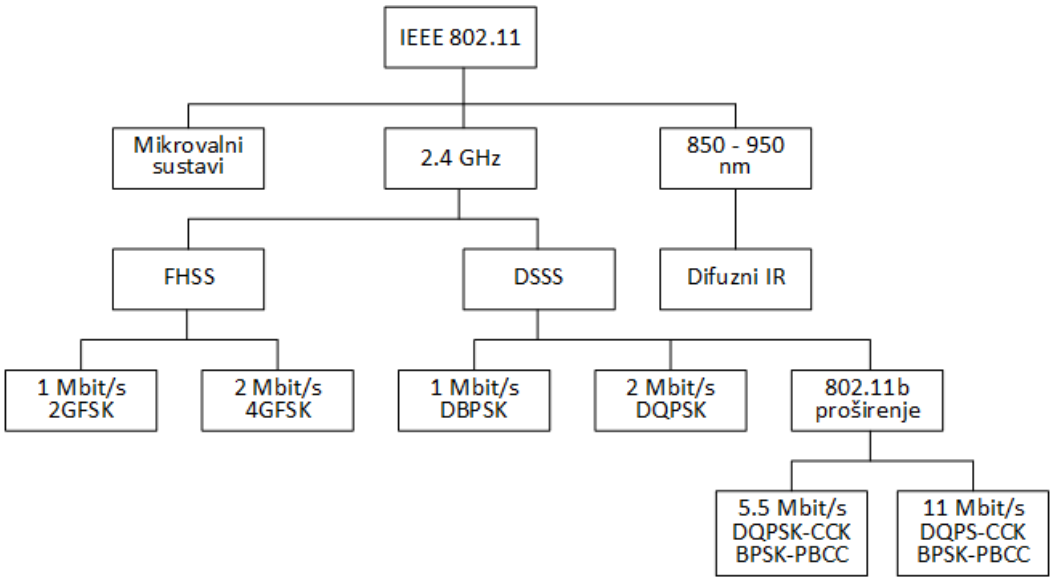
Europsko standardizacijsko tijelo ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) krajem 1999. godine donijelo je standard pod nazivom HiperLAN2 (*High Speed Wireless Local Area Network*). Ova mreža radi u 5 GHz području i omogućuje brzine prijenosa do 54 Mbit/s. Ovaj standard sličan je standardu IEEE 802.11a.

Slična mreža standardizirana je i u Japanu pod nazivom HiSWAN (*High Speed Wireless Access Network*).

Standard 802.11 podijeljen je u dva glavna sloja, fizički i podatkovni sloj, pri čemu se podatkovni sloj dijeli na još dva podsloja: sloj upravljanja pristupom prijenosnom mediju MAC (*Media Access Control*) i sloj nadzora logičke veze LLC (*Logical Link Control*).

7.4.1. Fizički sloj

Fizički sloj standarda IEEE 802.11 definira sljedeće prijenosne tehnologije: ortogonalno frekvencijsko multipleksiranje, mikrovalnu, infracrvenu i radiofrekvencijsku tehnologiju. Prikaz tehnologija dan je na slici 7.11. i u tablici 7.1.



Slika 7.11. Tehnologije na fizičkom sloju standarda IEEE 802.11 i 802.11b

Tablica 7.1. Prikaz IEEE 802.11 standarda na fizičkom sloju

Standard	Band (GHz)	Širina pojasa (MHz)	Modulacija	Tehnologija antena	Max brzina prijenosa
802.11	2.4	20	DSSS, FHSS	N/A	2 Mbit/s
802.11b	2.4	20	DSSS	N/A	11 Mbit/s
802.11a	2.4	20	OFDM	N/A	54 Mbit/s
802.11g	5	20	DSSS, OFDM	N/A	54 Mbit/s
802.11n	2.4	20, 40	OFDM	MIMO do 4 prostorna toka	600 Mbit/s
802.11ad	60	60	SC, OFDM	Usmjereni snop	7 Gbit/s
802.11ac	5	40, 80, 160	OFDM	MIMO, MU-MIMO do 8 prostor. tokova	7 Gbit/s

Mikrovalna tehnologija najslabije je zastupljena WLAN tehnologija (više se i ne koristi). Mikrovalni bežični sustavi rabe uskopojasni prijenos s frekvencijskom modulacijom u frekvencijskom području od 5 GHz, te rade sa snagama manjima od 500 mW.

Infracrvena tehnologija IR (*InfraRed technology*) malo se koristi u komercijalnim WLAN sustavima. Prijenos podataka kod ove tehnologije zahtijeva vrlo visoke frekvencije (nešto ispod vidljivog spektra $\lambda = 850 – 950$ nm). Brzine prijenosa su do 10 Mbit/s. Osnovni nedostatak je ograničen domet, jer signali ne prodiru kroz zidove i druge fizičke prepreke. IR prijenos može biti usmjeren na vidljivu točku ili difuznu (reflektirajuću) točku. Koristi se samo u eksperimentalne ili istraživačke svrhe.

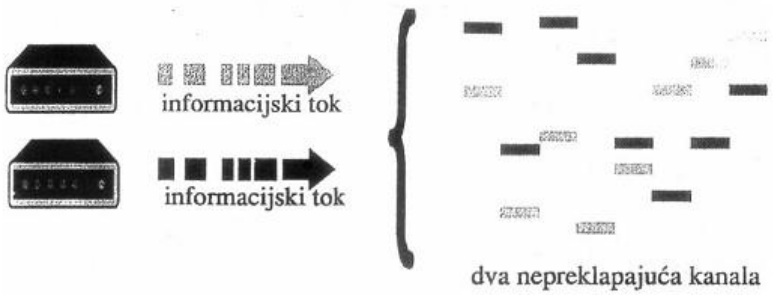
Radiofrekvencijska tehnologija RF (*Radio Frequency*) najzastupljenija je tehnologija u WLAN mrežama. To je radiofrekvencijska tehnika s raspršenim spektrom (*Spread Spectrum*) temeljena na prijenosu radiovalova, koja je prvotno bila razvijena za vojne svrhe jer omogućuje veću pouzdanost i propusnost, nesmetano prodiranje kroz objekte, malu gustoću snage i redundanciju. Ove su mreže veoma otporne na šum i interferenciju. Postoje dvije vrste tehnologija s raspršenim spektrom:

- tehnologija raspršenog spektra s poskakivanjem frekvencije FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)
- tehnologija raspršenog spektra s izravnim nizom DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).

Posljednje generacije WLAN uređaja upotrebljavaju i radiofrekvencijsku tehnologiju ortogonalnog frekvencijskog multipleksiranja OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).

7.4.1.1. FHSS tehnologija

FHSS sustavi rade u frekvencijskom području od 2,4 GHz (2,4 – 2,5 GHz, $\Delta f = 100$ MHz) koji je podijeljen na 79 neprekrivajućih potkanala širine 1 MHz. Time se omogućuje istovremeni rad više različitih bežičnih mreža unutar istog područja bez interferencije. Tehnologija prijenosa sastoji se u tome da predajnik odašilje kratke nizove podataka na određenoj frekvenciji određeno vrijeme, a potom se prebacuje na drugu frekvenciju, slika 7.12.



Slika 7.12. FHSS prijenos

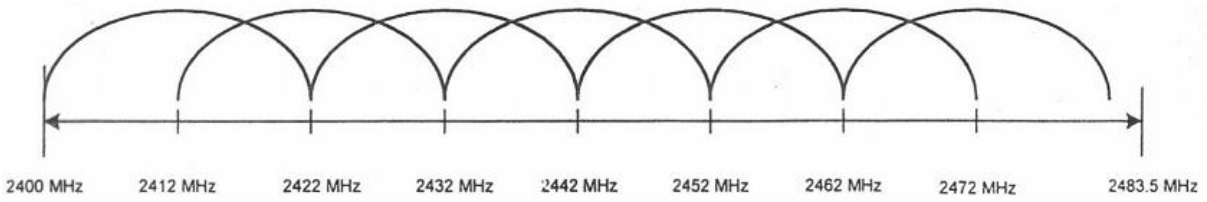
Sustav obavlja 75 poskakivanja u 30 sekunda što odgovara 2,5 skokova u jednoj sekundi odnosno jedan skok svakih 400 ms. Predajnik i prijamnik trebaju biti sinkronizirani prema sekvenciji poskakivanja kako bi održali logički kanal, jer u suprotnom dolazi do gubitka podataka. Sustav koji se temelji na tehnologiji poskakivanja frekvencije otporan je na interferenciju, jer se frekvencija stalno mijenja. Ako se pojavi interferencija na jednoj frekvenciji, podatci se ponovno šalju na drugoj frekvenciji.

Kontinuirano mijenjanje frekvencije čini FHSS sustav manje podložnim presretanju i preslušavanju prijenosa od neovlaštenih stanica. Time se postiže visok stupanj sigurnosti prijenosa. FHSS tehnologija ima i relativno jednostavan radiodizajn, ali prijenos brzinama ne prelazi 2 Mbit/s.

To ograničenje postavilo je Savezno povjerenstvo za komunikacije FCC (*Federal Communications Commission USA*) propisima koji ograničavaju širinu potkanala na 1 MHz. Ovim se propisima zahtijeva uporaba FHSS sustava preko čitavog 2,4 GHz pojasa, što znači da moraju često poskakivati, a to dovodi do visokog preteka preskakanja.

7.4.1.2. DSSS tehnologija

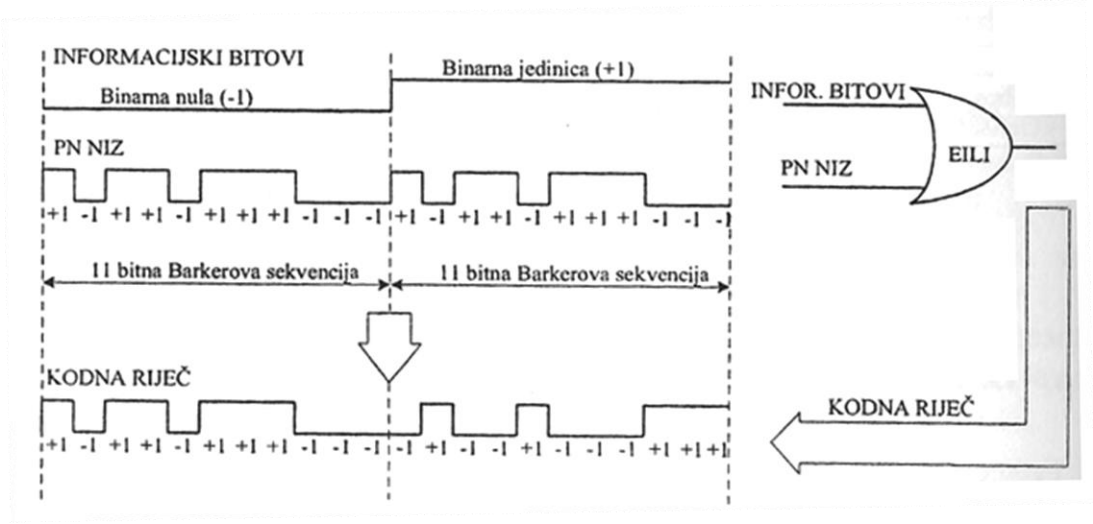
Kod DSSS sustava frekvencijsko područje od 2,4 GHz (2,4 – 2,5 GHz, Δf = 100 MHz) podijeljeno je na četrnaest kanala širine 22 MHz. Susjedni kanali djelomično se preklapaju, a od toga su tri kanala nepreklapajuća, slika 7.13. Podatci se šalju jednim 22 MHz kanalom bez poskakivanja po drugim kanalima, a pri modulaciji signala upotrebljava se generirani slučajni niz. Razmak između frekvencija je 5 MHz (osim za kanal 14 koji je razmaknut od prethodnoga za 12 MHz). Za neometani rad bez interferencije standard 802.11b zahtijeva razmak između susjednih kanala od 25 MHz.



Slika 7.13. DSSS kanali

S praktičnog aspekta djelomično preklapanje kanala predstavlja značajno ograničenje. Postoje ukupno do tri nepreklapajuća kanala na razini cijelog 2,4 GHz spektra (npr. kanali 1, 6, 11 ili 2, 7, 12 itd.). Isto područje može biti pokriveno s maksimalno tri različita nepreklapajuća kanala.

Kako bi se kompenzirao utjecaj šuma, upotrebljava se tehnika nazvana *chipping*, kod koje se vrši kodiranje informacijskih bitova sa sekvencijom od *N* bitova. U DSSS sustavima s brzinom prijenosa od 1 Mbit/s i 2 Mbit/s koristi se pseudoslučajni niz od 11 bitova poznat pod nazivom *Barkerov niz*, slika 7.14.



Slika 7.14. Raspršivanje podataka pomoću Barkerova niza (*chipping*)

Niz od 11 *chipova* predstavlja jedan podatkovni bit (1 ili 0) koji se pretvara u oblik zvan simbol. Simboli prenošeni brzinom od 1 Mbit/s upotrebljavaju digitalnu modulaciju s binarnim faznim pomakom BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), dok se za prijenosne brzine od 2 Mbit/s koristi četverofazna digitalna modulacija QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), pri čemu se povećavanjem djelotvornosti uporabe pojasne širine udvostručuje brzina prijenosa podataka.

Pri primjeni DSSS tehnike, raspršenje spektra podatkovnog toka ostvaruje se zamjenom jedinica (1) u izvornom podatkovnom toku sa specifičnim slijedom podbitova, tzv. čipova (*chips*), a nule (0) se zamjenjuju inverzijom navedenih podbitova. Što je signal raspršeniji, manja je vjerojatnost frekvencijske inteferencije.

U DSSS sustavima s brzinom prijenosa od 5,5 Mbit/s i 11 Mbit/s upotrebljava se niz od 64 8-bitnih kodnih riječi (CCK modulacijska shema – *Complementary Code Keying*). Pomoću takvih nizova, tj. tehnikom skrembliranja (*chipping*), svaki informacijski bit korisnika pretvara se u seriju redundantnih bitova nazvanih *chips*. Ove serije redundantnih bitova dalje se moduliraju jednom od prikladnih modulacija. Za brzine prijenosa od 5,5 Mbit/s koristi se CCK za kodiranje 4 bita po nositelju, dok se kod 11 Mbit/s brzina kodira 8 bitova po nositelju. U oba slučaja koristi se QPSK modulacija i signal od 1,357 MS/s.

Ako je jedan ili više bitova u uzorku oštećeno tijekom prijenosa, ugrađene statističke tehnike mogu obnoviti podatke, stoga nema potrebe za ponovnim prijenosom. DSSS sustavi postižu brzine do 11 Mb/s, otporniji su na prekide i smetnje (zbog sposobnosti raspršenja signala na šire frekvencijsko područje) u odnosu na FHSS sustave, pa imaju nešto veći domet.

Sve tehnologije 802.11 izvedene su tako da su interoperabilne sa žičanim Ethernet LAN mrežama i drugim uređajima iste vrste. Međutim, 802.11 FHSS i DSSS sustavi nisu međusobno kompatibilni. Standard 802.11b WLAN upotrebljava samo DSSS tehnologiju, jer FHSS sustavi ne mogu podržati zahtijevane brzine prijenosa.

7.4.2. MAC sloj

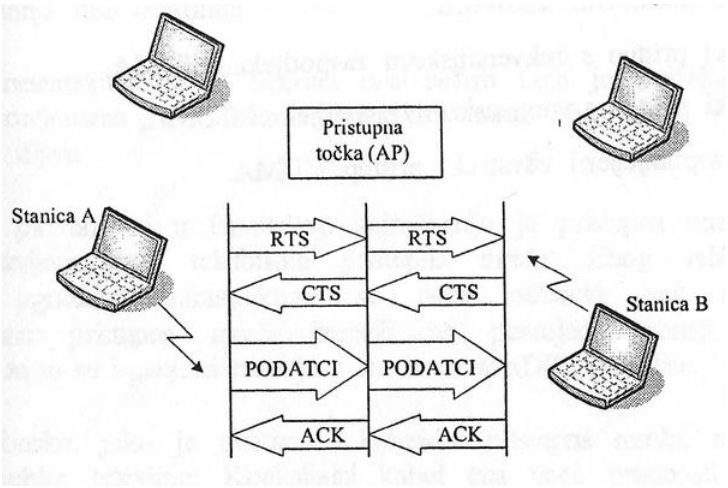
MAC sloj je sloj upravljanja pristupom prijenosnom mediju za WLAN mreže, a određen je standardom 802.11. Iako mu je to glavna funkcija, ovaj sloj obavlja i funkcije kao što su cijepanje (fragmentacija) paketa, šifriranje, upravljanje utroškom energije, sinkronizacija te sigurnost i provjera vjerodostojnosti. U onim primjenama gdje postoji više pristupnih točaka MAC sloj obavlja i podršku *roamingu*.

U klasičnim LAN mrežama primjenjuje se uglavnom metoda višestrukog pristupa s detekcijom nositelja i otkrivanjem sudara CSMA/CD kao protokol pristupa mediju. Međutim, na WLAN mreže ne može se primijeniti ovaj protokol definiran standardom 802.3, jer se preko bežičnoga prijenosnog medija ne mogu izravno detektirati sudari paketa kao kod žičanog medija. Kod

WLAN mreže također se može pojaviti i problem „skrivene stanice“, slika 7.15., koji je više izražen kod *Ad hoc* načina rada. Kao što se vidi na slici, ako stanica R nije u mogućnosti „čuti“ stanicu O, a stanica O već odašilje, stanica R će početi istodobno odašiljati i dolazi do sudara.

Slika 7.15. Problem skrivene stanice

Standard 802.11 rješava taj problem definiranjem protokola pod nazivom višestruki pristup mediju s detekcijom nositelja i izbjegavanjem sudara CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). Protokol se zasniva na principu fizičkog mjerenja signala nositelja na strani pošiljatelja (čeka slobodan (*idle*) kanal) i virtualnog mjerenja signala nositelja na strani primatelja (mehanizam RTS/CTS – problem skrivene stanice). Prikaz rada protokola CSMA/CA prikazan je na slici 7.16.



Slika 7.16. CSMA/CA protokol

Za prijenos se najčešće koristi distribuirana koordinacijska funkcija DCF (*Distributed Coordination Function*).

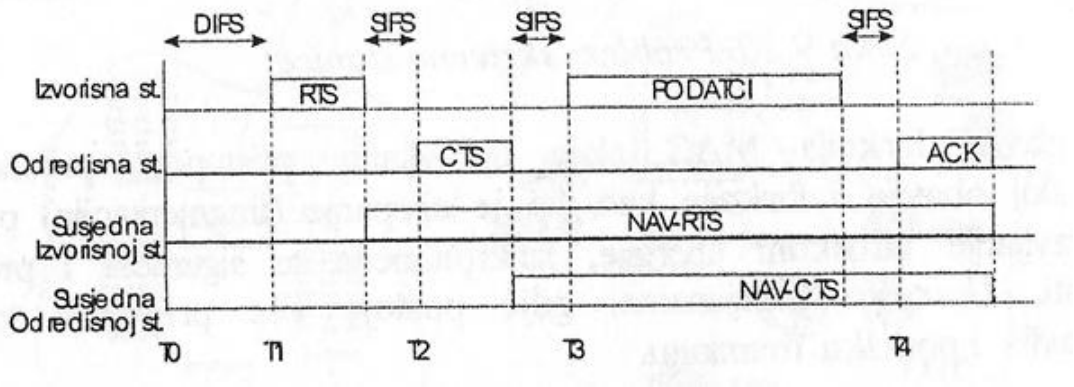
Primjenom ovog protokola stanica A prije odašiljanja podataka najprije osluškuje prijenosni medij u trajanju vremenskog perioda DIFS (*DCF Inter Frame Spacing*). Vremenski brojač je inicijalno postavljen na minimalnu vrijednost 16. Ako je medij zauzet (*busy*), prijenos postoji,

stanica ne pokušava slati podatke, već čeka dok se medij ne oslobodi. Stanica ulazi u proces tzv. „slučajnog zadržavanja“ BEB (*Binary Exponential Backoff*). Ako je medij slobodan (*idle*), nakon isteka brojača stanica A ne započinje odmah sa slanjem paketa, već prvo šalje signal spremnosti za slanje RTS (*Ready to Send*), čime zapravo vrši rezervaciju prijenosnog medija. Ovaj signal sadržava adresu primatelja podataka i predviđeno trajanje prijenosa. Na taj se način ostale stanice obavještavaju koliko trebaju čekati prije negoli i same otpočnu sa slanjem.

Stanica B, koja je označena kao primatelj u RTS signalu, po primitku ovoga signala nakon kratkog vremenskog intervala SIFS (*Short Inter Frame Spacing*) odgovara predajnoj stanici A slanjem signala CTS (*Clear to Send*) potvrđujući tako spremnost primanja podataka odnosno rezervaciju medija. Obje poruke RTS i CTS u sebi nose informaciju o duljini trajanja zauzeća kanala.

Sve stanice u blizini predajne i odredišne stanice ažuriraju svoj vektor rezervacije mreže NAV (*Network Allocation Vector*) informacijom o duljini trajanja zauzeća kanala kako ne bi došlo do kolizije.

Nakon toga stanica A započinje prijenos podataka (DATA), a stanica B primitak svakog paketa mora potvrditi ACK (*Acknowledge*) paketom, slika 7.17.



Slika 7.17. CSMA/CA protokol (RTS/CTS)

Ako je pokušaj zauzeća slobodnog medija bio neuspješan, tj. za vrijeme odbrojavanja DIFS-a neka druga stanica zauzela je medij, izvorišna stanica pokreće BEB algoritam i udvostručuje svoj vremenski brojač DIFS. Vremenski brojač se ne udvostručuje ako se postigne maksimalna vrijednost koja iznosi 256. Nakon uspješne transmisije vremenski brojač se vraća na minimalnu vrijednost 16.

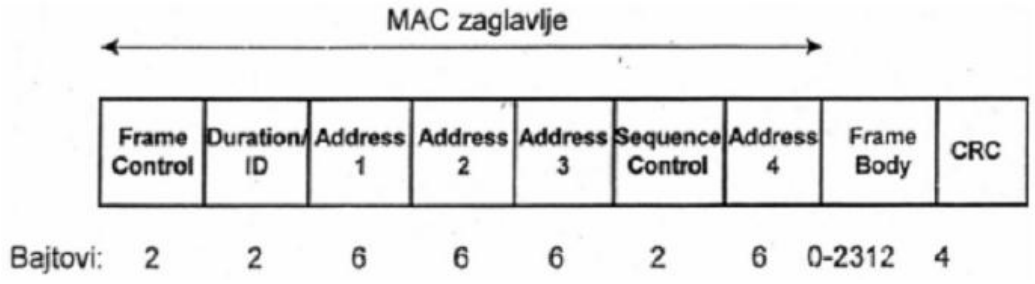
ACK mehanizam veoma uspješno rješava interferenciju i slične radioprobleme. Paket podataka u WLAN mreži koja se temelji na standardu 802.11 ima veće zaglavlje u odnosu na zaglavlje paketa u mreži Ethernet pa mreža temeljena na standardu 802.11 ima sporije performanse nego ekvivalentna mreža Ethernet.

MAC sloj protokola 802.11 osigurava dva svojstva: CRC ispitni zbroj (*Cyclic Redundancy Check*) i fragmentaciju paketa. Svaki paket ima proračunan i odijeljen CRC ispitni zbroj koji osigurava neometan prijenos podataka. Fragmentacijom paketa veći paketi razbijaju se na manje jedinice, što je korisno pri zagušenju prometa ili kada dođe do interferencije, jer manji paketi imaju veće izglede da će neometano stići na odredište. U mnogim slučajevima ova tehnika smanjuje potrebu za retransmisijom i poboljšava performansu bežične mreže. MAC sloj je odgovoran za ponovno sastavljanje primljenih fragmenata, automatski dovršavajući transparentni proces prema protokolima viših razina.

Osim DCF funkcije, IEEE 802.11b definira kao opcionalnu pristupnu metodu i centraliziranu koordinacijsku funkciju PCF (*Point Coordination Function*) koja omogućuje slanje usluga u realnom vremenu i neku rudimentarnu podršku QoS, a koristi se samo kao opcija u infrastrukturnom radu. Pojednostavljeno rečeno, radi na centraliziranom principu da pojedina stanica postaje koordinator koji upravlja prometom prozivajući pojedinu stanicu. Ova se metoda u odnosu na DCF metodu razlikuje i u vremenskim razmacima koji proteknu u razmjeni poruka u postupku pristupa prijenosnom mediju te u vrsti i broju poruka koje se razmjenjuju, a zbog toga se eliminira problem skrivene stanice.

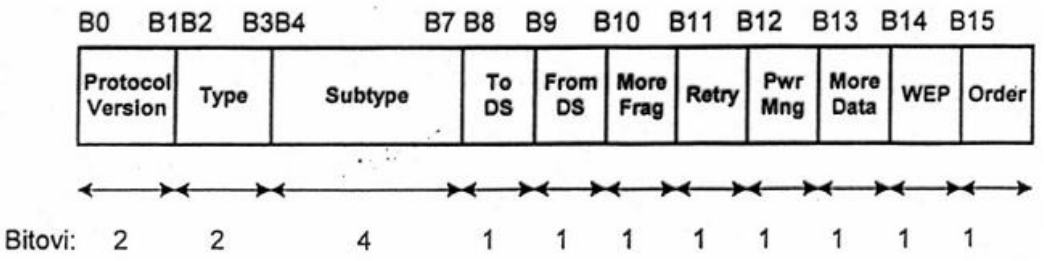
7.4.2.1. Struktura MAC okvira

Struktura MAC okvira za WLAN mreže prema specifikaciji standarda 802.11 prikazana je na slici 7.18. Svaki okvir se sastoji od MAC zaglavlja, tijela okvira i polja provjere ispravnosti okvira CRC (*Cycle Redundancy Check*).



Slika 7.18. Struktura WLAN MAC okvira

MAC zaglavlje sadržava 30 bajtova, a sastoji se od sedam polja: kontrole okvira, trajanja i identifikacije, prve adrese, druge adrese, treće adrese, kontrole sekvencije i četvrte adrese.



Slika 7.19. Struktura kontrolnog polja WLAN MAC okvira

Polje kontrole okvira (*Frame Control Field*) dužine je 2 bajta, a sastoji se od 11 potpolja, kao što je prikazano na slici 7.19. (duljine polja u bitovima):

- *Protocol Version* – dužine je 2 bita i sadržava verziju 802.11 standarda. Inicijalna vrijednost će biti 0, nakon što 802.11 bude konačno dovršen, dok su sve ostale vrijednosti rezervirane.
- *Type* i *SubType* – dužine su 2 i 4 bita. Prva dva polja, odnosno potpolja, definiraju funkcije dotičnog okvira. Svako od preostalih osam polja ima dužinu 1 bit.
- *To DS* – polje označava ulazi li okvir u DS sustav (tada je 1).
- *From DS* – polje označava napušta li okvir DS sustav (tada je opet 1).
- *More Frag* – polje je 1 kada je ovaj okvir dio većeg okvira.
- *Retry* – polje označava je li okvir ponovio poslani prijašnji okvir.
- *Power Management* – polje označava radi li stanica pošiljatelj u štednom modu (*Power Saving Mode*).
- *More Data* – polje označava kako postoji još MSDU okvira (okvir koji prenosi informacije o MAC usluzi mreže za dotičnu stanicu u međuspremniku).
- *WEP* – bit polja postavljen je u "1" ako je tijelo okvira šifrirano WEP algoritmom.
- *Order* – bit polja postavljen je u "1" ako okviri u prijenosu moraju biti primljeni u pravom redoslijedu.

Polje trajanja i identifikacije (*Duration/ID*) dužine je 2 bajta, a sadržava podatke o vremenu trajanja svakog polja i identifikaciju stanice pošiljatelja kontrolnih okvira. Adresna polja identificiraju BSS sustave, odnosno adresu primatelja i pošiljatelja te adrese prijamnika odnosno predajnika. Svako adresno polje dužine je 6 bajtova, što je standardno za MAC adrese. Polje kontrole sekvencije dužine je 2 bajta i podijeljeno je u dva potpolja, broj fragmenata i broj sekvencije. Broj fragmenta dužine je 4 bita i označava na koliko je fragmenata MSDU okvir razbijen, dok je broj sekvencije dužine 12 bitova i označava broj sekvencije MSDU paketa. Tijelo okvira dužine je od 0 do 2312 bajtova i sadržava samo podatke koji se prenose, dok je polje provjere ispravnosti okvira (FCS) dužine 32 bita i sadržava cikličku provjeru pogrešaka, CRC (*Cyclic Redundancy Check*).

7.5. Karakteristike WLAN mreže

Pregled osnovnih karakteristika WLAN mreža dan je u nastavku:

- **Domet i pokrivanje**

Udaljenost na kojoj se može ostvariti komunikacija uporabom radiofrekvencijskih (RF) i infracrvenih (IR) valova jest funkcija izvedbe samih uređaja što uključuje predajnu snagu i izvedbu prijamnika. Međudjelovanje je s objektima zatvorenog prostora kao što su zidovi i metal, pa čak i ljudi utječu na prostiranje energije, a time i na domet i pokrivanje pojedinog sustava. Čvrsti objekti blokiraju infracrvene signale, što nameće dodatna ograničenja. Većina bežičnih LAN mreža upotrebljava RF tehnologiju, jer radiovalovi prolaze kroz unutarnje zidove i prepreke. Domet varira od 100 do 1000 m, a pokrivanje se može ostvariti *roamingom*.

- **Propusnost**

Čimbenici koji utječu na propusnost sustava jesu broj korisnika, domet i višestazno prostiranje signala, topologija i tehnologija izvedbe te i uska grla pri prelasku na žičanu LAN mrežu. Bežična LAN mreža osigurava propusnost dostatnu za većinu uredskih aplikacija, što uključuje elektroničku poštu, pristup perifernoj opremi, internetu, višekorisničkim bazama podataka i aplikacijama.

- **Cjelovitost i pouzdanost**

Bežična tehnologija opravdala je svoje postojanje tijekom više od 50 godina i u komercijalne i u vojne svrhe. Robusna izvedba dokazanih bežičnih LAN tehnologija i ograničena udaljenost na kojoj putuje signal osiguravaju pouzdanu vezu i cjelovitost podataka.

- **Kompatibilnost s postojećim mrežama**

Većina bežičnih LAN mreža omogućuje povezivanje sa žičanim mrežama tipa Ethernet ili *Token Ring*. Mrežni operacijski sustav podržava čvorove WLAN mreža preko upravljačkog programa (*driver*), dakle kao i svaki drugi LAN čvor.

- **Sposobnost zajedničkog rada bežičnih uređaja**

Korisnici trebaju biti svjesni činjenice da bežični LAN sustavi različitih proizvođača ne moraju biti sposobni za zajednički rad, jer sustavi različitih tehnologija prijenosa i različitog frekvencijskog područja ne mogu zajednički djelovati. Sustavi se mogu temeljiti na istoj tehnologiji i čak djelovati u istom frekvencijskom pojasu, ali ne mogu ostvariti zajednički rad ako postoje razlike u izvedbi opreme.

- **Dopuštenje za rad**

Bežične LAN mreže projektirane su i izvedene tako da ne zahtijevaju posebno dopuštenje za rad, jer se koriste frekvencijama iz industrijsko-znanstveno-medicinskog pojasa, ISM (*Industrial-Scientific-Medical Band*), tj. od 902 do 928 MHz, 2,4 – 2,483 GHz, 5,15 – 5,35 GHz i 5,725 – 5,875 GHz. Sustavi koji upotrebljavaju uskopojasni radioprijenos moraju zatražiti posebno dopuštenje za uporabu radiofrekvencije.

- **Jednostavnost instalacije**

Instaliranje bežične LAN mreže može biti brzo i jednostavno, jer eliminira potrebu za provlačenje kabela kroz stropove i zidove, a prenosivost sustava omogućuje prekonfiguraciju i ispitivanje mreže prije instaliranja na pravoj lokaciji.

- **Troškovi instaliranja i održavanja**

Implementiranje WLAN mreža uključuje troškove infrastrukture bežičnih pristupnih točaka, (AP) i WLAN adaptera za mobilne korisnike. Troškovi infrastrukture ovise o broju pristupnih točaka, zahtijevanom području pokrivanja te o broju i vrsti korisnika, ali se ipak može reći da su manji od troškova kabliranja i održavanja tradicionalnih žičanih LAN mreža.

- **Sigurnost**

Bežična tehnologija ima svoje korijene u vojnim primjenama, pa je sigurnost prometa u takvoj mreži jedan od kriterija koji se mora zadovoljiti. To se postiže složenim tehnologijama prijenosa, zaštitnim kodiranjem, algoritmima i drugim postupcima.

8. Širokopojasne pristupne mreže

Ukupna telekomunikacijska mreža može se podijeliti na prijenosnu (*core*) i pristupnu (*access*). Granica između pristupne i prijenosne mreže nije oštro definirana, ali se općenito može reći da se pristupna mreža nalazi između centrale i korisnika.

Sve dosadašnje promjene u telekomunikacijskoj mreži (digitalni prijenos, optika,…) malo su utjecale na pristupnu mrežu. Ona se praktički nije mijenjala od uvođenja telefonije do nedavno: korisnik od samih začetaka telefonije ostvaruje komunikaciju analognom dupleks vezom po jednoj parici. Glavni su razlozi za to ekonomska opravdanost takvih zahtjeva.

Sve do nedavno nisu se pojavljivali zahtjevi za proširenjem skupa usluga, tj. većina je korisnika bila zadovoljna prijenosom govornih usluga. Sukladno tomu, nije bili potrebe za modernizacijom pristupne mreže i uvođenjem novih tehnologija, a koje su bile ekonomski opravdane.

Od novih usluga valja spomenuti video na zahtjev (VoD) i brži pristup internetu. Usluga VoD početkom devedesetih godina prošlog stoljeća smatrala se osnovnom uslugom koja će opravdati uvođenje širokopojasne pristupne mreže, ali se ta predviđanja nisu obistinila.

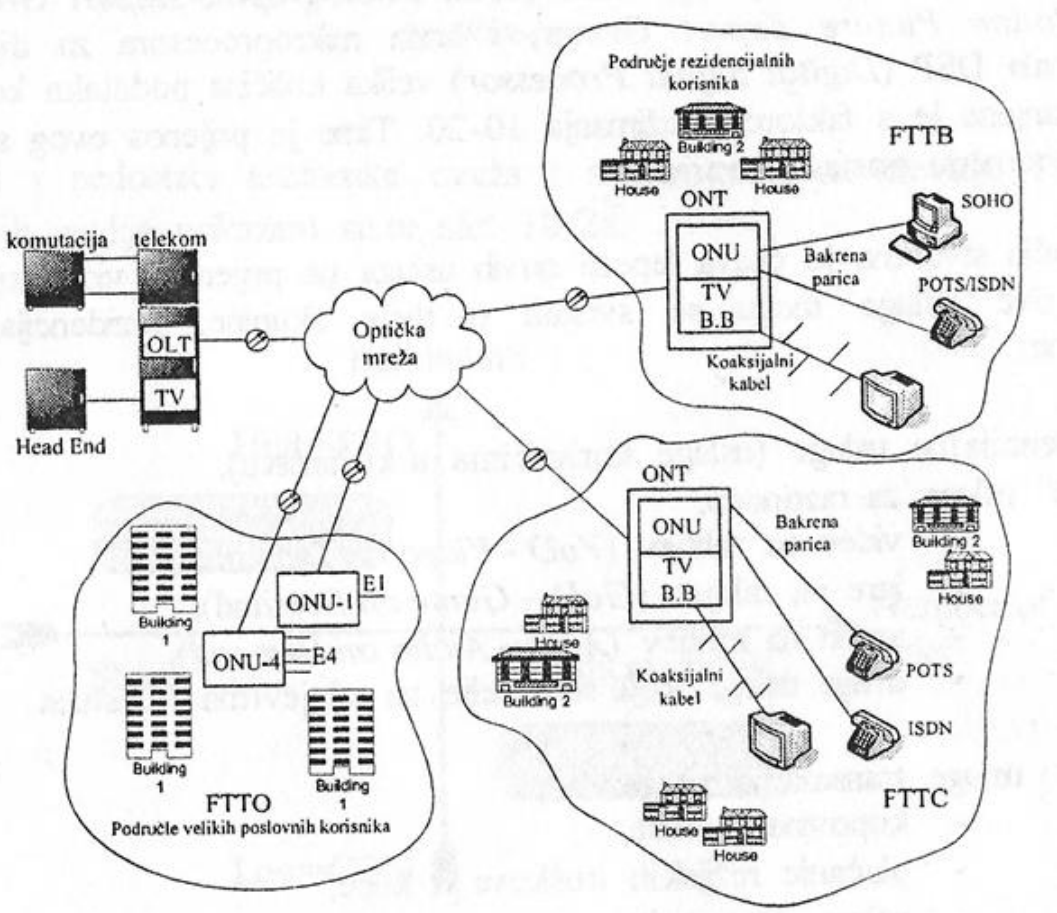
Danas je nesumnjivo da je internet ona usluga koja je značajno pridonijela velikim promjenama u telekomunikacijskoj mreži, pa tako i u njezinu pristupnom dijelu.

U svijetu, pa tako i u Hrvatskoj, najraširenija je pristupna mreža bakrenih parica, razvijena kao telefonska pristupna mreža. Zbog velikih uloženih sredstava izgrađena infrastruktura neće se odbaciti te se inicijalna širokopojasna pristupna mreža temelji na postojećoj mreži. Tehnološki preduvjeti za to su ispunjeni razvojem modema iz xDSL porodice.

Osim telefonske, jako je prisutna i kabelska pristupna mreža, razvijena kao mreža kabelske televizije. Koaksijalni kabel ima veće prednosti za prijenos širokopojasnih usluga u odnosu na telefonsku paricu, zato što ima veći frekvencijski prijenosni opseg i bolju zaštitu od vanjskih smetnji.
Prednost telefonske pristupne mreže u odnosu na kabelsku pristupnu mrežu jest njezina sveopća povezanost. Telefonska i kabelska mreža već je izgrađena i tu leži značajan kapital. One će poslužiti u prvoj etapi izgradnje širokopojasne pristupne mreže. Međutim, s rastom interesa korisnika za širokopojasne usluge ponovno će postati usko grlo u pružanju takvih usluga.

Medij budućnosti neosporno je svjetlovodno vlakno zbog svojih prednosti: velikog frekvencijskog prijenosnog opsega, malog gušenja signala i malog utjecaja vanjskih smetnji.

Prijelaz iz postojeće mreže na optičku mrežu treba biti dostupan i provoditi se u više faza. Ovi scenariji poznati su kao FTTx koncepcije, a svi završavaju s FTTH (*Fiber To The Home*) koncepcijom. Na slici 8.1. prikazan je opći model izvedbe hibridne optičko-bakrene pristupne mreže.



Slika 8.1. Opći model hibridne optičko-bakrene pristupne mreže

8.1. Nove usluge

Jedan od glavnih motiva uvođenja širokopojasne pristupne mreže jesu nove usluge. S pojavom računala, sedamdesetih godina prošlog stoljeća, javlja se potreba za prijenosom podataka u telekomunikacijskoj mreži. Kako su brzine tadašnjih računalnih komunikacija bile male, ova je usluga riješena bez ikakve intervencije u telefonskoj mreži, tj. pomoću modema u frekvencijskom opsegu telefonskog kanala (300 – 3400 Hz). Nije bilo razlike između govorne i računalne komunikacije.

Razvoj elektronike i brzih procesora otvara nove perspektive i omogućuje nove telekomunikacijske usluge koje zahtijevaju prijenosne kapacitete puno veće od onih koje je moguće postići u klasičnoj telefonskoj mreži (npr. digitalizacija mirne i pokretne slike).

Razvojem novih metoda kompresije JPEG (*Joint Photographic Expert Group*) i MPEG (*Motion Picture Expert Group*) i brzih mikroprocesora za digitalnu obradu signala DSP (*Digital Signal Processor*) velika količina podataka koja se prenosi smanjena je s faktorom sažimanja 10-20. Time je prijenos ovog signala u realnom vremenu postao ostvariv.

Na taj je način stvorena čitava lepeza novih usluga na prijenosu videosignala. Općenito, ove se usluge mogu svrstati u dvije skupine, rezidencijalne i profesionalne.

Rezidencijalne usluge odnose se na usluge koje se pružaju korisnicima u kućanstvu, a to su:

- usluge za razonodu
  - video na zahtjev (VoD – *Video on Demand*)
  - igre na zahtjev (GoD – *Game on Demand*)
  - audio na zahtjev (AoD – *Audio on Demand*)
  - druge usluge koje se temelje na zahtjevima korisnika
- usluge transakcija i kupovine
  - kupovina iz kuće
  - plaćanje režijskih troškova iz kuće
  - usluga rezervacije
  - usluge burzovnih izvještaja
  - ostale transakcijski orijentirane usluge
- usluge informiranja i obrazovanja
  - pretraživanje baze podataka koja sadržava podatke iz različitih enciklopedija i časopisa
  - učenje i vježbanje na daljinu
  - komunikacijske usluge (telefonija, videotelefonija i telekomutiranje).

Profesionalne usluge odnose se na poslovne usluge kao što su:

- distribuirano i istodobno projektiranje pomoću računala
- korisnički prospajana video-audio-konferencija
- udaljeno pretraživanje i slanje podatkovnih datoteka
- distribuirano editiranje videosnimaka
- fiksiranje prethodno snimljenih videozapisa pojedinih događaja ili sastanaka
- trodimenzionalno arhitektonsko projektiranje
- distribuiranje rendgenskih ili tomografskih zapisa.

Postoji velik broj različitih čimbenika koji utječu na uvođenje novih usluga, pa prema tome i na potrebu za širokopojasnim pristupom, a neki od njih su:

- zahtjev i zanimanje korisnika
- spremnost korisnika da plati uslugu
- rezultat natjecanja između ponuđača postojećih i novih usluga
- mogućnost neizravnih prihoda od uporabe usluge
- raspoloživost tehnologije i infrastrukture.

Međutim, problem je pristupna mreža. Početkom devedesetih godina 20. stoljeća operateri su ulagali velike napore za razvoj pristupne mreže. Bilo je jasno da je izgradnja potpuno nove pristupne mreže u kratkom razdoblju neostvariva i ekonomski neopravdana.

Sredinom devedesetih godina prošlog stoljeća dolazi do naglog razvoja interneta, međutim tu se javljaju problemi i to:

- sa stajališta korisnika klasična telefonska mreža s uporabom modema pokazala se sporom za sve zahtjevnije *http* dokumente
- sa stajališta telekomunikacijskih operatera klasična tehnologija nije odgovarala jer se princip višesatnog pretraživanja po internetu potpuno razlikovao od dotadašnjega prometnog modela po kojem je razgovor u prosjeku trajao nekoliko minuta.

Eksplozija interneta ubrzala je donošenje odluke o potrebi izgradnje širokopojasne mreže istovremeno određujući smjernice razvoja, a to je ostvariti širokopojasnu mrežu u što kraćem roku i to tako da se koriste nove tehnologije uz postojeću infrastrukturu.

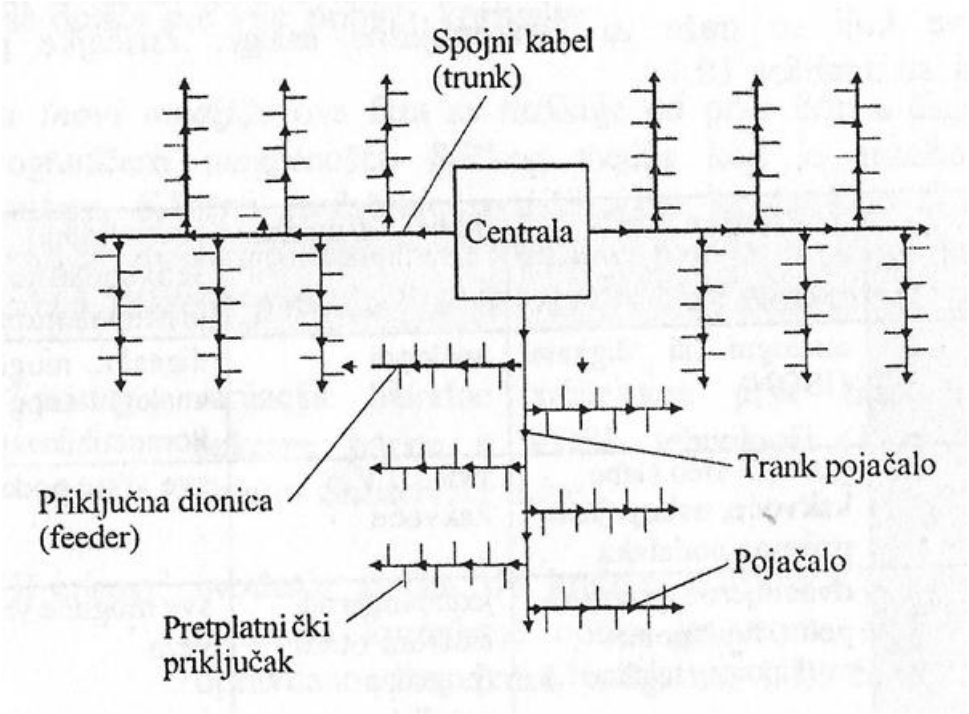
8.2. Sadašnje pristupne mreže

Uz energetsku mrežu najrazvijenije su dvije mreže koje dolaze do krajnjeg korisnika, a to su telefonska mreža i mreža kabelske televizije. Postavljalo se pitanje koju pristupnu mrežu razvijati u širokopojasnu pristupnu mrežu. Svaka od njih ima svoje prednosti i nedostatke.

- Telefonska mreža:
  - mreža komutiranih kanala koja omogućuje dvosmjernu komunikaciju između korisnika
  - najveća prednost jest njezina sveopća povezanost
  - velik su nedostatak mali i ograničeni prijenosni kapaciteti te ostali nedostatci koje donosi mreža komutiranih kanala (slaba iskoristivost komunikacijskog kanala, velika virtualna opterećenost centrala itd.).

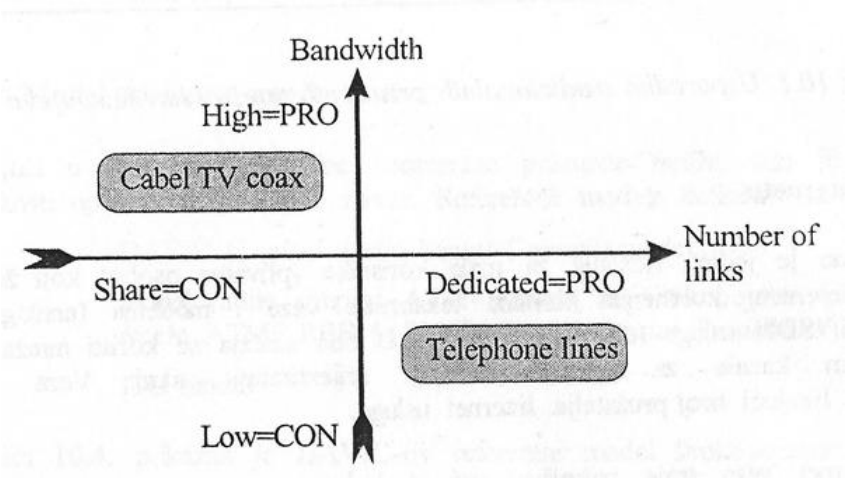
- Mreža kabelske televizije:
  - tradicionalna kabelska mreža sustav je jednosmjerne distribucije videosignala od jedne točke prema više točaka
  - analogni videosignali se multipleksiraju korištenjem frekvencijskog multipleksa (razmak kanala u Europi je 6 MHz, a u SAD-u 8 MHz)
  - omogućuje velike brzine prijenosa do svakoga, ali na početku je isključivo mreža za distribuciju videosignala koji primaju svi korisnici bez mogućnosti komutacije
  - nedostatak kabelske televizije u Hrvatskoj bila je njezina relativno slaba izgrađenost i upitna kakvoća postojeće infrastrukture
  - nije imala sveopću povezanost.

Struktura tradicionalne kabelske mreže prikazana je na slici 8.2.



Slika 8.2. Struktura tradicionalne kabelske mreže (*tree and branch architecture*)

Prednosti i nedostatci telefonske mreže i mreže kabelske televizije te njihovih prijenosnih medija prikazani su na slici 8.3.



Slika 8.3. Prednosti i nedostatci telefonske mreže i mreže kabelske televizije te njihovih prijenosnih medija

Niti jedna od ovih mreža nije bila u tom trenutku u mogućnosti u potpunosti podržati zahtjeve koji se traže za širokopojasne usluge. Značajke pojedinih mreža prikazane su u tablici 8.1.

Tablica 8.1. Usporedba tradicionalnih pristupnih mreža i novih zahtjeva

Karakteristike	Telefonska mreža	Kabelska mreža	Komutirana širokopojasna pristupna mreža
Prijenos	analogni ili digitalni (ISDN)	analogni	digitalni, moguće i analogni zbog kompatibilnosti
Vrste podataka	govor, video slabe kakvoće, uskopojasni prijenos podataka	video TV kakvoće	sve vrste podataka
Vrste veze	dvosmjerne, point-to-point, multipoint-multipoint (telekonf.)	jednosmjerne, izolirani otoci (pojedina naselja)	sve moguće vrste veza
Usluga	koumutirane	višeodredišno slanje	komutirane, višeodredišno slanje, sveodredišno slanje
Prijenosni kapaciteti	male brzine (najviše 100 kbit/s – ISDN)	nemoguće podatkovne komunikacije	veze reda veličine nekoliko desetaka Mbit/s do svakog korisnika

Pristup internetu

Do nedavno je jedino rješenje za male korisnike (privatne osobe) koji žele pristupiti internetu bilo korištenje klasične telefonske veze i modema (analogno rješenje) ili ISDN usluge (digitalno rješenje). U oba slučaja upotrebljava se mreža s komutacijom kanala za pristup paketski orijentiranoj usluzi. Veza se uspostavlja birajući broj pružatelja internetske usluge.

Kako internetska veza traje nekoliko sati, a veza se ostvaruje preko konvencionalne mreže, pred telekomunikacijske operatere postavljali su se ozbiljni problemi preopterećenja mreže. U osnovi je ugrožen klasični prometni model u kojem on traje 3 do 5 minuta.

Slijedom toga dolazilo je do neplaniranih zagušenja u telekomunikacijskoj mreži kako bi se povećavao broj pretplatnika na internetsku uslugu. To je još jedan razlog zbog kojeg je bilo potrebno pronaći alternativu dotadašnjem konceptu pristupa internetu.

8.3. Nove tehnologije

Tehnologija uskopojasnog ISDN-a omogućuje prijenos brzine 144 kbit/s pri korištenju bakrene parice. Postojeća pristupna mreža bakrenih parica može se iskoristiti i pri većim kapacitetima uz manji mogući domet signala (zbog gušenja i izobličenja signala). U tu se svrhu koriste modemi tipa HDSL, SDSL, ADSL i VDSL. Korištenje postojećih resursa (bakrena parica) uz primjenu novih tehnologija predstavlja prvu fazu razvoja širokopojasne pristupne mreže.

Zbog ograničenog dometa signala pri prijenosu paricom potrebno je korisnički signal dovesti što bliže korisniku, a to je omogućeno ugrađivanjem optike u korisničku pristupnu mrežu. Što su kapaciteti kanala veći, to je domet paricom manji, te je potrebno prilaziti sve bliže korisničkim uređajima. Postupno uvođenje optike u pristupnu mrežu predstavlja hibridnu ili prijelaznu fazu razvoja širokopojasne pristupne mreže. Razvijeno je nekoliko tipova mreže pod zajedničkim nazivom optička korisnička (pretplatnička) linija (petlja) FTTL (*Fiber In Loop*):

- FTTCab (*Fiber To The Cabinet*) – svjetlovodno vlakno do ormarića
- FTTC (*Fiber To The Curb*) – svjetlovodno vlakno do pločnika
- FTTB (*Fiber To The Building*) – svjetlovodno vlakno do zgrade.

Nesumnjivo je da će se u konačnici pristupna mreža preobratiti u sveoptičku mrežu. To je svjetlovodno vlakno do stana FTTH (*Fiber To The Home*). Međutim, zbog ekonomskih razloga i zahtjeva za novim uslugama uvođenje optike ići će u etapama FTTCab, FTTC, FTTB te FTTH.

S obzirom na postojanje mreže kabelske televizije proučavalo se i korištenje hibridne koaksijalno-optičke tehnologije HFC (*Hybrid Fiber/Coax*) te kombinacije HFC s FTTC mrežom.

8.3.1. Razvoj pristupnih mreža

Razvoj širokopojasne pristupne mreže može se prikazati u dvije faze:

- ***Prva faza***: razvoj širokopojasne tehnologije za pristupnu mrežu korištenjem postojećih prijenosnih medija s novom prijenosnom tehnologijom.
- ***Druga faza***: potpuno uvođenje novih prijenosnih medija (svjetlovodi).

Između tih dviju faza nalazi se period za razvijanje hibridne arhitekture koja kompenzira nedostatak postojećih medija. Prikaz faza razvoja širokopojasne pristupne mreže dan je u tablici 8.2.

Tablica 8.2. Razvojne faze pristupne mrežne tehnologije

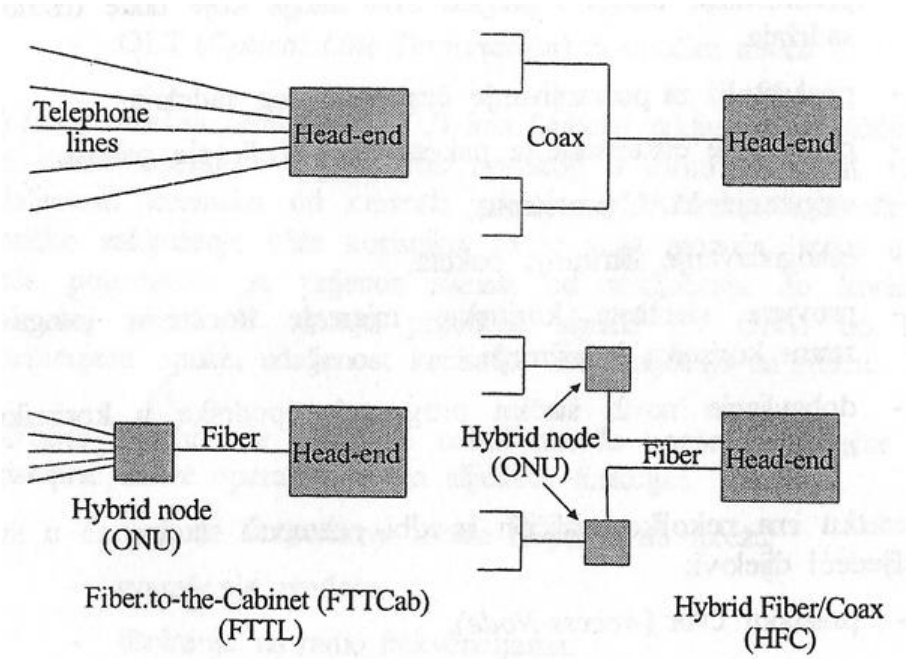
	Prva faza (postojeći mediji)	Prijelazna faza (mješoviti mediji)	Druga faza (novi mediji)
Telefonska mreža	xDSL (spec. ADSL)	FTTx (FTTCab/C/B)	Svjetlovodni medij
Kabelska TV	Kabelski modemi	(HFC) Hybrid Fiber/Coax	Svjetlovodni medij

Prva faza (postojeći mediji)

xDSL (ADSL) dobar je primjer nove tehnologije na telefonskoj liniji. ADSL radi preko običnih telefonskih linija. Drugi je primjer kabelska televizija gdje se nova tehnologija očituje u kabelskim modemima.

Prijelazna faza (kompenzacija hibridnom tehnologijom)

Ograničenja obaju pristupa prve faze moguće je kompenzirati uvođenjem optike na strani prijenosne mreže. Prednost je bolja iskoristivost već postojećeg prijenosnog medija, a nedostatak cijena i održavanje opto-elektroničke opreme te kabliranje. Te arhitekture su HFC i FTTCab (FITL). Primjer kompenzacije hibridnom arhitekturom prikazan je na slici 8.4.



Slika 8.4. Kompenzacija hibridnom arhitekturom

HFC-om se smanjuje broj korisnika koji se opslužuju svakom granom *tree-end-branch*. FTTCab-om se kompenzira gušenje koje unosi bakrena parica tako da se optika sve više približi korisniku.

Druga faza (novi mediji)

Ova se faza razlikuje od prve faze u činjenici da nije ograničena mogućnošću fizičkog medija koji je instaliran za ranije usluge. Ključno razilaženje u mišljenjima odnosi se na pitanje je li ili nije moguće uključivati ranije instalirane fizičke medije i koja je eventualna uloga bakrene parice u FSAN-u (*Full Service Access Network*).

- *I. pristup*: varijacija hibridne arhitekture prve faze, tj. korištenje bakrene parice u VDSL tehnologiji (*Very High Speed Digital Subscriber Line*).
- *II. pristup*: uvođenje optike do krajnjeg korisnika (FTTH). Nažalost, uvođenje kompletne optike veoma je skupo i mora biti opravdano ponuđenim uslugama, a odvijat će se također u dvjema fazama:

    1. pasivna optička mreža PON (*Pasive Optical Network*)
    2. mreža od točke do točke (*point-to-point*).

Osim žičnih, važno je spomenuti i bežične pristupne mreže, kako zemaljske WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), tako i satelitske.

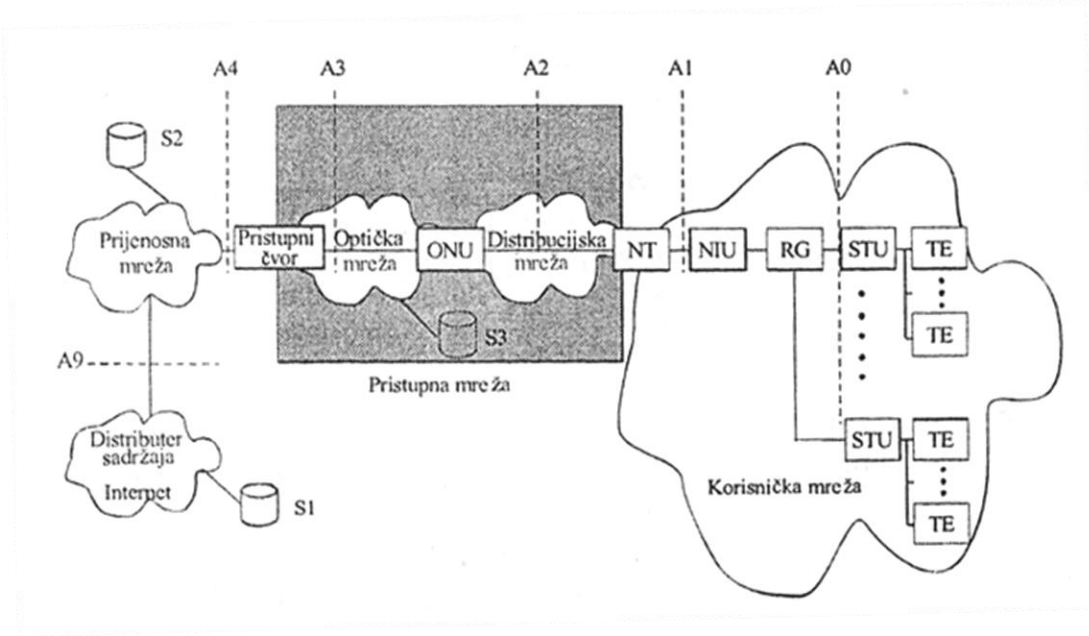
8.3.2. Model pristupne mreže

Uzimajući u obzir sve pojedine spomenute pristupne mreže, bilo je nužno uspostaviti opći model pristupne mreže. Referentne modele definirali su:

- DAVIC (*Digital Audio Video Council*) model
- Model radne skupine ATM Foruma za širokopojasne pristupne mreže ATMF RBB (*ATM Forum Residential Broadband*)
- ITU model.

Na slici 8.5. prikazan je DAVIC-ov referentni model širokopojasne mreže. Mreža se sastoji od četiriju dijelova:

- internet i mreža distributera sadržaja (*Content provider*)
- prijenosna mreža
- pristupna mreža
- kućne mreže korisnika.



Slika 8.5. DAVIC-ov referentni model širokopojasne mreže

Mreža distributera sadržaja:

- distributer sadržaja posjeduje vlastite sadržaje ili ima licenciju
- sadržaj se nalazi na vlastitom poslužitelju S1 ili se pomoću prijenosne mreže dobiva od poslužitelja S2 drugog distributera
- distributer usluge može biti internet, korporacijska mreža ili postaja kabelske TV
- kao mrežni protokol najčešće se koristi IP
- sučelje A9 najvjerojatnije je ATM P-NNI (Public NNI).

Prijenosna mreža:

Ova mreža omogućuje prijenos informacije između mreže distributera sadržaja i pristupne mreže. Osnovne funkcije su:

- prijenos, usmjerivanje i komutacija, ovisno o protokolu
- koncentracija prometa od korisnika prema distributeru sadržaja
- podržavanje usluga od različitih proizvođača
- multipleksiranje i komutacija prometa na različite pristupne podmreže
- pretraživanje usluga i pregled svih usluga koje nude distributeri sadržaja
- osiguranje kakvoće usluga
- uravnoteženje opterećenja
- poslužitelji za pohranjivanje često traženog sadržaja
- kopiranje paketa za eventualno višeodredišno (*multicasting*) i sveodredišno (*broadcasting*) slanje
- prijenosna se mreža na pristupnu mrežu povezuje preko A4 sučelja.

To je najčešće javna ATM mreža s ATM komutacijskim čvorištima koji su međusobno povezani optičkim vlaknima. Mogu se koristiti i druge mrežne tehnologije kao SONET, MPLS itd.

Pristupna mreža

Pristupna mreža je dio mreže telekomunikacijskog operatera koja je spojena na korisničke uređaje. Mreža s korisničke strane završava mrežnim zaključenjem NT i A2 sučeljem. Osnovne funkcije pristupne mreže su:

- prijenos, komutacija, usmjerivanje i multipleksiranje prometa od korisnika prema prijenosnoj mreži i obrnuto
- klasifikacija prometa od korisnika prema stupnju kakvoće usluge koja se zahtijeva
- omogućivanje različitih stupnjeva kakvoće usluge
- pretraživanje usluga i pregled svih usluga koje nude distributeri sadržaja
- poslužitelji za pohranjivanje često traženog sadržaja
- provođenje enkapsulacije paketa i tuneliranje paketa
- osiguranje MAC protokola
- omogućivanje filtriranja paketa
- provjera identiteta korisnika, mjerenje korištenja usluga od strane korisnika i tarifiranje
- dobavljanje novih inačica programske podrške u korisnikovoj mreži.

U ovom trenutku ima nekoliko različitih izvedaba pristupnih mreža, ali su u svima njima prisutni sljedeći dijelovi:

- ***pristupni čvor*** (*Access Node*)
- ***optička mrežna jedinica ONU*** (*Optical Network Unit*)
- ***mrežno zaključenje NT*** (*Network Termination*).

Pristupni čvor ima sljedeće funkcije:

- modulacija signala iz prijenosne mreže u oblik koji je pogodan za određenu pristupnu mrežu
- demodulacija povratnih signala
- provođenje MAC kontrole za pristup na pristupnu mrežu
- multipleksiranje prometa s pristupne na prijenosnu mrežu
- odvajanje i klasifikacija prometa prije multipleksiranja, a u odnosu na zajamčene QoS parametre
- signalizacija
- pasivne operacije (razdioba signala i filtriranje).

MAC protokoli jedna su od najbitnijih i najsloženijih funkcija pristupne mreže. Problem je zbog velikog omjera između vršnog i srednjeg prometa od svakog korisnika. Kako kapaciteti nisu rađeni za vršni promet, u biti prijeti opasnost da sučelje A4 postane usko grlo. Kontrolu pristupa pojedinih korisnika prijenosnim kapacitetima provodi MAC protokol. Najznačajniji su MAC protokoli shema s *tokenom*, CSMA i s-ALOHA.

Primjeri uređaja koji predstavljaju pristupni čvor su:

- DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) u ADSL arhitekturi
- CMTS (*Cable Modem Terminal Service*) u kabelskoj arhitekturi
- ADT (*ATM Digital Terminal*) u specifikaciji ATM Foruma
- OLT (*Optical Line Termination*) za optičku mrežu.

Optička mrežna jedinica (ONU) ima funkciju zaključenja optičkog vlakna od strane operatera i pretvorbu optičkog u električni signal. Ovisno o udaljenosti korisnika od centrale mijenja se i brzina u mreži. Što je optičko zaključenje bliže korisniku, to je veća moguća brzina u mreži i veća pouzdanost za prijenos signala od zaključenja do korisnika po bakrenoj parici. U slučaju prijenosa signala od ONU do korisnika korištenjem optike udaljenost korisnika nema utjecaja na brzinu.

Mrežno zaključenje (NT) nalazi se između korisnikove kućne mreže i pristupne mreže operatera, a ima sljedeće funkcije:

- spajanje korisnikove mreže na pristupnu mrežu
- uzemljenje uređaja
- filtriranje na radiofrekvencijama
- funkcija razdjelnika
- modulacija
- zaštita privatnosti korisnikovih prometnih tokova i kontrola pristupa mreži
- zatvaranje korisnikove petlje za potrebe operatera mreže.

Najčešće su pristupne mreže xDSL, FTTx i HFC.

Korisnička mreža

Korisnička mreža može imati složenu konfiguraciju.

8.4. Zahtjevi za širokopojasnu pristupnu mrežu

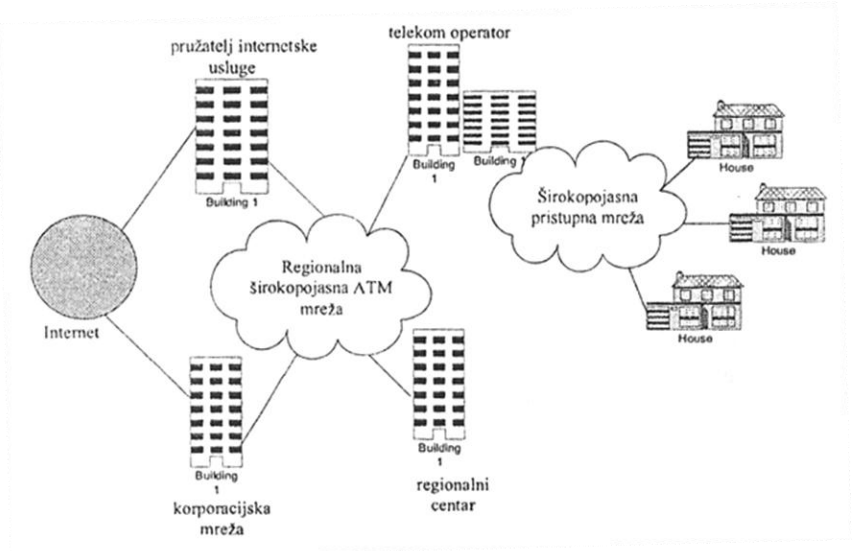
Da bi se uvođenje širokopojasne mreže isplatilo, tj. da bi korisnik bio zainteresiran za uvođenje širokopojasne pristupne mreže, nužno je da ona podržava određene zahtjeve. Zahtjevi koji se postavljuju za širokopojasnu pristupnu mrežu mogu se podijeliti u zahtjeve za uslugama i zahtjeve za funkcijama.

Usluge

Usluge moraju biti takve da privuku interes korisnika. Usluge za kojima korisnik pokazuje znatan interes jesu:

- *Internet* – to je ključna usluga koja će biti ponuđena korisnicima.
- *Pristup korporacijskim mrežama* – to je rad na daljinu (*teleworking*) i predstavlja drugu bitnu usluga. Postoje dva načina za pristup korporacijskim mrežama:
  - korištenje IP tuneliranja preko interneta
  - izravno korištenje lokalne širokopojasne mreže ATM za spajanje na korporacijsku mrežu.
- *Lokalni sadržaj* – tu uslugu pruža lokalni operater, tj. sadržaji lokalnog značaja spremaju se u bazama podataka koje se nalaze u regionalnim centrima ili u samim centralama. Usluga se koristi kako bi se smanjio promet prema internetu.
- *Međusobna komunikacija korisnika* – komunikacija između korisnika može se uz širokopojasnu pristupnu mrežu podići na višu razinu.

Na slici 8.6. prikazane su mogućnosti spomenutih usluga i njihov smještaj u sveukupnoj telekomunikacijskoj mreži.



Slika 8.6. Usluge u širokopojasnoj mreži

Funkcijski zahtjevi

Uvođenjem novih usluga važno je da budu zadovoljeni i funkcijski zahtjevi:

- *Jednostavan prijelaz s postojeće infrastrukture pristupa internetu* – kako su već bila uložena sredstva od strane pružatelja internetske usluge za postojeću strukturu (modemski pristup), trebalo je da se iz postojećeg modela potpuno preuzme administracija (dodjela IP adresa i administracija imenima domena) te gospodarenje mrežom.
- *Istovremena veza s korporacijskom mrežom i internetom* – korisnik rada na daljinu mora imati i istovremeni pristup internetu tako da bi uvjeti bili što bliži stvarnim uvjetima na poslu. Postoje dva načina osiguranja istovremene prospojenosti:
  - pristup internetu preko korporacijske mreže
  - podržavanje zasebne veze prema internetu.

  Drugi pristup je učinkovitiji, a prvi je bliži stvarnoj situaciji na radnom mjestu i sigurnosni uvjeti su bolji.
- *Podrška većem broju protokola* – kako sve korporacije ne upotrebljavaju IP, omogućivanje rada na daljinu podrazumijeva i podržavanje drugih protokola.
- *Sigurnost* – veza prema korporaciji mora biti sigurna i dopuštena (provjere korisnika, zabrana neovlaštenog upada, …).
- *Višeodredišno slanje (multikastiranje)* – ta IP usluga pobuđuje sve veće zanimanje, posebice kada je riječ o distribuciji videosignala. Osobito je pogodna za prijenos događaja uživo.
- *Podrška višestrukim razredima usluga* – različiti razredi potrebni su kako bi se zadovoljile potrebe različitih korisnika (privatni korisnici, manje tvrtke ili velike tvrtke), a to je usko vezano i za tarifiranje.
- *Podrška kakvoći usluge* – audio- i videoaplikacije zahtijevaju za svoj rad zajamčenu kakvoću usluge. Nova pristupna širokopojasna mreža mora imati ugrađenu podršku različitim parametrima kakvoće usluge.

Tablica 8.3. Pregled nekih pristupnih mreža i mogućnost njihove primjene za definirane širokopojasne i klasične uskopojasne usluge

	Simetrične komutirane usluge					Simetrične interaktivne usluge			Distribucijske usluge			
Tehnologija	POTS	Spori prijenos	Brzi prijenos	Video niske kvalitete	Video telefonija	Brzi prijenos	Video HD kvalitete	Video TV kvalitete	Spori prijenos	Brzi prijenos	Video TV kvalitete	HD video
Simetrična parica	Da	Da		Da								
ADSL	Da	Da		Da		Da	Da					
Koaksijalni KTV sustavi	Da	Da							Da		Da	
HFC	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da
FTTC/FTTH	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da
Nepokretni radio pristup	Da	Da							Da			
Bežič. pristup ogranič. dosega	Da	Da							Da			
Čelijska mobilna telefonija	Da	Da							Da			

9. xDSL tehnologija

Uvođenjem optičke tehnologije mnogi su predviđali skori nestanak bakrenih telefonskih linija, ali one ne samo da nisu nestale nego je njihov broj i porastao u mnogim zemljama. Tako se procjene o brzini uvođenja optike u pristupne mreže nisu pokazale točnima. Prema posljednjim predviđanjima vjerojatno će trebati dvadesetak godina da optički medij zamijeni bakrenu paricu u pristupnoj mreži.

Bakrene pristupne parice mogu propustiti frekvencije u MHZ području, ali s određenim gušenjem. Gušenje se povećava proporcionalno s duljinom linije i s frekvencijom te u skladu s tim uvjetuje maksimalnu moguću propusnost na parici. Praktična ograničenja u prijenosnim brzinama u jednom smjeru na kabelima promjera 0,5 mm (*American Wire Gauge, AWG 24*) prikazana je u tablici 9.1.

Tablica 9.1. Raspoložive brzine za pojedine duljine parica

Standard	Brzina (Mbit/s)	Udaljenost (km)
T1	1,544	5,5
E1	2,048	4,9
DS2	6,312	3,7
E2	8,448	2,8
¼ STS-1	12,960	1,4
½ STS-1	25,920	0,9
STS-1	51,840	0,3

Zbog velikog broja različitih mogućih kombinacija neka su od rješenja standardizirana, a prikazana su u tablici 9.2.

Tablica 9.2. Pregled prijenosnih tehnologija na temelju bakra

Naziv	Značenje	Brzina	Način rada	Domet (km)	Primjena
V.22 V.32 V.34	Modemi u govornom frekvencijskom pojasu	12.000 – 28.800 bit/s	Dupleks		Podatkovne komunikacije
DSL (ISDN)	Digitalna pretplatnička linija	144 kbit/s (2B+D)	Dupleks	4,5 – 5,5	ISDN usluga, govor, prijenos podataka
HDSL	Digitalna pretplatnička linija velike prijenosne brzine	1,544 Mbit/s 2,048 Mbit/s	Dupleks Dupleks	2,7 – 3,6	T1/E1 prijenos, pristup LAN, WAN mrežama, pristup poslužiteljima (više parica)
SDSL	Simetrična digitalna pretplatnička linija	1,544 Mbit/s 2,048 Mbit/s	Dupleks Dupleks	2,7 – 3,6	Kao i HDSL, za simetrične usluge (jedna parica s jednakim kapacitet. u oba smjera)
ADSL	Asimetrična digitalna pretplatnička linija	1,5 – 9 Mbit/s 16 – 640 kbit/s	Dolaz Odlaz	2,7 – 3,6	Pristup internetu, VoD, udaljeni pristup LAN-u, interakcijske multimedijske usluge
VDSL	Digitalna pretplatnička linija vrlo velike prijenosne brzine	13 – 52 Mbit/s 1,5 – 23 Mbit/s	Dolaz Odlaz	1,4 – 0,3	Kao i ADSL uz uslugu televizije visoke razlučivosti

9.1. Što je DSL i zašto se koristi?

xDSL je općenit termin za sve tipove tehnologija koje se odnose na digitalnu pretplatničku liniju (HDSL, ADSL, VDSL, …). Digitalna pretplatnička linija nije ništa drugo nego digitalna komunikacijska linija velike brzine. U odnosu na neke druge tehnologije DSL pruža nekoliko osnovnih prednosti, kao što su cijena, način prosljeđivanja informacije kroz mrežu i brzina prijenosa.

Najveća ušteda proizlazi iz činjenice da se DSL koristi postojećom bakrenom paricom. Većina DSL sustava istovremeno prenosi podatke i telefonski signal, pri čemu podatci ne prolaze kroz telefonsku centralu, što smanjuje mogućnost zagušenja. DSL omogućuje puno veće brzine prijenosa nego analogni modemi kod kojih je brzina od 56 Kbit/s već na granici teoretskih mogućnosti.

Razlozi zbog kojih postoji više vrsta xDSL tehnologija posljedica su činjenice prema kojoj različiti korisnici imaju različite potrebe. Većina xDSL tehnologija koristi se za što brži pristup internetu, pri čemu se zahtjevi razlikuju od slučaja do slučaja. Zahtjev jednog kućnog korisnika s jednim ili dva računala na liniji potpuno je različit u odnosu na jednu poslovnu mrežu.

Ključne razlike među xDSL tehnologijama jesu u brzini prijenosa, odnosno u količini podataka koje korisnik može poslati ili primiti u definiranom vremenskom intervalu (izražena kao bitska brzina – *bit rate*), zatim vrsti linijskog kodiranja informacije koja se šalje na liniju (2B1Q, QAM, CAP, DMT, …), broju parica i dometu bez primjene regeneratora.

9.2. Podjela xDSL tehnologija

DSL tehnologije mogu se podijeliti s obzirom na standardizaciju na standardizirane (temeljne) i varijacije (izvedene) te ovisno o brzini prijenosa prema korisniku odnosno od korisnika na simetrične i asimetrične.

Simetrične su one koje omogućuju istu brzinu prijenosa podataka u oba smjera (prema korisniku i od korisnika), dok su kod asimetričnih brzine prijenosa podataka različite, odnosno veće prema korisniku u odnosu na brzine od korisnika.

Pregled xDSL tehnologija dan je u tablici 9.3.

Tablica 9.3. Pregled xDSL tehnologija

xDSL tehnologije	
simetrične xDSL tehnologije	asimetrične xDSL tehnologije
HDSL	ADSL
HDSL 2	G.lite
SDSL (ns)	CDSL (ns)
SHDSL	RADSL
MSDSL (ns)	ADSL 2
IDSL (ns)	ADSL2+
VDSL	VDSL
VDSL 2	

9.2.1. Simetrične DSL tehnologije

Digitalna pretplatnička linija velike podatkovne brzine (HDSL) najčešće je upotrebljavana prijenosna tehnologija simetrične DSL skupine koja omogućuje brzine prijenosa T1 (1,5 Mbit/s), odnosno E1 (2 Mbit/s), po cijeni koja je niža od cijena za klasične iznajmljene T1 ili

E1 linije. Za razliku od ostalih xDSL tehnologija, HDSL upotrebljava dvije bakrene parice i ne prenosi POTS signal. Napredak na području digitalne obrade signala (poništavanje jeke i primjena modulacijskih postupaka) omogućuje značajno smanjivanje pojasne širine T1, odnosno E1 HDSL linija u odnosu na klasične T1, odnosno E1 iznajmljene linije. Ovisno o duljini bakrene parice T1-HDSL zahtijeva pojasnu širinu u opsegu od 80 do 240 kHz, dok je za klasičnu iznajmljenu T1 liniju potrebna pojasna širina od 1,5 MHz. Maksimalna duljina bakrenih parica na kojoj HDSL tehnologija može funkcionirati jest 3,66 km, pri čemu se upotrebljava 2B1Q linijsko kodiranje. HDSL *dubler* može povećati ovu duljinu na 7,32 km, pri čemu otpor petlje mora biti manji od 900 Ω, a ukupno prigušenje manje od -35 dB. Očekuje se da će HDSL2 za razliku od HDSL tehnologije zahtijevati samo jednu bakrenu paricu za prijenos podataka istom brzinom na istu udaljenost.

Osim standardiziranih simetričnih DSL tehnologija prijenosa, HDSL skupina uključuje i druge varijacije ove skupine.

Višestruka virtualna linija MVL (*Multiple Virtual Line*) komercijalno je rješenje tvrtke *Paradyne* koje omogućuje brzine prijenosa od 128 kbit/s do 768 kbit/s, pri čemu brzine prijenosa mogu biti N × 64 kbit/s (N = 2 … 12). Za razliku od HDSL, odnosno HDSL2 prijenosne tehnologije, MVL ima mogućnost prijenosa POTS signala bez uporabe razdjelnika koji odvaja analogni govorni pojas od prijenosa podataka.

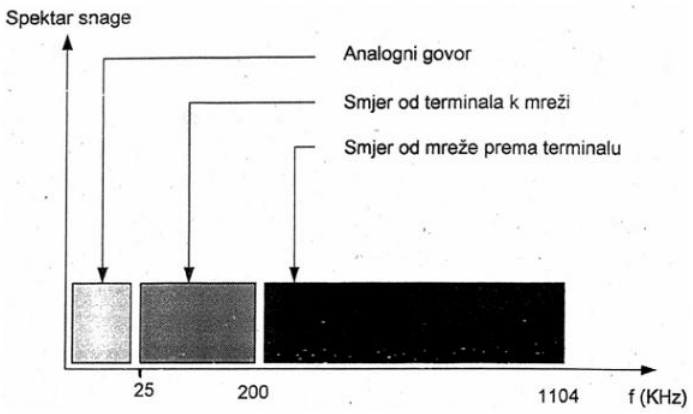
Digitalna pretplatnička linija s jednom bakrenom paricom, SDSL (*Single Line DSL*), omogućuje prijenos podataka brzinama koje mogu biti 768 kbit/s ili T1/E1, pri čemu se upotrebljava samo jedna parica. Otpor bakrene parice mora biti manji od 900 Ω, a ukupno gušenje SDSL linije mora biti manje od -35 dB.
Digitalna pretplatnička linija smanjene brzine prijenosa, MDSL (*Moderate Bit Rate DSL*), omogućuje brzinu prijenosa podataka od 768 kbit/s preko jedne bakrene parice na udaljenost od 6,41 km. ISDN digitalna pretplatnička linija (IDSL) može se priključiti na ISDN komutaciju. SDSL, MDSL i IDSL ne podržavaju analogne telefonske linije u pristupnoj mreži.

9.2.2. Asimetrične DSL tehnologije

ADSL tehnologija ima najveći domet od svih xDSL tehnologija. ADSL tehnologija je nastavak razvitka HDSL tehnologije. Za razliku od HDSL-a, primjenom ADSL tehnologije ostvaruje se nesimetrični promet koji je veći od mreže prema terminalu nego od terminala prema mreži. Asimetrični prijenos s većim kapacitetom u dolaznom smjeru prilagođen je novim uslugama (pretraživanje po internetu, video na zahtjev, kupovanje na daljinu i drugo), pri čijim

ostvarivanjima korisnik pristupa poslužitelju preko javne mreže. Korisnik šalje kratke upite poslužitelju. Zavisno od upita poslužitelj odgovara dužim porukama u obliku datoteka podataka, digitalnih zvukova, digitalnih slika ili videosnimaka.

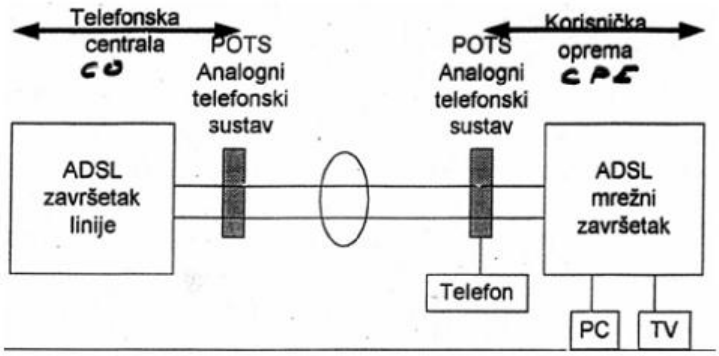
ADSL je učinkovit način prijenosa za ostvarivanje ponude multimedijskih usluga krajnjem korisniku preko postojeće lokalne petlje. Slika 9.1. prikazuje kako se pojasna širina lokalne petlje upotrebljava u ADSL sustavu.



Slika 9.1. ADSL frekvencijski spektar

Međutim, preslušavanje je jedan od najznačajnijih ograničavajućih čimbenika za digitalni prijenos u lokalnoj petlji. Pri primjeni ADSL tehnike preslušavanje na daljem kraju FEXT (*Far End Cross-Talk*) jest dominantno preslušavanje. Preslušavanje na bližem kraju NEXT (*Near End Cross-Talk*) izbjegava se odvajanjem smjera prijenosa od terminala prema mreži od smjera mreža – terminal u frekvencijskoj domeni.

Donji i gornji dio pojasne širine upotrebljava se za uzlazni odnosno silazni smjer prijenosa, slika 9.1. Frekvencijsko područje od 0 do 4 kHz upotrebljava POTS (*Plain Old Telephone System*) analogni telefonski sustav. Drugim riječima, frekvencijsko područje između 25 i 200 kHz upotrebljava se za prijenos zahtjeva od korisnika do poslužitelja. U ovom frekvencijskom području mogu se ostvariti brzine do 640 kbit/s.
Dio spektra od 200 kHz do 1104 kHz služi za prijenos zahtjevnijih usluga od poslužitelja do korisnika. Tehnike kompresije primjenom standarda MPEG 2 za video- i audiokompresiju u današnje vrijeme ograničava brzinu videosignala na 2 ÷ 4 Mbit/s. Stoga se dva MPEG-2 komprimirana signala mogu prenijeti do korisnika uporabom ADSL pristupne linije. Slika 9.2. prikazuje ADSL pristupnu liniju.



Slika 9.2. ADSL pristupna linija

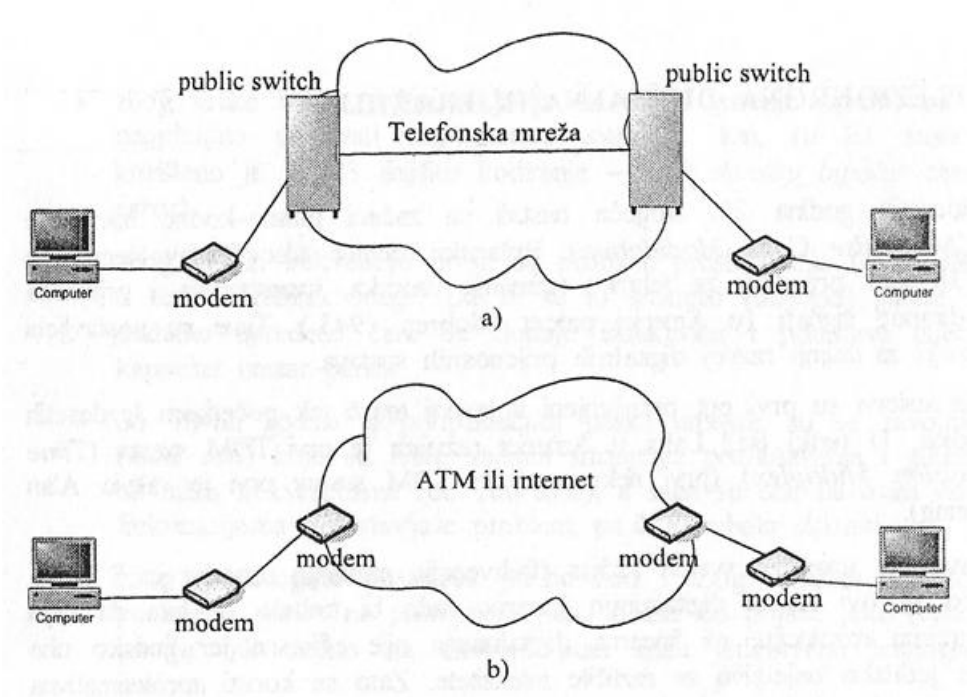
Na slici 9.2. vidi se da se jedna upletena parica upotrebljava između telefonske centrale CO (*Central Office*) i korisničke opreme CPE (*Customer premises Equipment*). ADSL modemi postavljaju se na oba kraja linije.
U ADSL sustavu primjenjuju se dvije vrste modulacije: amplitudna modulacija bez nositelja (potisnuti nositelj)/fazna modulacija CAP (*Carrier-less Amplitude Modulation/Phase Modulation*) i diskretna višetonska modulacija DMT (*Discrete Multi-tone Modulation*).

9.3. Svojstva xDSL tehnologije

Osnovne prednosti xDSL tehnologije ogledaju se u poboljšanju prijenosnih kapaciteta, stalnoj prospojenosti, istovremenoj podršci telefoniji i prilagodljivoj brzini prijenosa podataka.

Poboljšanje u prijenosnim kapacitetima

Poboljšanje u odnosu na modeme u govornom području ostvareno je zbog puno šireg frekvencijskog pojasa rada (reda veličine MHz) u odnosu na govorni pojas (4 kHz). Frekvencije kod govornih modema bile su ograničene zbog potrebe da se modulirani signal prenese s kraja na kraj telefonske mreže, slika 9.3. Za razliku od toga xDSL tehnologija služi za komunikaciju između pretplatnika i centrale. Poboljšanje je također ostvareno i u tehnologiji obrade signala (*Digital Signal Processing* – DSP).



Slika 9.3. Analogni i xDSL modemi

Stalna prospojenost

Kod analognog modema za svaku komunikaciju potrebno je određeno vrijeme ponovnog uspostavljanja veze. xDSL tehnologija omogućuje stalnu prospojenost. Par xDSL modema samo spaja korisnikovu opremu s centralom, dok njihov trajni pogon ne utječe na opterećenje paketske mreže koja preuzima informacije s modema. Paketi se šalju u mrežu samo ako je neki od uređaja na korisnikovoj strani aktivan.

Istovremena podrška telefoniji

Većina xDSL tehnologija podržava i telefonsku liniju na istoj parici. To je omogućeno jer oprema za prijenos podataka ne upotrebljava frekvencijski spektar ispod 4 kHz.

Prilagodljiva brzina prijenosa podataka

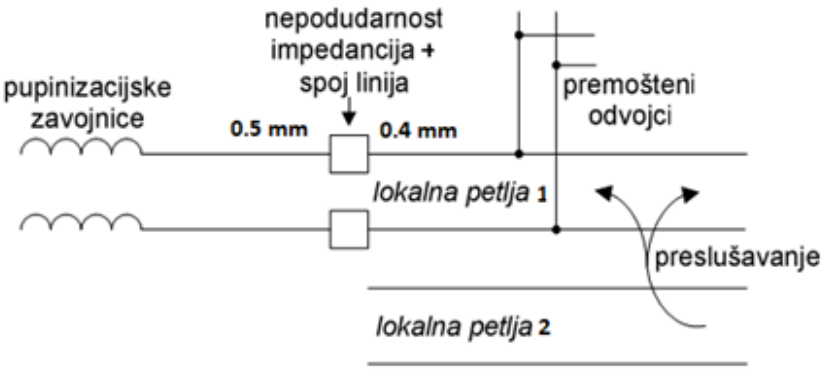
xDSL tehnologije mogu se prilagoditi uvjetima koji postoje na određenoj parici kako bi se iz nje izvukla maksimalno moguća brzina prijenosa. To se postiže u procesu ispitivanja uvjeta na petlji na početku rada para modema. Modemi i tijekom rada prate uvjete na parici provođenjem testova i prilagođuju se tim uvjetima.

9.4. Nedostatci T1/E1 sustava u pristupnoj mreži

Jedan od najvažnijh događaja u telekomunikacijama dogodio se 60-ih godina prošlog stoljeća kada je uvedena digitalizacija, tj. PDH tehnologija. Ostvarene su brzine prijenosa na prvoj razini od 2,048 Mbit/s, a taj je sustav u Europi nazvan E1 (T1, 1,544 Mbit/s SAD). Kao i sve inovacije na ovom polju digitalna revolucija imala je utjecaja samo na prijenosnu mrežu. Međutim, s vremenom se javila potreba za uvođenjem ove tehnologije i u pristupnu mrežu i to za one korisnike koji su imali zahtjeve za prijenos podataka velikim brzinama. Naravno, takvi su korisnici uglavnom bili velike kompanije koje su željele povezivati udaljene LAN-ove pomoću iznajmljenih linija.

Uvođenje ove tehnologije u pristupnu mrežu nije bilo ni jednostavno ni jeftino. Digitalne linije nisu mogle upotrebljavati standardne pretplatničke parice iz više razloga:

- zbog velike brzine prijenosa javlja se veliko gušenje signala, pa je neophodno ubacivati regeneratore svakih 1 km (u E1 sustavu korišteno je HDB3 linijsko kodiranje – *High Density Bipolar Three Zeros*)
- zbog velikih frekvencija javlja se problem preslušavanja (*crosstalk*), a time i gubitak snage. Da bi se to smanjilo, parice su dodatno upletene, čime se dodaje induktivitet i poništava utjecaj kapaciteta unutar parica;
- do 70-ih godina prošlog stoljeća u pretplatničkoj parici umetale su se zavojnice (*load coil*) koje su imale zadaću smanjenja preslušavanja i gušenja na nižim frekvencijama (do 100 kHz), a sada su one na ovim višim frekvencijama predstavljale problem pa ih je trebalo ukloniti;
- zbog nehomogene postojeće parice i zbog različitih dimenzija postojećih parica na pristupnom putu dolazi do pojave jeke (*echo*), pa je bilo nužno na čitavom putu imati jedinstvenu homogenu paricu.



Slika 9.4. Smetnje u prijenosu

Svi navedeni razlozi govore u prilog tomu da je trebalo dobro pripremiti i prilagoditi liniju krajnjem korisniku prije nego se uvede E1/T1 sustav, jer u protivnom sustav neće funkcionirati. To je zahtijevalo velika financijska ulaganja i vrijeme.

Ipak najveći problem od svih navedenih bilo je uvođenje regeneratora. Za svaku vezu bila su potrebna najmanje dva, za svaki smjer po jedan. Regeneratori se uglavnom u T1 i E1 sustavima instaliraju svakih 1 km u svrhu regeneracije signala. U to vrijeme oni su bili nesofisticirani i bilo ih je veoma teško održavati i prilagođivati. Zato se javila ideja za „uklanjanje“ regeneratora.

Svi ovi problemi koji su se javili uvođenjem E1/T1 u pristupnu mrežu nalagali su da se nešto treba napraviti, odnosno razviti nešto novo što će ih ukloniti. Ali da bi do toga došlo, morali su se razviti neki preduvjeti.

10. HDSL

HDSL (*High bit rate Digital Subscriber Line*) tehnologija je prva DSL tehnologija, koja je razvijena 1991. godine i standardizirana preporukama ITU-T G.991.1. Ona je ponajprije trebala riješiti mnoge probleme tradicionalnih T1 i E1 sustava u pristupnoj mreži, kao što su korištenje specijalnih kabela, prilagođivanje uvjeta na liniji, velik broj regeneratora (svakih 1 km), simpleks prijenos, uklanjanje premoštenih odvojaka i dr.

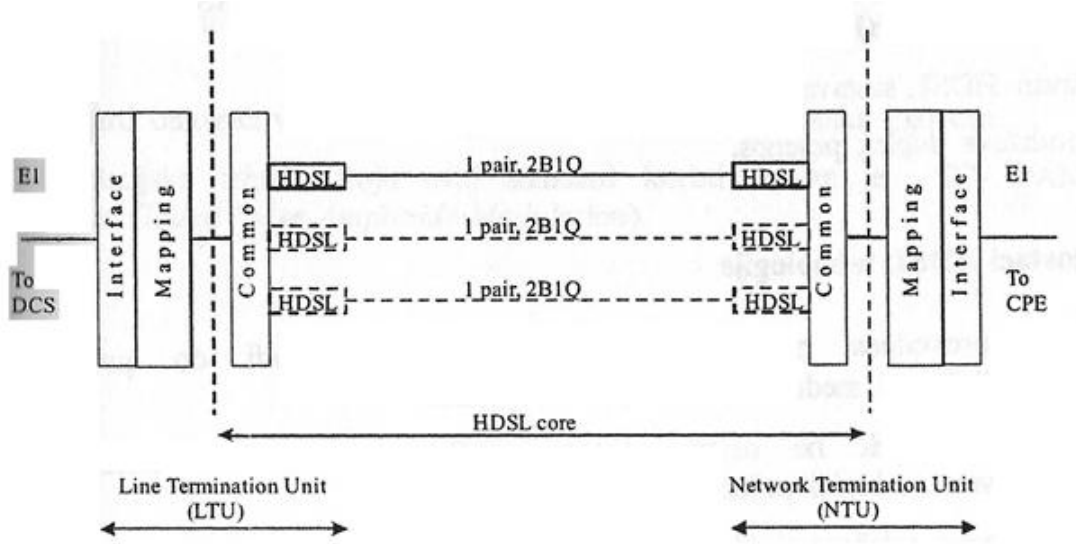
HDSL nastaje dodavanjem inteligentnih krajnjih uređaja (HDSL modema) sustavima T1 i E1. Ova tehnologija ne upotrebljava standardne kabele, ne zahtijeva regeneratore (do cca 3 km) ni specijalno linijsko prilagođivanje. Dvosmjerni prijenos omogućen je primjenom metode *echo cancellation*. HDSL je jeftiniji od T1 i E1 sustava, a omogućio je i veću pouzdanost linka uz manje pogrešaka (*error bit rate*).

Za prijenos od 2,048 Mbit/s koristi se 2B1Q linijsko kodiranje, čime je ostvaren manji frekvencijski spektar signala (392 kHz) u odnosu na E1/T1 sustave (2/1,5 MHz). Linijsko kodiranje 2B1Q (*two binary one quaternary*) za prijenos upotrebljava dva bita po simbolu s četiri razine PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) signala, za razliku od HDB3 koji upotrebljava jedan bit po simbolu. Uz ovaj način kodiranja i dvije ili tri dvosmjerne parice regeneratori nisu bili potrebni do udaljenosti od cca 3 km.

Za sustav T1 s dvjema paricama ANSI (*American National Standards Institute*) definira standard ANSI T1.4-TR28 uz brzinu prijenosa po svakoj parici od 784 kbit/s dupleks.
Za sustav E1 ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*) definira standard ETSI TM6 s dvjema paricama uz brzinu prijenosa po svakoj parici od 1168 kbit/s dupleks, a za isti sustav s trima paricama brzinu prijenosa po svakoj parici od 784 kbit/s.

Na slici 10.1. prikazan je HDSL sustav za E1 brzine prijenosa. HDSL komponente smještene su u linijskoj završnoj jedinici LTU (*Line Termination Unit*) i u mrežnoj završnoj jedinici (*Network Termination Unit*). Svaka od tih završnih jedinica sastoji se od četiriju glavnih komponenata:

- HDSL primopredajnik
- opći sklopovi koje rabe sve verzije HDSL-a: sustavi s dvjema ili trima paricama
- modul za transformaciju E1 okvira u HDSL okvir i obratno
- modul sučelja za prihvat standardnog E1 konektora.



Slika 10.1. HDSL za E1

Sustav E1 upotrebljava dvije parice (svaka za svoj smjer), a to je u prvom redu napravljeno da bi se jednostavnije projektirali predajnici, prijamnici i regeneratori. Kod HDSL sustava svaka parica radi u potpunom dupleksu i upotrebljava poništivač odjeka (*echo cancellation*). Domet je ograničen najviše zbog preslušavanja parica na bližem kraju (NEXT – *Near-End-Crosstalk*). HDSL ne podržava istovremeno i prijenos telefonskog signala.

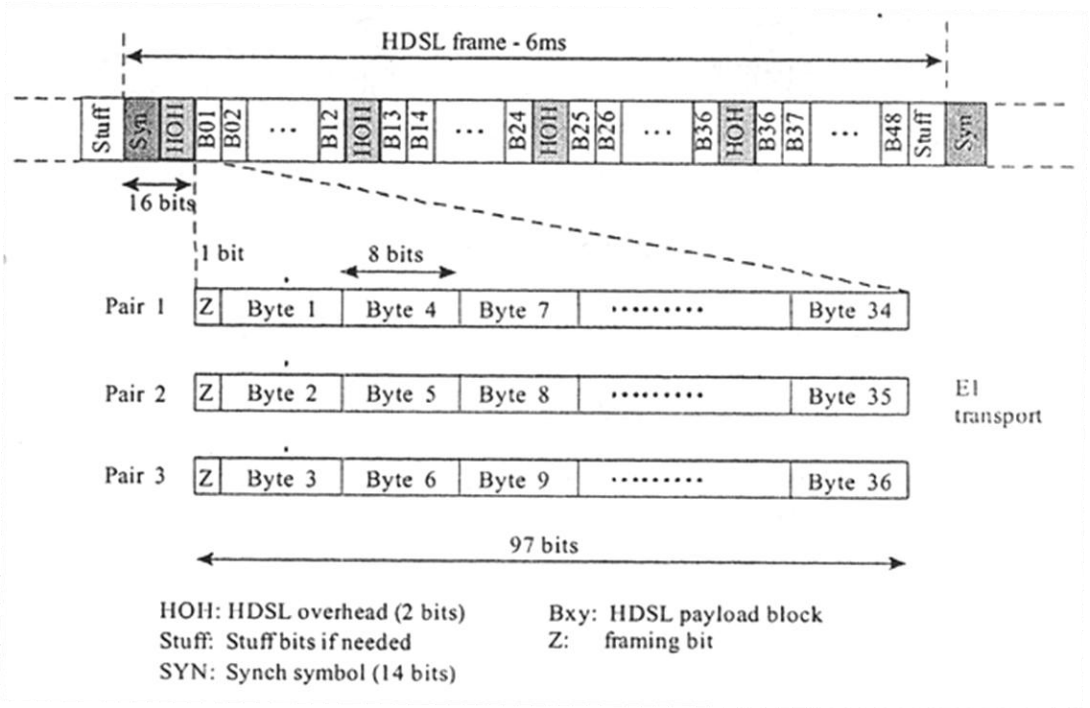
HDSL se koristi za prijenos E1/T1 prometa između centrala, za međusobno povezivanje mreža velikih tvrtki pomoću zakupljenih kanala (*leased lines*), za međusobno povezivanje baznih stanica i centrala pokretne mreže MSC (*mobile switching centers*) te za pristup lokalnim mrežama i poslužiteljima preko interneta.

10.1. Struktura HDSL okvira za E1

Na slici 10.2. prikazana je struktura HDSL okvira za prijenos E1 signala preko triju parica.

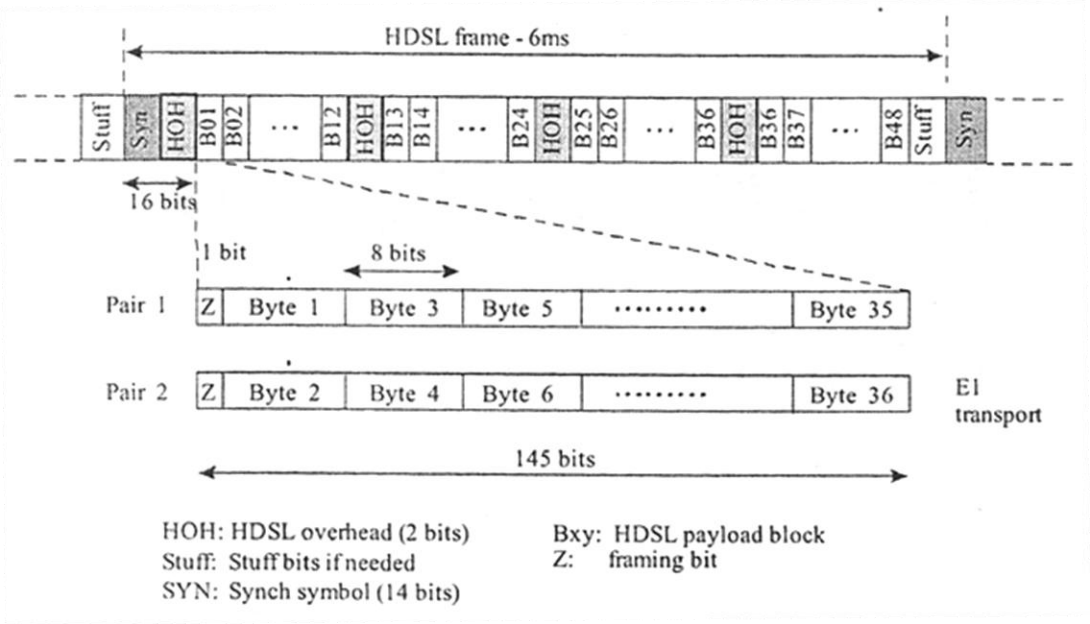
HDSL okvir se šalje svakih 6 ms ili 167 okvira u sekundi. Zaglavlje HDSL okvira sadržava 16 bita, a ostali dio okvira podijeljen je na 48 informacijskih blokova grupiranih u cjeline po 12 blokova. Blokovi su međusobno odvojeni HOH bitovima i numerirani oznakama B01 do B48. Svaki blok sadržava 97 bita.

Bajtovi 1, 4, 7, …, 34 prenose se prvom paricom, bajtovi 2, 5, 8, …, 35 prenose se drugom paricom, a bajtovi 3, 6, 9, …, 36 trećom paricom. U E1 sustavu postoje samo 32 bajta, što znači da se ekstra bajtovi koriste da bi se postigla kompatibilnost s SDH E1 strukturom virtualnog kontejnera. Svaka parica na taj način prenosi podatke brzinom od 784 kbit/s (12 x 64 kbit/s = 768 kbit/s + 16 bita HDSL zaglavlja).



Slika 10.2. HDSL okvir za prijenos E1 signala preko triju parica

Na slici 10.3. prikazan je okvir za prijenos E1 signala preko dviju parica.



Slika 10.3. HDSL okvir za prijenos E1 signala preko dviju parica

Bajtovi 1, 3, 5, …, 35 prenose se prvom paricom, a bajtovi 2, 4, 6, …, 36 drugom paricom. Svaka parica na taj način prenosi podatke brzinom od 1168 kbit/s (18 x 64 kbit/s = 1152 kbit/s + 16 bita HDSL zaglavlja).

10.2. Svojstva HDSL tehnologije

Prednosti HDSL tehnologije

Korištenje HDSL tehnologije osigurava prednosti više za pružatelje usluga nego za korisnike. Korisnik osjeća prednosti neizravno, a one su:

- male investicije jer je od opreme potrebna samo LTU kartica u centrali i korisnička kartica NTU
- ne zahtijeva se instalacija regeneratora svaki kilometar. Dometi bez regeneratora su 3,6 km za presjek vodiča 0,5 mm^2 (24 AWG), 2,7 km za presjek vodiča 0,4 mm^2 (26 AWG) i 7,93 km za presjek vodiča 0,63 mm^2 (22 AWG) ili s dodatkom regeneratora na 0,5 mm^2.
- ako se regeneratori koriste, onda su mnogo učinkovitiji jer udvostručuju domet, pa se nazivaju *doublers*
- korisničke kartice mogu se napajati iz lokalne centrale
- nadzor se može obavljati s istoga nadzornog sustava OSS (*Operations System Support*)
- izvan HDSL sustava je E1 sustav
- podržava dupleksni prijenos.

Nedostatci HDSL tehnologije

Glavni je nedostatak ove tehnologije što nije provedena potpuna standardizacija, a to dovodi do problema kompatibilnosti opreme različitih proizvođača. Nadalje, krajnji korisnik ne osjeća izravno veliku prednost HDSL tehnologije, ponajprije u pogledu brzine prijenosa i cijene.

Iznad neke udaljenosti (3,6 km) još uvijek se zahtijevaju regeneratori. Iako su oni puno efikasniji i sofisticiraniji od regeneratora E1 sustava, ipak je želja izbjeći regeneratore ako je to ikako moguće.

Također se upotrebljava velik broj parica i ne prenosi se istovremeno telefonski signal. HDSL bi trebalo standardizirati na samo jednu paricu što bi maksimalno iskoristilo postojeće bakrene resurse.

HDSL2 tehnologija

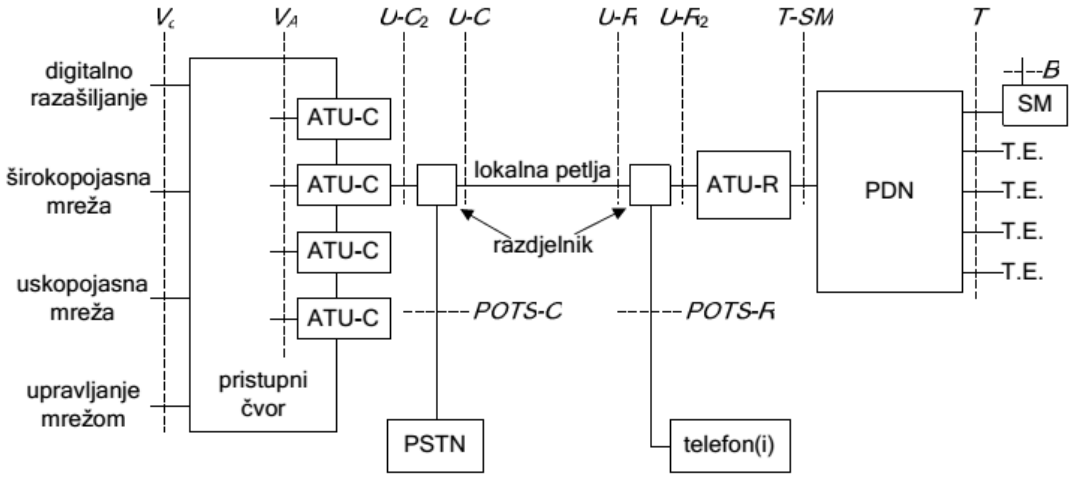
Određeni nedostatci i ograničenja uočeni u HDSL-u nastojali su se riješiti sljedećom generacijom HDSL-a, koja se naziva HDSL2. Tehnologiju HDSL2 specificirala je 1998. godine radna grupa ANSI T1.E1-4 i ETSI. Njome se omogućuje digitalni prijenos signala velike brzine preko jedne parice. Standard definira dvosmjerni prijenos podataka brzinom 2,048 Mbit/s po jednoj parici uz domet od 4 km i 4 Mbit/s preko dviju parica uz domet od 4 km.

Standard omogućuje istovremenu podršku za prijenos podataka i govora. Modulacija signala ostvarena je metodom TC-PAM (*Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation*).

11. ADSL

Od svih DSL tehnologija ADSL (*Asymetric Digital Subscriber Line*) doživio je najveću popularnost kod rezidencijalnih i malih uredskih i kućanskih (*Small Office Home Office* – SOHO) korisnika koji su s lokalnom centralom povezani preko jedne parice. ADSL je dio mrežne arhitekture koja malim korisnicima omogućuje korištenje širokopojasnih usluga poput bržeg pristupa internetu, VoD-a, interaktivne trgovine i raznih multimedijskih usluga.

ADSL je standardiziran 1993. godine, standardizirali su ga ANSI T1.E1.413 i ADSL Forum (ITU-T G.992.1), a razvijen je tako da se koristi postojećom infrastrukturom bakrenih parica za prijenos telefonskog i podatkovnog prometa. Poznat je i pod nazivom *G.dmt* standard. Krajnjim korisnicima omogućuje istovremeno korištenje klasične analogne telefonske usluge i brzog pristupa internetu. Slika 11.1. prikazuje referentni model ADSL sustava od korisnika do centrale prema dokumentu ADSL Forum TR-001.



Slika 11.1. Referentni model ADSL sustava od korisnika do centrale prema dokumentu ADSL Forum TR-001

Osnovni dijelovi ADSL sustava su:

- ***ATU-C*** (*ADSL Transmission Unit – Central Office*) – transmisijski ADSL uređaj (modem) na strani mreže u lokalnoj centrali koji može biti ugrađen u pristupni čvor, a može se nalaziti i izvan centrale.
- ***ATU-R*** (*ADSL Transmission Unit – Remote*) – transmisijski ADSL uređaj (modem) na strani korisnika.
- ***Pristupni čvor*** (*access node*) – mrežna točka u kojoj se koncentriraju širokopojasni i uskopojasni podatci. Može biti smješten u lokalnoj centrali ili na nekoj lokaciji bližoj krajnjim korisnicima. U konkretnom slučaju naziva se DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*).

- ***B*** – pomoćni podatkovni ulaz (npr. mjesto spoja sa satelitskom antenom) u servisni modul, kao što je npr. integrirani kućni primopredajnik (*set top box*).
- ***POTS-C*** – sučelje između PSTN i POTS razdjelnika na mrežnom kraju lokalne petlje.
- ***POTS-R*** – sučelje između telefona i POTS razdjelnika na lokaciji krajnjeg korisnika.
- ***PDN*** (*Premises Distribution Network*) – distribucijska mreža na lokaciji krajnjeg korisnika. To je sustav za povezivanje ATU-Ra sa servisnim modulima. PDN može biti izveden kao mreža od točke do točke (*point-to-point*) ili kao mreža od točke prema više točaka (*point-to-multipoint*) s topologijom zvijezde ili sabirnice.
- ***SM*** (*service module*) – servisni modul koji obavlja funkcije prilagodbe krajnjeg korisničkog uređaja T.E. Primjeri SM-a su integrirani kućni primopredajnici, PC-sučelja ili usmjerivači lokalne mreže.
- ***T.E.*** (*Terminal Equipment*) – krajnji korisnički uređaj ili krajnja korisnička oprema koja predstavlja krajnju točku komunikacije.
- ***Razdjelnik*** (*splitter*) – pasivni ili aktivni filtar koji razdvaja viši frekvencijski pojas (namijenjen ADSL-u) od nižega frekvencijskog pojasa (namijenjenoga POTS-u) na mrežnoj i korisničkoj strani. Filtar može biti zaseban ili ugrađen u ATU modem. Proizvođači mogu isporučivati ADSL sustave s POTS filtrom ili bez njega.
- ***T*** – sučelje između PDN-a i servisnih modula.
- ***T-SM*** – sučelje između ATU-R-a i PDN-a. Kada je PDN izveden pasivno, tada ožičenje od točke do točke može biti isto kao i sučelje T (pri tome je samo jedan krajnji uređaj povezan s ADSL modemom). ATU-R može imati više od jednog sučelja T-SM (npr. sučelja E1/T1, ATM i/ili Ethernet).
- ***U-C*** – sučelje između lokalne petlje i POTS razdjelnika na mrežnom kraju lokalne petlje.
- ***U-C₂*** – sučelje između POTS razdjelnika u lokalnoj centrali i ATU-C-a.
- ***U-R*** – sučelje između lokalne petlje i POTS razdjelnika na lokaciji krajnjeg korisnika.
- ***U-R₂*** – sučelje između POTS razdjelnika i ATU-R-a.
- $\boldsymbol{V_A}$ – logičko sučelje između ATU-C-a i pristupnog čvora.
- $\boldsymbol{V_C}$ – sučelje između pristupnog čvora i mreže. Može obuhvaćati višestruke poveznice, a može se odnositi i na samo jednu poveznicu kojom se svi DSL podatci prenose na relaciji pristupna mreža – jezgrena mreža.

Prijenosne brzine i domet

ADSL je asimetrična tehnologija, što znači da je brzina prijenosa prema korisniku i od korisnika različita. Brzina prijenosa prema korisniku je veća, a od korisnika manja. Prijenosne brzine ovise o promjeru vodiča, duljini lokalne petlje, postojanju odvojaka na petlji, preslušavanjima i dr. U tablici 11.1. dane su vrijednosti dolaznih brzina u ovisnosti o promjeru vodiča i duljini lokalne petlje.

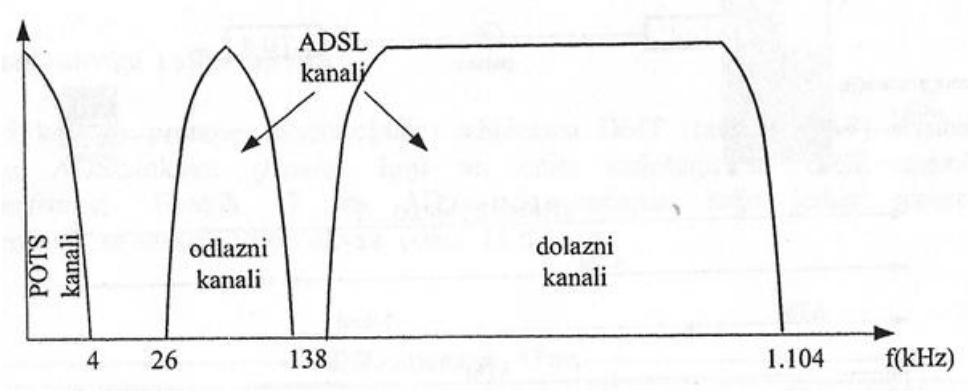
Tablica 11.1. Dolazne brzine u ovisnosti o promjeru vodiča i duljini lokalne petlje

Prijenosna brzina	Promjer vodiča	Domet prijenosa
1,5 ili 2 Mbit/s	0,5 mm	5,5 km
1,5 ili 2 Mbit/s	0,4 mm	4,6 km
6,1 Mbit/s	0,5 mm	3,7 km
6,1 Mbit/s	0,4 mm	2,7 km

Zahvaljujući svojoj asimetričnosti, ADSL je posebno atraktivan kao transmisijska podloga za pristup rezidencijalnih korisnika i SOHO korisnika internetu. ADSL je pogodan za sve asimetrične usluge koje karakterizira veća količina podataka u dolaznom nego u odlaznom smjeru (video na zahtjev, kupovanje na daljinu, pretraživanje *web*-stranica, pristup LAN-ovima i drugo). Kvaliteta navedenih usluga uglavnom ovisi o uvjetima na pojedinoj lokalnoj petlji (njezinoj duljini, gubitcima zbog refleksije signala, preslušavanje i drugo).

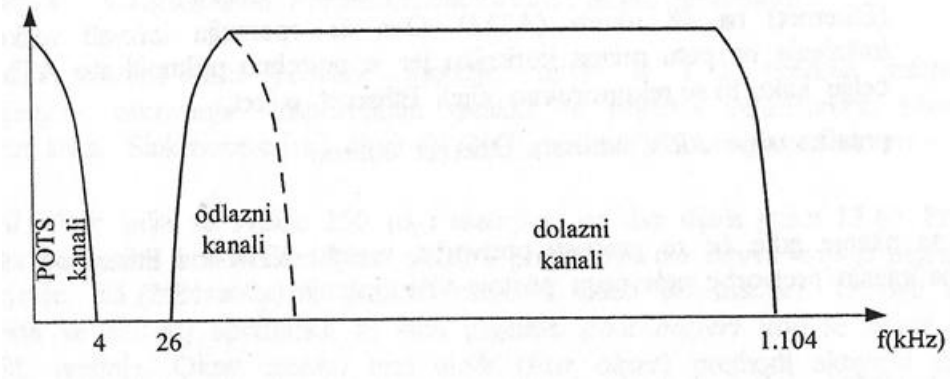
Razdvajanje kanala

Dolazni i odlazni kanal ADSL-a ne preklapaju se s POTS kanalom, što omogućuje istovremeni prijenos POTS-a (telefonija) i ADSL podataka. Dolazni i odlazni kanal odvajaju se jedan od drugoga FDM-om ili tehnikom poništavanja odjeka EC (*Echo Cancellation*). U *G.dmt* standardu kojim se koristi FDM jedan se frekvencijski pojas upotrebljava za dolazni smjer, a drugi za odlazni smjer. Ta se dva pojasa međusobno ne preklapaju, kao što je prikazano na slici 11.2.



Slika 11.2. Raspodjela spektra u ADSL modemu s frekvencijskom raspodjelom (FDM)

Nasuprot tomu, u *G.dmt* standardu koji se koristi tehnikom poništavanja odjeka (EC) dolazni i odlazni kanali međusobno se preklapaju, čime se ukupni pojas prijenosa za dolazni smjer povećava, slika 11.3. U tom je slučaju potrebno osigurati dodatno sklopovlje kojim će se poslani podatci razlikovati od primljenih.



Slika 11.3. Raspodjela spektra u ADSL modemu s frekvencijskom raspodjelom (FDM) i poništavanjem odjeka (EC)

11.1. Modulacijske tehnike

U ADSL tehnologiji koriste se dvije metode modulacije: CAP (*Carrierless Amplitude Phase Modulation*) i izravna višetonska modulacija DMT (*Dicrete MultiTone*).

Starije inačice ADSL-a koriste se CAP modulacijom koja je vrlo slična QAM modulaciji. Često se naziva QAM *s potisnutim nositeljem* (*carrier suppressed* QAM). Zbog svojih nedostataka ipak nije dio ADSL standarda.

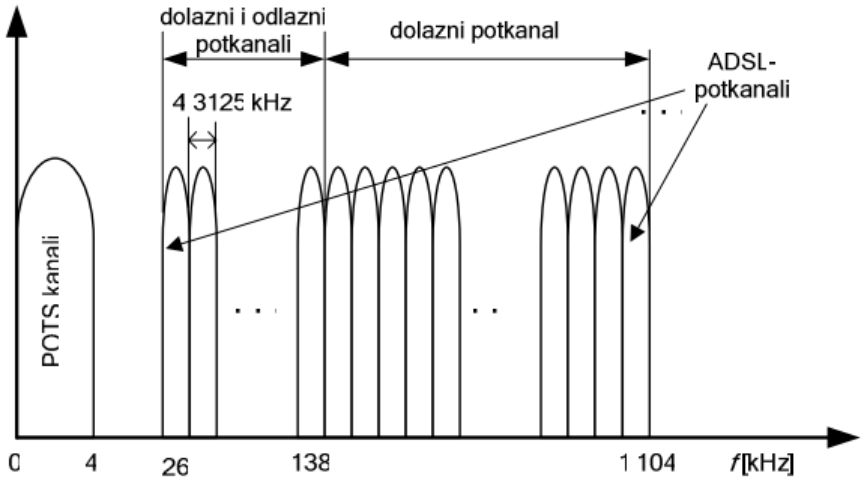
11.1.1. DMT modulacija

DMT tehnologija modulacije znatno je sofisticiranija, a opisana je s više standarda. Najrašireniji standard je *G.dmt* definiran preporukom ITU-T G.992.1. Standard omogućuje istovremeni prijenos POTS-a istom paricom kojom se prenose i podatci. Ovaj standard je poznat i pod nazivom ADSL *pune brzine* (*full-rate ADSL*), a može podržati dolazne brzine i do 8,1 Mbit/s.

DMT metoda se temelji na raspodjeli bita po potkanalima (*subchannels*), pri čemu svaki potkanal upotrebljava svoj vlastiti podnositelj (*subcarrier*). Podatci u svakom potkanalu prenose se linijom korištenjem kvadraturne amplitudne modulacije (QAM).

Standardom diskretne višetonske modulacije frekvencijski pojas lokalne petlje analognoga sustava od 1,104 MHz (počevši od 0 Hz) dijeli se na 256 potkanala širine 4,3125 kHz, slika

11.4. Svaki potkanal neovisan je o ostalima, ima svoj vlastiti podnositelj i vlastiti slijed simbola koje prenosi. Neki potkanali imaju specijalne namjene, a neki se uopće ne upotrebljavaju. Na primjer, kanal 64 na 276 kHz rezerviran je za prijenos pilotskih signala.



Slika 11.4. Kanalska struktura ADSL-a

DMT omogućuje pridjeljivanje bita potkanalima na takav način da propusnost svakog potkanala bude maksimalno moguća (broj bita u svakom potkanalu može varirati između 0 i 8). Ako bilo kojim od potkanala nije moguće prenositi podatke, moguće ga je isključiti iz prijenosa, a ostatak se raspoloživoga frekvencijskog pojasa optimalno iskoristi.

U većini DMT sustava upotrebljava se samo 250 potkanala za prijenos podataka i to počevši od 7 potkanala naviše. Prvi potkanal (≈ 4 kHz) rezerviran je za analogni telefonski signal. Niži potkanali, 2 – 6, ne koriste se za prijenos ADSL podataka, nego se uglavnom koriste za prijenos 4 kHz analognoga govornog signala. Kako 6 × 4,3125 kHz iznosi 25,876 kHz, to znači da se 25 kHz uzima kao najniža frekvencija u ADSL uslugama. Pri tome postoji zaštitni pojas između analognih govornih kanala i kanala za prijenos DMT signala. Napomenimo i to, da su gubitci snage signala na frekvencijama 250-og i viših kanala tako visoki, da ih je teško upotrijebiti za prijenos informacija u dugoj pretplatničkoj petlji.

Za odlazni smjer (*upstream*) upotrebljavaju se 32 potkanala, a za dolazni smjer (*downstream*) 250 potkanala, ali samo kada se koristi tehnika poništavanja jeke. Kada se koristi FDM pristup, tada u odlaznom smjeru ima 32 potkanala, a u dolaznom smjeru 218 ili manje potkanala, jer u tom slučaju nema prekrivanja potkanala.

Raspored frekvencijskih polja (nositelja) kod DMT-a jest:

- 0 – 4 kHz (govor)
- 4 – 25 kHz (neupotrijebljeni zaštitni pojas – oko 5 potkanala)
- 25 – 138 kHz (25 odlaznih potkanala, 7 – 31)
- 138 – 1.104 kHz (225 dolaznih potkanala, 32 – 256).

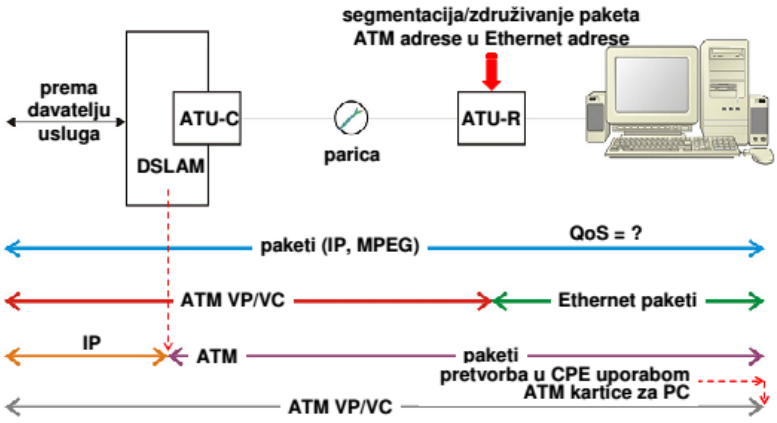
Prije samog početka prijenosa korisničkih podataka, ATU-C i ATU-R međusobno razmjenjuju ekvilizacijske sljedove kako bi točno mogli proračunati broj potkanala koje će iskoristiti u komunikaciji (*session*). Potkanal broj 64 (gornja granična frekvencija 276 kHz) koristi se za prijenos pilot-frekvencije te u svrhu sinkronizacije između uređaja ATU-R i ATU-C. Ti uređaji šalju ekvilizacijske sljedove po svih 256 potkanala i mjere odziv sustava, pri čemu u proračun uzimaju gušenje signala i ostala otkrivena obilježja linije. Proračunom se određuje konačni broj potkanala i broj simbola po potkanalu koji će se koristiti.

Kao što je već rečeno, odlazni kanali zauzimaju niži dio spektra iz dvaju razloga. Prigušenje signala u ovom dijelu spektra je manje, a pretplatnički predajnik napajan je nižom snagom od predajnika lokalne centrale. Drugi je razlog što u lokalnoj centrali postoji veći šum i mogućnost preslušavanja, pa je razumno upotrijebiti niži dio frekvencijskog područja za prijenos odlaznih signala. Kada je ADSL sustav, koji primjenjuje DMT modulacijsku tehniku, aktivan, krajnji uređaji ispituju prigušenje i šum u svakom potkanalu.

Kao što je rečeno, svi se potkanali ne upotrebljavaju za prijenos podataka. Neki su rezervirani za upravljanje mrežom i za mjerenje performanse. Na primjer, u dolaznom smjeru upotrebljava se samo 249 od 256 potkanala za prijenos podataka. U svakom od potkanala primjenjuju se vlastite tehnike kodiranja temeljene na QAM modulaciji. Stvarna je prednost DMT tehnike što primjenom praćenja performanse (koja se temelji na toj tehnici) ima za posljedicu više bita po nekim potkanalima, a ukupna je propusnost sustava jednaka sumi svih bitova u aktivnim potkanalima. Treba naglasiti da se u ADSL sustavima u kojima se primjenjuje DMT stalno prati perfomansa, odnosno pogreške.

11.2. Transport podataka

Budući da ADSL Forum i ATM Forum rade odvojeno, razvijena su zasebna rješenja primjene protokola u prijenosu podataka. Na slici 11.5. prikazana su moguća protokolna rješenja u ADSL sustavu.



Slika 11.5. Moguća protokolna rješenja u ADSL sustavu

A. Postupci pretvorbe u ATU-R-u:
   1. Operacije segmentiranja i združivanja u korisničkoj opremi
   2. Preslikavanje ATM adrese u Ethernet adresu u ATU-R-u (u DSLAM)

B. Postupci pretvorbe u DSLAM-u:
   1. Segmentiranje i združivanje paketa odjednom za sve korisnike

C. Postupci pretvorbe u korisničkoj opremi, primjerice uporabom ATM mrežnih kartica u PC-u.

Prva opcija je uporaba paketa za prijenos informacija na relaciji od pružatelja usluga do korisnika. Paketi su, ovisno o vrsti usluge, IP ili paketi MPEG transportnog toka. Velik je nedostatak ovog pristupa što se ne može jamčiti kvaliteta usluge. Stoga se preporučuje uporaba ATM tehnologije do određene udaljenosti, npr. do distribucijske mreže ili korisnika.

Druga opcija je uporaba ATM mrežne tehnologije u prijenosnoj mreži, a tada je nužno izvršiti određene pretvorbe (mnogi telekomunikacijski operateri, uključujući i HT, ubrzano su radili na izgradnji javne ATM mreže). Korisnička mreža će se međutim i dalje pretežno temeljiti na Ethernet tehnologiji zbog niže cijene u usporedbi s ATM tehnologijom.

Na mjestima prijelaza iz jedne mreže u drugu nužno je izvršiti:

- operaciju segmentiranja i združivanja paketa duljine 1,5 kB (Ethernet) u pakete duljine 48 bajta (ATM). Posljedica je ove operacije veliko kašnjenje signala na putu prema korisniku, jer prikupljanje ATM ćelija za formiranje Ethernet paketa dugo traje.
- preslikavanje ATM adresa u Ethernet adrese.

Postavlja se pitanje gdje će se provesti pretvorba između ATM-a i Etherneta. S obzirom na mjesto pretvorbe postoji više rješenja, kao što je to prikazano na slici 11.5.

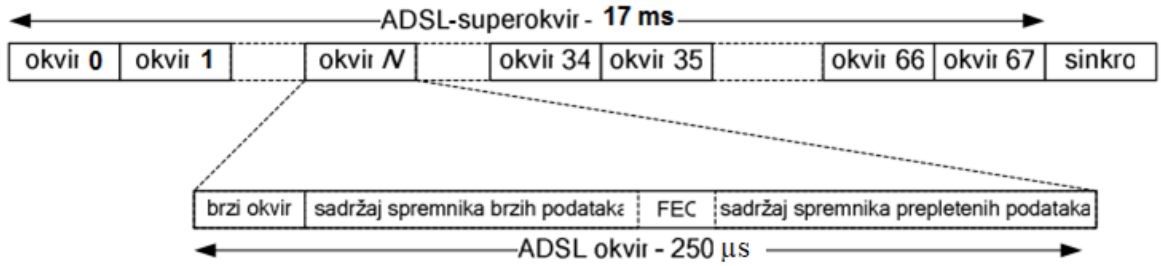
Jedno rješenje odnosi se na provođenje pretvorbe u ATU-R sklopu. U tom je slučaju problem jamstva kvalitete usluge riješen svugdje, osim u korisničkoj mreži, a to i nije dužnost operatera.

Drugo rješenje odnosi se na provođenje pretvorbe u DSLAM uređaju U tom se slučaju operacije segmentacije, združivanja i preslikavanje adresa provode istovremeno za sve korisnike u pristupnoj mreži, a to bitno pojeftinjuje opremu. Najveći je problem kod ovog pristupa preslikavanje adresa. Jedna od mogućnosti otklanjanja tog problema jest uporaba PPP protokola (*Point-to-Point Protokol*) s kraja na kraj (od pružatelja usluge do korisnika). Jamstvo kvalitete nije riješeno u pristupnoj mreži.

Konačno, treće je rješenje da se pretvorba obavlja u korisničkoj opremi. To rješenje međutim bitno povećava cijenu opreme.

11.3. Struktura ADSL okvira i superokvira

Bitovi koji se prenose modulacijskim metodama DMT (ranije i CAP) organizirani su u ADSL okvire koji se zatim smještaju u ADSL superokvire. ADSL primopredajnik šalje svakih 17 ms jedan superokvir. Svaki superokvir sastoji se od 68 okvira. Struktura ADSL okvira i superokvira prikazana je na slici 11.6.



Slika 11.6. Struktura ADSL okvira i superokvira

Pojedini okviri imaju posebne funkcije. Tako okviri 0 i 1 prenose podatke namijenjene otkrivanju i ispravljanju pogrešaka, a služe i za prijenos indikatorskih bita za nadzor linka. Sinkronizacijski okvir (SYNC) prethodi svakom superokviru.

ADSL okvir šalje se svakih 250 µs, a sastoji se od dvaju dijelova. Prvi dio okvira naziva se brzi podatci (*fast data*) i predstavlja dio okvira koji je osjetljiv na kašnjenje, ali tolerantan na pogreške (audio- i videoinformacije). U ove oktete smješta se sadržaj spremnika za brzi prijenos (*fast buffer*) koji se nalazi unutar ADSL uređaja. Oktet nazvan brzi okvir (*fast octet*) prethodi oktetima za brzi prijenos i prenosi bitove za kontrolu pogrešaka i indikatorske bitove. Okteti za brzi prijenos zaštićeni su poljem FEC (*Forward Error Correction*) za detekciju i korekciju pogrešaka.

Drugi dio okvira puni se sadržajem iz međuspremnika umetnutih podataka (*interleaved buffer*).

Prepleteni podatci imuni su na pogreške, ali to „plaćaju“ većim vremenom njihove obrade i kašnjenjem. Ovaj dio u prvom je redu namijenjen za podatkovni prijenos (brzi pristup internetu).

Treba napomenuti da kod ADSL-a nema apsolutne veličine superokvira jer se ADSL brzina mijenja s vremenom. Veličina okvira je fiksna u smislu trajanja, okviri slijede svakih 250 μs, a superokviri svakih 17 ms.

11.4. Tehnologija G.Lite

Universal ADSL ili G.Lite standardizirala je radna skupina UAWG (*Universal ADSL Working Group*) u listopadu 1998. kao standard G.992.2. G.Lite nema razdjelnika (*splitter*) između POTS uređaja (telefon, faks) i G.Lite modema, nego *mikrofiltar* koji instalira sam korisnik. Ova se tehnologija često naziva *splitterless* ADSL.

Prijenosna brzina prema korisniku je 1,5 Mbit/s (za razliku od 8 Mbit/s koju nudi standardni ADSL), a od korisnika 512 kbit/s. Da bi se izbjeglo međudjelovanje G.Lite modema i POTS uređaja, modem smanjuje brzinu na liniji tako brzo kako detektira aktivnost nekog od POTS uređaja. To zahtijeva postojanje tehnike tzv. „brzog oporavka“ modema koja omogućuje mijenjanje prijenosne brzine. Nakon što je detektirao da je neki od POTS uređaja aktivan, G.Lite modem prekida slanje podataka u trajanju od nekoliko sekunda kako bi se prebacio na nižu brzinu prijenosa. Donja granica smanjenja prijenosne brzine nije definirana.

Širina prijenosnog pojasa kod G.Lite smanjena je na 578 kHz (za razliku od *G.dmt* gdje je 1104 kHz) uz primjenu također DMT modulacijske metode. Frekvencijski pojas širine 578 kHz podijeljen je na 134 potkanala širine 4,3125 kHz. Za prijenos korisničkih podataka koristi se 127 potkanala. Prijenos podataka prema korisniku ostvaren je pomoću 102 potkanala (138 – 578 kHz), a za prijenos od korisnika koristi se 25 potkanala (26 – 138 kHz). Dvosmjerni (*full-duplex*) prijenos postiže se frekvencijskim odvajanjem ili tehnikom poništavanja odjeka (*echo cancelling*).

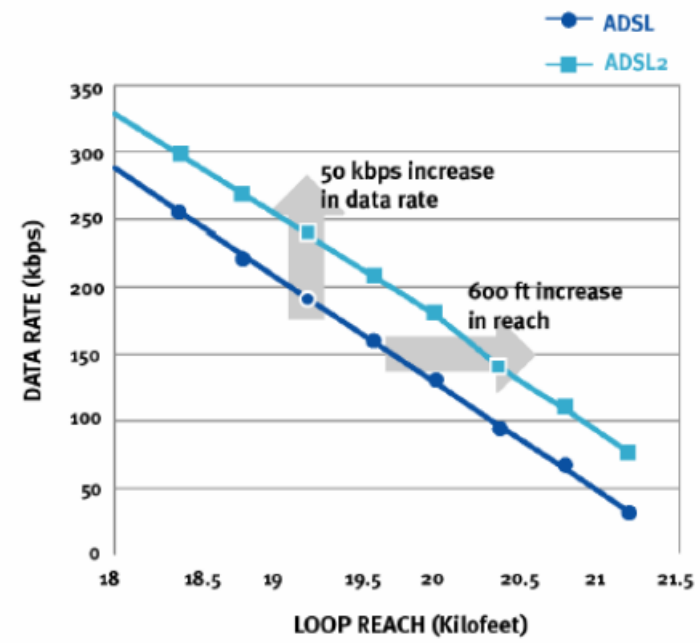
Duljina parice za ADSL Lite može biti i do 7 km. Glavne su prednosti ove tehnologije vrlo jednostavna instalacija (bez dodatnog ožičenja za POTS) i niža cijena.

11.5. ADSL2

ADSL2 je posebno dizajniran radi poboljšanja brzine i dometa prijenosa u odnosu na izvorni ADSL, a ima i bolje performanse na dugačkim linijama u prisutnosti uskopojasnih smetnji. Definiran je 2003. godine standardom ITU G.992.3. (ADSL2 pune brzine ili *G.dmt.bis*). ADSL2 omogućuje postizanje dolaznih brzina do otprilike 12 Mbit/s i odlaznih brzina do 1 Mbit/s, ovisno o duljini lokalne petlje i drugim relevantnim čimbenicima. Takvo znatno

povećanje prijenosne brzine u dolaznom smjeru posljedica je činjenice da ADSL2 postiže bolju učinkovitost korištenog modulacijskog postupka uz korištenje pogodne tehnike za kompresiju podataka. Dodatna poboljšanja su ostvarena u pogledu bolje dijagnostike sustava i veće uštede u potrošnji energije te u prilagođivanju brzine prijenosa podataka.

Na slici 11.7. prikazana je brzina prijenosa i domet ADSL2 u usporedbi s ADSL-om prve generacije. Na dužim telefonskim linijama (5,5 – 6,5 km) ADSL2 omogućuje porast brzine do oko 50 kbit/s. Ovaj porast brzine prijenosa rezultira u porastu dometa pokrivenosti područja za 6 %.



Slika 11.7. Poboljšanje dometa primjenom ADSL2

ADSL2 omogućuje i značajnu dijagnostiku sustava, koja je bila problem u izvornoj inačici ADSL usluge. Te dijagnostičke mogućnosti osiguravaju alati za rješavanje problema (kvarova) tijekom instalacije i nakon nje te za nadziranje funkcionalnosti rada.

Ušteda potrošnje električne energije ostvarena je razvojem dvaju načina upravljanja opskrbom napajanja:

- L2 način niskog napajanja (*low power*) u kojem je brzina prijenosa značajno smanjena (čitanje tekstne stranice s interneta), a ukupna potrošnja energije reducirana
- L3 način niskog napajanja ili tzv. spavajući način, kada se nikakav promet ni komunikacija ne obavlja preko ADSL veze.

Naime, prve generacije ADSL primopredajnika stalno su se koristile fiksnom snagom napajanja električnom energijom, čak i kada nisu aktivno prenosile korisničke podatke.

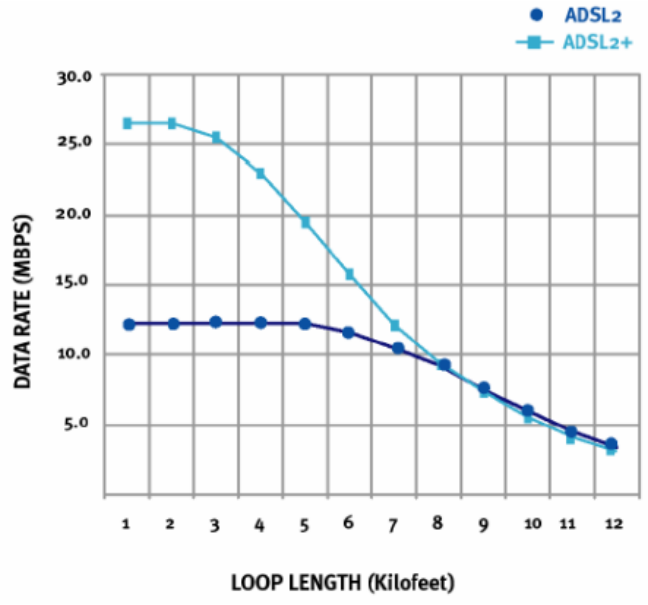
Prilagodba prijenosne brzine u ADSL2 ostvarena je kontinuiranom prilagodbom prijenosne brzine u stvarnom vremenu SRA (*Seamless real-time Data Rate Adaptation*). SRA omogućuje ADSL2 sustavima da mijenjaju prijenosnu brzinu i za vrijeme rada i to bez prekidanja prijenosa. Na taj se način mogu smanjiti nepovoljni uvjeti na liniji koji mogu dovesti do ispada nekog ADSL sustava iz rada. Razlozi takvih ispada, odnosno prekida komunikacije, najčešće su preslušavanja (štetni prijenos energije s jedne parice na drugu), zatim prisutnost izvora radijskog ometanja (najčešće u AM-području frekvencija), temperaturne promjene, prodor vlage u kabelsku grupu i drugo.

Povećane prijenosne brzine prema kućnim i poslovnim korisnicima omogućene su tzv. usnopljavanjem linija (*line bonding*). Kako bi podržao usnopljavanje linija, ADSL2 standard je definirao uporabu inverznog ATM multipleksiranja IMA (*Inverse Multiplexing for ATM*), koji je standardizirao ATM Forum. Pomoću koncepta IMA, ADSL2 podržava usnopljavanje do najviše 32 upredene parice u jednu ADSL2 vezu. Rezultat usnopljavanja linija veće su prijenosne brzine, što dovodi i do povećanja broja krajnjih korisnika kojima je moguće ponuditi takvu uslugu (povećava se pokrivenost uslugom).

ADSL2 također pruža dodatna poboljšanja u smislu poboljšane međusobne operabilnosti između primopredajnika različitih proizvođača, mogućnost brze uspostave veze (skraćeno trajanje inicijalizacije veze s 10 sekunda na manje od tri sekunde) i podršku paketskim uslugama (u ADSL2 je ugrađen i sloj skraćeno nazvan PMT TC (*Packet Mode Transmission Trans-Convergence*) koji podržava usluge poput npr. prijenosa Ethernet okvira).

11.6. ADSL2plus

Za razliku od prvih verzija ADSL standarda, koji specificiraju korištenje dolaznog kanala do gornje granične frekvencije od 1,1 MHz, gornja granična frekvencija dolaznog kanala u ADSL2plus (ili ADSL2+) postavljena je standardom G.992.5. na 2,2 MHz. Rezultat toga je znatno povećanje dolaznih prijenosnih brzina na lokalnim petljama kraćima od otprilike 1500 m, slika 11.8., dok odlazna prijenosna brzina seže do 1 Mbit/s. Naravno, obje brzine ovise o uvjetima u lokalnoj petlji. ADSL2plus je moguće iskoristiti i u svrhu smanjenja preslušavanja.

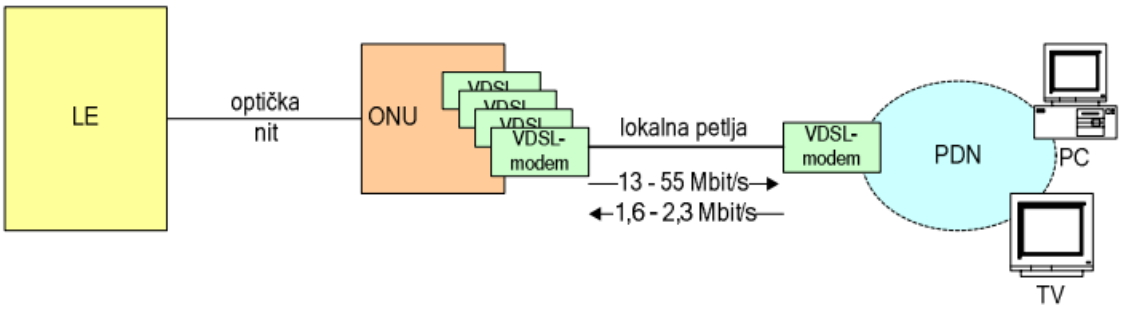


Slika 11.8. Prikaz prijenosnih brzina kod ADSL2+

12. VDSL

VDSL tehnologija je definirana 2001. godine preporukom ITU-T G.993.1. Ova tehnologija omogućuje najveće brzine, ali istovremeno ima i najkraći doseg. Ona omogućuje prijenos do korisnika s udaljene lokacije koja se može nalaziti u samoj zgradi ili susjedstvu.

VDSL je jedna od tehnologija koje omogućuju ostvarenje koncepta FTTN (*Fiber to the Node*). Arhitekturu FTTN-a čini kombinacija svjetlovodnih niti, koje povezuju lokalnu centralu LE (*Local Exchange*) s optičkim mrežnim jedinicama ONU (*Optical Network Unit*), i upletenih parica koje povezuju krajnje korisnike s ONU-ima. VDSL-modemi su instalirani na oba kraja svake lokalne VDSL-petlje, realizirane jednom upletenom paricom. Slika 12.1. prikazuje arhitekturu FTTN-a, odnosno VDSL-a.



Slika 12.1. Arhitektura VDSL sustava

VDSL podržava simetričan i asimetričan prijenos. Koristi se frekvencijskim područjem do 12 MHz. Cijena koju VDSL plaća zbog povećanja brzine u odnosu na ADSL jest smanjen domet prijenosa. Dolazne brzine podržane VDSL-om višekratnici su brzine od 155,52 Mbit/s korištene u SDH-sustavima, odnosno SONET sustavima: 51,84 Mbit/s, 25,92 Mbit/s i 12,96 Mbit/s. Odlazne brzine podržane VDSL-om moguće je podijeliti u tri skupine: do 6 Mbit/s (cca 300 m), do 3 Mbit/s (cca 1 km) i brzine koje su jednake dolaznoj. Kod simetričnog prijenosa upotrebljavaju se brzine 25,92 Mbit/s (cca 300 m) i 12,96 Mbit/s (cca 1 km). U tablici 12.1. dane su brzine prijenosa signala za različite inačice VDSL-a.

Tablica 12.1. VDSL odlazne i dolazne brzine

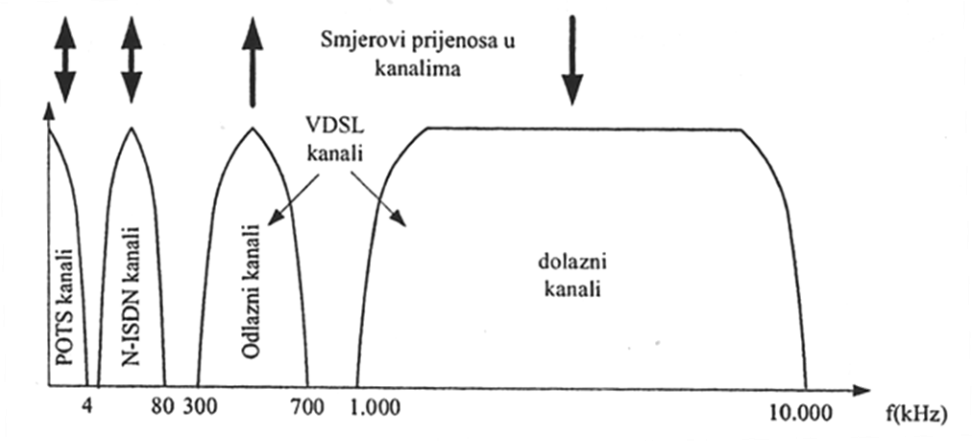
Inačica VDSL-a	Domet (m)	Dolazna brzina (Mbit/s)	Odlazna brzina (Mbit/s)
asimetrična	900	26	3
asimetrična	300	52	6
simetrična	900	13	13
simetrična	300	26	26

Razdvajanje kanala

Prve su inačice VDSL sustava za odvajanje dolaznog i odlaznog kanala te za odvajanje od POTS-a i N-ISDN-a upotrebljavale FDM, kao što je prikazano na slici 12.2.

Poništavanje odjeka upotrebljavaju novije verzije koje podržavaju simetričan prijenos. Relativno velika frekvencijska razlika između najnižeg podatkovnog kanala i POTS-a omogućuje korištenje vrlo jednostavnih i jeftinih POTS razdjelnika.

Gornja granična frekvencija kojom se koristi VDSL iznosi najviše 30 MHz u sustavima čiji je domet prijenosa kraći od 300 m, odnosno najviše 10 MHz u sustavima čiji je domet do 1 km.

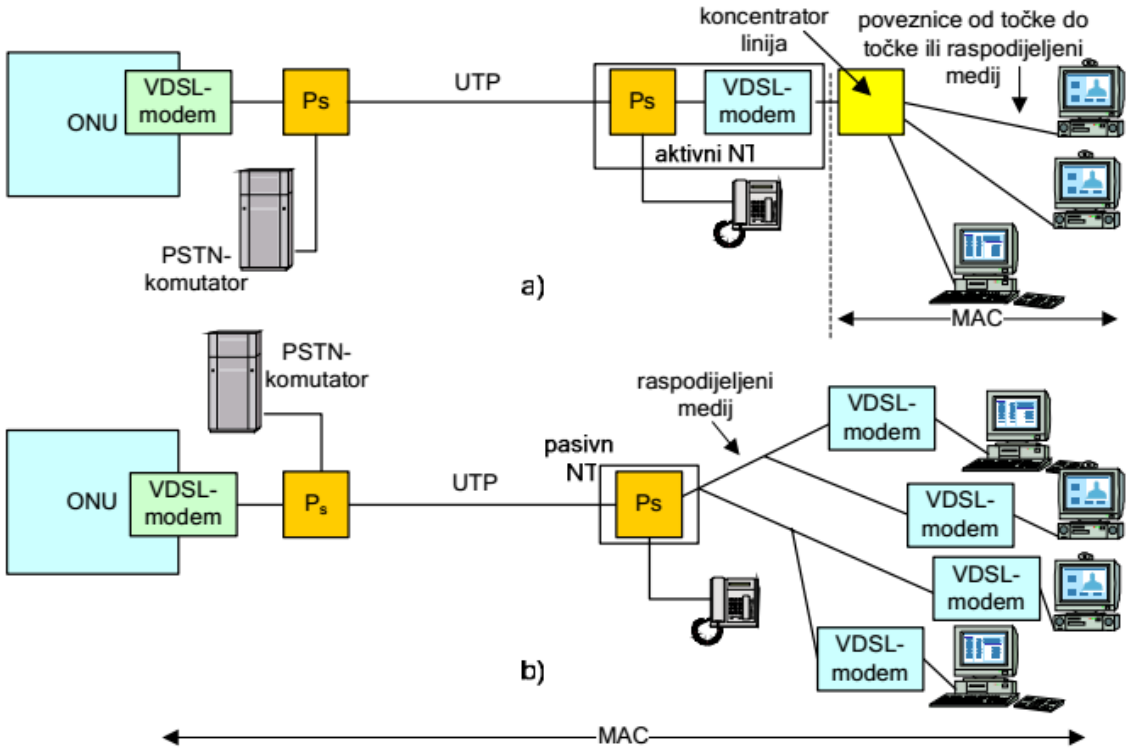


Slika 12.2. Dodjela frekvencijskih kanala kod VDSL sustava koji upotrebljava FDM

Multipleksiranje dolaznog i odlaznog prometa

Lokalna petlja na kojoj je instaliran VDSL može imati dvije konfiguracije mrežnog zaključenja NT (*Network Termination*): aktivnu (slika 12.3a) i pasivnu (slika 12.3b) konfiguraciju.

U aktivnoj konfiguraciji zajednički VDSL-modem i POTS razdjelnik sastavni su dio NT-a, dok je u pasivnoj konfiguraciji samo razdjelnik ugrađen u NT, a svaki krajnji uređaj ima svoj VDSL-modem.



Slika 12.3. Mrežna zaključenja u VDSL tehnologiji: a) aktivno, b) pasivno.

Kod *multipleksiranja u dolaznom smjeru* pri aktivnoj konfiguraciji NT-a svako korisničko područje sadržava koncentrator linija (*hub*). ONU šalje podatke prema koncentratoru koji primjenjuje mehanizam komutiranja ćelija (*cell switching*) ili multipleksiranja po vremenski raspodijeljenim kanalima TDM (*Time Division Multiplexing*). Pomoću jednog od tih mehanizama koncentrator podatke primljene od ONU-a distribuira krajnjim korisničkim uređajima (PC, TV i drugo).
Kod pasivne konfiguracije NT-a čvor ONU šalje podatke svakom korisničkom VDSL-modemu s kojim je povezan.

Multipleksiranje u odlaznom smjeru, odnosno multipleksiranje ćelija ili kanala koje dva ili više uređaja šalju u jedan zajednički slijed podataka, kod aktivne konfiguracije NT-a određuje mreža krajnjeg korisnika. VDSL-modem samo transparentno prenosi slijed podataka u oba smjera. U ovom slučaju aktivnu ulogu preuzima koncentrator linija. Koncentrator može biti zaseban uređaj ili sastavni dio VDSL-modema. Kod aktivnog zaključenja korisnička mreža može imati zvjezdastu ili sabirničku konfiguraciju.
Kod pasivne konfiguracije NT-a svakom krajnjem korisničkom uređaju pridijeljen je zaseban VDSL-modem. Kod ove konfiguracije u kojoj odlazni kanali krajnjih uređaja moraju zajednički dijeliti jednu upletenu paricu, koja VDSL-modem u ONU-u povezuje s NT-om, zahtijeva se uvođenje mehanizma za upravljanje višestrukim pristupom mediju, MAC, u mreži pretplatničkog područja.

Iako je moguće koristiti se sustavom s detekcijom sudara, zahtjev korisnika za zajamčenom prijenosnom brzinom nameće dva rješenja:

- *protokol dodjele dopuštenja za slanje ćelija* (*cell-grant protocol*) – okviri koji se šalju u dolaznom smjeru, a generirani su u ONU-u ili prije njega u mreži, sadržavaju nekoliko bita koji određenom krajnjem uređaju daju dopuštenje (*grant*) za pristup mreži. Na temelju tog dopuštenja krajnji uređaj može u vremenskom periodu koji slijedi neposredno iza primanja okvira poslati jednu ćeliju u odlaznom smjeru.
- *višestruki pristup pomoću frekvencijskog multipleksiranja* FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) – dijeli odlazni kanal u potkanale i pridjeljuje po jedan potkanal svakom krajnjem korisničkom uređaju. Korištenjem FDMA-e izbjegava se višestruki pristup mediju po slučajno dodijeljenim resursima. Prednost je što ne zahtijeva dodatnu logiku za provjeru medija i ne troši kapacitet za prijenos bita za dopuštenje. Nedostatak je što svim stanicama daje jednak prijenosni kapacitet bez obzira na njihovu potrebu, a to vodi nedovoljnom iskorištenju prijenosnog kapaciteta.

Linijsko kodiranje i modulacijske metode

Prilikom definiranja VDSL normi razmatrana su četiri linijska koda i modulacijska postupka:

- ***CAP*** (*Carrirrless Amplitude Phase Modulation*) – u pasivnom mrežnom zaključenju NT koristio bi se QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) i vremenski multipleks TDMA u odlaznom smjeru iako se ne isključuje ni uporaba frekvencijskog multipleksa FDMA.
- ***DMT*** (*Discrete MultiTone*) – s pasivnim mrežnim zaključenjem NT koristio bi se frekvencijski multipleks FDMA u odlaznom smjeru iako DMT ne isključuje uporabu vremenskog multipleksa TDMA.
- ***DWMT*** (*Discrete Wavelet Multitone*) – višetonski sustav koji se koristi *wavelet* transformacijom za generiranje podnositelja. DWMT bi upotrijebio FDMA za multipleksiranje podataka u odlaznom smjeru, ali omogućuje i uporabu TDMA multipleksa.
- ***SLC*** (*Simple Line Code*) – vrsta četverorazinske signalizacije u osnovnom pojasu. U pasivnom mrežnom zaključenju najvjerojatnije bi se upotrijebio TDMA u odlaznom smjeru iako se ne isključuje ni uporaba FDMA-e.

12.1. VDSL2

Dana 27. svibnja 2005. objavljena je nova preporuka ITU-T G.993.2. kojom je definirana druga inačica tehnologije VDSL, nazvana skraćeno VDSL2. VDSL2 je simetrična prijenosna usluga koja podržava prijenosnu brzinu od 100 Mbit/s u oba smjera. Proširenjem frekvencijskog pojasa VDSL2 sve do 30 MHz novi primopredajnici podržavaju simetrične brzine od 100 Mbit/s preko jedne upletene parice do udaljenosti veće od 350 metara. Za prijenos se koristi DMT modulacija.

VDSL2 je, prije svega, specificiran kako bi podržao prijenos višekanalnog HDTV-a (*High Definition Television*), videa na zahtjev i videokonferencija te prijenos govora protokolom IP (VoIP). Dakle, VDSL2 predstavlja dobro rješenje za *triple play* usluge (integrirani prijenos podataka, govora i videa istom pretplatničkom petljom).

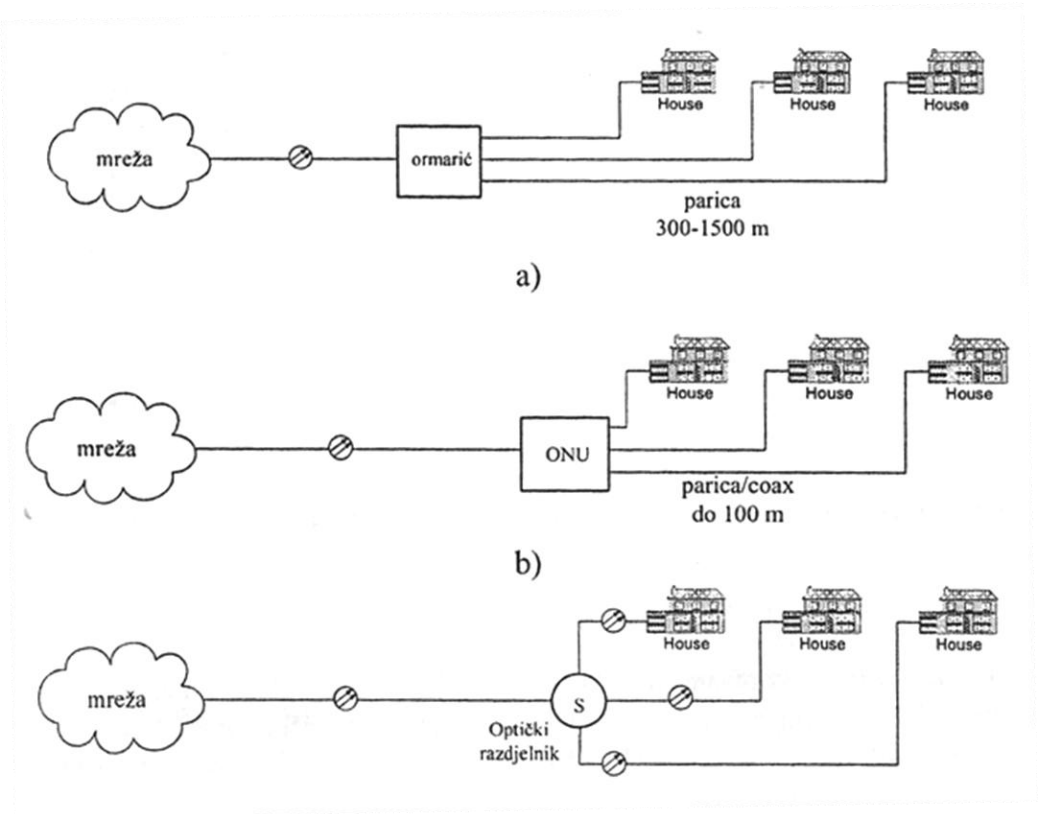
13. FITL tehnologije

U tablici 13.1. prikazane su najvažnije FITL (*Fiber In The Loop*) konfiguracije.

Tablica 13.1. FITL konfiguracije

FTTCab	Fiber To The cabinet (nit do ormarića)
FTTC	Fiber To The Curb/Kerb (nit do pločnika)
FTTO	Fiber To The Office (nit do ureda ili kućne centrale)
FTTR	Fiber To The Remote (nit do udaljenog komutacijskog stupnja)
FTTP	Fiber To The Pedestal (pole) (nit do stupa za ruralna naselja)
FTTB	Fiber To The Building (nit do zgrade za stambene zgrade)
FTTZ	Fiber To The Zone (nit do područja)
FTTH	Fiber To The Home (nit do kuće)

Na slici 13.1. prikazane su osnovne strukture pristupne optičke mreže, dok se ostale neznatno razlikuju od njih.



Slika 13.1. Struktura pristupne optičke mreže: a) FTTCab, b) FTTC, c) FTTH.

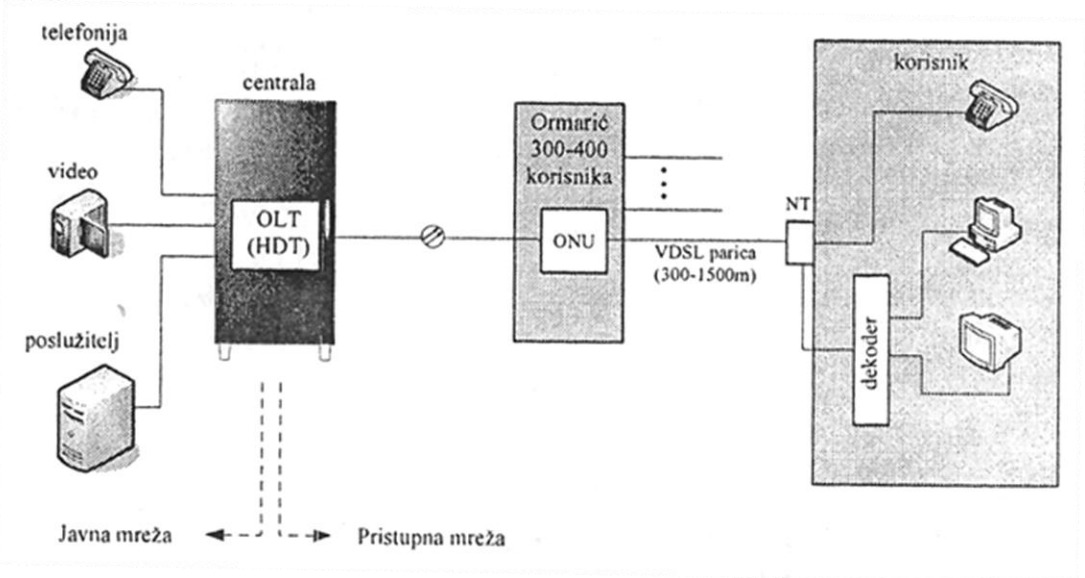
Na slici 13.1a prikazana je FTTCab struktura koja se razvija u Europi. Širokopojasni digitalni signali dovode se svjetlovodnim vlaknom do skupa korisnika (cca 300 korisnika). Tu se nalazi ormarić u kojem se provodi optičko-električna pretvorba. Signali se nakon pretvorbe distribuiraju do svakog korisnika putem VDSL-modema i telefonske parice na udaljenosti od 300 do 1500 metara.

Na slici 13.1b prikazana je FTTC struktura koja se više upotrebljava u Americi. Svjetlovodno vlakno dovodi se još bliže korisniku (do 100 m). Broj pretplatnika je manji i kreće se do 100. Optoelektrična pretvorba izvodi se u optičkoj mrežnoj jedinici ONU (*Optical Network Unit*). Nakon pretvorbe signal se do korisnika distribuira putem parice ili koaksijalnog kabela u analognom ili digitalnom obliku.

Na slici 13.1c prikazana je FTTH i to PON struktura. U ovom scenariju svjetlovodno vlakno je potpuno istisnulo telefonsku paricu i ulazi u kuću. Bakar se i dalje upotrebljava za spajanje pojedinih korisnikovih uređaja na telekomunikacijske instalacije. Svjetlovodno vlakno do pojedinih korisnika dolazi nakon optičkih razdjelnika koji dijele signal u omjeru 1 : N (uglavnom N < = 64). Na taj se način dijele troškovi zajedničke infrastrukture (laseri, pojačala itd.) na cijelu pretplatničku skupinu.

13.1. FTTCab struktura

Na slici 13.2. prikazana je FTTCab struktura.



Slika 13.2. FTTCab struktura

Signal iz javne telefonske mreže i širokopojasni digitalni signal od ponuđača usluge (videoteka za VoD, udaljena lokalna mreža, udaljeni poslužitelj u internetu itd.) multipleksira se u digitalnom terminalu HDT (*Host Digital Terminal*). HDT, koji je inače smješten u centrali, često se u literaturi naziva optičko linijsko zaključenje OLT (*Optical Line Termination*), slično kao i DSLAM u xDSL tehnologiji. Optički signal iz centrale dolazi do ormarića u korisničkoj skupini. U ormariću se nalazi optička mrežna jedinica ONU (*Optical Network Unit*) koja provodi optičko-električnu pretvorbu te širokopojasni signal usmjerava telefonskom paricom do korisničkog mrežnog sučelja NT. U korisničkom mrežnom sučelju odvaja se telefonski promet od videa i podatkovnih usluga. Digitalni promet se dekodira i usmjerava prema uređajima kojima je namijenjen.

13.2. FTTC struktura

FTTC struktura, a predstavlja američki pristup uvođenja svjetlovodnog vlakna u pristupnu mrežu, upotrebljava se dok FTTH struktura ne bude prihvatljiva po cijeni. Pomoću ove strukture oko 99 % bakrenih instalacija zamjenjuje se optikom.

Naziv FTTC struktura u uporabi je kao skupni pojam za cijeli niz različitih tehnologija u kojima je svjetlovodno vlakno dovedeno blizu korisnika. Svjetlovodno vlakno je zaključeno s ONU jedinicom koja prebacuje signal na metalni medij koji dalje ulazi do samog korisnika. Vodeću ulogu u razvoju FTTC strukture u SAD-u imao je DAVIC (*Digital Audio Video Council*), koji je specificirao četiri varijacije FTTC tehnologije: profile A, B, C i D. Svojstva pojedinih profila prikazana su u tablici 13.2.

Tablica 13.2. FTTC profili po DAVIC-u

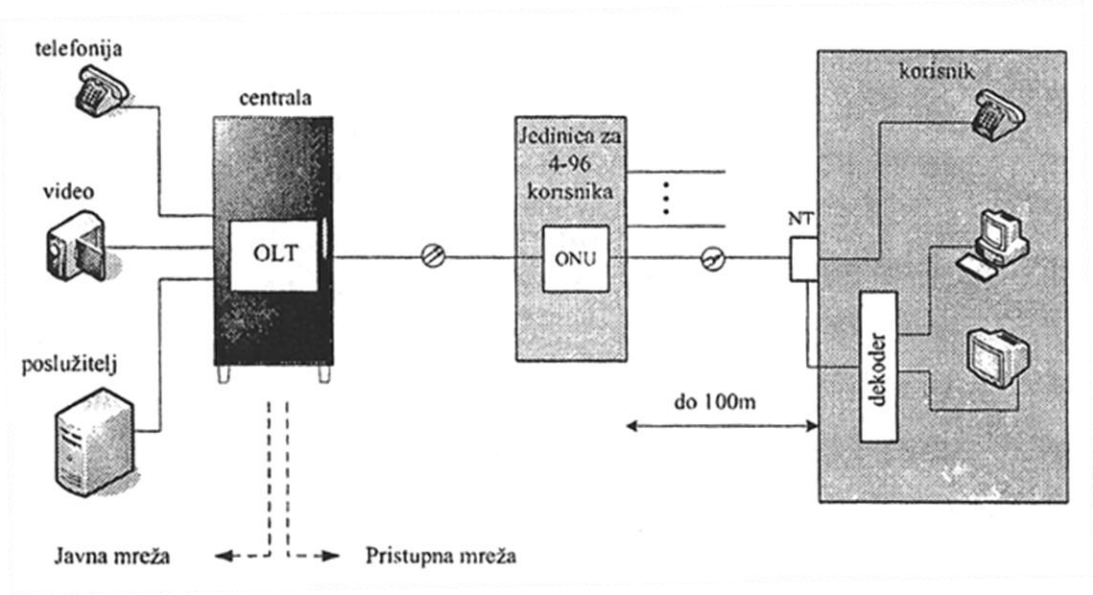
Profil po DAVICU	Dolazna brzina	Odlazna brzina	Medij do korisnika
A	51.84 Mbit/s	19.44 Mbit/s	koaksijalni kabel
B	51.84 Mbit/s	1.62 Mbit/s	koaksijalni kabel, telefonska parica
C	25.92 Mbit/s	1.62 Mbit/s	koaksijalni kabel, telefonska parica
D	12.92 Mbit/s	1.62 Mbit/s	koaksijalni kabel, telefonska parica

Profil A ima najveću brzinu, a upotrebljava koaksijalni kabel između pretplatnika i ONU jedinice. Profili B, C i D mogu upotrebljavati oba medija. Ako se upotrebljava parica, ti su profili slični VDSL tehnologiji.

Postoje i druge podjele:

- ***FTTB*** (*Fiber To The Building*) – tehnologija kod koje je ONU jedinica instalirana u stambenoj zgradi s većim brojem korisnika. Ova se tehnologija razlikuje od FTTC tehnologije samo po mjestima gdje se nalazi ONU jedinica (uvjeti u podrumu ili u potkrovlju zgrade bolji su zbog manje izloženosti atmosferskim utjecajima nego npr. na telefonskom stupu).
- ***FTTK*** struktura – pripada u istu skupinu, razlika je samo u jezičnom izričaju američkog i britanskog engleskog jezika (*curb* i *kerb*).

FTTC arhitektura prikazana je na slici 13.3.



Slika 13.3. FTTC struktura

U dolaznom smjeru podatci se primaju u OLT zaključenje (nekad se naziva FTTC pristupni čvor). OLT ima sličnu ulogu kao DSLAM u xDSL arhitekturi. OLT spaja javnu prijenosnu mrežu i pristupnu mrežu. Pomoću jednomodnog svjetlovodnog vlakna OLT jedinica se povezuje s ONU jedinicom. ONU prihvaća dolazni promet i vrši optičko-električnu pretvorbu. Nakon toga signal se prosljeđuje do korisnika.

U suprotnom smjeru mrežno zaključenje NT dobiva podatke od prilagodnog sklopa na TV prijamniku ili osobnog računala i traži dopuštenje od ONU jedinice za prijenos odlaznim kanalom. ONU jedinica poslužuje više korisnika.

ONU – optička mrežna jedinica

ONU obavlja veći dio obrade podataka u FTTC sustavima:

- multipleksiranje i demultipleksiranje
- kontrolu pristupa mediju (MAC)
- optičko-električnu pretvorbu.

Multipleksiranje se provodi u odlaznom smjeru (od korisnika prema ONU). To je kompleksna funkcija i provodi se u pojedinoj ONU jedinici za cijeli niz korisnika.

Demultipleksiranje se provodi u dolaznom smjeru (od ONU-a prema korisniku) da bi se dolazni promet mogao proslijediti traženom korisniku.

Kontrola pristupa mediju MAC ima veliku ulogu u odlaznom smjeru. Svaki korisnik u ONU jedinici ima sebi pridruženu karticu koja ima u sebi relativno velik memorijski prostor. U memoriju se sprema korisnikov odlazni promet ako je odlazni link prema centrali zauzet. Zato se pristup mediju između pojedinih korisnika ne mora ograničavati.
Poseban problem predstavljaju pasivna mrežna zaključenja (NT) koja propuštaju prema ONU jedinici promet između uređaja u vlasništvu istog korisnika. U tom slučaju, kako je riječ o minimalnom broju korisnika, predložen je algoritam *poolinga*.

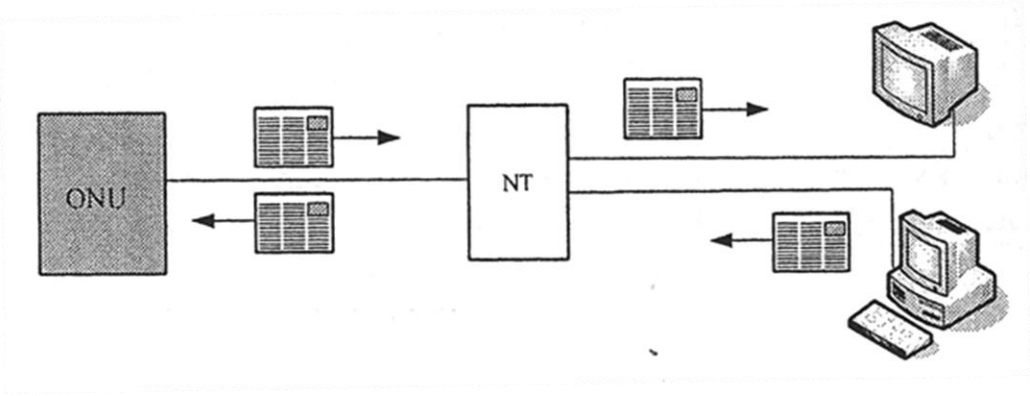
NT – mrežno zaključenje

Mrežno zaključenje može biti pasivno i aktivno.

Pasivno zaključenje služi za električno zaključenje koaksijalnog kabela i njegovo spajanje na kućni sustav korisnika te za grananje kabela, uzemljenje i zaštitu od groma. Pasivna zaključenja ne zahtijevaju napajanje pa su zato jeftinija i pouzdanija.

Aktivno zaključenje ima u određenoj mjeri mogućnost procesiranja signala, a omogućuje i dodatne opcije filtriranja paketa, kontrole pristupa mediju i upravljanje mrežom.

Prema DAVIC-ovoj klasifikaciji, tablica 13.2., u profilu A predviđeno je pasivno zaključenje. Većina drugih pristupnih mreža traži aktivno zaključenje. Nedostatak je pasivnog zaključenja što promet između uređaja istog korisnika mora izaći van iz doma do ONU jedinice i ponovno se vratiti natrag (npr. kada korisnik sliku s računala prenosi na vlastiti TV). Takav način rada zauzima komunikacijski kanal i dovodi u pitanje sigurnost (zaštitu) sustava.



Slika 13.4. Petlja u slučaju pasivnog mrežnog zaključenja

Prednosti i nedostatci FTTC arhitekture

Osnovna prednost FTTC-a nad ostalim tehnologijama (osim FTTH-a) jest veći prijenosni kapacitet što omogućuje širenje usluga kao što su videokonferencija, a posebno VoD usluga.

Nedostatak ove arhitekture mali je domet od ONU-a do korisnika, tako da se zajednički troškovi izgradnje dijele na mali broj ljudi što poskupljuje mrežu. Stoga je FTTC arhitektura namijenjena velikim stambenim zgradama gdje postoji dovoljan broj pretplatnika.

13.3. FTTH struktura

Prvi pokušaji na FTTH strukturi započeli su 1978. godine, a završili 1986. godine u Japanu, i to u području gradova Higahsi i Ikoma. Sustav je poznat pod imenom Hi-OVIS (*Highly Interactive Optical Visual Information System*). U sklopu ovog sustava razvijena je potpuna optička mreža u svrhu ispitivanja mogućnosti uvođenja novih usluga u novu sveoptičku mrežu. Ispitivane su usluge videoprijenosa, multimedijske igre, ponuda vijesti, rad na daljinu (*teleworking*), učenje na daljinu (*telelearning*), interaktivna trgovina, financijske usluge, telemedicina itd.

Sva ispitivanja su pokazala da razvijena optička mreža može podržati sve usluge, ali su troškovi za njezinu izgradnju ili pretvorbu već postojeće telefonske mreže i mreže kabelske televizije u optičku veoma visoki. Zbog velikih troškova glavnina istraživanja ipak se usmjerila prema jeftinijim strukturama, kao što su FTTC i HFC, gdje se troškovi izgradnje dijele na cijelu skupinu korisnika.

Međutim, napredak u FTTH tehnologiji, u posljednje vrijeme, srušio je neke tehničke prepreke i doveo cijenu na relativno prihvatljivu razinu. Razlozi tomu su prije svega u razvoju *loop* lasera (laser za korisničku liniju), rješenjima za prijenos videa, pasivnim optičkim mrežama (FTTH PON) i porastu broja usluga koje zahtijevaju velike prijenosne kapacitete.

FTTH, za razliku od ostalih, nije prijelazno rješenje i može zadovoljiti sve postojeće i buduće usluge koje još nisu ni specificirane. FTTH je idealna mreža budućnosti jer ima gotovo neograničen prijenosni pojas, imuna je na elektromagnetske smetnje i puno pouzdanija od klasičnih mreža.

FTTH mreža dolazi u dvama oblicima:

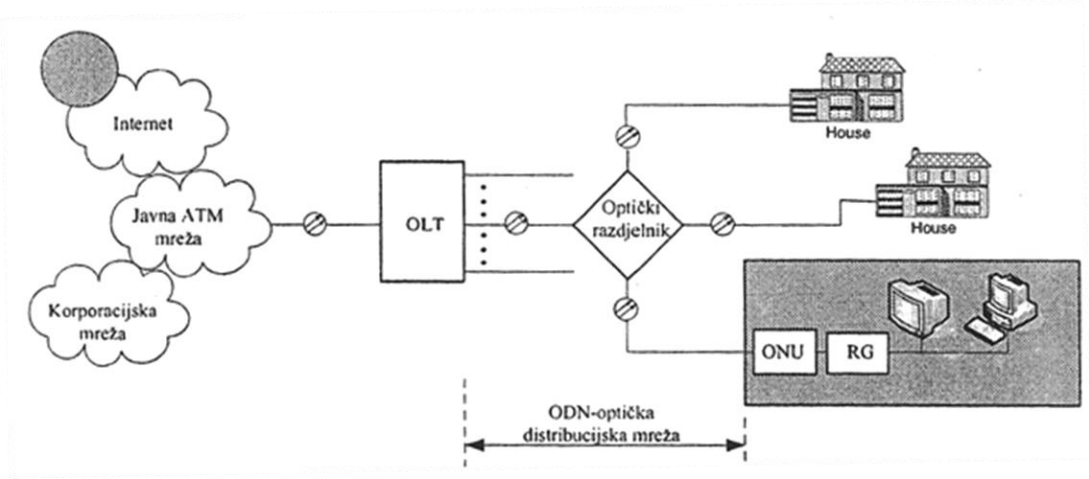
1. pasivna optička mreža FTTH PON (*Passive Optical Network*)
2. FTTH mreža od točke do točke (*point-to-point*).

13.3.1. Pasivna optička mreža FTTH PON

Osnovna prednost korištenja pasivnih optičkih mreža (PON) u odnosu na optičke poveznice od točke do točke jest u uštedama u izgradnji kabelske infrastrukture, jer uporaba PON-a smanjuje potrebnu količinu svjetlovodnih niti. Snaga signala koji se šalju prema krajnjim korisnicima dijeli se u omjeru 1 : N, pri čemu je N broj krajnjih korisnika vezanih na pasivni optički razdjelnik (*Passive Optical Splitter*).

13.3.1.1. Arhitektura pasivne optičke mreže

Shematski prikaz strukture pasivne optičke mreže prikazan je na slici 13.5.



Slika 13.5. Arhitektura pasivne optičke mreže PON

Podatke za korisnika prima optičko linijsko zaključenje OLT (*Optical Line Terminator*). Podatci pristižu preko javne ATM mreže, s interneta, korporacijskih mreža ili iz nekog drugog izvora. OLT se nalazi u centrali i sličan je DSLAM-u u xDSL tehnologiji.

Pristupni medij je jednomodno svjetlovodno vlakno koje je povezano s optičkim razdjelnikom. Razdjelnik dijeli optički signal u nekoliko smjerova tako da svaka ONU jedinica (kod korisnika se često naziva ONT (*Optical Network Termination*)) primi isti signal. To predstavlja uštedu *n* lasera jer bi u protivnom trebao postojati po jedan laser u OLT-u za svaki ONU.

U suprotnom smjeru ONU dobiva podatke od korisnikovih uređaja (prilagodni sklop na TV prijamniku i osobno računalo). Kada dobije podatke za slanje, ONU jedinica šalje zahtjev OLT-u za odašiljanje.

OLT jedinica

Funkcije OLT jedinice su:

- *Komutacija* – pojedini OLT poslužuje više razdjelnika, odnosno skupine korisnika iza jednog razdjelnika. OLT mora sav promet koji dolazi usmjeriti na željeni port, tj. do određene skupine korisnika.
- *Kontrola pristupa mediju* (MAC) – OLT i ONU moraju se dogovoriti kako bi se izbjeglo zagušenje na odlaznom kanalu.
- *Funkcije fizičkog sloja* – OLT mora odlazni promet iz pristupne mreže poslati u javnu mrežu (ATM) i pri tome poštovati standarde koji su zadani u javnoj mreži, a nisu uvjet u pristupnoj.
- *Zaštita od nelegalnog upada u pristupnu mrežu* – OLT filtrira pakete, provjerava identitet korisnika koji šalje pakete, odbija dostaviti pakete koji su namijenjeni nelegalnom korisniku.

ODN mreža

Optička distribucijska mreža ODN (*Optical Distribution Network*) sastoji se od svjetlovodnih vlakana i pasivnih optičkih razdjelnika, slika 13.5. Fizičke karakteristike ODN-a definirane su po ITU-T preporukama G.652 i G.928. Prijenosni medij se sastoji od jednog ili dvaju jednomodnih vlakana.

Dvosmjerni prijenos ostvaruje se pomoću valnog multipleksa WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) kod jednog vlakna ili pomoću dvaju vlakana. Ako se upotrebljava WDM (jedno vlakno), dolazni promet usmjerava se u pojasu 1530 – 1570 nm (III. prozor), a odlazni promet u pojasu 1280 – 1340 nm (II. prozor).

Gubitci u ODN-u definirani su preporukama G.982 i od OLT-a do ONU-a ne smiju prijeći 10 – 25 dB (ovisno o klasi prometa). Razlika u gubitcima do pojedinih korisnika ne smije prijeći 15 dB.

Brzine u ODN-u također su specificirane ITU-T preporukama, a prikazane su u tablici 13.3.

Tablica 13.3. Specifikacija brzine za PON po ITU-T-u

Način rada	Odlazni smjer	Dolazni smjer
Standardni	155 Mbit/s (STM-1)	155 Mbit/s (STM-1)
Agresivni	155 Mbit/s (STM-1)	622 Mbit/s (STM-4)
Nižom brzinom	25.92 Mbit/s (ATM 25)	155 Mbit/s (STM-1)

ONU jedinica i RG jedinica

ONU (ONT) jedinica i RG (*Residential Gateway*) jedinica imaju sljedeće funkcije:

- *Multipleksiranje* – korisnički uređaji generiraju promet koji je usmjeren prema javnoj (ATM) mreži. ONU i RG multipleksiraju slijed paketa (ili ATM ćelija) od korisničkih uređaja na izlazno svjetlovodno vlakno.
- *Kontrola pristupa mediju* – OLT i ONU surađuju na izbjegavanju zagušenja na svjetlovodnom vlaknu koje se u PON-u ponaša kao medij sa zajedničkim pristupom.
- *Funkcije fizičkog sloja* – elektro-optička pretvorba s kućne mreže koja se temelji na parici ili koaksijalnom kabelu na PON-u.
- *Sučelje prema kućnoj mreži* – ostvareno je prema preporukama IEEE 1349 i IEEE 802.11.

13.3.1.2. Varijante pasivne optičke mreže

Ovisno o mehanizmu korištenom za prijenos podataka svjetlovodnim nitima danas je definirano nekoliko varijanata PON-ova:

1. APON (ATM *over* PON)
2. BPON (*Broadband* PON)
3. EPON (*Ethernet over* PON)
4. GPON (Gigabit PON).

APON (ATM *over* PON) koristi se ATM-om kao protokolom nad fizičkim slojem. Prijenosne brzine koje podržava APON kreću se do 622,080 Mbit/s u dolaznom smjeru i do 155,520 Mbit/s u odlaznom smjeru. Domet prijenosa iznosi do 20 km, a optička poveznica koja povezuje OLT i ONU može posluživati najviše 32 krajnja korisnika.

BPON (*Broadband* PON) – širokopojasni PON standard temeljen je na ATM protokolu. Razvijen je kroz seriju G.983 preporuka izdanih od ITU-T-a u razdoblju od 1998. do 2003. godine. Ta serija preporuka određuje ATM kao prijenosni i signalni protokol. BPON predstavlja proširenje ranijeg APON-a, a omogućuje pristup u dolaznom smjeru od 1244,16 Mbit/s i u odlaznom smjeru od 622,080 Mbit/s. Dvije glavne razlike u odnosu na APON jesu sofisticiranije korištenje WDM sustava i mehanizmi zaštite i obnavljanja. Kao početna PON tehnologija koristi se APON. Nositelji telekomunikacijskih usluga koriste se BPON tehnologijom za postavljanje FTTx mreža. Primjena ATM-a pokazala se vrlo dobrom zbog toga što ima promjenjiva i fleksibilna svojstva upravljanja prometom.

EPON (*Ethernet over* PON) –široko je rasprostranjen u lokalnim i gradskim mrežama. Definiran je preporukom ITU-T G.985 i standardom IEEE 802.3ah. Kod EPON-a podatci se prenose u Ethernet okvirima, pa se IP paketi lako prenose preko Ethernet veze. Na taj se način pojednostavljuje međusobno djelovanje gradskih mreža i mreža širokog dosega (WAN) s instaliranim Ethernet LAN-om u usporedbi s korištenjem BPON tehnologije. EPON podržava prijenosne brzine definirane Ethernet standardima (10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s i 10 Gbit/s). Domet kod EPON tehnologije može biti 10 ili 20 km. Podatci iz krajnje centrale svjetlovodnim vlaknom putuju do optičkog djelitelja snage brzinom do 1,25 Gbit/s, gdje se dijele podatci i šalju u različitim smjerovima do ONU-a ili ONT-a, tj. u dolaznom smjeru. U odlaznom smjeru podatci također putuju brzinom koja može dosegnuti do 1,25 Gbit/s. Za korištenje Etherneta u pristupnim mrežama obično se upotrebljava izraz „Ethernet u prvoj milji“ (EFM – *Ethernet-in-the-First-Mile*).

GPON (*Gigabit* PON) – arhitektura gigabitnog PON-a predstavlja najpogodniju varijantu PON mreže, a javlja se kao odgovor na potražnju za većim brzinama prijenosa u pristupnim mrežama u odnosu na BPON i EPON. Ima povećanu sigurnost i veću efikasnost pri prijenosu. GPON podržava najveće brzine, i to 1,244 – 2,488 Gbit/s u dolaznom smjeru i 155 Mbit/s – 2,488 Gbit/s u odlaznom smjeru, te širok raspon aplikacija i usluga, a osobito je pogodan za video i TV usluge. Specifikacije GPON mreža definirane su ITU-T serijom preporuka G.984. GPON omogućuje prijenos ATM i Ethernet paketa u istom prijenosnom okviru. Osnovno novo svojstvo u GPON-u je oblik okvira koji može učinkovito prenositi pakete promjenjive duljine gigabitnom brzinom. Domet prijenosa iznosi do 20 km (uz uporabu regeneratora i do 60 km).

13.3.2. FTTH od točke do točke

Pasivna optička mreža samo je jedna od etapa u razvoju potpune optičke mreže u kojoj će svaki pretplatnik imati zajamčen pristupni kapacitet. Veličina pretplatničke skupine u današnjim PON sustavima može biti 32 pretplatnika.

S porastom zanimanja za širokopojasne usluge veličina skupine postupno će se smanjivati sve do situacija kada će svaki pretplatnik imati zasebnu optičku vezu prema centrali. Za razvoj ovakve mreže vrlo je važna pojava DWDM-a (*Dense Wavelength Division Multiplex*), za razliku od CWDM-a (*Coarse Wavelength Division Multiplex).*

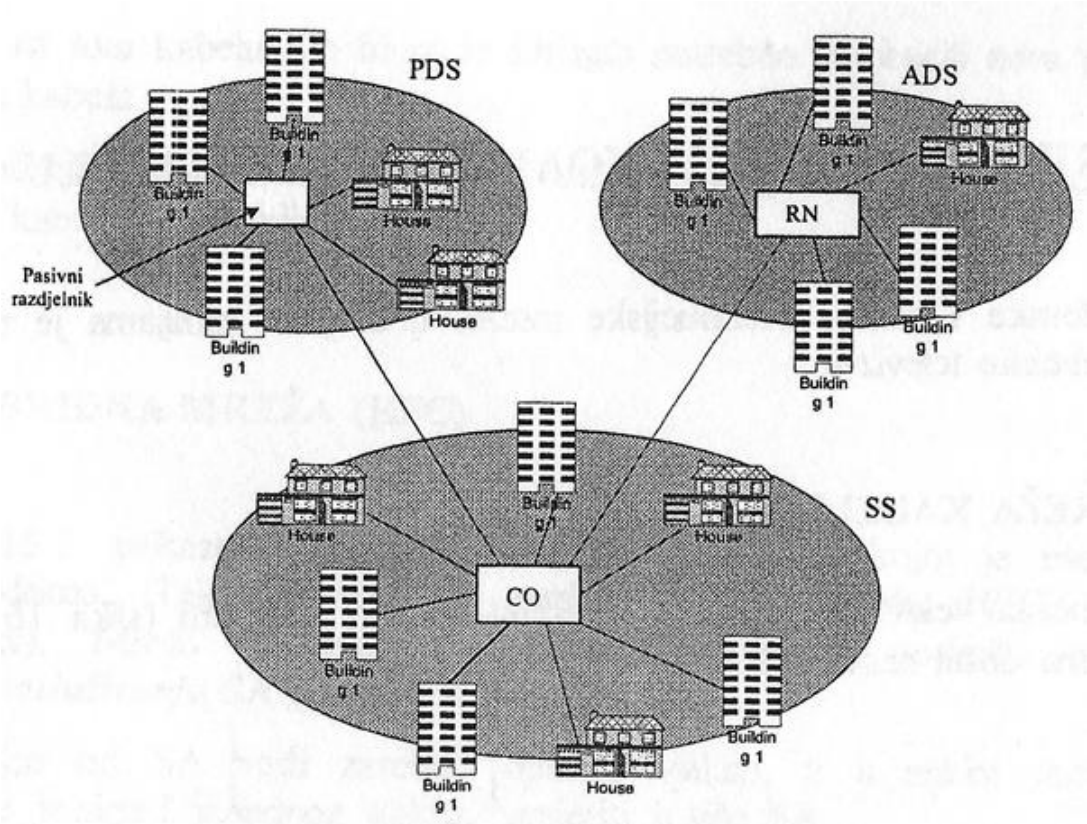
DWDM je valni odnosno frekvencijski multipleks velike gustoće pakiranja valnih duljina. Danas je moguće pakirati velik broj valnih duljina na jednom svjetlovodnom vlaknu (optičkom prozoru). Na primjer, pakiranje 16 valnih duljina na jednom svjetlovodnom vlaknu dovoljno je da se pasivna optička mreža s razdjelnicima 1 : 8 pretvori u FTTH od točke do točke. Osam frekvencija koristilo bi se za posebne dolazne veze od OLT zaključenja do osam ONU jedinica, a drugih osam za suprotni smjer.

DWDM sustav pruža golem kapacitet s prijenosnim brzinama do 40 Gbit/s po jednom kanalu, no s druge strane cijene su pojedinih DWDM komponenata i do pet puta skuplje nego njihov CWDM ekvivalent.

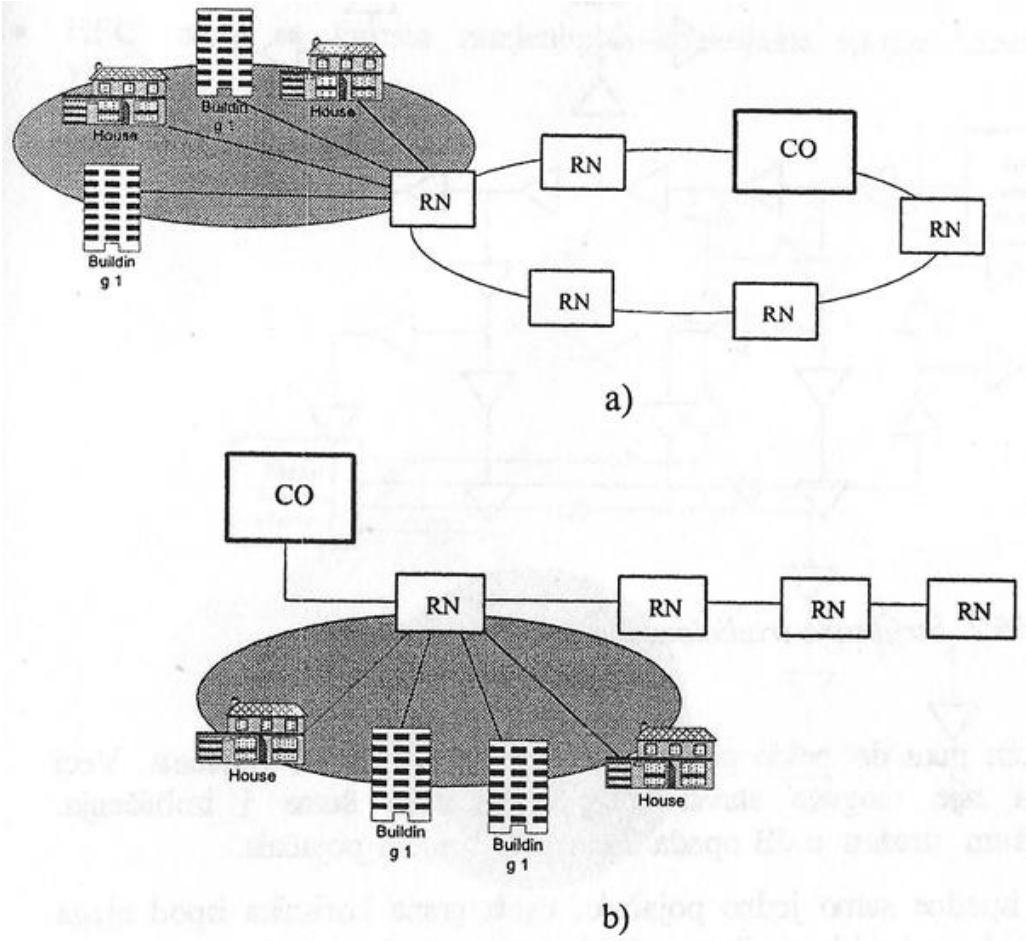
13.3.3. Druge strukture u optičkoj mreži

Osim opisane pasivne optičke mreže, u topologiji dvostruke zvijezde eksperimentira se i s drugim topologijama i tehnikama. Tipične konfiguracije pristupnih mreža prikazane su na slikama 13.6. i 13.7. To su:

- jednostruka zvijezda SS (*Single Star*)
- aktivna dvostruka zvijezda ADS (*Active Double Star*)
- pasivna dvostruka zvijezda PDS (*Passive Double Star*)
- aktivni sustav prsten-zvijezda
- aktivni sustav sabirnica-zvijezda.



Slika 13.6. Različite konfiguracije pristupne mreže



Slika 13.7. Aktivni sustavi: a) zvijezda-prsten, b) zvijezda-sabirnica.

Svojstva optičkih aktivnih i pasivnih mreža te pristupa „od-točke-do-točke“ i „od-točke-prema-više-točaka“ prikazana su pojednostavljeno u tablici 13.4.

Tablica 13.4. Svojstva topologija pristupnih mreža

	Pristup „od-točke-do-točke”	Pristup „od-točke-prema-više-točaka”	
	SS	ADS	PDS
Cijena opičkog vlakna	ne zadovoljava	zadovoljava	zadovoljava
Cijena optičkog uređaja	ne zadovoljava	ne zadovoljava	zadovoljava
Pouzdanost	zadovoljava	umjereno zadovoljava	zadovoljava
Lokalizacija kvara	zadovoljava	umjereno zadovoljava	umjereno zadovoljava
Tajnost (privatnost)	zadovoljava	zadovoljava	ovisi o topologiji
Nadogradnja na širokopojasnu strukturu	zadovoljava	ne zadovoljava	umjereno zadovoljava

13.3.4. Prednosti i nedostatci vezani uz FTTH mreže

FTTH predstavlja dugoročno rješenje pristupnih mreža, no u tom pogledu postoje prednosti i nedostatci. Prednosti FTTH mreže su višestruke i to:

- *Brzina* – svjetlovodno vlakno u ovom trenutku nema konkurencije među medijima glede brzine prijenosa i malog prigušenja signala tijekom rasprostiranja vala.
- *Velika proširljivost (scalability) ponuđenih usluga* – na primjer, pretplatnik sklopi ugovor s operaterom o pristupu u javnu mrežu s određenom brzinom (npr. 50 Mbit/s). Ako nakon nekog vremena želi povećati svoj promet, operater više ne mora slati ekipe na teren i instalirati novu opremu, nego je dovoljno u funkcijama praćenja kontrole toka postaviti nove parametre.
- *Uštede kod operatera* – instaliranjem FTTH mreže operater štedi na troškovima za napajanje i za održavanje elektronike i kabela koji su izloženi atmosferskim utjecajima.
- *Veća pouzdanost* – optičke mreže otporne su na radiofrekvencijske interferencije, imaju manje prigušenje signala i nema kolizije. Potreban je manji broj regeneratora, što također pridonosi pouzdanosti mreže.
- *Umrežavanje svih usluga (Full Service Networking)* – optička mreža može podržati sve danas postojeće usluge, kako klasične, tako i usluge koje zahtijevaju velike brzine prijenosa. Na ovaj način osiguran je lak i bezbolan prijelaz od klasičnih na buduće usluge.

Svjetlovodno vlakno pored velikih prednosti ima i određene nedostatke:

- *Spajanje* – spajanje dvaju svjetlovodnih vlakana zahtijeva vrlo preciznu opremu i stručno osoblje.
- *Savijanje* – svojstva današnjih vlakana mogu se narušiti ekstremnim savijanjem.
- *Početni troškovi* – troškovi vezani za izgradnju mreže su veliki. Najveći su instalacijski troškovi. Međutim, oni su u novije vrijeme bitno smanjeni.
- *Napajanje ONU jedinice* – u FTTH-u velik je problem napajanje ONU jedinice. ONU se može napajati s korisnikove ili operaterove strane. ONU je bliži korisniku pa je nedostatak drugog rješenja što je skuplje (zahtijeva izgradnju mreže za napajanje – optika ne vodi struju). S druge strane, to rješenje ima prednost jer je jednostavnije osigurati pouzdanost napajanja. Traženu pouzdanost kod korisnika moguće je postići samo instalacijom baterija kao dodatnog napajanja, a to bitno poskupljuje izvedbu.

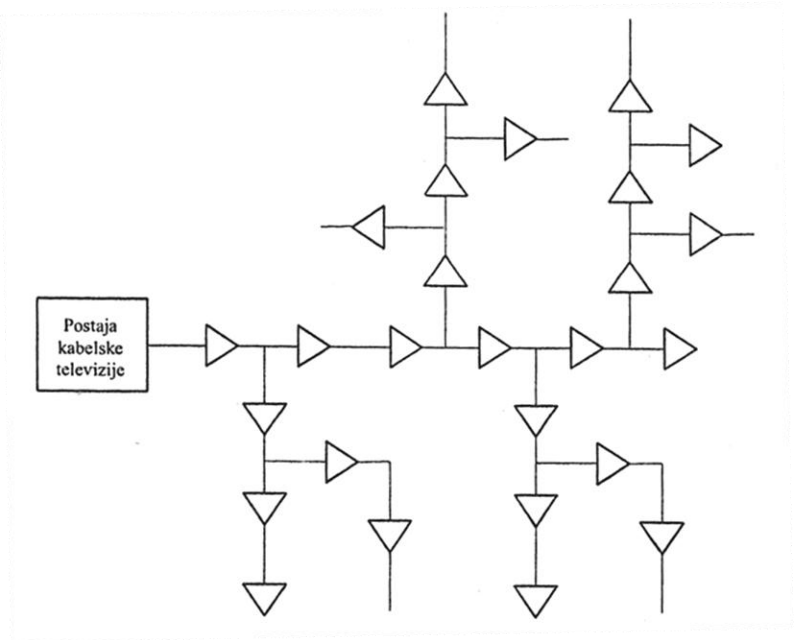
- *Zaštita podataka* – kako je u PON arhitekturi optika zajednički medij, potrebno je prije komercijalnog uvođenja FTTH struktura osigurati mehanizme kodiranja podataka u oba smjera.

14. Pristupne mreže na koaksijalnom kabelu

Osim telefonske i elektrodistribucijske mreže, u mnogim je zemljama razvijena i mreža kabelske televizije.

14.1. Mreža kabelske televizije

Mreža kabelske televizije ima tzv. „tree-and-branch“ strukturu, slika 14.1.



Slika 14.1. Struktura tradicionalne kabelske televizije

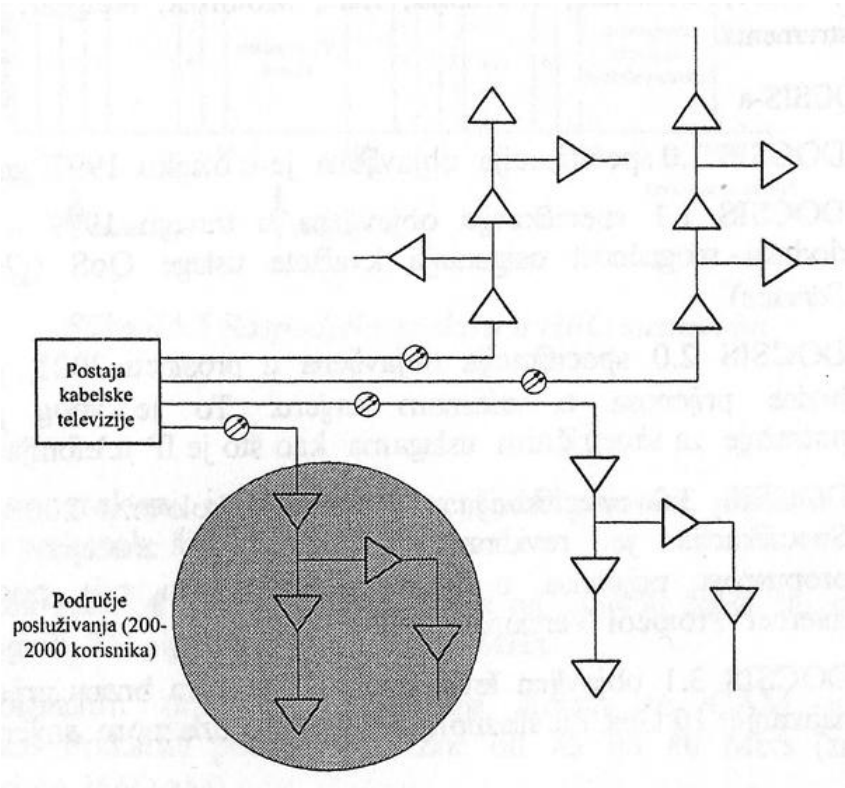
Ta struktura ima dosta nedostataka od kojih su najznačajniji sljedeći:

- Na prijenosnom putu do nekih pretplatnika nalazi se i do 50 pojačala. Veći broj pojačala nije moguće staviti zbog akumulacije šuma i izobličenja. Omjer signal/šum izražen u dB opada linearno s brojem pojačala.
- Ako iz rada ispadne samo jedno pojačalo, cijela grana korisnika ispod njega ostaje bez signala, a broj korisnika može dosegnuti i nekoliko tisuća.

- Mreže kabelske televizije zbog svoje su strukture problematične za održavanje.
- Ako se na nekom segmentu dodaju novi pretplatnici, uvodi se dodatno gušenje koje može narušiti kvalitetu signala svim korisnicima koji se nalaze na tom kabelu. Da bi se to izbjeglo, potrebno je ubaciti nova pojačala na tom kabelu.
- Svi nabrojeni nedostatci mogu se ili smanjiti ili riješiti uvođenjem optike u mrežu kabelske televizije.

14.2. Hibridna mreža (HFC)

Na slici 14.2. prikazana je mreža kabelske televizije u kojoj je uvedeno i svjetlovodno vlakno.



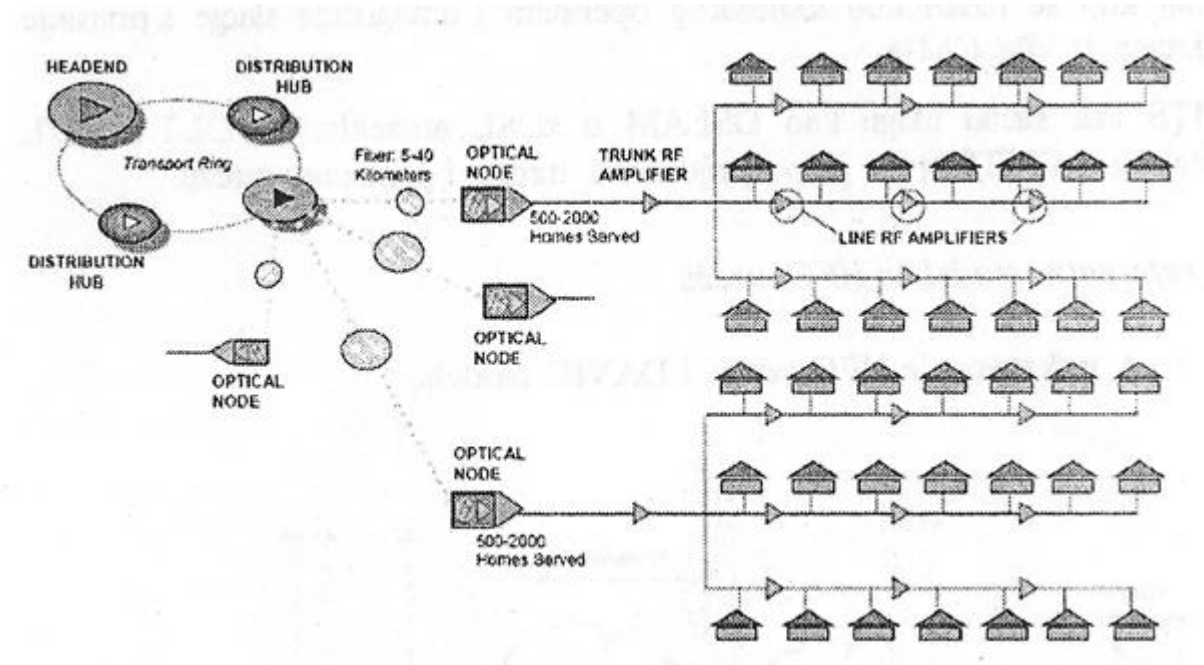
Slika 14.2. Uvođenje optike u kabelsku televiziju

Ovakva se mreža naziva hibridna mreža HFC (*Hybrid Fiber/Coax*). Mreža je podijeljena u nekoliko zasebnih područja nazvanih *područje posluživanja* SA (*Service Area*). U svako od SA područja uvodi se zasebno svjetlovodno vlakno, a u nekim slučajevima moguće je signal iz jednog vlakna usmjeriti u više SA područja. Analogni optički videosignal pretvara se u električni na ulasku u područje SA. HFC mreža se formira zamjenom koaksijalnih spojnih kabela svjetlovodnim vlaknima.

Prednosti ove strukture, nazvane i *optičko vlakno u području posluživanja FSA* (*Fiber Service Area*), jesu višestruke:

- broj pojačala smanjen je na samo nekoliko njih ili čak samo na jedno (i to na optičko-električnom pretvaraču)
- smanjenjem broja pojačala značajno se povećava raspoloživost sustava
- povećan je omjer signal/šum
- povećan je raspoloživ frekvencijski opseg zbog kraće dionice na koaksijalnom mediju od nekoliko stotina MHz, što omogućuje puno veći broj kanala.

Moderne kabelske mreže danas su hibridne mreže sastavljene od svjetlovodnih i koaksijalnih vodova (HFC). Korisnici su na kabelsku mrežu uvijek spojeni koaksijalnim kabelom, ali je okosnica, najčešće od optičkog čvora (koji pokriva naselje ili četvrt od 500 do 2000 stanova), preko *hubova*, sve do regionalnog središta (glavna stanica – *headend*) kabelske mreže, izgrađena svjetlovodnim kabelima. Distribucijski *hubovi* najčešće su s glavnom stanicom (*headend*) spojeni u prsten, slika 14.3.



Slika 14.3. Shematski prikaz HFC mreže

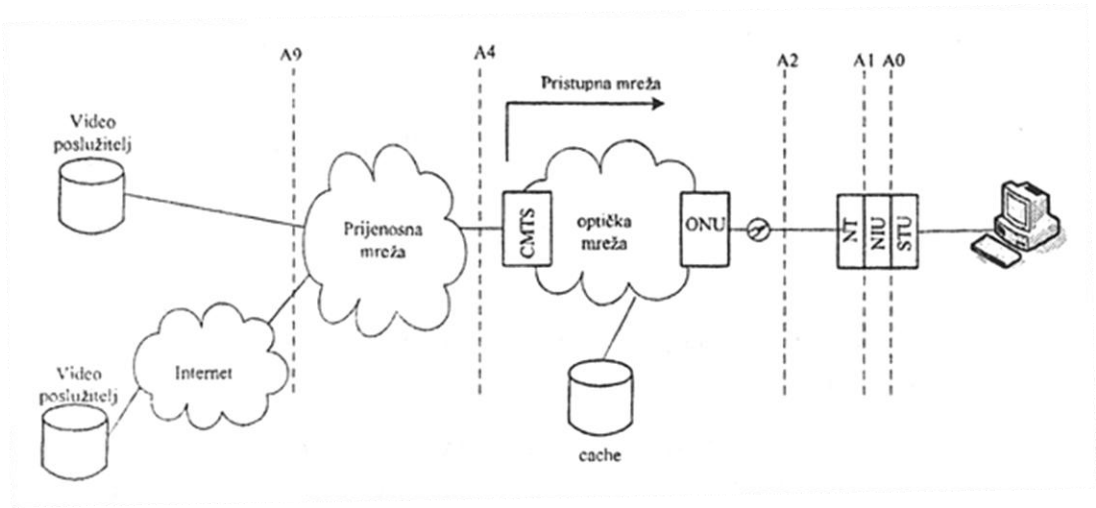
Instalacija optike u kabelsku mrežu rješava akutne probleme s kojima se susretala mreža tradicionalne kabelske televizije. To je bio tek prvi korak u razvoju ove mreže u širokopojasnu pristupnu mrežu. Sljedeći je korak uspostavljanje i suprotnog smjera (od korisnika prema centrali).

Razvojem interneta kabelskim operaterima otvorila se nova mogućnost za proširenje palete usluga. Izravno korištenje HFC mreže za odlazni promet nije bilo moguće zbog jednosmjernih pojačala koja su se upotrebljavala u dijelu mreže s kabelskim medijem. Da bi se omogućilo uvođenje dvosmjernih usluga u mreže kabelske televizije, prije svega bilo je potrebno prilagoditi mrežu dvosmjernoj komunikaciji. Početak prilagodbe mreže dvosmjernoj komunikaciji bio je uvođenje povratnog kanala za primanje podataka unutar HFC mreže. Da bi se preko koaksijalnog kabela mogao prenositi signal u suprotnom smjeru, bilo je potrebno zamijeniti postojeća jednosmjerna pojačala dvosmjernim pojačalima ili se s optikom treba dovoljno približiti korisniku da pojačala nisu potrebna.

Da bi se HFC iskoristio i za povratni smjer, moraju se u optičke čvorove (ONU) ugraditi laseri za komunikaciju prema CMTS-u (*Cable Modem Termination System*), a to bitno poskupljuje instalaciju mreže. Osnovni aktivni uređaji koji donose širokopojasni pristup internetu do krajnjeg korisnika jesu CM (*kabelski modem*) i CMTS (*Cable Modem Termination System*). CM je uređaj koji se nalazi kod krajnjeg korisnika i služi za primanje i slanje signala u sustavu kabelske televizije, a CMTS je uređaj koji se nalazi kod kabelskog operatera i omogućuje slanje i primanje podataka iz više CM-a. CMTS ima sličnu ulogu kao DSLAM u xDSL arhitekturi ili OLT u FITL arhitekturi. CMTS spaja javnu prijenosnu mrežu i pristupnu mrežu.

14.2.1. DAVIC referentni model za HFC mrežu

Na slici 14.4. prikazana je HFC mreža u DAVIC modelu.



Slika 14.4. DAVIC model u HFC mreži

Pružatelji usluga spajaju se preko sučelja A9 na prijenosnu mrežu (javne ATM mreže). Prijenosna mreža se preko sučelja A4 spaja na pristupnu mrežu. Spajanje se izvodi u prostorijama operatera kabelskom mrežom. CMTS poslužitelj jednak je DSLAM-u u sklopu u ADSL mreži.

S druge strane optičke pristupne mreže nalazi se ONU u optičkom čvoru. Sučelja A1 i A0 nalaze se u kabelskom modemu CM.

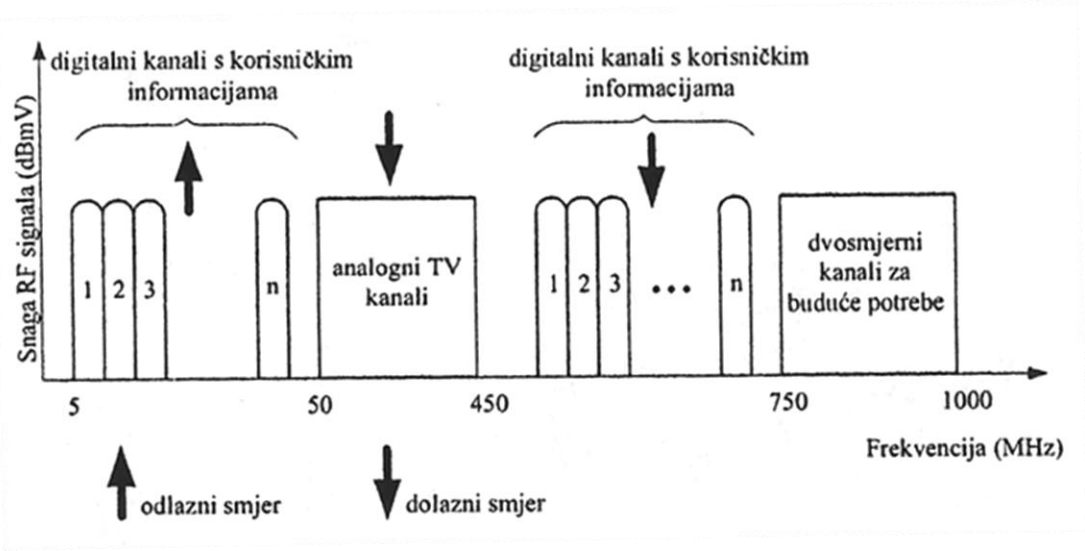
Distribucija televizijskog i radijskog signala zauzima samo malen dio propusnog pojasa na koaksijalnim kablovima pa je ostalo dovoljno mjesta za razvoj ostalih usluga u sustavu kabelske televizije, a ponajprije za usluge širokopojasnog pristupa internetu i IP telefonije. Definiranjem protokola DOCSIS 1.0 (*Data Over Cable Service Interface Specification*), razvijenoga 1997. godine, standardiziran je protokol za prijenos podataka u sustavima kabelske televizije i time pokrenuta cijela jedna nova epoha u sustavima kabelske televizije.

DOCSIS 1.0 međunarodni je standard koji definira prijenos podataka preko sustava kabelske televizije. Ovim protokolom omogućen je prijenos podataka velike brzine u postojećem sustavu kabelske televizije. Standard je razvila tvrtka CableLabs i suradničke tvrtke ARRIS, BigBand Network, Broadcom, Cisco, Conexant, Harmonic, Intel, Motorola, Netgear, Terayo i Texas Instruments. Protokol je dopunjavan, a razvoj novih inačica omogućio je osiguranje kvalitete usluge QoS, podršku IPv6 protokolu i povećanje propusnosti prijenosa u oba smjera. Inačica DOCSIS 3.1, objavljena u listopadu 2013., omogućila je povećanje brzine prijenosa u dolaznom smjeru od najmanje 10 Gbit/s i 1 Gbit/s u odlaznom smjeru.

Zbog razlike u frekvencijskom pojasu između SAD-a i Europskog sustava kabelske televizije (CATV) DOCSIS standard je modificiran za uporabu u Europi. Ove promjene su objavljene pod imenom EuroDOCSIS. Glavna je razlika u širini frekvencijskog pojasa jer kabelski kanali u Europi podržavaju PAL standard (*Phase Alternating Line*) i širinu frekvencijskog pojasa od 8 MHz, dok sjevernoamerički kabelski kanali rabe NTSC (*National Television System Committee*) standard koji specificira 6 MHz širine frekvencijskog pojasa.

14.2.2. Frekvencijski pojas prijenosa u HFC sustavima

HFC sustavi predstavljaju asimetričnu strukturu. Na slici 14.5. prikazana je raspodjela spektra u HFC sustavima.



Slika 14.5. Raspodjela spektra u HFC sustavima

U dolaznom smjeru analogni i digitalni frekvencijski pojasovi prijenosa podijeljeni su na potkanale širine 6 MHz. Dolazni analogni prijenosni pojas iznosi 50 – 450 MHz, što uključuje 66 analognih TV signala, svaki širine 6 MHz. U digitalnim dolaznim potkanalima koristi se QAM modulacijska tehnika. Potkanali podržavaju brzine od 25 do 40 Mbit/s (za 40 Mbit/s koristi se 256QAM).

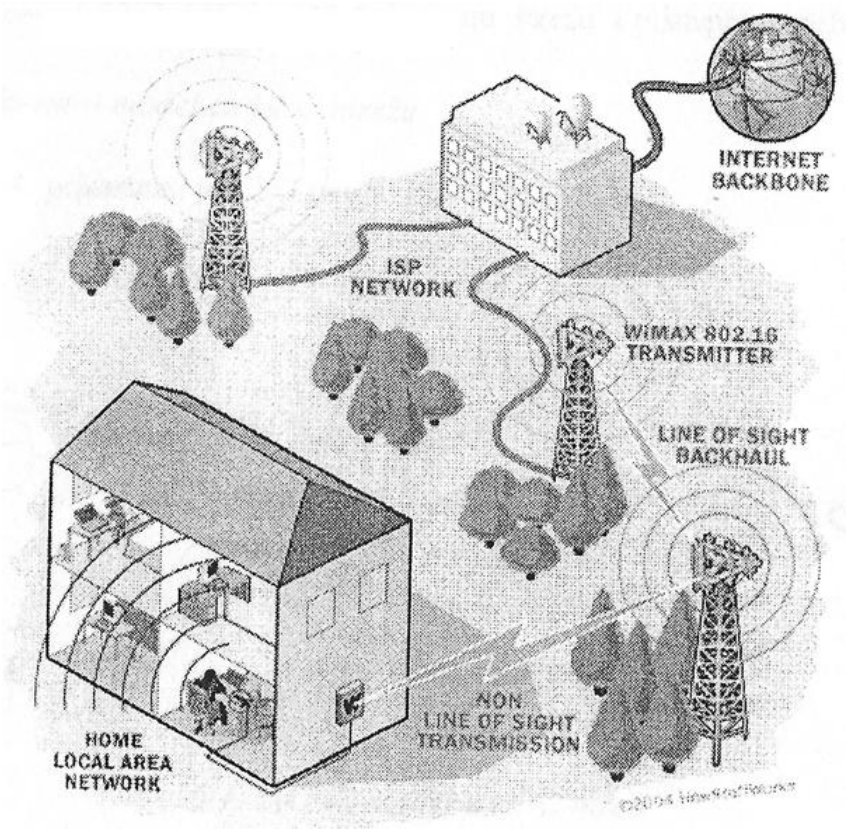
U odlaznom smjeru frekvencijski spektar namijenjen odlaznom spektru ostao je dosta uzak, tj. od 5 do 50 MHz. To je posljedica prvotne namjene HFC arhitekture koja je bila predodređena za razašiljanje (*broadcast*) TV signala.

Za obostrani smjer dio frekvencijskog spektra od 750 MHz do 1 GHz namijenjen je za buduće širokopojasne usluge dvosmjernog tipa.

15. WiMAX tehnologija

Zahtjevi za kapacitetima prijenosa u pristupnoj mreži stalno rastu. Bakrena parica dosegnula je svoj vrhunac, pa rješenja koja se ostvaruju preko postojeće infrastrukture xDSL imaju problem s raspoloživim kapacitetom, pogotovo jer se kapacitet smanjuje s povećanjem udaljenosti. To je uzrokovalo sve veću potrebu za polaganjem optičkih kabela, ali je takvo rješenje bilo preskupo pa se išlo prema nekim jeftinijim rješenjima.

Jedno od perspektivnih rješenja bila je WiMAX tehnologija. WiMAX je popularni naziv standarda za realizaciju gradskih bežičnih mreža (*Wireless Metropolitan Area Networks*). WiMAX tehnologija se počela razvijati 1999. godine kada je IEEE osnovao radnu skupinu nazvanu 802.16 *Working Group* za razvoj širokopojasnog bežičnog pristupa BWA (*Broadband Wireless Access*).



Slika 15.1. WiMAX tehnologija

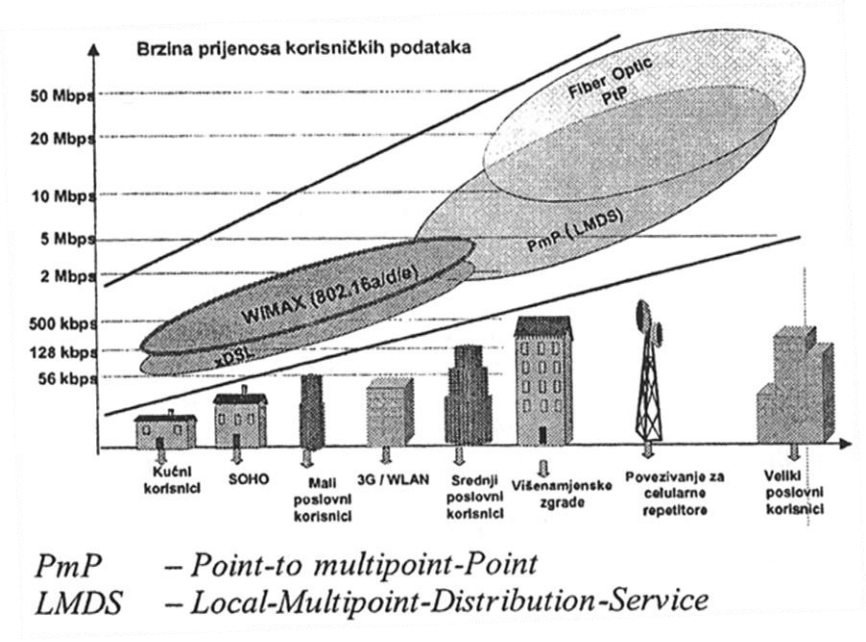
Prvi standard objavljen je 2002. godine, a definirao je rad sustava u frekvencijskom području od 10 do 66 GHz. S obzirom na to da takav sustav zahtijeva optičku vidljivost između predajnika i prijamnika, radna je skupina nastavila razvijati i drugu inačicu, koja se koristi frekvencijskim područjem od 2 do 11 GHz i ne zahtijeva spomenutu optičku vidljivost. Kao takva, puno je bolje prilagođena radu u gusto naseljenim područjima. Ovo rješenje nudi ekonomsku isplativost investiranja u širokopojasni pristup „posljednje milje“ – internetu. To

se u prvom redu odnosi na širokopojasni pristup za kućne korisnike, rezidencijalne korisnike, kućne male urede, male i srednje poslovne korisnike, slika 15.1.

Danas je WiMAX definiran uglavnom dvama standardima. Jedan je standard IEEE 802.16d-2004 ili *Fixed* WiMAX za fiksnu bežičnu mrežu, a drugi je IEEE 80216e ili *Mobile* WiMAX za mobilnu mrežu, koji je u postupku finalizacije. Definirano je također još niz standarda, kao što su IEEE 802.16 f/g/j/k, a oni definiraju dodatna poboljšanja učinkovitosti standarda koja se odnose na upravljanje, interoperabilnost i povećanje propusnosti. Standard IEEE 802.16m-WiMAX2 je u razvoju, trebao bi omogućiti učinkovitiji i brži prijenos, i to 100 Mbit/s za mobilne mreže i 1 Gbit/s za fiksne mreže, a kandidat je za Međunarodne mobilne telekomunikacije IMT (*International Mobile Telecommunications*) i naprednu standardizaciju.

Kako bi se stvorili bolji uvjeti za prihvaćanje ove tehnologije, godine 2001. osnovan je WiMAX Forum kao neprofitna organizacija s ciljem promoviranja i što bržeg prihvaćanja ove tehnologije kao globalnog standarda te usklađivanja standarda radi ostvarenja kompatibilnosti i međudjelovanja opreme različitih proizvođača. Trenutačno WiMAX Forum ima više od 400 članova, a neki su od njih Alcatel, AT&T, Siemens, Fujitsu, Intel, Nortel, Motorola i SBC.

WiMAX je danas tehnologija temeljena na standardu IEEE 802.16d-2004 čija je namjera osigurati bežični širokopojasni pristup na tzv. posljednjoj milji do krajnjeg nepokretnog bežičnog korisnika, FWA (*Fix Wireless Access*). Ona je alternativno rješenje, ali i nadopuna postojećoj tehnologiji kao što je xDSL tehnologija, slika 17.2.



Slika 15.2. WiMAX tehnologija kao alternativa i nadopuna xDSL tehnologiji te ciljani korisnici WiMAX-a

WiMAX tehnologija osigurava pokrivanje područja čiji polumjer u pojedinim uvjetima može iznositi i do 50 km. Unutar polumjera od 8 km WiMAX tehnologija osigurava korisnicima za zajedničku uporabu ukupni kapacitet veći od 75 Mbit/s (za RF opseg širine 21 MHz). Taj kapacitet može zadovoljiti potrebe više desetaka jakih poslovnih korisnika ili više stotina kućnih korisnika na razini prospojenosti koju u sadašnje vrijeme osiguravaju sustavi asimetrične digitalne pretplatničke linije, ADSL.

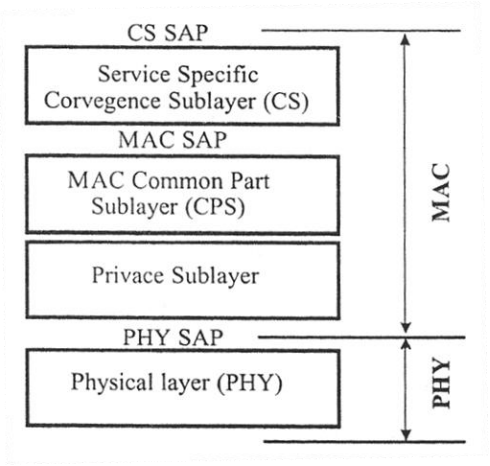
WiMAX je osobito pogodan za primjenu u ruralnim područjima koja tradicionalno nemaju razvijenu telekomunikacijsku infrastrukturu. Izgradnja WiMAX mreže u takvim područjima daleko je isplativija za operatere od npr. izgradnje parične infrastrukture za xDSL tehnologije ili optičke infrastrukture za FTTx arhitekture. Primjena WiMAX-a u ruralnim područjima krajnjim će korisnicima omogućiti širokopojasni pristup telekomunikacijskoj mreži i uslugama te ublažiti tzv. digitalnu podjelu.

Nasuprot tomu, u gradskim će područjima proboj WiMAX-a biti teži zbog već postojeće parične ili optičke infrastrukture pa u tom segmentu treba očekivati jaku konkurenciju između žično-optičkih i bežičnih mreža. Općenito gledano, kompetitivnost WiMAX-a ovisi o prijenosnim brzinama i dometima koje je moguće postići tom tehnologijom te o kvaliteti prijenosne usluge koju njezina bežična arhitektura pruža krajnjim korisnicima. Upravo se na tom planu ostvaruju permanentna poboljšanja, a time WiMAX postaje sve veći konkurent xDSL-u i FTTx-u.

U samom početku WiMAX je bio dominantno predviđen za bežični prijenos govora i podataka rezidencijalnih i poslovnih korisnika. Stalna poboljšanja prijenosne usluge približila su WiMAX skupu onih tehnologija koje omogućuju kvalitetan prijenos *triple play* usluga. U odnosu na postojeće mobilne mreže, WiMAX pruža znatno širi prijenosni pojas frekvencija, a samim time i veće ostvarive prijenosne brzine. Osim toga, podizanje dometa na čak 20 km omogućuje jako dobru pokrivenost terena s relativno malim brojem baznih stanica.

15.1. Referentni model

Na slici 15.3. prikazan je referentni model sustava definiran IEEE 802.16 standardom koji definira zračno sučelje za komunikaciju na PHY sloju te MAC sloj.



Slika 15.3. MAC i fizički sloj standarda IEEE 802.16

15.1.1. Fizički sloj (PHY)

U sklopu fizičkog sučelja standard 802.16 definira tri vrste zračnog sučelja i to:

- bežično sučelje MAN SC2 koje upotrebljava modulacijsku shemu s jednim nositeljem (*Single Carrier Modulation Format*) uz primjenu DS-CDMA višestrukog pristupa (koristio se najviše kod prvog standarda u frekvencijskom intervalu 10 – 66 GHz).
- bežično sučelje MAN OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) koje se temelji na tehnologiji multipleksiranja s višestrukim ortogonalnim podnositeljima (256) u frekvencijskoj domeni, pri čemu se koristi brza Fourierova transformacija FFT za brzo računanje i diskretna Fourierova transformacija DFT za numeričko određivanje spektra signala. Višestruki pristup ostvaruje se s vremenskom podjelom kanala – TDMA.
- bežično sučelje MAN OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) koje se također temelji na tehnologiji multipleksiranja s višestrukim ortogonalnim podnositeljima, ali s 2048 podnositelja, što omogućuje veću fleksibilnost pri dodjeljivanju brzine podnositelja i snage emitiranja korisnicima.

Unutar područja od 2 do 11 GHz koristi se frekvencijski opseg koji može biti smješten u više raspoloživih frekvencijskih područja između 2 i 11 GHz koja ne zahtijevaju izravnu optičku vidljivost u liniji prostiranja između predajne i prijamne antene (NLOS). Neka od njih

predstavljaju licencirani frekvencijski pojas (uz dopuštenje državne administracije), neka nelicencirani frekvencijski pojas (slobodan za uporabu).

Frekvencijska područja su različita u različitim dijelovima svijeta. Najčešće su korištene frekvencije 3,5 i 5,8 GHz za 802.16d i 2,3; 2,5 i 3,5 GHz za 802.16e, ali primjena ovisi o pojedinim zemljama. Europa se koristi frekvencijskim područjem 2,5, 3,5 i 5,8 GHz.

U Hrvatskoj je planom dodjele frekvencijskog spektra za širokopojasne nepokretne bežične sustave predviđeno područje od 3,4 do 3,6 GHz (za korištenje ovog područja potrebno je dopuštenje ovlaštenog tijela u Republici Hrvatskoj, a to je Hrvatska agencija za telekomunikacije) te područje od 24,5 do 26,5 GHz (također je potrebno dopuštenje). Oba su područja namijenjena isključivo za civilnu uporabu. Za potrebe FWA-e moguće je iskoristiti i tzv. ISM pojasove frekvencija za čije korištenje nije potrebno dopuštenje.

U Republici Hrvatskoj to su područja od 2,4 GHz do 2,5 GHz (za civilnu uporabu) te pojasovi od 5,725 do 5,83 GHz (za civilnu i vojnu uporabu) i od 5,85 GHz do 5,925 GHz (samo za civilnu uporabu). Međutim, korištenje tih pojasova svjestan je rizik jer u tom području već rade mnogi bežični mikrovalni sustavi, a posebno bežični LAN-ovi, pa je i mogućnost interferencije s tim sustavima veća negoli u strogo namjenskim pojasovima.

U Hrvatskoj se koristi WiMAX sustav za nepokretni bežični pristup u frekvencijskom području od 3,5 GHz (licencirano područje). Predviđen je RF kanal širine 3,5 MHz u blokovima od 2 x 21 MHz. Sustav upotrebljava 256 FFT OFDM tehnologiju, a na svakom ortogonalnom podnositelju primjenjuje se modulacija BPSK, QPSK, 16QAM ili 64QAM uz različite stupnjeve zaštitnog kodiranja što ovisi o uvjetima prostiranja signala, udaljenosti i potrebnoj kvaliteti usluge.

Čitav niz čimbenika utječe na gušenje i izobličenje signala koji se širi preko slobodnog prostora. Ti se čimbenici mijenjaju u vremenu na slučajan način. Standardi IEEE 802.16 sa svojim podvarijantama uključuju čitav niz mehanizama koji stvaraju robustan i otporan prijenosni link. Na primjer, zaštitno kodiranje i ispreplitanje bitova (*interleaving*) osigurava visoku otpornost na pogreške.

15.1.2. MAC sloj

MAC sloj (*Media Access Control*) dio je drugog sloja ISO RM-a (*Data Link Layer*). Standard definira višestruki pristup mediju s detekcijom nositelja i izbjegavanje sudara CSMA/CA.

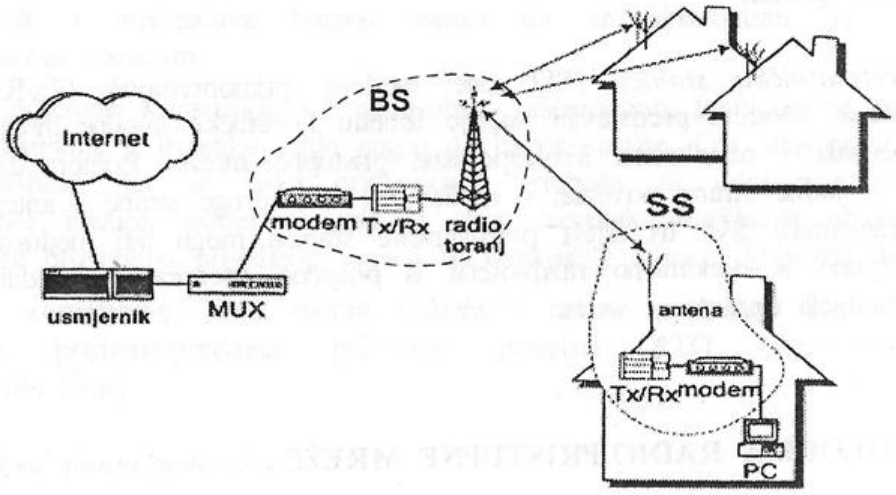
MAC sloj se sastoji od triju podslojeva, kao što je to prikazano na slici 15.3. To su:

1. ***Podsloj konvergencije specificiran za usluge*** *(Service Specific Convergence Sublayer – CS)* – nalazi se na vrhu MAC sloja. Njegova je funkcija da prihvaća PDU-ove (*Protocol Data Unit*) s viših slojeva kroz CS SAP (*CS Service Access Point*), a zatim vrši njihovu klasifikaciju i procesiranje te ih isporučuje nižem MAC CPS podsloju kroz MAC SAP.
2. ***Zajednički dio MAC podsloja*** *(MAC Common Part Sublayer – MAC CPS)* – sadržava jezgru MAC funkcija i odgovoran je za funkcioniranje kontrole pristupa, odabira frekvencijskog područja, za uspostavu i održavanje veze. Ovaj podsloj prima podatke s raznih CS-ova koji su klasificirani za pojedine MAC veze. Njegova je zadaća pridjeljivanje kvalitete usluge QoS (*Quality of Service*), odašiljanje i raspoređivanje podataka kroz fizički sloj. Korisnik šalje baznoj stanici zahtjev za prijenos, a bazna stanica mu na temelju raspoloživosti dodjeljuje točno definirani vremenski interval ili više njih, kojima se samo on smije koristiti pri prijenosu. Na taj se način osigurava zajamčena razina kvalitete (QoS).
3. ***Sigurnosni podsloj*** *(Privacy Sublayer)* – omogućuje autentifikaciju, izmjenu sigurnosnih ključeva i enkripciju podataka.

Podatci, kontrola fizičkog sloja i statistički parametri izmjenjuju se između MAC CPS podsloja i PHY sloja preko PHY SAP-a. PHY sloj može uključivati višestruke specifikacije, a svaka je prilagođena za poseban frekvencijski pojas i pojedinu aplikaciju.

15.2. Arhitektura WiMAX mreže

Arhitektura mreže s nepokretnim bežičnim pristupom od točke do više točaka prikazana je na slici 15.4.



Slika 15.4. Arhitektura mreže s nepokretnim bežičnim pristupom

Mreža prikazana na slici 15.4. ima dvije osnovne komponente:

1. baznu stanicu, BS (*Base Station*)
2. pretplatničku stanicu koja se označava sa SS (*Subscriber Station*), ST (*Subscriber Terminal*) ili CPE (*Customer Premises Equipment*).

Bazna stanica (BS) sadržava jedan ili više radijskih primopredajnika (Tx/Rx), a svaki od njih preko antene bežično se povezuje s nekoliko pretplatničkih stanica unutar sektoriziranog područja. Modemi su spojeni s multipleksorom koji prikuplja promet iz različitih sektora i prosljeđuje ga prema usmjerivaču koji osigurava vezu s IP mrežom pružatelja usluga. Postoje dvije osnovne vrste baznih stanica:

1. *Makro bazna stanica (macro base station)* – može posluživati nekoliko sektora (do 2048 aktivnih pretplatničkih stanica), a upotrebljava se u gusto naseljenim gradskim područjima.
2. *Mikro bazna stanica (micro base station)* – kompletna samostojeća bazna stanica. Ona je alternativno i jeftino rješenje za potpunu baznu stanicu na mjestima gdje je broj pretplatnika ograničen i gdje je potreban samo jedan ili dva sektora.

Makro bazna stanica i mikro bazna stanica osiguravaju sve potrebne funkcije za ostvarivanje komunikacije s pretplatničkom stanicom i vezu s temeljnom mrežom pružatelja usluga.

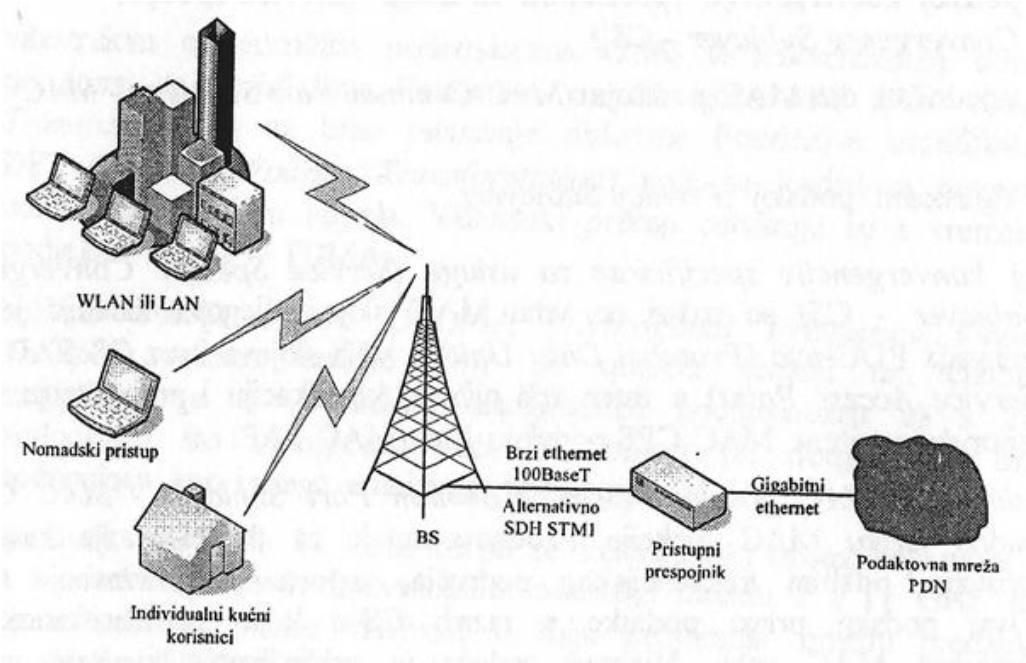
Može se koristiti i bazna stanica temeljena na standardu *ETSI Hiper MAN-2004*, koja ima iste osnovne karakteristike definirane standardom IEEE 802.16, a usklađivanje sa standardom IEEE 802.16 izvršeno je 2004. godine.

Pretplatničku stanicu (SS) čine modem, primopredajnik (Tx/Rx) i antena. Modem predstavlja sučelje između korisničke lokalne mreže ili računala i nepokretne širokopojasne pristupne mreže. Primopredajnik je s jedne strane povezan s modemom, a s druge strane s antenom. Sva tri dijela pretplatničke stanice mogu biti međusobno potpuno ili djelomično razdvojena ili potpuno integrirana u jedan ili dva dijela opreme.

15.3. Topologija rada pristupne mreže

Radijska pristupna mreža kreira se prema standardu 802.16.d-2004. Osnovne karakteristike radijske pristupne mreže WiMAX sustava u Hrvatskoj su:

- frekvencijsko područje rada 3,5 GHz (licencirano)
- ima veći broj sektora, a po svakom sektoru širina kanala je 3,5 MHz (inače može i 1,75; 3,5; 7 MHz)
- sustav upotrebljava OFDM tehnologiju s 256 podnositelja, a po svakom ortogonalnom podnositelju primjenjuje se adaptabilna modulacija BPSK, QPSK, 16QAM ili 64QAM, uz redundantno kodiranje ½, 2/3 i 3/4
- na strani prijenosne mreže mogu se rabiti normirana sučelja za brzi Ethernet (100 Mbit/s) ili gigabitni Ethernet (1000 Mbit/s) i/ili jednomodni svjetlovodni kabel, a opcijska rješenja su povezivanje preko SDH mreže uz korištenje multipleksnog signala prijenosne brzine 155 Mbit/s, tj. 1 x STM-1, slika 15.5.



Slika 15.5. Topologija radijske pristupne mreže

Za zračno sučelje specificira se sustav od 256 podnositelja. Podnositelji, njih 192, rabe se za prijenos korisničkih podataka, 56 podnositelja se poništava (*nulled*) zbog osiguranja zaštitnog opsega, a osam podnositelja rabi se za trajni sustav prijenosa pilotskih simbola.

Dakle, u WiMAX zračnom sučelju aktivno se koristi samo 200 podnositelja. Od tog broja njih 192 upotrebljava se za prijenos informacijskog signala, a njih osam za prijenos pilotskog signala. Pilotski podnositelji uvijek su modulirani isključivo BPSK modulacijom, a podnositelji koji prenose informacijski signal adaptivno su modulirani uporabom BPSK, QPSK, 16QAM ili 64QAM modulacije, ovisno o uvjetima prijenosa.

U sustavu od ukupno 256 podnositelja dio podnositelja, njih 56, služi za formiranje zaštitnog opsega, tj. ne koriste se. Za podnositelje koji se ne koriste kaže se da su nulirani.

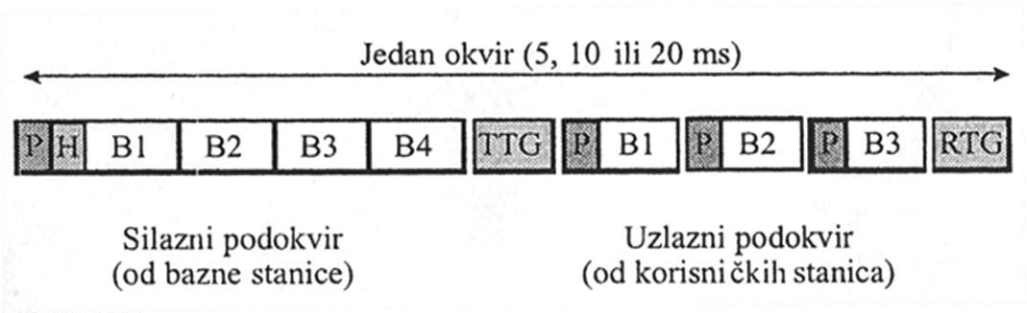
WiMAX sustav može raditi u trima modovima i to:

1. frekvencijskom dupleksu FDD (*Frequency Division Duplex*)
2. frekvencijskom poludupleksu H-FDD (*Half Frequency Division Duplex*)
3. vremenskom dupleksu TDD (*Time Division Duplex*).

U FDD modu rada uzlazni i silazni kanali smješteni su na različitim frekvencijskim područjima, međusobno razdvojeni najčešće oko 100 MHz. U ovom modu sve korisničke stanice mogu istovremeno slati i primati podatke.

U H-FDD modu rada uzlazni i silazni kanali također su smješteni na različitim frekvencijskim područjima, ali korisničke stanice ne mogu slati i primati podatke istovremeno.

U TDD modu bazna stanica (BS) i korisnička stanica (SS) odašilju na istoj frekvenciji, ali u različitim vremenskim trenutcima. TDD okvir ima fiksno vrijeme trajanja, a sastoji se od jednoga silaznog podokvira i jednoga uzlaznog podokvira. Ta dva podokvira odvojena su zaštitnim vremenom koje se naziva predajno-prijamna prijelazna praznina TTG (*Transmit/receive Transition Gap*). Nakon kompletnog TDD okvira (silazni i uzlazni podokvir) slijedi period prekida, to jest prijamno-predajna prijelazna praznina RTG (*Receive/transmit Transition Gap*), slika 15.6.



Slika 15.6. TDD okvir s dolaznim i odlaznim podokvirom

Prijenos u silaznom smjeru

Preambulom P započinje podokvir silaznog linka. Ona se naziva druga preambula. Nakon preambule P slijedi zaglavlje okvira H, koje se naziva FCH (*Frame Control Header*), a uvijek je modulirano BPSK modulacijom.
Zaglavlje H nosi informaciju kao što je ID bazne stanice te informacije o skupinama podataka koji slijede, što omogućuje krajnjim stanicama pravilno dekodiranje podataka. Pojedinoj stanici tako je omogućeno da čita podatke koji su isključivo njoj namijenjeni.

Bazna stanica nakon preambule P i zaglavlja H odašilje signale u podokviru silaznog linka, i to jednu ili više skupina podataka (B1, B2, B3, B4) koji su namijenjeni pojedinim korisnicima. Unutar pojedine skupine podataka (B1, B2, B3, B4) modulacija je konstantna, tj. ne mijenja se, dok se modulacija od skupine do skupine podataka može razlikovati.
Nakon završetka odašiljanja slijedi kratka stanka ili prijelazna praznina TTG (*Transmit/receive Transition Gap*).

Prijenos u uzlaznom smjeru

Nakon kratke stanke (TTG) slijedi odašiljanje podataka pojedinih korisničkih podstanica u podokviru uzlaznog linka.
Svaki vremenski odsječak u kojemu odašilje pojedini korisnik (B1, B2, B3) u uzlaznom linku započinje preambulom P. Ona se naziva kratka preambula i omogućuje baznoj stanici da se sinkronizira sa svakom korisničkom stanicom.

Signali pojedinih korisničkih stanica međusobno su sinkronizirani tako da ne bi došlo do preklapanja u trenutku kada stignu do bazne stanice. Sinkroniziranje je vrlo složeno jer, osim pridijeljenog vremena za odašiljanje pojedine korisničke stanice, treba uzeti u obzir i trenutak odašiljanja s obzirom na kašnjenje prostiranja pojedinog signala od korisničke do bazne stanice.
Nakon kompletnog TDD okvira (silazni i uzlazni podokvir) slijedi period prekida, to jest prijamno-predajna prijelazna praznina RTG (*Receive/transmit Transition Gap*).

Redoslijed slanja podataka

Primijenjena modulacijska shema, koja se razlikuje od skupine do skupine podataka, definira i redoslijed slanja podataka. Prvo se šalju skupine podataka s robusnijom modulacijom, tj. prvo se šalju podatci s BPSK ili QPSK modulacijom, zatim oni sa 16QAM pa 64QAM modulacijom. Preambule se uvijek moduliraju QPSK modulacijom.

Prijenosne brzine podržane standardom IEEE 802.16 mogu biti i veće od 70 Mbit/s, dok standard IEEE 802.16a podržava prijenosne brzine do 25 Mbit/s. Širine kanala variraju od 1,5 do 20 MHz. Domet prijenosa ostvariv WiMAX-om seže i do 50 km, uz tipičan promjer ćelije od 13 do 20 km.

Literatura

[1] Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Kunštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac, B., Sinković V. (2003.) *Osnovne arhitekture mreža*, Zagreb: Element.

[2] Kapov, M., Lorincz, J. (2015.) *Lokalne i pristupne mreže*, Skripta FESB.

[3] Annabel Z. Dodd (2001) *The Essential Guide to Telecommunications*, The Third Edition, Pearson Education, Inc, publishing as PRENTICE HALL., INC, ISBN 0130649074.

[4] Regis J. (Bud) Bates, Donald W. Gregory (1997) *Voice and Data Communication Handbook*, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, McGraw-Hill series on computer communications, ISBN 0-07-006396-6.

[5] CARNet*, Računalne mreže – OSI referentni model* (2008.), http://sistemac.carnet.hr/node/352

[6] Balchunas, A. (2012.) *OSI Referentni Model v.1.31*, http://www.routeralley.com/

[7] Ožegović, J., Pezelj, I. (1999/2000.) *Projektiranje i upravljanje računalnim mrežama – Skripta radni materijal*, Split: FESB.

[6] Ožegović, J. (2012.) *Računalne mreže – radni materijal 2002/2003, IV. dopunjeno izdanje*, Skripta Veleučilište u Splitu.

[7] FER – Zavod za elektroničke sustave i obradu informacija/Laboratorij za sustave i signale (2004.) *Strukturno kabliranje – Planiranje, projektiranje, izvođenje i održavanje*, Zagreb: Kigen d.o.o.

[8] Duck, M., Read, R. (2003.) *Data Communications and Computer Networks*, 2. izdanje, Great Britain: Pearson Prentice Hall, Pearson Education Limited.

[9] Forouzan, B. A. (2007.) *Data Communications and Networking*, 4. izdanje, USA: McGraw-Hill Higher Education.

[10] Reynders, D., Wright, E. (2003.) *Practical TCP/IP and Ethernet Networking*, Elsevier-Newnes.

[11] Tanenbaum, A. S., Wetherall, D. J. (2011.) *Computer Networks*, 5. izdanje, Pearson Education Inc., Prentice Hall.

[12] *Ethernet Technical Support* (2014.), Contemporary Controls Systems Inc., http://www.ccontrols.com/support/ethernet.htm