

## 5. LOKALNE MREŽE

Povijest lokalnih mreža (engl. *LAN - Local Area Network*) počinje 1973.g. razvojem lokalne mreže Ethernet u kompaniji Rank Xerox i od tada je njihov razvoj veoma brz. Lokalna mreža je komunikacijska mreža koja omogućava međusobno povezivanje različitih uređaja koji razmjenjuju podatke unutar malenog prostora. Površina koju pokriva lokalna mreža obuhvaća najčešće jednu zgradu ili skupinu od nekoliko zgrada.

Kao što je rečeno, lokalna mreža je komunikacijska mreža, a ne samo mreža računala., jer lokalne mreže postaju nosioci integriranih komunikacija, što znači da ne samo da povezuju računala već prenose i govor, televizijsku sliku, faksimil itd.

U uređaje koje lokalna mreža povezuje spadaju svi uređaji koji mogu komunicirati preko nekog prijenosnog medija, kao što su računala, pisači, crtači, telefoni, mjerni uređaji itd.

Osnovna funkcija lokalne mreže je prijenos podataka velikom na malim udaljenostima (unutar jedne grade ili skupine zgrada). Propusnost komunikacijskog kanala lokalne mreže mjerljiva je s propusnošću sabirnica osobnih računala. To znači da korisnik može preko lokalne mreže dohvatiti podatke s udaljenog računala istom brzinom kao i s diska vlastitog računala.

Umrežavanjem računala dobiva se mogućnost dijeljenja zajedničkih resursa npr. više korisnika radi s istom bazom podataka ili više korisnika šalje dokumente na zajednički pisač, također se koriste mogućnosti komunikacije putem elektroničke pošte, razmjena datoteka s podacima, arhiviranje itd.

Da bi postala upotrebljivo sredstvo za razmjenu informacija i dijeljenje resursa, lokalna mreža mora biti projektirana tako da zadovolji zahtjeve radne okoline. Najvažniji ciljevi pri projektiranju lokalne mreže su:

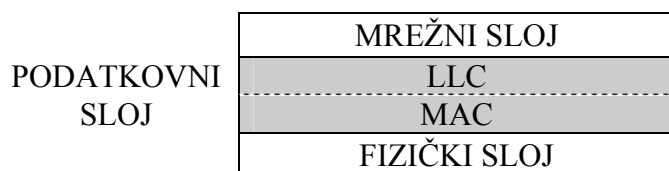
- **Velika brzina prijenosa i širina propusnog pojasa.** Brzina i kapacitet komunikacijskog kanala moraju biti usporedivi sa brzinom i kapacitetom sabirnice računala, da bi se zadovoljili zahtjevi korisnika za brzim prijenosom velikih količina informacija.
- **Pouzdanost i održavanje.** Komponente lokalne mreže moraju biti pouzdane, tako da su kvarovi rijetki. U slučaju kvara pojedine komponente u mreži to se ne smije odraziti na ostali dio mreže. Održavanje treba biti riješeno tako da izaziva minimalno prekidanje rada mreže.
- **Niska cijena.**
- **Kompatibilnost.** Kompatibilnost omogućava nabavu uređaja od različitih proizvođača, s čim de dobije bolji izbor u pogledu odnosa cijeni i performansa.
- **Fleksibilnost i proširivost.** Mreža mora omogućiti dodavanje i premještanje uređaja. Prijenosni medij mora biti postavljen tako da je lako dostupan radi priključivanja uređaja.
- **Jednostavnost.** Lokalna mreža mora biti jednostavna za konfiguriranje, priključivanje uređaja i upotrebu. Korisnici bi trebali moći iskoristiti sve mogućnosti mreže uz minimum stručne osposobljenosti.
- **Standardi.** Kako bi se postigla univerzalna razina komunikacije, proizvođači lokalnih mreža moraju svoje proizvode izrađivati prema važećim standardima. Standardi za lokalne mreže su serija standarda IEEE 802 tj. ISO 8802.

Elementi oblikovanja lokalnih mreža mogu se podijeliti u nekoliko kategorija:

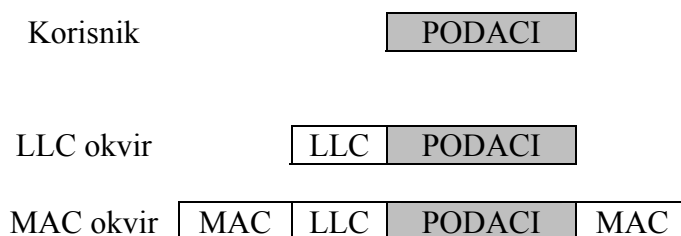
- Topologija mreže
- Prijenosni mediji
- Tehnika kontrole pristupa mediju

### 5.1. IEEE 802 serija standarda za lokalne mreže

Arhitektura lokalnih mreža definirana je fizičkim slojem, slojem upravljanja pristupom ili MAC (Medium Access Control) slojem, te slojem upravljanja logičkom vezom ili LLC (Logical Link Control) slojem.



Slika 32. Arhitektura lokalnih mreža



Slika 33. Osnovni okviri LAN protokola

LLC sloj vrši funkciju komunikacije prema višim slojevima OSI modela. Funkcije ovog sloja su nezavisne o mehanizmu upravljanja pristupom mediju i o samom mediju, a definirane su standardom IEEE 802.2. LLC sloj za upravljanje logičkom vezom, zajednički je za različite tipove mehanizama pristupa mediju.

MAC sloj zajedno s odgovarajućim fizičkim slojem, definiran je odgovarajućim standardima i to:

- 802.3 za CSMA/CD,
- 802.4 za "token-bus",
- 802.5 za "token-ring",
- 802.6 za MAN

kojima se dodaje 802.2 LLC standard čime je cjelovito definiran određeni LAN protokol. Odgovarajući ISO standardi su ISO 8802.3, ISO 8802.4, ISO 8802.5, ISO 8802.6 i DIS 9314 za FDDI.

Svi ovi standardi zajedno čine IEEE 802 (ISO 8802) grupu standarda.

Proizvođači lokalnih mreža najčešće primjenjuju tri standardizirana rješenja za kontrolu pristupa prijenosnom mediju: CSMA/CD, "token-bus" i "token-ring".

## 5.2. IEEE Standard 802.3

Digital Equipment Corporation and Intel Corporation pridružili su se 1978. godine Xerox-u i definirali 10 megabitni Ethernet standard. Ovaj standard je bio osnova kasnije nastalog IEEE 802.3 standarda. Ethernet standard<sup>3</sup> iz 1978. godine može se smatrati podskupom 802.3 standarda, točnije 802.3 definira veći broj fizičkih medija za prijenos podataka. Standard IEEE 802.3 obuhvaća 100 megabitnu verziju (Fast Ethernet) i 1000 gigabitnu verziju (Gigabit Ethernet).

IEEE 802.3 standard definira tip kabela, najveću dozvoljenu udaljenost među računalima u mreži i format podataka (okvira) te koristi 1-persistent<sup>4</sup> CSMA/CD mehanizam za kontrolu pristupa fizičkom mediju.

**CSMA/CD** (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection) mehanizam (1-persistent) je namijenjen mreži koja ima topologiju sabirnice. Pristup čvora (stanice) prijenosnom mediju tj. sabirnici je slučajan. Stanica koja želi uspostaviti komunikaciju "osluškuje" stanje medija i ponaša se po sljedećim pravilima:

- ako je medij slobodan, šalje podatke
- ako je medij zauzet, osluškuje dok se ne ustanovi da je medij slobodan i odmah šalje
- ako pri odašiljanju ustanovi da je došlo do kolizije, čeka slučajno odabrano vrijeme i ponovo šalje podatke

### 5.2.1. IEEE 802.3 kabeli

Ime	Kabel	Max. Segment	Čvorova/seg.
10Base5	debeli Ethernet	500 m	100
10Base2	tanki Ethernet	200 m	30
10Base-T	Ethernet parica	100 m	1024
10Base-F	optički Ethernet	2000 m	1024

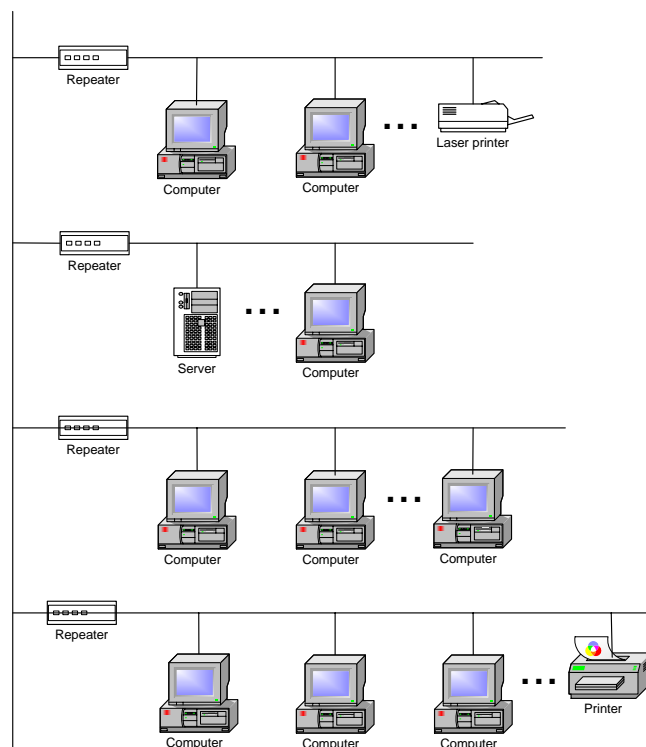
**Slika 34.** Najčešće korišteni kabeli kod 802.3 LAN-ova

10Base5 kabel tj. debeli Ethernet se pojavio prvi. Ova tehnologija koristi debeli koaksijalni kabel (*thick-net*) za realizaciju sabirnice. Brzina koja se može postići je 10Mbps, a najveća dozvoljena udaljenost je 500 m. Više segmenata se može spojiti korištenjem ponavljača<sup>5</sup> signala (engl. *repeater*). Najviše se može postaviti četiri ponavljača signala između bilo koja dva računala u mreži, te je stoga najveća udaljenost u ovakvoj mreži 2500 m (Slika 35). Debeli Ethernet koristi Manchester kodiranje. Zbog nedostataka ovog načina kabeliranja (predebeli kabel, način spajanja) 10Base5 se više ne koristi.

<sup>3</sup> Često se koristi izraz Ethernet kao sinonim za sve CSMA/CD protokole, iako je Ethernet samo jedan od produkta koji implementira IEEE 802.3 standard.

<sup>4</sup> Kod CSMA mehanizma potreban je algoritam koji određuje što stanica treba uraditi ako je medij zauzet, 1-persistent CSMA/CD je jedan od algoritama za rješavanje tog problema

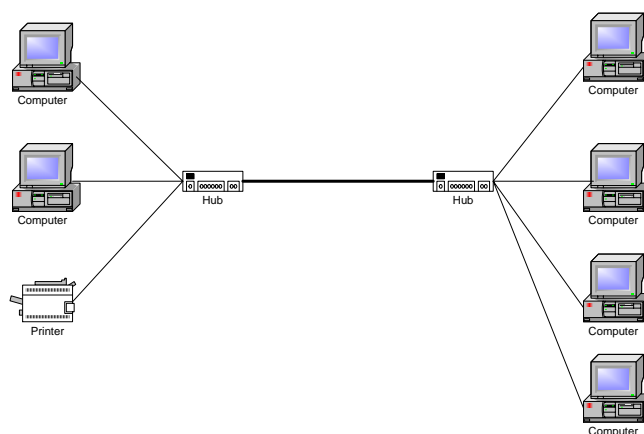
<sup>5</sup> Repeater – uređaj koji prosljeđuje digitalni signal.



**Slika 35.** Umrežavane pomoću ponavljača signala (engl. *repeater*)–10Base5, 10Base2

10Base2 kabel tj. tanki Ethernet (*thin-net*) koristi tanki koaksijalni kabel, jeftiniji je i lakši za instaliranje. Najveća dozvoljena udaljenost mu je 200 m, te može imati najviše 30 stanica po segmentu. Brzina prijenosa je 10Mbps. Povezivanje se vrši sa BNC konektorima.

Broj 10 u imenima kabela označava brzinu rada tj. 10Mbps, broj 2 u 10Base2 znači da je duljina segmenta najviše 200 m, a broj 5 znači da je kod 10Base5 duljina segmenta najviše do 500 m.



**Slika 36.** Umrežavane pomoću hub-a – 10BaseT

Danas se najčešće koristi 10BaseT tehnologija (obično kategorija 5), gdje je T oznaka za upređenu paricu (engl. *twisted pair*). Duljina segmenta kod 10BaseT je ograničena na 100 m, što važi i za 100Mbps kao i za 1000Mbps lokalne mreže ove tehnologije koje koriste kategorija 5 kabele. Kod 10BaseT uobičajena konfiguracija je više segmenata od-točke-do-točke (engl. *point-to-point*) koji dolaze iz uređaja koji se naziva hub (Slika 36). 100-megabitni Ethernet segmenti također se mogu spajati hubovima, za razliku od 1000-megabitnog.

10Base-F koristi optičke kabele, pa je zbog dodatne opreme skup. Neosjetljiv je na šumove i najčešće se koristi za vezu između zgrada i udaljenih hubova.

100BaseT je 100-megabitni Ethernet (Fast Ethernet) koji se bazira na 10BaseT tehnologiji, koristi kategorija 5 UTP kabele.

**Napomena:** Pogledati Dodatak A i Dodatak B!

### 5.2.2. IEEE 802.3 format okvira

PRE AMBULA	SFD	ADRESA ODREDIŠTA	ADRESA IZVORA	DUŽINA	PODACI	PAD	FCS
byta 7	1	2 ili 6	2 ili 6	2	46 do 1500	0 do 46	4

Slika 37. IEEE 802.3 format MAC okvira

Svaki okvir počinje sa preambulom od 7 bytova sastavljenom od sekvenci 10101010, koja služi za sinkronizaciju prijenosa (prijemna strana se mora sinkronizirati sa predajnoj stranom). SFD (Start of the Frame Delimiter) sadrži sekvencu 10101011 kako bi se označio početak samog okvira. Adresa odredišta može biti adresa jedne radne stanice, grupe stanica ili čak nekoliko grupa stanica. Adresa izvora daje adresu stanice koja šalje podatke. U polju Dužina definira se duljina polja sa podacima. U polju podaci nalaze se podaci za prijenos i duljina može biti od 46-1500 bytova, ako je manja tada se okvir nadopunjuje sa PAD poljem. FCS (Frame Check Sequence) je polje za provjeru. Sastoji se od 32-bitne sekvence dobivene cikličkim kodom (CRC-32). FCS 32-bitovna CRC kontrola računa se iz svih polja osim preambule, SFD polja i naravno samog FCS polja.

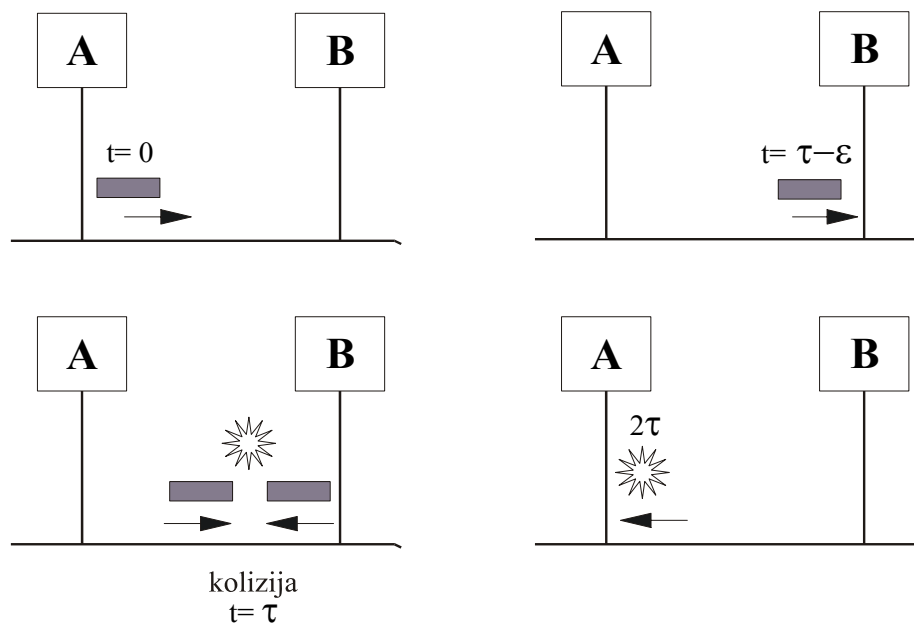
#### *Spriječavanje kolizije*

Bez obzira o kojoj se vrsti kabliranja radilo, uvijek podaci koje šalje jedno računalo dolaze do svih drugih u mreži. Problem koji se zbog toga može pojaviti je kolizija.

Razlog za definiranje minimalne veličine okvira je spriječavanje stanice da završi prijenos kratkog okvira prije nego prvi bit stigne do najdaljeg dijela kabela, gdje može doći do kolizije s drugim okvirom.

U  $t=0$  stanica A šalje okvir ( $\tau$  je vrijeme propagacije tj. vrijeme potrebno da okvir stigne na drugu stranu). U  $\tau-\epsilon$  druga stanica B šalje svoj okvir. Kad stanica B vidi da je došlo do kolizije prekida slanje i šalje 48-bitni okvir s kojim obavještava ostale stanice da je došlo do kolizije. Za otprilike  $2\tau$ , pošiljalac (stanica A) primi okvir i prekida prijenos, zatim čeka slučajno vrijeme  $t$  i šalje ponovo. Ako stanica šalje kratke okvire moguće je da je došlo do kolizije, ali je prijenos završen prije nego je okvir sa

porukom o koliziji stigao do nje. Pošiljetelj će krivo zaključiti da je okvir uspješno poslan. Zato se svi okviri moraju slati najmanje  $2\tau$  vremena. (Slika 38.)



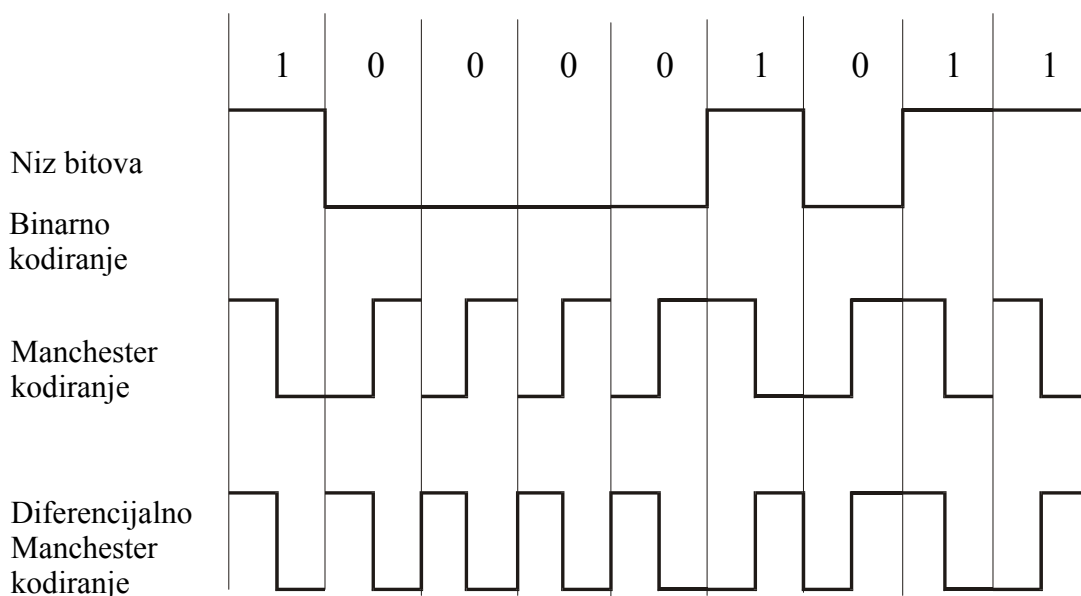
Slika 38. Detekcija kolizije

Npr. Za 10Mbps LAN maksimalne duljine 2500 m i 4 ponavljača (engl. *repeater*) minimalno trajanje okvira je  $51,2 \mu\text{s}$ , što odgovara 64 byta. Okviri manje duljine se nadopunjavaju do 64 byta.

Sa napretkom računalnih mreža tj. sve većim brzinama prijenosa, ovaj problem se može riješiti tako da minimalna duljina okvira mora rasti ili maksimalna duljina kabela mora padati. Tako da za 2500 metarski LAN koji radi na brzini od 1Gbps minimalna duljina okvira je 6400 byta. Minimalna duljina okvira može biti i 640 byta, ali je tada maksimalni razmak između dvije stanice 250 m.

### 5.2.3. Manchester kodiranje

Nijedna verzija 802.3 standarda ne koristi binarno kodiranje (0 volti za bit u 0 i 5 volti za bit u 1). Problem je što prijemna strana ne može razlikovati bit u 0 (0 volti) i stanje stanje mirovanja pošiljalca (0 volti). Potrebno je naći takvo kodiranje kod kojeg će primatelj nedvosmisleno detektirati početak, kraj ili sredinu svakog bita. Kodiranja koja to omogućavaju su Manchester kodiranje i diferencijalno Manchester kodiranje.



**Slika 39.** Binarno, Manchester i diferencijalno-Manchester kodiranje

#### *Manchester kodiranje*

Kod Manchester kodiranja period jednog bita se dijeli na dva jednaka intervala. Binarno 1 ima u prvom intervalu viši napon, a u drugom niži. Binarna 0 ima u tijekom prvog intervala niži napon, a u drugom viši. Na ovaj način svaki period ima promjenu u sredini i na primatelj se lakše sinkronizira sa pošiljeteljem. Nedostatak ovog kodiranja je duplo veća širina kanala nego kod binarnog kodiranja.

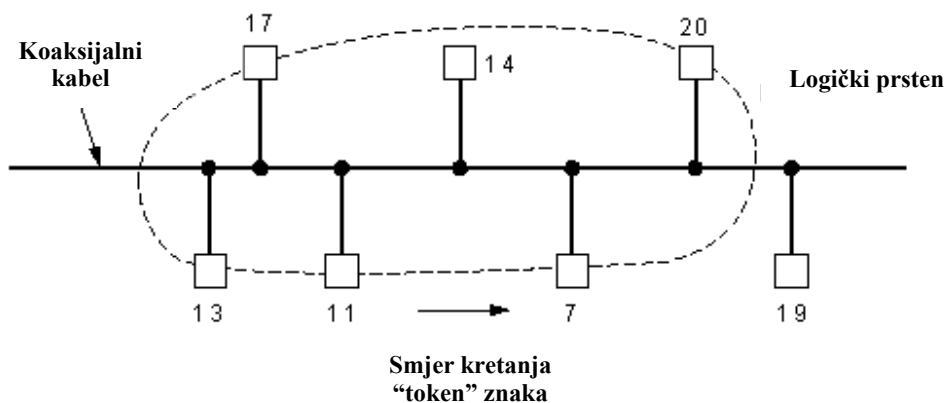
#### *Diferencijalno Manchester kodiranje*

Diferencijalno Manchester kodiranje je varijacija Manchester kodiranja. Ako je bit u 1 nema promjene na početku intervala, a kod 0 postoji promjena na početku intervala. Kod 1 i 0 postoji promjena u sredini intervala. Ovo kodiranje zahtjeva kompleksniju opremu, ali je otpornije na šum.

Svi 802.3 sustavi koriste Manchester kodiranje zbog njegove jednostavnosti. Viši signal je +0.85V, a niži -0.85V.

### **5.3. IEEE standard 802.4: token bus**

Kod IEEE 802.4 standarda stanice formiraju logički prsten (nakon posljednje stanice slijedi prva), a fizički se radi o linearnom kabelu tj. sabirnici. Svaka stanica poznaje prethodnu i sljedeću stanicu u nizu, a logički redoslijed stanica je neovisan o fizičkom rasporedu.



Slika 40. 802.4 standard: Token bus

Kad se logički prsten inicijalizira, stanica sa najvećim brojem (najvećom adresom) može poslati prvi okvir. Nakon toga prepušta dozvolu svom neposrednom susjedu tako da mu pošalje poseban upravljački okvir tzv. "token". "Token" se kreće kroz logički prsten i samo stanica koja drži "token" ima pravo prenositi okvire. Na taj način je spriječena mogućnost kolizije, pošto uvijek samo jedna stanica može imati "token". Fizički raspored nije važan, jer s obzirom da se radi o sabirnici svaka stanica prima sve okvire i odbacuje one koji nisu njoj namijenjeni. Kada stanica propusti "token" šalje ga na adresu svog logičkog susjeda bez obzira na fizički raspored. Dodavanje i brisanje stanica iz logičkog prstena vrši MAC protokol, što ga čini kompleksnim.

### 5.3.1. MAC protokol za 802.4

Kad se prsten "inicijalizira" stanice se slažu prema adresi (od najveće prema najmanjoj), tim redom se kreće i "token". Kad stanica traži i dobije "token" ima pravo prenositi okvire određeni period i nakon toga mora predati "token" sljedećoj stanici. Ako stanica nema podataka za slanje, tada samo prenese "token" sljedećoj stanici. Kod ovog standarda moguće je definirati klase prioriteta, što je pogodno za real-time sustave.

### 5.3.2. IEEE 802.4 format okvira

PRE AMBULA	SD	FC	ADRESA ODREDIŠTA	ADRESA IZVORA	PODACI	FCS	ED
byta ≥ 1	1	1	2 ili 6	2 ili 6	0 do 8182	4	1

Slika 41. IEEE 802.4 format MAC okvira

Preambula se koristi za sinkronizaciju sa prijemnom stranom. SD (Start Delimiter) i ED (End Delimiter) služe za označavanje granica okvira. FC (Frame Control) predstavlja upravljačko polje i služi za razlikovanje okvira sa podacima od upravljačkih okvira. Ako je okvir upravljački tada FC sadrži sekvence koje služe za



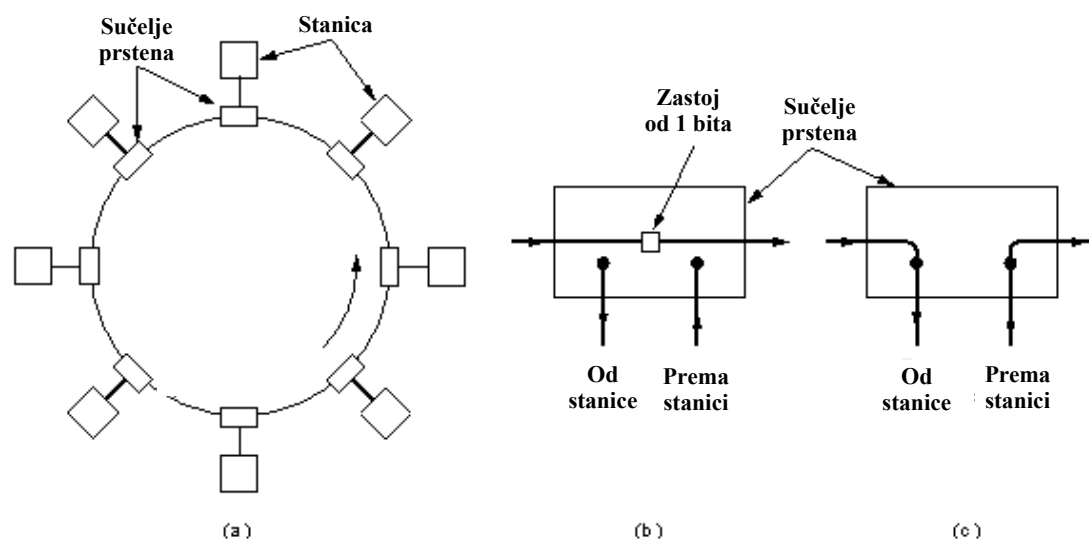
predavanje "tokena", dodavanje i oslobađanje stanice iz prstena, obnavljanje izgubljenog "tokena", ...) U slučaju okvira sa podacima FC nosi informaciju o prioritetu okvira, također može sadržavati identifikator koji će tražiti da prijemna stanica potvrdi točan ili netočan prijem okvira. Adresa odredišta daje adresu stanice kojoj su podaci namijenjeni, a adresa izvora daje adresu stanice koja šalje podatke. Polje sa podacima može biti duljine do 8182 byta, što je pet puta duže od polja kod 802.3 standarda. Kod 802.4 standarda postoji predodređeno vrijeme u kojem svaka stanica može slati nakon što primi "token". Na taj način se sprječava da neka stanica predugo zadržava promet mrežom. FCS polje služi za detekciju pogrešaka pri prijenosu i koristi iste algoritme kao i 802.3 standard.

#### 5.4. IEEE standard 802.5:token ring

IEEE 802.5 tj. "token ring" definira prstenastu mrežu u kojoj stanice predaju "token" koji kruži fizičkim i logičkim prstenom. Fizički prsten se sastoji od niza veza točka-točka, a sama izvedba može biti parica, koaksijalni kabel ili optičko vlakno.

Kod ovog standarda "token" kruži prstenom i kada stanica želi prenositi podatke mora maknuti "token" sa prstena. Micanje "tokena" sa prstena vrši se tako da stanica koja želi prijenos promijeni jedan bit u "tokenu" veličine 3 byta. Nakon toga ta 3 byta postaju prva 3 byta u okviru koji prenosi podatke.

Svaki okvir koji dolazi na sučelje kopira se u spremnik (buffer), gdje se bit pregleda, možda i izmijeni prije ponovnog slanja na prsten. Ovaj način uzrokuje zastoje od 1 bita po stanici, kao i zastoj zbog propagacije samog signala.



Slika 42. a) mreža tipa prsten b) osluškivanje c) prijenos

Sučelje ima dva načina rada (Slika 35): osluškivanje (engl. *listen mode*) i prijenos (engl. *transmit mode*).

Kod osluškivanja ulazni bitovi se kopiraju na izlaz. U načinu prijenosa, sučelje promijeni "token", prekine vezu između ulaza i izlaza i postavlja vlastite podatke na prsten.

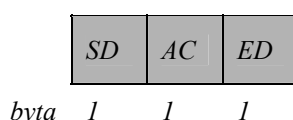
Kad se bitovi vrate kroz prsten, pošiljalatelj ih ukloni sa prstena. Nakon što su podaci preneseni pošiljalatelj mora regenerirati "token", vratiti ga na prsten i vratiti se u stanje

prisluškivanja. Problem kod prstena je ako dođe do prekida nekog od kabela cijela mreža se prekida. Da bi se to spriječilo koristi se poseban uređaj za ožičenje (wire center) unutar kojeg se nalazi zaobilaznica (bypass) koja oslobađa stanicu ako dođe do prekida.

Glavna prednost prstena u odnosu na sabirnicu sa "tokenom" je prijenos na veće udaljenosti bez gubitaka snage signala (stanica koja primi signal pojača ga i nakon toga šalje dalje na mrežu).

#### 5.4.1. MAC protokol za IEEE 802.5

Kad nema prometa mrežom "token" (Slika 43.) veličine 3 byta kruži prstenom. Stanica koja želi slati podatke mora u "tokenu" izmijeniti 1 bit (iz 0 u 1), što "token" pretvara u sekvencu za početak okvira. Nakon toga stanica popuni ostatak okvira. Kao u "token-bus" mehanizmu i u "token-ring" mehanizmu se može definirati shema prioriteta pristupa.



**Slika 43.** IEEE 802.5 format token okvira

#### 5.4.2. IEEE 802.5 format okvira



**Slika 44.** IEEE 802.5 format MAC okvira

SD (Start Delimiter) i ED (End Delimiter) polja označavaju početak i kraj okvira. AC (Access Control) polje sadrži "token" bit, monitor bit, bit prioriteta i bit rezervacije. FC (Frame Control) dijeli okvire sa podacima od mogućih upravljačkih okvira. Polja adrese odredišta i izvora su iste kao i kod protokola 802.3 i 802.4. Nakon toga slijedi polje za podatke koje nema ograničenje (osim veličine perioda za prijenos). FSC polje je isto kao i kod standarda 802.3 i 802.4. Pomoću FS (Frame Status) okvira prijemna strana označava svoju aktivnost tj. postojanje u prstenu i primitak okvira.

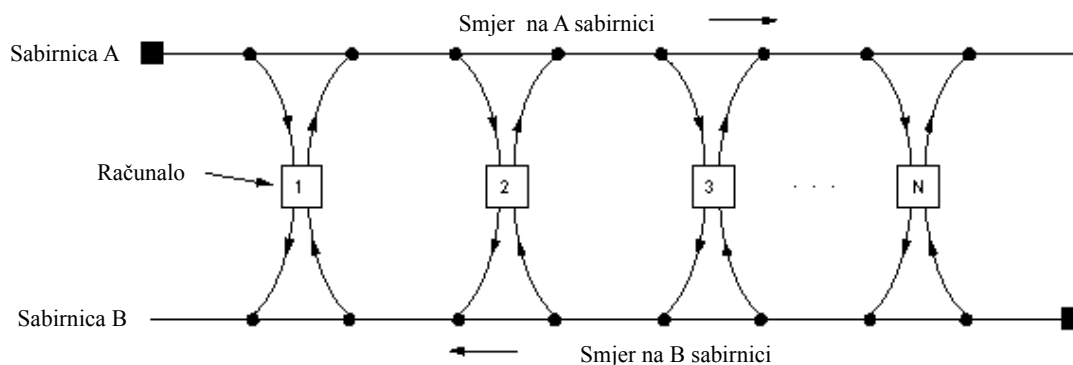
### 5.5. IEEE standard 802.6

Nijedan od standarda za LAN nije pogodan za upotrebu kod MAN mreža.

Za mreže koje pokrivaju grad, IEEE je definirao DQDB (Distibuted Queue Dual Bus) kao standard 802.6.

Mreža se sastoji od dvije jednosmjerne sabirnice na koju su sva računala povezana. Svaka stanica mora znati da li je odredište desno ili lijevo kako bi poslala podatke sabirnicom A ili B. Stanice podatke slažu u red tj. po FIFO principu.

Udaljenost koje pokrivaju MAN mreže je do 160 km sa brzinama od 44,736 Mbps.



Slika 45. Arhitektura DQDB MAN mreže

### 5.6. IEEE LLC (Logical Link Control)

LLC protokol skriva razliku između različitih 802 mreža, tako da omogućava jedinstveni format i sučelje prema mrežnom sloju. LLC blok, bloku korisničkih podataka dodaje svoje zaglavlje, koje sadrži informacije za upravljanje protokolom između dva udaljena LLC sloja. LLC čini gornju polovinu podatkovnog sloja, druga polovica je MAC podsloj.

### 5.7. Uređaji na podatkovnom sloju

Uređaji na podatkovnom sloju koji služe za povezivanje lokalnih mreža su prenosnik (engl. *bridge*) i prospojnik (engl. *switch*).

Prenosnik je uređaj koji povezuje lokalne mreže. Općenito, prenosnik će prosljediti dolazeći okvir na određite služeći se MAC adresom koja se nalazi u okviru.

Prospojnik kao i prenosnik povezuje lokalne mreže i može se smatrati multi-port prenosnikom. Na osnovu MAC adrese prospojnik preusmjerava podatke ka određitu i to samo ka odgovarajućoj stanici, a ne prema svima u toj mreži (kao što to radi hub na fizičkom sloju). U današnjim mrežama koriste se prospojnici.

Napomena! Pogledati Dodatak C.