

## 11. Lokalne računarske mreže

Pojavom na tržištu jeftinih i moćnih mikroprocesora, sve više postoji izražena tendencija da se umesto velikih centralizovanih računara koriste mali decentralizovani. Sa druge strane, sve češće korišćenje malih autonomnih mašina nameće potrebu za njihovim međusobnim povezivanjem. Danas, računarskim mrežama ostvaruje se međusobno povezivanje kako različitih računara tako i perifernih uređaja (kakvi su štampači, uređaji za masobno memorisanje). Ovim se obezbeđuje nesmetano korišćenje prvo deljive informacije, a zatim i skupih resursa. Lokalne računarske mreže (*Local Area Network*- LAN) obezbeđuju ove mogućnosti u okviru ograničene geografske oblasti.

### 11.1. Šta je to LAN ?

LAN je komunikaciona mreža koja ostvaruje međusobno povezivanje različitih uređaja kakvi su računari, terminali, i periferni uređaji u okviru ograničene geografske oblasti. Ključne karakteristike LAN-ova su sledeće:

- (a) ostvaruje se veza na kraća rastojanja—obezbeđena je komunikacija u okviru zgrade, ili kompleksa zgrada na površini od nekoliko kilometara.
- (b) karakteriše ih velika brzina kod prenosa podataka—LAN-ovi obično koriste znatno velike brzine kod prenosa podataka (od 10 Mbps do 10 Gbps).
- (c) mali je broj grešaka u prenosu—procenat grešaka u prenosu je reda  $10^{-8}$  do  $10^{-11}$  u poredjenju sa WAN gde je  $10^{-5}$  do  $10^{-7}$ .
- (d) jednostavno rutiranje—kod velikog broja LAN-ova koriste se samo *broadcast* poruke pa zbog toga nema potrebe za korišćenjem algoritama za rutiranje poruka.
- (e) vlasnik LAN-a je jedna organizacija—imajući u vidu ograničenu geografsku pokrivenost obično svaka organizacija ima svoju LAN mrežu čime se značajno smanjuje cena administriranja i održavanja.
- (f) niža cena komuniciranja—niži procenat grešaka kod prenosa podataka, jednostavnost (ili odsustvo) algoritama za rutiranje, kao i niža cena za administriranje i održavanje mreže ukazuju da je celokupna komunikaciona cena LAN-a znatno niža od WAN-a.

#### 11.1.1. Standardi kod LAN-ova

Jedan od glavnih ciljeva donošenja standarda je taj da se ostvari kompatibilnost u radu između uređaja različitih proizvođača. Tako na primer, na nivou IEEE Project 802 Februara 1980 godine standardizovana, su kod LAN-ova, sledeća tri protokola za pristup medijumu:

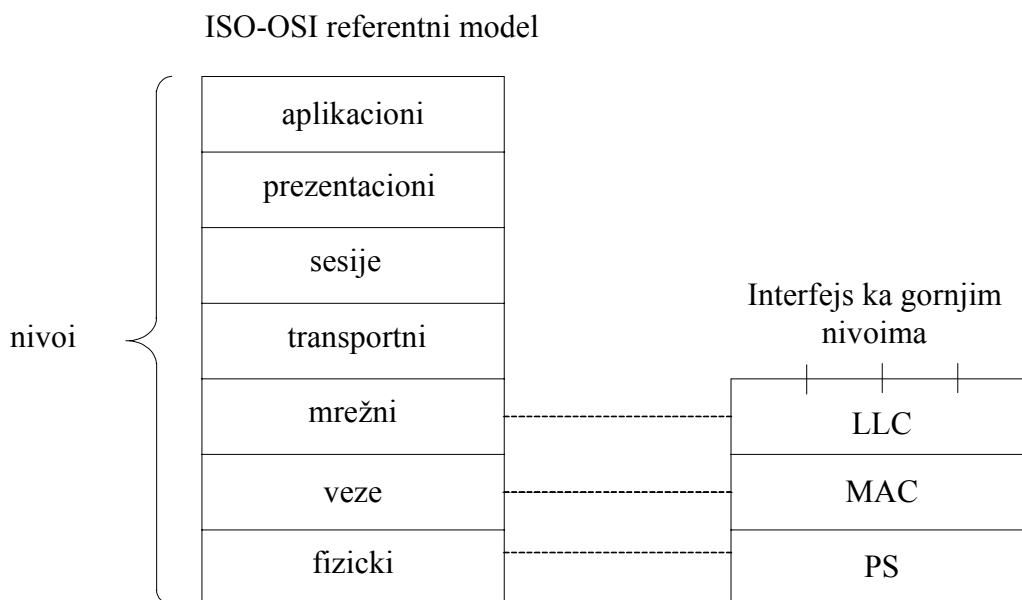
1. CSMA/CD – *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect*
2. *Token Bus*
3. *Token Ring*

Pored IEEE organizacije postoje i druge institucije koje se danas bave donošenjem mrežnih standarda. To su pre svega *American National Standard Institute* (ANSI), ITU-T..... (poznata ranije kao *Consultative Committee for Internatinal Telephone and Telgraph – CCITT*), *European Computer Manufacturers Association* (ECMA), *International Standards Organization* (ISO) *National Institute for Sandards in Technologies* (NIST) i druge.

ISO i IEEE se bave donošenjem standarda kojima se, kada se govori o mrežnoj opremi, specificiraju pre svega specifičnosti računarske opreme, dok ITU-T (tj. CCITT) razmatra specifičnosti standarda sa aspekta povezivanja opreme različitih tipova nacionalnih i internacionalnih PTT mreža.

Kako sve više dolazi do izražaja preklapanje interesa između proizvođača računarske i telekomunikacione opreme tako se sve više nameće potreba za povećani nivo saradnje i dogovora.

ISO referentni model predstavlja polaznu osnovu za definiciju standarda kod povezivanja heterogenih računarskih sistema. Ovaj model obezbeđuje bazu za povezivanje otvorenih sistema kod aplikacija distribuiranog procesiranja (termin otvoreni se pre svega odnosi na povezivanje bilo koja dva sistema između kojih postoji slaganje u pogledu referentnog modela i pridruženih standarda). Na Slici 11.1 prikazan je odnos između IEEE 802 LAN referentnog modela i ISO-OSI referentnog modela.



Slika 11.1 Odnos između ISO-OSI i LAN referentnih modela

Napomena: LLC – *logical link control*; MAC - *medium access control*; PS – *physical signaling*

Kao što se vidi sa slike 11.1, nivo-veze (*data link*) i fizički-nivo (*physical layer*) ISO-OSI modela preslikavaju se u sledeća tri nivoa kod IEEE 802 LAN modela:

**A. LLC (*Logical Link Control*)**—zadužen je za uspostavljanje, održavanje i raskidanje logičke veze između LLC korisnika. LLC specificira mehanizme za adresiranje stanica priključenih na prenosnom medijumu kao i upravljanje razmenom podataka između dva korisnika. Princip rada i format standarda se zasniva na HDLC-u. Uređajima koji koriste LLC stoje na raspolaganju sledeća tri tipa servisa:

- i) *Unacknowledged connectionless service*—ovaj servis je datagramski-stil servisa. To je jednostavan servis koji ne obezbeđuje mehanizme za regulisani tok prenosa podataka kao i kontrolu grešaka kod prenosa podataka. To znači da se sigurna isporuka podataka ne garantuje. Ipak kod najvećeg broja uređaja, softver na višim nivoima protokola je taj koji je zadužen za pouzdan prenos. Tako na primer, TCP ili ISO transportni protokol je taj koji obezbeđuje mehanizam za pouzdan prenos podataka. Ovaj tip servisa karakterističan je za uređaje koji se koriste za prikupljanje podataka od raznih senzora ili samo-testirajućih raporta od nekih uređaja koji nadgledaju rad mrežnih komponenti. Kod monitoring aplikacija, gubitak nekih podataka neće izazvati krah rada sistema, jer, u principu, novi raport će uskoro ponovo doći.
- ii) *Connection-mode service*—ovaj servis sličan je onom koji se nudi od strane HDLC-a. No treba naglasiti da prvo treba da se uspostavi logička veza između dva korisnika koji međusobno razmenjuju podatke, a zatim se dogovorom na nivou protokola definiše način u razmene

podataka, format podataka, kao i kontrola grešaka u prenosu podataka. Ovaj tip servisa karakterističan je za rad uređaja kakav je terminal-kontrolera.

- iii) *Acknowledged connectionless service* – predstavlja kombinaciju prethodna dva servisa. Prenos podataka je datagramski, ali se prijem podataka potvrđuje, no potvrda se ne ostvaruje pre nego što se uspostavi logička veza. Tipičan primer ovih servisa srećemo kod sistema za automatsko upravljanje procesom proizvodnje gde centralni računar komunicira sa većim brojem procesora ili programibilnih kontrolera. Naime veoma često se javlja potreba, pre nego što se preduzme odgovarajuća akcija, za pouzdan prenos vremensko-kritičnih podataka kao i predalarmnih i alarmnih informacija/statusa.

**B. MAC (*Media Access Control*) nivo**—sve mreže tipa LAN čine skup uređaja koji dele prenosni kapacitet mreže. To znači da kontrola pristupa prenosnog medijuma, sa ciljem da se maksimalno iskoristi prenosni kapacitet mreže, mora biti regulisana na jedan korektan i efikasan način. Upravo je ovo funkcija MAC protokola, tj MAC kontroliše pristup medijumu kada nekoliko stanica pokušava da istovremeno obavi predaju, pri čemu se samo jednom predajniku pruža mogućnost da uzme pravo upravljanja nad deljivim medijumom. Dve tehnike koje se standardno koriste za prenos podataka su CSMA/CD i *token-passing*.

Da bi se shvatio odnos između LLC i MAC protokola neophodno je prvo sagledati formate prenosa kod oba protokola. LLC protokol prihvata formatirane podatke od viših nivoa (recimo mrežni nivo). Na nivou LLC protokola ovi podaci se pakuju u blokove podataka koje nazivamo PDU (*protocol data unit*). PDU se zatim predaje MAC nivou koji formira MAC okvir.

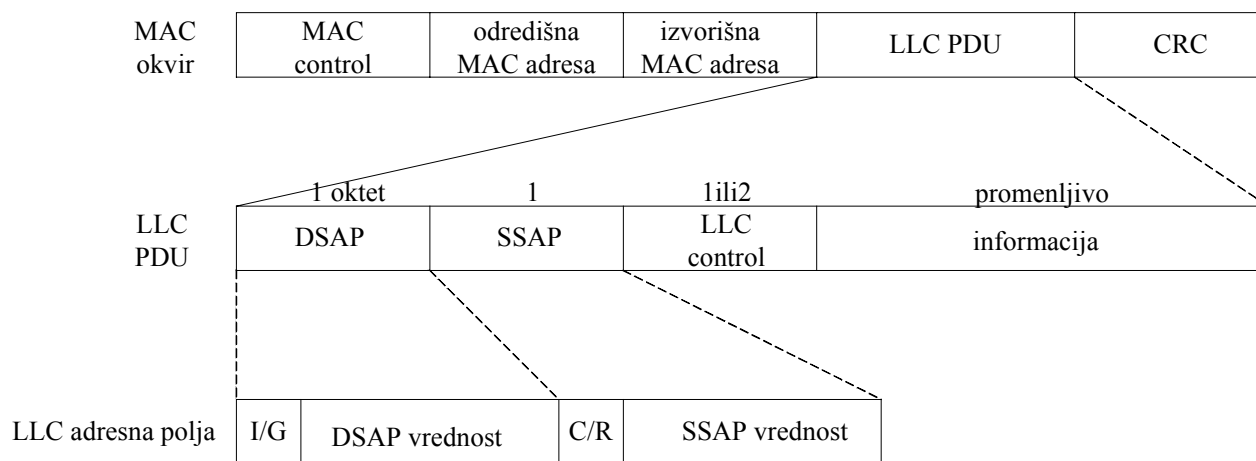
Tačan format MAC nivoa zavisi od tipa MAC protokola koji se aktuelno koristi. Ali, u principu, svi MAC okviri imaju format sličan onom prikazan na Slici 11.2. Polja u okviru okvira su:

- *MAC control* –ovo polje sadrži upravljačku informaciju protokola koja je neophodna za korektno funkcionisanje MAC protokola. Tako na primer, nivo protokola se definiše ovim poljem.
- *odredišna MAC adresa*—ukazuje na odredišnu fizičku priključnu tačku LAN-a za ovaj okvir
- *izvorišnu MAC adresu*—izvorišnu fizičku priključnu tačku LAN-a za ovaj okvir
- *LLC PDU*—podaci koji su prihvaćeni (preneti) od višeg nivoa protokola. Tu spadaju korisnički podaci (polje promenljive dužine), plus izvorišni i odredišni SAP (*service access point*), kao i *LLC control* polje
- *CRC*—ciklički redundantno polje provere, tj. informacija na osnovu koje se proverava ispravan prenos prenete poruke.

Kod najvećeg broja protokola-na-nivou-veze (*data link control protocol*), protokol je taj koji je zadužen za:

- a). detekciju grešaka kod prenosa podataka (koristeći CRC); i
- b). retransmisiju oštećenih okvira.

Kod LAN protokol arhitekture, ove dve funkcije su podeljene između MAC i LLC nivoa. MAC nivo je odgovoran za detekciju grešaka i izbacivanje okvira sa greškom, dok LLC nivo vodi računa (čuva trag) o ispravno primljenim okvirima i izdaje zahtev za retransmisiju okvira koji su primljeni sa greškom.



Slika 11.2 Struktura LLC PDU kod opšteg MAC okvira

*Napomena:* DSAP (SSAP) – *destination (source) access point*

**C. PS nivo (*physical signaling level*)**–funkcije ovog nivoa (vidi sliku 1) tiču se fizičkih i električnih karakteristika fizičkog nivoa ISO-OSI modela.

Funkcije koje su pridružene ovom nivou su:

- kodiranje i dekodiranje signala,
- generisanje preambule sa ciljem da se ostvari korektna sinhronizacija prijemnika, otklanjanje preambule
- predaja/prijem informacije na nivou bita.

## 11.2. Mere za ocenu performansi LAN-ova

Za ocenu performansi LAN-ova koriste se različite mere. Tri najčešće korišćene performansne mere su:

a) *informaciona propusnost (information throughput)*–definiše se kao ukupan broj prenetih informacionih bitova u jedinici vremena. Nezavisno od toga što se pored informacionih bitova prenosi i određeni broj dodatnih bitova koji se odnose na adresiranje, provere da li je došlo do greške u prenosu, potrebe za administriranjem, i dr., ove režijske bitove ne uzimamo u obzir kada se procenjuje informaciona propusnost.

b) *iskorišćenost kanala (channel utilization)* definiše se kao deo vremena koji se troši za predaju informacionih bitova u odnosu na ukupno vreme koje se troši za predaju informacionih i režijskih bitova. Sa ciljem da se ostvari velika iskorišćenost kanala, režijska informacija (*overhead*) koja se pridružuje prenosu informacionih bitova treba da bude mala. Ovo režijsko vreme čine (uključuje) vreme čekanja potrebno da se dobije pravo pristupa nad medijumom radi uspešnog prenosa paketa, prenos preambule koja je neophodna za sinhronizaciju rada prijemnika, vreme potrebno da se prenese informacija o adresi i informacija o grešci, kao i ostala upravljačka informacija koja zavisi od tipa protokola.

c) (*različiti oblici*) *kašnjenja (delay)*–u zavisnosti od trenutka kada počinje merenje, kašnjenjem se definišu različite forme kašnjenja. Jedna od mera je srednje prosečno vreme prenosa (*mean transfer time*) paketa. Ovo kašnjenje se definiše kao prosečni vremenski period od trenutka generisanja paketa na predajnoj strani do završetka prijema na određenoj strani.

### 11.2.1. Faktori koji utiču na performanse LAN-a

Kod brzih LAN-ova vreme predaje paketa  $T$ , komparativno posmatrano, može biti kratko, prvenstveno zbog velike brzine prenosa podataka kroz kanal. Šta više, i za pakete velikog obima moguće je da  $T$  bude istog reda veličine kao i propagaciono kašnjenje kanala  $\tau$ . Ako  $a$  definišemo kao odnos izmedju propagacionog kašnjenja kanala od kraja do kraja u odnosu na vreme prenosa paketa (tj. normalizovano propagaciono kašnjenje kanala), dobićemo da je veličina  $a$  bliska jedinici ili nešto veća. Tako na primer, za paket obima 2000 bitova pri brzini prenosa od 100 Mbps, vreme prenosa paketa

$$T = 2000/100 * 10^6 = 20 * 10^6 = 20 \mu s$$

Ako usvojimo da je brzina propagacije signala kroz medijum za prenos  $2*10^8$  m/s tada za deonicu LAN-a od 5000 m imaćemo da je propagaciono kašnjenje od kraja do kraja  $\tau = 5000/2*10^8 = 25 \mu s$ . Za konkretni slučaj imamo da je  $a = 25/20 = 1,25$ . Sa druge strane za deonicu LAN-a od 10 000 m imaćemo da je  $\tau = 50 \mu s$  i  $a = 2,5$ . Možemo sada veličinu  $a$  posmatrati kao maksimalan broj paketa koji mogu u datom trenutku biti u tranzitu preko prenosnog kanala. Ukazaćemo sada na efekat veličine  $a$  na performanse LAN-a. Kada je veličina  $a$  mala (znatno manje od 1) vreme predaje paketa je dominantno u odnosu na propagaciono kašnjenje signala kroz medijum. Zbog toga deo vremena koji se troši za prenos signala je dosta veliki u odnosu na ukupno vreme uključujući tu i režijsko vreme. Kod najvećeg broja protokola za pristup medijumu, imaćemo da se visok stepen iskorišćenosti kanala i malo kašnjenje dobija kada je  $a$  malo.

Sa druge strane kada je  $a$  veliko (blisko ili veće od 1), propagaciono kašnjenje signala kroz medijum postaje dominantni faktor u odnosu na vreme potrebno za prenos paketa. Zbog toga deo vremena potreban za prenos informacije je znatno manji. Kao rezultat, veći udeo režijskog vremena uslovljen propagacionim kašnjenjem rezultiraće brzoj degradaciji performansi sa povećanjem  $a$ . Da bi ukazali na ovaj efekat analiziraćemo CSMA/CD protokol. Kod ovog protokola stanica koja želi da obavi predaju prvo osluškuje medijum (*carrier sensing*) sa ciljem da utvrdi da li je neki drugi prenos u toku. Ako je medijum pasivan (*idle*) prenos može da počne. Ali pri ovome može da se desi da dve ili veći broj stanica istovremeno nadgleda medijum za stanje pasivno kao i da pokuša sa istovremenom predajom. Ovo će rezultirati (dovesti) do pojave kolizije u predaji paketa. Zbog toga u toku predaje, svaka od stanica nadgleda medijum radi kolizije. Za slučaj da se detektuje kolizija predaja se prekida i prenosi signal *jamming*. Svrha signala *jamming* je da dostavi ka znanju svim stanicama da je došlo do kolizije. Nakon ovoga sve stanice ponovo replaniraju novu predaju za neko buduće vreme.

Ključni elementi LAN-ova su:

- *Topologija* – magistrala, prsten, zvezda
- *Prenosni medijum* – upredeni par žica, koaksijalni kabl, optički kabl
- *Layout*- linearni ili zvezda
- *MAC*- CSMA/CD, ili *token passing*

Svi ovi elementi ne određuju samo cenu i kapacitet LAN-a nego i tip podataka koji se prenosi, brzinu i efikasnot komunikacije, kao i tip aplikacije koji se podržava. Na slici 11.3 dat je pregled ovih elemenata.

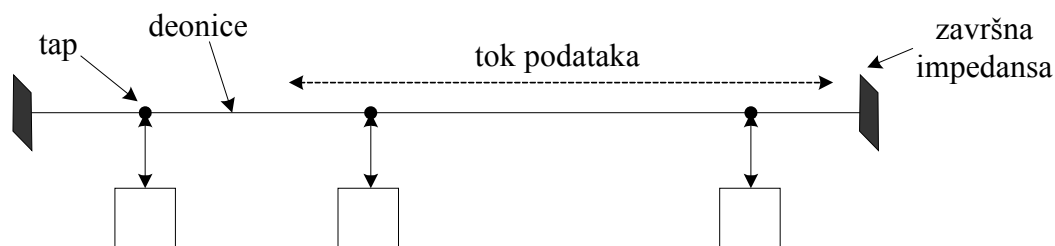
element	opcija	ogranicenja	komentari
topologija	magistrala/stablo	opticko vlakno nije jeftino	ne postoje aktivni elementi
	prsten	ne CSMA/CD ili širokopoljasni	podržavaju opticko vlakno
	zvezda	-	u saglasnosti sa standardima za žicano povezivanje
prenosni medijum	neširmovani upredeni kabl	ogranicenje tipa brzina/rastojanje	jeftino: podložno smetnjama
	upredeni širmovani kabl	ogranicenje tipa brzina/rastojanje	relativno-jeftino
	<i>baseband</i> koaksijalni kabl	-	opada popularnost
	<i>broadband</i> koaksijalni kabl	ne koristi se kod prstena	veliki kapacitet; veci broj kanala; skup
	opticki kabl	nije tako jeftin	veoma veliki kapacitet i siguran prenos
layout	linearni	-	kabl minimalne dužine
	zvezda	-	jednostavno povezivanje
MAC	CSMA/CD	ne kod prstena	jednostavna: naširoko implementirana
	<i>token passing</i>	-	velika propusnost: prioritet

Slika 11.3 Tehnološki elementi LAN-ova

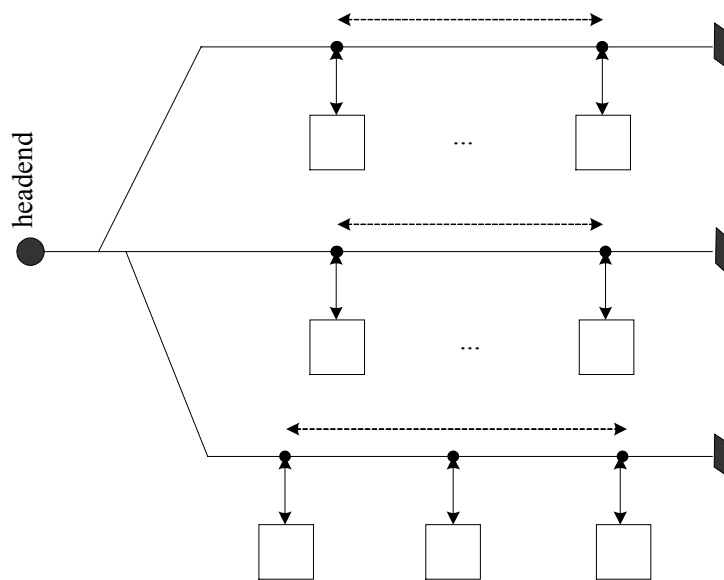
U tekstu koji sledi ukazaćemo u kratkim crtama na glavne karakteristike prvih triju kategorija.

### 11.3. Topologije

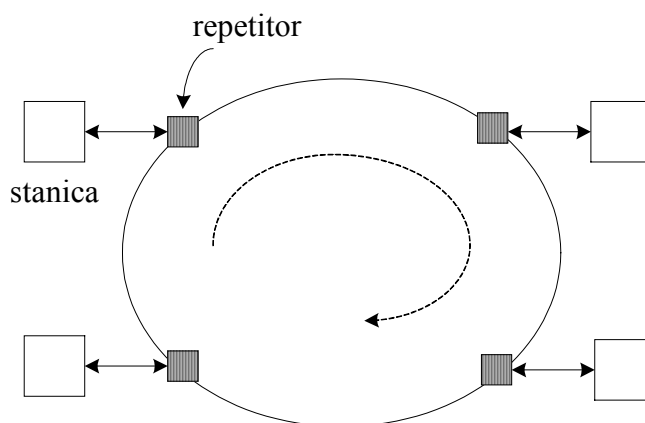
U kontekstu komunikaciona mreža, termin *topologija* se odnosi na način kako su krajnje tačke ili stanice, prisutne u mreži, medjusobno povezane. Standardne topologije kod LAN-ova su magistrala (*bus*), stablo (*tree*), prsten (*ring*) i zvezda (*star*)—vidi sliku 11.4. Magistrala je specijalan slučaj stabla i to sa jednim krakom bez grananja.



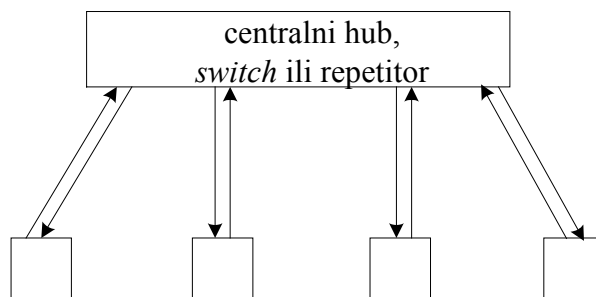
a) magistrala



b) stablo



c) prsten



d) zvezda

Slika 11.4 Topologije LAN mreža

### 11.3.1. Topologije magistrala i stablo

Obe topologije karakteriše korišćenje višetačkastog (*multipoint*) medijuma. Kod magistrale, sve stanice su direktno priključene na linearni prenosni medijum ili magistralu preko odgovarajućeg

hardverskog interfejsa poznat kao *tap*. *Tap* omogućava da se ostvari veza između stanice i prenosnog medijuma (magistrala). Signal se duž magistrale prostire u oba pravca. Na oba kraja magistrale postoje završnice koje obezbeđuju da ne dolazi do refleksije signala.

Topologija tipa stablo predstavlja generalizaciju topologije tipa magistrala. Prenosni medijum je kabl koji se grana, ali ne postoji zatvorena petlja. Na početku stabla nalazi se tačka nazvana *headend*. Od ove tačke može da se grana jedan ili veći broj kablova, a svaki od kablova može ponovo da se grana. Signal generisan od strane jedne stanice prostire se kroz celu mrežu i primaju ga sve stanice. Obično stanice predaju podatke u manjim blokovima koje nazivamo okvire (*frames*). Svaki okvir sadrži deo podataka koje stanica želi da preda plus zaglavlje koje uključuje u sebi upravljačku informaciju. Svako stanici na magistrali se dodeljuje jedinstvena adresa, ili identifikator. Okvir obično sadrži izvorišnu i odredišnu adresu, tj. adresu stanice koja šalje podatke i adresu stanice koja treba da primi podatke. Svaka stanica prima poruku koja je samo njoj upućena.

### 11.3.2. Topologija tipa prsten

Kod topologije tipa prsten (*ring*) mrežu čini skup repetitora koji su međusobno povezani na principu *tačka-ka-tački* (*point-to-point links*) formirajući petlju. Repetitor je jednostavan uređaj koji je sposoban da prima podatke po jednoj vezi i predaje ih *bit-po-bit* po drugoj vezi sa istom brzinom sa kojom ih i prima bez mogućnosti baferovanja. Veze su jednosmerne, tj. podaci se predaju samo u jednom smeru pri čemu su sve veze orijentisane na isti način. To znači da podaci cirkulišu oko prstena u jednom smeru (u smeru kazaljke na satu ili suprotno). Svaka stanica povezuje se na mrežu preko repetitora, i može da predaje podatke na mreži samo preko repetitora. Podaci se prenose u malim blokovima koje nazivamo okvire. Kada se okvir preda na mreži na svom kružnom putu on prolazi kroz sve stanice, ali ga pri tome samo odredišna stanica prepoznaje i kopira u svoj lokalni bafer. Okvir produžava da kružno putuje sve dok se ne vrati do izvorišne stanice gde se on prihvata i izbacuje. Imajući u vidu da veći broj stanica deli (priključen je na) prsten, neophodno je uvesti neki mehanizam kojim će se regulisati pravo pristupa medijumu za prenos. Ovaj mehanizam treba da odredi u kom će trenutku svaka od stanica imati pravo pristupa medijumu za prenos. Ovakvim pristupom ostvaruje se korektno insertovanje (tj. prenos) poruka.

### 11.3.3. Topologija tipa zvezda

Kod topologije tipa zvezda (*star*) svaka stanica je direktno povezana sa zajedničkim centralnim čvorom. Obično svaka stanica se povezuje na centralni čvor preko dve veze tipa *tačka-na-tački*. Po svakoj od veza prenosi se podatak u jednom smeru.

Centralni čvor može da radi na jedan od sledeća dva načina. Prvi je tipa *emisija-svima* (*broadcast*). Prenos okvira od jedne stanice ka centralnom čvoru se predaje po svim vezama. U ovom slučaju, i pored toga što je fizička topologija tipa zvezda, logički prenos podataka je isti kao kod magistrale. To znači da se okvir preda od strane jedne stanice prima od strane svih stanica, ali ga prihvata samo jedna (onaj kojoj je okvir namenjen). Kod drugog načina rada centralni čvor se ponaša kao komutator (*switch*). Obično dolazeći okvir se baferuje u centralni čvor, a nakon toga se predaje po definisanoj vezi odredišnoj stanici.

### 11.3.4. Izbor topologije

Izbor topologije zavisi od velikog broja faktora uključujući pouzdanost prenosa, cenu mreže, i performanse. Izbor topologije uključuje sveobuhvatne zahteve koji se odnose na realizaciju projekta LAN-a. Ipak ukazaćemo sada na neke osnovne smernice koje se tiču izbora topologije.

Kada je potrebno ostvariti prosečne brzine u prenosu podataka tada su topologije tipa magistrala/stablo najpogodnije.

Topologije tipa stablo su pogodne za instalaciju kod fizičkih konfiguracija u razudjenim zgradama kada su grananja neophodna.

Topologija tipa prsten se koristi kod ostvarivanja veze koja radi na većim brzinama. Nedostatak ove topologije je taj što otkaz jedne veze ili repetitora dovodi do potpunog otkaza operativnosti mreže.

Topologija tipa zvezda je najbolja za kraća rastojanja jer podržava rad malog broja uređaja koji mogu prenositi podatke na velikim brzinama.

### 11.3.5. Prenosni medijum

Kod LAN-ova standardno se koriste sledeće tri forme prenosnog medijuma:

a) **upredeni kabl** – postoje dva načina izvodjenja ovog kabla, a to su:

- širmovani (*shielded twisted pair* –STP); i
- neširmovani (*unshielded twisted pair*–UTP).

Po oba tipa kabla prenose se digitalni signali. *Electronic Industries Association* godine 1991. je publikovala standard EIA-568 koji se odnosi na upredene kablove. Shodno EIA-568 postoje sledeće tri kategorije UTP kabliranja:

*Category 3*: UTP kablovi i pridruženi hardver za konektiranje čije su karakteristike prenosa specificirane do 16 MHz

*Category 4*: UTP kablovi i pridruženi hardver za konektiranje čije su karakteristike prenosa specificirane do 20 MHz

*Category 5*: UTP kablovi i pridruženi hardver za konektiranje čije su karakteristike prenosa specificirane do 100 MHz.

Na slici 11.5 prikazane su performanse UTP kablova Category 3 i 5 kao širmovan od 150 Ω kabla STP.

Frekvencija MHz	slabljenje (dB po 100m)			preslušavanje na bližem kraju (dB)		
	category 3 UTP	category 5 UTP	150 Ω STP	category 3 UTP	category 5 UTP	150 Ω STP
1	2,6	2,0	1,1	41	62	58
4	5,6	4,1	2,2	32	53	58
16	13,1	8,2	4,4	23	44	50,4
25	-	10,4	6,2	-	32	47,5
100	-	22,0	12,3	-	-	38,5
300	-	-	21,4	-	-	31,3

Slika 11.5 Uporedne karakteristike upredenih širmovanih i neširmovanih kablova

b) **koaksijalni kabl** – koristi se za prenos kako analognih tako i digitalnih signala. Ovi tipovi signala su poznati kao *baseband* i *broadband*.

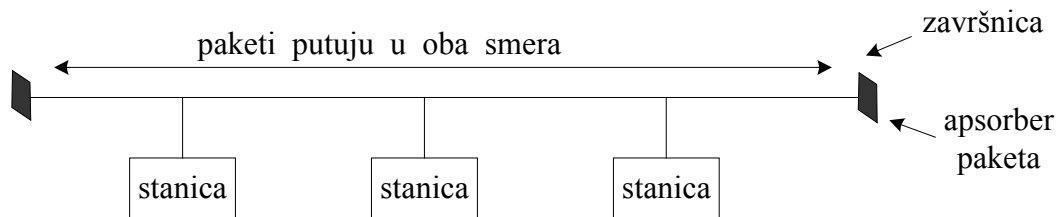
c) **optičko vlakno** – koristi se za prenos analognih signala. Dva tipa optičkih kablova se koriste kod LAN-ove

*multimode* – kao izvor svetlosti se koristi LED elemenat. Ostvaruje se prenos sa velikom brzinom, ali na kratka rastojanja

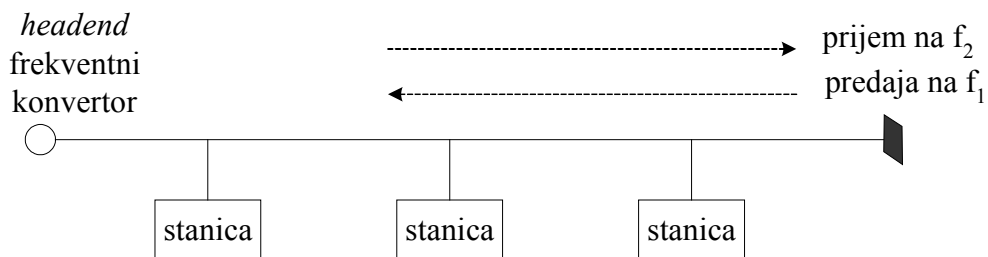
*single mode* – kao izvor svetlosti koristi se laser, a u opštem slučaju ovi kablovi koriste se za prenos signala na duža rastojanja.

Kao što smo već uočili dve standardne forme prenosa signala kod LAN topologija tipa magistrala/stablo, kada je prenosni medijum koaksijalni kabl, su *baseband* i *broadband*. Karakteristika *baseband* magistrale je ta da prenosi digitalne signale (*digital signaling*). Naime, binarni podaci, koji se prenose, insertuju se u kabl kao sekvenca naponskih impulsa, obično koristeći *Manchester* ili diferencijalno *Manchester* kodiranje. Priroda digitalnih signala je takva da se koristi ukupni spektar kabla. Shodno ovome, nije moguće ovom tehnikom prenositi veći broj kanala po istom kabl (frekventni multipleks). Prenos je dvosmeran. To znači da signal koji se insertuje u bilo koju tačku medijuma propagira se u oba smera ka krajevima kabla gde se i absorbuje (vidi sliku 11.6a). Usled slabljenja signala pri višim frekvencijama, dužina deonice kod *bus-baseband* LAN-ova ograničena je na 1 km. Za povećanje dužine mreže koriste se repetitori (vidi sliku 11.7). Repetitor spaja dva segmenta kabla i propušta digitalne signale u oba dva smera između tih segmenata. Repetitor ne obavlja baferovanje signala, kao i logičku izolaciju segmenata, što znači da je transparentan ostatku sistema. Ako dve stanice povezane u različitim segmentima pokušaju istovremenu predaju njihovi paketi će interferirati, tj. doći će do kolizije.

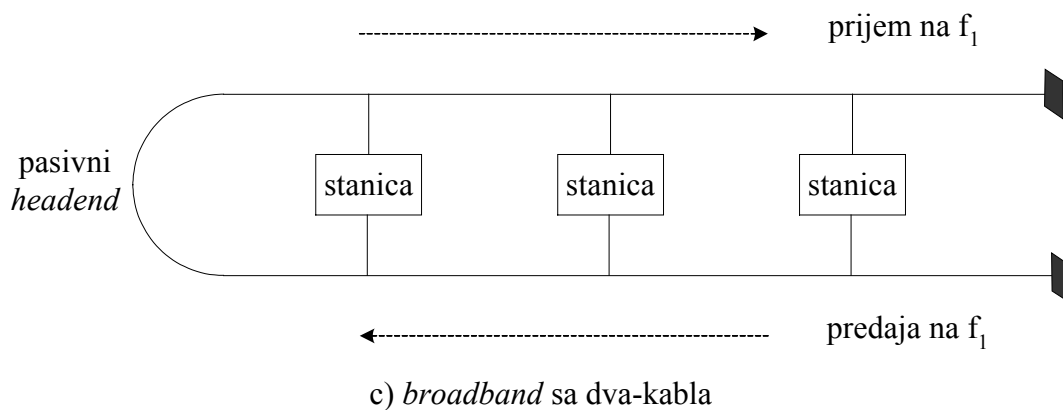
U kontekstu LAN-ova termin *broadband* ukazuje na korišćenje analognih signala za prenos (*analog signaling*). Drugim rečima moguć je prenos u frekventnom multipleksu. Frekventni spektar kabla deli se na kanale. Po svakom od kanala moguć je nezavisan prenos podataka.



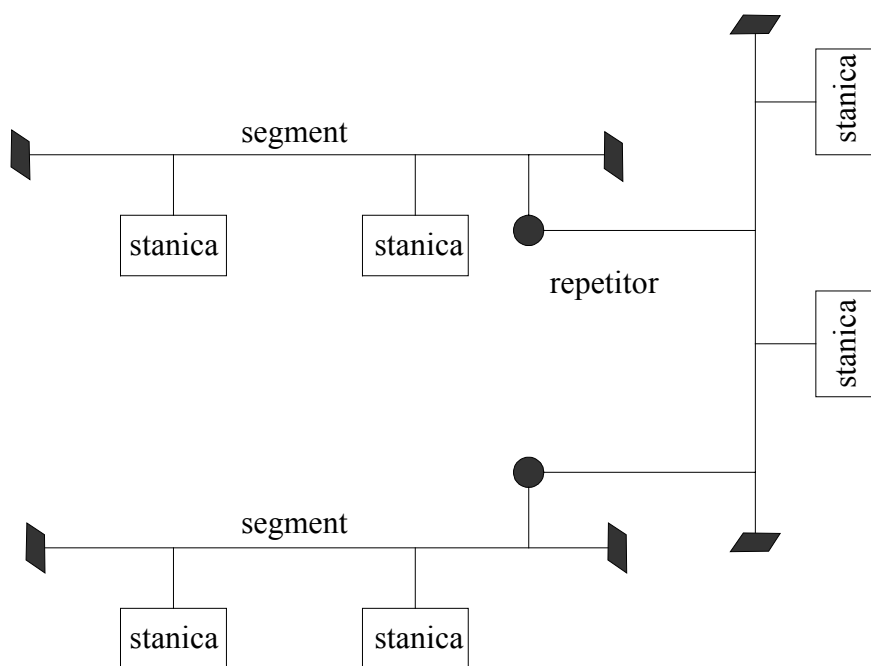
a) *baseband*



b) podeljeni *broadband*



Slika 11.6 Baseband i broadband tehnika prenosa



Slika 11.7 Baseband konfiguracija sa repetitorima

*Broadband* komponente omogućavaju razdvajanje i spajanje kablova, pa shodno tome moguće je realizovati topologije tipa magistrala/stablo. *Broadband* LAN-ovi se koriste za prenos signala na veća rastojanja (nekoliko desetina kilometara). Za razliku od *baseband*, *broadband* LAN-ovi koriste jednosmerne tehnike prenosa; signali koji se insertuju u medijum prostiru se samo u jednom smeru. Glavni razlog za ovakvo rešenje je taj što nije moguće napraviti pojačavače koji će propustati signale jedne frekvencije u oba smera. Jednosmerni prenos označava da samo one stanice koje se nalaze "nizvodno" mogu primiti signale. Postavlja se sada pitanje: Kako je moguće ostvariti potpunu povezljivost? Nedvosmisleno je da su potrebna dva puta. Putevi se spajaju na strani *headend*-a. Kod topologije magistrale, *headend* se nalazi na kraju magistrale. Sve stanice predaju po jednom putu prema *headend*-u (*inbound*). Signal koji pristigne na *headend*-u se zatim propagira po drugom putu (*outbound*). Sve stanice primaju po *outbound* putu. Sa tačke gledišta fizičke realizacije za implementaciju *inbound* i *outbound* puteva koriste se dve alternativne konfiguracije (slika 11.6 b) i c)). Kod slike 11.6c) *inbound* i *outbound* putevi se ostvaruju po posebnim kablovima, pri čemu je *headend* u suštini pasivni konektor između oba puta. Stanice predaju i primaju na istoj frekvenciji. Kod podeljenog *broadband*-a (slika 11.6b) *inbound* i *outbound* putevima se dodeljuju različite frekvencije po istom kablu. Bidirekcion

pojačavači propuštaju niže frekvencije po *inbound* putu a više po *outbound*. *Headend* u suštini se realizuje kao frekventni konvertor, koji translira *inbound* frekvencije u *outbound*.

Sistemi koji koriste optičke kablove rade u opsegu od  $10^{14}$  do  $10^{15}$  Hz, tj. pokrivaju infracrveni i vidljivi deo spektra. Princip optičkog prenosa je sledeći. Svetlost koju zrači izvor usmerava se ka cilindričnoj staklenoj niti ili plastičnom jezgru. Zraci pod malim uglovima u odnosu na osu se reflektuju i propagiraju duž staklenog vlakna, dok se ostali zraci absorbiraju od materijala koji obmotava vlakno. Ovaj način propagacije se naziva *multimode*. Ako se radijus vlakna smanji, svetlost će se reflektovati po manjem broju uglova duž puta prostiranja. Kada se radijus jezgra redukuje na red veličine talasne dužine svetlosti svetlost će prolaziti samo pod jednim uglom ili *mode*: aksijalni zrak. Ovaj *single-mode* način propagacije obezbeđuje superiornije performanse iz sledećeg razloga. Kod *multimode* prenosa postoji veći broj puteva propagacije pri čemu svaki put ima različitu dužinu a shodno tome i vreme prolaska kroz vlakno. Ovo dovodi do vremenske disperzije (rasejavanja) signala na izlazu, a to ograničava brzinu sa kojom se signali pouzdano prihvataju na izlazu. Kod *single-mode* prenosa postoji jedinstveni prenosni put pa zbog toga ne dolazi do distorzije signala. Konačno, promenom indeksa refleksije jezgra moguće je ostvariti i treći tip prenosa poznat kao *multimode graded index*. Na slici 11.8. prikazane su karakteristike triju načina prenosa signala kroz optičko vlakno.

Kod optičkih sistema moguće je koristiti sledeća dva tipa izvora svetla, LED (*light emitting diode*) i ILD (*injection laser diode*). Oba izvora su poluprovodnički elementi koji emituju snop svetlosti kada se pobude naponski.

Cena LED elementa je niža, ovaj element ima duži vek trajanja i radi na višem temperaturama. ILD radi na principu lasera, efikasniji je i koristi se za prenos signala pri većim brzinama.

tip staklenog vlakna	dijametar jezgra ( $\mu\text{m}$ )	dijametar oklopa ( $\mu\text{m}$ )	maksimalno slabljenje (dB/km)			maksimalni propusni opseg (MHz/km)
			850 nm	1300 nm	1500 nm	
<i>single mode</i>	5,0	85 ili 125	2,3	-	-	5000 na 850 nm
	8,1	125	-	0,5	0,25	
<i>graded index</i>	50	125	2,4	0,6	0,5	600 na 850 nm 1500 na 1300 nm
	62,5	125	3,0	0,7	0,3	200 na 850 nm 1000 na 1300 nm
	100	140	3,5	1,5	0,9	300 na 850 nm 500 na 1300 nm
<i>step index</i>	200 ili 300	380 ili 440	6,0	-	-	6

Slika 11.8 Karakteristike tipičnih optičkih vlakana

## 11.4. Odnosi izmedju medijuma i topologija

Izbori prenosnog medijuma i topologije nisu nezavisni. Kod topologije tipa prsten (*ring*) veza izmedju repetitora je tipa *tačka-ka-tački* (*point-to-point*). Fizičko povezivanje uređaja se može ostvariti pomoću upredenih kablova, *baseband* koaksijalnog kabla, ili optičkog vlakna. Treba naglasiti da kod ove topologije *broadband* koaksijalni kablovi neće zadovoljiti potrebe za prenos. Naime, svaki repetitor treba

biti sposoban (biti u stanju) da istovremeno po većem broju kanala prima i predaje veći broj kanala. Nema sumnje da je cena ovakvih uređaja suviše visoka tako da nije ekonomski isplativo njihovo korišćenje.

Na slici 11.9a) prikazani su ključni parametri LAN-a tipa prsten koji se odnose na prenosni medijum.

Kod topologije tipa magistrala (*bus*) koriste se oba tipa koaksijalnih kablova, *broadband* i *baseband*. Do skoro optički kablovi kod ove topologije takoreći da se nisu koristili jer je konstrukcija nisko-propusnih optičkih filtarskih elemenata bila komplikovana i teška.

U novije vreme sve više za prenos pri velikim brzinama, postaju aktuelne topologije tipa magistrala koje su bazirane na optičkim kablovima.

Topologija tipa stablo obično se realizuje pomoću *broadband* koaksijalnog kabla. Naglasimo da je prenos *broadband* signala samo u jednom smeru moguć kod ove arhitekture. Sa druge strane, kod arhitekture tipa stablo, bidirekcionni prenos *baseband* signala se realizuje pomoću upredenih žica i koaksijalnih kablova. Na slici 11.9b) prikazani su ključni parametri prenosa i medijuma za topologiju tipa stablo/magistrala.

Kod topologije tipa zvezda (*star*) veze između uređaja i centralnog čvora su tipa *tačka-ka-tački*. Obično se veze namenjene za prenos pri velikim brzinama na kraća rastojanja, a realizuju se pomoću upredenih kablova ili optičkih kablova. Ključni parametri prenosa i medijuma za topologiju tipa zvezda prikazani su na slici 11.9c).

a) topologija prsten			
prenosni medijum	brzina prenosa (Mbps)	rastojanje između repetitora (km)	broj stanica
neširmovani uporedni kabl	4	0,1	70
širmovani uporedni kabl	16	0,3	250
<i>baseband</i> koaksijalni kabl	16	1,0	250
opticki kabl	100	2,0	250
bežicni	100	0,1	10
b) topologija magistrala/stablo			
neširmovani uporedni kabl	1	< 2	10
<i>baseband</i> koaksijalni kabl	10 ; 50 sa ogranicenjima	< 3/< 1	100/10
<i>broadband</i> koaksijalni kabl	50 ; 20 po kanalu	< 30	100/1000
opticki kabl	45	< 150	500
bežicni	10	< 1	10
c) topologija zvezda			
neširmovani uporedni kabl	10-100	0,1	70
širmovani uporedni kabl	10-100	0,3	250
<i>baseband</i> koaksijalni kabl	16	1,0	250
opticki kabl	10-100	1,0	250
bežicni	100	0,1	10

Slika 11.9 Karakteristike prenosnog medijuma kod LAN topologija

## 11.5. LAN standardi

Komitet IEEE 802 predložio je skup LAN standarda koji su 1985. godine bili prihvaćeni od strane ANSI (*American National Standards Institute*) kao Američki nacionalni standardi. Standardi su nakon toga, 1987. godine, revidirani i prihvaćeni kao internacionalni standardi od strane ISO (*International Organization for Standardization*) pod imenom ISO 8802. Od tog perioda komitet IEEE 802 je produžio sa revizijom i proširenjem standarda koji su povremeno usvajani i uskladjivani sa ISO standardima.

Struktura LAN standarda – u toku razvoja standarda sledeća dva ključna aspekta su veoma brzo uočena od strane komiteta IEEE 802, a oni se odnose na sledeće:

- 1) zadatak komuniciranja duž lokalne mreže je suviše kompleksan pa je neophodno da se razbije (podeli) na veći broj podzadataka koji se mogu lako upravljati
- 2) ne postoji jedinstveni tehnički pristup koji će zadovoljiti sve zahteve, a to znači da ne može da postoji jedinstveni standard koji će zadovoljiti sve proizvođače. Naime postoje različite LAN topologije, metode pristupa i prenosni medijumi koje nije moguće objediniti jedinstvenim standardom.

Na slici 11.10 prikazano je tekuće stanje koje se odnosi na standardizaciju. Kao što se vidi sa slike 10 standardi su sa aspekta hijerarhije protokola organizovani u tri nivoa. LLC (*logical link control*) je odgovoran za adresiranje i upravljanje tokom podataka na nivou-veza (*data link control*). LLC je nezavisan od topologije, prenosnog medijuma, i izabrane upravljačke tehnike za pristup prenosnom medijumu.

Ispod LLC-a nalaze se nivoi MAC (*media access control*) i fizički nivo. Zbog međusobne zavisnosti koje postoje između MAC-a, samog medijuma, i topologije, ovi nivoi su organizovani u standarde na osnovu MAC algoritama kao i specificiranog fizičkog nivoa koji je deo standarda MAC-a.

Logical link control (LLC)		IEEE 802.2							
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Unacknowledged connectionless service</i> - servis kod nepotvrdenog povezivanja</li> <li>• <i>Connection-mode service</i> - servis u režimu rada povezivanja</li> <li>• <i>Acknowledged connectionless service</i> - servis kod potvrdenog povezivanja</li> </ul>							
Medium access control (MAC)		CSMA/CD	Token bus	Round robin; prioritet	Token ring	Token ring	DQDB	CSMA; polling	
Physical		IEEE 802.3 osnovni opseg koaksijalni kabl: 10 Mbps neširmovani upredeni par žica: 100 Mbps širokopojasni koaksijalni kabl: 10 Mbps opticko vlakno: 10 Mbps	IEEE 802.4 širokopojasni koaksijalni kabl: 1, 5, 10 Mbps koaksijalni kabl za prenos nosioca: 1, 5, 10 Mbps opticko vlakno: 5, 10, 20 Mbps	IEEE 802.12 neširmovani upredeni par žica: 100Mbps	IEEE 802.5 širmovani upredeni par žica: 4, 16 Mbps neširmovani upredeni par žica: 4 Mbps	FDDI opticko vlakno: 100Mbps neširmovani upredeni par žica: 100 Mbps	IEEE 802.6 opticko vlakno: 100Mbps	IEEE 802.11 infracrveni: 1, 2 Mbps prošireni spektar: 1, 2 Mbps	
Topologije tipa magistrala /stablo/zvezda				Topologije tipa prsten		Dualne topologije tipa magistrala		Bežicne	

Slika 11.10 LAN standardi

### 11.6. Metodi pristupa

Kada se po zajedničkom (deljivom) medijumu obavlja prenos podataka koriste se sledeća dva različita metoda za pristup:

1. *proizvoljni pristup* – bilo koja stanica u bilo koje vreme može da inicira prenos pod uslovom da je medijum dostupan, tj druga stanica ne obavlja prenos. To znači da ne postoji eksplicitna supervizija kojom se individualnim stanicama dozvoljava prenos.
2. *deterministički pristup* – svaka stanica mora da čeka na red za predaju. Naime pristup medijumu nije proizvoljan nego eksplicitno dodeljen preko *token-a* ili *poll-a*.

### 11.7. Ethernet i CSMA/CD

U okviru komiteta za LAN standarde IEEE 802, radna grupa 802.3 predložila je skup standarda koji se pre svega odnose na tehniku pristupa medijuma za prenos, poznatu kao CSMA/CD. Ovaj skup standarda je rezultirao pojavom komercijalnog proizvoda *Ethernet*. *Ethernet* je danas, bez sumnje, najpopularniji LAN, a često se koristi kao pojam koji obuhvata sve specifikacije standarda. Kakav je slučaj i sa ostalim 802 standardima (sa izuzetkom LLC-a), IEEE 802.3 definiše MAC nivo kao i broj opcija prenosnog medijuma.

Najjednostavniji oblik MAC-a za topologije tipa stablo i magistrala je CSMA/CD. Kod ove tehnike stanica koja želi da predaje prvo osluškuje medijum da bi odredila da li je neki drugi prenos u toku (*carrier sense*). Ako medijum nije zauzet (*idle*), stanica može da predaje, a za slučaj da je zauzet ona

mora da sačeka. Usled propagacionog kašnjenja u mreži može da se desi da dve stanice istovremeno ustanove da je medijum za prenos slobodan, i u isto vreme počnu sa predajom okvira podataka. Kada se ova dva signala presretnu na nekoj deonici kabla dolazi do kolizije, čime se integritet podataka narušava pa je prijem onemogućen. Nakon detekcije kolizije sve stanice se informišu preko specijalnog signala (*jam*) o nastanku kolizije. Stanice koje su uzrokovale koliziju moraju ponovo da šalju svoje podatke u neko buduće vreme.

U svakoj od stanica ugrađen je poseban algoritam (nazvan *backoff*) kojim se specificira šta stanica treba da uradi ako ustanovi da je medijum zauzet, a šta kada do kolizije dodje. U grubim crtama, koraci algoritma su sledeći:

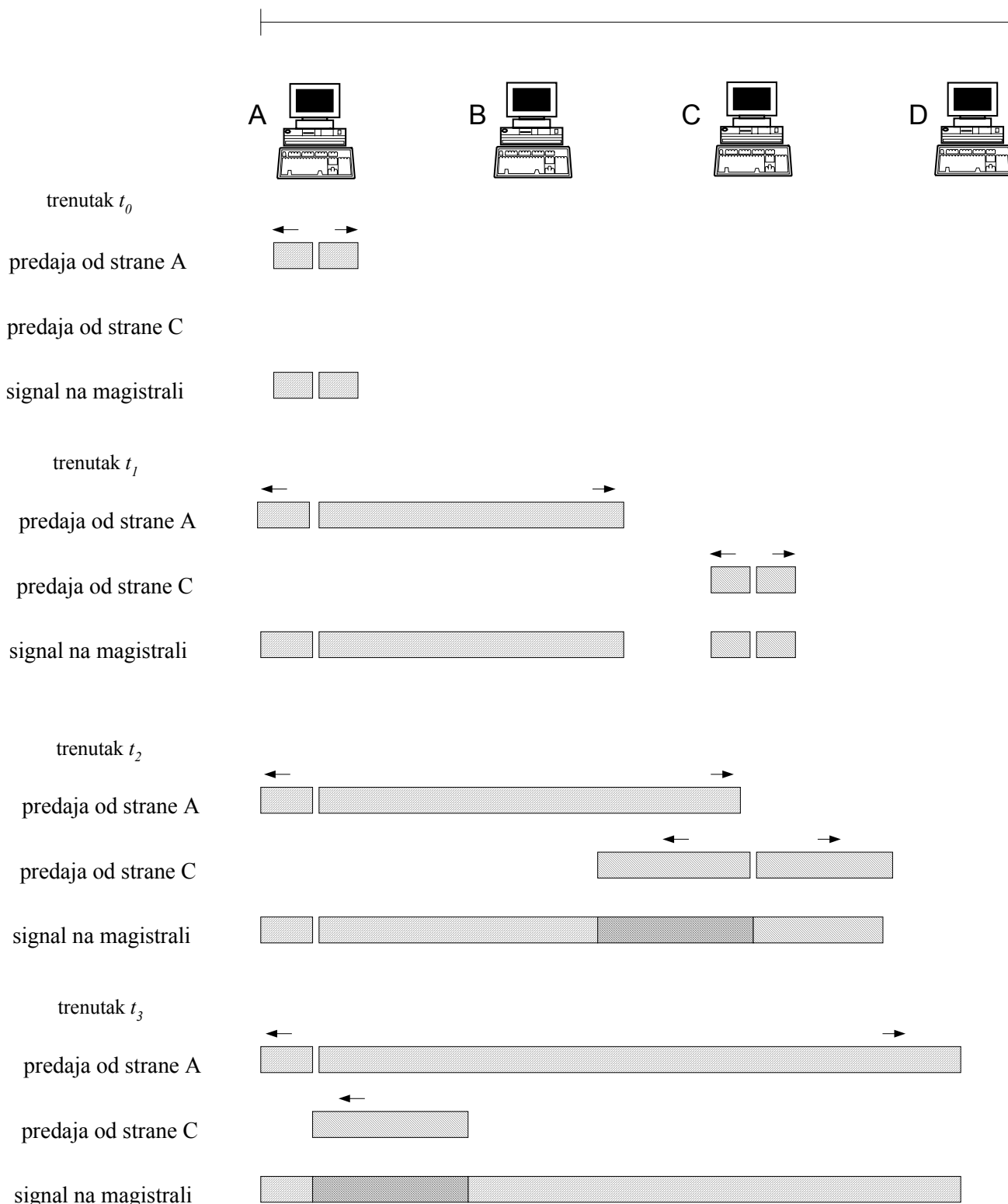
1. ako je medijum slobodan, počinje se sa prenosom,
2. ako je medijum zauzet, produžava se sa osluškivanjem sve dok on ne postane slobodan, a zatim se odmah počinje sa prenosom
3. ako se u toku prenosa detektuje kolizija, odmah se prestaje sa predajom
4. nakon detekcije kolizije, stanica sačeka proizvoljan vremenski period, a zatim pokuša da ponovo obavi predaju (ponavljanje od koraka 1).

Osnovna prednost CSMA/CD tehnike je njena jednostavnost, tj. lako je implementirati potrebnu logiku protokola.

### Primer

Na slici 0.1 prikazan je princip rada tehnike CSMA/CD kod *baseband* LAN-a.

U trenutku  $t_0$  stanica A počinje sa predajom paketa koji je namenjen stanici D. U trenutku  $t_1$  stanice B i C su spremne za prenos. Stanica B detektuje da se po medijumu prenosi signal i odlaže predaju. Sa druge strane, stanica C ne zna da je stanica A počela sa prenosom i počinje svoj prenos. Kada signal od stanice A, u trenutku  $t_2$ , pristigne do stanice C ona detektuje koliziju i prestaje sa prenosom. Efekat kolizije prostire se ka stanici A gde se ona detektuje nešto kasnije, u trenutku  $t_3$ , nakon čega i stanica A prestaje sa predajom.

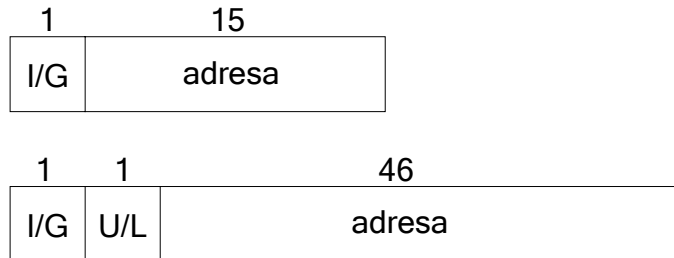


Slika 0.1 Princip rada CSMA/CD tehnike

**Primer**

U suštini nivo veze (*layer link*) je odgovoran za fizičko adresiranje uređaja koji su povezani na mreži. Sa aspekta LAN-a znamo da se MAC adresom identifikuje adresa mrežnog-interfejsa uređaja. MAC adresa može da ima dve moguće dužine (vidi sliku 0.2).

- a) 16-bitnu – od lokalnog značaja
- b) 48-bitnu – od globalnog značaja



Slika 0.2 MAC adresni formati

**Napomena:** I/G (Individualno/Grupno); U/L-(Univerzalno/lokalno):

I/G=0: individualna MAC adresa

I/G=1: grupna MAC adresa

U&L=0: univerzalno dodeljena adresa

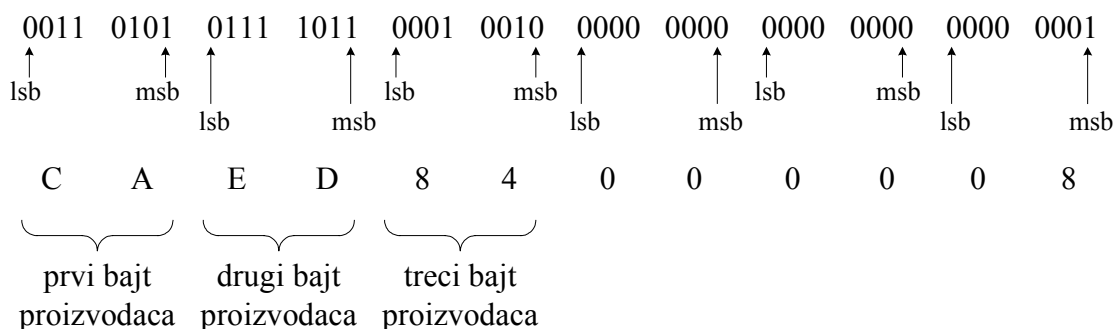
U/L=1: lokalno dodeljena adresa

Adrese se obično izražavaju u heksadecimalni format i imaju sledeća dva dela:

- a) *jedinstveni identifikator organizacije* – prva tri bajta (okteta) MAC adrese dodeljuju se proizvođaču od strane organizacije IEEE
- b) *identifikator interfejsa* – naredna tri okteta, dodeljuje ih jednoznačno proizvođač.

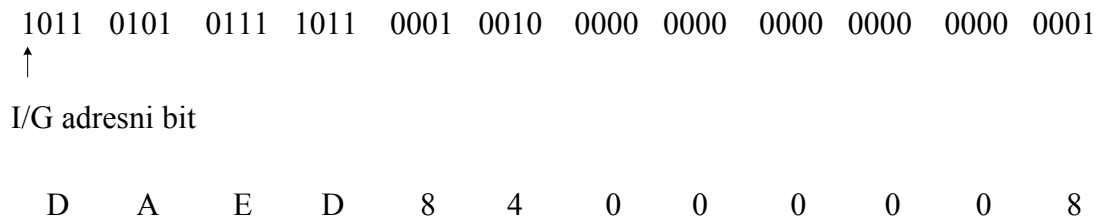
Pored individualnih adresa na osnovu kojih se identifikuje specificirani interfejs moguće je adresirati grupu interfejsa. Grupne MAC adrese se koriste za selektivnu emisiju (*multicast*) na nivou 2. I/G deo MAC adrese ukazuje da li se radi o individualnoj ili grupnoj MAC adresi.

Na slici 0.3 prikazana je binarni format MAC adrese AC-DE-48-00-00-80



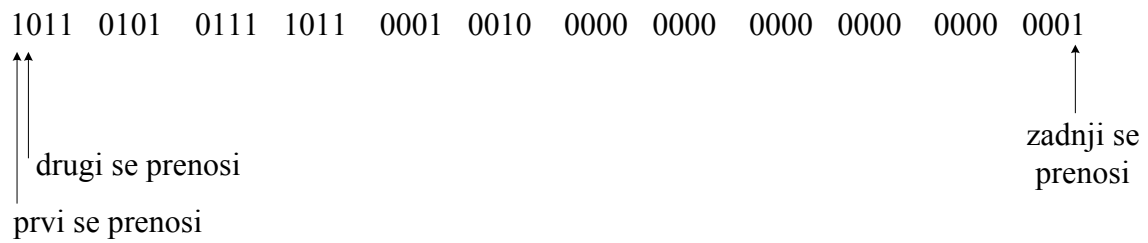
Slika 0.3 Primer MAC adrese AC-DE-48-00-00-80 u binarnom formatu

Na slici 0.4 prikazana je MAC grupna adresa AD-DE-48-00-00-80



Slika 0.4 Primer MAC adrese AD-DE-48-00-00-80

Redosled prenosa bitova kod jedne MAC adrese prikazan je na slici 0.5



Slika 0.5 Redosled prenosa bitova kod jedne MAC adrese