

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
Akademska godina: 2010./2011.

# **Lokalne mreže**

(Prvi dio)

Prof. dr.sc. Alen Bažant

# 1. Lokalne mreže

Lokalna mreža (Local Area Network – LAN) je komunikacijska mreža koja međusobno povezuje raznovrsne krajnje uređaje (Data Terminal Equipment – DTE) unutar ograničenog područja, i omogućava razmjenu informacija između tih uređaja. Za krajnje uređaje kao što su osobna računala, prijenosna računala (*laptop*) i radne stanice, obično se koristi generički naziv stanica. Osnovna obilježja lokalnih mreža su sljedeća:

- LAN je najčešće instaliran unutar jedne zgrade ili skupine zgrada unutar ograničenog područja (to je osnovni razlog zašto se zove **lokalna** mreža);
- broj krajnjih uređaja spojenih u lokalnu mrežu je ograničen, pri čemu se ograničenje kreće u rasponu od nekoliko desetaka do nekoliko stotina krajnjih uređaja u jednoj lokalnoj mreži;
- LAN je obično u vlasništvu jedne organizacije, koja je ujedno i vlasnik mrežnih uređaja međusobno povezanih tim LAN-om;
- u lokalnim mrežama se u pravilu koriste velike prijenosne brzine (kreću se u rasponu od 1 Mbit/s do 10 Gbit/s).

Postoji još jedan način na koji je moguće za neku mrežu reći da li je lokalna ili ne. Za potrebe analize performansi komunikacijskih mreža definiran je parametar  $a$  kao omjer vremena prostiranja signala prijenosnim medijem s kraja na kraj poveznice, tj. linka (*propagation time*) i vremena slanja paketa na link (*transmission time*) (Stallings [1997]). U lokalnim mrežama parametar  $a$  kreće se unutar intervala  $[0.01, 0.1]$ . Međutim, u novije vrijeme, uslijed sve većih prijenosnih brzina u lokalnim mrežama, parametar  $a$  postaje veći od 0.1 (npr. u Gigabit Ethernetu).

Postoji još nekoliko obilježja koja su zajednička većini lokalnih mreža. Prve inačice LAN-ova, koje su se pojavile na tržištu početkom osamdesetih godina prošlog stoljeća, povezivale su krajnje uređaje u zajedničku mrežu pomoću tzv. **dijeljenog medija** (*shared media*). Od sredine devedesetih godina prošlog stoljeća u lokalne mreže se sve intenzivnije uvode **LAN komutatori** (LAN switch). U današnjim LAN-ovima koegzistiraju topologija dijeljenog medija i komutirana topologija, ali postojeći trend ukazuje na ubrzano povlačenje dijeljenog medija iz upotrebe. U lokalnim mrežama kašnjenje u prijenosu između dva krajnja uređaja je vrlo malo u odnosu na kašnjenja u javnoj mreži. Vjerojatnost nastupa pogreške na simbolima prenošenim LAN-om je također mala. Lokalne su mreže obično instalirane u okolini u kojoj nema izvora jakih elektromagnetskih smetnji (izvanjske smetnje češće nastaju u javnoj mreži).

Iako je u lokalnim mrežama moguća uspostava veza od točke do točke (*point-to-point*) na višim protokolnim slojevima, LAN-ovi s dijeljenim medijem

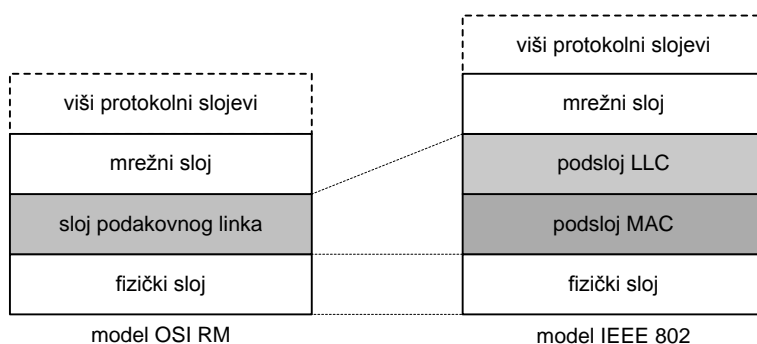
prenose informacije na načelu razasijanja (*broadcast*), tj. slanja podatkovnih jedinica svim krajnjim uređajima unutar jedne mreže. Drugim riječima, u LAN-u s dijeljenim medijem podatkovnu jedinicu koju šalje jedna stanica prime sve ostale stanice u LAN-u. Nakon toga odgovarajući protokolni sloj (*layer*) u svakoj od tih stanica donosi odluku da li će dotična podatkovna jedinica biti proslijeđena višim protokolnim slojevima ili će biti odbačena.

Krajnji uređaji u lokalnim mrežama se nalaze u ravnopravnom (*peer*) odnosu. To znači da svaki krajnji uređaj u LAN-u može samostalno započeti komunikaciju ne čekajući pri tome inicijativu od drugih krajnjih uređaja, kao što je slučaj u modelu nadređeni/podređeni (*master/slave*). Nadalje, zbog ravnopravnosti krajnjih uređaja i topologije dijeljenog medija svi okviri u LAN-u moraju sadržavati adresu primatelja (odredišta) i pošiljatelja (izvora).

Protokolna podatkovna jedinica (Protocol Data Unit – PDU) koja se formira na drugom sloju referentnog modela OSI (Open Systems Interconnection Reference Model – OSI RM) naziva se okvir (*frame*). Sukladno tome, za podatkovne jedinice na protokolnoj razini lokalnih mreža također se koristi naziv okviri.

## 1.1. Protokolna arhitektura lokalnih mreža

Najveći doprinos standardizaciji lokalnih mreža dala je organizacija IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) unutar koje djeluje i odbor nazvan IEEE 802. Odbor IEEE 802 je definirao univerzalnu protokolnu arhitekturu lokalnih mreža koja se sastoji od dva najniža sloja OSI RM-a, fizičkog sloja i sloja podatkovnog linka (Data Link Layer – DLL) (Sl. 1.1).



Sl. 1.1 Protokolna arhitektura lokalnih mreža

Sukladno protokolnom modelu IEEE 802 (Stallings [1990]), sloj podatkovnog linka podijeljen je u dva podsloja (*sublayer*). Na **podsloju upravljanja pristupom prijenosnom mediju** (Medium Access Control – MAC) definirani su algoritmi za pristup mediju, za otkrivanje pogrešaka i za uokvirivanje

podataka (*framing*). Podslaj MAC implementiran je hardverski na mrežnoj kartici (Network Interface Card – NIC) stanice ili u priključku mrežnog uređaja (*port*). Za svaku vrstu lokalnih mreža, ovisno o tome koju metodu pristupa mediju koristi, definiran je specifičan podslaj MAC.

Na **podslaju upravljanja logičkim linkom** (Logical Link Control – LLC) definiran je koncept logičkih linkova koji višestrukim protokolima višeg sloja omogućuje da zajednički dijele fizički link u LAN-u. Pritom se pojam višeg protokolnog sloja odnosi na sloj smješten neposredno iznad podslaja LLC. Ako lokalna mreža koristi model OSI RM, tada se iznad LLC-a nalazi mrežni sloj (Network Layer – NL). Podslaj LLC implementiran je softverski u obliku pogonskog programa (*driver*) mrežne kartice stanice ili kao modul softvera mrežnog uređaja. Podslaj LLC je jednak za sve vrste lokalnih mreža, neovisno o korištenoj metodi pristupa mediju.

Odbor IEEE 802.1 zadužen je za pitanja koja su zajednička svim vrstama lokalnih mreža: adresiranje, upravljanje mrežom (*network management*), povezivanje lokalnih mreža pomoću mostova (*bridge*) i dr. Odbor IEEE 802.2 bavi se problemima vezanim uz podslaj LLC. Posebni odbori unutar IEEE-a zaduženi su za definiranje protokola podslaja MAC namijenjenih lokalnim mrežama:

- **IEEE 802.3** – bavi se primjenom metode višestrukog pristupa mediju CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) u LAN-ovima. Ovaj je odbor nastavio rad kojeg je započela skupina tvrtki pod nazivom DIX (Digital, Intel and Xerox). Skupina DIX je prva definirala standard **Ethernet** koji definira lokalnu mrežu s pristupnom metodom CSMA/CD. Iako standardi Ethernet i IEEE 802.3 nisu identični, danas se u svijetu za obje vrste lokalnih mreža koristi uvriježeni naziv Ethernet;
- **IEEE 802.4** – bavi se lokalnim mrežama koje imaju zajednički naziv sabirnica s pristupnim okvirom (*token bus*);
- **IEEE 802.5** – bavi se lokalnim mrežama koje imaju zajednički naziv prstenasta mreža s pristupnim okvirom (*token ring*);
- **IEEE 802.11** – bavi se bežičnim lokalnim mrežama;
- **IEEE 802.12** – bavi se standardizacijom lokalne mreže koja koristi metodu višestrukog pristupa mediju na temelju prioriteta zahtjeva (Demand Priority Access Method – DPAM). Za takvu se lokalnu mrežu koristi naziv 100VG-AnyLAN.
- **IEEE 802.15** – bavi se osobnim mrežama (Personal Area Network – PAN).

Odbor IEEE 802.4 je u međuvremenu raspušten. Danas se odbor IEEE 802 sve više bavi i problemima vezanim uz gradske mreže (Metropolitan Area Network

– MAN) i uz širokopojasni bežični pristup (Broadband Wireless Access – BWA), s posebnim naglaskom na tehnologiju WiMAX (IEEE 802.16).

## 1.2. Upravljanje logičkim linkom

Upravljanje logičkim linkom se u lokalnim mrežama obavlja na podsloju LLC implementiranom softverski u mrežnim uređajima. U stanicama je LLC softverski implementiran kao pogonski program (*driver*) mrežne kartice (Network Interface Card – NIC) koja predstavlja sučelje između krajnjeg uređaja i lokalne mreže.

Osnovna zadaća podsloja LLC je transfer protokolnih podatkovnih jedinica između dva krajnja uređaja. Definirane su tri vrste usluga koje podsloj LLC pruža višim protokolnim slojevima (Stallings [1997]):

- nespojna usluga bez potvrde primitka okvira,
- spojna usluga, i
- nespojna usluga s potvrdom primitka okvira.

**Nespojna usluga bez potvrde primitka okvira** (*unacknowledged connectionless service*) je datagramska usluga koja omogućava jednostavno slanje i prijem LLC PDU-a. Prijemnik ne mora poslati predajniku potvrdu o ispravnom primitku LLC PDU-a. U ovoj usluzi nije implementirano ni upravljanje prometnim tokovima (*flow control*) niti upravljanje linkom s ciljem otklanjanja pogrešaka (*error control*). Nespojna usluga bez potvrde primitka okvira podržava slanje okvira na jedno odredište (*unicast*), slanje okvira većem broju odredišta (*multicast*) i razašiljanje okvira.

**Spojna usluga** (*connection-mode service*) omogućava dvojici korisnika podsloja LLC da prije početka transfera informacija između sebe uspostave logičku vezu. U spojnoj usluzi implementirani su upravljanje prometnim tokovima, oporavak linka od pogrešaka (*error recovery*) i mehanizam praćenja ispravnosti redoslijeda primljenih okvira. Ovom je uslugom podržano isključivo slanje okvira na jedno odredište.

**Nespojna usluga s potvrdom primitka okvira** (*acknowledged connectionless service*) pruža mehanizam pomoću kojeg krajnji korisnici mogu slati pakete s korisničkim informacijama i primati potvrdu za svaki poslani paket, a da pri tome ne mora biti uspostavljena veza između krajnjih uređaja (kao što je slučaj u spojnoj usluzi).

Pri kreiranju osnovnog protokola podsloja LLC preuzeti su temeljni mehanizmi protokola HDLC (High-level Data Link Control). Sukladno navedenim vrstama usluga koje podsloj LLC pruža višem protokolnom sloju definirana su tri načina rada (*operation*) protokola podsloja LLC:

- LLC Type 1 – podržava nespojnu uslugu bez potvrde primitka okvira,

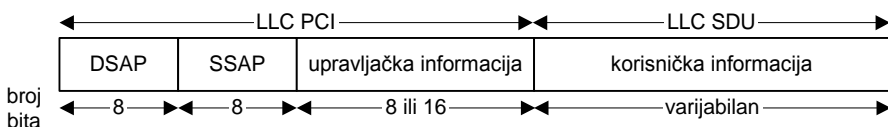
## 1. Lokalne mreže

- LLC Type 2 – podržava spojnu uslugu, i
- LLC Type 3 – podržava nespojnu uslugu s potvrdom primitka okvira.

Većina LAN-ova na podsloju LLC koristi protokol Type 1, računalna arhitektura SNA (System Network Architecture) tvrtke IBM definira uporabu protokola Type 2, a protokol Type 3 se iznimno rijetko koristi.

### 1.2.1. LLC PDU

LLC PDU je protokolna podatkovna jedinica podsloja LLC. LLC PDU se prilikom slanja okvira formira od dva dijela: protokolne upravljačke informacije (Protocol Control Information – PCI) podsloja LLC i informacije koju LLC prima s mrežnog sloja (Stallings [1997]). Informacija primljena s višeg sloja tvori na podsloju LLC servisnu podatkovnu jedinicu (Service Data Unit – SDU) podsloja LLC (LLC SDU). U sva tri načina rada protokola podsloja LLC koristi se isti format LLC PDU-a (Sl. 1.2).



Sl. 1.2 Format LLC PDU-a

Korisničko polje sadrži korisničku informaciju, tj. LLC SDU duljine  $N$  okteta, pri čemu je  $N$  cijeli broj. U ovom kontekstu korisnik je u stvari protokol mrežnog sloja, jer on koristi uslugu koju mu pruža podsloj LLC. Primjer LLC SDU-a je IP datagram. Duljina korisničkog polja ovisna je o implementaciji. Kod nekih tipova LLC PDU-a duljina korisničkog polja jednaka je nuli.

### SAP

Na podsloju LLC se prilikom slanja okvira u lokalnu mrežu odvija multipleksiranje paketa primljenih s mrežnog sloja na zajednički prijenosni medij. Obratno, prilikom prijema okvira iz lokalne mreže podsloj LLC demultipleksira pakete i predaje ih mrežnom sloju. Koncept točke pristupa usluzi protokolnog sloja (Service Access Point – SAP) omogućava da nad jednim podslojem LLC djeluje više različitih protokola mrežnog sloja (Perlman [2000]).



Sl. 1.3 Struktura SAP-a

Svakom protokolu mrežnog sloja pridružen je specifičan SAP. Na taj se način svi paketi jednog mrežnog protokola prenose LAN-om zasebnim logičkim linkom. Logički link u IEEE 802 LAN-u određen je odredišnim SAP-om

(Destination SAP – DSAP) i izvorišnim SAP-om (Source SAP – SSAP). Struktura SAP-a prikazana je na Sl. 1.3.

Dva bita SAP-a rezervirana su za posebne namjene:

- bit G/L (1 = *Global*/0 = *Local*) – označava da li je SAP dodijeljen od strane IEEE-a (globalno) ili ga je dodijelio vlasnik mreže (lokalno);
- bit G/I (1 = *Group*/0 = *Individual*) – označava da li je okvir namijenjen jednom protokolu ili većem broju protokola viših slojeva.

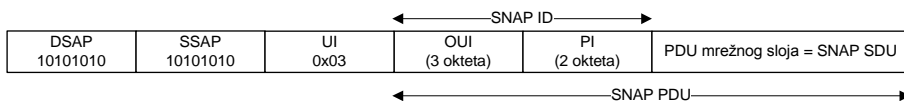
Pri korištenju protokola kojima je dodijeljen globalni SAP polja DSAP i SSAP imaju isti sadržaj (ne računajući bit G/I). Bit G/I u DSAP-u određuje da li se radi o pojedinačnoj adresi (određuje jedan SAP, G/I = 0) ili skupnoj adresi (određuje skupinu SAP-ova, G/I = 1). Bit G/I u SSAP-u određuje da li se radi o naredbi (*command*, G/I = 0) ili odgovoru (*response*, G/I = 1).

SAP koji se sastoji od 8 binarnih jedinica (SAP = 11111111) predstavlja sve SAP-ove. To je u stvari adresa razaslanja na podsloju LLC. SAP koji se sastoji od 7 binarnih nula i bita G/L postavljenog u jedinicu (SAP = 00000010) označava sam sloj podatkovnog linka, a ne korisnika tog sloja.

## SNAP

Preostalih šest bita SAP-a (ne računajući G/I i G/L) nije dovoljno kako bi se svim organizacijama omogućilo da na jednoznačan način odrede svoje protokole koji koriste uslugu podsloja LLC. IEEE je dodjeljivao SAP-ove samo onim protokolima koje su dizajnirala standardizacijska tijela odobrena od strane IEEE-a (npr. SAP protokola ISO 8473 Internet jednak je 11111110).

Kako bi riješio taj problem, IEEE je definirao protokol SNAP (Subnetwork Access Protocol). SNAP omogućava transfer podatkovnih jedinica protokola koji se ne podvrgavaju međunarodnim standardima. Za potrebe SNAP-a rezerviran je globalni SAP čiji je binarni iznos jednak 10101010 (tzv. SNAP SAP). Struktura SNAP PDU-a prikazana je na Sl. 1.4 (Martin [1994]).



Sl. 1.4 Struktura SNAP PDU-a

Prva dva polja SNAP ID-a (SNAP Identifier) određuju privatni protokol mrežnog sloja. Privatni mrežni protokoli su oni protokoli koji se ne podvrgavaju standardima mrežnog sloja modela OSI RM. Takvim protokolima IEEE nije dodijelio odgovarajuće SAP-ove. Primjeri privatnih mrežnih protokola su IP (Internet Protocol) i IPX (Internet Packet Exchange).

Polje OUI (Organizationally-Unique Identifier), duljine tri okteta, označava organizaciju koja je definirala privatni protokol mrežnog sloja, a polje PI (Protocol Identifier), duljine dva okteta, određuje na jednoznačan način dotični privatni protokol.

Opisani postupak transfera podatkovnih jedinica protokola mrežnog sloja naziva se SNAP inkapsulacija. Osnovna mana SNAP inkapsulacije je smanjenje propusnosti (*throughput*) sloja podatkovnog linka uslijed povećanja protokolnog preteka (*overhead*).

Kao što je vidljivo na gornjoj slici, na SNAP inkapsulaciju troši se pet okteta unutar korisničkog polja LLC PDU-a što pri slanju kratkih okvira smanjuje propusnost sloja podatkovnog linka za 3 do 4 posto.

Ako je sadržaj polja SNAP OUI jednak x'00-00-00, tada polje PI sadrži oznaku Ethernet Type, čije su vrijednosti definirane za razne protokole na globalnoj razini (npr. EtherType za IP je x'08-00, a za ARP x'08-06). Ovaj poseban slučaj SNAP inkapsulacije posebno je namijenjen prijenosu TCP/IP protokola, kako je opisano u dokumentu RFC 1042.

### Upravljačko polje

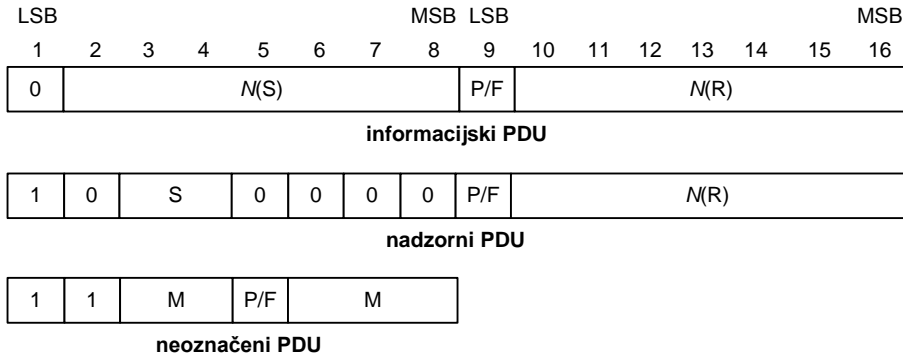
Prilikom upravljanja logičkim linkom podsloj LLC koristi informaciju sadržanu u upravljačkom polju. Sadržaj upravljačkog polja je određen upravljačkom funkcijom kojoj dotični LLC PDU pripada (Stallings [1997]). Duljina upravljačkog polja iznosi 8 ili 16 bita. S obzirom na format upravljačkog polja postoje tri vrste LLC PDU-a (Sl. 1.5):

- **korisnički** (*information*) – koristi se za transfer korisničkih informacija. Upravljačko polje sadrži slijedni broj LLC PDU-a, označen kao  $N(S)$ . Duljina polja  $N(S)$  iznosi 7 bita. Upravljačko polje sadrži i slijedni broj  $N(R)$  duljine 7 bita pomoću kojeg LLC PDU potvrđuje prijem okvira. Takav postupak slanja okvira kod kojeg okviri u predaji sadrže ujedno i potvrdu primljenih okvira naziva se *piggybacking*;
- **nadzorni** (*supervisory*) – koristi se za upravljanje prometnim tokovima i upravljanje linkom s ciljem otklanjanja pogrešaka. Pored nekolicine bita fiksnog sadržaja, nadzorni LLC PDU sadrži slijedni broj  $N(R)$  pomoću kojeg potvrđuje prijem okvira, i polje S duljine dva bita kojim je određen tip nadzornog LLC PDU-a. Definirana su tri tipa nadzornog LLC PDU-a: RR (Receive Ready), RNR (Receive Not Ready) i REJ (Reject);
- **neoznačeni** (*unnumbered*) – ovaj format koriste različiti upravljački LLC PDU-ovi namijenjeni upravljanju logičkim linkom. Polje M duljine 5 bita određuje o kojem se tipu neoznačenog LLC PDU-a radi.

Bit koji je na Sl. 1.5 označen kao P/F (*poll/final*) služi za povezivanje naredbi i odgovora. U LLC PDU-u koji prenosi naredbu taj bit ima funkciju prozivanja (P) i postavlja se u logičku jedinicu kako bi prisilio uređaj na drugom kraju linka na slanje odgovora. U LLC PDU-u koji prenosi odgovor ovaj bit ima suprotnu funkciju (F). Ako je postavljen u logičku jedinicu tada označava da je odgovor poslan na insistiranje uređaja na drugom kraju linka.



Protokol LLC Type 1 koristi neoznačene LLC PDU-ove. Sadržaj upravljačkog polja LLC Type 1 PDU-a jednak je x'03 (kombinacija znakova x' označava da se radi o heksadecimalnim znamenkama).



Sl. 1.5 Format upravljačkog polja LLC PDU-a

## 1.3. Upravljanje pristupom mediju

Problem **višestrukog pristupa mediju** (*multiple access*) prisutan je u svim mrežama gdje više stanica istovremeno pristupa zajedničkom prijenosnom mediju. U svom izvornom obliku sve su lokalne mreže koristile arhitekturu dijeljenog medija. Upravljanje pristupom prijenosnom mediju u lokalnim mrežama moguće je provoditi na jedan od dva načina: centralizirano ili distribuirano (Schwartz [1977]). Pri centraliziranom načinu upravljanja jedan uređaj u mreži ima ulogu upravljača (*controler*) koji drugim krajnjim uređajima dodjeljuje pravo pristupa mreži. Krajnji uređaj može slati okvire tek nakon što od upravljača dobije dozvolu za slanje. Nasuprot tome, u distribuiranoj upravljačkoj shemi sve stanice zajednički obavljaju funkciju upravljanja pristupom mediju. Centralizirano upravljanje pristupom mediju ima sljedeće prednosti pred distribuiranim upravljanjem:

- omogućava lakšu realizaciju
  - dodjele prioriteta krajnjim uređajima za slanje okvira, i
  - dodjele zajamčenog kapaciteta potrebnog za slanje okvira;
- omogućava korištenje jednostavnih logičkih sklopova u stanicama;
- izbjegnuto je problem koordinacije između ravnopravnih komunikacijskih entiteta.

Nedostaci centraliziranog upravljanja pristupom mediju su sljedeći:

- u mreži postoji jedna kritična točka (upravljač); u slučaju ispada upravljača iz rada, cijela mreža prestaje s radom;

## 1. Lokalne mreže

- centralizirani pristup može ponekad kreirati usko grlo u komunikaciji i pokvariti mrežne performanse.

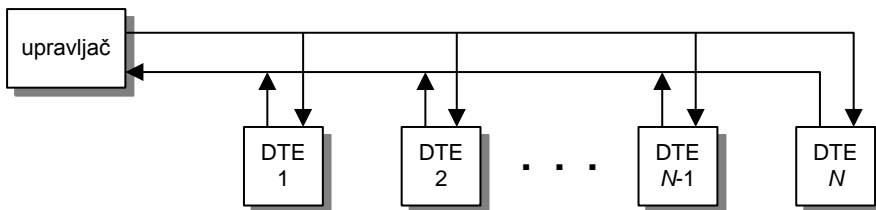
U lokalnim mrežama se uglavnom koristi decentralizirano upravljanje pristupom mediju.

Prije pojave lokalnih mreža metode **višestrukog pristupa** (*multiple access*) mediju razvijane su u dva pravca:

- višestruki pristup zajedničkom mediju po dodijeljenim resursima i
- višestruki pristup zajedničkom mediju po zajedničkom resursu.

Tipični predstavnici višestruki pristup zajedničkom mediju po dodijeljenim resursima su tehnike TDMA (Time Division Multiple Access), FDMA (Frequency DMA) i OFDMA (Orthogonal Frequency DMA), te SDMA (Space DMA), CDMA (Code DMA) i WDMA (Wavelength DMA). Kod navedenih tehnika višestrukog pristupa zajedničkom mediju svakom izboru korisničke informacije dodijeljen je namjenski potkanal (resurs) po vremenu, frekvenciji, prostorno, po kodnom slijedu ili po valnoj duljini.

Tehnike višestrukog pristupa zajedničkom mediju po zajedničkom resursu dijele su u dvije glavne podskupine: **prozivanje** (*polling*) i **slučajni pristup** (*random access*). Postoje dva osnovna načina prozivanja: centralizirano prozivanje (*roll-call polling*) i decentralizirano prozivanje (*hub polling*) (Schwartz [1977]). Prilikom centraliziranog prozivanja (Sl. 1.6) upravljač na početku svakog ciklusa prozivanja prvo šalje poruku prozivanja (*poll message*) prvoj stanici (DTE 1).

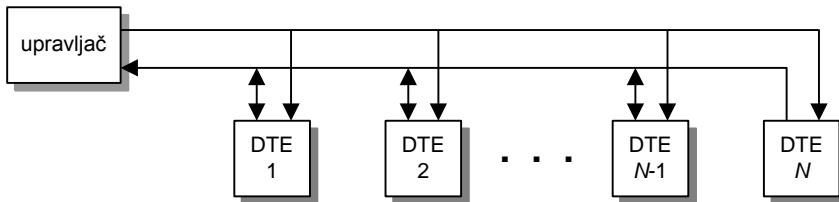


Sl. 1.6 Pristup mediju pomoću kružnog prozivanja

Nakon primitka poruke prozivanja DTE 1 može započeti slanje okvira prema upravljaču (stanica može poslati svoje podatke upravljaču jedino nakon primitka poruke prozivanja). Po završetku slanja okvira DTE 1 šalje upravljaču potvrdu o kraju slanja. Ako nema okvira spremnih za slanje, DTE 1 šalje upravljaču odgovarajuću poruku. Nakon što upravljač primi od DTE 1 potvrdu o završetku slanja ili poruku o tome da stanica nema okvira za slanje, predaje poruku prozivanja drugoj stanici (DTE 2). U DTE 2 odvija se ista procedura kao i u DTE 1. Ciklus prozivanja završava nakon što upravljač od  $N$ -te stanice (DTE  $N$ ) primi potvrdu o završetku slanja okvira ili poruku o tome da DTE  $N$  nema okvira za slanje. Nakon toga započinje sljedeći ciklus prozivanja.

Kružno prozivanje je neučinkovito na dugačkim linkovima. U takvom se mrežnom scenariju koristi decentralizirano prozivanje prikazano na Sl. 1.7 (Schwartz [1977]). Na početku ciklusa prozivanja upravljač pošalje poruku prozivanja najudaljenijoj stanici u mreži (DTE  $N$ ). Nakon primitka poruke prozivanja DTE  $N$  šalje okvir prema upravljaču, i po završetku slanja okvira s korisničkim podacima šalje poruku prozivanja stanici  $N-1$ . Ako DTE  $N$  nema okvira za slanje, tada odmah šalje poruku prozivanja prema DTE  $N-1$ . U DTE  $N-1$  odvija se ista procedura slanja okvira kao i u DTE  $N$ . Ciklus prozivanja završava u trenutku kad upravljač primi poruku prozivanja od stanice 1.

Na temelju mehanizma prozivanja dizajnirana je metoda pristupa mediju nazvana **predaja pristupnog okvira** (*token passing*), koja se koristi u lokalnoj mreži nazvanoj Token Ring. Predaja pristupnog okvira je primjer potpuno decentraliziranog prozivanja (u mreži nema upravljača, sve su stanice ravnopravne).



Sl. 1.7 Pristup mediju pomoću decentraliziranog prozivanja

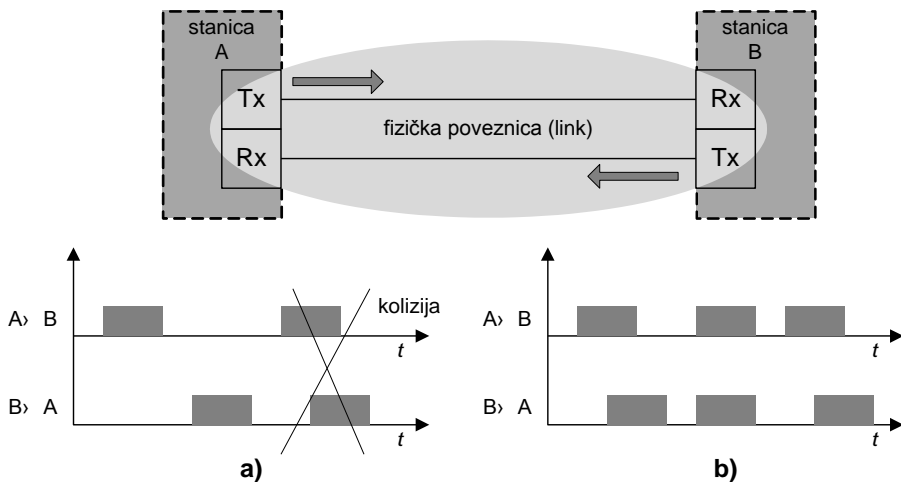
Metode slučajnog pristupa razvijane su pod nazivom ALOHA, a primjena im je bila u paketskoj radiomreži (Schwartz [1977]). U takvoj mreži nema upravljača, pristup mreži je potpuno decentraliziran i slučajan. Razvijano je nekoliko vrsta ALOHA-e: čista ALOHA (*pure ALOHA*), ALOHA s podjelom vremena pristupa na odsječke fiksne duljine trajanja (*slotted ALOHA* ili *S-ALOHA*) i rezervacijska ALOHA (*reservation ALOHA*). Međutim, sve tri vrste ALOHA-e omogućavaju postizanje male propusnosti mreže. Ako se propusnost lokalne mreže  $S$  izrazi kao postotak iskorištenog dijela kapaciteta linka  $C$ , tada za čistu ALOHA-u  $S_{\max}$  iznosi 0,1839, a za S-ALOHA-u  $S_{\max}$  iznosi 0,3679. Stoga je razvijena učinkovitija metoda, nazvana višestruki pristup mediju pomoću otkrivanja nosioca (Carrier Sense Multiple Access – CSMA). Pristupna metoda 1-persistent CSMA, koja se koristi u Ethernetu, omogućava postizanje propusnosti LAN-a veće od 0,5 (Hammond et al. [1986]). Točan naziv inačice pristupne metode CSMA koja je zaživjela u Ethernet LAN-ovima je **CSMA s detekcijom sudara okvira** (CSMA/CD).

Upravljanje pristupom mediju u lokalnim mrežama obavlja se na podsloju MAC implementiranom hardverski u mrežnim uređajima. U stanicama je MAC realiziran hardverski kao sklopovlje mrežne kartice.

Tijekom devedesetih godina prošlog stoljeća došlo je do bitnih promjena u topologiji lokalnih mreža. Topologija raspodijeljenog medija u većini LAN-ova zamijenjena je komutiranom topologijom. Osnovni mrežni element za izgradnju

## 1. Lokalne mreže

lokalne mreže postaje LAN komutator: Ethernet komutator, Token Ring komutator, FDDI (Fibre Distributed Data Interface) komutator i dr. Link koji povezuje priključak na komutatoru i stanicu naziva se segment LAN-a. U komutiranoj se mreži višestruki pristup koristi isključivo na razini svakog segmenta zasebno. Sve češće korištenje komutatora dovelo je i do uvođenja dvosmjernog prijenosa (*full-duplex* – FD) u lokalne mreže, što drugim riječima znači napuštanje višestrukog pristupa mediju. Danas se u većini lokalnih mreža uglavnom koristi dvosmjerni prijenos.



Sl. 1.8 Razlika između a) naizmjeničnog i b) dvosmjernog prijenosa

Osnovna razlika između naizmjeničnog i dvosmjernog prijenosa na linku koji povezuje dvije stanice (link od točke do točke, *point-to-point* – P2P) prikazana je na Sl. 1.8. Prilikom naizmjeničnog prijenosa stanica A i stanica B mogu slati okvire jedna drugoj, ali ne istovremeno. Nasuprot tome, dvosmjerni prijenos omogućava stanicama A i B da po potrebi i istovremeno šalju okvire jedna drugoj.

### 1.3.1. MAC PDU

Prilikom slanja korisničkih informacija lokalnom mrežom procedura kreiranja MAC PDU-a u krajnjem uređaju je sljedeća. Prvo se na višem protokolnom sloju (sloj iznad LLC-a) kreiraju paketi (npr. IP paket) koje viši sloj predaje podsloju LLC. Paket na podsloju LLC postaje LLC SDU. Podsloj LLC dodaje na LLC SDU vlastitu protokolnu informaciju (DSAP, SSAP i upravljačku informaciju). Na taj način nastaje LLC PDU, opisan u poglavlju 1.2. LLC predaje kreirani PDU podsloju MAC. LLC PDU na podsloju MAC postaje MAC SDU kojem MAC dodaje vlastitu protokolnu informaciju. Na taj način je kreiran MAC PDU čija je generička struktura prikazana na Sl. 1.9 (Stallings

[1997]). Za MAC PDU se često koristi naziv MAC okvir (MAC *frame*) ili skraćeno okvir.

Podsloj LLC u svakoj stanici uvijek prima one LLC PDU-ove koji se prenose MAC okvirima čija je odredišna adresa jednaka MAC adresi dotične stanice. Međutim, neke implementacije LLC-a omogućuju filtriranje MAC adresa primljenih okvira (MAC *address filtering*). Takav mehanizam omogućuje podsloju LLC da od MAC-a zahtijeva isporuku i onih okvira čija odredišna adresa nije identična MAC adresi stanice. Filtriranje MAC adresa moguće je koristiti pri slanju okvira na veći broj odredišta (*multicasting*).

upravljačko polje	odredišna MAC adresa	izvorišna MAC adresa	LLC PDU	CRC
-------------------	----------------------	----------------------	---------	-----

Sl. 1.9 Generička struktura MAC PDU-a

Na podsloju MAC realizirana je funkcija praćenja pogrešaka koje nastaju za vrijeme transfera okvira LAN-om. Pogreške na prenošenim simbolima nastaju uslijed djelovanja smetnji za vrijeme transfera. Kad u smjeru prijema fizički sloj preda slijed bita podsloju MAC, zadatak MAC-a je da raspozna granice okvira i provjeri njegovu ispravnost. Provjeru ispravnosti podsloj MAC ostvaruje pomoću metode CRC (Cyclic Redundancy Check) (Hammond et al. [1986]). Ako otkrije da je neki okvir neispravan, podsloj MAC ga odbacuje. U LAN-ovima se ponovno slanje (retransmisija) okvira primljenih s pogreškom implementira najčešće na višim protokolnim slojevima (npr. na transportnom sloju), a rjeđe na podsloju LLC (to je opcija koju po potrebi odabire korisnik). Dakle, ako transportni sloj ili podsloj LLC u prijemnom entitetu krajnjeg uređaja otkrije da neki okvir nedostaje (podsloj MAC ga je odbacio), tada ravnopravnom protokolnom sloju, odnosno podsloju u predajniku na drugom kraju linka šalje zahtjev za retransmisijom okvira.

### 1.3.2. MAC adresa

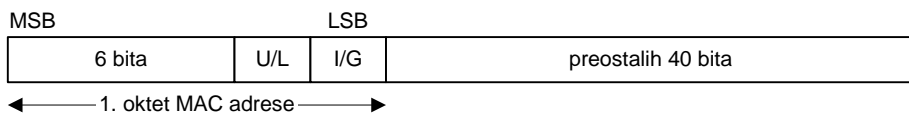
Odbor IEEE 802 je definirao format MAC adrese krajnjih uređaja za sve LAN-ove čijom se standardizacijom bavi. Duljina MAC adrese iznosi 48 bita. Sadržaj svakog okteta se zapisuje pomoću dvije heksadecimalne znamenke (npr. x'a2-40-50-61-72-b1). Razlog za korištenje dugačkih adresa leži u zahtjevu da svaki krajnji uređaj (mrežna kartica, priključak na mrežnom uređaju) mora imati jedinstvenu MAC adresu u cijelom svijetu. Iako MAC adresa ima lokalno značenje (samo na razini LAN-a), korištenje jedinstvene MAC adrese na svjetskoj razini onemogućava da bilo koje dvije stanice u istom LAN-u imaju istu MAC adresu, što bi ugrozilo ispravan rad lokalne mreže.

Zadatak je proizvođača mrežne opreme da MAC adresu (ili adrese, ako se radi o uređaju s dva ili više mrežnih priključaka) ugradi u firmver (*firmware*) mrežnog uređaja. Na taj je način krajnji korisnik rasterećen od konfiguriranja MAC adrese krajnjeg uređaja prilikom instalacije dotičnog uređaja u lokalnoj mreži.

## 1. Lokalne mreže

IEEE je postao globalno vrhovno tijelo koje određuje na koji način proizvođači mrežnih uređaja dodjeljuju MAC adrese svojim proizvodima. MAC adresa se sastoji od dva dijela. Prvi dio duljine 24 bita nazvan je OUI (Organizationally Unique Identifier) i određuje proizvođača opreme. Preostala 24 bita određuju sam uređaj (mrežnu karticu, priključak na mrežnom uređaju).

IEEE je definirao tzv. kanonski (*canonical*) format MAC adrese (Perlman [2000]), prikazan na Sl. 1.10. Takav se format MAC adrese koristi u IEEE 802.3 i IEEE 802.4 LAN-ovima. Kanonski oblik MAC adrese eksplicitno određuje da se na poziciji bita najmanje težine (Least Significant Bit – LSB) nalazi bit I/G. Budući da se u LAN-ovima definiranim standardima IEEE 802.3 i IEEE 802.4 prilikom slanja okvira na medij prvo šalje bit najmanje težine, korištenje kanonskog oblika adrese implicira da će prvi bit adrese na mediju biti I/G.

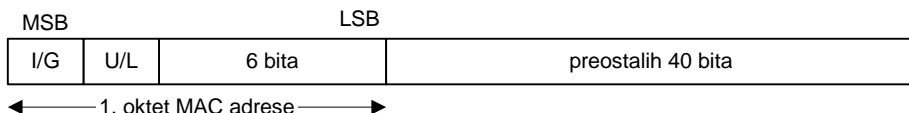


Sl. 1.10 Format MAC adrese u IEEE 802.3 i IEEE 802.4 LAN-ovima

U prvom oktetu adrese posebno su značajna dva bita:

- U/L (*Universal/Local*) – određuje da li se radi o adresi koju je dodijelilo vrhovno administracijsko tijelo (U = 0) ili se radi o lokalno generiranoj adresi (L = 1);
- I/G (*Individual/Group*) – određuje da li MAC adresa označava jedan krajnji uređaj (I = 0) ili skupinu krajnjih uređaja (G = 1). Prilikom slanja okvira na jedno odredište ovaj je bit u odredišnoj MAC adresi uvijek jednak nuli, a ako se radi o slanju okvira na veći broj odredišta, ili o razašiljanju okvira, tada je bit I/G u odredišnoj MAC adresi postavljen u jedinicu. Odredišna MAC adresa za razašiljanje okvira je x'ff-ff-ff-ff-ff-ff.

U IEEE 802.5 LAN-u situacija je obratna, na medij se prvo šalje bit najveće težine (Most Significant Bit – MSB). Stoga je IBM, kao kreator tehnologije Token Ring, odlučio promijeniti format MAC adrese u tzv. nekanonski (*noncanonical*, Sl. 1.11). Na taj se način prilikom slanja okvira na medij prvo šalje bit I/G, jednako kao u IEEE 802.3 i IEEE 802.4 LAN-ovima. Standard FDDI također definira korištenje nekanonskog formata odredišne i izvorišne adrese.



Sl. 1.11 Format MAC adrese u IEEE 802.5 LAN-ovima

Međutim, problem nastaje prilikom međudjelovanja IEEE 802.3 i IEEE 802.5 LAN-a. Ako je MAC okvir iz Token Ringa proslijeđen u IEEE 802.3 LAN tada je u Ethernetu adresama (DA i SA) sadržanim u okviru potrebno promijeniti redoslijed bita, tj. promijeniti nekanonski u kanonski oblik. Tim se zadatkom bave uređaji za povezivanje LAN-ova. Slično razmatranje vrijedi i za obratni smjer slanja, tj. iz Ethernet LAN-a u Token Ring.

Nadalje, u IEEE 802.5 LAN-ovima je u izvorišnoj MAC adresi promijenjeno značenje bita I/G. S obzirom da je izvorišna MAC adresa uvijek pojedinačna, njen bit I/G je standardom IEEE 802.5 zamijenjen bitom RIF (Routing Information Field). Taj bit, ako je postavljen u jedinicu, označava da u MAC okviru iza adrese SA slijedi polje koje prenosi informaciju o usmjeravanju MAC okvira. Ako je RIF = 0, tada odmah iza izvorišne adrese slijedi korisnička informacija.

Standard FDDI (Fibre Distributed Data Interface) također definira korištenje nekanonskog oblika odredišne i izvorišne adrese.

### 1.3.3. Standardi podsloja MAC

Tijekom osamdesetih i devedesetih godina prošlog stoljeća definirani su mnogobrojni standardi lokalnih mreža: IEEE 802.3, IEEE 802.4, IEEE 802.5, IEEE 802.12, FDDI, Fibre Channel, ATM (Asynchronous Transfer Mode) LAN-ovi i dr. Danas je najčešće korišten standard lokalnih mreža IEEE 802.3. Ostali se standardi sve rjeđe koriste ili su u potpunosti izbačeni iz upotrebe. Osnovni razlozi zbog kojih je IEEE 802.3 gotovo jedini opstao u području LAN-ova su jednostavnost protokola i izvedbe mreže, velike prijenosne brzine i niske cijene uređaja, prihvatljive krajnjim korisnicima. Stoga je u nastavku poglavlja dan detaljniji prikaz IEEE 802.3 LAN-ova.

## 1.4. Standard IEEE 802.3

Skupina proizvođača mrežne opreme koji su na projektu lokalne mreže bili ujedinjeni pod nazivom DIX (Digital, Intel and Xerox) prva je definirala standard **Ethernet**. Ethernet je specifikacija lokalne mreže koja koristi pristupnu metodu CSMA/CD. DIX je objavio dva standarda, poznata pod nazivom Ethernet I (1980.) i Ethernet II (1982.). Odbor IEEE 802.3 nastavio je rad koji je DIX započeo. Iako standardi Ethernet i IEEE 802.3 nisu identični, danas se u svijetu za obje vrste lokalnih mreža koristi uvriježeni naziv Ethernet.

### 1.4.1. Protokol CSMA/CD

Lokalna mreža definirana standardom IEEE 802.3 utemeljena je na pristupnoj metodi *1-persistent* CSMA/CD (Tanenbaum [1996]). Osnovno načelo rada ove pristupne metode je sljedeće (Stallings [1990]). Krajnji uređaj (nazvat ćemo ga stanica A) mjeri napon na mediju, čime otkriva eventualno prisustvo nosioca na mediju (*carrier sensing*). Ako je mjereni napon dovoljno velik, stanica A zaključuje da već neka druga stanica u lokalnoj mreži šalje svoj okvir i A odgađa slanje vlastitog okvira.

U trenutku kad je napon kojeg stanica A mjeri na mediju dovoljno mali, A zaključuje da je medij slobodan (*idle*), tj. da niti jedan drugi krajnji uređaj ne šalje svoje okvire. Čim stanica A ustanovi da je medij slobodan, pokrene brojač koji mjeri vrijeme poznato kao razmak između okvira (Interframe Gap – IFG, ponekad nazvan i razmak između paketa, tj. Interpacket Gap – IPG). Trajanje IFG-a jednako je trajanju 96 bita (pri brzini od 10 Mbit/s IFG traje 9,6  $\mu$ s).

Nakon isteka IFG-a stanica A počinje slati okvir. Ako za cijelo vrijeme trajanja slanja okvira stanice A niti jedan drugi krajnji uređaj u LAN-u nije slao svoje okvire, transfer je protekao bez sudara okvira (*collision*) i neki drugi krajnji uređaj u LAN-u može započeti svoju proceduru transfera. Međutim, ako je za vrijeme dok A šalje svoj okvir neki drugi krajnji uređaj počeo slati okvir, nastupit će sudar ta dva okvira.

Sve stanice u LAN-u permanentno mjere napon na mediju. U slučaju sudara okvira sve će stanice u LAN-u izmjeriti povećani napon i zaključiti da je došlo do sudara. Ta se procedura naziva otkrivanje sudara okvira (Collision Detection – CD). Stanice koje su za to vrijeme slale okvire obustavit će daljnje slanje korisničkih informacija. Neposredno nakon toga će svaka od njih poslati signal zagušenja (*jam signal*) duljine 32 bita i potpuno prekinuti slanje bilo kakvog signala. Svaka stanica koja je detektirala sudar okvira pokreće algoritam TBEB (Truncated Binary Exponential Backoff) (Stallings [1997]). Pomoću tog algoritma stanica generira slučajno vrijeme koje će pričekati prije nego ponovno pokuša slati okvir. Spomenuto vrijeme računa se kao broj fiksnih vremenskih odsječaka (*slot*). Trajanje svakog odsječka jednako je trajanju 512 bita pri određenoj prijenosnoj brzini. Sada je lakše objasniti zašto se u nazivu pristupne metode u IEEE 802.3 LAN-ovima koristi pojam *1-persistent*. U trenutku kad krajnji uređaj detektira da je prijenosni medij slobodan, on šalje okvir s vjerojatnošću 1. U nastavku će umjesto izraza IEEE 802.3 biti korišten rašireniji naziv Ethernet (osim u situacijama kad između ta dva standarda postoji bitna razlika).

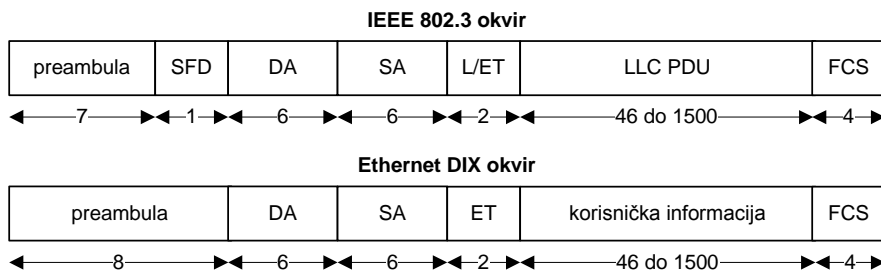
Starije inačice Ethernet LAN-ova koristile su isključivo pristupnu metodu CSMA/CD. Pri toj metodi svaka stanica u nekom vremenskom trenutku može samo primati ili samo slati okvire, ali ne može činiti oboje istovremeno. Takav se tip prijenosa informacija naziva naizmjenični prijenos (*half-duplex* – HD).



Stoga se ponekad Ethernet utemeljen na pristupnoj metodi CSMA/CD naziva i *half-duplex* Ethernet, tj. Ethernet LAN s naizmjeničnim načinom rada. Kasnije je standardom IEEE 802.3 definiran i dvosmjerni prijenos (FD) koji stanici omogućuje istovremeno slanje i prijem paketa. Korištenje dvosmjernog načina rada, tj. *full-duplex* Ethernet, znači napuštanje višestrukog pristupa. U dvosmjernom načinu rada podsloj MAC koristi samo tri parametra metode CSMA/CD: IFG, minimalnu duljinu okvira i maksimalnu duljinu okvira.

### 1.4.2. Struktura ethernetskog okvira

Sl. 1.12 prikazuje struktura IEEE 802.3 i Ethernet DIX okvira (nije potrebno reći IEEE 802.3 MAC okvir ili Ethernet DIX MAC okvir, jer su IEEE 802.3 i Ethernet DIX ionako standardi podsloja MAC) (Feit [2000]).



Sl. 1.12 Struktura IEEE 802.3 i Ethernet DIX okvira (duljine polja okvira izražene su brojem okteta)

U strukturu ethernetskog okvira najčešće se ubrajaju i dva početna polja, nazvana preambula (*preamble*) i oznaka početka okvira (Start Frame Delimiter – SFD). Međutim, preambula ima značenje samo na fizičkom sloju (pri slanju okvira kreira se na fizičkom sloju, a prilikom prijema okvira fizički sloj uklanja preambulu i ne prosljeđuje ju na podsloj MAC). Polje SFD se koristi samo za određivanje početka okvira (sinkronizacija na razini okvira). Sva ostala polja čine tzv. Ethernet paket (taj pojam ne treba brkati s paketima kao protokolnim podatkovnim jedinicama koje nastaju na mrežnom sloju, kao npr. IP paket).

Sukladno standardu IEEE 802.3 preambulu čini sedam okteta od koji svaki ima jednak sadržaj, tj. 10101010. Preambula je namijenjena sinkronizaciji na razini bita. Prijemnik koristi ovaj slijed od 56 bita kako bi obnovio takt s kojim je dotični okvir poslan. Na taj se način postiže usklađenost takta između predajnika i prijemnika. Polje SFD duljine osam bita ima fiksni sadržaj 10101011. Sadržaj preambule prema standardu Ethernet DIX jednak je uniji preambule i polja SFD prema standardu IEEE 802.3.

Polje odredišne adrese (Destination Address – DA) određuje MAC adresu krajnjeg uređaja kojem se dotični okvir šalje, a polje izvorišne adrese (Source Address – SA) određuje MAC adresu krajnjeg uređaja koji šalje taj okvir.

Nakon adresa slijedi polje po kojem se standardi IEEE 802.3 i Ethernet DIX bitno razlikuju.

Polje L (Length) određuje duljinu korisničkog polja (na slici označenog kao LLC PDU). Maksimalna dozvoljena duljina korisničkog polja iznosi 1500 okteta. Istovremeno, zbog toga što je trajanje fiksnog vremenskog odsječka jednako trajanju 512 bita, najmanja dozvoljena duljina IEEE 802.3 paketa (dakle, ne računajući preambulu i polje SFD) iznosi 64 okteta. Ako nema dovoljno korisničkih okteta za popunjavanje korisničkog polja, koristi se polje za popunjavanje (Padding – PAD). Duljina polja PAD kreće se u rasponu od 0 do 46 okteta.

Za razliku od IEEE 802.3 okvira, na mjestu polja L u Ethernet DIX okvirima nalazi se polje ET (*EtherType*). To polje određuje protokol mrežnog sloja čiji se podaci pakiraju u korisničko polje Ethernet okvira (npr. prilikom slanja IP datagrama Ethernetom sadržaj polja ET je x'08-00). S obzirom da je osnovna ideja bila da se istim fizičkim LAN-om zajedno mogu prenositi Ethernet DIX i IEEE 802.3 okviri, sadržaj polja ET poprima iznose koji su veći od najveće dozvoljene duljine korisničkog polja (heksadecimalni brojevi veći od x'05-ff).

Na podsloju MAC realizirana je funkcija praćenja pogrešaka koje nastaju unutar okvira, tj. na simbolima koji čine okvir, za vrijeme njihova prijenosa LAN-om. Te su pogreške posljedica djelovanja smetnji kojima je prijenosni medij izložen. Na kraju okvira nalazi se polje nazvano slijed za provjeru ispravnosti okvira (Frame Check Sequence – FCS). Sadržaj tog polja kreira se u predajniku pomoću metode cikličkog kodiranja (Cyclic Redundancy Check – CRC). U prijemu se istom metodom na podsloju MAC na temelju primljenog okvira proračunava slijed od četiri okteta koji se zatim uspoređuje s primljenim FCS-om. Ako je podudarnost potpuna, to je znak da je primljeni okvir ispravan (iako to ne mora biti potpuno točno jer postoji mogućnost da CRC ne otkrije neke višestruke pogreške). Ako otkrije da je neki okvir neispravan, podsloj MAC ga odbacuje.

U LAN-ovima se ponovno slanje (retransmisija) okvira primljenih s pogreškom implementira najčešće na višim protokolnim slojevima (npr. na transportnom sloju), a rjeđe na podsloju LLC (to je opcija koju po potrebi odabire korisnik). Dakle, ako transportni sloj ili podsloj LLC u prijemnom entitetu krajnjeg uređaja otkrije da neki okvir nedostaje, tada ravnopravnom protokolnom sloju, odnosno podsloju u predajniku na drugom kraju linka šalje zahtjev za retransmisijom okvira.

Prilikom korištenja metode CRC-32 (duljina FCS-a iznosi 32 bita) vjerojatnost da pogreška ne bude otkrivena iznosi otprilike  $10^{-14}$  (Hammond et al. [1986]). Poljem FCS zaštićene su MAC adrese, polje duljine okvira, odnosno polje ET, i korisničko polje (polje PAD je sastavni dio korisničkog polja).

## Primjena SNAP inkapsulacije u Ethernet LAN-ovima

Prednost korištenja Ethernet DIX okvira pred IEEE 802.3 okvirima je u tome što je svih 1500 okteta u korisničkom polju okvira raspoloživo za transfer informacija viših protokolnih slojeva. Odsustvo polja koje određuje duljinu korisničkog polja ne predstavlja ozbiljniji nedostatak, jer se računa s time da svaki protokol višeg sloja generira PDU-ove standardne duljine. Potreba za slanjem okvira varijabilne duljine, kojoj je posebna pažnja posvećena pri kreiranju standarda IEEE 802.3, rezultirala je izbacivanjem polja ET iz strukture IEEE 802.3 okvira.

Problem koji uslijed nedostatka polja ET nastaje prilikom transfera okvira riješen je ranije spomenutom SNAP inkapsulacijom (ponekad se naziva i LLC/SNAP inkapsulacija). Implementacija SNAP inkapsulacije u IEEE 802.3 LAN-ovima provedena je na sljedeći način. Organizacija IEEE je tvrtki Xerox dodijelila OI koji je jednak x'00-00-00, a polje PI jednako je polju ET u DIX okvirima (Sl. 1.4). U polje upravljačke informacije LLC PDU-a upisuje se fiksni sadržaj x'00-03 što označava da se koriste neoznačeni LLC PDU-ovi.

Zbog korištenja SNAP inkapsulacije u IEEE 802.3 okviru preostaje «samo» 1492 okteta za transfer korisničkih informacija. Usporedbe radi, u Ethernet DIX okviru svih 1500 okteta korisničkog polja MAC okvira stoji na raspolaganju za transfer korisničkih informacija.

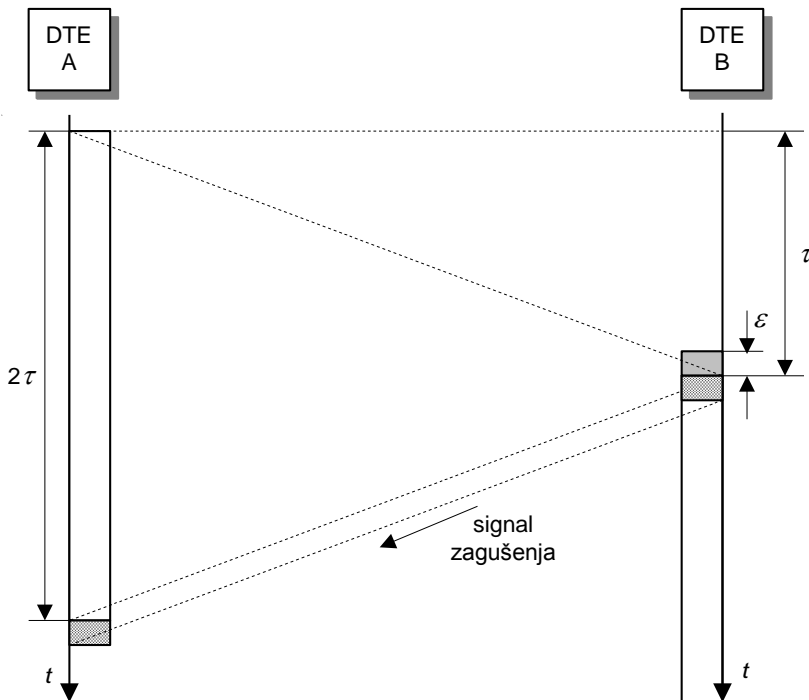
### 1.4.3. Način određivanja minimalne duljine MAC okvira

U početku ovog poglavlja objašnjen je mehanizam pristupa mediju pomoću otkrivanja sudara okvira. Problem sudara okvira je to izraženiji što je broj stanica u LAN-u veći i što je LAN dulji. Upravo je zbog sudara okvira maksimalna duljina LAN-a ograničena. Već je ranije spomenuto da je vrijeme u LAN-u podijeljeno u fiksne odsječke čije je trajanje jednako trajanju 512 bita.

Osnovni razlog za postavljanje donje granice na dozvoljenu duljinu Ethernet okvira moguće je objasniti na sljedeći način (Tanenbaum [1996]). Promatrajmo LAN na čijim se krajevima nalaze stanice A i B (DTE A i DTE B, Sl. 1.13). Kad stanica A detektira da je medij slobodan, ona počinje slati svoj okvir. Okvir se prostire LAN-om do stanice B. Neka prostiranje signala između A i B traje  $\tau$  sekundi. Nadalje, u trenutku  $\tau - \varepsilon$ , pri čemu je  $\varepsilon \ll \tau$ , okvir kojeg šalje stanica A stiže u neposrednu blizinu stanice B. Pretpostavimo da u tom trenutku B počinje slati svoj okvir. Uslijed toga u trenutku  $\tau$  stanica B detektira sudar okvira, prestaje slati okvir i šalje signal zagušenja. Signal zagušenja stiže u stanicu A u trenutku  $2\tau$ . Stanica A mjerenjem napona nosioca zaključuje da je nastupio sudar okvira, obustavlja daljnje slanje i šalje signal zagušenja.

## 1. Lokalne mreže

Dakle, mogući problem nastaje ako je stanica A slala vrlo kratki okvir čije je trajanje manje od  $2\tau$ . U tom slučaju će A završiti slanje okvira prije nego signal sudara dođe do nje. Naravno, takav je događaj u Ethernetu neregularan. Stoga je minimalna duljina okvira u Ethernetu određena upravo dvostrukim vremenom prostiranja s kraja na kraj LAN-a. U Ethernetu je definiran fiksni vremenski odsječak čije je trajanje jednako trajanju 512 bita, a trajanje ispravnog okvira minimalne duljine mora biti veće ili jednako trajanju fiksnog vremenskog odsjeka. Na taj je način zagarantirano da će svaka stanica sigurno detektirati sudar okvira, ako je za vrijeme njenog slanja bilo koji drugi krajnji uređaj u LAN-u pokušao slati okvire.



Sl. 1.13 Utjecaj sudara okvira na minimalnu duljinu okvira

Sudari u Ethernetu se dijele na rane sudare (*early collision*) i kasne sudare (*late collision*) (Kadambi [1998]). Rani sudari nastaju unutar vremena  $\tau$  od početka slanja neke stanice u LAN-u. U tom se intervalu može dogoditi da jedna stanica započne slati svoj okvir, ali taj signal još nije došao do svih stanica, i moguće je da neki drugi krajnji uređaj, izmjerivši da je medij slobodan, započne također sa slanjem okvira. U tom će slučaju doći do sudara okvira.

Rani sudari okvira su sasvim normalna pojava u Ethernet LAN-ovima. Međutim, kasni sudari su neželjena pojava i posljedica loše dimenzioniranog LAN-a. Ako je LAN projektiran tako da prostiranje signala s kraja na kraj LAN-a i natrag traje više od  $2\tau$  (u Ethernetu prijenosne brzine 10 Mbit/s to

iznosi 51,2  $\mu$ s), tada je moguće da u LAN-u nastupe sudari okvira koje neki krajnji uređaji neće detektirati.

### 1.4.4. Algoritam TBEB

U ethernetском LAN-u je važno da svaki krajni uređaj koji detektira sudar okvira pokrene algoritam TBEB (Stallings [1990]). Pretpostavimo da neki krajnji uređaj prvi puta pokušava poslati određeni okvir. Dakle, nakon što krajni uređaj izmjeri napon sudara, on pošalje signal zagušenja, obustavi slanje okvira i čeka neko slučajno vrijeme prije nego ponovno pokuša sa slanjem tog istog okvira. Nakon prvog sudara čeka slučajno vrijeme koje određuje na temelju broja  $n$  odabranog iz intervala  $[0, 2)$  i trajanja fiksnog vremenskog odsječka: vrijeme ponovnog slanja  $= n \times (\text{trajanje fiksnog vremenskog odsječka})$ . Ako i za vrijeme drugog pokušaja slanja istog okvira nastupi sudar, stanica ponovo šalje signal zagušenja i sada čeka slučajno vrijeme koje odabire u intervalu  $[0, 4)$ . Algoritam za određivanje vremena ponovnog slanja okvira glasi:

```

 $k = 1$  /* nakon prvog sudara pri slanju određenog okvira */
ako je  $k \leq \text{attempt limit}$  /* ponavlja se za svaki sljedeći sudar na tom
                                okviru */
     $m = \min(k, \text{backoff limit})$ 
    odaberi  $n$ ,  $0 \leq n < 2^m$ 
    vrijeme ponovnog slanja okvira  $= n \times (\text{trajanje odsječka})$ 
     $k = k + 1$ 

```

Dakle, nakon prvog sudara pri slanju određenog okvira stanica postavlja varijablu  $k$  u jedinicu i pokreće TBEB po prvi puta za taj okvir. Pri svakom sljedećem sudaru pri slanju tog istog okvira  $k$  se povećava za 1. Čim stanica uspije poslati dotični okvir, prekida TBEB. Maksimalni broj pokušaja slanja istog okvira (*attempt limit*) iznosi 16. Međutim, interval unutar kojeg krajnji uređaj odabire broj  $s$  kojim množi trajanje fiksnog vremenskog odsječka kako bi dobio vrijeme ponovnog slanja okvira raste eksponencijalno samo do desetog pokušaja (*backoff limit* = 10). To je razlog zbog kojeg se ova inačica algoritma BEB naziva *truncated* BEB. Ako ni nakon 16 pokušaja krajnji uređaj ne uspije poslati okvir zbog stalnih sudara, tada podsloj MAC u krajnjem uređaju briše dotični okvir iz spremnika (*buffer*) i šalje obavijest višim protokolnim slojevima o odbacivanju okvira.

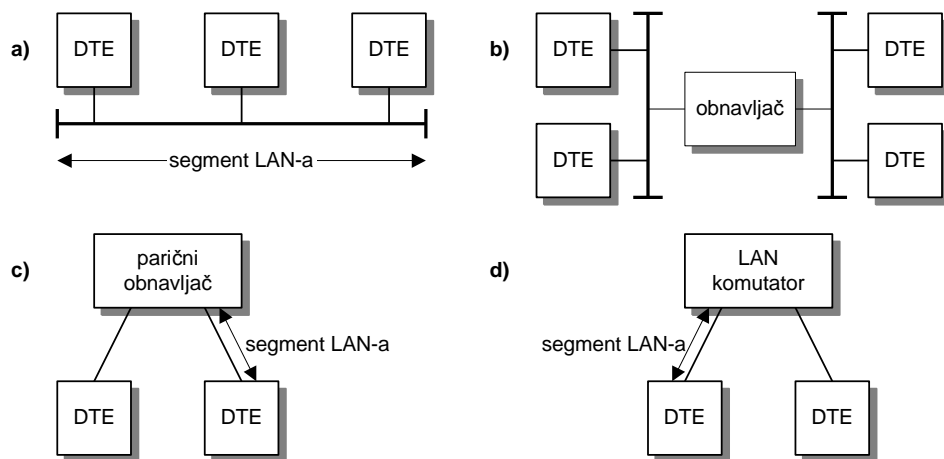
### 1.4.5. Mrežne topologije ethernetских LAN-ova

Topologija početnih inačica ethernetских LAN-ova bila je sabirnička (*bus*) (Sl. 1.14a). Cjelina koju sačinjavaju koaksijalni kabel kao sabirnica i priključene

## 1. Lokalne mreže

stanice naziva se segment LAN-a. Uslijed prigušenja i disperzije signala u kabelu maksimalna je duljina takvog segmenta bila ograničena na 500 metara. Međutim, trajanje fiksnog vremenskog odsječka omogućuje povećanje duljine LAN-a. U tu svrhu dizajniran je uređaj nazvan **obnavljač** (*repeater*). Obnavljač međusobno povezuje dva ili više segmenata LAN-a i omogućuje povećanje duljine LAN-a (Martin [1994]) (Sl. 1.14b).

Bitna promjena u topologiji ethernetских LAN-ova nastupila je 1990. godine kad je odbor IEEE 802.3 specificirao uporabu upredenih parica (Twisted Pair – TP) u lokalnoj mreži. Topologija paričnog Etherneta je zvjezdasta (*star*), a segment postaje dio LAN-a koji povezuje stanicu i priključak na obnavljaču (Sl. 1.14c). Njegova je duljina ograničena na 100 metara. Za obnavljače u paričnom Ethernet LAN-u koristi se naziv **parični obnavljač** (*hub*).



Sl. 1.14 Topologije Ethernet LAN-ova: a) sabirnička topologija, b) povezivanje segmenata obnavljačem, c) zvjezdasta topologija i d) komutirana topologija

Sljedeća bitna promjena nastala je uvođenjem komutatora u lokalnu mrežu (Sl. 1.14d). Topologija takve mreže je također zvjezdasta, ali u odnosu na topologije koje koriste obnavljače ovdje segmenti LAN-a pripadaju međusobno odvojenim domenama sudara okvira.

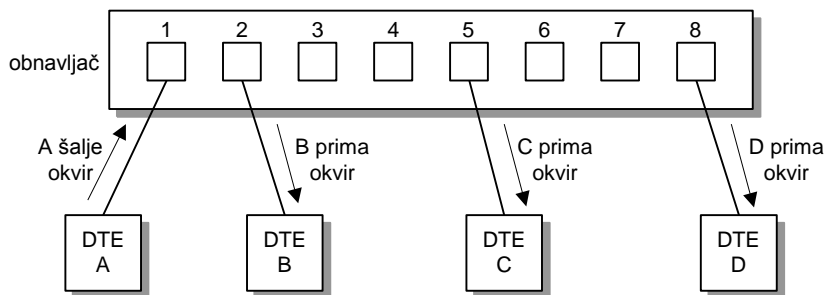
### 1.4.6. Obnavljači

Najjednostavniji način za izgradnju LAN-a s dijeljenim medijem temelji se na ugradnji mrežnih kartica u krajnje uređaje, nakon čega se mrežne kartice međusobno povežu koaksijalnim kabelom. Mrežna kartica obavlja funkcije fizičkog sloja i podsloja MAC.

Uslijed prigušenja i disperzije signala u kabelu maksimalna je duljina LAN-a ograničena na 500 metara. Međutim, trajanje fiksnog vremenskog odsječka omogućava povećanje duljine LAN-a. U tu svrhu dizajniran je uređaj nazvan

obnavljač (*repeater*). Obnavljač međusobno povezuje dva ili više segmenata LAN-a i omogućava povećanje duljine LAN-a (Martin [1994]).

Domena sudara okvira (*collision domain*) je definirana kao područje u Ethernet LAN-u unutar kojeg vrijedi pravilo da kad bilo koje dvije stanice istovremeno šalju svoje okvire nastaje sudar okvira. Obnavljač je jednostavan mrežni uređaj za povezivanje LAN-ova, ali mu je osnovni nedostatak u tome što ne razdvaja domene sudara. Protokolna arhitektura obnavljača nije identična onoj u krajnjem uređaju. U obnavljaču nisu implementirani podslojevi MAC i LLC, niti viši protokolni slojevi. Umjesto podsloja PLS u obnavljaču je, zbog specifičnih funkcija koje obavlja, implementiran **sloj obnavljača** (Kadambi [1998]). Obnavljač povezuje lokalne mreže na fizičkom sloju. Signal je tijekom prostiranja od krajnjeg uređaja do obnavljača prigušen i izobličen. Obnavljač će primljeni signal pojačati, obnoviti mu oblik, i poslati na ostale priključke.



Sl. 1.15 Osnovni način rada obnavljača

Osnovni način rada obnavljača temelji se na tome da sve podatke koje primi po jednom od svojih priključaka (*port*) pošalje na sve ostale priključke na koje su spojene aktivne stanice (Sl. 1.15). Dakle, ako neka stanica (u primjeru na slici to je stanica A) šalje svoj okvir prema obnavljaču, njegov je zadatak da taj okvir primi i pošalje na sve one priključke na koje su spojene aktivne stanice (u primjeru na slici to su priključci 2, 5 i 8 na koje su spojene stanice B, C i D).

Većina obnavljača ima više od dva priključka. Takvi se obnavljači nazivaju **obnavljači s većim brojem priključaka** (*multiport repeaters*). Jedan od zadataka obnavljača je i detekcija sudara okvira: obnavljač može detektirati sudar okvira na dva načina. Ako obnavljač ponavlja okvir na ostale aktivne priključke, i na jednom od njih detektira sudar, tada prekida slanje okvira i šalje signal zagušenja svim aktivnim priključcima. U drugom mogućem scenariju obnavljač detektira sudar okvira na priključku po kojem prima okvir. Obnavljač također prekida ponavljanje okvira i šalje signal zagušenja svim aktivnim priključcima osim onom na kojem je detektirao sudar okvira.

Ako je bilo koji priključak predugo u stanju sudara okvira ili trpi preveliki broj uzastopnih sudara okvira, obnavljač mora imati ugrađen mehanizam za otkrivanje takvih neispravnih stanja. U tom slučaju obnavljač izolira dotični segment spojen na taj priključak, a ta se funkcija naziva particioniranje priključka (*port*

*partitioning*) (Kadambi [1998]). Za vrijeme dok je priključak u particioniranom stanju obnavljač mu šalje okvire drugih stanica, ali ono što od njega prima samo nadzire i ne prosljeđuje. Kad se priključak oporavi od nenormalnog stanja, obnavljač ga automatski prebacuje u prvobitno ispravno stanje.

Nadalje, obnavljač mora obnoviti preambulu primljenog signala (Kadambi [1998]). U prijemu se nekolicina bita preambule «izgubi» u procesu sinkronizacije prijemnika. Međutim, okvir kojeg obnavljač šalje na svoje priključke mora imati preambulu duljine 7 okteta. Kako bi mogao obnoviti preambulu, obnavljač mora primljeni okvir spremi u FIFO spremnik. Uslijed toga obrada okvira u obnavljaču dovodi do pojave zamjetnog kašnjenja.

Dodatni negativni učinak koji se javlja u obnavljaču je skraćivanje IFG-a (Kadambi [1998]). Razmotrivši obje negativne pojave, IEEE 802.3 je ograničio maksimalni broj obnavljača kroz koje okvir smije proći s kraja na kraj lokalne mreže. Okvir smije između bilo koja dva DTE-a u jednom LAN-u proći kroz najviše četiri obnavljača (pod pretpostavkom da na tom putu okvir prolazi samo kroz fizički sloj mreže). Neki su proizvođači mrežne opreme proizveli obnavljače koji omogućavaju da okvir s kraja na kraj LAN-a prođe kroz pet obnavljača. Uglavnom, prilikom kreiranja LAN-ova s velikim brojem obnavljača posebnu pažnju treba obratiti na ukupno kašnjenje s kraja na kraj LAN-a koje ne smije biti veće od trajanja fiksnog vremenskog odsječka.

### 1.4.7. Protokolna arhitektura IEEE 802.3 LAN-a

U poglavlju 1.1 opisan je općenita protokolna arhitektura koja je primjenjiva na sve IEEE 802 LAN-ove. Međutim, protokolna arhitektura Ethernet je specifična, posebno na fizičkom sloju (Sl. 1.16) (Kadambi [1998]). Fizički sloj Ethernet u krajnjem uređaju (DTE) sastoji se od podsloja PLS (Physical Layer Signaling), sučelja AUI (Attachment Unit Interface), podsloja PMA (Physical Medium Attachment) i sučelja MDI (Medium Dependent Interface).

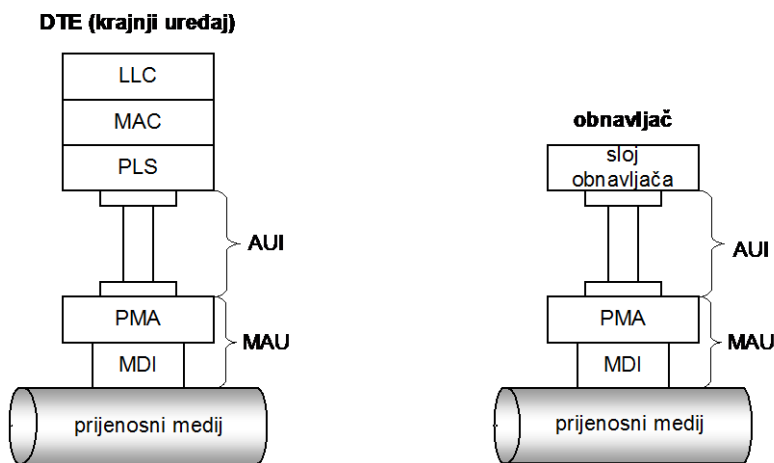
MAC. Podsloj MAC šalje okvire prema fizičkom sloju kao serijski slijed bita koji se prenose pravokutnim signalima u formatu NRZ (Non-Return-to-Zero). Međutim, takav signal nije pogodan za slanje medijem na veće udaljenosti. Stoga se serijski slijed bita na podsloju PLS kodira pomoću koda Manchester.

Sučelje AUI povezuje podsloj PLS i jedinicu za povezivanje s medijem (Medium Attachment Unit – MAU). Sučelje AUI može biti izvedeno na tiskanoj pločici u obliku tiskanih vodova, ili u obliku posebnog kabela s 15-pinskim konektorima u obliku slova D (D-type). Maksimalna dozvoljena duljina AUI kabela iznosi 50 metara.

Podsloj PLS je zadužen za linijsko kodiranje signala koji se formira na podsloju Podsloj PMA i sučelje MDI integrirani su u sklopovsku jedinicu nazvanu MAU. MAU može biti realiziran kao zaseban primopredajnik (*transceiver*), koji se AUI kabelom povezuje s mrežnom karticom stanice, odnosno priključkom



obnavljača, ili, što je češći slučaj, kao sastavni dio mrežne kartice, odnosno mrežnog priključka. MAU obavlja funkciju detekcije sudara okvira, provodi testiranje vlastitog sklopovlja nazvano SQE (Signal Quality Error), sprečava da jedan krajnji uređaj nedozvoljeno dugo zauzima resurse mreže (npr. ako slanje okvira traje između 20 i 150 ms, MAU prekida slanje i signalizira tzv. *jabber*). U optičkoj i paričnoj inačici Etherneta MAU može provjeravati i integritet fizičkog linka.



Sl. 1.16 Protokolna arhitektura IEEE 802.3 LAN-a

Praktičnu realizaciju sučelja MDI predstavlja konektor pomoću kojeg se MAU povezuje s prijenosnim medijem. U 10BASE5 LAN-u koriste se konektori N-type, u 10BASE2 konektori BNC (Bayonet Neill Concelman), a u 10BASE-T okolini konektori RJ-45 (Registered Jack-45).

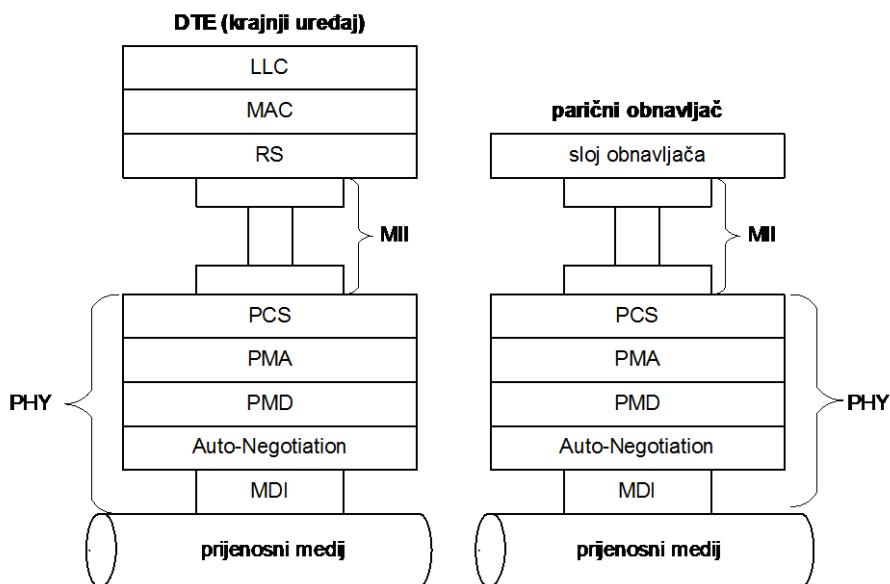
## Protokolna arhitektura Fast Etherneta

Fast Ethernet je popularni naziv za IEEE 802.3 LAN prijenosne brzine 100 Mbit/s. Definiran je preporukom IEEE 802.3u, koja je objavljena 1995. godine. Fast Ethernet, poznat i po nazivu 100BASE-T, unosi promjene isključivo u fizički sloj Ethernet LAN-ova. Podsloj MAC ostaje isti kao i u ranijim inačicama.

Protokolna arhitektura Fast Etherneta prikazana je na Sl. 1.17 (Kadambi [1998]). Sukladno modelu OSI RM, podslojevi RS, PCS, PMA, PMD i Auto-Negotiation zajedno sa sučeljima MII i MDI čine fizički sloj Fast Ethernet LAN-a. Međutim, standard Fast Ethernet definira poseban fizički sloj (Physical – PHY) sastavljen od podslojeva PCS, PMA, PMD, Auto-Negotiation i sučelja MDI.

Prilikom predaje okvira **podslaj RS** (Reconciliation Sublayer) preslikava oktete primljene s podsloja MAC u električne signale na sučelju MII, a u prijemnom

smjeru električne signale sa sučelja MII pretvara u oktete na podsloju MAC. Na taj način novi fizički sloj postaje transparentan za izvornu inačicu podsloja MAC. **Sučelje MII** (Medium Independent Interface) je ekvivalent sučelju AUI definiranom izvornim standardom IEEE 802.3. Osnovna mu je namjena prilagoditi podsloj MAC različitim standardima fizičkog sloja. **Podsloj PCS** (Physical Coding Sublayer) zadužen je za linijsko kodiranje slijeda binarnih simbola prilikom predaje okvira, te za dekodiranje primljenog slijeda simbola u prijemu. Odabir linijskog koda ovisi o vrsti prijenosnog medija. **Podsloj PMA** odgovoran je za paralelno-serijsku pretvorbu u predajnom smjeru, te za serijsko-paralelnu pretvorbu i sinkronizaciju u prijemu. **Podsloj PMD** upravlja samom predajom signala. Njegove tipične funkcije su pojačanje, modulacija (u optičkom prijenosu) i oblikovanje signala. Primjena podsloja **Auto-Negotiation** omogućuje da se dva međusobno povezana uređaja dogovore oko prijenosne brzine (10/100 Mbit/s) i načina prijenosa (HD/FD) koje će koristiti pri komunikaciji. **Sučelje MDI** realizirano je kao konektor za priključivanje fizičkog medija prijenosa. Fast Ethernet definira dvije vrste obnavljača (Kadambi [1998]): obnavljač prvog razreda (*class I repeater*) i obnavljač drugog razreda (*class II repeater*). Segment Fast Ethernet LAN-a definiran je na isti način kao i segment paričnog Etherneta brzine 10 Mbit/s.



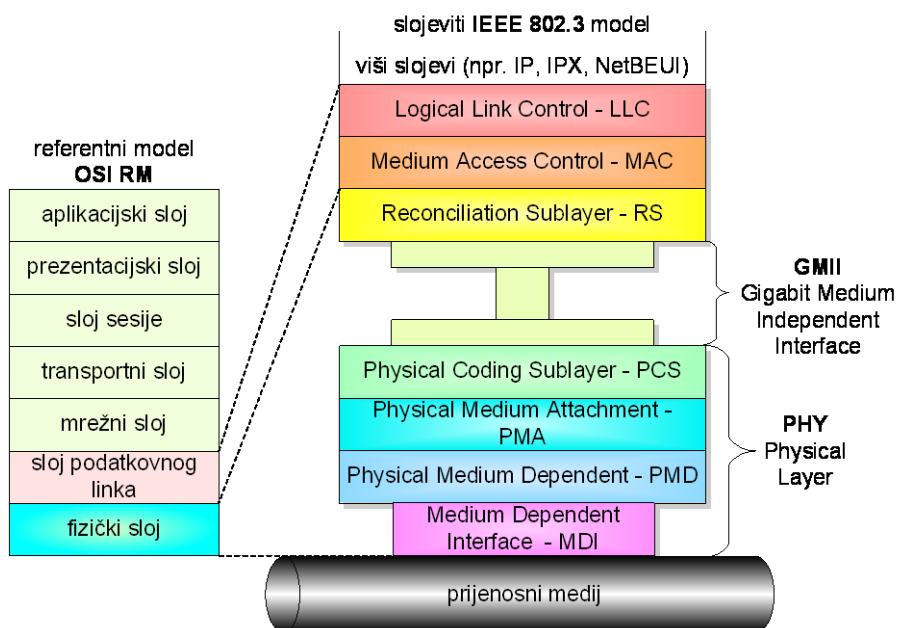
Sl. 1.17 Protokolna arhitektura Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

### Protokolna arhitektura Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet, standard za lokalne mreže prijenosne brzine 1 Gbit/s koje koristi pristupnu metodu CSMA/CD ili dvosmjerni prijenos, standardiziran je 1998. godine preporukom IEEE 802.3z. Ta preporuka određuje parametre

podslaja MAC, fizičkog sloja, obnavljača i mrežnog upravljanja. Kao svojevrsni dodatak, preporuka IEEE 802.3ab, objavljena 1999. godine, definira 1000BASE-T LAN, odnosno fizički sloj Gigabit Ethernet realiziran pomoću četiri parice UTP. Gigabit Ethernet je kompatibilan s ranijim inačicama Etherneta prijenosne brzine 10 i 100 Mbit/s, a istodobno pruža daleko veću širinu prijenosnog pojasa.

Standardom IEEE 802.3z definirano je novo sučelje između podslajeva RS i PCS (Sl. 1.18), nazvano GMII (Gigabit Media Independent Interface). Za razliku od sučelja MII, ovo je 8-bitno paralelno sučelje. Kako bi se na fizičkom sloju koristio što učinkovitiji način signalizacije, koristi se linijsko kodiranje 8B/10B preuzeto iz standarda Fibre Channel. Nadalje, za razliku od standarda 100BASE-T koji definira korištenje dvije vrste obnavljača, Gigabit Ethernet dozvoljava uporabu samo jedne vrste obnavljača. Učinkovitost pristupne metode CSMA/CD jako ovisi o dvostrukom vremenu prostiranja signala (*round-trip delay*). Uslijed toga je domet gigabitnog LAN-a bitno smanjen i dozvoljeno je korištenje samo jednog gigabitnog obnavljača unutar kolizijske domene.



Sl. 1.18 Protokolna arhitektura Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z)

Stariji oblik protokola Auto-Negotiation bio je prilagođen paričnom mediju, ali je novom preporukom proširen i na optiku (razmjena konfiguracijske informacije dodatno je olakšana linijskim kodiranjem 8B/10B). Vrijeme trajanja odsječka (*slot time*) koje je kritično za djelovanje Ethernet LAN-a povećano je s 512 bita na 512 okteta, čime je omogućen raspon mreže od 200 m (da je

zadržana stara definicija trajanja odsječka, raspon LAN-a iznosio bi samo 20 m). U prijenosu velikim brzinama korištenje optike je neminovno, iako IEEE 802.3ab proširuje fizički sloj Gigabit Etherneta i na parice UTP. Stavka (Clause) 30 u standardu IEEE 802.3, zajedno s dodatnim promjenama vezanim uz dvosmjerni način rada i zahtjevima gigabitne mreže, nadopunjena je preporukom IEEE 802.3z u odnosu na stariji standard 100BASE-T.

Podsloj MAC je modificiran u odnosu na ethernetске mreže manjih prijenosnih brzina. Vrijeme trajanja odsječka povećano je na 512 okteta i to predstavlja prvu značajniju promjenu podsloja MAC od 1980. Novi se podsloj MAC naziva ujedno i GMAC (Gigabit MAC). Funkcija podsloja RS slična je onoj kod standarda 100BASE-T. U predajnom smjeru podsloj RS preslikava serijski slijed podataka s podsloja MAC na sučelje GMII, i obratno, u prijemu podatke s nižih slojeva pretvara u serijski slijed prema podsloju MAC. Sučelje GMII predstavlja logičko sučelje između podsloja GMAC i fizičkog sloja. GMII i RS omogućavaju podsloju MAC povezivanje s različitim vrstama fizičkih medija (optika, STP, UTP). Budući da se na sučelju GMII serijski slijed brzine 1 Gbit/s dijeli u osam paralelnih sljedova, to brzina na svakoj podatkovnoj liniji sučelja GMII iznosi 125 Mbit/s, pa, sukladno tome, i frekvencija takta na tom sučelju iznosi 125 MHz. Budući da GMII može podržati i niže prijenosne brzine (10 i 100 Mbit/s), podržane su i frekvencije takta od 2,5 i 25 MHz. GMII sučelje nije definirano kao eksterno sučelje za povezivanje opreme, već isključivo kao sučelje za povezivanje integriranih krugova na razini tiskane pločice.

Rad sloja PCS ovisan je o vrsti prijenosnog medija. Za optički prijenos i prijenos oklopljenim paricama koristi se linijsko kodiranje 8B/10B, uslijed čega brzina na linku iznosi 1,25 Gbaud. U slučaju uporabe parica UTP, koristi se modulacijski postupak 4D-PAM5 koji omogućava postizanje prijenosne brzine 125 Mbaud po svakoj od ukupno četiri parice. Poželjno je korištenje parica UTP poboljšane kategorije 5, tj. 5e, pri čemu slovo *e* dolazi od engleske riječi *enhanced*.

### 1.4.8. Standardi fizičkog sloja IEEE 802.3 LAN-a

Na fizičkom sloju IEEE 802.3 LAN-ova koriste se koaksijalni kabele, upredene parice i optičke niti. Ovisno o vrsti korištenog prijenosnog medija definirane su inačice standarda IEEE 802.3 (Kadambi [1998]) koje će biti opisane u nastavku. Podsloj MAC jednak je u svim inačicama IEEE 802.3 LAN-ova. IEEE je prilikom označavanja standarda fizičkog sloja primijenio jednostavno pravilo. Na početku naziva inačice standarda je prijenosna brzina: **10BASE5**, pri čemu 10 označava 10 Mbit/s. Nadalje slijedi slovna oznaka načina rada LAN-a: u osnovnom pojasu (npr. **10BASE5**, BASE dolazi od engleske riječi *baseband*) ili širokopojasni (jedina širokopojasna inačica je **10BROAD36**, pri čemu BROAD dolazi od engleske riječi *broadband*). Konačno, na kraju naziva inačice standarda je broj koji označava maksimalnu dozvoljenu duljinu segmenta

izraženu u stotinama metara (10BASE2, 10BASE5 ili 10BASE36) ili slovo koje označava vrstu prijenosnog medija (10BASE-T ili 10BASE-F).

Na fizičkom sloju Ethernet LAN-ova definirani su sljedeći standardi:

- **10BASE5** – specificira korištenje debelog koaksijalnog kabela,
- **10BASE2** – specificira korištenje tankog koaksijalnog kabela,
- **10BASE-T** – specificira korištenje dviju parica UTP (Unshielded Twisted Pair – STP) kategorije 5,
- **FOIRL** (Fibre Optic Inter-Repeater Link) – namijenjen međusobnom povezivanju obnavljača optičkim nitima,
- **10BASE-F**
  - **10BASE-FL** – specificira uporabu dviju višemodnih optičkih niti (Multimode Fiber – MMF),
  - **10BASE-FB** – specificira uporabu dviju višemodnih optičkih niti, ali je namijenjen isključivo međusobnom povezivanju obnavljača,
  - **10BASE-FP** – specificira pasivni optički LAN,
- **10BROAD36** – širokopojasna inačica Ethernet LAN-a, specificira korištenje koaksijalnog kabela;

#### **100BASE-T (Fast Ethernet)**

- **100BASE-X**
  - **100BASE-TX** – specificira korištenje dva UTP-a kategorije 5, ili dviju neoklopljenih upredenih parica (Shielded Twisted Pair – STP);
  - **100BASE-FX** – specificira korištenje dviju višemodnih optičkih niti,
- **100BASE-T4** – specificira korištenje četiriju parica UTP kategorije 3;
- **100BASE-T2** – specificira korištenje dviju parica UTP kategorije 3.

#### **Gigabit Ethernet**

- **1000BASE-X**
  - **1000BASE-LX** – specificira uporabu dviju višemodnih ili dviju jednomodnih (Single-mode Fiber – SMF) optičkih niti,
  - **1000BASE-SX** – specificira uporabu dviju višemodnih optičkih niti,
  - **1000BASE-CX** – specificira uporabu dviju oklopljenih parica,
  - **1000BASE-ZX** – specificira uporabu dviju jednomodnih optičkih niti, omogućuje postizanje dometa do 70 km bez regeneratora,
  - **1000BASE-LH** – specificira uporabu dviju jednomodnih optičkih niti, omogućuje postizanje najvećeg dometa (do 100 km bez regeneratora),
- **1000BASE-T** – koristi četiri parice UTP kategorije 5, 5e ili 6.

### 1.4.9. Ethernet prijenosne brzine 10 Mbit/s

#### 10BASE5

10BASE5 je izvorna arhitektura Ethernet LAN-a, koju je definirao konzorcij DIX i usvojio odbor IEEE 802.3. Drugi naziv za 10BASE5 je «debeli» Ethernet (Thick Ethernet). Razlog tome je korištenje koaksijalnog kabela promjera približno 1 cm koji je krut i teško savitljiv (polumjer savijanja kabela ne smije biti manji od 25,4 cm). U 10BASE5 LAN-u krajnji se uređaj povezuje s prijenosnim medijem pomoću primopredajnika (*transceiver*). MAU je izveden kao zaseban uređaj koji se s mrežnom karticom ugrađenom u stanicu povezuje pomoću AUI kabela. Maksimalna dozvoljena duljina 10BASE5 segmenta iznosi 500 metara. Na tom segmentu smije biti priključeno najviše 100 MAU-a, a minimalni razmak između njihovih priključaka na koaksijalnom kabelu ne smije biti manji od 2,5 m.

#### 10BASE2

Već dulje vrijeme 10BASE5 se vrlo rijetko koristi. Razlog je u otežanom umrežavanju krajnjih uređaja pomoću debelog kabela. Od trenutka kad je definiran standard 10BASE2, «debeli» Ethernet je primjenjivan isključivo u temeljnom dijelu LAN-a (LAN *backbone*). Drugi nazivi za 10BASE2 su Cheapernet, odnosno Thinnet. Razlog tome je korištenje tanjeg i savitljivijeg koaksijalnog kabela promjera otprilike 5 mm koji je bitno pojednostavnio umrežavanje stanica. Polumjer savijanja «tankog» kabela ne smije biti manji od 5 cm.

U 10BASE2 LAN-u u krajnje se uređaje ugrađuju mrežne kartice koje sadrže MAU (ne izvodi se kao zaseban uređaj), a veza s prijenosnim medijem ostvaruje se pomoću konektora BNC tipa. Maksimalna dozvoljena duljina 10BASE2 segmenta iznosi 185 metara. Na svakom segmentu smije biti priključeno najviše 30 MAU-a, a međusobni razmak između njihovih priključaka na koaksijalnom kabelu ne smije biti manji od 0,5 m.

#### Zajednička obilježja 10BASE5 i 10BASE2 LAN-ova

Karakteristična impedancija «debelog» i «tankog» koaksijalnog kabela jednake su i iznose 50  $\Omega$ . Impedancija koaksijalnog kabela je frekvencijski ovisna, a na višim frekvencijama (iznad 100 kHz) je realna i iznosi 50  $\Omega$ . U 10BASE5 i 10BASE2 LAN-ovima predajnik i prijemnik svake stanice spojeni na zajednički prijenosni medij pomoću transformatora ugrađenih u MAU. Dakle, ako u kabelu nastupi refleksija signala, ona će stvoriti smetnju u prijemu. Do refleksije u kabelu dolazi uslijed neprilagođenosti impedancija na pojedinim mjestima (npr. na krajevima kabela). Uslijed toga je ograničen broj stanica u svakom segmentu LAN-a, razmak između priključaka MAU-a na koaksijalnom

kabelu ne smije biti manji od specificiranog iznosa, a kabel je potrebno zaključiti impedancijom koja je jednaka karakterističnoj impedanciji kabela.

Koaksijalni kabel u 10BASE2 i 10BASE5 LAN-ovima mora na oba slobodna kraja biti zaključen odgovarajućom impedancijom od 50  $\Omega$ . Ta se zaključna impedancija naziva popularno terminator, a služi za sprečavanje refleksije signala na slobodnom kraju kabela. Ako je kraj kabela priključen u obnavljač, tada na tom mjestu nije potrebno ugraditi terminator.

## 10BASE-T

Glede jednostavnosti i pouzdanosti umreženja najbolja inačica Ethernet je 10BASE-T (Twisted Pair Ethernet), koja koristi upredene parice (Twisted Pair – TP). Postoje dvije osnovne vrste upredenih parica: neoklopljene (Unshielded TP – UTP) i oklopljene (Shielded TP – STP). Parice se upredaju kako bi se smanjilo preslušavanje (*crosstalk*) između susjednih parica u zajedničkom kabelu, a oklapanje paričnog kabela ima za cilj smanjiti neželjene izvanjske utjecaje na parice u kabelu, te spriječiti nastanak smetnji koje parice mogu prouzročiti u okolnim komunikacijskim sustavima.

UTP kabel sadrži četiri neoklopljene upredene parice. Karakteristična impedancija UTP kabela iznosi 100  $\Omega$  (u Europi se ponekad koristi UTP impedancije 120  $\Omega$ ). STP kabel dolazi u nekoliko inačica. Kabel STP Type 1 sadrži dvije oklopljene upredene parice, a kabel STP Type 2 četiri oklopljene upredene parice. Svaka parica STP kabela omotana je metalnom folijom, a sve parice zajedno još su dodatno omotane metalnim plaštem (taj je vanjski plašt izveden na sličan način kao u koaksijalnom kabelu). Karakteristična impedancija parice STP kabela iznosi 150  $\Omega$ . Treća inačica paričnog kabela nazvana je FTP (Foil Twisted Pair), odnosno ScTP (Screened Twisted Pair), a predstavlja mješavinu UTP i STP kabela. FTP kabel sadrži četiri upredene parice karakteristične impedancije 100  $\Omega$ , a sve su parice zajedno omotane metalnom folijom.

Korištenje odvojenih parica za slanje i prijem okvira predstavlja glavnu prednost paričnog Ethernet u usporedbi sa standardima 10BASE5 i 10BASE2. Da bi takav način rada 10BASE-T LAN-a bio moguć bilo je nužno sabirničku topologiju 10BASE2 i 10BASE5 LAN-ova zamijeniti zvjezdastom topologijom. Sve se stanice povezuju u LAN pomoću **paričnog obnavljača** (*hub*). Parični obnavljač predstavlja realizaciju obnavljača s većim brojem priključaka u 10BASE-T okruženju.

Za razliku od koaksijalnih segmenata koji mogu međusobno povezivati na desetine krajnjih uređaja, 10BASE-T segment povezuje međusobno samo dva priključka: priključak na mrežnoj kartici stanice i priključak na paričnom obnavljaču. Drugi oblik paričnog segmenta se javlja pri izravnom međusobnom povezivanju dvije stanice jednim paričnim kabelom. Maksimalna dozvoljena duljina 10BASE-T segmenta iznosi 100 metara, što znači da maksimalna

dozvoljena udaljenost u prijenosu između dvije stanice spojene na isti 10BASE-T obnavljač iznosi 200 metara. Dakle, dozvoljeni raspon 10BASE-T LAN-a smanjen je u odnosu na 10BASE5 mrežu.

### Kategorije UTP-a

U opis funkcija fizičkog sloja modela OSI RM nisu uključene karakteristike prijenosnog medija. Nasuprot tome, u lokalnim mrežama prijenosna obilježja medija postaju sastavni dio specifikacije fizičkog sloja. Pri brzini od 10 Mbit/s obilježja upredenih parica nisu bila posebno važna za realizaciju prijenosa. Međutim, u 100BASE LAN-u raspoloživa širina frekvencijskog pojasa (*bandwidth* – BW) upredene parice igra vrlo važnu ulogu pri postizanju željenog dometa prijenosa i raspona LAN-a.

Sukladno standardu TIA/EIA 568 (Telecommunications Industry Association /Electronic Industries Alliance) definirano je osam kategorija neoklopljenih upredenih parica (Feit [2000]):

**UTP kategorije 1** – koristi se u tradicionalnoj analognoj telefoniji (Plain Old Telephone Service – POTS);

**UTP kategorije 2** – ponekad se koristi za povezivanje digitalnih kućnih telefonskih centrala s javnim telefonskim centralama ili na korisničkom području ISDN-a;

**UTP kategorije 3** – BW iznosi 16 MHz. Zadovoljava potrebe standarda 10BASE-T, 100BASE-T4 i Token Ringa brzine 4 Mbit/s;

**UTP kategorije 4** – BW iznosi 20 MHz. Koristi se u 10BASE-T LAN-ovima i u Token Ringu prijenosne brzine 16 Mbit/s;

**UTP kategorije 5** – BW iznosi 100 MHz. Našla je primjenu u 100BASE-T LAN-ovima, a ako parica kategorije 5 zadovoljava odgovarajući test, tada ju je moguće primijeniti i u Gigabit Ethernetu (standard Ethernet LAN-a prijenosne brzine 1 Gbit/s). Kategorija 5 se koristi i u CDDI (Copper Distributed Data Interface) LAN-u, paričnoj inačici tehnologije FDDI;

**UTP kategorije 5e** – poboljšana (*enhanced*) inačica UTP kategorije 5, BW iznosi 100 MHz, moguće ju je primijeniti u Ethernet LAN-ovima brzine 100 i 1000 Mbit/s;

**UTP kategorije 6 i 7** – namijenjene su brzinama većim od 1 Gbit/s. BW kategorije 6 iznosi 250 MHz, a kategorija 7, koja je još u razvojnoj fazi, imat će BW u rasponu od 600 do 1200 MHz.

Standardima TIA/EIA 568 i ISO 11801 definirano je strukturno kabliranje i načini testiranja UTP-a za sve kategorije upredenih parica. Osnovni parametri parica koje je nužno mjeriti su prigušenje parice (*attenuation*, odnosno *insertion loss*), prigušenje preslušavanja na bližem kraju (Near End Crosstalk – NEXT) i karakteristična impedancija parice (*characteristic impedance*).



## FOIRL

Standard FOIRL (Fibre Optic Inter-Repeater Link) je definiran za potrebe međusobnog povezivanja obnavljača optičkim nitima. Maksimalna dozvoljena duljina jednog takvog optičkog linka iznosi 1 km.

## 10BASE-F

Pored standarda FOIRL razvijena su još tri optička standarda namijenjena 10BASE LAN-ovima: 10BASE-FL (Fibre Optic Link), 10BASE-FB (Fibre Optic Backbone) i 10BASE-FP (Fibre Optic Passive). 10BASE-FL predstavlja proširenje standarda FOIRL, a koristi se podjednako za povezivanja DTE–obnavljač i obnavljač–obnavljač. Maksimalna dozvoljena duljina 10BASE-FL linka između dva MAU-a iznosi 2 km. 10BASE-FB je dizajniran prvenstveno za linkove između obnavljača. Maksimalna dozvoljena duljina 10BASE-FB linka između dva MAU-a iznosi također 2 km.

Konačno, 10BASE-FP koristi topologiju pasivne optičke zvijezde koja međusobno povezuje priključke krajnjih uređaja. Optička zvijezda ne sadrži aktivne komponente i ne obavlja funkcije obnavljača. Duljina segmenta je ograničena na 1 km. Na središnju pasivnu zvijezdu smije biti priključeno najviše 33 stanice.

## 10BROAD36

U širokopojasnoj inačici Etherneta, 10BROAD36, koristi se koaksijalni kabel karakteristične impedancije 75  $\Omega$ . Takav se kabel obično koristi u kabelskoj televiziji. Svi se krajnji uređaji povezuju u segmente čija maksimalna duljina smije iznositi najviše 1800 metara. Segmenti se povezuju s mrežnim završetkom (*head end*). Na taj način maksimalni raspon mreže između dva krajnja uređaja smije iznositi i do 3600 metara. Podaci se ne šalju medijem u osnovnom pojasu već se moduliraju na analogni nosilac pomoću diferencijalne digitalne fazne modulacije (Differential Phase-Shift Keying – DPSK). Širina prijenosnog pojasa moduliranog signala iznosi 14 MHz.

## IsoEnet

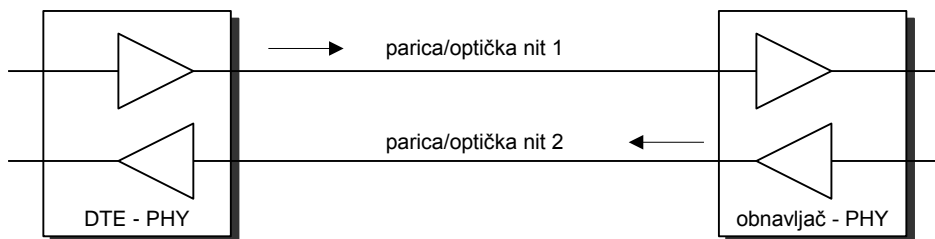
Standard IsoEnet (Isochronous Ethernet, Saunders [1996]) je definirao odbor IEEE 802.9 kao lokalnu mrežu prijenosne brzine 16 Mbit/s. Ukupna raspoloživa širina frekvencijskog pojasa podijeljena je u kanal brzine 10 Mbit/s namijenjen paketskom prijenosu podataka, 96 ISDN kanala B brzine 64 kbit/s za prijenos videa i govora, i jedan kanal D brzine 64 kbit/s namijenjen signalizaciji i upravljanju pozivima. Arhitektura IsoEnet LAN-a predstavlja kombinaciju dijeljenog medija i komutacije kanala. Prijenosni mediji koji se koristi u ovoj tehnologiji su UTP kategorije 3 i 5, te STP. Domet IsoEneta iznosi 100 m. Nakon pojave Fast Etherneta sve prednosti IsoEneta pred tradicionalnim CSMA/CD LAN-om brzine 10 Mbit/s pale su u drugi plan.

### 1.4.10. Fast Ethernet (100BASE-T)

**100BASE-T**, odnosno Fast Ethernet, je zajednički naziv za brze lokalne mreže prijenosne brzine 100 Mbit/s koje na podsloju MAC koriste metodu pristupa mediju CSMA/CD. Fast Ethernet je standardiziran 1995. godine preporukom IEEE 802.3u (Kadambi [1998]). Prva velika promjena u odnosu na tradicionalni Ethernet je potpuno napuštanje topologije dijeljenog medija. Fast Ethernet LAN se gradi pomoću mrežnih kartica koje se ugrađuju u računala, paričnih obnavljača i LAN komutatora. Segment Fast Ethernet LAN-a definiran je na isti način kao i segment 10BASE-T LAN-a.

100BASE-T je naziv za skup standarda fizičkog sloja (Physical Layer – PHY) Fast Ethernet LAN-a. 100BASE-T je podijeljen u dva standarda, **100BASE-X**, i **100BASE-T4**, od kojih svaki podržava drugačiji način umreženja. Bitna razlika između ta dva standarda je u broju prijenosnih medija koji se koriste za međusobno povezivanje čvorova (*node*) u lokalnoj mreži. Pod pojmom čvora podrazumijevamo bilo koji uređaj koji ima ugrađene mrežne priključke, kao što su radne stanice s ugrađenim mrežnim karticama, LAN komutatori, obnavljači i dr. Pored toga, dva mrežna čvora međusobno povezana standardom 100BASE-T4 mogu koristiti samo naizmjenični prijenos, dok čvorovi koji su međusobno povezani standardom 100BASE-X mogu koristiti i dvosmjerni prijenos.

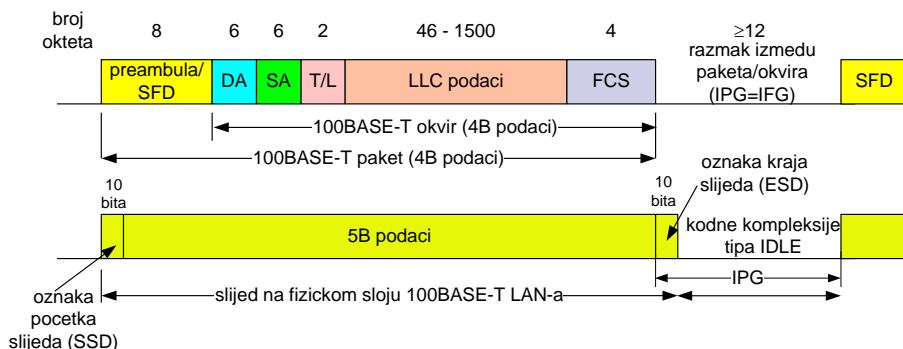
Nadalje, 100BASE-X obuhvaća dva standarda, **100BASE-TX** i **100BASE-FX**. U 100BASE-TX LAN-u dva mrežna čvora međusobno se povezuju pomoću dvije neoklopljene upredene parice kategorije 5 ili pomoću dvije oklopljene upredene parice. Standardom 100BASE-FX definirano je međusobno povezivanje dva mrežna čvora pomoću dvije optičke niti. Mrežni čvor koji je s drugim čvorom povezan standardom 100BASE-TX, odnosno 100BASE-FX, koristi jednu paricu, odnosno optičku nit za slanje, a drugu za prijem okvira. Sl. 1.19 prikazuje načelo povezivanja krajnjeg uređaja i obnavljača standardom 100BASE-TX, odnosno 100BASE-FX.



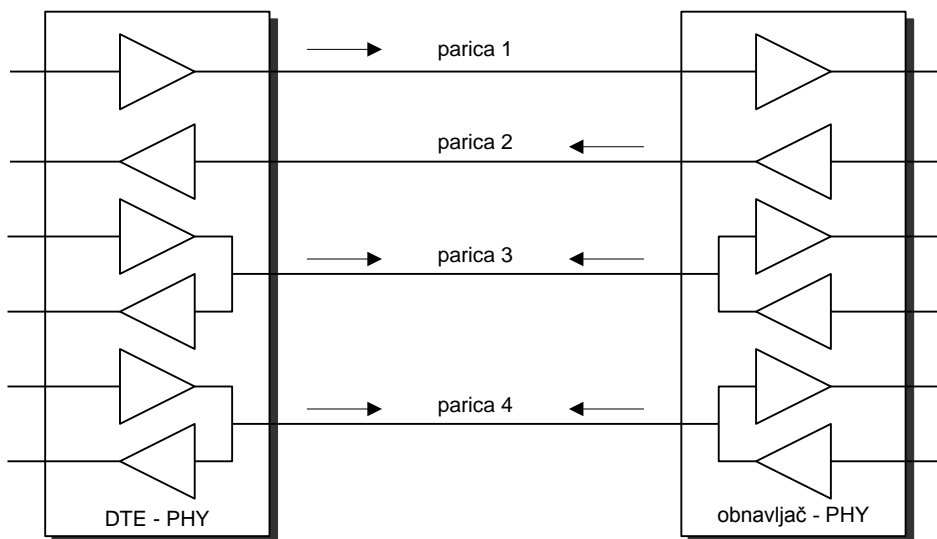
Sl. 1.19 Povezivanje dva mrežna uređaja standardom 100BASE-TX/FX

U prijenosu 100BASE-TX linkom koristi se načelo inkapsulacije ethernet skog okvira. Fizički sloj 100BASE-TX LAN-a zamjenjuje prvi oktet u preambuli okvira primljenog s podsloja MAC s posebnim slijedom od 10 bita nazvanim SSD (Start-of-Stream Delimiter), tj. graničnik za označavanje početka slijeda.

Taj se uzorak naziva još i /J/K/. U prijemu se taj graničnik za označavanje početka slijeda zamjenjuje s prvim oktetom preambule i predaje podsloju MAC preko sučelja MII. Na razini fizičkog sloja u predaji, neposredno iza posljednjeg okteta Ethernet okvira, dodaje se graničnik za označavanje kraja okvira, ESD (End-of-Stream Delimiter), koji se označava i kao kodni slijed /T/R/. Nakon oznake kraja okvira u predaji se kontinuirano šalje tzv. neaktivni (IDLE) slijed koji se sastoji od pet bita (na razini 4B5B koda 11111, a kodirano NRZI formatom 10101).



Sl. 1.20 Inkapsulacija ethernetskog okvira na 100BASE-TX linku



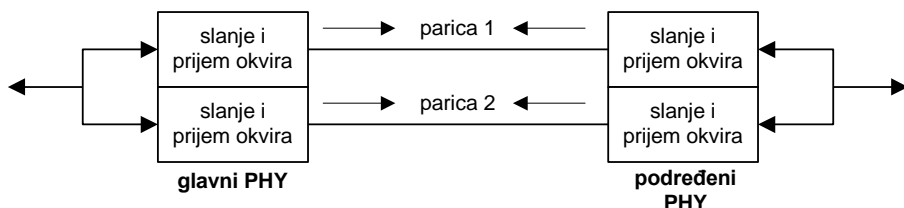
Sl. 1.21 Povezivanje dva mrežna uređaja standardom 100BASE-T4

U izvornom 10BASE LAN-u između dva okvira ne šalje se nikakav signal. Međutim, pri prijenosnoj brzini od 100 Mbit/s sama preambula na početku okvira ne bi bila dovoljna za sinkronizaciju u prijemu (kratko traje), pa je slanje neaktivnih sljedova neophodno. Kao i kod izvorne preporuke IEEE 802.3, mora postojati minimalni dozvoljeni razmak između dva uzastopna okvira (paketa),

nazvan IFG (Inter Frame Gap), odnosno IPG (Inter Packet Gap). Trajanje IFG-a (IPG-a) iznosi najmanje 12 okteta.

Standard 100BASE-T4 u svojoj izvornoj inačici definira mrežno sučelje između dva mrežna čvora realizirano pomoću četiri upredene parice kategorije 3, ali je naknadno standard proširen i na UTP kategorije 4 i 5. Sl. 1.21 prikazuje načelo povezivanja krajnjeg uređaja i obnavljača standardom 100BASE-T4. Dvije parice se koriste samo za prijenos u jednom smjeru, a druge dvije za dvosmjerni prijenos.

Za razliku od standarda 100BASE-T4 koji definira uporabu četiri upredene parice kategorije 3, neki su proizvođači mrežne opreme načinili novi standard, nazvan **100BASE-T2**, koji omogućava prijenos brzinom 100 Mbit/s po dvije neoklopljene upredene parice kategorije 3 (Sl. 1.22).



Sl. 1.22 Povezivanje dva mrežna uređaja standardom 100BASE-T2

Taj je standard prihvatila i organizacija IEEE, pa je 1997. godine objavljena preporuka IEEE 802.3y. Da bi se omogućilo postizanje što manje prijenosne brzine po svakoj parici, koriste se sofisticirane metode: višerazinsko kodiranje PAM5×5 (Pulse Amplitude Modulation), ekualizacija i poništavanje bliskog odjeka. Na fizičkom sloju prijenos se uvijek odvija istodobno u oba smjera po obje parice. 100BASE-T2 može raditi na oba načina, naizmjenični i dvosmjerni. Unatoč činjenici da je standard 100BASE-T2 dovršen, izostao je interes proizvođača opreme zbog njegove prevelike složenosti i cijene implementacije.

### Fast Ethernet obnavljači

Fast Ethernet definira dvije vrste obnavljača (Kadambi [1998]):

- obnavljač prvog razreda (*class I repeater*), i
- obnavljač drugog razreda (*class II repeater*).

Obnavljač prvog razreda može u svakom trenutku podržati na svojim priključcima bilo koji 100BASE-T standard, uključujući i 100BASE-T2. Ograničenje koje proizlazi iz mješovite topologije je mogućnost primjene samo jednog obnavljača prvog razreda unutar jedne domene sudara okvira. Razlog tome leži u različitim linijskim kodovima koje koriste 100BASE standardi. Prilikom povezivanja krajnjih uređaja koji koriste različite 100BASE standarde obnavljač prvog razreda mora obavljati pretvorbu iz jednog u drugi linijski kod što unosi dodatno kašnjenje u transfer informacija lokalnom mrežom.

U bilo kojem trenutku priključci obnavljača drugog razreda mogu podržati samo jedan od 100BASE standarda: 100BASE-TX (miješanje standarda 100BASE-TX i 100BASE-FX je dozvoljeno), 100BASE-T4 ili 100BASE-T2. Razlog leži u različitim načinima linijskog kodiranja. U jednoj domeni sudara okvira smiju se koristiti najviše dva obnavljača drugog razreda (razlog je u ukupnom kašnjenju s kraja na kraj linka). Najveća dozvoljena duljina linka koji međusobno povezuje dva obnavljača drugog razreda smije iznositi najviše 5 m.

Ograničenja duljine linka u Fast Ethernet LAN-u su sljedeća:

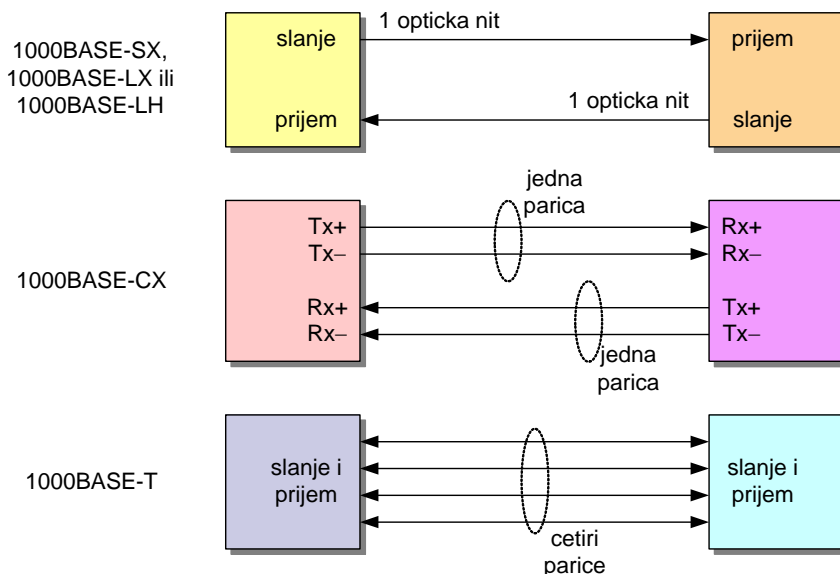
- izravni link DTE–DTE pomoću upredene parice (100BASE-TX): 100 m;
- izravni link DTE–DTE pomoću optičke parice (100BASE-FX): 412 m;
- link DTE–obnavljač prvog razreda–DTE realiziran standardom 100BASE-TX: 200 m (ovakav link se sastoji od dva parična segmenta, pri čemu duljina svakog segmenta smije iznositi najviše 100 m);
- link DTE–obnavljač prvog razreda–DTE realiziran standardom 100BASE-FX: 272 m (to je ograničenje ukupne duljine linka);
- link DTE–obnavljač prvog razreda–DTE realiziran kombinacijom standarda 100BASE-T4/FX:  $100\text{ m (T4)} + 131\text{ m (FX)} = 231\text{ m}$ ;
- link DTE–obnavljač prvog razreda–DTE realiziran kombinacijom standarda 100BASE-TX/FX:  $100\text{ m (TX)} + 160,8\text{ m (FX)} = 260,8\text{ m}$ ;
- link DTE–obnavljač drugog razreda–DTE realiziran standardom 100BASE-TX (ili 100BASE-T4): 200 m (link se sastoji od dva segmenta, pri čemu duljina svakog od njih smije iznositi najviše 100 m);
- link DTE–obnavljač drugog razreda–DTE realiziran standardom 100BASE-FX: 320 m (to je ograničenje ukupne duljine linka);
- link DTE–obnavljač drugog razreda–DTE realiziran kombinacijom standarda 100BASE-TX/FX:  $100\text{ m (TX)} + 208,8\text{ m (FX)} = 308,8\text{ m}$ ;
- link DTE–dva obnavljača drugog razreda–DTE realiziran standardom 100BASE-T4 ili 100BASE-TX:  $100\text{ m} + 5\text{ m} + 100\text{ m} = 205\text{ m}$ ;
- link DTE–dva obnavljača drugog razreda–DTE realiziran standardom 100BASE-FX: 228 m optičkih niti (to je ograničenje ukupne duljine linka);
- link DTE–dva obnavljača drugog razreda–DTE realiziran kombinacijom standarda 100BASE-TX/FX:  $100\text{ m (TX)} + 116,8\text{ m optičkih niti} = 216,8\text{ m}$ .

Navedena ograničenja duljine linka vrijede samo ako je pristup linku realiziran metodom CSMA/CD (naizmjenični prijenos). Ako se na linku koristi dvosmjerni prijenos tada je domet prijenosa ograničen isključivo karakteristikama medija, izvora signala i detektora signala. Tako, na primjer, ako se dva LAN komutatora međusobno povežu 100BASE-FX linkom s

dvosmjernim prijenosom, i pod pretpostavkom da su korištene višemodne optičke niti, domet prijenosa iznosi 2 km.

### 1.4.11. Gigabit Ethernet

Na razini iznad fizičke Gigabit Ethernet može djelovati na dva načina: naizmjenični i dvosmjerni. Na fizičkom sloju signali se šalju kontinuirano u oba smjera. U vremenskim intervalima u kojima nema raspoloživih MAC okvira s korisničkim podacima Gigabit Ethernet sučelje šalje posebne kodne sljedove (*idle codes*) koji označavaju neaktivno stanje na mediju. To svojstvo je Gigabit Ethernet naslijedio od Fast Etherneta. Razlog je u velikoj prijenosnoj brzini pri kojoj preambula od 7 do 8 okteta nije dovoljna za sinkronizaciju prijemnika. Stoga predajnik mora trajno slati signal (čak i kad nema korisničkih podataka) kako prijemnik na drugoj strani linka ne bi ispaio iz sinkronizma.

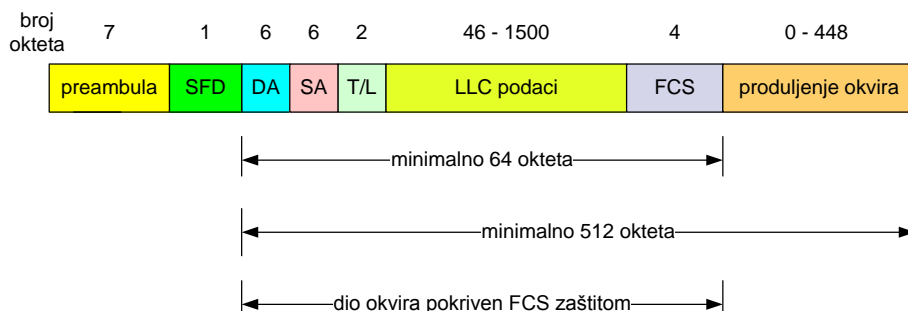


Sl. 1.23 Smjerovi prijenosa na fizičkom sloju Gigabitnog Etherneta

U opcijama 1000BASE-SX, LX, ZX i LH fizička veza između dva mrežna uređaja se realizira pomoću dvije optičke niti, od kojih svaka posluhuje jedan smjer prijenosa (Sl. 1.23). U opciji 1000BASE-CX po jedna upredena parica se koristi za svaki od smjerova prijenosa između dva mrežna uređaja. I konačno u opciji 1000BASE-T dva su mrežna uređaja povezana pomoću četiri neoklopljene upredene parice, pri čemu se po svakoj parici prijenos na fizičkom sloju odvija u oba smjera. Na razini linka prijenos po svakoj parici može biti naizmjenični ili dvosmjerni.

## Produljenje nosioca

Trajanje 512 bita pri prijenosnoj brzini od 1 Gbit/s iznosi samo 512 ns, što bi značilo da je dozvoljeni raspon LAN-a ograničen na samo 20 m. Takvo smanjenje duljine lokalne mreže bilo bi potpuno neprihvatljivo za korisnike. Stoga je za potrebe gigabitnih LAN-ova koji rade s raspodijeljenim medijem duljina vremenskog odsječka povećana na 512 okteta (to povećanje nema značaja za LAN s dvosmjernim načinom rada). Međutim, minimalna duljina MAC okvira i dalje ostaje 64 okteta (512 bita). Povećanje minimalne duljine MAC okvira na 512 okteta unijelo bi nekompatibilnost gigabitnog LAN-a s mrežama nižih brzina. Stoga je načinjen kompromis, nazvan produljenje nosioca (*carrier extension*) (Sl. 1.24).



Sl. 1.24 Produljenje nosioca, tj. okvira

Ako je prilikom slanja MAC okvir kraći od 4096 bita (512 okteta), fizički sloj zadržava uređaj u stanju slanja i šalje slijed posebnih simbola za produljenje nosioca, sve do isteka trajanja vremenskog odsječka. Ti posebni simboli se šalju nakon slijeda FCS za provjeru ispravnosti MAC okvira, i ne smatraju se dijelom okvira, a prijemnik ih obrađuje na poseban način. Ako za vrijeme slanja okvira nastupi kolizija, bilo za vrijeme okvira ili posebnih simbola, predajnik obustavlja slanje okvira (odnosno posebnih simbola), šalje signal *jam* duljine 32 bita i potpuno obustavlja predaju.

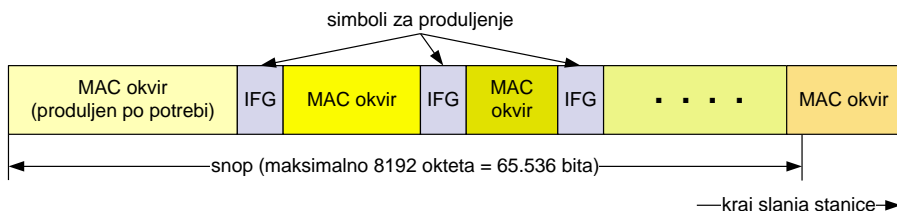
U prijemu, nakon sinkronizacije na preambulu i slijed SFD, prijemni spremnik prikuplja bitove okvira. Nakon kraja okvira, ako je njegova duljina manja od najmanje dozvoljene, okvir je odbačen unatoč mogućoj ispravnosti. Ako je primljeni okvir ispravan (duljina), te je proteklo vrijeme odsječka, okvir se predaje podsloju MAC na provjeru adresa i ispravnosti (FCS).

## Usnopljavanje okvira

Usnopljavanje okvira se odvija na sljedeći način (Sl. 1.25). Neka stanica (DTE A) u gigabitnom LAN-u s raspodijeljenim medijem pokušava poslati okvir koji zahtijeva produljenje nosioca (kraći od 512 okteta), ili je dovoljno dugačak pa mu produljenje nije potrebno. U isto vrijeme DTE A aktivira brojač duljine snopa (*burst timer*). Ako je prvi okvir poslan uspješno (nije bilo kolizija), tada

## 1. Lokalne mreže

DTE A može odlučiti da li će slati dodatne okvire, i to ako su ispunjeni sljedeći uvjeti: (1) postoje dodatni okviri za slanje i (2) trajanje snopa nije isteklo. Ako DTE A nastavlja sa slanjem, tada prvo u intervalu IFG-a (Inter Frame Gap, minimalni razmak između uzastopnih okvira duljine 12 okteta) šalje tzv. bitove za produljenje (*extension bits*). Na taj način ostale stanice u LAN-u mogu detektirati da je mreža zauzeta i ne pokušavaju slati vlastite okvire. Dakle, DTE A ima potpunu kontrolu nad medijem. Na taj način je omogućeno da ostali okviri u snopu kojeg šalje DTE A ne moraju biti produljeni.



Sl. 1.25 Usnopljavanje okvira

Između uzastopnih MAC okvira DTE A uvijek poštuje IFG i popunjava ga simbolima za produljenje. Stanica smije slati okvire u snopu sve dok ne istekne njegovo maksimalna dozvoljena duljina (*burst limit*) koja iznosi 8192 okteta, tj. 65.536 bita. Također, ako je prije isteka snopa stanica započela sa slanjem nekog MAC okvira, omogućeno joj je da slanje tog okvira i završi. Dakle, duljina snopa može biti čak i nešto veća od ograničenja. Usnopljavanje okvira može smanjiti količinu “suvišne” informacije (*overhead*) koju unosi produljenje nosioca. Međutim, unatoč usnopljavanju okvira obnavljači koji koriste naizmjenični način rada ne mogu stanicama u LAN-u omogućiti postizanje propusnosti koja je usporediva s onom koju pružaju dvosmjerni obnavljači.

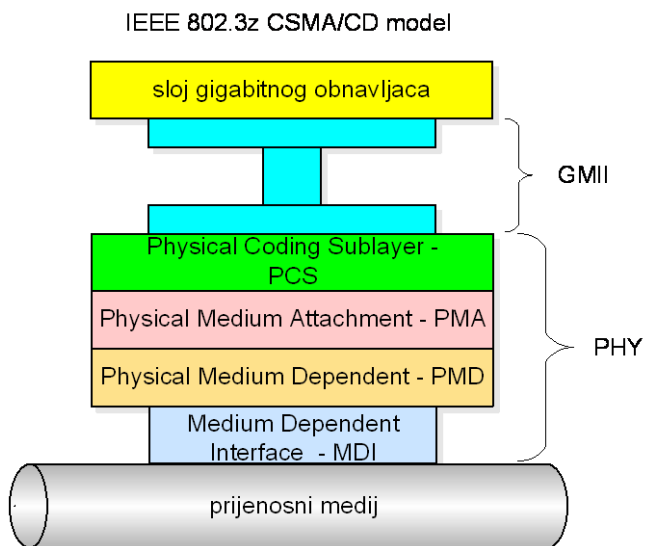
### Gigabit Ethernet obnavljači

Stavkom 41 preporuke IEEE 802.3z određeno je djelovanje obnavljača (*repeater*) u Gigabit Ethernetu. U Gigabit Ethernetu definirana je samo jedna vrsta obnavljača (za razliku od standarda 100BASE-T koji definira dvije vrste nazvane Class I i Class II). Cilj primjene obnavljača je omogućiti međusobno povezivanje segmenata LAN-a neovisno o mediju prijenosa korištenom u tim segmentima. Kao i u ranije publiciranim IEEE 802.3 preporukama, obnavljač se sastoji od dva dijela: obnavljačka jedinica (*repeater unit*) i entiteti fizičkog sloja. Ta dva dijela zajedno čine obnavljački sklop (*repeater set*). Ograničenje na broj priključaka na obnavljaču nije postavljeno standardom, već ga određuju praktična ograničenja na propusnost LAN-a.

Djelovanje gigabitnog obnavljača jednako je onom kod 10BASE i 100BASE mreža. Obnavljač prosljeđuje sve okvire koje prima po jednom od svojih priključaka na sve ostale priključke. Obnavljač djeluje isključivo na fizičkom sloju i ne mijenja sadržaj okvira, osim ako ne nastupi povreda pravila linijskog



kodiranja na podsloju PCS (Sl. 1.26). Neispravni kodni sljedovi zamijenjeni su u obnavljaču s poznatim slijedom koji označava pogrešku u prijemu. Na taj način sve stanice dobivaju obavijest o pogreški u prijenosu. Sve stanice koje su spojene s obnavljačem zajedno s njim čine jednu kolizijsku domenu u kojoj je zbog velike brzine nužno koristiti produljenje nosioca i usnopljavanje okvira. Zbog specifičnosti koje nameće protokol CSMA/CD na brzini od 1 Gbit/s, u jednoj kolizijskoj domeni smije biti implementiran samo jedan obnavljač. Jedini način za konstruiranje većeg Gigabit Ethernet LAN-a je korištenje dvosmjernog načina rada ili komutacijskih Ethernet čvorova koji podržavaju veći broj veza od točke do točke.



Sl. 1.26 Protokolna arhitektura gigabitnog obnavljača

Gigabitni obnavljač podržava različite tipove medija na svojim priključcima i povezuje ih u zajedničku kolizijsku domenu. Obnavljač u prijemu detektira svaki dolazni slijed na temelju preambule ethernetskog okvira, i ako otkrije ispravan početak okvira, prosljeđuje ga na sve priključke osim na onaj s kojeg prima (u jednom trenutku može primiti samo po jednom priključku). Ako istodobno primi signal po dva ili više priključaka, obnavljač detektira koliziju i šalje signal *jam* na sve priključke, čime označava nastup kolizije.

Gigabitni obnavljač ima ugrađenu mogućnost detektiranja stanice koja šalje okvire čija je duljina veća od standardom propisane (*jabber*). U tom slučaju obnavljač prestaje prosljeđivati okvire te stanice na ostale priključke (ali nastavlja primiti njene okvire). Kad takva stanica prekine sa slanjem, obnavljač vraća njen priključak u normalan način rada. Slično je ponašanje obnavljača i u situaciji kad na nekom priključku detektira učestale kolizije. U tom slučaju obnavljač partitionira određeni priključak tj. ne prosljeđuje okvire koje po njemu prima, ali mu šalje okvire koje prima po ostalim priključcima. Obnavljač

ujedno nastavlja primati signal s particioniranog priključka, i čim na tom priključku nastupi normalno stanje, tj. prestanu učestale kolizije, obnavljač ga vraća u normalno stanje rada. Obnavljač provjerava primljene sljedove na fizičkom sloju i provjerava pravilnost koda 8B/10B. Ako obnavljač detektira narušavanje kodnog pravila, zamjenjuje dotični kodni slijed s nadomjesnim slijedom ukazujući na neispravno stanje u prijenosu. Gigabitni obnavljač ne podržava miješanje različitih standarda (SX, LX, CX ili T) na svojim priključcima.

Ograničenja duljine linka u Gigabit Ethernet LAN-u koji koristi CSMA/CD su sljedeća:

- izravni link DTE–DTE pomoću UTP kabela (1000BASE-T): 100 m;
- izravni link DTE–DTE pomoću kabela s oklopljenim paricama (1000BASE-CX): 25 m;
- izravni link DTE–DTE pomoću optičkih niti (1000BASE-SX): 316 m;
- link DTE–obnavljač–DTE realiziran standardom 1000BASE-T: 200 m;
- link DTE–obnavljač–DTE realiziran standardom 1000BASE-CX: 50 m;
- link DTE–obnavljač–DTE realiziran standardom 1000BASE-SX: 220 m.

### 1.4.12. Mješovite topologije Ethernet LAN-ova

Za svaku od gore navedenih Ethernet tehnologija definirani su parametri kao što su domet (raspon mreže), broj stanica i sl. Prilikom kreiranja složenijih LAN-ova u kojima se koriste mješoviti prijenosni mediji postoje jasno definirana pravila određena preporukama IEEE-a nazvanim «Transmission System Model 1» i «Transmission System Model 2» (Kadambi [1998]), ANSI/IEEE [1985]).

Pravila za dimenzioniranje LAN-a unutar jedne kolizijske domene su jednostavna i nazivaju se Model 1. Tri su topologije uključene u Model 1:

- a. naizmjenični link između klijenta i komutacijskog čvora,
- b. naizmjenični link između dva komutacijska čvora, i
- c. link između dva DTE-a posredstvom obnavljača.

Topologije a) i b) predstavljaju izravnu vezu između dva DTE-a. Klijent označava računalo ili neki mrežni uređaj (osim obnavljača).

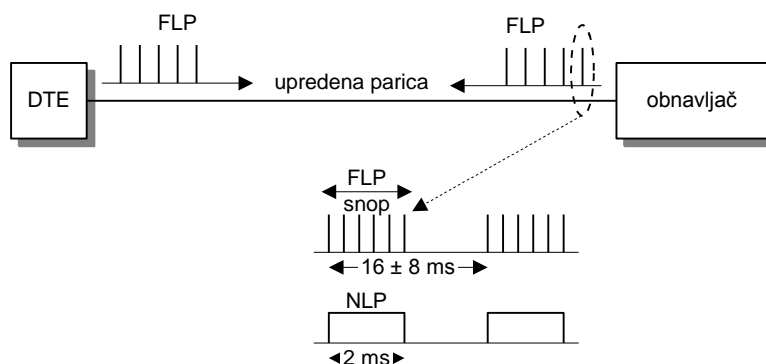
Model 2 obuhvaća složenije mrežne topologije koje ne podliježu uvijek ograničenjima nametnutim kolizijom. Za takve mreže je neophodno provesti proračun kašnjenja koje je jednako trajanju dvostrukog vremena prostiranja signala između bilo koja dva DTE-a u mreži (RTD - *Round-Trip Delay*). U Gigabit Ethernet LAN-u to kašnjenje mora biti manje od trajanja 512 okteta. RTD se sastoji od (1) zbroja kašnjenja po linkovima na vezi između dva DTE-a, (2) kašnjenja u obnavljaču, (3) zbroja kašnjenja u DTE-ima i (4) sigurnosne rezerve (*safety margin*). Preporučena rezerva jednaka je trajanju 32 bita.

## Protokol Auto-Negotiation

Uređaj koji podržava standard 10BASE-T šalje u periodu između dva uzastopna Ethernet paketa periodički slijed impulsa nazvan NLP snop (Normal Link Pulse Burst). To su impulsi za provjeru ispravnosti linka. Ako prijemnik 10BASE-T uređaja ne prima NLP impulse, prelazi u stanje neispravnog linka. Nakon toga uređaj prekida slanje i prijem korisničkih informacija, ali nastavlja slanje i prijem NLP-a. Drugi naziv za NLP snop je **impulsi za provjeru linka** (Link Test Pulse – LTP).

Protokol Auto-Negotiation (Kadambi [1998]) je razvijen zbog toga što su proizvođači mrežne opreme htjeli postići da njihovi mrežni uređaji koji rade brzinom 10 Mbit/s mogu prilikom nadogradnje infrastrukture lokalne mreže automatski preći na veću brzinu rada (100 Mbit/s). Nadalje, proizvođači su htjeli postići i kompatibilnost različitih 100BASE standarda, te kompatibilnost standarda 100BASE-T i standarda 10BASE-T.

Način rada protokola Auto-Negotiation je moguće ukratko opisati na sljedeći način. Mrežni uređaj koji koristi prijenosnu brzinu 100 Mbit/s mora prilikom priključivanja na napajanje slati poseban slijed impulsa kako bi se “predstavio” mreži. Ti impulsi tvore tzv. FLP snop (Fast Link Pulse Burst) (Sl. 1.27). Dotični mrežni uređaj mora raspoznati isti takav slijed kojeg prima s drugog kraja linka. Ako raspozna da njegov partner s druge strane linka podržava kompatibilan način rada, odabire optimalan način rad, i nakon toga oba mrežna uređaja prelaze u djelatno stanje.



Sl. 1.27 Načelo rada protokola Auto-Negotiation

FLP snop traje jednako kao i NLP snop, tj. 2 ms. Uređaj koji podržava protokol Auto-Negotiation šalje prilikom uspostave linka impulse koji su grupirani u kodne riječi. Kodna riječ linka (Link Code Word – LCW), koju uređaj šalje FLP snopom, sastoji se od 16 bita. Svaki FLP snop se sastoji od 33 bita, od kojih parni predstavljaju LCW, a neparni takt. Svaka kodna riječ nosi u sebi neku poruku, kao npr. “Ovaj uređaj može podržati prijenosnu brzinu 100Mbit/s uz naizmjenični i dvosmjerni način rada”.

Stariji 10BASE-T uređaji te impulse interpretiraju kao NLP impulse za testiranje ispravnosti linka. U obratnom smjeru, uređaj koji podržava protokol Auto-Negotiation primljene NLP impulse tumači kao kodne riječi. Nakon razmjene testnih impulsa uspostavlja se najbolji mogući link koji ta dva uređaja mogu istodobno podržati u međusobnoj komunikaciji.

Protokolu Auto-Negotiation prethodio je protokol Autosensing (Saunders [1996]). Međutim, Autosensing podržava isključivo automatsku konfiguraciju prijenosne brzine (ne podržava automatsku konfiguraciju smjerova prijenosa – HD/FD). Stoga je bolje koristiti Auto-Negotiation, koji čak podržava i starije uređaje koji nemaju ugrađenu autokonfiguracijsku funkcionalnost.

Jedina ozbiljna mana protokola Auto-Negotiation je u tome što djeluje samo na linkovima koji su fizički realizirani upredenim paricama. Tek je u Gigabit Ethernetu protokol Auto-Negotiation proširen i na optičke linkove, na kojima omogućava isključivo automatsku konfiguraciju smjerova prijenosa.

## 1.5. Literatura

- [1] ANSI/IEEE Std 802.3-1985 (ISO DIS 8802/3). 1985. *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*. IEEE, New York.
- [2] BING, B. 2000. *Wireless LANs and ATM*. Artech House, London.
- [3] CUNNINGHAM, D, W. G. LANE. 1999. *Gigabit Ethernet Networking*. Macmillan, Indianapolis.
- [4] FEIT, S. 2000. *Local Area High Speed Networks*. MTP, Indianapolis.
- [5] HALSALL, F. 1996. *Data Communication, Computer Networks, and Open Systems*. 4. izdanje, Addison-Wesley, Reading.
- [6] HAMMOND, J. L, P. J. P. O'REILLY. 1986. *Performance Analysis of Local Computer Networks*. Addison-Wesley, Reading.
- [7] JAIN, R. 1994. *FDDI Handbook*. Addison-Wesley, Reading.
- [8] KADAMBI, J, I. CRAYFORD, M. KALKUNTE. 1998. *Gigabit Ethernet*. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [9] MARTIN, J. 1994. *Local Area Networks*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [10] PERLMAN, R. 2000. *Interconnections*. 2. izdanje, Addison-Wesley, Reading.
- [11] SANTAMARIA, A, F. J. LOPEZ-HERNANDEZ. 2001. *Wireless LAN Standards and Applications*. Artech House, Norwood.
- [12] SAUNDERS, S. 1996. *The McGraw-Hill High-Speed LANs Handbook*. McGraw-Hill, New York.

- [13] SCHWARTZ, M. 1977. *Computer-Communication Network Design and Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [14] SCHWARTZ, M. 1987. *Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis*. Addison-Wesley, Reading.
- [15] SMYTHE, C. 1995. *Internetworking*. Addison-Wesley, London.
- [16] STALLINGS, W. 1990. *Handbook of Computer-Communications Standards: Volume 2 - Local Area Network Standards*. 2. izdanje, SAMS, Indianapolis.
- [17] STALLINGS, W. 1997. *Local and Metropolitan Area Networks*. 5. izdanje, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [18] STALLINGS, W. 1999. *SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMONv1 and RMONv2*. 3. izdanje, Addison Wesley, Reading.
- [19] TANENBAUM, A. S. 1996. *Computer Networks*. 3. izdanje, Prentice-Hall, Upper Saddle River.