

# PREGLED IEEE 802.3/ETHERNET NORME

## I. dio: Kontrola pristupa mediju

Mr. sc. Suzana Javornik Vončina, Zagreb

UDK 681.3  
PREGLEDNI ČLANAK

Članak daje pregled razvoja Ethernet-sustava, kamena temeljca IEEE-ove prve i do danas najšire prihvaćene norme za LAN. Dan je pregled rada na razvoju IEEE 802.3 norme koji traje od njenog definiranja 1983. godine do današnjih dana, a uključuje različite fizičke izvedbe i dodavanje novih mogućnosti u skladu s napretkom u proizvodnji kabela i mogućnostima računalne opreme, te potrebama korisnika LAN-a. Detaljnije je opisan protokol CSMA/CD kojim se kontrolira pristup mediju kod tradicionalnog poludvosmjernog načina rada. Obrazložena je struktura MAC-okvira, te prikazana njena kasnije definirana proširenja. Navedene su i osnovne značajke punog dvosmjernog načina rada.

**Ključne riječi:** normizacija, lokalna računalna mreža, LAN, Ethernet, komutacija paketa, CSMA/CD, MAC-okvir.

### Uvod

Tijekom 70-tih godina niz proizvođača računalne opreme razvilo je rješenja za međusobno povezivanje računalnih uređaja radi njihovog zajedničkog korištenja i/ili razmjene podataka. Među poznatije računalne mreže tog razdoblja spada i Ethernet.

Kako bi se korisnicima i proizvođačima olakšalo i pojeftinilo korištenje, odnosno razvijanje računalnih mreža integracijom proizvoda različitih proizvođača, 1980. godine je unutar Računalnog društva IEEE-a utemeljen Odbor za normizaciju lokalne računalne mreže. Odbor pokreće projekt nazvan prema godini i mjesecu početka rada Projekt 802. Prema IEEE-u [1], lokalna računalna mreža, LAN, je komunikacijska mreža kod koje poslani podaci putuju zajedničkim prijenosnim medijem do svih lokalno distribuiranih računalnih uređaja uključenih u mrežu. Osnovne karakteristike LAN-a su komutacija paketa, srednje do velike brzine prijenosa (od 1 Mb/s do 1 Gb/s) uz malen postotak pogrešaka, te prekrivanje geografskog područja umjerene veličine, kao što je poslovna zgrada ili kompleks poslovnih zgrada. LAN uobičajeno posjeduje, koristi i održava ista radna organizacija. Inteligencija potrebna za odvijanje komunikacije sadržana je u samim računalnim uređajima koji komuniciraju. Na taj način LAN omogućuje direktnu komunikaciju računalnih uređaja po zajedničkom fizičkom mediju na točka-točka osnovi bez ikakvog komutirajućeg čvora između njih. Radi komuniciranja korištenjem zajedničkog prijenosnog medija u

LAN-u mora biti definiran način na koji dvije ili više stanica dijele zajednički prijenosni medij (metoda pristupa mediju, MAC). Rezultat dvadeset godina rada u okviru Projekta 802 je obitelj od 35 IEEE 802 normi [1][2], koje između ostalog definiraju sedam različitih metoda pristupa mediju. Prva norma izdana u okviru Projekta 802, IEEE 802.3 [3], definira pristupnu metodu i fizičku realizaciju lokalne računalne mreže temeljene na Ethernet-u.

Današnje računalne komunikacijske mreže temelje se na komutaciji paketa, fundamentalno različitoj od komutacije kanala korištene u telefonskim mrežama. Komutacija paketa je tehnika prijenosa podataka kod koje se korisnikovi podaci komunikacijske mreže rastavljaju na segmente. Njihovim označavanjem na način da se zna odakle dolaze i kamo idu, te dodavanjem potrebnih kontrolnih podataka, formira se paket. Za pakete je određena maksimalna duljina. Paketi putuju do odredišta nezavisno jedan od drugog. U odredištu se spajaju ispravnim redoslijedom kako bi se rekonstruirali poslani podaci. U slučaju gubitka paketa u bilo kojoj točki, moguće je ponoviti slanje paketa. Paketi se šalju na medij čim se pojavi slobodan kapacitet. Komutacija paketa omogućava većem broju korisnika dijeljenje komunikacijskog kanala, s tim da pojedini korisnik zauzima cijeli kanal ali samo kratko vrijeme koliko traje prijenos pojedinog paketa. Zauzimanjem komunikacijskog kanala samo za vrijeme slanja pojedinog paketa, za razliku

od permanentnog zauzimanja kanala tijekom trajanja komunikacije u slučaju komutacije kanala, postiže se učinkovitije korištenje prijenosnih kapaciteta. Ideju za prijenos podataka komutacijom paketa iznio je Paul Baran [4] radeći na razvoju komunikacijske mreže prikladne za ratne uvjete kod koje se u slučaju uništenja dijela mreže poruke mogu proslijediti korištenjem preostalih čvorova mreže.

Koncepcija paketne komunikacije bila je odlučujuća u razvoju računalnih mreža. Premda je početno razvijena za povezivanje međusobno veoma udaljenih računala, dakle mreže širokog područja, danas se najintenzivnije koristi u lokalnim računalnim mrežama.

Do današnjih dana IEEE 802.3 ostala je najraširenija tehnologija za LAN. Na taj način Ethernet postaje temelj danas više bilijuna dolara vrijedne industrije lokalnih računalnih mreža. Definiran je čitav niz izvedbi IEEE 802.3 LAN-a, od kojih starije uglavnom podržavaju brzinu prijenosa podataka 10 Mb/s, dok novije, uobičajeno zvane "Fast Ethernet" i "Gigabit Ethernet", podržavaju brzine prijenosa 100 Mb/s, odnosno 1 Gb/s. IEEE 802.3 LAN može biti implementiran korištenjem koaksijalnog kabela, kabela s upredenim paricama ili optičkog kabela. Fizičke konfiguracije kabliranja su sabirnica i zvijezda. Različite izvedbe IEEE 802.3 LAN-a objedinjuje zajednička metoda pristupa mediju, MAC, temeljena na protokolu *Višestrukog pristupa s osjetom nositelja i otkrivanjem sudara*, CSMA/CD.

Ovaj članak prvi je dio serije Pregled IEEE 802.3/Ethernet norme. U njemu je opisana kontrola pristupa mediju, dok će u drugom dijelu serije biti opisane fizičke izvedbe IEEE 802.3 LAN-a.

U točki 1 dan je pregled razvoja Ethernet-a, odnosno protokola CSMA/CD na kojem se temelji IEEE-ova norma 802.3. U točki 2 dan je pregled razvoja norme 802.3 i sadašnje stanje normizacije. U točki 3 opisana je pozicija norme 802.3 unutar obitelji normi IEEE 802 s naglaskom na način adresiranja računalnih uređaja u LAN-u i razlike u strukturi Ethernet i IEEE 802.3 okvira. U točki 4 opisana je koncepcija protokola CSMA/CD koji kontrolira pristup zajedničkom prijenosnom mediju, te način dimenzioniranja i izvedbe IEEE 802.3 CSMA/CD LAN-a. Također, dane su osnovne odrednice punog dvosmjernog načina rada IEEE 802.3 LAN-a. U točki 5 dana je struktura IEEE 802.3 MAC-okvira, te njena kasnije definirana proširenja koja su rezultat prilagođavanja većim brzinama prijenosa i naprednijim načinima segmentiranja LAN-ova i upravljanja prometom u LAN-u. U točki 6 navedene su sve kratice korištene u članku. Slijede zaključak i literatura navedena redoslijedom spominjanja u članku.

## 1. POVIJEST ETHERNET-a

Povijest Ethernet-a vezana je uz Roberta M. Metcalfe, koji je zbog zasluga u njegovom definiranju i normiranju, kao i komercijalizaciji Ethernet-proizvoda 1996. primio IEEE-ovu Počasnu medalju (Medal of Honor). Robert M. Metcalfe, rođen 1946. godine, diplomirao je elektrotehniku na Massachusetts Institute of Technology 1969. godine. Sljedeće godine uz poslijediplomski studij računalnih znanosti na Harvardu, počinje raditi na projektu razvoja mreže ARPAnet američke Agencije za napredne istraživačke projekte, ARPA. Paralelno s razvojem mreže ARPAnet, ARPA ponovno inicira 60-tih godina započeto istraživanje korištenja radiovalova za prijenos podataka komutacijom paketa, što 1970. godine dovodi do razvoja mreže ALOHA na Havajskom sveučilištu. ALOHA je paketna radiomreža brzine 4,8 kb/s razvijena radi omogućavanja radijske komunikacije centralnog računala s potencijalno mobilnim terminalima razbacanim po Havajskim otocima.

Mreža ARPAnet, preteča današnjeg Internet-a, probudila je širok interes za mreže s komutacijom paketa. Tako i dr. Metcalfe nastavno na iskustvo u radu s ARPAnet-om za temu svoje doktorske teze odabire paketnu komunikaciju.

1972. godina izuzetno je značajna za karijeru dr. Metcalfe. Te godine postaje član Xerox-ovog istraživačkog osoblja u istraživačkom centru Palo Alto, PARC, čija je zadaća oblikovati ured budućnosti. Ovdje su razvijena jedna od prvih osobnih računala, a 70-tih se godina radilo na razvoju prvih laserskih pisaa. Radi omogućavanja zajedničkog korištenja skupih pisaa 70-tih godina u PARC-u problem umrežavanja računala dobiva na važnosti. Drugi važan događaj 1972. godine vezan je uz članak Norma Abramsona s Havajskog sveučilišta Š5Ć, koji se bavi performansama sustava ALOHA. Abramson je teoretizirao kako bi opterećenje veće od 17% dovelo do kolapsa mreže. Roberta je članak snažno zainteresirao i potaknuo na proučavanje sustava ALOHA i razradu mogućnosti unapređenja iskoristivosti primijenjenog višepripristupnog kanala.

Kao odgovor na SSSR-ovo lansiranje Sputnika, odnosno početak Hladnog rata, SAD su 1958. godine unutar Ministarstva obrane formirale Agenciju za napredne istraživačke projekte, ARPA (preimenovanu 1972. godine u Agencija za napredne obrambene istraživačke projekte, DARPA). Zadatak ARPA-e bio je učvrstiti američku vojnu premoć u vojno primijenjivim područjima znanosti i tehnologije.

1968. godine ARPA je pokrenula rad na definiranju komunikacijskog sustava koji bi povezo računala na zemljopisno udaljenim lokacijama putem dijeljene mreže. Sustav je trebao omogućiti međusobno

povezivanje računala za potrebe Ministarstva obrane s tim da nastavak komunikacije bude moguć i ukoliko dođe do uništenja dijela mreže. Takav zahtjev bio je posljedica stalno prisutne prijetnje izbijanja nuklearnog rata. Kao prirodno rješenje zamišljena je decentralizirana mreža u kojoj su mogući različiti putevi usmjerenja podataka. U slučaju uništenja dijela mreže podaci se jednostavno usmjeravaju drugim putem. Podaci korisnika mreže dijele se na segmente od kojih svaki putuje nezavisno odabranim prijenosnim putem. Takvo rješenje smatra se povoljnijim jer povećava vjerojatnost da će barem dio poruke biti uspješno prenesen. Drugim riječima, odabrana je tehnika komutacije paketa. Prvi rezultati rada na razvoju komunikacijskog sustava demonstrirani su u jesen 1969. godine kad su uspješno povezana četiri računala smještena na kalifornijskim sveučilištima u Los Angelesu i Santa Barbari, Sveučilištu Stanford te Sveučilištu Utah. Mreža je nazvana ARPAnet i na njenom razvoju se nastavilo intenzivno raditi.

ARPA-ina podrška istraživanju komutacije paketa utrla je put razvoju današnjih lokalnih računalnih mreža.

Zbog iskustva u radu s mrežom ARPAnet i proučavanja performansi sustava ALOHA, u Xerox-u je dr. Metcalfeu zajedno s kolegom Davidom Boggsom povjeren zadatak razvoja sustava za umrežavanje PARC-ovih računala. Sabravši naučeno u radu s mrežom ARPAnet (komutacija paketa, decentralizirana mreža) i proučavanju sustava ALOHA (optimizacija korištenja višepriступnog kanala), dr. Metcalfe smišlja tehniku za lokalno povezivanje računala. Podaci se segmentiraju, pakiraju u adresirane pakete i šalju na koaksijalni kabel. Prije slanja provjerava se da li je medij slobodan (razlika u odnosu na ALOHA-u, što uvelike smanjuje vjerojatnost sudara, tj. povećava vjerojatnost uspješnog prijenosa podataka). Paket dolazi do svih računala u mreži, a s kabela ga kopira računalo čija adresa odgovara adresi odredišta iz paketa.

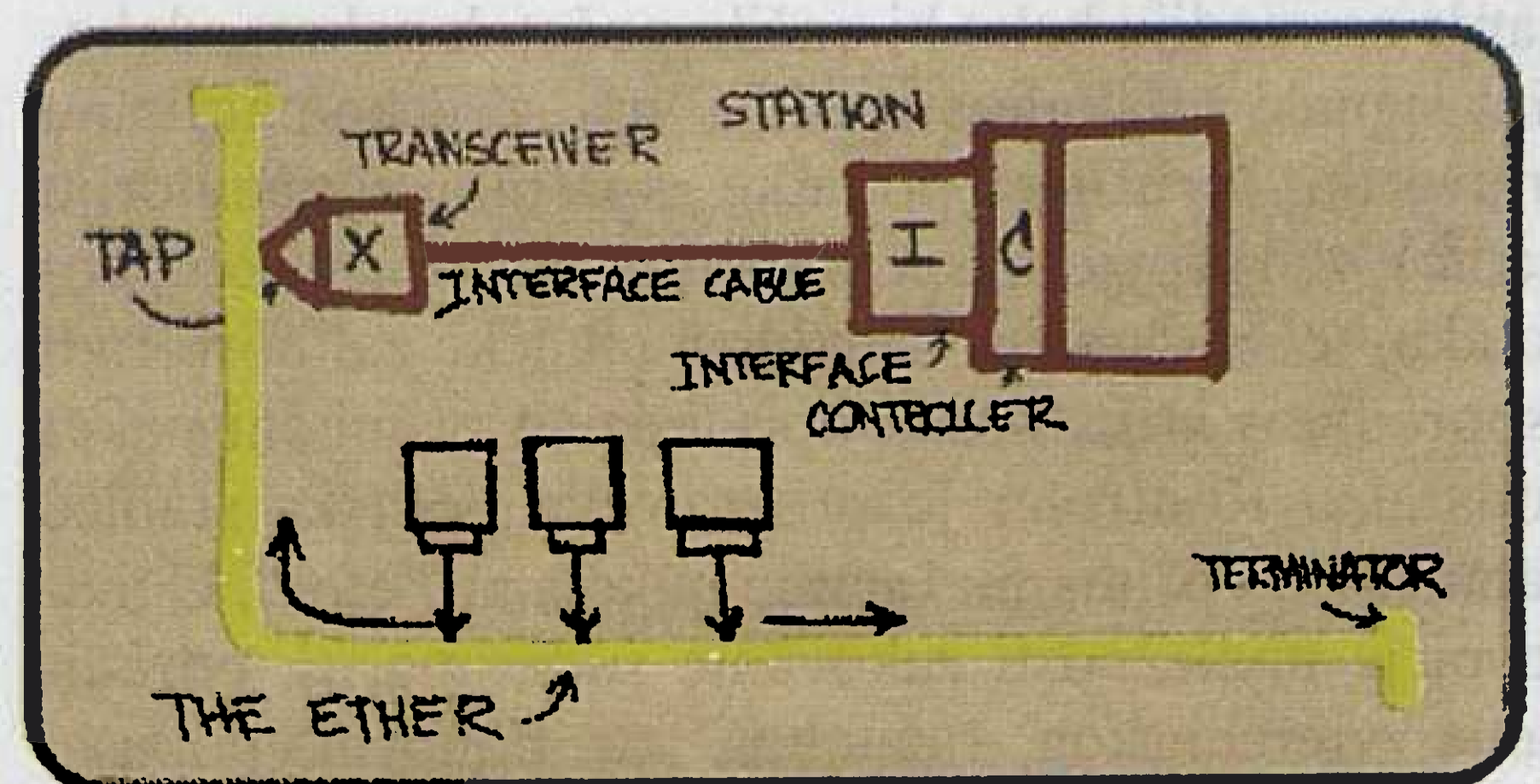
David Boggs je napravio sučelje za prva dva računala (zvali su ih Michelson i Morley, po engleskim fizičarima iz 19. stoljeća koji su dokazali da se elektromagnetski valovi mogu prostirati i u vakuumu, tj. da ne postoji eter). Zatim su 22. svibnja 1973. godine dr. Metcalfe i Boggs napisali izvještaj o mreži koju su izgradili i njenom potencijalu, te se taj datum smatra službenim rođendanom Ethernet-a [6]. Sustav je nazvan po svjetlonosnom "eteru", koji se prije Michelson i Morley-jevih pokusa smatrao prijenosnikom elektromagnetskog zračenja. (Kad je u 19. stoljeću britanski fizičar Clerk Maxwell otkrio da se elektromagnetsko zračenje može opisati valnom jednadžbom, znanstvenici su pretpostavili da prostor mora biti ispunjen eteričnim medijem kojim se širi elektromagnet-

sko zračenje.) Time je Metcalfe htio naglasiti bitno svojstvo sustava: fizički medij ("eter") prenosi bitove do svih stanica sustava, slično kao što se nekad smatralo da je uloga "svjetlonosnog etera" prenošenje elektromagnetskih valova kroz prostor. Također, time je naglašen razvojni odmak od ALOHA mreže (prvobitno ime sustava bilo je "Alto Aloha Network"), kao i činjenica da je sustav sposoban umrežiti bilo koje računalo, a ne samo Xerox-ov model računala Alto.

U prosincu 1973. godine Robert je obranio doktorsku disertaciju na Harvardu [7], u kojoj obrađujući paketno komuniciranje daje obrise buduće mreže Ethernet.

Prvi Ethernet-sustav, zvan pokusni Ethernet (experimental Ethernet), razvili su Robert Metcalfe i David Boggs tijekom 1973. i 1974. godine. Sustav je služio za međusobno povezivanje računala Xerox Alto i laserskih pisaača brzinom 2,944 Mb/s (brzina određena na temelju takta računala Alto). Povezivao je preko 100 računalnih uređaja spojenih na kabel duljine 1 km. Na temelju iskustva u radu s eksperimentalnim Ethernetom, 1976. dr. Metcalfe i Boggs izdaju članak [9] u kojem definiraju Ethernet kao distribuirani sustav komutacije paketa za lokalne računalne mreže te, uz detaljan opis principa dizajniranja i implementacije, daju i analizu performansi sustava.

Računalni uređaji koji komuniciraju Ethernetom nazivaju se računalne stanice. Na slici 1 prikazana je Metcalfe-ova skica probnog Ethernet sustava čiji su osnovni dijelovi "eter", primopredajnik (transceiver), te sučelje (interfaces) i kontroler (controllers) računalne stanice koja komunicira koristeći Ethernet. Za "eter", prijenosni medij kojim putuju signali, odabran je koaksijalni kabel sa zaključenjem (terminator) impedancije 50  $\Omega$ . Primopredajnik prima, odnosno šalje signale s "etera". Dizajn primopredajnika mora osigurati da pogreške u primopredajniku ili stanici ne utječu na prijenosni medij, te da se u slučaju odspajanja s napajanja primopredajnik sam električki odspoji s prijenosnog medija. Dio koji osigurava samo fizičko spajanje na prijenosni medij (tap) mora osigurati što je moguće manje narušavanje prijenosne karakteristike medija. Primopredajnik se napaja i kontrolira preko pet-paričnog kabela (interface cable). Sučelje računalne stanice koja šalje podatke obavlja pretvorbu paralelnih podataka karakterističnih za računalnu stanicu u se-



Slika 1. Metcalfeova skica Ethernet-sustava

rijske, izračunava vrijednost cikličke zalihosti koja služi za otkrivanje pogrešaka nastalih pri prijenosu signala "eterom", dodaje oktete potrebne za formiranje paketa podataka, kodira, te predaje signale primopredajniku.

Ethernet [8] je stabilni komunikacijski sustav za prijenos digitalnih paketa podataka između lokalno distribuiranih računalnih uređaja. Zajedničko komunikacijsko sredstvo sustava Ethernet, njegov "eter", pasivni je medij za emitiranje bez centralne kontrole. Svi se računalni uređaji spajaju na "eter". Koordinacija pristupa "eteru" distribuirana je na sve uređaje koji žele emitirati, a temelji se na osluškivanju stanja na "eteru". Komutiranje paketa do odredišnog računalnog uređaja distribuirano je na sve računalne uređaje, a temelji se na prepoznavanju adrese odredišta u paketu. Do gubitka paketa može doći uslijed sudara s drugim paketom, smetnji na "eteru", neispravnog prijamnika ili odbacivanja paketa na odredištu. Protokoli višeg sloja koji komuniciraju koristeći Ethernet moraju uzeti u obzir da ispravan prijam paketa na odredištu nije zajamčen, već da za isti postoji velika vjerojatnost.

Osnovni principi dizajniranja Ethernet-a su:

#### distribuiranost

- eliminiran problem pouzdanosti do kojeg bi došlo u slučaju aktivnog središnjeg kontrolera
- izbjegnuto stvaranje uskog grla do kojeg bi došlo kod sustava bogatih paralelizmom
- smanjeni fiksni troškovi zbog kojih bi mali sustavi bili neekonomični

#### pouzdanost postignuta pasivnošću "etera"

- pogreška u aktivnom elementu utječe na komunikaciju samo pripadnog računalnog uređaja

#### topologija stablo bez korijena (unrooted tree)

- podudarnost s izgledom tipičnog uredskog prostora
- samo jedan put od izvora do odredišta (da se poruka ne bi sudarala sama sa sobom)
- širenje mreže moguće je iz bilo koje točke u bilo kojem smjeru

Sučelje računalne stanice koja prima podatke prati stanje na mediju kako bi uočilo početak paketa, dekodira signale pristigle s medija, vrši serijsko/paralelnu pretvorbu, pristigle podatke sprema u memoriju stanice, vrši provjeru ispravnosti primljenog paketa podataka, te izračunava vrijednost cikličke zalihosti radi usporedbe s vrijednošću upisanom u primljeni paket podataka. Kontroler je programska podrška stanice namijenjena primanju i slanju paketa na "eter". U njegovoj je nadležnosti rukovanje sudarima, tj. određivanje vremenskog razdoblja za ponovni pokušaj prijenosa. 13. prosinca 1977. tvrtka Xerox Corporation registrira Višepristupni sustav za komunikaciju pod-

cima s otkrivanjem sudara [9]. Temeljem te licence ime "Ethernet" postaje registrirano ime tvrtke Xerox, te u njenu nadležnost spada i administriranje adresa računalnih stanica uključenih u mrežu Ethernet. To znači da svaki proizvođač mrežnih kartica za Ethernet (uređaji koji sadrže sučelje i kontroler potrebne za spajanje računalnih stanica na Ethernet mrežu) mora od Xerox-a zatražiti jedinstvenu adresu za kartice koje proizvodi. Jedinstvenost Ethernet-adrese osigurava se tako što tvrtka Xerox Corporation dodjeljuje zainteresiranim proizvođačima prvih 24 bita (3 okteta) adrese, a sami proizvođači pridjeljuju preostala 24 bita. Također, tvrtka Xerox svakom protokolu više razine koji želi komunicirati koristeći Ethernet dodjeljuje dvooktetni identifikacijski kod (Type code), od kojih su najznačajniji 0x0600 za XNS (Xerox), 0x0800 IP (the Internet protocol), te 0x6003 (DECnet).

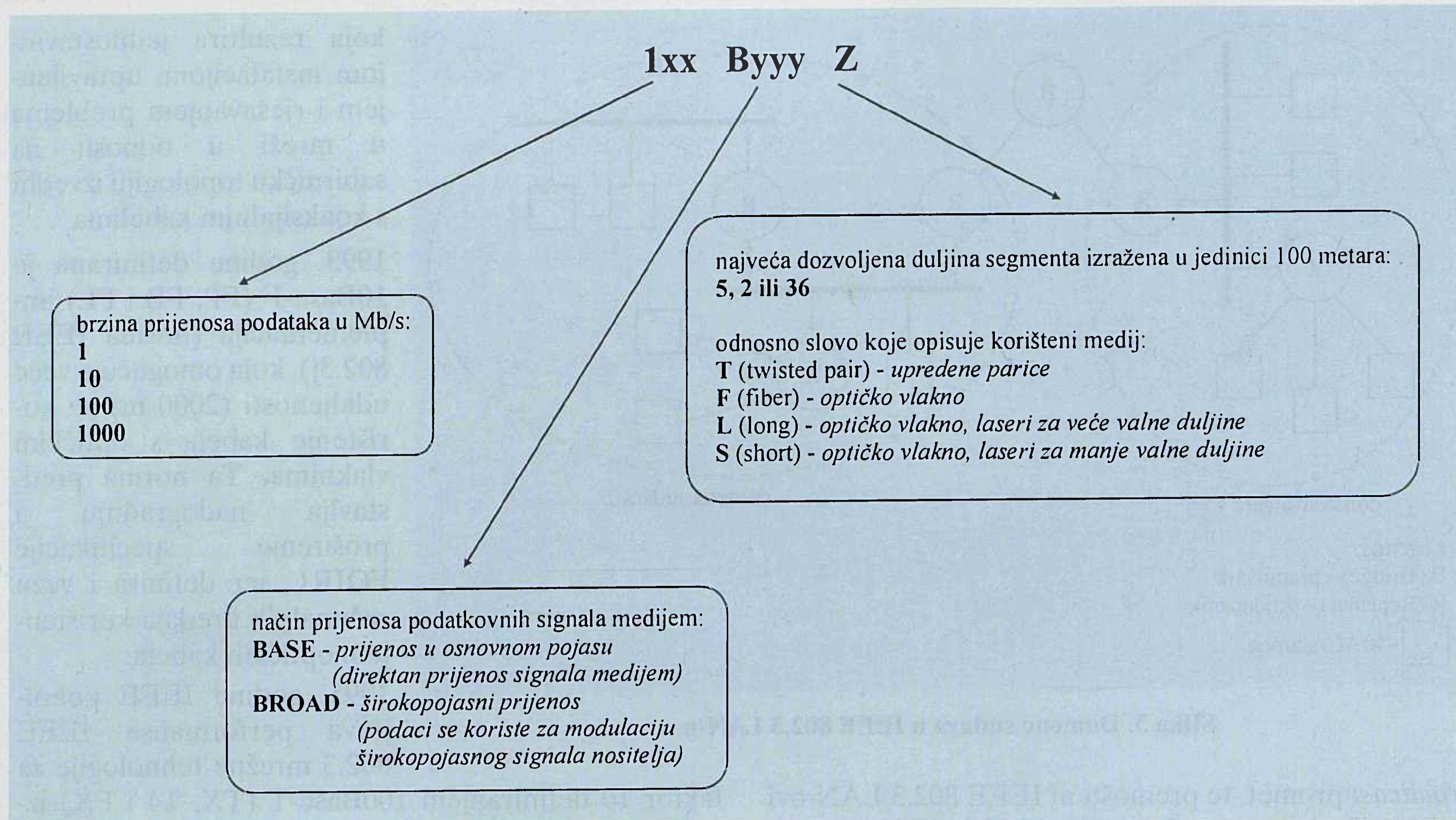
1979. udružuju se tvrtke Digital Equipment Corporation (DEC), Intel i Xerox u svrhu normizacije Ethernet-sustava kojeg će moći koristiti svaka tvrtka. U rujnu 1980. izdaju prvu normu za Ethernet sustav brzine 10 Mb/s [10] nazvanu "Plava knjiga za Ethernet" ili "norma DIX" (prema inicijalima tvrtki). Time Ethernet postaje javna norma primjenjiva za povezivanje računalnih uređaja različitih proizvođača. Međutim, dodjelu mrežnih adresa i dalje obavlja tvrtka Xerox. U studenom 1982. godine izlazi druga i konačna verzija DIX-norme [11].

Očito je da se ni za koju tehnologiju ne može očekivati međunarodno prihvaćanje ukoliko pravila kontrolira privatna američka tvrtka. Iz tog razloga, kao i uočenog velikog potencijala lokalnih računalnih mreža, IEEE započinje rad na razvoju međunarodne norme za lokalne računalne mreže.

## 2. RAZVOJ NORME IEEE 802.3

Radna grupa IEEE-a izradila je 802.3 normu za Ethernet 1983. godine. IEEE je razradio neke dijelove norme DIX, osobito u području definiranja strukture paketa, ali na način koji omogućuje međusobni rad uređaja temeljenih na DIX i IEEE normama. Računalni uređaji u IEEE 802.3 LAN-u, kao i u LAN-u temeljenom na DIX normi, natječu se za dobivanje prava pristupa mediju koristeći protokol CSMA/CD. U okviru IEEE-a do današnjih je dana definiran čitav niz mogućih fizičkih izvedbi IEEE 802.3 CSMA/CD LAN-a. Za njihovo označavanje koristi se tropoljna notacija objašnjena na slici 2.

Premda IEEE 802.3 obuhvaća niz normi razvijanih tijekom zadnjih 20 godina, među kojima je samo prva izvedba temeljena na DIX-Ethernet sustavu, termin "Ethernet" se uobičajeno koristi u općenitom smislu za referenciranje svake IEEE 802.3 izvedbe. Ispravan termin je IEEE 802.3 CSMA/CD mrežna tehnologija, a LAN izveden u skladu s normom IEEE 802.3 je IEEE 802.3 CSMA/CD LAN ili kraće IEEE 802.3 LAN.



Slika 2. Tropoljna notacija za označavanje izvedbi IEEE 802.3 LAN-a

Izdavanjem i širokim tržišnim prihvaćanjem norme za IEEE 802.3 CSMA/CD LAN, administriranje pripadnih mrežnih adresa za LAN prelazi u nadležnost IEEE-a.

Prvobitna IEEE 802.3 norma (izdana 1985. godine) definira 10Base5 izvedbu, tj. LAN brzine 10 Mb/s s prijenosom u osnovnom pojasu na segmentu 10-milimetarskog koaksijalnog kabela maksimalne duljine 500 metara, ekvivalentan DIX-Ethernet-u.

Segment je koaksijalni kabel s oba kraja zaključen karakterističnom impedancijom, a može biti sastavljen od više odsječaka koaksijalnog kabela spojenih konektorima ili spojnica.

Računalni uređaji koji mogu biti izvor ili odredište podataka u LAN-u nazivaju se MAC-stanica.

Uslijed vremenskog preklapanja prijenosa dviju ili više MAC-stanica na fizičkom mediju dolazi do sudara.

Područje prostiranja signala sudara naziva se domena sudara (collision domain). Konkretno, najmanja domena je segment fizičkog medija. Korištenjem prijenosnika (repeater) domena se proširuje s jednog segmenta na više segmenata spojenih prijenosnikom.

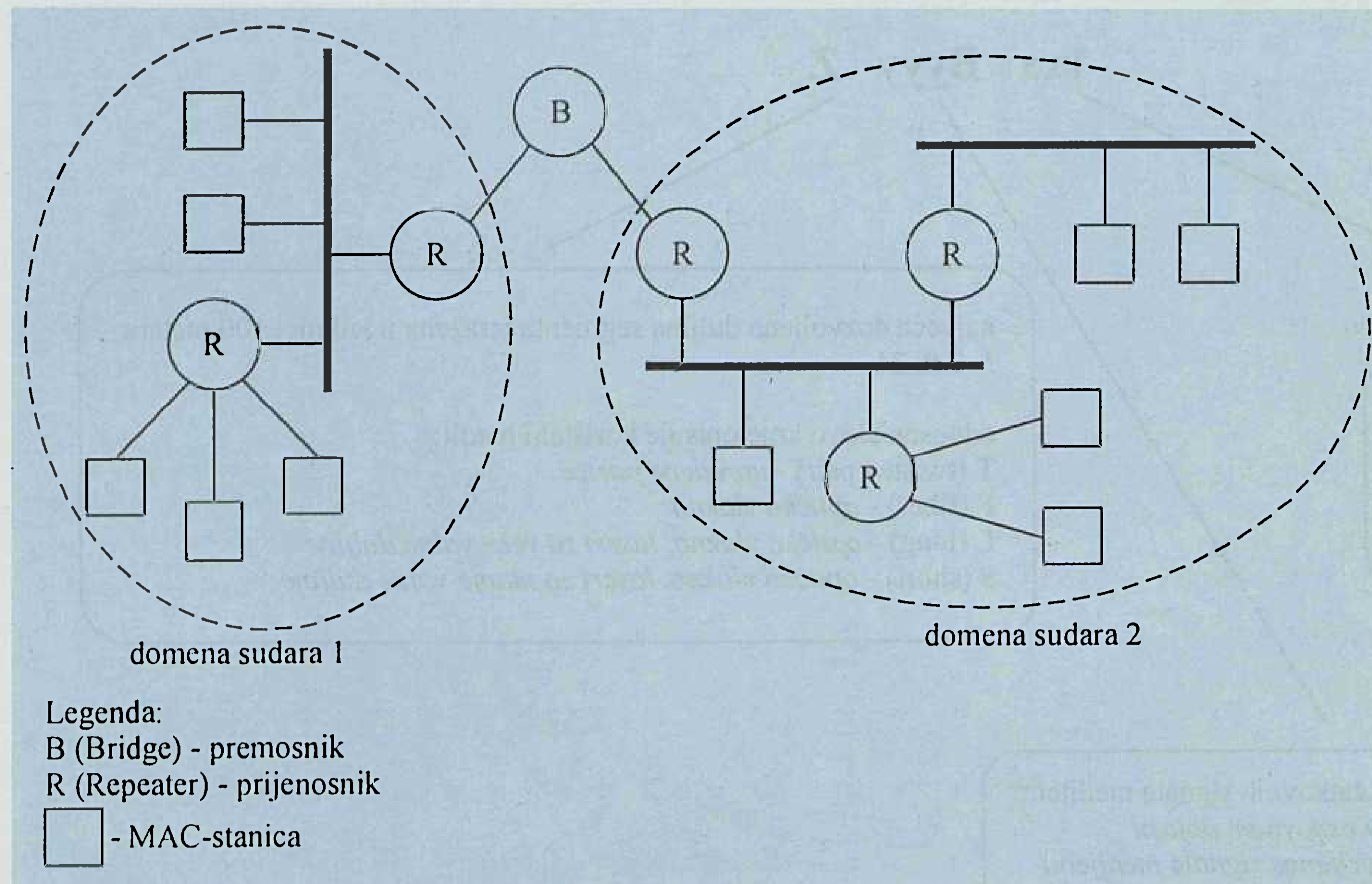
Prijenosnik je uređaj koji se koristi za povećanje duljine, proširenje topologije ili međusobno spajanje fizičkih medija iznad vrijednosti definiranih za segment, a do maksimalno dozvoljene duljine prijenosne linije. Prijenosnici izvode osnovne aktivnosti potrebne za obnavljanje amplitude, valnog oblika i vremenskih karakteristika signala (kako signala koji

predstavljaju normalne podatke, tako i signala koji su rezultat sudara. Segmenti fizičkog medija spojeni prijenosnikom pripadaju istoj domeni. Ukoliko se želi da segmenti spojeni u LAN ne pripadaju istoj domeni sudara, za njihovo spajanje potreban je premosnik (bridge).

Premosnik je uređaj koji omogućuje spajanje IEEE 802.3 LAN-ova na temelju podataka podsloja MAC nezavisno o izvedbi. Kao rezultat dobiva se premošteni IEEE 802.3 LAN koji sadrži dvije ili više domena sudara. Višedulazni premosnik uobičajeno se naziva preklopnik (switch).

IEEE 802.3 LAN može sadržavati jedan IEEE 802.3 segment, više IEEE 802.3 segmenata spojenih prijenosnikom, te dva ili više IEEE 802.3 segmenata spojenih premosnikom. Na slici 3 prikazana je pripadnost segmenata istoj ili različitoj domeni ovisno o vrsti mrežnog uređaja kojim se spajaju u LAN.

U LAN-u razlikujemo promet namijenjen određenoj MAC-stanici (*unicast*), promet namijenjen logičkoj skupini stanica (*multicast*), te promet namijenjen svim stanicama IEEE 802.3 LAN-a (*broadcast*). U slučaju jednog IEEE 802.3 segmenta ili više IEEE 802.3 segmenata spojenih prijenosnikom, LAN sadrži jednu domenu sudara i sav se promet prostire do svih MAC-stanica LAN-a. Prilikom spajanja dva ili više IEEE 802.3 segmenta u premošteni LAN, premosnici odnosno preklopnici na osnovi analize MAC-adrese prenose samo one pakete koji su adresirani za MAC-stanicu suprotnog, odnosno ostalih segmenata. Međutim, premosnici i preklopnici uvijek prenose *multicast* i



Slika 3. Domene sudara u IEEE 802.3 LAN-u

*broadcast* promet, te premošteni IEEE 802.3 LAN-ovi sadrže više domena sudara, ali pripadaju jednoj *broadcast* domeni. Ukoliko se želi ograničiti *broadcast* promet, potrebno je spajanje uređajem koji radi na mrežnoj razini OSI modela, kakav je usmjernik (router).

1985. godine započet je rad na definiranju izvedbe 10Base2 (norma IEEE 802.3a), nazvane "tanki Ethernet" zbog korištenja tanjeg i jeftinijeg koaksijalnog kabela (5 mm). 5-milimetarski kabel pojednostavljuje kabliranje mreže u odnosu na 10-milimetarski kabel kod 10Base5 izvedbe, nazvane "debeli" Ethernet. Premda obje izvedbe, 10Base5 i 10Base2, pružaju izvrsne performanse, zbog korištenja sabirničke topologije kod obje je otežano izvođenje promjena u konfiguraciji mreže i otkrivanje pogrešaka (što smanjuje pouzdanost).

U 1985. godini definirana je i izvedba za širokopojasni koaksijalni kabel i prijenos brzine 10 Mb/s, 10Broad36 (norma IEEE 802.3b).

1987. godine definirane su dvije norme. Prva specificira vezu dvaju prijenosnika izvedenu optičkim vlaknima, FOIRL, uz maksimalnu udaljenost 1000 metara (norma IEEE 802.3d). Druga definira izvedbu LAN-a korištenjem kabela s upredenim paricama uz brzinu 1 Mb/s, 1Base5 (norma IEEE 802.3e), koja nikad nije bila u široj uporabi.

Značajan napredak u razvoju norme IEEE 802.3 postignut je 1990. Naime, široka rasprostranjenost kabliranja kablom s upredenim paricama u postojećim zgradama pojačala je zanimanje za LAN brzine 10 Mb/s na takvim kablom. Tako je 1990. definirana izvedba IEEE 802.3 LAN-a za kabel s upredenim paricama kategorije 3 ili bolje Š12Č uz brzinu 10 Mb/s, 10Base-T (norma IEEE 802.3i). Osim medija i brzine, značajna prednost te tehnologije je fizički zvjezdasta topologija,

koja rezultira jednostavnijom instalacijom, upravljanjem i rješavanjem problema u mreži u odnosu na sabirničku topologiju izvedbi s koaksijalnim kablom.

1993. godine definirana je 10Base-F (FP, FB i FL) implementacija (norma IEEE 802.3j), koja omogućuje veće udaljenosti (2000 m) uz korištenje kabela s optičkim vlaknima. Ta norma predstavlja nadogradnju i proširenje specifikacije FOIRL, jer definira i vezu računalnih uređaja korištenjem optičkih kabela.

1995. godine IEEE poboljšava performanse IEEE 802.3 mrežne tehnologije za

faktor 10 definiranjem 100Base-T (TX, T4 i FX) izvedbe, uobičajeno zvane Fast Ethernet (norma IEEE 802.3u). 100Base-T obuhvaća tri različite specifikacije fizičkog sloja kojima se ostvaruje brzina prijenosa 100 Mb/s: 100Base-T4 radi na četiri parice UTP kabela kategorije 3, 4 ili 5 [14], 100Base-TX radi na dvije parice UTP kabela ili 150 omskog STP kabela kategorije 5 [14], dok 100Base-FX radi na dva optička vlakna.

1997. godine definiran je puni dvosmjerni rad (full-duplex - norma IEEE 802.3x), koji zaobilazi protokol CSMA/CD omogućujući istovremeni prijam i slanje, čime udvostručava moguću brzinu prijenosa. Također, iste godine definirana je izvedba Fast Ethernet-a korištenjem dvije parice kabela s upredenim paricama kategorije 3, 4 ili 5, 100Base-T2 (norma IEEE 802.3y).

1998. godine IEEE još jednom poboljšava performanse IEEE 802.3 mrežne tehnologije za faktor 10 definiranjem 1000Base-X (SX, LX i CX) izvedbe, uobičajeno zvane Gigabit Ethernet (norma IEEE 802.3z). Specificirana su tri različita fizička medija koja osiguravaju brzinu 1 Gb/s: 1000Base-SX radi na kablom s višemodnim optičkim vlaknima uz laser valne duljine 850 nm, 1000Base-LX radi na kablom s jednomodnim ili višemodnim vlaknima uz laser valne duljine 1300 nm, dok 1000Base-CX radi na posebnoj izvedbi kabela s oklopljenim upredenim paricama (twinax).

Također, 1998. godine izdana je norma kojom su definirana proširenja potrebna za podršku označavanja prividnih LAN-ova, VLAN-ova (IEEE 802.3ac). VLAN je logički definiran segment premoštenog LAN-a koji tvori zasebnu *broadcast* domenu. Logički segment definira se administrativno nezavisno o fizičkoj lokaciji.

1998. godine osnovana je radna grupa 802.3ad za razvoj norme za združivanje paralelnih fizičkih segmenata

u jednu logičku vezu (Link Aggregation ili trunking). Mogućnost je primjenjiva u slučaju punog dvosmjernog načina rada. Nacrt norme 802.3ad do ožujka 2000. godine nije prihvaćen. Prednosti združene veze su linearno povećanje propusnosti, mogućnost balansiranja opterećenja (raspodjela prometa na više fizičkih veza), te osigurana redundancija.

1999. godine definirana je 1000Base-T izvedba (norma IEEE 802.3ab), koja omogućuje rad IEEE 802.3 LAN-a na kabelima s upredenim paricama kategorije 5 uz brzinu 1 Gb/s. Također, 1999. godine osnovana je studijska grupa (High Speed Study Group) za istraživanje mogućnosti razvoja 10 Gb/s Ethernet-a (projekt P802.3ae). Uz povećanje brzine rada na 10 Gb/s, cilj je studijske grupe proširenje primjenjivosti Ethernet-a i na veze u mreži širokog područja, WAN (Wide Area Network).

Prema stanju normizacije u ožujku 2000. godine IEEE 802.3 LAN definiraju sljedeće norme:

- IEEE Standard 802.3-1998: dokument ima 1268 stranica, a sadrži sve prihvaćene norme serije 802.3 izdane do rujna 1998. Dokumenti sadržani u ovoj normi su:  
IEEE Std 802.3-1996: sve norme za 802.3 LAN brzine 1 i 10 Mb/s  
IEEE Std 802.3u-1995: 100Base-T izvedba  
IEEE Std 802.3x&y-1997: puni dvosmjerni rad, te izvedba 100Base-T2  
IEEE Std 802.3z-1998: 1000Base-X izvedba  
IEEE Std 802.3r-1996: proforma za usklađenost izvedbe 10Base5  
IEEE Std 802.3aa-1998: revizija za održavanje (100Base-T)
- IEEE Std 802.3ac-1998: 20 stranica, prihvaćeni dodatak IEEE 802.3:1998 normi koji definira označavanje VLAN-ova
- IEEE Std 802.3ab-1999: 144 stranice, prihvaćeni dodatak IEEE 802.3:1998 normi koji definira 1000Base-T izvedbu

1989. godine IEEE 802.3 norma međunarodno je prihvaćena i izdana kao ISO 8802-3 norma, čime je CSMA/CD sustav postao međunarodna norma za umrežavanje. Ovo prvo međunarodno izdanje obuhvaćalo je izvedbe 10Base5 i 10Base2. Zadnje međunarodno izdanje (peto) je ISO/IEC norma 8802-3 iz 1996. godine ekvivalentna normi IEEE 802.3 iz 1996. godine.

Odredbom ISO-a, IEEE je nadležan za registracije vezane uz međunarodne norme serije ISO/IEC 8802. ISO/IEC 8802-3 normu moguće je kupiti putem Internetu na adresi [standards.ieee.org/catalog/IEEE802.3.html](http://standards.ieee.org/catalog/IEEE802.3.html), a on-line pretplatu na adresi [standards.ieee.org/olis/lanman.html](http://standards.ieee.org/olis/lanman.html).

### 3. IEEE-ova NORMIZACIJA LOKALNIH RAČUNALNIH MREŽA

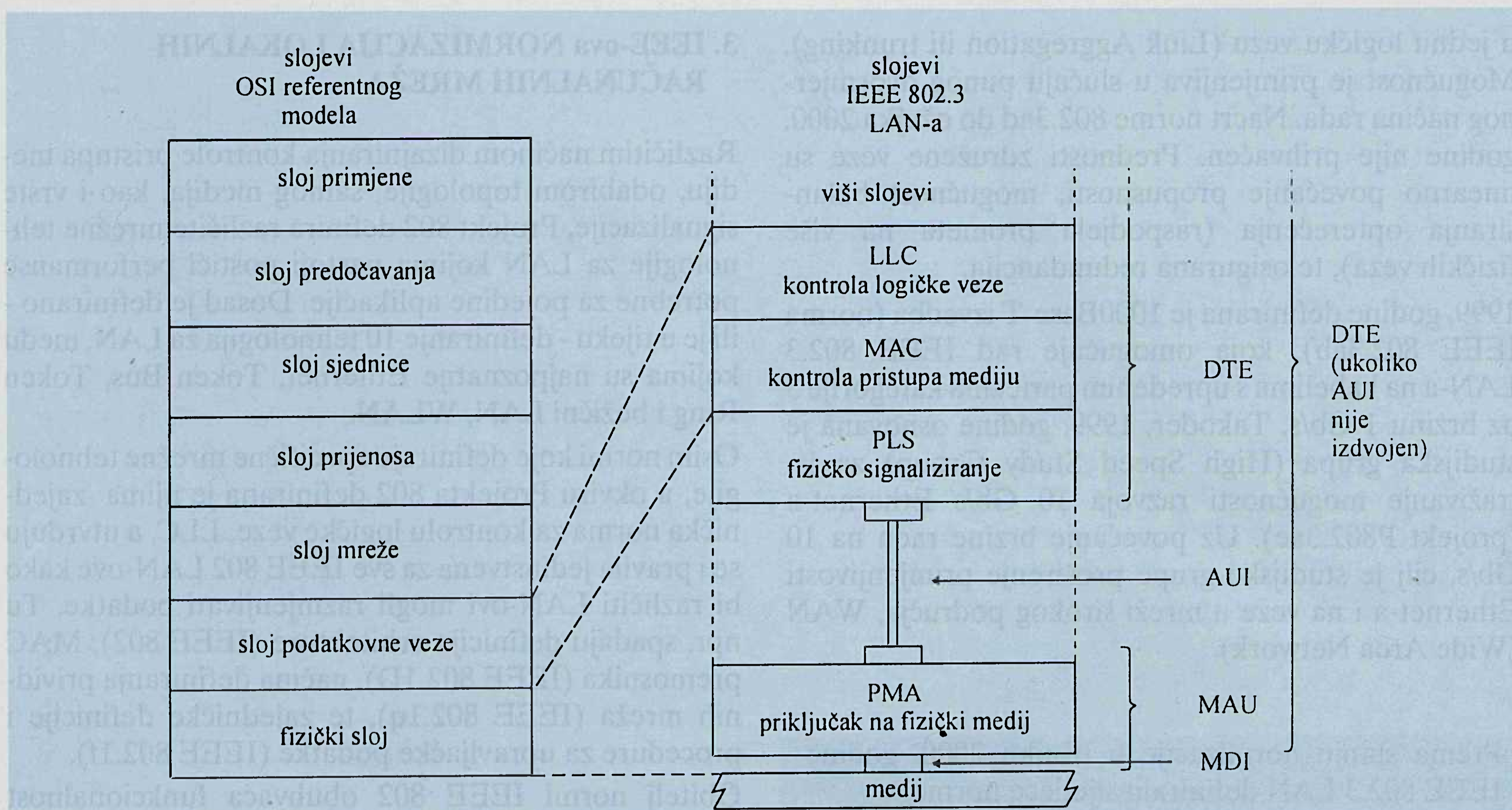
Različitim načinom dizajniranja kontrole pristupa mediju, odabirom topologije, samog medija, kao i vrste signalizacije, Projekt 802 definira različite mrežne tehnologije za LAN kojima nastoji postići performanse potrebne za pojedine aplikacije. Dosad je definirano - ili je u tijeku - definiranje 10 tehnologija za LAN, među kojima su najpoznatije Ethernet, Token Bus, Token Ring i bežični LAN, WLAN.

Osim normi koje definiraju specifične mrežne tehnologije, u okviru Projekta 802 definirana je njima zajednička norma za kontrolu logičke veze, LLC, a utvrđuju se i pravila jedinstvena za sve IEEE 802 LAN-ove kako bi različiti LAN-ovi mogli razmjenjivati podatke. Tu npr. spadaju definicija arhitekture (IEEE 802), MAC prenosnika (IEEE 802.1D), načina definiranja prividnih mreža (IEEE 802.1q), te zajedničke definicije i procedure za upravljačke podatke (IEEE 802.1f).

Obitelj normi IEEE 802 obuhvaća funkcionalnost fizičkog sloja i sloja podatkovne veze Referentnog modela za povezivanje otvorenih sustava, OSI RM [14]. Slojevi IEEE 802.3 LAN-a prikazani su na slici 4. Svaki sloj Referentnog modela osigurava usluge za sloj neposredno iznad, u svrhu čega podacima protokola neposredno višeg sloja dodaje potrebne kontrolne podatke. Zbog toga paket IEEE 802.3 LAN-a sadrži kontrolne podatke podsloja MAC, kontrolne podatke podsloja LLC i podatkovno polje s podacima protokola višeg sloja koji komunicira koristeći 802.3 LAN (slika 5). Uloga i sadržaj kontrolnih podataka određena je funkcijom pripadnog podsloja.

Podsloj LLC zajednički je svim IEEE 802 mrežnim tehnologijama, te pruža jedinstvenu strukturu i sučelje mrežnom sloju. Zamišljen je kako bi se svim protokolima viših slojeva omogućio isti način korištenja bilo kojeg IEEE 802 LAN-a. Kako predstavlja sučelje LAN-a prema korisnicima LAN-a, kontrolni podaci LLC-a služe za njihovu identifikaciju. U tu je svrhu rezerviran jedan oktet za identifikaciju protokola višeg sloja pošiljatelja, te jedan oktet za identifikaciju protokola u odredištu. Ti se identifikatori nazivaju točka pristupa uslugama veze, LSAP. Osim toga, podsloj LLC služi i za kontrolu toka i postupak oporavka od pogrešaka, zbog čega sadrži kontrolno polje.

Podsloj MAC definira način na koji dvije ili više stanica dijele zajednički prijenosni medij, te omogućuje komutiranje paketa na osnovu mrežnih adresa pridjeljenih računalnim uređajima uključenim u LAN. Zbog toga kontrolni podaci MAC-a između ostalog sadrže adrese MAC-stanice odredišta i MAC-stanice izvorišta (slika 6). Proizvođači mrežnih kartica istima pri proizvodnji pridjeljuju jedinstvene 48-bitne MAC-adrese, zvane i hardverska adresa, koje služe za identifikaciju MAC-stanice u koju se mrežna kartica kasnije ugrađuje. Jedinstvenost MAC-adrese osigurava se tako što IEEE Registration Authority dodjeljuje zainteresiranim



## Legenda:

AUI (Attachment Unit Interface) - sučelje priključne jedinice (između promopredajnika i računalnog uređaja)

DTE (Data Terminal Equipment) - oprema računalnog uređaja koji je izvor ili odredište podataka

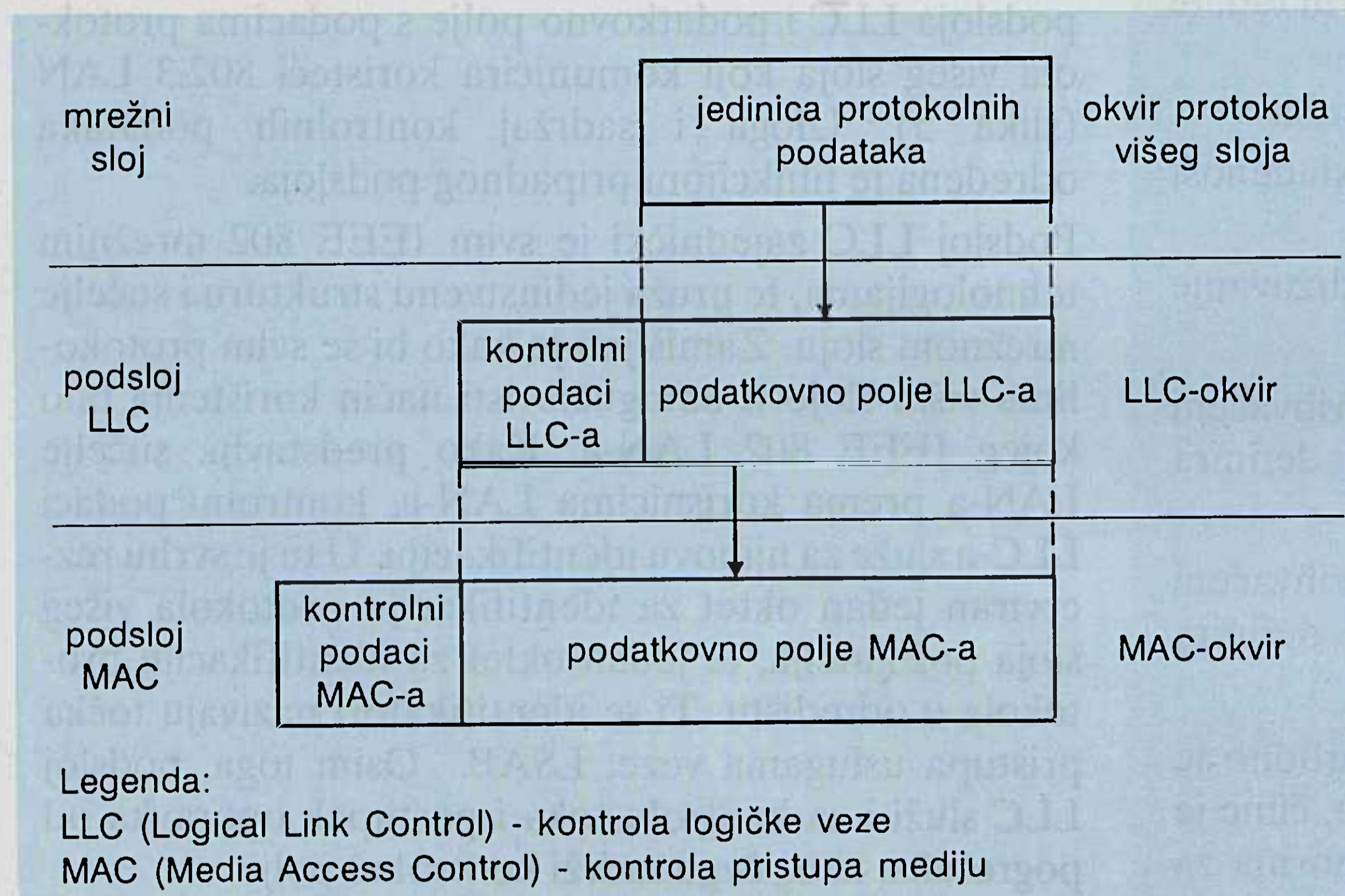
LAN (Local Area Network) - lokalna računalna mreža

MAU (Medium Attachment Unit) - jedinica za priključenje na medij

MDI (Medium Dependent Interface) - sučelje zavisno o mediju

OSI (Open Systems Interconnection) - povezivanje otvorenih sustava

Slika 4. Odnos slojeva IEEE 802.3 LAN-a prema OSI referentnom modelu



## Legenda:

LLC (Logical Link Control) - kontrola logičke veze

MAC (Media Access Control) - kontrola pristupa mediju

Slika 5. Struktura paketa IEEE 802.3 CSMA/CD LAN-a

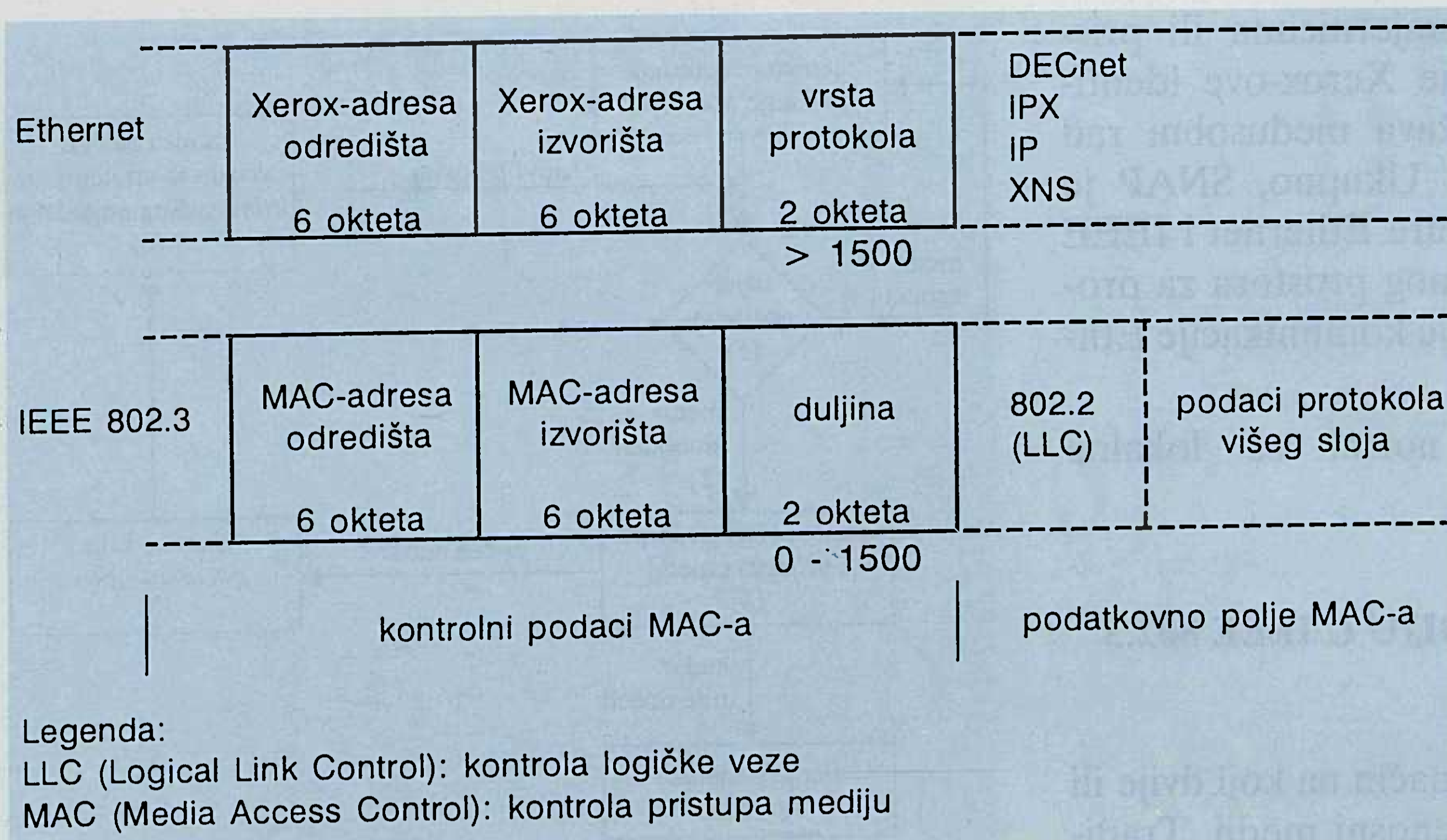
proizvođačima mrežnih kartica adresni prostor određujući im prvih 24 bita (jedinstveni identifikator organizacije [1], OUI) MAC-adrese, a sami proizvođači pridjeljuju preostala 24 bita. Dodjelom jednog OUI-a proizvođač raspolaže s više od 16 milijuna MAC-adresa ( $2^{24}$ ). Svaki od 6 okteta adrese prikazuje se s dvije heksadecimalne znamenke (npr. 00-60-67-0C-6B-8A). Osim za definiranje MAC-adresa, OUI se može koristiti i za identifikaciju protokola.

Iza MAC-adresa, kontrolno polje MAC-okvira sadrži polje u koje se upisuje duljina LLC okvira u oktetima (slika 6). Za razliku od IEEE 802.3 MAC-okvira, iza Xerox-adresa u Ethernet-okviru definiranom normom DIX nalazi se polje za identifikaciju protokola korisnika Ethernet-a (radi se o Xerox-ovoj identifikaciji). U Ethernet-okviru nije ni predviđeno polje za duljinu, jer su protokoli korisnici Etherneta (XNS, IPX, DECnet, IP) imali definirano vlastito polje za duljinu.

Radeći na definiranju obitelji međunarodnih normi za LAN-ove, u IEEE-u je ponekad zanemarena činjenica da je postojeća norma za Ethernet već u širokoj uporabi, te da će narednih godina tako i ostati. Pri definiranju podsloja

MAC, IEEE je vodio računa o pažljivom odvajanju starih (DIX) i novih pravila. Kako Xerox nije dodijelio identifikator protokola čija bi decimalna vrijednost bila manja od 1500, a IEEE je definirao da je najveća dozvoljena duljina LLC okvira 1500 okteta, razlikovanje Ethernet od IEEE 802.3 paketa moguće je na temelju vrijednosti upisane u zadnje kontrolno polje (slika 6). Međutim, pri definiranju norme za LLC (802.2) IEEE nije uzeo u obzir neizostavno prijelazno

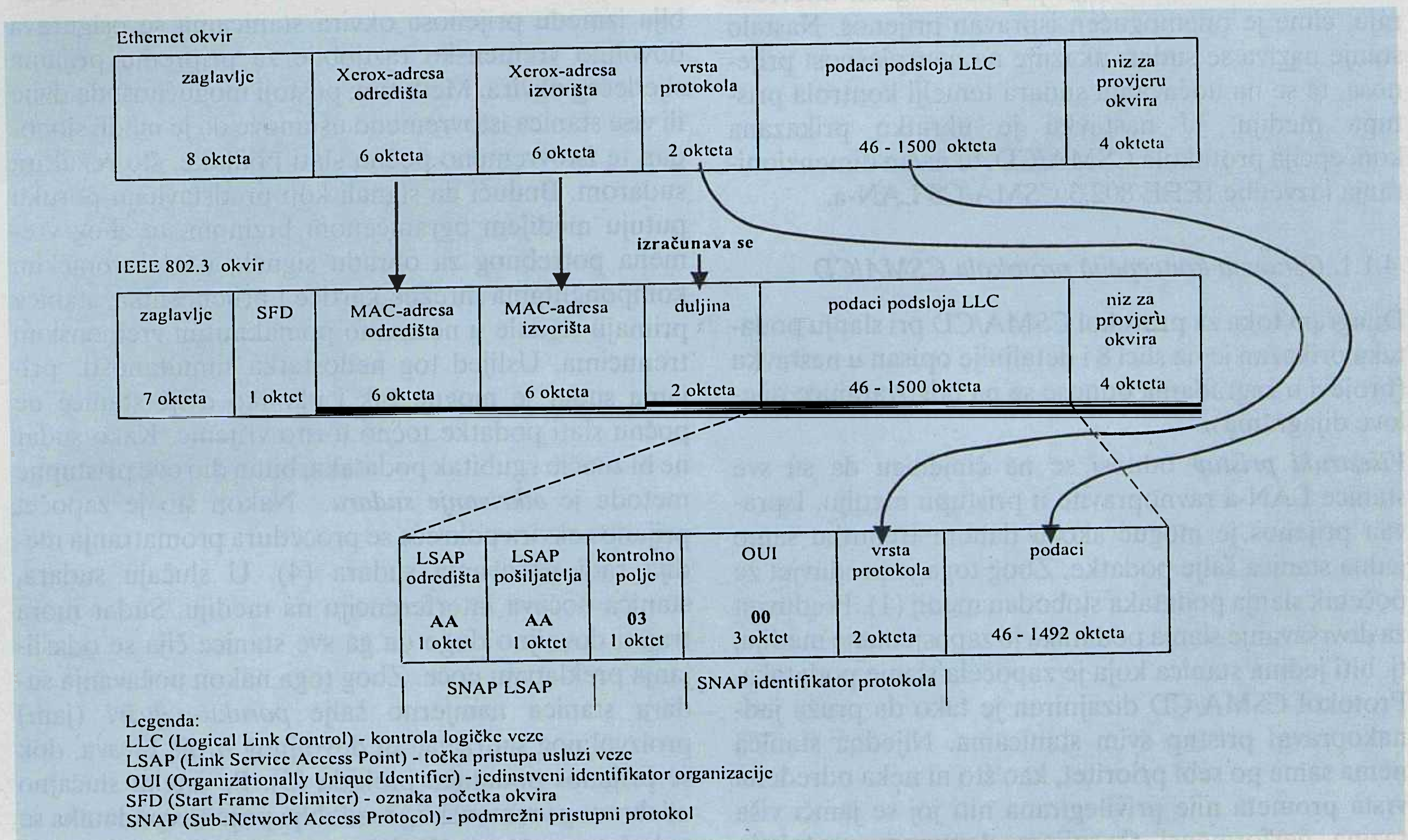




Slika 6. Razlika Ethernet i IEEE 802.3 okvira

razdoblje istovremenog postojanja Ethernet mreža prema normi DIX i IEEE 802.3 CSMA/CD mreža. U IEEE 802.3 paketu podataka iza kontrolnih podataka MAC-a slijede kontrolni podaci LLC-a, koji sadrže LSAP-adresu odredišta, LSAP-adresu pošiljatelja, te kontrolno polje. Kako je za LSAP adrese predviđen po jedan oktet, to polje ne može biti zamjena za Ethernet-ovo polje "vrsta protokola". Za prijelazno razdoblje postojanja obje vrste mreže bilo je potrebno osigurati obradu Ethernet i IEEE 802.3 okvira u istoj mreži, kao i omogućiti komunikaciju Ethernet i IEEE 802.3 stanica iz različitih mreža nezavisno o protokolima višeg sloja koji ih koriste. Uz to za jednu otvorenu

normu predviđenu za široku uporabu, jednooktetni adresni prostor za protokole viših slojeva koji omogućuje razlikovanje samo 256 protokola, nije dostatno rješenje. Uočivši te propuste, IEEE ih je odlučio istovremeno riješiti, rezultat čega je definicija pod mrežnog pristupnog protokola, SNAP. LSAP adresa pridijeljena protokolu SNAP je 0xAA, a vrijednost za kontrolno polje je 0x03 (označava ne-vezno-orijentiranu uslugu). Za prijenos identifikatora protokola SNAP koristi prvih 5 okteta podatkovnog polja LLC-okvira. Time je adresni prostor za protokole viših slojeva povećan s 8-bitne LSAP vrijednosti kontrolnog polja LLC-a na 40-bitnu vrijednost. Identifikatori protokola definiraju se na isti način kao i MAC-adrese: prvih 24 bita (3 okteta) odgovara jedinstvenom identifikatoru organizacije, OUI, dok proizvođači protokola određuju preostalih 16 bitova (2 okteta). Poseban slučaj je identifikator protokola kod kojeg je vrijednost u prva tri okteta nula. Tada zadnja dva okteta identifikatora protokola odgovaraju Xerox-ovom identifikatoru protokola (polju "vrsta protokola" u Ethernet-okviru). Time je osigurano jednostavno preslikavanje Ethernet okvira u IEEE 802.3 okvire i obrnuto (slika 7). Isto se obavlja u



Slika 7. Preslikavanje Ethernet i IEEE 802.3 okvira

translacijskim prenosnicima, usmjernicima ili pristupnicima. Omogućivši korištenje Xerox-ove identifikacije protokola, SNAP podržava međusobni rad IEEE 802.3 i Ethernet stanica. Ukupno, SNAP je rješenje za nepodudaranje strukture Ethernet i IEEE 802.3 okvira, pomanjkanje adresnog prostora za protokole viših slojeva, te osiguravanje komunikacije Ethernet i IEEE 802.3 mreža.

Pregledni prikaz IEEE-ovih normi za lokalne računalne mreže dan je u [16].

#### 4. KONTROLA PRISTUPA MEDIJU U IEEE 802.3 LAN-u

Metoda pristupa mediju definira način na koji dvije ili više stanica dijele zajednički prijenosni medij. Tradicionalni oblik IEEE 802.3 LAN-a je poludvosmjerni (half-duplex) način rada koji koristi pristupni protokol CSMA/CD. Izdavanjem norme IEEE 802.3x definiran je i puni-dvosmjerni (full duplex) način rada IEEE 802.3 LAN-a koji zaobilazi CSMA/CD protokol.

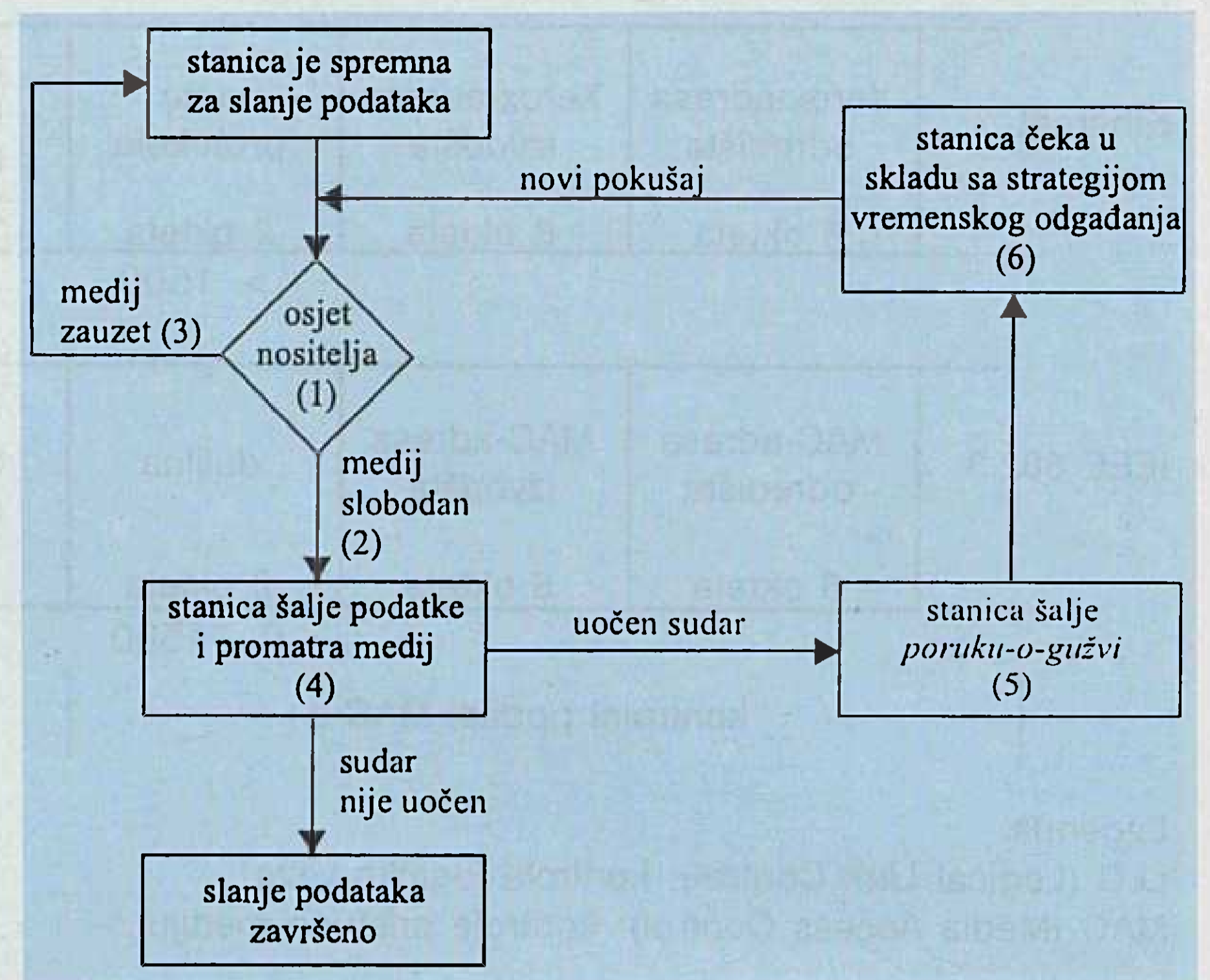
##### 4.1. Poludvosmjerni način rada IEEE 802.3 LAN-a

U svrhu prijenosa paketa podataka MAC-stanica (u daljem tekstu "stanica") šalje odgovarajući signal na slobodan prijenosni medij. Signal dopijeva do svih MAC-stanica (broadcast). Kako su paketi adresirani, zna se kojoj su MAC-stanici namijenjeni, te samo ta stanica prima i obrađuje signal. Ukoliko dođe do vremenskog preklapanja prijenosa dviju ili više MAC-stanica na fizičkom mediju pripadni signali interferiraju, čime je onemogućen ispravan prijenos. Nastalo stanje naziva se sudar, ukazuje na neuspješnost prijenosa, te se na uočavanju sudara temelji kontrola pristupa mediju. U nastavku je ukratko prikazana koncepcija protokola CSMA/CD, te način dimenzioniranja i izvedbe IEEE 802.3 CSMA/CS LAN-a.

##### 4.1.1. Osnovna koncepcija protokola CSMA/CD

Dijagram toka za protokol CSMA/CD pri slanju podataka prikazan je na slici 8 i detaljnije opisan u nastavku (brojevi u zagradama odnose se na odgovarajuće dijelove dijagrama).

**Višestruki pristup** odnosi se na činjenicu da su sve stanice LAN-a ravnopravne u pristupu mediju. Ispravan prijenos je moguć ako u danom trenutku samo jedna stanica šalje podatke. Zbog toga je preduvjet za početak slanja podataka slobodan medij (1). Preduvjet za dovršavanje slanja podataka je zaposjedanje medija, tj. biti jedina stanica koja je započela slanje podataka. Protokol CSMA/CD dizajniran je tako da pruža jednakopravni pristup svim stanicama. Nijedna stanica nema sama po sebi prioritet, kao što ni neka određena vrsta prometa nije privilegirana niti joj se jamči viša razina performansi (kasnijom dopunom protokola omogućeno je označavanje prioriteta prometa).



Slika 8. Dijagram toka protokola CSMA/CD pri slanju podataka

**Osjet nositelja** odnosi se na činjenicu da je svaka stanica IEEE 802.3 LAN-a sposobna uočiti je li u tijeku prijenos podataka druge stanice iste mreže (2)(3). Stanice neprestano prate stanje na mediju, s jedne strane da uoče i pokrenu prijam i dekodiranje podataka koje šalje neka druga stanica, s druge da odgode slanje svojih podataka za vrijeme dok druga stanica šalje. Ako je medij slobodan, slanje podataka se i dalje odgađa do proteka vremena dostatnog da svi podslojevi MAC u sustavu uoče kraj prijenosa posljednjeg okvira (varijabla interFrame Gap - *vremenski-razmak-između-okvira*). Definiranjem minimalnog slobodnog razdoblja između prijenosa okvira stanicama se osigurava dovoljno vremensko razdoblje za pripremu prijama sljedećeg okvira. Međutim, postoji mogućnost da dvije ili više stanica istovremeno ustanove da je medij slobodan te istovremeno počnu slati podatke, što rezultira sudarom. Budući da signali koji predstavljaju poruku putuju medijem ograničenom brzinom, te zbog vremena potrebnog za obradu signala u elektroničkim komponentama mrežne kartice i prijenosnika, stanice primaju signale u neznatno pomaknutim vremenskim trenucima. Uslijed tog nedostatka simultanosti prijama sudar je moguć čak i ukoliko dvije stanice ne počnu slati podatke točno u isto vrijeme. Kako sudar ne bi značio i gubitak podataka, bitan dio ove pristupne metode je **otkrivanje sudara**. Nakon što je započet prijenos okvira pokreće se procedura promatranja medija radi uočavanja sudara (4). U slučaju sudara, stanica uočava interferenciju na mediju. Sudar mora trajati dovoljno dugo da ga sve stanice čija se odašiljanja preklapaju uoče. Zbog toga nakon uočavanja sudara stanica namjerno šalje *poruku-o-gužvi* (jam) proizvoljnog sadržaja, ali dovoljnog broja bitova, dok se prijenos podataka prekida (5). Po isteku slučajno odabranog vremenskog razdoblja prijenos podataka se pokušava ponovno (6), čime se značajno povećava iskoristivost sustava.

Odabir termina "sudar" nije baš najspretniji, jer u svakodnevnom životu sudar predstavlja neželjen događaj koji se nastoji izbjeći. Međutim, u IEEE 802.3 LAN-u sudar je jednostavno metoda kontroliranja pristupa zajedničkom mediju za skupinu korisnika koji istim medijem šalju podatke. Princip rukovanja sudarima najlakše je razumjeti opisujući najbolji i najgori slučaj.

Najbolji slučaj prijenosa je slanje i prijam podataka bez sudara, tj. zaposjedanje medija u prvom pokušaju. Podsloj LLC zahtijeva od podsloja MAC-prijenos podataka. Podsloj MAC formira okvir, provjerava da li je medij slobodan, ukoliko je slobodan predaje fizičkom sloju podatke u obliku slijeda bitova i pokreće proceduru promatranja medija radi otkrivanja sudara. Fizički sloj generira električne signale koji predstavljaju bitove okvira i šalje ih na medij. Istovremeno prati medij radi otkrivanja sudara. Ovaj pokušaj slanja možemo smatrati pregovaranjem o zaposjedanju medija koje uspijeva ako ne dođe do sudara, a uspješno pregovaranje ujedno uključuje i sam prijenos podataka. Fizički sloj svake stanice do koje signal stiže uočava aktivnost na mediju, mijenja stanje varijable *carrierSense* (osjet nositelja) na *True*, prima signale, sinkronizira se sa zaglavljem okvira, dekodira signale te dobivene binarne podatke šalje podsloju MAC na obradu. Podsloj MAC uspoređuje *MAC-adresu odredišta* u pristiglom okviru s vlastitom adresom, te ukoliko je okvir namijenjen toj stanici prima podatke i provjerava da li je došlo do pogrešaka u prijenosu.

Za pristupnu metodu CSMA/CD najgori slučaj je ako stanica na kraju sustava počne slati podatke. Električni signal putuje medijem i upravo trenutak prije no što stigne do najudaljenijeg kraja sustava, stanica na tom kraju također počinje slati podatke. Dolazi do sudara (slika 9). Druga stanica uočava sudar odmah, međutim prva stanica ga neće uočiti sve dok signal sudara ne proputuje cijeli put natrag do početnog kraja sustava.

Vrijeme potrebno za prostiranje signala s jednog kraja sustava na drugi i natrag naziva se *vrijeme-kružnog-prostiranja* (round-trip propagation time).

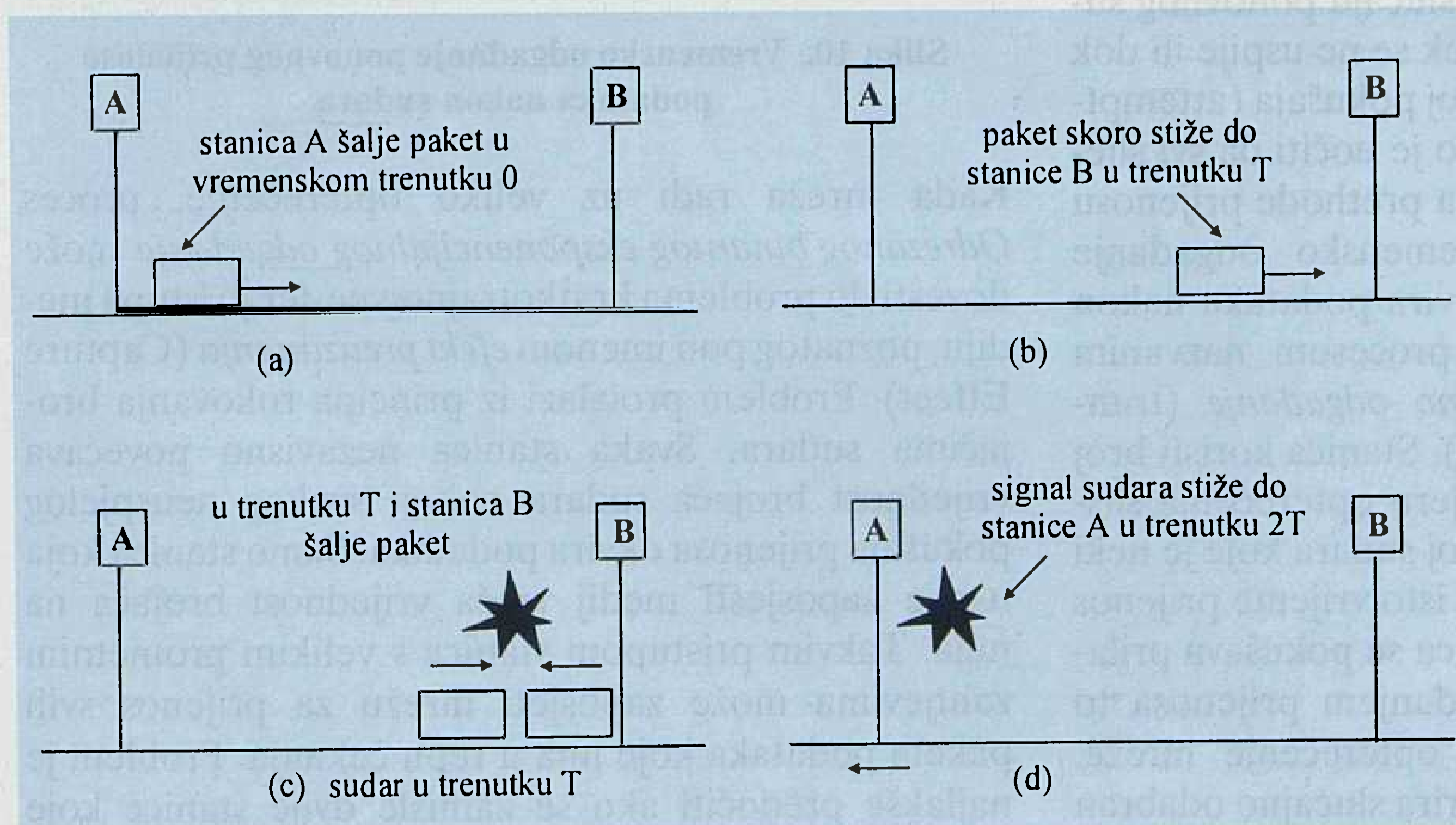
#### 4.1.2. Dizajn IEEE 802.3 CSMA/CD LAN-a

Za ispravan i djelotvoran rad IEEE 802.3 LAN-a sudar treba otkriti prije odašiljanja cijelog okvira, a nepotpune okvire koji su rezultat sudara treba prepoznati radi njihovog odbacivanja. Također, potrebno je pažljivo definirati princip ponovnog slanja podataka nakon sudara.

- otkrivanje sudara prije odašiljanja cijelog okvira

Stanica može uočiti sudar tijekom početnog dijela prijenosa prije no što je prenošeni signal dospio do svih stanica tog CSMA/CD medija. Pri ispravnom funkcioniranju sustava do sudara ne može doći nakon što signal stigne do svake stanice u CSMA/CD sustavu, jer je tada u svim stanicama postavljena varijabla *carrierSense* što odgađa slanje podataka. Ukoliko protekne vrijeme potrebno da prenošeni signal dopiše do svih stanica, a do sudara ne dođe, kaže se da je stanica zaposjela (acquired) medij. Stanica koja šalje znat će da je pregovaranje o zaposjedanju medija uspješno završeno, tj. da nije došlo do sudara, u najgorem slučaju tek po isteku *vremena-kružnog-prostiranja*. Kako je potrebno konačno vrijeme da bi početak signala poruke stanice A stigao do stanice B, stanica B može uzrokovati sudar ako počne slati podatke u bilo kojem trenutku nakon što je to učinila stanica A, a prije no što je početak signala podataka stanice A stigao do stanice B. Ukoliko su stanice A i B dvije najudaljenije stanice CSMA/CD sustava, vrijeme potrebno signalu da stigne od stanice A do B i natrag ( $2T$  na slici 9d) je maksimalno dozvoljeno *vrijeme-kružnog-prostiranja*. Bitno je da do proteka tog vremenskog razdoblja stanica A nije poslala sve bitove okvira, tj. da je zaposjedanje medija izvjesno prije no što je cijeli okvir poslan. Stanica šalje podatke definiranom brzinom

ovisno o implementaciji, što znači da se bitovi odašilju u redovitim vremenskim razmacima nazvanim *trajanje-bita* (bit time). Podsloj MAC mjeri vrijeme u jedinici *trajanje-bita*. Za 10 Mb/s-implimentacije, *trajanje-bita* iznosi 100 ns, što znači da se sljedeći bit šalje 100 ns nakon prethodnog. Po proteku maksimalnog dozvoljenog *vremena-kružnog-prostiranja* stanica uspije poslati određen broj bitova. Da bi zaposjedanje medija bilo izvjesno prije no što je cijeli okvir poslan, okvir mora sadržavati više bitova no što



Slika 9. Otkrivanje sudara (najgori slučaj)

se može poslati do protoka maksimalno dozvoljenog vremena-kružnog-prostiranja. Otkrivanje sudara prije odašiljanja cijelog okvira postiže se definiranjem najmanje dozvoljene duljine okvira i najvećeg dozvoljenog vremena-kružnog prostiranja (uzajamno zavisne veličine). Prije je rečeno da se radi osiguranja uočavanja sudara po njegovom otkrivanju šalje još i poruka-o-gužvi. Prema tome, najmanja dozvoljena duljina okvira određena je najdužim dozvoljenim vremenom-kružnog-prostiranja i duljinom poruke-o-gužvi. Pripadno vrijeme naziva se vrijeme-slota (slot time).

Ovdje treba uočiti da se radi o kompromisnom rješenju. Radi djelotvornosti sustava nije dobro da je najmanji dozvoljeni paket prevelik, što uvjetuje kraće vrijeme-kružnog prostiranja. S druge strane, kraće vrijeme-kružnog-prostiranja znači manji fizički raspon LAN-a. IEEE 802.3 CSMA/CD sustav dimenzioniran je definiranjem najmanje dozvoljene duljine paketa 512 bita [3], dok vrijeme-kružnog-prostiranja zavisi o izvedbi.

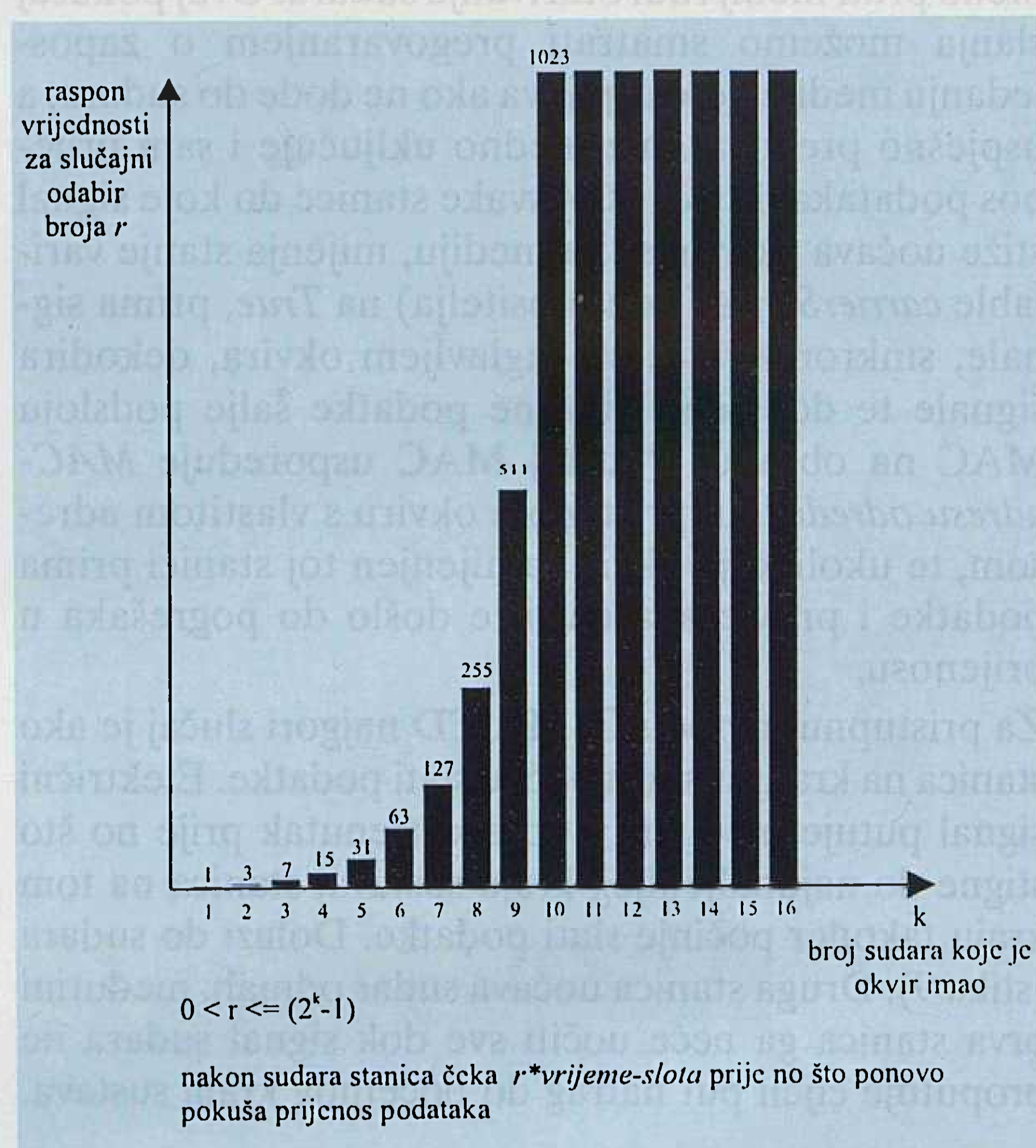
- prepoznavanje i odbacivanje nepotpunih okvira koji su rezultat sudara

Po prijemu okvira vrši se uspoređivanje duljine okvira s najmanjom dozvoljenom duljinom okvira. Za kraći paket smatra se da je rezultat sudara, te se odbacuje. Kako je pojava sudara način upravljanja pristupom mediju u CSMA/CD sustavu, odbacivanje prekratkih paketa ne smatra se greškom te se o tome podsloj LLC ne izvješćuje.

- princip ponovnog slanja podataka nakon sudara

Nakon sudara prijenos se prekida da bi se ponovno pokušao tek po isteku pseudo-slučajno odabranog vremenskog razdoblja. "Pseudo" se odnosi na činjenicu da se vrijeme odabire slučajno, ali iz definiranog intervala, koji je to veći, što je više pokušaja rezultiralo neuspjehom (sudarom). Na taj način osigurana je mala vjerojatnost odabira jednakog vremena odgađanja, to manja što je zagušenje u mreži veće. U slučaju ponovnog sudara, postupak se ponavlja sve dok se ne uspije ili dok se ne izvede najveći dozvoljeni broj pokušaja (attempt-Limit) i svi završe sudarom. Bitno je uočiti da svi sljedeći pokušaji slanja danog paketa prethode prijenosu bilo kojeg novog paketa. Vremensko odgađanje ponovnog pokušaja prijenosa okvira podataka nakon sudara određeno je slučajnim procesom nazvanim *Odrezano binarno eksponencijalno odgađanje* (truncated binary exponential backoff). Stanica koristi broj sudara određenog okvira kao mjeru opterećenja sustava na sljedeći način: ako je  $k$  broj sudara koje je neki okvir imao, pretpostavlja se da u isto vrijeme prijenos pokušava još  $(2^k - 1)$  stanica. Stanica se pokušava prilagoditi opterećenju medija odgađanjem prijenosa to više, što se većim procjenjuje opterećenje mreže. Nakon sudara svaka stanica generira slučajno odabran broj  $r$  iz definiranog raspona vrijednosti, te čeka  $r \cdot \text{vrijeme-slota}$  prije no što ponovno pokuša prijenos

podataka. Raspon vrijednosti se eksponencijalno povećava nakon svakog sudara, a iznosi od 0 do  $(2^k - 1)$ , gdje je  $k$  broj sudara (slika 10). Za više od 9 sudara pretpostavlja se da na prijenos pretendira još 1023 stanica, a nakon 16 sudara okvir se odbacuje i detektira se greška *excessiveCollisionError*. U tom slučaju uočavanje gubitka paketa i iniciranje ponovnog pokušaja prijenosa prelazi u nadležnost aplikacije koja koristi IEEE 802.3 LAN. Kako bi se izbjegli uzastopni sudari, svaka stanica nakon sudara treba čekati različito slučajno vrijeme prije no što ponovno pošalje poruku na mrežu. Zbog toga, algoritmi koji se koriste za odabir cijelog broja  $r$  trebaju biti tako dizajnirani da se smanji veza između brojeva koje generiraju bilo koje dvije stanice u određenom trenutku. Na ovaj se način povećava sveukupna propusnost, učinkovitost i održava fer-pristup.



Slika 10. Vremensko odgađanje ponovnog prijenosa podataka nakon sudara

Kada mreža radi uz veliko opterećenje, proces *Odrezanog binarnog eksponencijalnog odgađanja* može dovesti do problema kratkotrajnog ne-fer pristupa mediju, poznatog pod imenom *efekt preuzimanja* (Capture Effect). Problem proizlazi iz principa rukovanja brojačima sudara. Svaka stanica nezavisno povećava vrijednost brojača sudara nakon svakog neuspjelog pokušaja prijenosa okvira podataka. Samo stanica koja uspije zaposjesti medij vraća vrijednost brojača na nula. Takvim pristupom stanica s velikim prometnim zahtjevima može zaposjesti mrežu za prijenos svih paketa podataka koje ima u repu čekanja. Problem je najlakše predočiti ako se zamisle dvije stanice koje imaju dosta podataka za slanje i mogu slati podatke brzinom koju medij omogućuje. Prikaz i objašnjenje

scenarija *efekta preuzimanja* dan je na slici 11. Scenarij se ponavlja sve dok stanica A ima okvir za slanje ili dok ne prođe 16 neuspješnih pokušaja stanice B da pošalje podatke. Nakon 16 uzastopnih neuspjelih pokušaja, stanica B vraća brojač sudara na nulu što joj omogućuje puno veću vjerojatnost zaposjedanja medija pri sljedećem nadmetanju. Istovremeno odbacuje okvir koji je 16 puta neuspješno pokušavala prenijeti, što zahtijeva od aplikacije na stanici B da ga ponovno uvrsti u rep čekanja za prijenos. Kako problem proizlazi iz definicije procesa vremenskog odgađanja, njegovo cjelovito rješenje tražilo bi definiciju novog procesa. S tim zadatkom IEEE je 1995. godine formirao radnu grupu 802.3w. Obećavajućim se pokazao algoritam *Metoda binarnog logaritamskog nadmetanja* (BLAM, Binary Logarithmic Arbitration Method). Simulacijski rezultati ukazivali su da ta metoda nudi poboljšanje u odnosu na *Odrezano binarno eksponencijalno odgađanje*. Međutim, rad na dodavanju algoritma BLAM normi IEEE 802.3 do danas nije završen, jer je pozornost prebačena na definiranje punog dvosmjernog IEEE 802.3 LAN-a, čime je pao interes za ulaganja u poludvosmjerno sklopovlje.

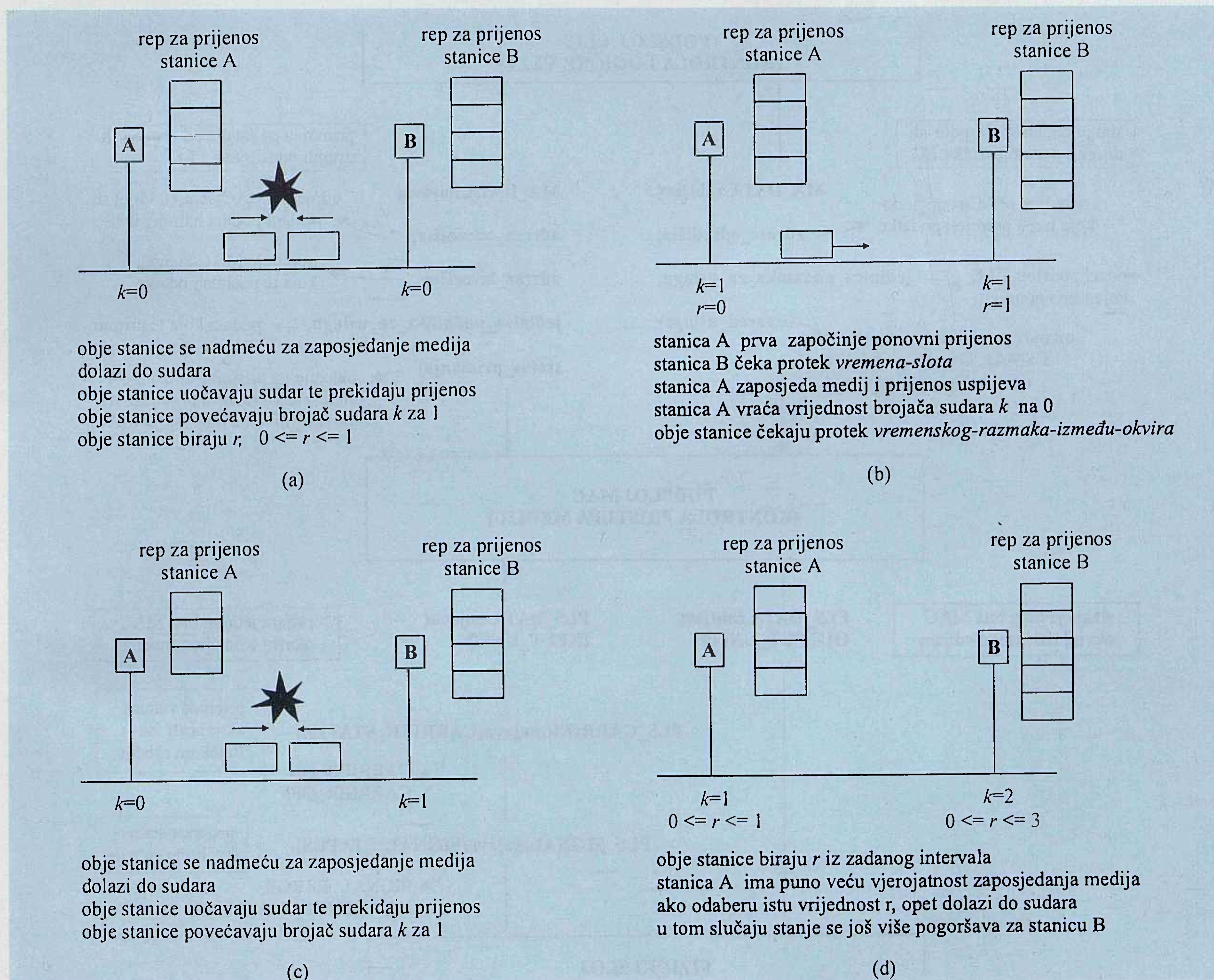
Dizajn LAN-a temeljnog na pristupnoj metodi CSMA/CD određuje se vrijednostima parametara navedenih u tablici 1. U tablici su dane konkretne vrijednosti parametara za izvedbe brzine 10 Mb/s na koaksijalnom kabelu u osnovnom pojasu.

#### 4.1.3 Izvedba poludvosmjernog IEEE 802.3 LAN-a

IEEE 802.3 LAN, tj. njegov podsloj MAC pruža dvije usluge podsloju LLC uz osiguravanje statusnih podataka potrebnih procedurama viših slojeva za oporavak od grešaka:

- slanje podataka drugom ili drugim podslojevima LLC, te
- primanje podataka od drugog ili drugih podslojeva LLC.

U obavljanju svojih funkcija podsloj MAC koristi usluge fizičkog sloja, koji mu omogućuje razmjenu podataka MAC okvira s drugim podslojevima MAC. Kako bi pružio tražene usluge, fizički sloj obavlja prijam bita s fizičkog medija, slanje bita na fizički medij, te odgađanje slanja za specificirani broj *trajanja-bitu* u



Slika 11. Scenarij efekta preuzimanja (Capture Effect)

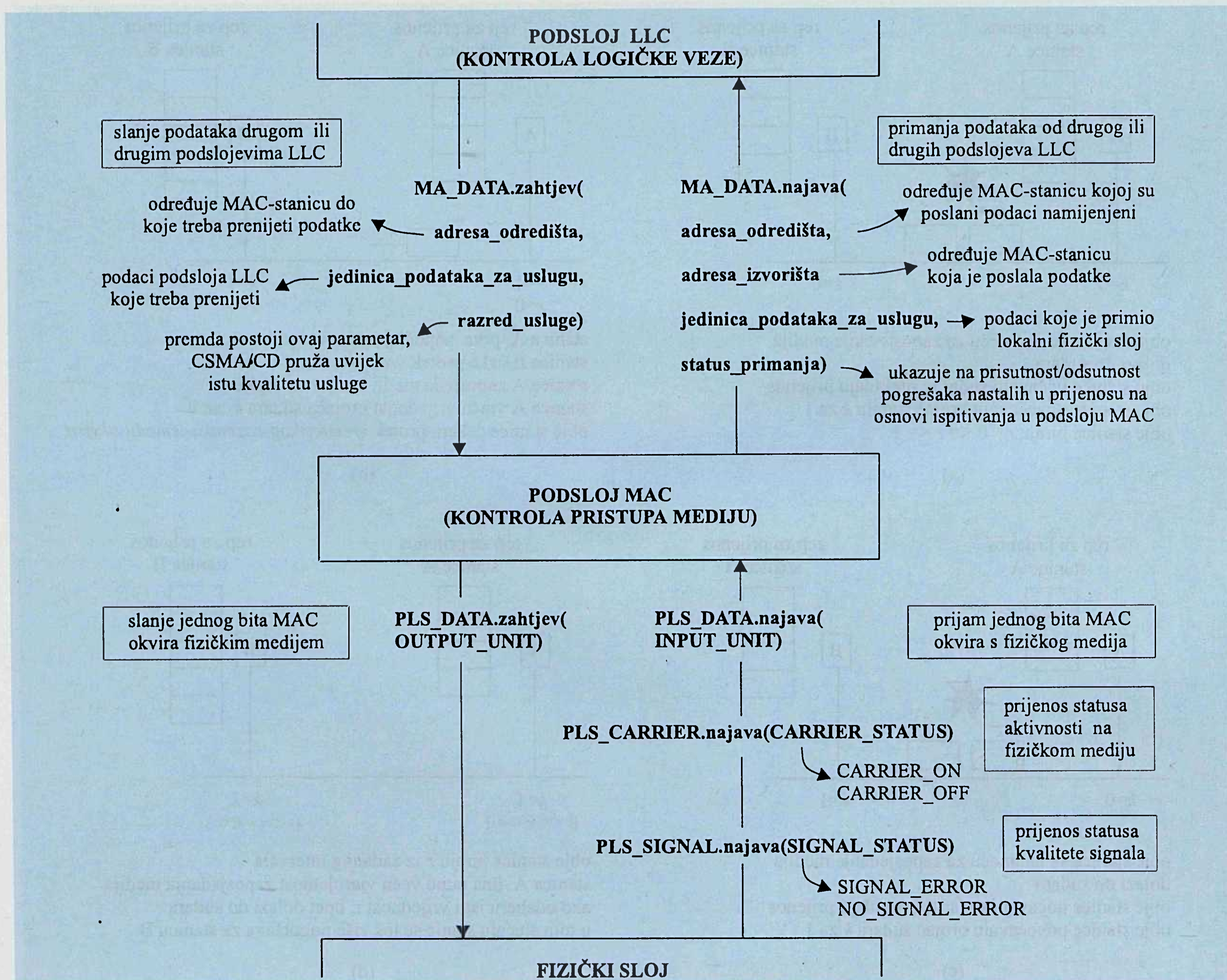
Tablica 1. Parametri dizajna IEEE 802.3 LAN-a

Parametar	Prijevod parametra	Objašnjenje parametra	Vrijednost parametra *
slotTime	vrijeme-slota	vremenska jedinica za rukovanje sudarima	512 trajanja-bita
interFrame Gap	vremenski-razmak -između-okvira	najkraći vremenski razmak između prijenosa okvira - najkraće trajanje tišine na mediju	$9,6 * 10^{-6}$ s
attemptLimit	granični-broj-pokušaja	najveći dozvoljeni broj pokušaja ponovnog prijenosa danog okvira nakon pojave sudara	16
backoffLimit	granica-odgađanja	najveći dozvoljeni broj povećavanja vremenskog intervala za odgađanje pokušaja ponovnog prijenosa	10
jamSize	veličina-poruke-o-gužvi	duljina poruke-o-gužvi dostatna za osiguranje da će sve stanice koje šalju podatke uočiti interferenciju na mediju, tj. sudar	32 bita
maxFrameSize	najveća-duljina-okvira	najveća dozvoljena duljina okvira	1518 okteta
minFrameSize	najmanja-duljina-okvira	najmanja dozvoljena duljina okvira	512 bitova (64 okteta)
addressSize	duljina-adrese	duljina izvorišne i odredišne adrese: moguće vrijednosti su 16 i 48	48 bitova

\* za 10 Mb/s implementacije na koaksijalnom kabelu u osnovnom pojasu

svrhu kontrole pristupa mediju. Usluge koje pojedini sloj OSI RM-a pruža sloju iznad definiraju se opisom primitiva za uslugu i pripadnih parametara. Primitiv predstavlja apstraktnu specifikaciju funkcija i međud-

jelovanja korisnika i davatelja usluge neovisno o pojedinoj implementaciji. Na slici 12 prikazani su primitivi kojima su definirane usluge fizičkog sloja podsloju MAC, te usluge podsloja MAC podsloju LLC.



Slika 12. Primitivi za usluge fizičkog sloja i podsloja MAC

Podsloj LLC zahtijeva slanje podataka primitivom `MA_DATA.zahtjev`. Kod slanja podataka primitiv `PLS_DATA.najava` primaju podslojevi MAC svih stanica iste domene IEEE 802.3 LAN-a, ali pripadni primitiv `MA_DATA.najava` prima samo podsloj LLC one stanice čija MAC adresa odgovara *MAC-adresi odredišta* primljenog MAC-okvira. `PLS_DATA` primitivi fizičkog sloja osiguravaju prijenos jednog bita podataka između podslojeva MAC (parametri `OUTPUT_UNIT` i `INPUT_UNIT` predstavljaju jedan bit). Po prijemu primitiva `PLS_DATA.zahtjev`, fizički sloj vrši kodiranje bita i slanje signala na medij (ili prekida slanje), a po prijemu signala s fizičkog medija vrši dekodiranje, te šalje podsloju MAC primitiv `PLS_DATA.najava`. Druga dva `PLS`-primitiva pružaju lokalnom podsloju MAC informacije potrebne za kontrolu pristupa mediju, te ih fizički sloj generira uvijek kad dođe do promjene statusa zauzetosti medija, odnosno kvalitete signala.

Mogući zadaci podsloja MAC tijekom slanja podataka prikazani su na slici 13. Na uspješan prijenos okvira podataka ukazuje se statusom *transmitOK*. U najgorem slučaju, prijenos je uspio u 16. pokušaju. Ako prijenos ne uspije u 16. pokušaju, od istog se odustaje uz status *excessiveCollisionError*.

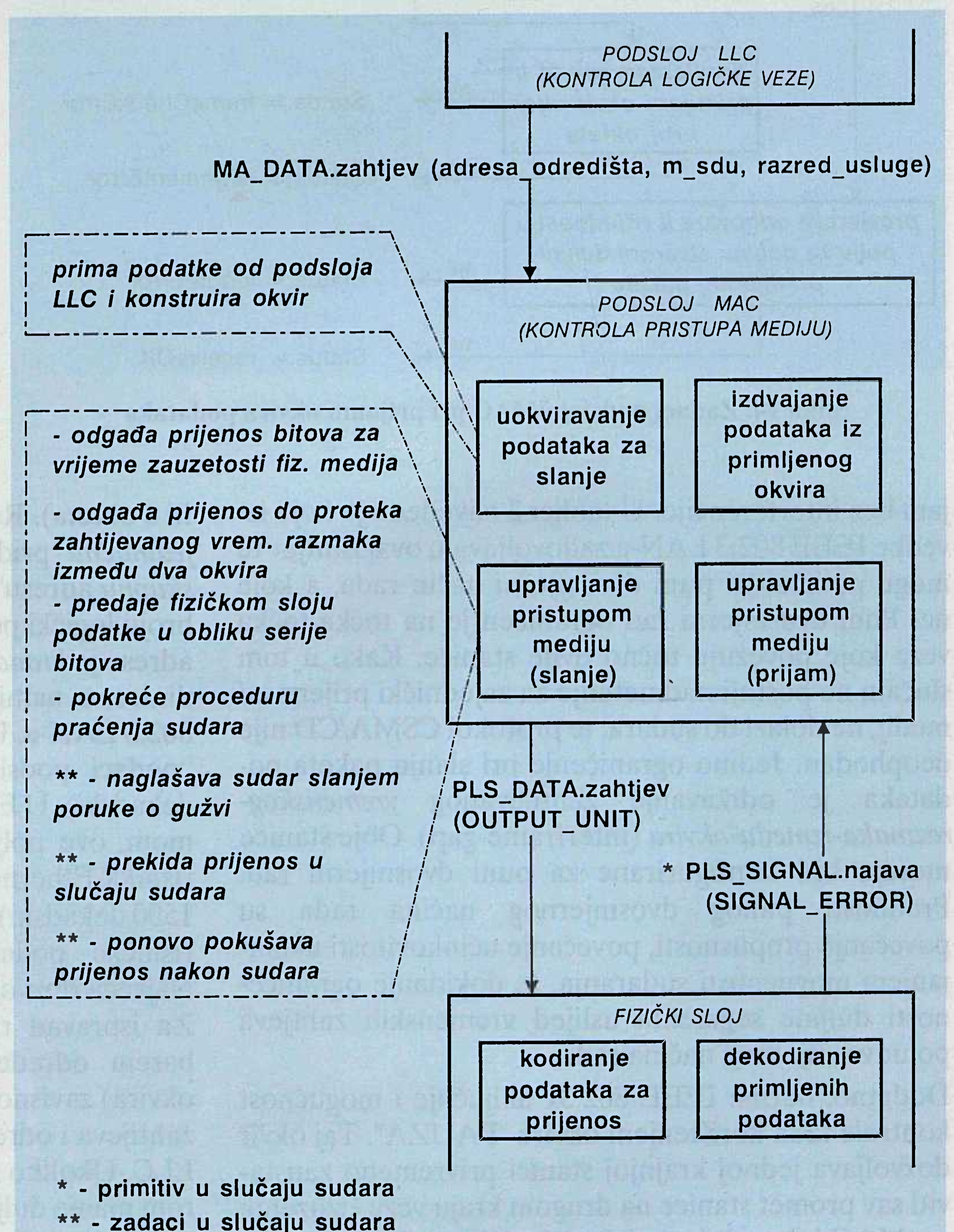
Tijekom slanja podataka podsloj MAC predaje jedan po jedan bit MAC okvira fizičkom sloju. Prije slanja prvog bita okvira, podsloj MAC postavlja varijablu *transmitting* na *True*, čime obavještava fizički sloj o početku slanja bitova okvira. Po slanju posljednjeg bita okvira, podsloj MAC postavlja varijablu *transmitting* na *False*, obavještavajući time fizički sloj o kraju okvira. Cijelo vrijeme trajanja slanja podataka podsloj MAC prati stanje varijable *collisionDetect* koju fizički sloj postavlja na *True* ukoliko uoči sudar na mediju.

Tijekom prijama podataka podsloj MAC prima jedan po jedan bit okvira od fizičkog sloja. Prije slanja prvog bita okvira, fizički sloj postavlja varijablu *carrierSense* na *True*, čime obavještava podsloj MAC o aktivnosti na fizičkom mediju (početku slanja bitova okvira). Po slanju posljednjeg bita okvira, fizički sloj postavlja varijablu *carrierSense* na *False*, obavještavajući time podsloj MAC da je primljen cijeli okvir, te podsloj MAC može početi obradu. Na osnovi ispitivanja primljenih podataka, podsloj MAC otkriva moguće pogreške nastale tijekom prijema okvira fizičkim medijem, o čemu izvješćuje podsloj LLC parametrom *status pri-*

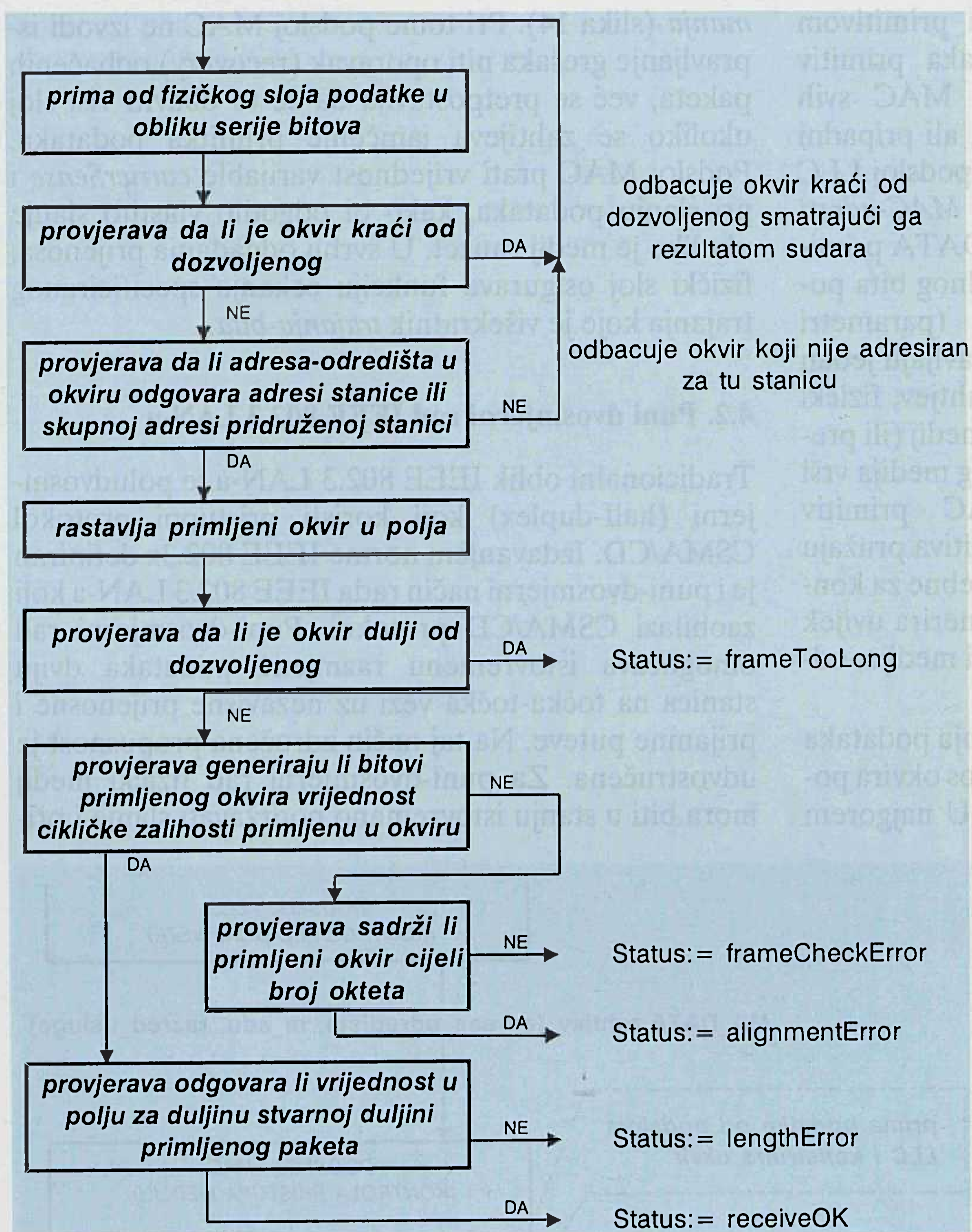
*manja* (slika 14). Pri tome podsloj MAC ne izvodi ispravljanje grešaka niti oporavak (recovery) odbačenih paketa, već se pretpostavlja da će to obaviti viši sloj ukoliko se zahtijeva jamčenje primitka podataka. Podsloj MAC prati vrijednost varijable *carrierSense* i pri slanju podataka, kako bi odgodio vlastito slanje ukoliko je medij zauzet. U svrhu odgađanja prijensa, fizički sloj osigurava funkciju čekanja specificiranog trajanja koje je višekratnik *trajanja-bita*.

#### 4.2. Puni dvosmjerni rad IEEE 802.3 LAN-a

Tradicionalni oblik IEEE 802.3 LAN-a je poludvosmjerni (half-duplex) koji koristi pristupni protokol CSMA/CD. Izdavanjem norme IEEE 802.3x definiran je i puni-dvosmjerni način rada IEEE 802.3 LAN-a koji zaobilazi CSMA/CD protokol. Puni-dvosmjerni rad omogućava istovremenu razmjenu podataka dviju stanica na točka-točka vezi uz nezavisne prijenosne i prijамne puteve. Na taj način združena propusnost je udvostručena. Za puni-dvosmjerni rad fizički medij mora biti u stanju istovremeno podržavati slanje i pri-



Slika 13. Kontrola pristupa mediju pri slanju podataka



Slika 14. Zadaci podsloja MAC pri prijemu okvira podataka

jam bez interferencije. U tablici 2 navedeno je koje izvedbe IEEE 802.3 LAN-a zadovoljavaju ovaj zahtjev te mogu podržavati puni dvosmjerni način rada, a koje ne. Puni dvosmjerni rad ograničen je na točka-točka veze koje povezuju točno dvije stanice. Kako u tom slučaju ne postoji nadmetanje za zajednički prijenosni medij, ne dolazi do sudara, te protokol CSMA/CD nije neophodan. Jedino ograničenje pri slanju paketa podataka je održavanje zahtijevanog vremenskog-razmaka-između-okvira (interframe-gap). Obje stanice moraju biti konfigurirane za puni dvosmjerni rad. Prednosti punog dvosmjernog načina rada su povećanje propusnosti, povećanje učinkovitosti uklanjanjem mogućnosti sudaranja, te dokidanje ograničenosti duljine segmenta uslijed vremenskih zahtjeva poludvosmjernog načina rada.

Dodatno, norma IEEE 802.3x uključuje i mogućnost kontrole toka korištenjem okvira "PAUZA". Taj okvir dozvoljava jednoj krajnjoj stanici privremeno zaustaviti sav promet stanice na drugom kraju veze (izuzetak su MAC-kontrolni okviri). Mogućnost je korisna u slučaju zagušenja, npr. kad u spremniku stanice više

nema mjesta za prijam dodatnih paketa podataka. Uporaba okvira "PAUZA" je dvosmjerna, a moguće ga je koristiti i u stanju zaustavljenosti. Primitkom okvira "PAUZA", stanica zaustavlja daljnje slanje paketa podataka do protoka okvirom specificiranog vremenskog razdoblja.

## 5. STRUKTURA IEEE 802.3 MAC OKVIRA

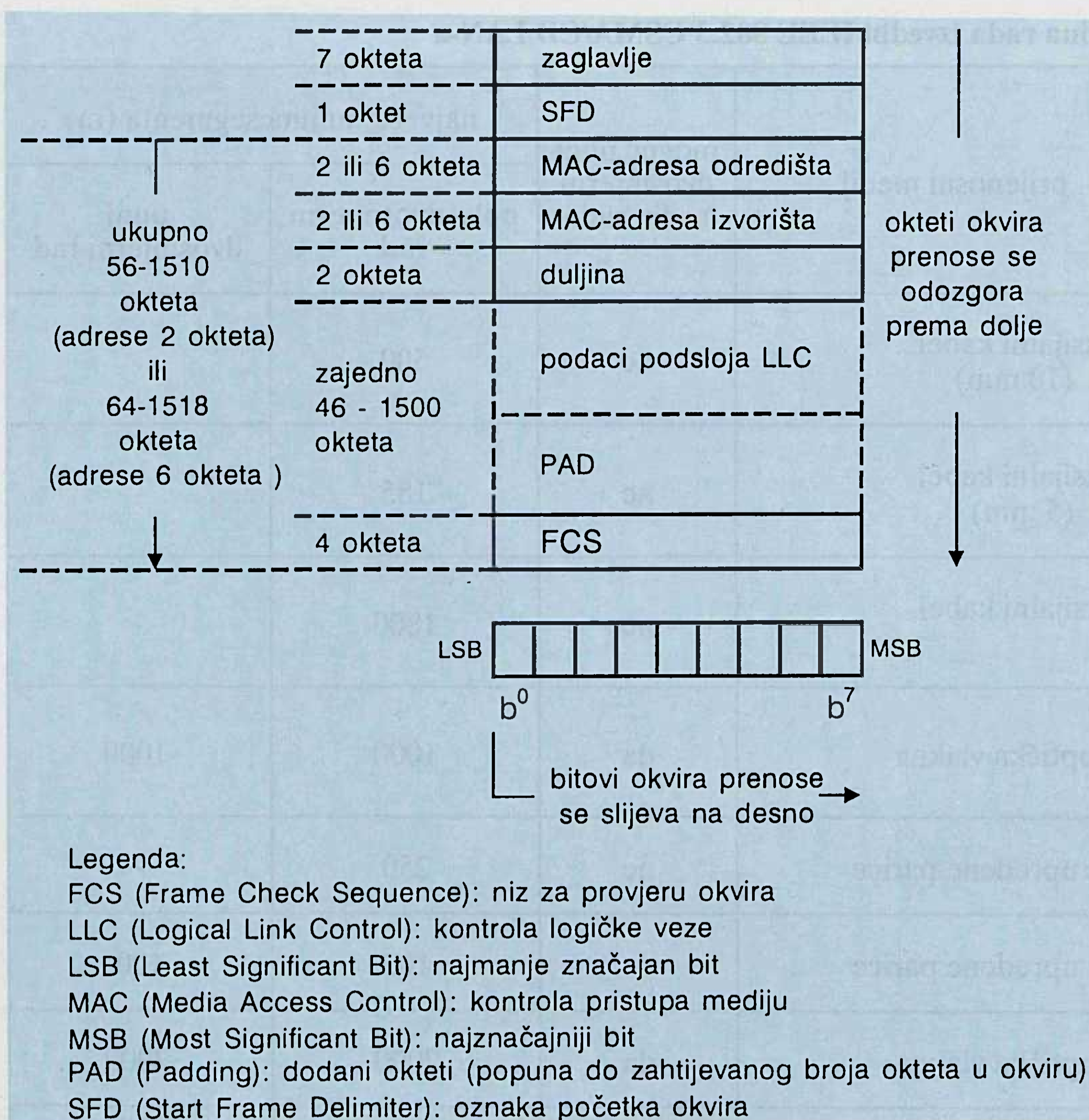
Struktura IEEE 802.3 MAC-okvira prikazana je na slici 15. Polje "zaglav-lje" sadrži niz od 56 bitova naizmjenične vrijednosti 1 i 0. Služi za sinkronizaciju prijамne stanice sa pristiglim signalom, te fizičkom sloju stanice osigurava dovoljno vremena za uočavanje prisutnosti signala na mediju, sinkronizaciju i početak primanja signala prije no što stignu adresni podaci. Polje "oznaka početka okvira", SFD (Start Frame Delimiter) sadrži niz 10101011 koji ukazuje na početak okvira. Adresna polja sadrže MAC-adresu stanice kojoj je okvir namijenjen, te MAC-adresu stanice koja je poslala okvir. Stanice LAN-a prepoznaju se po pripadnim MAC-adresama definirane strukture Š1Ć. Osim 48-bitnih adresa, norma Š4Ć dozvoljava i 16-bitne, s tim da u svakom trenutku duljina izvorišne i odredišne adrese treba biti jednaka za sve stanice određene lokalne mreže (za sve stanice ili 2 okteta,

ili 6 okteta). Razlikujemo dvije vrste MAC-adresa; pojedinačnu pridruženu određenoj stanici u mreži, te skupnu adresu pravilom višeg sloja namijenjenu većem broju logički povezanih stanica. Poseban slučaj skupne adrese je *broadcast* adresa, koja se sastoji od samih jedinica, a namijenjena je svim stanicama istog IEEE 802.3 LAN-a. U polje "duljina" upisuje se duljina polja "podaci podsloja LLC" u oktetima (najviše 1500 dekadski). U Ethernet mrežama definiranim DIX normom, ovo polje služi za identifikaciju protokola korisnika Ethernet-a (dodijeljene vrijednosti veće su od 1500 dekadski). Polje "podaci podsloja LLC" sadrži korisničke podatke koji se prenose transparentno. Najveća dozvoljena duljina ovog polja je 1500 okteta. Za ispravan rad CSMA/CD protokola zahtijeva se barem određena duljina okvira (najmanja duljina okvira) zavisno o korištenom mediju, na osnovi koje se zahtijeva i određena duljina polja za podatke podsloja LLC. Ukoliko podaci koje se želi slati rezultiraju okvirom manje duljine od propisane, u okviru je potrebno i polje "PAD" (Padding – dodavanje) za umetanje odgovarajućeg broja dodatnih okteta proizvoljnog



Tablica 2. Mogućnost punog dvosmjernog načina rada izvedbi IEEE 802.3 CSMA/CD LAN-a

izvedba	naziv izvedbe	prijenosni medij	moguć puni dvosmjerni način rada	najveća duljina segmenta (m)	
				polu-dvosmjerni rad	puni dvosmjerni rad
10BASE5	Thick Ethernet debeli Ethernet	koaksijalni kabel 50 Ω (10 mm)	ne	500	-
10BASE2	Thin Ethernet tanki Ethernet	koaksijalni kabel 50 Ω (5 mm)	ne	185	-
10BROAD36		koaksijalni kabel 75 Ω	ne	1800	-
FOIRL	Fiber Optic Inter- -Repeater Link	dva optička vlakna	da	1000	1000
1BASE5		dvije upredene parice	ne	250	-
10BASE-T		dvije upredene parice	da	100	100
10BASE-FL	Fiber Link	dva optička vlakna	da	2000	2000
10BASE-FB	Fiber Backbone	dva optička vlakna	ne	2000	-
10BASE-FP	Passive Fiber	dva optička vlakna	ne	1000	-
100BASE-TX	Fast Ethernet	2 parice kabela s upredenim paricama kategorije 5	da	100	100
100BASE-FX	Fast Ethernet	dva optička vlakna	da	412	2000
100BASE-T4	Fast Ethernet	4 parice kabela s upredenim paricama kategorije 3, 4 ili 5	ne	100	-
100BASE-T2	Fast Ethernet	2 parice kabela s upredenim paricama kategorije 3, 4 ili 5	da	100	100
1000BASE-LX	Gigabit Ethernet	laser (1300 nm) uz 62,5 μm višemodna vlakna 50 μm višemodna vlakna 10 μm jednomodna vlakna	da	316 316 316	550 550 5000
1000BASE-SX	Gigabit Ethernet	laser (850 nm) uz 62,5 μm višemodna vlakna 50 μm višemodna vlakna	da	275 316	275 550
1000BASE-CX	Gigabit Ethernet	poseban oklopljeni bakreni kabel ("twinax")	da	25	25
1000BASE-T	Gigabit Ethernet	4 parice kabela s upredenim paricama kategorije 3, 4 ili 5	da	100	100



Slika 15. Struktura MAC-okvira

sadržaja. Za 10 Mb/s implementacije na koaksijalnom kabeu u osnovnom pojasu najmanja dozvoljena duljina polja "podaci podsloja LLC" i "PAD" zajedno je 46 okteta. Polje "niz za provjeru okvira", FCS (Frame Check Sequence) sadrži vrijednost provjere cikličke zalihosti, CRC (cyclic redundancy check) koja se izračunava kao funkcija sadržaja okvira u dijelu od ciljane adrese do polja za dodavanje okteta, PAD, a služi za otkrivanje pogrešaka u primljenom okviru.

Na slici 15 navedene su duljine polja MAC-okvira, koje su točno određene za šest polja. Duljine polja LLC podataka i polja za dodavanje okteta moraju biti između najmanje i najveće vrijednosti određene za svaku pojedinu izvedbu CSMA/CD mehanizma pristupa mediju, a na slici su dane vrijednosti za 10 Mb/s implementacije na koaksijalnom kabeu u osnovnom pojasu. Za svaki oktet iz MAC okvira, uz izuzetak FCS-a, prvo se prenosi bit najmanje važnosti. Ukoliko se pri prijemu okvira ustanovi (slika 14) da njegova stvarna duljina i vrijednost u polju za duljinu nisu u skladu, da okvir ne sadrži cjelobrojni višekratnik okteta ili da bitovi primljenog okvira ne rezultiraju CRC-vrijednošću istovjetnoj onoj u polju FCS, okvir se proglašava neispravnim (invalid).

### 5.1. Proširenja strukture okvira

Razvojem normizacije sve bržih izvedbi IEEE 802.3 LAN-ova, kao i naprednijih načina segmentiranja (VLAN-ovi) definirana su proširenja strukture MAC-okvira.

#### • označavanje VLAN-ova (VLAN Tagging)

Stalnim i ubrzanim razvojem preklopnika, LAN-ovi se dijele na sve manje i manje segmente, sve do jedne MAC-stanice po segmentu. Preklapane mreže povećavaju performanse smanjujući broj MAC-stanica u domeni sudara. Međutim, odjeljivanje *broadcast* prometa ostaje na razini usmjernika. VLAN-ovi predstavljaju alternativno rješenje za logičko odjeljivanje *broadcast* domena s nizom prednosti u odnosu na korištenje samo usmjernika.

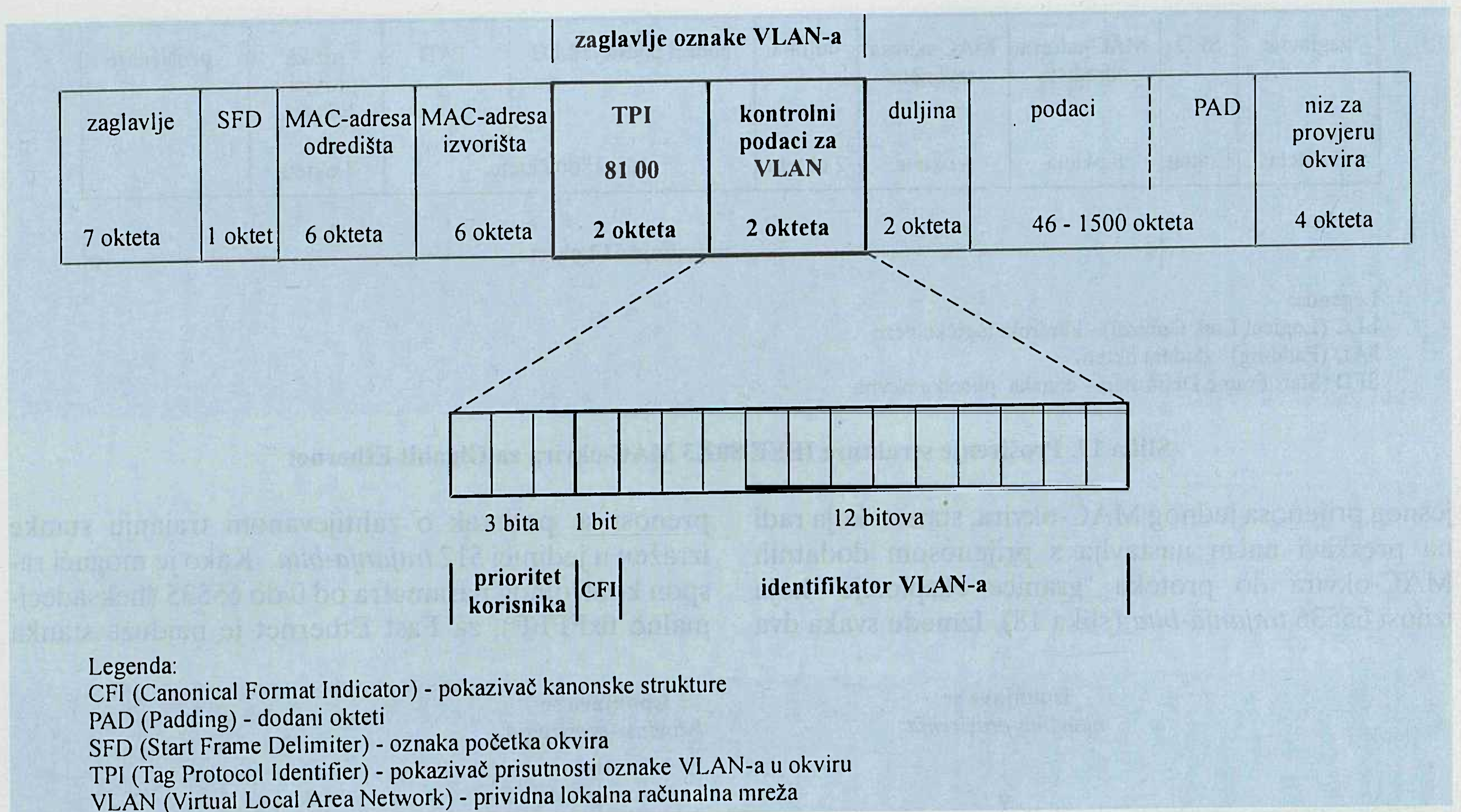
Normom 802.3ac definirano je proširenje strukture MAC-okvira potrebno radi označavanja VLAN-ova u IEEE 802.3 mreži (slika 16). Ukoliko postoji, oznaka VLAN-a nalazi se između polja za adresu izvorišta i polja za duljinu, a dugačka je 4 okteta, čime je i najveća dozvoljena duljina okvira povećana za 4 okteta. Vrijednost 0x8100 iza polja za adresu izvorišta ukazuje na prisutnost oznake VLAN-a, te 4 okteta pomaknut položaj polja "duljina". Druga dva okteta sadrže podatak o prioritetu korisnika, indikator prisutnosti polja s podacima o usmjera-

vanju (CFI), te oznaku VLAN-a kojem okvir pripada. Dozvoljeno je korištenje osam razina prioriteta, gdje 0 označava najniži, a 7 najviši prioritet, u skladu s budućom normom 802.1p. Ukoliko je pokazivač CFI postavljen na 1, iza polja "duljina" nalazi se polje *Source-Routing Information* s podacima o usmjerenju okvira. 12 bitova za identifikator VLAN-a omogućuje razlikavanje ( $2^{12}-1$ ) VLAN-ova. Vrijednost 0 ne označava VLAN, već se koristi kad je u okviru potrebna samo oznaka prioriteta korisnika.

#### • polje proširenja (Extension Field)

Pri definiranju Gigabit Ethernet-a zadržana je ista struktura i veličina IEEE 802.3 MAC-okvira, mogućnost poludvosmjernog i punog dvosmjernog rada, te način kontrole toka kao i kod 10 Mb/s i 100 Mb/s-nih izvedbi.

VLAN je grupa MAC-stanica istog IEEE 802.3 LAN-a koje tvore zasebnu logičku *broadcast* domenu. Pripadnost VLAN-u nije ograničena fizičkim smještajem MAC-stanice. Određuje se administrativno najčešće na temelju pripadnosti istoj radnoj grupi. VLAN-ovi omogućuju jednostavan, prilagodljiv i jeftiniji način mijenjanja logičkog grupiranja korisnika u današnjem promjenjivom poslovnom okruženju. Samim time administratorima mreže omogućeno je finije optimiziranje



Slika 16. Označavanje VLAN-ova u IEEE 802.3 MAC-okvirima

mreže. Ograničavajući *broadcast* promet na korisnike LAN-a koji pripadaju istom VLAN-u dodatno se povećavaju performanse preklapanih LAN-ova. VLAN-ovi omogućuju i poboljšanje sigurnosti mreže, budući da se korisnici s pristupom osjetljivim podacima mogu grupirati u zaseban VLAN, nezavisno o njihovoj fizičkoj lokaciji. Za komunikaciju MAC-stanica koje pripadaju različitim VLAN-ovima i dalje je potreban usmjernik. Usmjernik treba pripadati svim VLAN-ovima. Međutim, prometno opterećenje usmjernika je manje, čime se smanjuje i kašnjenje koje usmjernik unosi u mrežu. Prije donošenja IEEE norme, rješenja za formiranje VLAN-ova bila su različita kod različitih proizvođača, te su VLAN-ovi mogli biti definirani samo unutar preklopnika pojedinog proizvođača. Za spajanje VLAN-a na drugu mrežu, svaki VLAN trebao je jedan ulaz usmjernika.

Normom IEEE 802.1Q definiran je arhitekturni pristup VLAN-ovima, označavanje MAC-okvira za komunikaciju pripadnika VLAN-ova, kao i smjernice za buduću normizaciju VLAN-ova. Rezultat razvoja norme IEEE 802.1Q je mogućnost implementacije VLAN-ova korištenjem opreme različitih proizvođača, te danas svaki jači proizvođač LAN opreme uključuje podršku za VLAN-ove u rješenja za LAN preklopnike.

Za poludvosmjerni način rada Gigabit Ethernet koristi isti CSMA/CD protokol u svrhu kontrole pristupa mediju. Kako bi se zadržala duljina segmenta 100 metara, protokol CSMA/CD je prilagođen dodavanjem polja

proširenja. Naime, zbog kraćeg *trajanja-bit* kod Gigabit Ethernet (1 ns) MAC-okvir najmanje dozvoljene duljine 64 okteta (od *MAC-adrese odredišta* do *niza za provjeru okvira*, uključivo) mogao bi u najgorem slučaju (slika 9) završiti prijenos prije no što bi signal sudara proputovao cijeli put natrag do početnog kraja sustava. U cilju rješenja tog problema, *vrijeme-slota* povećano je sa 64 okteta (512 bita) na 512 okteta, s tim da ograničenje veličine polja "*podaci podsloja LLC*" ostaje nepromijenjeno (0-1500 okteta); iza polja "*niz za provjeru okvira*" dodaje se polje "*proširenje*" (slika 17). To je polje potrebno za sve MAC-okvire čija je duljina od *MAC-adrese odredišta* do *niza-za-provjeru-okvira* manja od 512 okteta. U tom se polju ne prenose podaci podsloja LLC. Uvođenjem polja "*proširenje*" na kraj MAC-okvira osigurava se da je u slučaju sudara duljina okvira dovoljna za prostiranje signala sudara do svih MAC-stanica IEEE 802.3 LAN-a prije odašiljanja svih bitova okvira. Zahtijeva se samo za poludvosmjerni način rada, dok za puni dvosmjerni način, koji ne uključuje protokol CSMA/CD, nije potrebno.

#### • praskavi način prijenosa (Frame Bursting)

Uvođenje polja "*proširenje*" na kraj MAC-okvira kod poludvosmjerne Gigabit Ethernet izvedbe kvira performanse sustava ukoliko MAC-stanice imaju malo podataka za slanje. Zbog toga je protokolu CSMA/CD dodana mogućnost preskavog načina prijenosa (burst mode), koja MAC-stanicama (prvenstveno potrebno za poslužitelje i preklopnike) omogućava slanje malih MAC-okvira u nizu bez oslobađanja prijenosnog medija. Na taj se način poboljšavaju performanse Gigabit Ethernet-a kod prijenosa kratkih okvira. Nakon usp-





Stanice prekidaju prijenos, oslobađaju medij i pokušavaju ponovno po isteku vremenskog odgađanja prijenosa. Metoda Odrezano binarno ekspanencijalno odgađanje rezultira minimalnim odgađanjem prijenosa podataka za slučaj slabog prometnog opterećenja LAN-a. Kod većeg opterećenja LAN-a uzastopni sudari uzrokuju povećanje raspona vrijednosti iz kojeg se slučajno odabire faktor definiranja vremena odgađanja prijenosa, čime se smanjuje vjerojatnost ponovljenih sudara. U LAN-u s velikim prometnim opterećenjem uzastopni sudari mogu uzrokovati češće odbacivanje okvira nakon 16 neuspješnih pokušaja prijenosa. Velik broj tako odbačenih paketa ukazuje da je prometno opterećenje preveliko za djelotvoran rad IEEE 802.3 LAN-a, te u tom slučaju treba segmentirati LAN.

Za sve kasnije definirane izvedbe sustava, uključujući i Fast Ethernet, te Gigabit Ethernet, zadržana je ista metoda kontrole pristupa mediju, te IEEE 802.3 uistinu predstavlja skalabilno rješenje. Pri tom su definirane nadopune potrebne za podržavanje prividnih LAN-ova, kontrole toka i prioriteta korisnika.

Za izrazito zahtjevne aplikacije, definiran je i puni dvosmjerni način rada, kojim se segmentu (koji može biti i samo jedan računalni uređaj) osigurava puna propusnost IEEE 802.3 izvedbe LAN-a.

## LITERATURA

- [1] IEEE 802-1990, IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture
- [2] IEEE Standards Catalog: IEEE 802 Standards List (<http://standards.ieee.org/olis/lanman.html>)
- [3] ISO/IEC 8802-3: 1996 [ANSI/IEEE Std 802.3, 1996] Information technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications.
- [4] P. BARAN: "On Distributed Communications Networks", IEEE Transactions on Communication Systems, Vol CS-12 (1), pp. 1-9, March 1964.
- [5] N. ABRAHAMSON: "The ALOHA System – Another Alternative for Computer Communications", AFIPS Conference Proceedings, 1970 Fall Joint Computer Conference, Vol. 37, pp. 281-285

- [6] R. M. METCALFE: "Network Insomnia", Data Communications, October 21, 1997
- [7] R. M. METCALFE: "Packet Communication", Ph. D. Th., Harvard University, Massachusetts Project Mac TR-I 14, December 1973
- [8] R. M. METCALFE, D. R. BOGGS: "Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks", Communications of the ACM, Vol. 19, No. 5, July 1976, 395-404
- [9] US4063220: Multipoint data communication system with collision detection
- [10] Digital Equipment Corp., Intel Corp., Xerox : The Ethernet, Local Area Network: Data Link Layer and Physical Layer Specifications (Version 1.0) 1980
- [11] Digital Equipment Corp., Intel Corp., Xerox : The Ethernet, Local Area Network: Data Link Layer and Physical Layer Specifications (Version 1.0) 1980
- [12] ANSI/TIA/EIA 568A: "Commercial Building Telecommunications Wiring Standard", 1995
- [13] ISO/IEC 11801:1995, Information technology – Generic cabling for customer premises.
- [14] ISO/IEC 7498-1:1994, Information technology -- Open Systems Interconnection -- Basic Reference Model: The Basic Model
- [15] ISO/IEC 8802-2:1998 [ANSI/IEEE Std 802.2, 1998], Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 2: Logical link control
- [16] S. JAVORNIK VONČINA: "Pregled IEEE-ovih normi za lokalne i gradske računalne mreže", Energija 6/1999.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Suzana Javornik Vončina, dipl. ing.**  
**Hrvatska elektroprivreda**  
**Sektor za poslovnu informatiku**  
**Ulica grada Vukovara 37**  
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
 2000-04-04