

PREGLED IEEE 802.3/Ethernet NORME

II dio: Fizički sloj

Mr. sc. Suzana Javornik Vončina, Zagreb

UDK 681.3
PREGLEDNI ČLANAK

Članak daje pregled strukture fizičkog sloja IEEE 802.-3 LAN-a. Opisane su fizičke izvedbe brzine prijenosa 10 Mb/s (Ethernet) na koaksijalnim kabelima, kabelima s upredenim paricama i optičkim kabelima, te izvedbe brzine prijenosa 100 Mb/s (Fast Ethernet) i izvedbe brzine prijenosa 1000 Mb/s (Gigabit Ethernet) na kabelima s upredenim paricama i optičkim kabelima.

Ključne riječi: normizacija, lokalna računalna mreža, LAN, Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, CSMA/CD, kodiranje, primopredajnik.

Uvod

U prvom dijelu serije Pregled IEEE 802.3/Ethernet norme [1] vidjeli smo na koji se način kontrolira pristup mediju kod IEEE 802.3/Ethernet lokalne računalne mreže, a u ovom dijelu obrađuju se dijelovi norme koji se odnose na fizički sloj.

U IEEE-ovoj lokalnoj računalnoj mreži [2], IEEE LAN-u, signali kojima se predstavljaju podaci putuju zajedničkim prijenosnim medijem do svih lokalno distribuiranih računalnih uređaja uključenih u mrežu. Pri tom se korisnikovi podaci rastavljaju na segmente definirane duljine kojima se dodaju adrese radi identificiranja njihovog izvora i odredišta u LAN-u, te potrebni kontrolni podaci, čime se formiraju okviri. Osnovne karakteristike IEEE LAN-a su paketna komunikacija, 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.

IEEE 802.3 LAN [3] je onaj kod kojeg kontrolu pristupa zajedničkom mediju, MAC, definira protokol *Višestruki pristup s osjetom nositelja i otkrivanjem sudara*, CSMA/CD. Centralna kontrola redoslijeda emitiranja ne postoji; računalni uređaji koji mogu biti izvor ili odredište podataka, MAC-stanice, koordiniraju pristup zajedničkom prijenosnom mediju temeljem osluškivanja stanja na mediju (*višestruki pristup*). Ukoliko MAC-stanica na temelju osluškivanja ustanovi da je medij slobodan (*osjet nositelja*) može započeti slanje podataka. U suprotnom, MAC-stanica odgađa slanje podataka kako bi se izbjegla interferencija dvaju ili više signala. Ovo odgađanje slanja podataka značajno optimizira uspješnost korištenja zajedničkog medija.

Prostirući se zajedničkim medijem poslani signal dopijeva do svih MAC-stanica IEEE 802.3 LAN-a (*broadcast*), sve ga MAC-stanice primaju, dekodiraju, te uspoređuju MAC-adresu u primljenom paketu s vlastitom kako bi odredile je li paket namijenjen dotičnoj MAC-stanici ili nije. Prema tome, komutiranje paketa do odredišne MAC-stanice distribuirano je na sve MAC-stanice IEEE 802.3 LAN-a, a temelji se na prepoznavanju MAC-adrese u paketu.

Budući da signali putuju medijem ograničenom brzinom, MAC-stanice ih primaju u neznatno pomaknutim vremenskim trenucima. Zbog toga postoji mogućnost da dvije ili više MAC-stanica istodobno ili u neznatno pomaknutim vremenskim trenucima ustanove da je medij slobodan, te počnu slati podatke. Pripadni signali interferiraju čime je onemogućen ispravan prijenos. Nastalo stanje naziva se sudar. Kako sudar ne bi značio i gubitak poslanih podataka, bitan dio CSMA/CD kontrole pristupa mediju je uočavanje sudara radi ponovnog pokušaja slanja podataka (*otkrivanje sudara*). Nakon protoka slučajno odabranog razdoblja čekanja, MAC-stanica ponovo pokušava slati podatke. Proces odabira trenutka za ponovni pokušaj slanja dizajniran je tako da rezultira minimalnim odgađanjem prijenosa podataka za slučaj slabog prometnog opterećenja IEEE 802.3 LAN-a. Kod većeg opterećenja LAN-a uzastopni sudari uzrokuju povećanje raspona vrijednosti iz kojeg se slučajno odabire faktor definiranja vremenskog razdoblja odgađanja prijenosa, čime se smanjuje vjerojatnost ponovljenih sudara.

Osim tradicionalnog načina kontrole pristupa mediju temeljenog na protokolu CSMA/CD, definiran je i puni dvosmjerni način rada za one izvedbe koje mogu

podržavati istodobno slanje i prijam bez interferencije, tj. za izvedbe s vezama od točke do točke (point-to-point link) koje povezuju točno dvije stanice.

Tijekom više od dvadeset godina, koliko traje aktivnost IEEE-ovog Odbora za normizaciju lokalnih računalnih mreža, definiran je čitav niz izvedbi IEEE 802.3 LAN-a, od kojih starije uobičajeno zvane "Ethernet" 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. Različite izvedbe IEEE 802.3 LAN-a objedinjuje zajednička metoda pristupa mediju temeljena na protokolu CSMA/CD.

Ovaj nastavak serije posvećen je opisu dosad definiranih fizičkih izvedbi IEEE 802.3 LAN-a. U točki 1 dana je struktura fizičkog sloja s opisom dijelova fizičkog sloja zajedničkih svim izvedbama brzine prijenosa 10 Mb/s, dok je u točki 2 dan pregled samih izvedbi

brzine prijenosa 10 Mb/s. U točki 3 dan je pregled izvedbi brzine prijenosa 100 Mb/s, a u točki 4 pregled izvedbi brzine prijenosa 1000 Mb/s. U točki 5 navedene su sve kratice korištene u članku. Slijede zaključak i literatura navedena redoslijedom spominjanja u članku.

1. FIZIČKI SLOJ IEEE 802.3 LAN-a BRZINE 10 Mb/s

Fizički sloj IEEE 802.3 LAN-a uključuje podsloj za fizičko signaliziranje, podsloj za priključenje na fizički medij i sam medij (slika 1). Između ta tri elementa fizičkog sloja definirana su dva kompatibilna sučelja.

Sučelje zavisno o mediju, MDI, realizira se sklopom koji omogućuje direktno fizičko i električno spajanje na medij (npr. BNC T-konektor). Podsloj za priključak na fizički medij i pripadno sučelje zavisno o mediju tvore jedinicu za priključenje na medij, MAU, uobičajeno zvanu primopredajnik, jer joj je zadatak PRIManje signala s fizičkog medija i PREDaja signala na fizički medij.

Koaksijalni kabel je prijenosna linija s dva koncentrična vodiča (središnji vodič i vanjski vodič) stalne impedancije. Vanjski vodič je u obliku cijevi (uobičajeno rešetka, folija ili oboje), zaštićen je vanjskim zaštitnim izolacijskim slojem, a između njega i središnjeg vodiča je dielektrik.

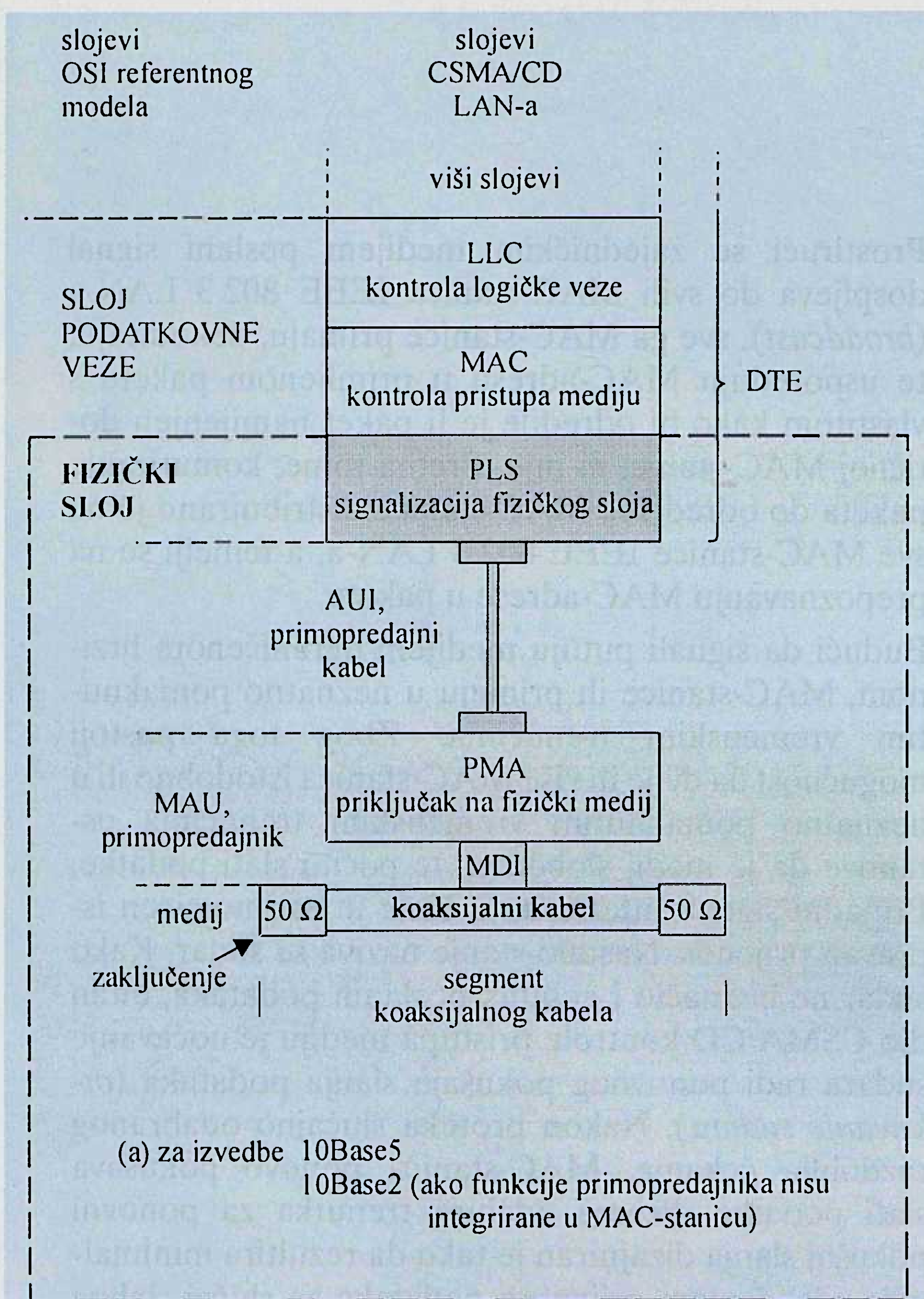
Kabel s upredenim paricama sadrži dvije ili više parica. Paricu tvore dvije izolirane bakrene žice međusobno isprepletene radi smanjivanja preslušavanja i osjetljivosti na smetnje. Zavisno o oklopljenosti parica, odnosno cijelog kabela, razlikujemo UTP, ScTP i STP kabele.

UTP kabel je neoklopljeni kabel s upredenim paricama.

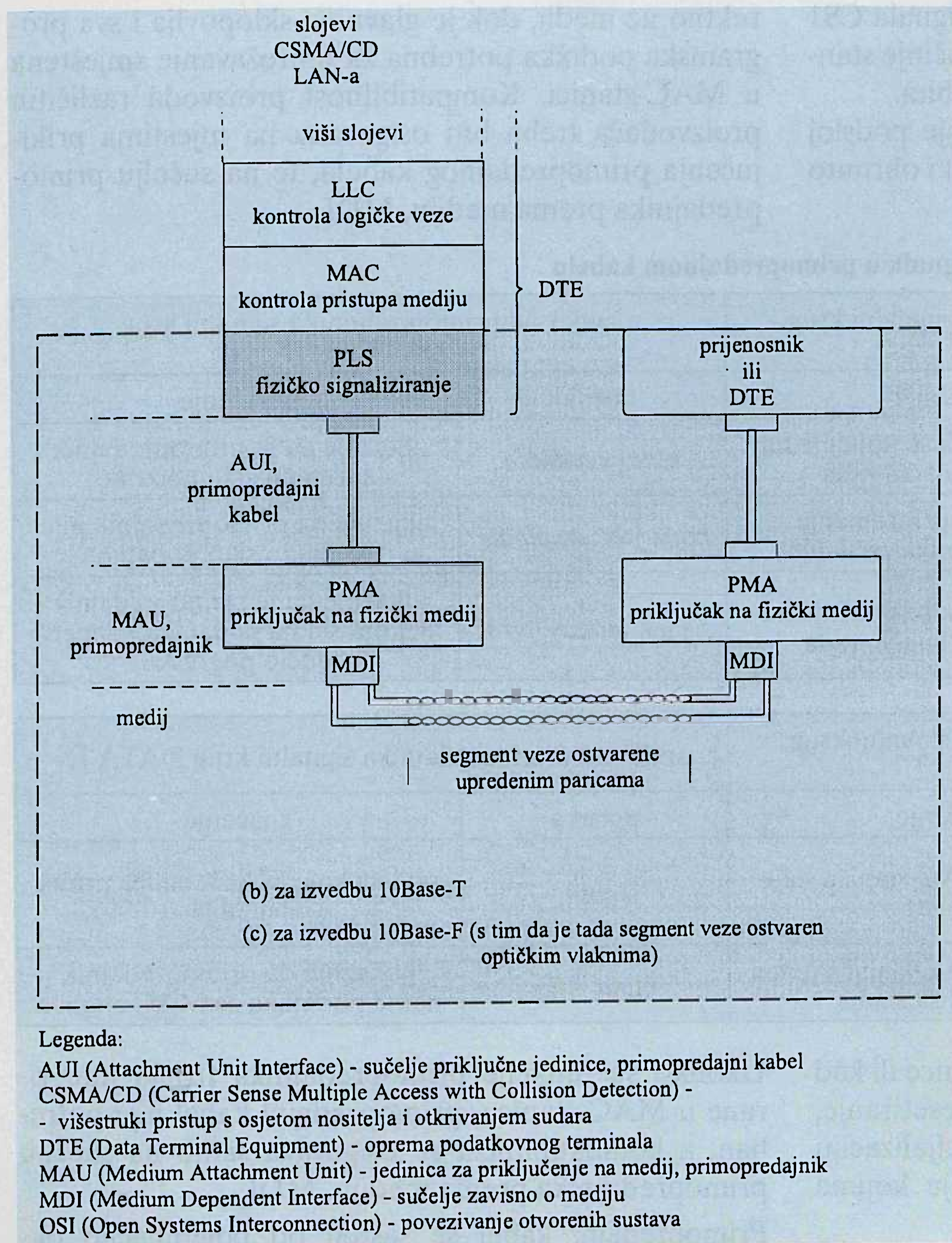
ScTP kabel je kabel s upredenim paricama s folijom ili metalnim opletom oko svih parica kabela zajedno radi smanjenja elektromagnetskog zračenja, kao i smanjenja osjetljivosti na vanjske smetnje. Koriste se i nazivi *upredena parica s folijom (FTP)* te *oklopljeni UTP (sUTP)*.

STP kabel je 150 Ω kabel s upredenim paricama kod kojeg je oklopljena svaka pojedina parica kao i sve parice kabela zajedno. STP kabele definirala je tvrtka IBM za korištenje u Token Ring mrežama. Definiran je način prilagodbe STP-a za korištenje u IEEE 802.3 i Ethernet mrežama instalacijom posebnog pretvarača impedancije (balun).

Optički kabel je kabel s optičkim vlaknima. Optičko vlakno je dielektrični valovod elektromagnetske energije valnih duljina od vidljivog spektra do bliskog infracrvenog spektra. U odnosu na bakrene kabele, prednost optičkih je veća pojasna širina, manje prigušenje signala, imunost na elektromagnetske smetnje, manje dimenzije, nemogućnost preslušavanja, te sigurnost budući da ne prenose električnu struju.



Slika 1a. Struktura fizičkog sloja za IEEE 802.3 10Base5 i 10Base2



Slika 1b. Struktura fizičkog sloja za IEEE 802.3 10Base-T i 10BaseF

Sučelje priključne jedinice, AUI, omogućuje prijenos signala između podsloja za fizičko signaliziranje i primopredajnika, kao i električno napajanje primopredajnika, te se uobičajeno naziva primopredajni kabel. Podsloj za fizičko signaliziranje, PLS, i primopredajni kabel, AUI, definirani su jedinstveno za sve izvedbe IEEE 802.3 LAN-a brzine 10 Mb/s. Osiguravaju nezavisnost o mediju, te se identični podslojevi PLS, MAC i LLC mogu koristiti bilo sa širokopoljnim koaksijalnim kabelom, koaksijalnim kabelom koji radi u osnovnom pojasu, kabelom s upredenim paricama ili optičkim kabelom.

S druge strane, primopredajnik i medij definirani su različito za različite fizičke izvedbe IEEE 802.3 LAN-a. U nastavku ove točke ukratko su opisani podsloj PLS i primopredajni kabel, dok je opisu različitih fizičkih izvedbi posvećena sljedeća točka.

1.1. Podsloj za fizičko signaliziranje

Podsloj za fizičko signaliziranje pruža entitetima podsloja MAC uslugu slanja jednog

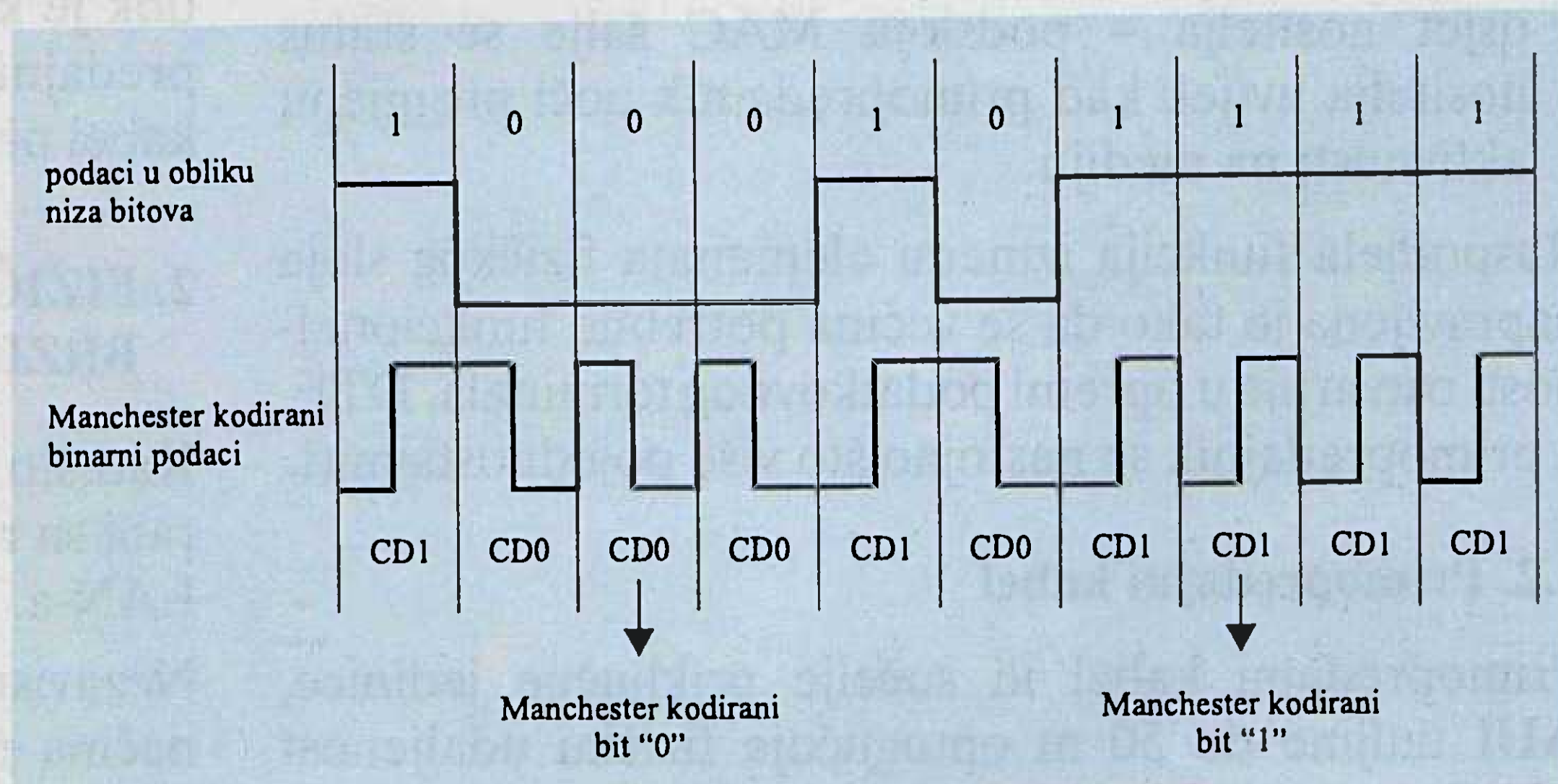
po jednog bita MAC-okvira fizičkim medijem ili prijama jednog po jednog bita MAC-okvira s fizičkog medija.

Osim slanja i prijama bitova MAC-okvira između entiteta MAC-sloja različitih MAC-stanica, podsloj za fizičko signaliziranje osigurava podsloju MAC usluge lokalnog značenja kojima se usklađuje djelovanje podslojeva MAC-stanice. Tako podsloj za fizičko signaliziranje šalje podsloju MAC podatke o uočenoj aktivnosti na mediju i uočenom sudaru, nužne za funkcije kontrole pristupa zajedničkom mediju.

Radi prijenosa binarnih podataka električnim kabelom, potrebna je pretvorba binarnih podataka u električne signale - kodiranje. Za slanje binarnih podataka na primopredajni kabel podsloj za fizičko signaliziranje koristi Manchester kodiranje, kod kojeg se binarni podatak i takt kombiniraju u bit-simbol. Razlikujemo dva bit-simbola: CD0 (Manchester kodirani bit "0") i CD1 (Manchester kodirani bit "1"). Tijekom prve polovice bit-simbola CD0 kodirani signal ima višu vrijednost napona (HI), dok tijekom druge polovice kodirani signal ima nižu vrijednost napona (LO). Za signal CD1 vrijedi obrnuto. Prijelaz se uvijek događa u sredini svakog bit-simbola (slika 2), čime je olakšana sinkronizacija prijammika. Uz ova dva, definiran je i simbol IDL. IDL je stanje signala bez prijelaza koje se pojavljuje na fizičkom

mediju radi označavanja kraja okvira, a prestaje prvim pojavljivanjem prijelaza LO-HI. IDL uvijek počinje sa stanjem HI, a traje 2 vremena bita.

Radi prijenosa statusa aktivnosti na fizičkom mediju i prijenosa statusa kvalitete signala podsloju MAC, podsloj za fizičko signaliziranje šalje podsloju MAC kontrolne podatke, a s primopredajnikom razmjenjuje kontrolne signale. Definirana su tri kodirana kontrolna simbola: CS0, CS1 i IDL. Frekvencija signala



Slika 2. Primjer Manchester kodiranja podataka

CS0 odgovara brzini bita, dok frekvencija signala CS1 odgovara polovini brzine bita. Signal IDL počinje stanjem HI, nema prijelaza i traje dva vremena bita.

Uloga podatkovnih i kontrolnih signala koje podsloj fizičkog signaliziranja šalje primopredajniku i obrnuto prikazana je u tablici 1.

Tablica 1. Značenje kontrolnih i podatkovnih signala u primopredajnom kabelu

kontrolni signal	smjer prema primopredajniku signalni krug CONTROL OUT		smjer od primopredajnika signalni krug CONTROL IN	
	poruka	značenje	poruka	značenje
IDL	<i>normal</i>	primopredajnik se upućuje na normalni način rada	<i>mau_available</i>	ukazuje da je primopredajnik spreman slati podatke
CS1	<i>mau_request</i>	zahtijeva se pripremanje primopredajnika za slanje	<i>mau_not_available</i>	ukazuje da primopredajnik nije spreman slati podatke
CS0	<i>isolate</i>	primopredajnik se upućuje na promatrački način rada	<i>signal_quality_error</i>	ukazuje da je primopredajnik tijekom slanja podataka na medij uočio pogrešku

podatkovni signal	smjer prema primopredajniku signalni krug DATA OUT		smjer od primopredajnika signalni krug DATA IN	
	poruka	značenje	poruka	značenje
CD0 ili CD1	<i>output</i>	podaci koje MAC-stanica šalje na medij	<i>input</i>	podaci koje MAC-stanica prima s medija
IDL	<i>output_idle</i>	pokazuje da MAC-stanica nema podataka za slanje	<i>input_idle</i>	pokazuje da primopredajnik nema podataka za MAC-stanicu

Svaki put kad se uključi napajanje MAC-stanice ili kad se od upravljačkog sloja primi zahtjev za resetiranje, podsloj fizičkog signaliziranja vrši inicijalizaciju sljedećih pet simultanih asinkronih funkcija kojima obavlja sve svoje zadatke:

- mijenjanje načina rada primopredajnika – ovom se funkcijom omogućava ili onemogućava slanje podatkovnih signala na medij
- izlaz – ovom se funkcijom pokreće priprema primopredajnika za slanje podataka na medij, a zatim i sam prijenos podataka podsloja MAC primopredajniku
- ulaz – podsloju MAC prenose se podaci koje je primopredajnik primio s fizičkog medija
- otkrivanje pogrešaka – podsloju MAC šalje se status signala uvijek kad primopredajnik uoči promjenu kvalitete signala
- osjet nositelja – podsloju MAC šalje se status nositelja uvijek kad primopredajnik uoči promjenu aktivnosti na mediju.

Raspodjela funkcija između elemenata fizičkog sloja napravljena je tako da se većina potrebne funkcionalnosti ostvaruje u opremi podatkovnog terminala, DTE, a primopredajnik se nastojao što više pojednostavniti.

1.2. Primopredajni kabel

Primopredajni kabel ili sučelje priključne jedinice, AUI duljine do 50 m omogućuje fizičku udaljenost MAC-stanice od medija. U tom slučaju manji dio sklopovlja sadržan je u primopredajniku smještenom di-

rektno uz medij, dok je glavnina sklopovlja i sva programska podrška potrebna za umrežavanje smještena u MAC-stanici. Kompatibilnost proizvoda različitih proizvođača treba biti osigurana na mjestima priključenja primopredajnog kabela, te na sučelju primopredajnika prema mediju, MDI.

Ukoliko su funkcije primopredajnika fizički integrirane u MAC-stanicu, primopredajni kabel nije potreban, a kompatibilnost se osigurava samo na sučelju primopredajnika prema mediju, MDI.

Primopredajni kabel se sastoji od pojedinačno oklopljenih upredenih parica koje su još i sve zajedno oklopljene. Za oba smjera prijenosa podataka primopredajni kabel AUI osigurava poseban fizički put za podatkovne signale (DATA IN i DATA OUT), a poseban put za kontrolne signale (CONTROL IN i izborni CONTROL OUT). Osim parica za prijenos podatkovnih i kontrolnih signala, primopredajni kabel sadrži i paricu za električno napajanje primopredajnika.

Može raditi na dva različita načina: normalni način i izborni promatrački način. Kod normalnog načina rada primopredajni kabel je logički spojen na medij, dok je kod promatračkog načina predajni dio primopredajnika logički izoliran od medija, te primopredajni kabel prenosi signale samo prema MAC-stanici.

2. FIZIČKE IZVEDBE IEEE 802.3 LAN-a BRZINE 10 Mb/s

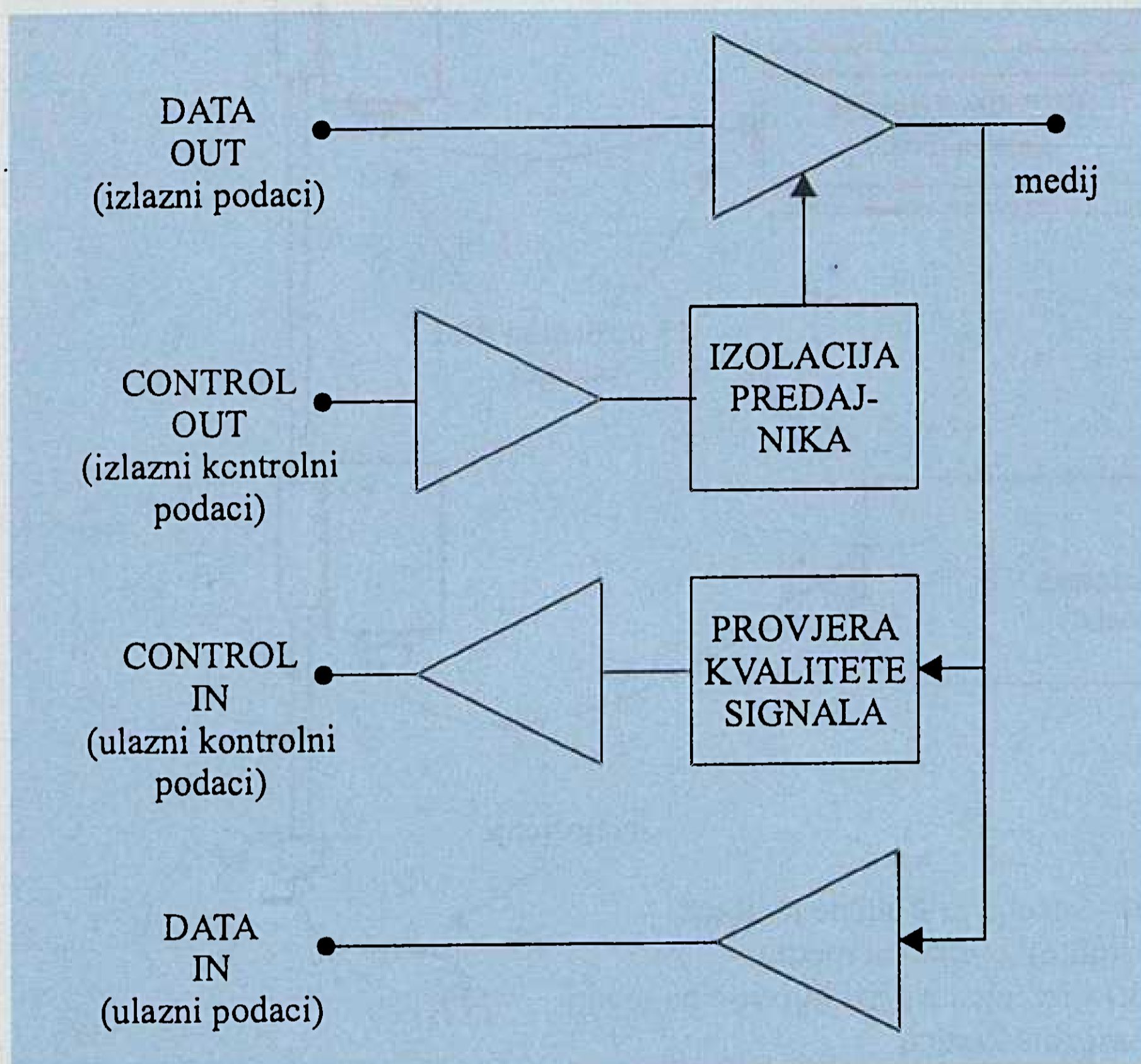
Kao što je već rečeno, primopredajnik i medij definirani su različito za različite fizičke izvedbe IEEE 802.3 LAN-a.

Nezavisno o izvedbi, primopredajnik podržava dva načina rada: normalni i promatrački. U normalnom načinu rada primopredajnik predstavlja direktnu vezu MAC-stanice i medija, te prosljeđuje podatke MAC-

stanice na medij i obrnuto. U promatračkom načinu rada, primopredajnik prosljeđuje podatke s medija MAC-stanici, ali ne i obrnuto. Funkcije prijama signala s medija i praćenja kvalitete signala ostaju aktivne poradi praćenja prometa na mediju. Izolacijom predajnika onemogućava se interferencija s fizičkim medijem, čime se izbjegava ometanje prijenosa drugih stanica.

Bez obzira na način rada primopredajnik uvijek šalje MAC-stanici sve što primi s medija.

Na slici 3 prikazan je u najgrubljim crtama model primopredajnika kako ga vidi podsloj PLS preko primopredajnog kabela.



Slika 3. Model jedinice za priključenje na medij (primopredajnika)

Kako se tehnike signaliziranja i izoliranja razlikuju od medija do medija, specifikacija izolacije predajnika sadržana je u definiciji pojedine izvedbe IEEE 802.3 CSMA/CD sustava. Također, stvarno preslikavanje signala s medija u *input* poruku sadržano je u specifikaciji za svaku pojedinu izvedbu primopredajnika. Podrazumijeva se i da su ograničenja na korišteni fizički medij diktirana definicijom signala na sučelju zavisnom o mediju različita za svaku pojedinu izvedbu CSMA/CD sustava.

U nastavku je dan detaljniji opis sa stanovišta korisnika najzanimljivijih vidova svake pojedine izvedbe IEEE 802.3 LAN, što uključuje ograničenja na fizički medij, uključivo vrstu medija, dopuštene udaljenosti, dopušten broj MAC-stanica u LAN-u i slično

Kako su ograničenja na fizički medij, uključivo vrstu medija, postizive udaljenosti, moguć broj MAC-stanica i slično najinteresantnije sa stanovišta korisnika LAN-a,

2.1. 10Base5

10Base5 izvedba IEEE 802.3 LAN-a odgovara Ethernet-sustavu definiranom normom DIX [4]. Ova izvedba podržava brzinu 10 Mb/s, a kao medij koristi

50 Ÿ "debeli" (promjer 10 mm) koaksijalni kabel, zbog čega je uobičajeno zvana "debeli Ethernet".

Za 10Base5 izvedbu (slika 4) ograničenje duljine segmenta je 500 m, gdje segment predstavlja koaksijalni kabel sa svake strane zaključen N-konektorom s N-zaključenjem impedancije 50 Ÿ. Segment se može sastojati od kontinuirane kablenske dionice ili se dobiva spajanjem više kablenskih odsječaka; N-tip konektori na krajevima kablenskih odsječaka spajaju se N-spojnicom (barrel). Preporučljivo je koristiti kontinuiranu dionicu ili kabel istog proizvođača za kablenske odsječke istog segmenta; ukoliko to nije moguće potrebno je koristiti kablenske odsječke standardne duljine 23,4 m, 70,2 m ili 117 m (cjelobrojni neparni višekratnici pola valne duljine u kabelu uz frekvenciju 5 MHz). Koaksijalni kabel je uobičajeno jarke boje, najčešće žute, s crnim prstenovima svakih 2,5 m koji ukazuju na prikladna mjesta za postavljanje 10Base5 primopredajnika. Takav razmak definiran je radi smanjenja refleksija signala koje mogu degradirati kvalitetu prijenosa kablenskog segmenta. Primopredajnici, zvani još i jedinice za priključenje na medij, MAU, namijenjeni su spajanju računalnih uređaja na medij. 10Base5 primopredajnici priključuju se na koaksijalni kabel pomoću štikaljke (clamp), zvane i primopredajno svrdlo (tap), koja ostvaruje fizički i električni kontakt s kablom. Spajanje primopredajnika na aktivnu mrežu moguće je bez ometanja toka podataka u mreži. Osim primopredajnika, za spajanje je potreban i primopredajni kabel, zvan i sučelje priključne jedinice, AUI.

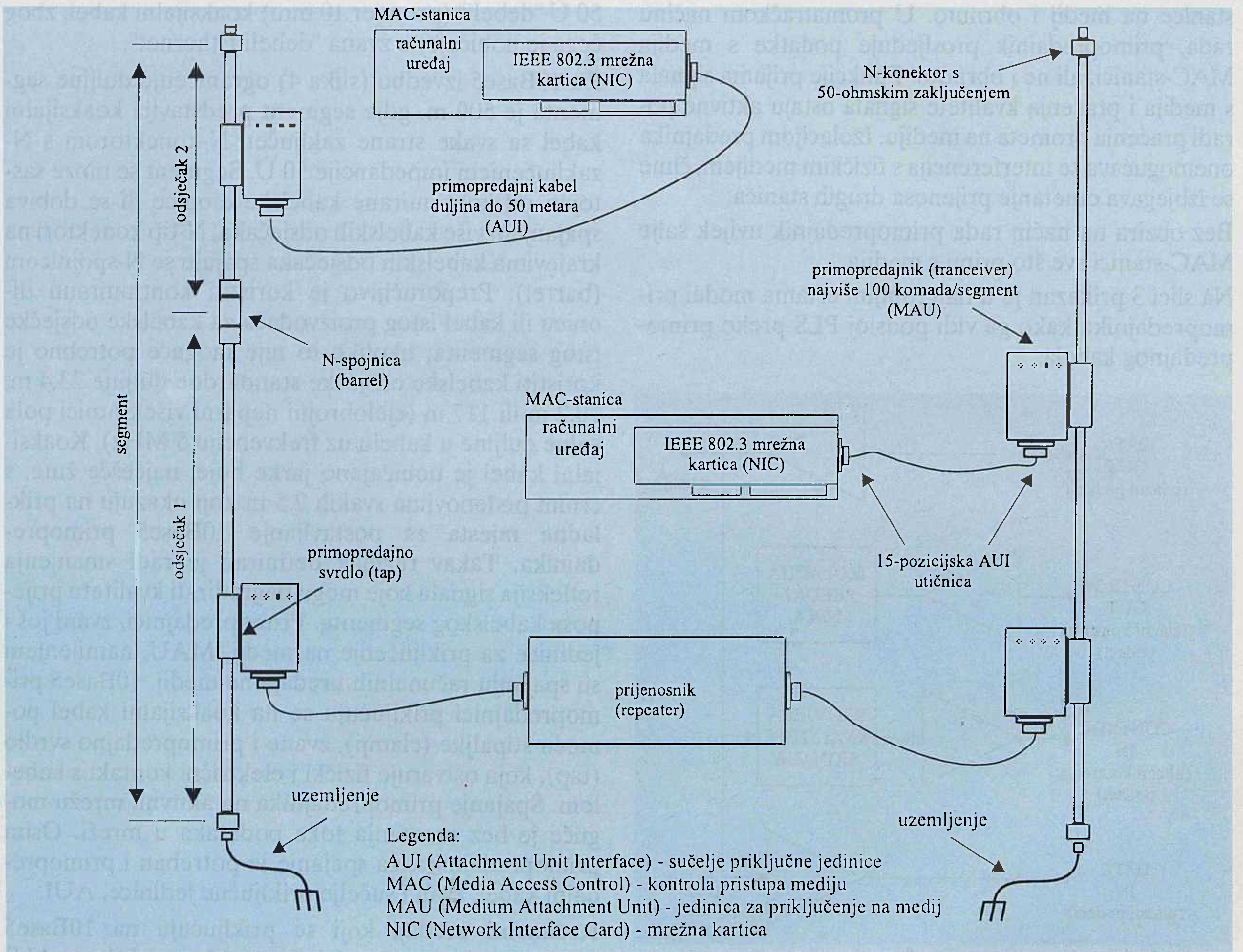
Računalni uređaji koji se priključuju na 10Base5 mrežu sadrže mrežnu karticu s 15-pozicijskom AUI utičnicom (slika 5). Jedan kraj primopredajnog kabela priključuje se na 15-pozicijsku AUI utičnicu na mrežnoj kartici, a na 15-pozicijsku AUI utičnicu drugog kraja AUI kabela priključuje se primopredajnik. Dozvoljena duljina primopredajnog kabela je do 50 m.

Iz sigurnosnih razloga segment koaksijalnog kabela treba uzemljiti u jednoj točki (uobičajeno na zaključenju ili spojnici).

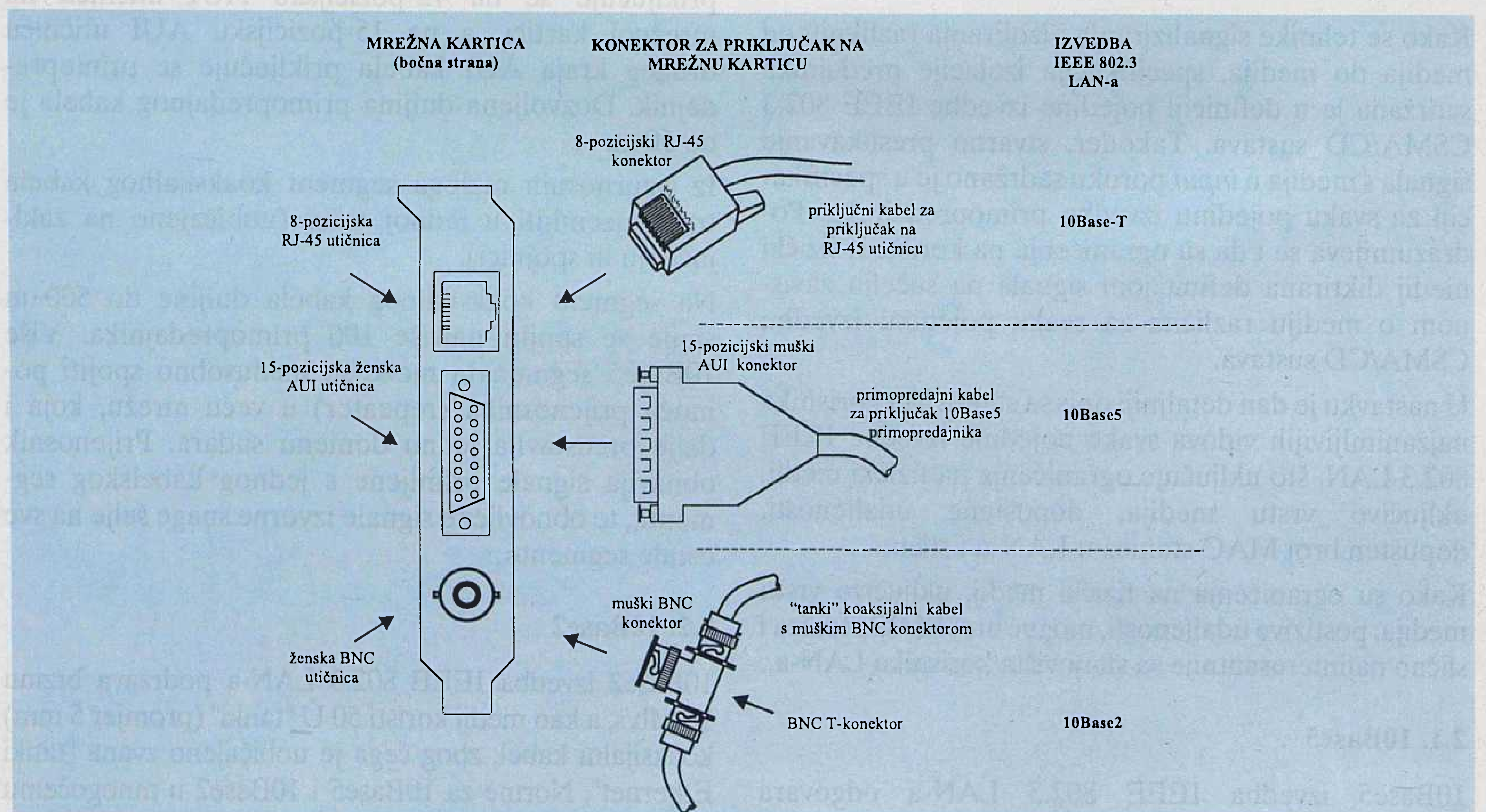
Na segment koaksijalnog kabela duljine do 500 m smije se spojiti najviše 100 primopredajnika. Više 10Base5 segmenata može se međusobno spojiti pomoću prijenosnika (repeater) u veću mrežu, koja i dalje predstavlja jednu domenu sudara. Prijenosnik obnavlja signale primljene s jednog kablenskog segmenta, te obnovljene signale izvorne snage šalje na sve ostale segmente.

2.2. 10Base2

10Base2 izvedba IEEE 802.3 LAN-a podržava brzinu 10 Mb/s, a kao medij koristi 50 Ÿ "tanki" (promjer 5 mm) koaksijalni kabel, zbog čega je uobičajeno zvana "tanki Ethernet". Norme za 10Base5 i 10Base2 u mnogočemu su slične (tablica 2). Prednost 10Base2 izvedbe je jeftiniji, lakši i prilagodljiviji kabel koji pojednostavljuje instalaciju.



Slika 4. 10Base5 izvedba IEEE 802.3 LAN-a



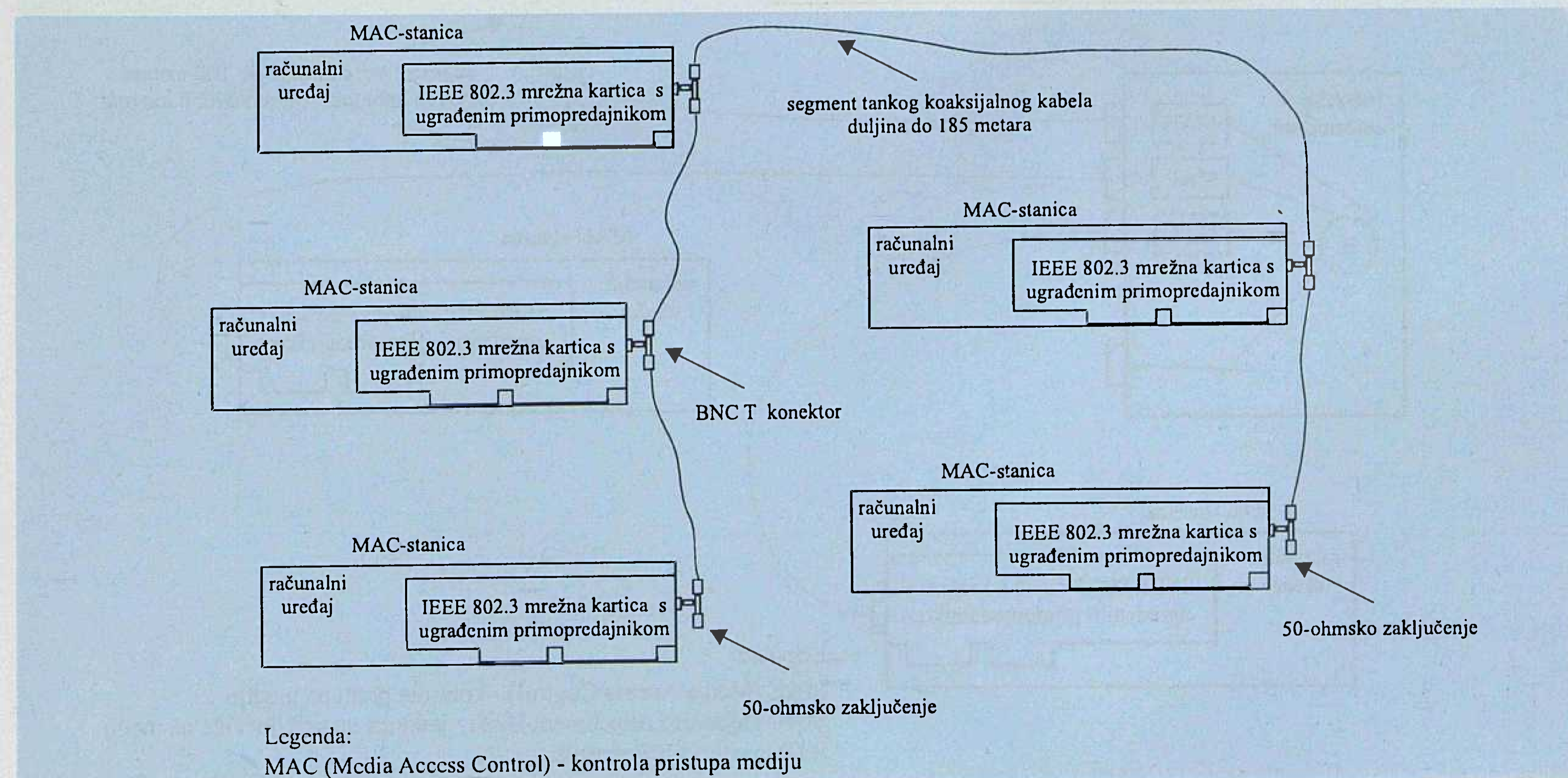
Slika 5. Priključak na mrežnu karticu za tri najčešće izvedbe IEEE 802.3 LAN-a brzine 10 Mb/s

Tablica 2. Karakteristike najčešćih izvedbi IEEE 802.3 LAN-a brzine 10 Mb/s

	10Base5	10Base2	10Base-T
prijenosna brzina	10 Mb/s (ne podržava puni dvosmjerni način rada)	10 Mb/s (ne podržava puni dvosmjerni način rada)	10 Mb/s (20 Mb/s uz puni dvosmjerni način rada)
vrsta kabela	koaksijalni kabel promjer 10 mm karakt. impedancija $50 \pm 2 \Omega$ polumjer savijanja do 25,4 cm	koaksijalni kabel promjer 5 mm karakt. impedancija $50 \pm 2 \Omega$ polumjer savijanja do 5 cm	dvije parice UTP-a impedancije 100Ω kategorije 3 ili bolje
topologija	sabirnica	sabirnica	fizička zvijezda, logička sabirnica (interno se koristi sabirnički signalizacijski sustav)
najveća duljina segmenta	500 m	185 m	100 m
maksimalni broj primopredajnika po segmentu	100	30	2
mogući broj segmenata u istoj domeni sudara	5	5	1024
najveći raspon domene sudara i pripadni broj primopredajnika	2500 metara (5*500), 300 primopredajnika (3*100, ostala dva segmenta moraju biti točka-točka segment)	925 metara (5*185), 90 primopredajnika (3*30, ostala dva segmenta moraju biti točka-točka segment)	1024 primopredajnika
maksimalna duljina primopredajnog kabela	50 m	50 m	50 m
minimalni razmak MAC-stanica	2,5 m	0,5 m	-
konektori	N-konektor (IEC 60169-16), spojnica (barrel) i zaključenje	BNC T-konektor (IEC 60169-8), spojnica (barrel) i zaključenje	8-pozicijski RJ-45 (ISO 8877)
kodiranje signala	Manchester	Manchester	Manchester

ciju u odnosu na 10Base5. Nedostatak tankog kabela u odnosu na debeli je lošija prijenosna karakteristika zbog čega je najveća dozvoljena duljina segmenta 185 m, a dozvoljen broj stanica na segmentu 30. Razmak između stanica nije toliko kritičan kao kod 10Base5 izvedbe, s tim da mora biti veći od 0,5 m.

Kod 10Base2 izvedbe moguća je ugradnja primopredajnih funkcija u mrežnu karticu računalnog uređaja. Time se smanjuje cijena izvedbe (nije potreban vanjski primopredajnik niti primopredajni kabel), ali se zahtijeva vođenje kablenskog segmenta neposredno do računalnih uređaja (slika 6).



Slika 6. 10Base2 izvedba IEEE 802.3 LAN-a

Primopredajnici se spajaju na koaksijalni kabel pomoću BNC T konektora, čiji fizički izgled odgovara slovu "T". Horizontalni dio T-konektora uključuje ženske utičnice za priključak kablinskih odsječaka na čijim su krajevima muški BNC konektori. Vertikalni dio T-konektora sadrži muški BNC konektor za priključak direktno u mrežnu karticu računalnog uređaja (slika 5) ili na vanjski primopredajnik koji se zatim priključuje na mrežnu karticu pomoću primopredajnog kabela. Ukoliko više nije potreban priključak računalnog uređaja na mrežu, BNC T konektor zamjenjuje se BNC spojnicom (barrel) koja omogućuje direktnu vezu dva kablaska odsjeka. Svaki kraj 10Base2 koaksijalnog segmenta treba završiti BNC 50 m završetkom. Iz sigurnosnih razloga segment je potrebno uzemljiti u jednoj točki, uobičajeno na jednom od završetaka segmenta.

2.3. 10Base-T

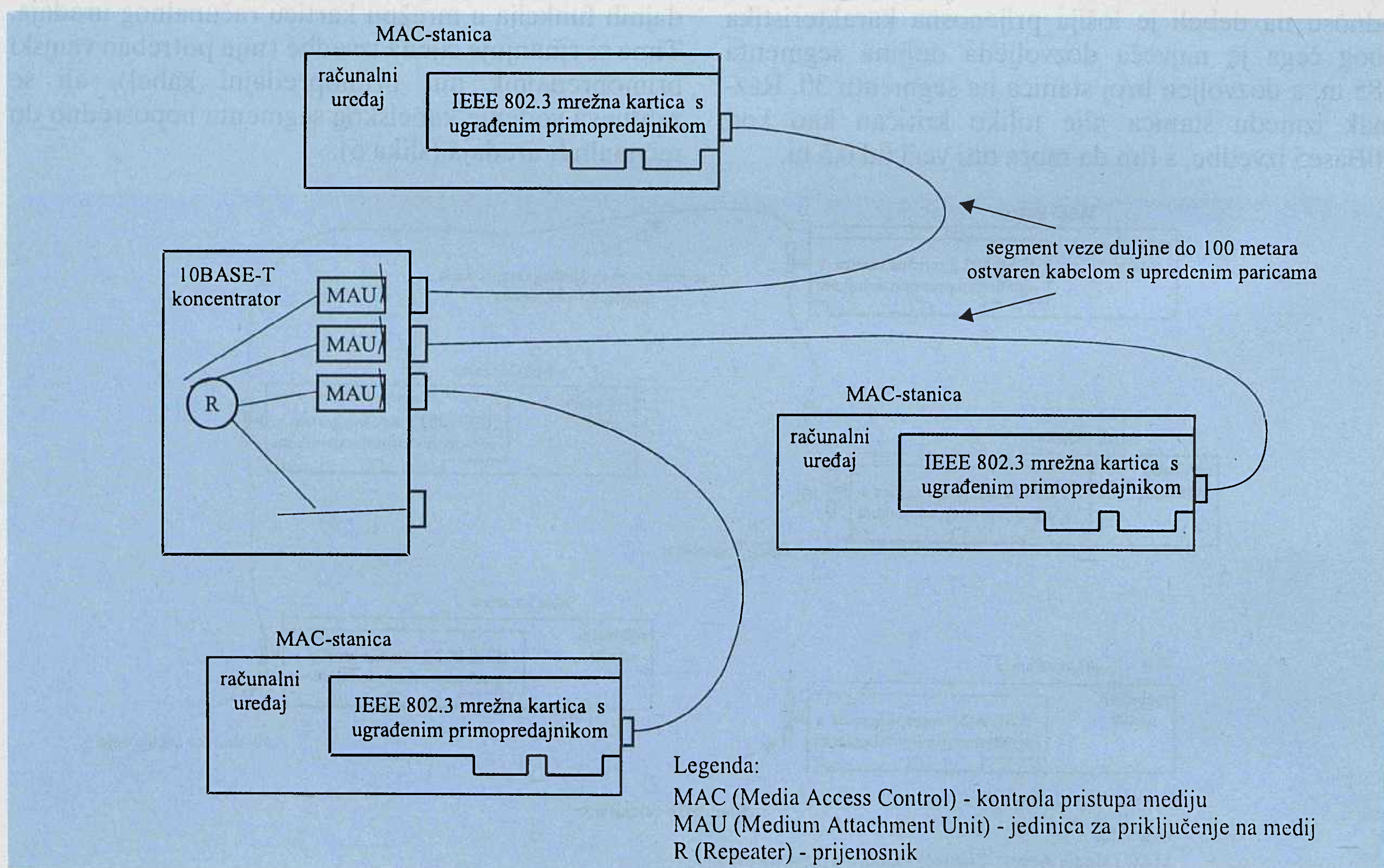
10Base-T izvedba IEEE 802.3 LAN-a podržava prijenosnu brzinu 10 Mb/s na kabliranju upredenim paricama kategorije 3 (deklarirane za prijenos frekvencija do 16 MHz) ili bolje [5]. Duljina segmenta za 10Base-T s kablom kategorije 3 je 100 m. Zahvaljujući širokoj uporabi kabliranja upredenim paricama, ova izvedba IEEE 802.3 LAN-a brzine 10 Mb/s je najpopularnija. 10Base-T izvedba koristi jednu paricu za slanje podataka, a drugu za prijam. Kabel obično sadrži četiri parice, od kojih dvije ostaju neiskorištene. Sve veze u 10Base-T izvedbi su veze od točke do točke (slika 1b).

Kabelske veze točke do točke rezultiraju zvjezdastom topologijom mreže, što pojednostavljuje održavanje, omogućuje brže rješavanje problema, te probleme u svezi s kablom izolira na samo jednu vezu.

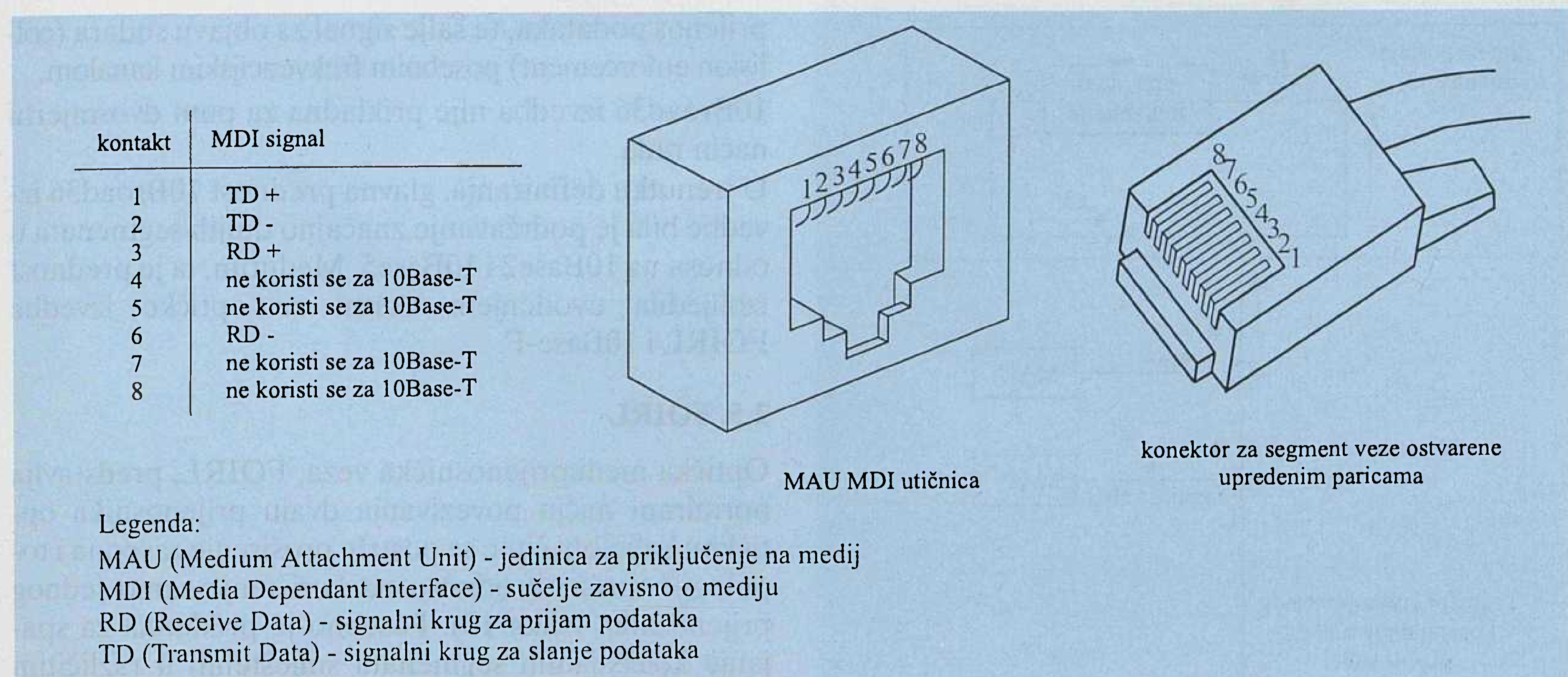
Direktnim spajanjem dvije MAC-stanice opremljene 10Base-T mrežnim karticama ostvaruje se jedan segment veze. Za međusobno spajanje dva ili više segmenta veze ostvarenih upredenim paricama koriste se prijenosnici. Prema tome, prijenosnik je sastavni dio 10Base-T mreže s više od dva računalna uređaja (slika 7). Uz to što predstavlja središnju jedinicu za međusobno spajanje 10Base-T veza u mrežu s više od dva čvora, prijenosnik uobičajeno omogućava spajanje 10Base-T veza sa segmentima drugih izvedbi. Uobičajeni naziv za višezlazni prijenosnik koji se koristi kod fizički zvjezdastih konfiguracija je koncentrador (hub). Jedan kraj kabela s upredenim paricama spaja se na 10Base-T prijenosnik, a drugi kraj na mrežnu karticu MAC-stanice ili na vanjski 10Base-T primopredajnik. Funkcije primopredajnika najčešće su ugrađene u mrežnu karticu. U takvom slučaju veze ostvarene upredenim paricama trebaju biti kompatibilne na sučelju zavisnom o mediju, MDI.

Mehaničko sučelje segmenta veze ostvarene upredenim paricama je 8-pozicijski konektor definiran normom ISO 8877 (slika 8), uobičajeno zvan RJ-45.

Za svaku vezu ostvarenu upredenim paricama potrebno je prespajanje kojim se predajnik jednog primopredajnika spaja s prijamnikom drugog primopredajnika. Prespajanje može biti izvedeno u samom



Slika 7. 10Base-T izvedba IEEE 802.3 LAN-a



Slika 8. Konektor za 10Base-T izvedbu IEEE 802.3 CSMA/CD LAN-a

primopredajniku ili u kabelu. MDI utičnica primopredajnika s ugrađenom funkcijom prespajanja treba biti označena "x". Kad se direktno spajaju dvije MAC-stanice koristi se kabel s prespajanjem koji spaja signalni krug za slanje jedne stanice sa signalnim krugom za prijam druge stanice. Kad se MAC-stanice spajaju na prijenosnik uobičajeno se koristi kabel bez prespajanja, a funkciju prespajanja obavlja primopredajnik na strani prijenosnika.

Za svaki segment veze ostvarene upredenim paricama uz propisane vrijednosti prijenosnih parametara propisane su i dozvoljene vrijednosti parametara združivanja (radi izbjegavanja preslušavanja signala između parica kabela), te dozvoljene smetnje okruženja (preslušavanje drugih 10Base-T krugova i izvana inducirane impulsne smetnje).

10Base-T primopredajnik podržava samo normalni način rada (ne podržava promatrački), ne podržava izbornu *isolate* funkciju, izborni signalni krug CO (CONTROL OUT) niti signal CS1 na signalnom krugu CI (CONTROL IN).

U odnosu na primopredajnike drugih izvedbi, 10Base-T primopredajnik dodatno podržava funkciju ispitivanja integriteta veze kako bi se mrežu zaštitilo od posljedica pogreške na vezi.

10Base-T izvedba veoma je prikladna za korištenje u generičkim (strukturnim) kabelskim sustavima [6]. MAC-stanica se priključnim kabelom s upredenim paricama spaja na zidnu RJ-45 utičnicu. Zidne utičnice se pomoću kabliranja zgrade i prespojnih polja u kabelskim razdjelnicima spajaju na primopredajnike prijenosnika spojenih na kabelski razdjelnik.

Nezavisnost prijamnog i prijenosnog puta 10Base-T medija omogućuje potporu punog dvosmjernog načina rada. Uvjet je da i mrežne kartice i koncentratori mogu podupirati puni dvosmjerni način rada, te da su tako i konfigurirani.

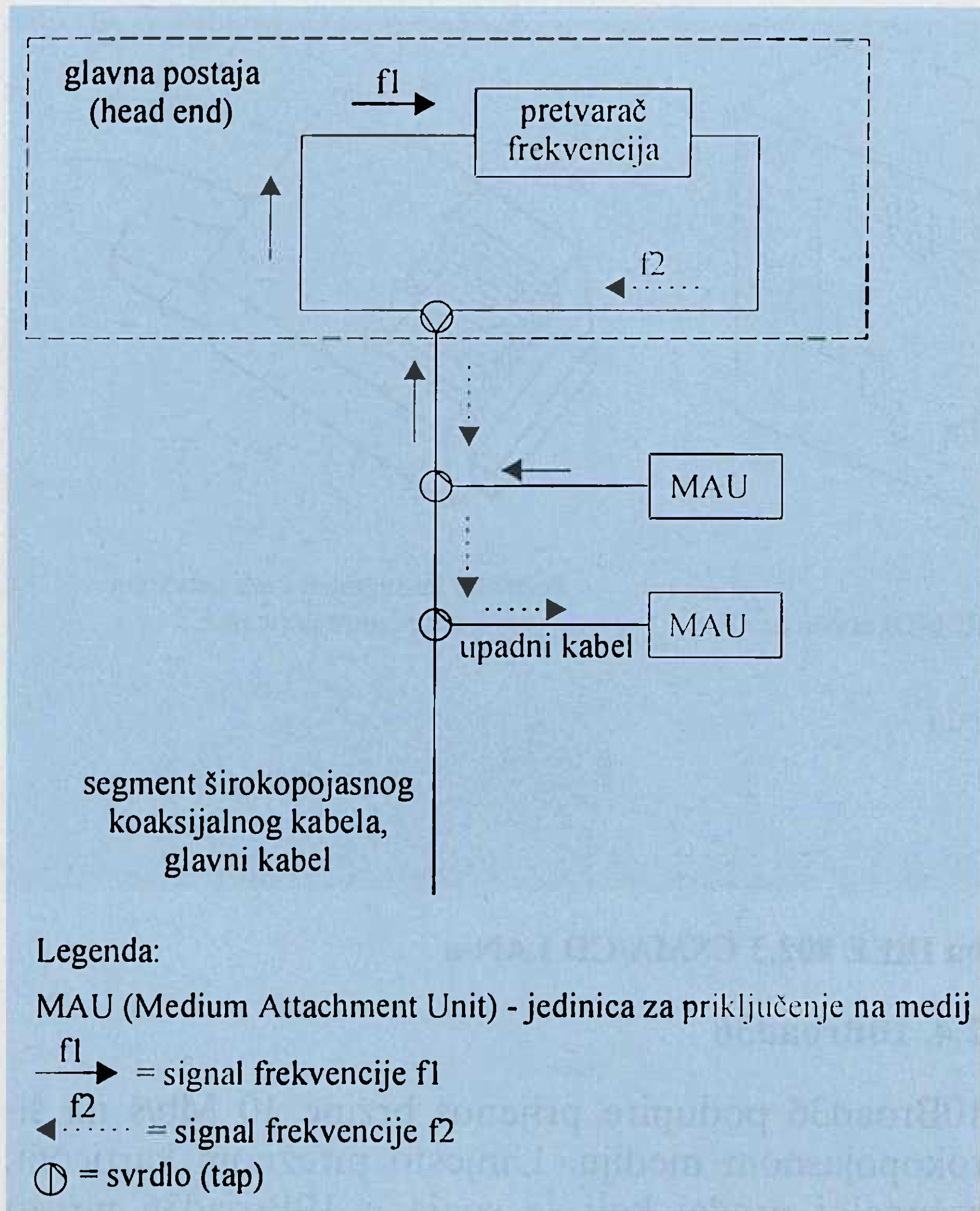
2.4. 10Broad36

10Broad36 podupire prijenos brzine 10 Mb/s na širokopoljnom mediju. Umjesto mrežnom karticom, računalni uređaj koji se spaja u 10Broad36 mrežu potrebno je opremiti radiofrekventnim modemom. Širokopoljni kabel koji se koristi za 10Broad36 je isti relativno jeftini koaksijalni kabel kakav se koristi u prijenosnim sustavima kabelske televizije. Širokopoljni kabelski sustavi omogućavaju istodobni prijenos podataka različitih aplikacija istim kabelom dijeleći njegovu propusnost na odvojene frekvencijske pojase, gdje je svaki frekvencijski pojas pridijeljen različitoj aplikaciji. Ista se tehnika koristi kod kabelske televizije za prijenos više televizijskih kanala istim kabelom, gdje svaki kanal koristi različiti frekvencijski raspon.

Širokopoljni prijenos razlikuje se od prijenosa u osnovnom pojasu po smjeru toka signala. Kod prijenosa u osnovnom pojasu (10Base2 i 10Base5), tok signala je dvosmjernan: signal se prostire u oba smjera od MAC-stanice koja šalje podatke. Kod širokopoljnog prijenosa, tok signala je jednosmjernan. Kako bi signal dospio do svih MAC-stanica u LAN-u, moraju postojati dva puta za tok podataka. Isto se može ostvariti bilo jednokabelskom bilo dvokabelskom konfiguracijom.

Kod jednokabelske konfiguracije (slika 9), kabel prenosi signal preko dva kanala od kojih svaki koristi različiti frekvencijski raspon. Jedan se kanal koristi za slanje signala, a drugi za prijam. Kad primopredajnik MAC stanice pošalje signal frekvencije f_1 , isti se prostire do glavne postaje (head end) koja sadrži pretvarač frekvencija. Glavna postaja mijenja frekvenciju primljenog signala na f_2 i ponovno ga šalje u suprotnom smjeru istim kabelom, te taj signal primaju svi računalni uređaji spojeni na kabel.

Kod dvokabelske konfiguracije svaka je stanica priključena na dva kabela, od kojih se jedan koristi za slanje, a drugi za prijam. Signal se šalje dolaznim kabelom do



Slika 9. Jednokabelska konfiguracija 10Broad36 izvedbe IEEE 802.3 LAN-a

glavne postaje, gdje se prespaja na odlazni kabel bez mijenjanja frekvencije.

Kod dvokabelske konfiguracije i glavnog kabela brzine prostiranja signala 3,83 ns/m pojedini 10Broad36 segment može biti dugačak najviše 1800 m.

Glavna postaja 10Broad36 mreže može biti na kraju segmenta ili u izvorištu više segmenata. Za slučaj više segmenata najveći raspon širokopolasnog kabela između bilo koje dvije stanice iznosi 3600 m. MAC stanice se priključuju na primopredajnike preko primopredajnog kabela maksimalne duljine 50 m. Primopredajnici se upadnim kabelom (drop cable) maksimalne duljine 25 m priključuju na primopredajno svrdlo (tap), pasivni usmjereni uređaj kojim se ostvaruje spoj na glavni širokopolasni kabel (trunk cable) za komunikaciju s glavnom postajom. Time je maksimalni ukupni razmak dviju stanica 3750 m.

Za jednokabelsku konfiguraciju moguća duljina 10Broad36 segmenta manja je od 1800 m zbog kašnjenja koje unosi pretvarač frekvencija u glavnoj postaji.

Primopredajnik koji šalje signal na medij uspoređuje poslani i primljene podatke. Bilo kakvu razliku između njih primopredajnik tumači rezultatom sudara, prekida

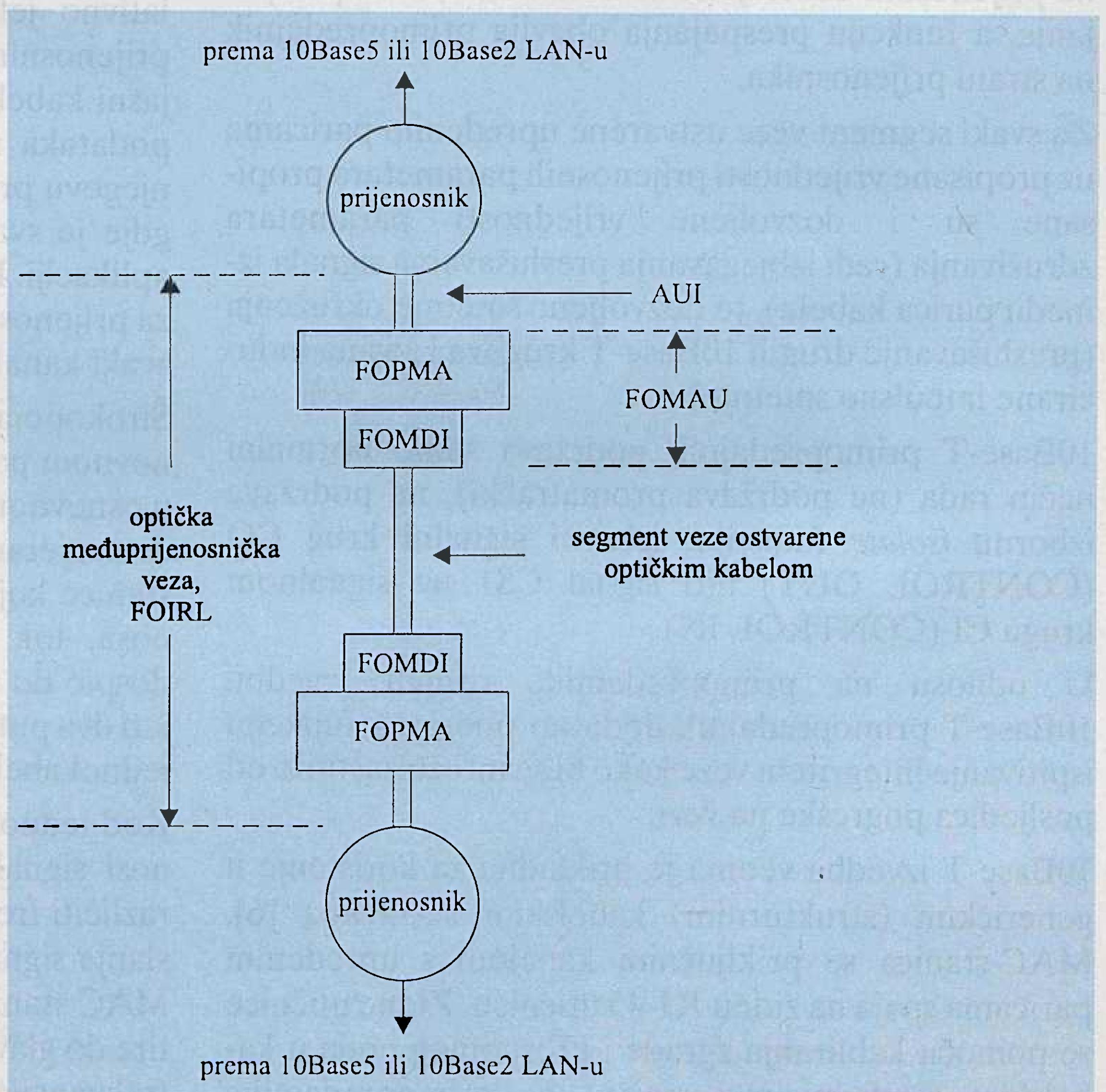
prijenos podataka, te šalje signal za objavu sudara (collision enforcement) posebnim frekvencijskim kanalom.

10Broad36 izvedba nije prikladna za puni dvosmjerni način rada.

U trenutku definiranja, glavna prednost 10Broad36 izvedbe bila je podržavanje značajno duljih segmenata u odnosu na 10Base2 i 10Base5. Međutim, ta je prednost izbljedita uvođenjem normi za optičke izvedbe FOIRL i 10Base-F.

2.5. FOIRL

Optička međuprijenosnička veza, FOIRL, predstavlja normirani način povezivanja dvaju prijenosnika optičkim kabelom čime se postiže proširenje raspona i topologije mreže u odnosu na korištenje samo jednog prijenosnika (slika 10). Posebno je prikladna za spajanje koaksijalnih segmenata smještenih u različitim zgradama. FOIRL podržava prijenosnu brzinu 10 Mb/s na optičkoj vezi od točke do točke duljine do 1000 m. FOIRL obuhvaća dva optička primopredajnika kao sučelja dvaju prijenosnika prema optičkom kabelu koji ih povezuje. Optički primopredajnici funkcioniraju kao direktna veza između segmenta optičkog kabela i prijenosnika, a mogu biti integrirani u prijenosnik ili se prijenosnik spaja primopredajnim kabelom.



Legenda:

AUI (Attachment Unit Interface) - sučelje priključne jedinice

FOMAU (Fiber Optic Medium Attachment Unit) - optička jedinica za priključenje na medij

FOMDI (Fiber Optic Medium-Dependent Interface) - optičko sučelje zavisno o mediju

FOPMA (Fiber Optic Physical Medium Attachment) - priključak na optički fizički medij

Slika 10. Shema optičke međuprijenosničke veze, FOIRL

Primljena optička snaga treba biti između -27 dBm i -9 dBm, pojasna širina optičkog segmenta veze 150 MHz ili više, a prigušenje 8 dB ili manje. Koristi se izravna digitalna modulacija (on-off keying). Optička vlakna mogu biti različitih dimenzija, npr. 50/125 m, 62,5/125 m, 85/125 m, 100/140 m; bitno je zadovoljiti zahtjev o najviše 8 dB prigušenja na optičkoj vezi, što uz pretpostavku gubitka do 4 dB na spojevima (0,5 dB - 2 dB po spoju ovisno o kvaliteti izvedbe) znači da kabel ne smije unositi prigušenje veće od 4 dB/km uz korištenu valnu duljinu 850 nm.

2.6. 10Base-F

Norma 10Base-F definira rad brzinom 10 Mb/s na optičkim kabelima. Definirana je kao dopuna normi za povezivanje prijenosnika optičkim kabelom, FOIRL. 10Base-F obuhvaća tri vrste segmenta definirane kao 10Base-FL, 10Base-FB i 10Base-FP, koji nisu međusobno kompatibilni na razini sučelja.

2.6.1. 10Base-FL

10Base-FL (Fiber Link, optička veza) podržava prijenos brzinom 10 Mb/s preko dva optička vlakna, od kojih se jedno koristi za prijam, a drugo za slanje podataka (slika 11). Ova izvedba omogućuje duljinu

segmenta od najviše 2000 m, a koristi se za povezivanje dvaju računala, dvaju prijenosnika ili računala s prijenosnikom. Pri definiranju ove izvedbe vodilo se računa o mogućnosti međusobnog rada 10Base-FL opreme s postojećom FOIRL opremom.

Svi 10Base-FL segmenti su segmenti od točke do točke s primopredajnicima na oba kraja. Računala se uobičajeno priključuju pomoću vanjskog 10Base-FL primopredajnika. Mrežna kartica računala spaja se na vanjski primopredajnik primopredajnim kabelom (AUI).

Primopredajnik se priključuje na optičke kabele pomoću konektora BFOC/2,5, uobičajeno zvanih ST konektori. Uobičajeno se koriste višemodna optička vlakna dimenzija 62,5/125 m. Koriste se i 50/125 m, 85/125 m, te 100/140 m izvedbe optičkih vlakana, s tim da tada nije moguće postići iste udaljenosti kao kod 62,5/125 m izvedbe. Za 10Base-FL koristi se valna duljina svjetlosti 850 nm. 10Base-FL primopredajnici prate razinu svjetlosti na optičkom segmentu veze radi ispitivanja integriteta veze. Ukoliko razina svjetlosti padne ispod vrijednosti potrebne za pouzdan prijam podataka, primopredajnik prekida slanje i prijam podataka na toj vezi.

Nezavisnost prijamnog i prijenosnog puta 10Base-FL izvedbe omogućuje potporu punog dvosmjernog načina rada. U tom slučaju 10Base-FL može podržati segmente dulje od 2000 m. Kod punog dvosmjernog načina rada duljina segmenta nije ograničena zahtjevima *vremena-kružnog-prostiranja-signal* u CSMA/CD domeni sudara, te je tada višemodnim vlaknima visoke kvalitete moguće postići duljine segmenta i do 5000 m.

Novija 10Base-FL norma podupire međusobni rad sa starijom FOIRL tehnologijom, s tim da u tom slučaju vrijede ograničenja udaljenosti definirana FOIRL-om.

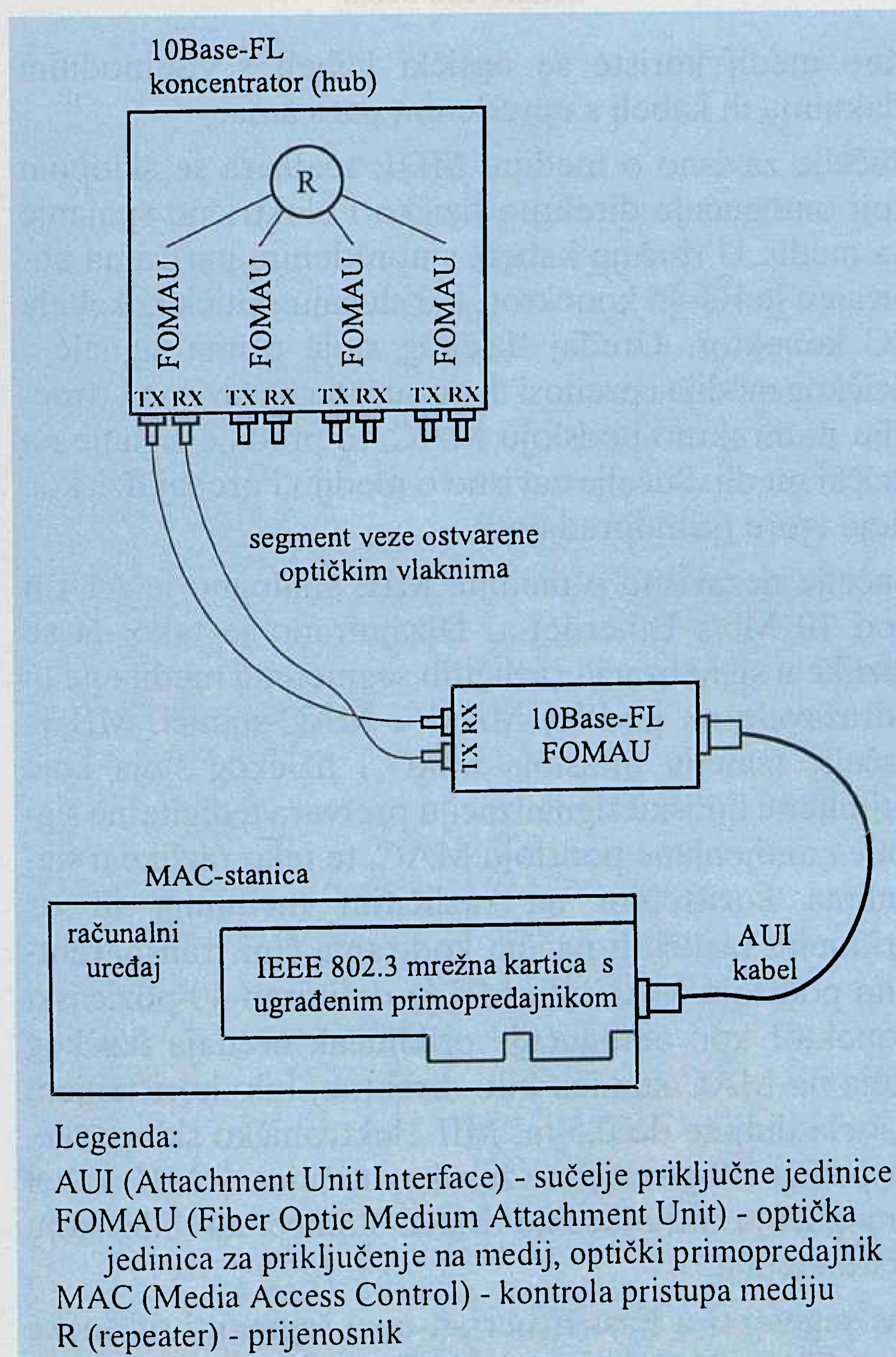
10Base-FL je idealan za povezivanje zgrada. Uz to što optički kabeli podupiru veće udaljenosti od bakrenih, otporni su na električne hazarde kao što su munje i struja uzemljenja do koje može doći pri povezivanju odvojenih zgrada, te na električne smetnje kakve npr. proizvode motori i ostala električna oprema.

2.6.2. 10Base-FB

10Base-FB (Fiber Backbone, optička okosnica) podupire prijenosnu brzinu 10 Mb/s na posebnoj sinkronoj signalizacijskoj vezi optimiziranoj za povezivanje prijenosnika. Pojedini 10Base-FB segment može biti dugačak do 2000 m. Sinkroni signalizacijski protokol omogućava povećanje broja prijenosnika u istom IEEE 802.3 LAN-u na 30.

Dva su faktora koja ograničavaju broj prijenosnika na putu između dvije MAC-stanice:

- prijenosnici unose kašnjenje signala koje može povećati *vrijeme-kružnog-prostiranja* iznad dozvoljenih 512 *vremena-bit*a, te



Slika 11. 10Base-FL izvedba IEEE 802.3 LAN-a

- prijenosnici mogu uzrokovati slučajni gubitak bitova u zaglavlju, koji može rezultirati smanjenjem *vremenskog-razmaka-između-okvira* ispod granice od 9,6 is definirane za implementacije brzine 10 Mb/s.

10Base-FB povećava dozvoljeni broj prijenosnika u mreži kontrolirajući smanjenje *vremenskog-razmaka-između-okvira*. Svi MAC-okviri šalju se s 56 bitova zaglavlja i 8 bitova graničnika početka okvira. Prijenosnik uočava pristizanje novog MAC-okvira na svom ulazu tek nakon što već stigne određen broj bitova zaglavlja. Pritom je vrijeme potrebno elektroničkim krugovima prijenosnika za prepoznavanje pristizanja novog MAC-okvira promjenjivo. Sa stanovišta prijenosnika u trenutku prepoznavanja pristizanja novog MAC-okvira izgleda kao da su prvi bitovi zaglavlja izgubljeni. Prije ponovnog slanja okvira na ostale segmente LAN-a spojene na prijenosnik, prijenosnik mora regenerirati izgubljene bitove zaglavlja kako bi poslao cjeloviti MAC-okvir. Za MAC-okvire koji slijede jedan za drugim broj izgubljenih bitova zaglavlja je različit. Ukoliko MAC-okvir izgubi više bitova od sljedećeg MAC-okvira u nizu, nakon regeneracije izgubljenih bitova zaglavlja i ponovnog slanja MAC-okvira dolazi do smanjenja *vremenskog-razmaka-između-okvira*, koje na izlazu normalnog prijenosnika može biti i do osam bitova.

Uz 10Base-FB prijenosnike to se smanjenje ograničava četiri puta, tj. na samo 2 bita sinkroniziranjem prijenosa između dva prijenosnika.

10Base-FB prijenosnici sinkronizirani su slobodnim signalom frekvencije 2,5 MHz koji se prenosi vezom kad nema paketa, tako da takav prijenosnik odmah uočava dolazeći signal novog paketa. Kako nema gubitka bitova, nema potrebe za regeneriranjem zaglavlja, te je smanjenje *vremenskog-razmaka-između-okvira* ograničeno.

Ova se izvedba koristi za veze od točke do točke između 10Base-FB prijenosnika. Ne može se koristiti za povezivanje računalnih uređaja direktno na 10Base-FB prijenosnik. 10Base-FB podupire iste kabele i konektore kao i 10Base-FL, međutim 10Base-FB ulaz jednog prijenosnika ne može se direktno spojiti na na 10Base-FL ulaz drugog, budući da im signalizacijski protokoli nisu kompatibilni. Također, 10Base-FB ne podupire puni dvosmjerni način rada.

2.6.3. 10Base-FP

10Base-FP (Fiber Passive, pasivna optika) podržava prijenos brzine 10 Mb/s na sustavu pasivne optičke zvijezde. Segmenti mogu biti dugački do 500 m, a jedna 10Base-FP zvijezda može povezivati najviše 33 računala.

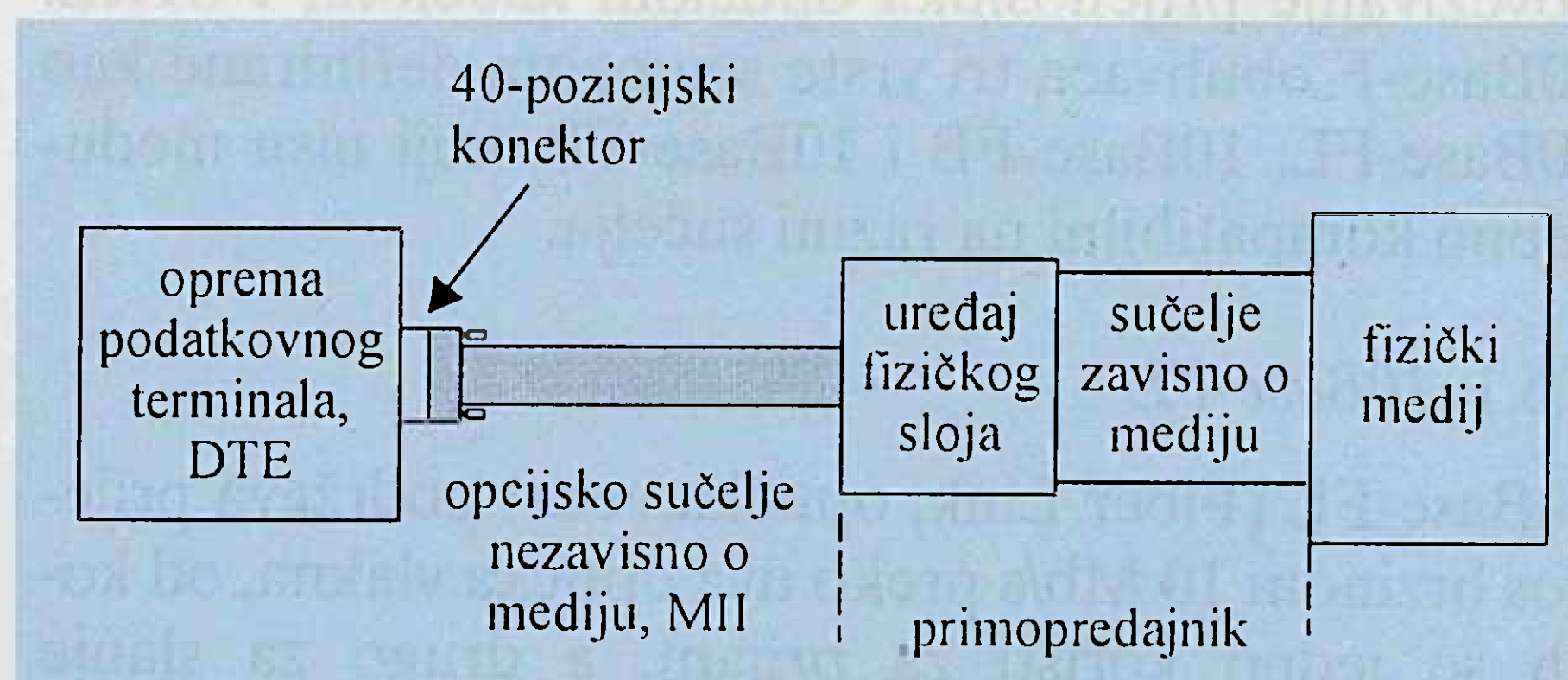
10Base-FP zvijezda je pasivni uređaj, što podrazumijeva da ne zahtijeva napajanje. Idealna je za lokacije gdje napajanje nije raspoloživo. Zvijezda djeluje kao pasivni koncentrador koji prima optičke signale od

10Base-FP primopredajnika, a primljene signale pasivno distribuira prema svim 10Base-FP primopredajnicima spojenim na zvijezdu, uključivo i onome s kojeg je signal primljen. 10Base-FP zvijezda sastoji se od pasivnog spreznika (coupler) i optičkih konektora pakiranih u zajedničko mehaničko kućište.

10Base-FP izvedba nije prikladna za puni dvosmjerni način rada. Ova izvedba tržišno nije široko prihvaćena.

3. FIZIČKI SLOJ IEEE 802.3 LAN-a BRZINE 100 Mb/s

Fizički sloj IEEE 802.3 Fast Ethernet LAN-a izborno uključuje sučelje nezavisno o mediju, uređaj fizičkog sloja, sučelje zavisno o mediju i sam medij (slika 12).



Slika 12. Struktura fizičkog sloja za IEEE 802.3 LAN brzine 100 Mb/s

Kao medij koriste se optički kabele s višemodnim vlaknima ili kabele s upredenim paricama.

Sučelje zavisno o mediju, MDI, realizira se sklopom koji omogućuje direktno fizičko i električno spajanje na medij. U slučaju kabela s upredenim paricama uobičajen je RJ-45 konektor, a u slučaju optičkog kabela SC konektor. Uređaj fizičkog sloja prima signale s fizičkog medija i prenosi ih do sučelja nezavisnog o mediju ili direktno podsloju MAC, te predaje signale na fizički medij. Sučelje zavisno o mediju i uređaj fizičkog sloja tvore primopredajnik.

Sučelje nezavisno o mediju, MII, analogno je AUI-u kod 10 Mb/s Ethernet-a. Dizajnirano je tako da se razlike u signalizaciji različitih segmenata medija ne bi odražavale na podsloju MAC u MAC-stanici. MII je sučelje između podsloja MAC i fizičkog sloja koje primljenu linijsku signalizaciju pretvara u digitalne signale namijenjene podsloju MAC, te tako razlike u signalima korištenim na različitim medijima ili uz primjenu različitih načina kodiranja čini transparentnim podsloju MAC. Za MII je definiran 40-pozicijski konektor koji omogućuje priključak uređaja fizičkog sloja na MAC-stanicu bilo direktno, bilo korištenjem kabela duljine do 0,5 m. MII elektroničko sklopovlje, pripadna 40-pozicijska ženska utičnica i MII kabel omogućuju priključenje MAC-stanice na bilo koju vrstu medija.

Svi segmenti u Fast Ethernet-u su segmenti od točke do točke s primopredajnicima na oba kraja veze. Fast Ethernet primopredajnik može biti samostalan uređaj

ili je integriran u mrežni uređaj, kao što je mrežna kartica MAC-stanice ili prijenosnik. Kad je primopredajnik zaseban uređaj, spojen je na 40-pozicijsku MII utičnicu prijenosnika (rjeđe rješenje) ili mrežne kartice MAC-stanice. Spajanje na MII utičnicu može biti direktno ili korištenjem primopredajnog kabela (slika 12) duljine do 0,5 m, koji na jednom kraju ima 40-pozicijski muški konektor, a analogan je primopredajnom AUI kabeu.

Kod Fast Ethernet-a deset puta je smanjeno vrijeme bita u odnosu na 10 Mb/s izvedbe CSMA/CD sustava, čime je deset puta povećana brzina prijenosa paketa. Ostali bitni vidovi IEEE 802.3 LAN-a su zadržani: struktura i veličina paketa je ista, kao i kontrola pristupa mediju.

Kad se odbor za IEEE 802.3 LAN-ove prihvatio izrade norme za LAN brzine 100 Mb/s, zagovarana su dva pristupa: zadržati isti podsloj MAC kao kod IEEE 802.3 LAN-a, istu strukturu i veličinu MAC-okvira, a brzinu postići smanjivanjem *vremena-bit*, ili razviti novo rješenje. Rezultat prvog pristupa čije su očite prednosti kompatibilnost unatrag sa širokom bazom postojećih IEEE 802.3 LAN-ova, isprobanost tehnologije, te postojanje čipova je Fast Ethernet, dodatak normi 802.3. Rezultat drugog pristupa nova norma IEEE 802.12, uobičajeno zvana 100VG-AnyLAN.

Mnogi Fast Ethernet primopredajnici sadrže nužne elektroničke sklopove koja im omogućuje rad na obje Ethernet brzine (10 Mb/s i 100 Mb/s). Zahvaljujući mehanizmu samopregovaranja (auto-negotiation) primopredajnici se sami podešavaju na rad odgovarajućom brzinom.

Zbog velike uspješnosti fizičke topologije 10Base-T izvedbe i za Fast Ethernet je odabrana fizički zvjezdasta topologija s višeulaznim prijenosnicima, koncentratormima (hub).

Široka rasprostranjenost generičkog kabliranja Š5ČŠ6Č nametala je pronalaženje rješenja za izvedbu brzine 100 Mb/s na optičkim kabelima i na 100 m UTP-a kategorije 3 i 5.

Kao rezultat, prvobitno su definirane tri izvedbe zajedničkog naziva 100Base-T (IEEE 802.3u). Kasnije je definirana i izvedba 100Base-T2 (IEEE 802.3y) za UTP kategorije 3 koja koristi samo dvije parice.

U nastavku je dan kratak opis ograničenja na fizički medij, uključivo vrstu medija, postizive udaljenosti, moguć broj MAC-stanica i odabrani parametri definiranih izvedbi Fast Ethernet-a.

3.1. 100Base-T

100Base-T [7] obuhvaća skup specifikacija za IEEE 802.3 LAN brzine 100 Mb/s, uobičajeno zvan Fast Ethernet. Definirane su tri izvedbe 100Base-T Fast Ethernet-a: 100Base-TX i 100Base-FX (zajednički im je naziv 100Base-X), te 100Base-T4.

Izvedba 100Base-TX namijenjena je za dvije parice UTP-a kategorije 5.

Izvedba 100Base-FX namijenjena je na optičkim kabelima.

Izvedba 100Base-T4 namijenjena je za rad na četiri parice UTP-a kategorije 3.

100Base-TX i 100Base-FX izvedbe (zajednički naziv 100Base-X) dijele zajedničku specifikaciju signalizacije, zvanu 4B/5B, koja potječe od ANSI-jeve normizacije X3T9.5 za FDDI (Fiber Distributed Data Interface). Postojeća specifikacija signalizacije usvojena je kako bi se ubrzalo uvođenje 100Base-X proizvoda na tržište. Kod 4B/5B signalizacije, svaka četiri bita korisničkih podataka pretvaraju se u petobitni kod prije slanja na fizički medij. Budući da postoje 32 različita petobitna koda kojima treba predstaviti 16 mogućih 4-bitnih podatkovnih uzoraka, moguće je za predstavljanje podataka odabrati one kodove koji sadrže barem dva bita "1". Na taj su način osigurani periodični prijelazi u signalu čime je prijammiku olakšano održavanje sinkronizacije s dolaznim signalom. Uz to, dodatni bit omogućuje da petobitni simboli osim korisničkih podataka prenose i kontrolne podatke. Međutim, kako bi se postigao prijenos korisničkih podataka brzinom 100 Mb/s kodirane podatke treba prenositi uz takt 125 MHz.

Kako bi se računalnim uređajima omogućio rad na obje Ethernet brzine (10 Mb/s i 100 Mb/s), IEEE 802.3u uključuje i funkciju samopregovaranja (auto-negotiation) razvijenu na temelju tehnologije tvrtke National Semiconductor, NWay. Samopregovaranje je mehanizam preuzimanja kontrole kabela prigodom uspostavljanja veze s računalnim uređajem na drugom kraju segmenta veze. Samopregovaranje uočava moguće načine komuniciranja uređaja na drugom kraju veze i objavljuje vlastite mogućnosti radi automatskog konfiguriranja najoptimalnijeg načina međusobnog rada. Pri tom se bira između brzine 10 Mb/s i 100 Mb/s, izvedbe 10Base-T, 100 Base-TX ili 100Base-T4, te poludvosmjernog i punog dvosmjernog načina rada. Po odabiru načina rada, samopregovaranje prepušta kontrolu kabela odabranoj izvedbi LAN-a.

Za izvedbe definirane za UTP kabele, 100Base-TX i 100Base-T4, vrijede isti principi kao i za izvedbu 10Base-T. Podatkovni signali koji se šalju paricom su polarizirani: jedna od žica parice prenosi pozitivan signal, a druga identičan negativan signal. Svaki kraj kabela završava 8-pozicijskim RJ-45 konektorom. Dvije 100Base-TX MAC-stanice, odnosno dvije 100Base-T4 MAC-stanice mogu se direktno spojiti bez prijenosnika između njih. U tu svrhu potreban je kabel s funkcijom prespajanja (crossover cable). Kad se MAC-stanica spaja na prijenosnik norma preporuča korištenje kabela bez prespajanja; funkciju prespajanja obavlja prijenosnik.

Uobičajene instalacije koriste višeulazni prijenosnik koji omogućava međusobno spajanje više segmenata veze.

Međutim, definirane su dvije vrste 100Base-T prijenosnika: razred I i razred II (rimske oznake I, odnosno II moraju biti upisane u krug). Za prijenosnike razreda I dozvoljeno je nešto veće vremensko kašnjenje. Linijske signale primljene na ulazu ti prijenosnici pretvaraju u digitalni oblik, te zatim ponovno u linijske signale koje šalju na sve ostale ulaze. Na taj je način omogućeno prenošenje signala između segmenata koji koriste različite signalizacijske tehnike. Proces pretvaranja troši dosta vremena-bitu, te je za istu domenu sudara dozvoljeno korištenje samo jednog prijenosnika razreda I ukoliko su kabelski segmenti maksimalne duljine.

Prijenosnici razreda II linijske signale primljene na jednom ulazu šalju bez pretvorbe na sve ostale ulaze, tako da se mogu koristiti samo za povezivanje istovrsnih segmenata. Dozvoljena je uporaba najviše dva prijenosnika razreda II u istoj domeni sudara.

Osnovne karakteristike izvedbi 100Base-T dane su u tablici 3, a svaka pojedina izvedba ukratko je opisana u nastavku.

3.1.1. 100Base-TX

100Base-TX podupire prijenos brzinom 100 Mb/s na 100 m 100 Ω kabela s upredenim paricama kategorije 5 Š5C . Ograničenje na 100 m nameće specificirano vrijeme-kružnog-prostiranja, za razliku od 10Base-T izvedbe gdje je ograničenje na 100 m rezultat opadanja snage signala. Kabel najčešće sadrži četiri parice, od kojih se dvije koriste za Fast Ethernet, a dvije trebaju ostati neiskorištene budući da 100Base-TX ne tolerira preslušavanje (cross talk) do kojeg dolazi kad se kabel dijeli s drugim signalima.

Brojevi pozicija na 8-pozicijskim RJ-45 konektorima promijenjeni su u odnosu na FDDI-jevu definiciju radi usklađivanja s 10Base-T izvedbom (ANSI FDDI za prijam podataka koristi pozicije 7 i 8, dok 10Base-T

koristi pozicije 3 i 6). Time je omogućeno korištenje istog kabliranja za 10Base-T i za 100Base-T.

Za kodiranje podataka 100Base-TX koristi takt 125 MHz, zbog ranije opisane signalizacije 4B/B. Samo kodiranje je trirazinsko MLT-3 kodiranje kod kojeg se kodirani signal odabire iz ponavljajućeg uzorka š1, 0, -1, 0c. Ukoliko je sljedeći podatkovni bit "1", kodirani signal prelazi u sljedeće stanje ponavljajućeg uzorka. Ukoliko je sljedeći podatkovni bit "0" kodirani signal ostaje konstantan. Prema tome najviša frekvencija u kodiranom signalu javlja se pri prijenosu dugih nizova podatkovnog bita "1" u kojem slučaju kodirani signal ponavlja uzorak š1, 0, -1, 0c, čija je perioda četvrtina brzine takta. Tako je u najgorem slučaju primarna komponenta energije na 31,25 MHz. Pri ostalim uzorcima podatkovnih bitova energija je distribuirana na nižim frekvencijama. Problem kod ovog kodiranja bio bi prijenos dugog niza podatkovnog bita "0", međutim taj je problem izbjegnuto ranije opisanom 4B/5B signalizacijom koja prethodi MLT-3 kodiranju.

Većina 100Base-TX veza spaja računalo s prijenosnikom u koji je uobičajeno integrirana i funkcija primopredajnika. Računalni uređaj se priključuje na LAN pomoću mrežne kartice, u koju također može biti integrirana i funkcija primopredajnika.

Normom za 100Base-TX podržana je mogućnost korištenja kabliranja 150 Ω oklopljenim kabelima s upredenim paricama, STP, kakvo je prisutno u zgradama gdje se koristilo Token Ring mreže. Ukoliko se koristi STP, RJ-45 konektor zamjenjuje se 9-pozicijskim D-shell konektorom.

Nezavisnost prijamnog i prijenosnog puta 100Base-TX medija omogućuje potporu punog dvosmjernog načina rada. Uvjet je da i mrežne kartice i prijenosnici mogu podupirati puni dvosmjerni način rada, te da su tako i konfigurirani.

Tablica 3. Osnovne karakteristike IEEE 802.3 CSMA/CD izvedbi 100Base-T

	100Base-TX	100Base-FX	100Base-T4
prijenosna brzina	100 Mb/s (200 Mb/s uz puni dvosmjerni način rada)	100 Mb/s (200 Mb/s uz puni dvosmjerni način rada)	100 Mb/s (puni dvosmjerni način rada nije podržan)
vrsta kabela	2 parice UTP-a kategorije 5 karakteristične impedancije 100 Ω (opcijski STP impedancije 150 Ω)	2 višemodna optička vlakna uobičajeno dimenzija 62,5/125 μm koristi se valna duljina 1300 nm	4 parice UTP-a kategorije 3 ili bolje karakteristične impedancije 100 Ω
najveća duljina segmenta	100 m	za poludvosmjerni rad: 412 m za puni dvosmjerni rad: 2000 m	100 m
maksimalni broj primopredajnika po segmentu	2	2	2
konektori	modularni 8-pozicijski RJ-45 konektor za UTP (ISO 8877) opcijski 9-pozicijski D-konektor za STP	preporučeno: dvojni SC konektor (IEC 60874-14) dozvoljeno: FDDI MIC konektor, te BFOC/2,5 (ST) konektor (IEC 60874-10)	modularni 8-pozicijski RJ-45 konektor za UTP (ISO 8877)
kodiranje signala	4B/5B	4B/5B	8B/6T

3.1.2. 100Base-FX

100Base-FX podupire prijenos brzine 100 Mb/s preko kabela s optičkim vlaknima. U svakom 100Base-FX segmentu koriste se dva optička vlakna, jedno za slanje podataka, a drugo za prijam, s tim da u segmentu veze treba osigurati prespajanje signala (signal crossover). Uobičajeno se koriste višemodna optička vlakna dimenzija 62,5/125 m. Koriste se i 50/125 m, 85/125 m, te 100/140 m izvedbe, s tim da tada nije moguće postići iste udaljenosti kao kod 62,5/125 m izvedbe.

Premda pojedini 100Base-FX segment može biti dugačak 412 m, dozvoljena udaljenost dvije MAC-stanice uz korištenje prijenosnika je manja. U tablici 4 navedene su najveće dozvoljene udaljenosti MAC-stanica iste domene IEEE 802.3 CSMA/CD 100Base-X LAN-a. Podsjetimo se da je domena sudara CSMA/CD mreža u kojoj dolazi do sudara ukoliko se prijenos dviju MAC-stanica vremenski preklopi. Pojedinačni segment ili više segmenata povezanih prijenosnikom predstavljaju jednu domenu sudara.

Nezavisnost prijamnog i predajnog puta 100Base-FX medija omogućuje potporu punog dvosmjernog načina rada. Uz puni dvosmjerni način rada, duljina segmenta više nije ograničena zahtjevima *vremena-kružnog-prostiranja* za CSMA/CD domenu, te se dozvoljena duljina 100Base-FX segmenta povećava s 412 m na 2000 m.

Korištenjem skupljih, jednomodnih vlakana moguće je postići i veće udaljenosti.

3.1.3. 100Base-T4

100Base-T4 podupire prijenos brzinom 100 Mb/s koristeći četiri parice 100 Ω kabela s uprednim paricama, kategorije 3 ili bolje, duljine 100 m (za razliku od 100Base-TX izvedbe koja zahtijeva kabliranje kategorije 5). Ograničenje na 100 m nameće osiguranje specifičanog *vremena-kružnog-prostiranja*, za razliku od 10Base-T izvedbe gdje je ograničenje na 100 m rezultat opadanja snage signala.

Od četiri parice koje se koriste za 100Base-T4, jedna je namijenjena slanju podataka, druga prijemu, a

preostale dvije dvosmjerne parice koriste se bilo za prijam, bilo za slanje. Tri parice služe za prijenos podataka, dok je četvrta parica uvijek slobodna za detektiranje sudara na vezi, tj. četvrtom paricom se ne šalju podaci, već je koncentrador koristi kako bi MAC-stanici signalizirao da je došlo do sudara.

100Base-T4 primopredajnik neprestano prati aktivnost na prijamnom podatkovnom putu. Naime, kad je mreža slobodna, predajnik šalje impuls veze koji služi provjeri integriteta veze. Isti se impuls koristi i za samopregovaranje.

Podaci se prenose korištenjem 8B6T sheme kodiranja signala, kod koje se 8 bitova binarnih podataka pretvara u 6 ternarnih signala za prijenos uprednim paricama. Ternarni signali imaju jednu od sljedeće tri vrijednosti: -1, 0 i +1, za razliku od binarnog signaliziranja sa samo dvije vrijednosti (1 i 0) kakvo se koristi kod ostalih spomenutih fizičkih slojeva. Shema korištenja parica učinkovito dijeli brzinu podataka 100 Mb/s na tri parice od kojih se svakom postiže 33,333... Mb/s. Budući da ternarno signaliziranje zahtijeva samo šest bauda za prijenos osam bitova podataka, maksimalna brzina prijenosa signala iznosi 25 Mbauda po upredenoj parici, što odgovara najvećoj frekvenciji od 12,5 MHz-a.

100Base-T4 ne podupire puni dvosmjerni način rada.

3.2. 100Base-T2

100Base-T2 [7] je jedina CSMA/CD norma koja podržava prijenos brzine 100 Mb/s na dvije upredene parice kategorije 3. Ukoliko kabel sadrži više od dvije parice, dozvoljeno je da preostale parice služe za druge usluge.

100Base-T2 koristi "dvostruki dvojni prijenos u osnovnom pojasu" za istodobni prijenos podataka preko obje parice nezavisno o smjeru. Koristi složeno kodiranje signala PAM5x5 (Five-level Pulse Amplitude Modulation), kod kojeg se podaci prenose korištenjem petorazinskog signala koji može imati sljedeće vrijednosti: -2, -1, 0, +1 i +2. Ovo kodiranje omogućava da se četiri bita podataka prenese pri jednoj promjeni signala na svakoj parici. Uz prijenosnu brzinu od 25 Mbauda i

Tablica 4. Najveći promjer domene sudara¹⁾ za 100Base-T izvedbe IEEE 802.3 LAN-a

konfiguracija LAN-a	bakar	optika	bakar T4 i optika FX	bakar TX i optika FX
jedan segment veze	100	412	n.p.s.	n.p.s.
jedan prijenosnik razreda I	200	272	231 ²⁾	260,8 ²⁾
jedan prijenosnik razreda II	200	320	n.p.s. ³⁾	308,8 ²⁾
dva prijenosnika razreda II	205	228	n.p.s. ³⁾	216,2 ⁴⁾

Napomene

n.p.s. - ne primijenjuje se

¹⁾ najveća moguća udaljenost dvije MAC-stanice koje pripadaju istoj domeni sudara

²⁾ podrazumijeva bakrenu vezu duljine 100 metara i jednu optičku vezu

³⁾ ne primijenjuje se: T4 i FX se ne mogu povezati prijenosnikom razreda II

⁴⁾ podrazumijeva 105 metara bakrene veze i jednu optičku vezu

dvije parice, omogućen je istodobni prijenos 100 Mb/s podataka u oba smjera (puni dvosmjerni način rada). Norma je definirana 1997. godine, ali do danas nije u široj uporabi.

Osnovne karakteristike izvedbe 100Base-T2 dane su u tablici 5.

Tablica 5. Karakteristike 100Base-T2 izvedbe IEEE 802.3 LAN-a

	100Base-T2
prijenosna brzina	100 Mb/s (200 Mb/s uz puni dvosmjerni način rada)
vrsta kabela	dvije parice UTP-a kategorije 3 ili bolje karakteristične impedancije 100 Ω
najveća duljina segmenta	100 m
maksimalni broj primopredajnika po segmentu	2
konektori	modularni 8-pozicijski RJ-45 konektor za UTP (ISO 8877)
kodiranje signala	PAM5x5

4. IZVEDBE IEEE 802.3 LAN-a

BRZINE 1000 Mb/s – GIGABIT ETHERNET

Ključni ciljevi postavljeni pred IEEE radnu grupu 802.3z pri izradi norme za Gigabitni Ethernet bili su:

- omogućiti poludvosmjerni i puni dvosmjerni rad uz brzinu 1000 Mb/s
- koristiti 802.3 Ethernet format okvira
- koristiti CSMA/CD pristupnu metodu s podupiranjem jednog prijenosnika u domeni sudara
- kompatibilnost unatrag s 10Base-T i 100Base-T tehnologijama.

Gornje se zahtjeve željelo postići na optičkim vezama s višemodnim vlaknima duljine do 550 m, optičkim vezama s jednomodnim vlaknima duljine do 3 km, te bakrenim vezama duljine do 25 m.

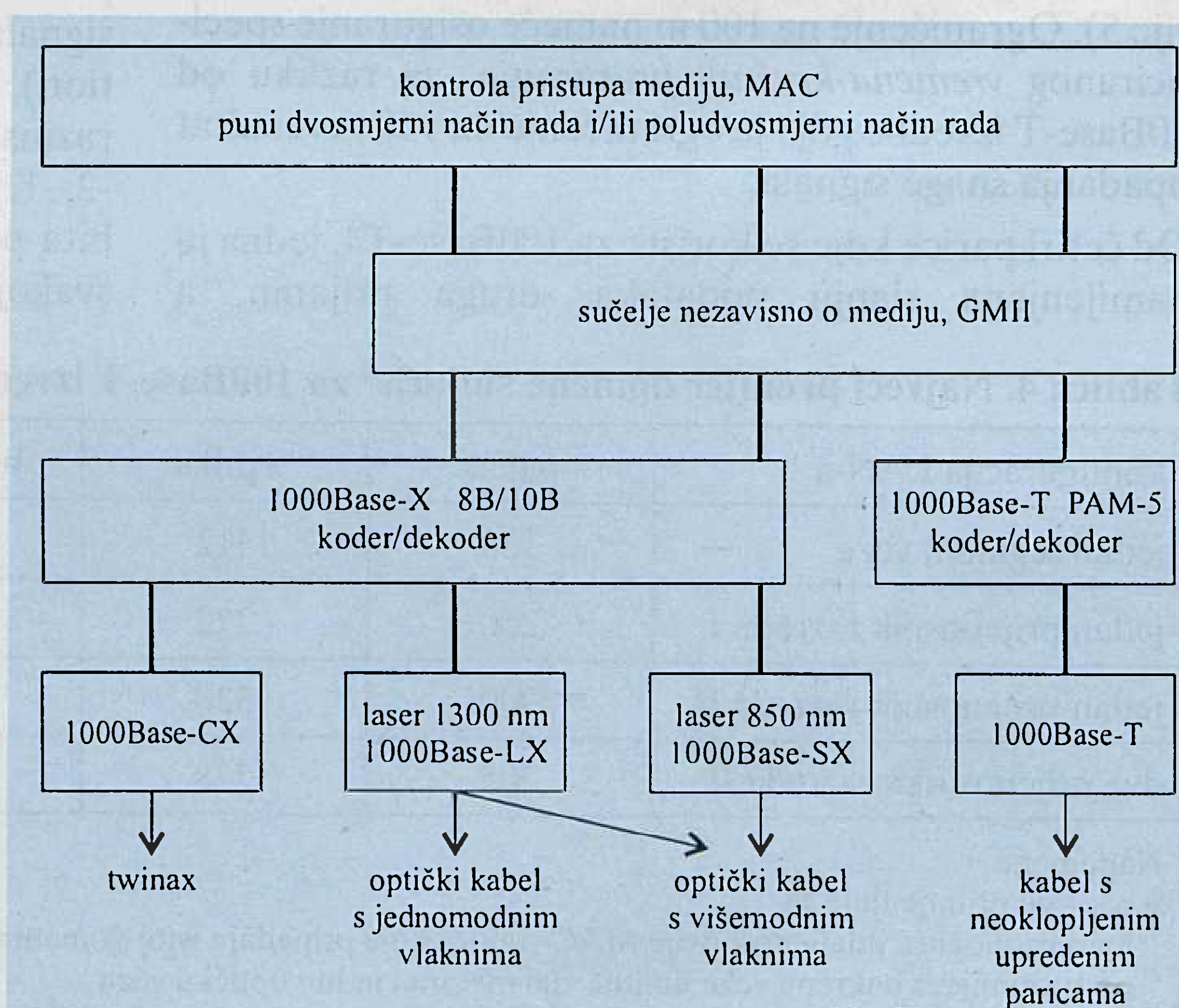
Također, kako se zbog stalnog napretka silicijskih tehnologija i napretka u obradi digitalnih signala očekivalo omogućavanje rada Gigabitnog Ethernet na UTP-u, odlučeno je da se definira izborno gigabitno sučelje nezavisno o mediju, GMII (Gigabit Media Independent Interface). GMII je logičko sučelje između podsloja MAC i fizičkog sloja koje razlike u signalima korištenim na različitim medijima ili uz primjenu različitih načina kodiranja čini transparentnim podsloju MAC. Sučelje GMII je analogno AUI-u kod 10 Mb/s Ethernet-a, te MII-u kod 100 Mb/s Ethernet-a. Za razliku od AUI i MII, za GMII nije definiran konektor koji bi omogućio kabelski priključak primopredajnika na MAC-stanicu, jer je

primopredajna funkcija uvijek ugrađena u Gigabit Ethernet uređaj.

Nakon što je radna grupa 802.3z odmakla s radom, 1997. godine odobren je Zahtjev za autorizaciju dodatnog projekta i osnovana posebna radna grupa 802.3ab sa zadatkom razvoja fizičke norme za Gigabitni Ethernet na četiri parice UTP-a kategorije 5 [5] uz udaljenost 100 m i promjer mreže 200 m (tj. uz korištenje najviše jednog prijenosnika). Time se željelo zadovoljiti zahtjeve za povećanjem brzine na brojnim horizontalnim bakrenim instalacijama zgrada koje koriste strukturno generičko kabliranje [5][6]. Rad ove radne grupe zahtijevao je velike napore, između ostalog definiranje dodatnih parametara za kabliranje kategorije 5 te pripadnih ispitnih metoda i instrumenata, te složeno kodiranje i obradu digitalnih signala.

Budući da se radi o Ethernet tehnologiji, za Gigabitni Ethernet se koriste sve vrste uređaja kao i za Ethernet, npr. preklopnici, moduli s ulazima za pojedine izvedbe, mrežne kartice i usmjernici, uz dodatnu novu vrstu uređaja, spremnički distributor (buffered distributor). Spremnički distributor je puni dvosmjerni višeulazni uređaj nalik koncentratoru koji međusobno povezuje dvije ili više 802.3 Gigabit Ethernet veza. Svi njegovi ulazi dijele propusnost 1 Gb/s. Kao i prijenosnik, spremnički distributor pristigle pakete ne filtrira na temelju MAC-adresa, već ih prosljeđuje na sve spojene veze osim one s koje su stigli. Za razliku od 802.3 prijenosnika, spremnički distributori mogu spremiti jedan ili više dolaznih okvira po svakoj vezi prije njihovog prosljeđivanja. Radi kontroliranja zagušenja unutarnjeg spremnika ovi uređaji koriste kontrolu toka definiranu normom IEEE 802.3w. Također, mogu primiti i slati 802.3w okvire za kontrolu toka.

Na slici 13 prikazane su sve izvedbe Gigabitnog Ethernet-a detaljnije opisane u nastavku ove točke.



Slika 13. Razine Gigabitnog Ethernet-a

4.1. 1000Base-X

1000Base-X (IEEE 802.3z) [7] obuhvaća skup specifikacija za IEEE 802.3 CSMA/CD sustav brzine 1000 Mb/s (1 Gb/s), uobičajeno zvan Gigabitni Ethernet. Definirane su tri izvedbe: 1000Base-LX, 1000Base-SX i 1000Base-CX. Svaka od tih normi temelji se na specifikacijama fizičkog sloja preuzetim iz ANSI-jeve norme za Fibre Channel. Tako 1000Base-X koristi isto 8B/10B kodiranje kao i Fibre Channel, te sličnu optičku i električnu specifikaciju. Preuzimanje postojeće specifikacije ubrzalo je pojavu 1000Base-X proizvoda na tržištu.

Kod 8B/10B signalizacije, svakih osam bitova korisničkih podataka pretvara se u desetbitni simbol prije slanja na medij. Zbog dodanih bitova potrebno je koristiti prijenos signala brzinom 1,25 gigabauda za ostvarenje prijenosa podataka brzinom 1 Gb/s. Međutim, dodatni bitovi dozvoljavaju pridjeljivanje jedinstvenih simbola svakoj prihvatljivoj osam-bitnoj kombinaciji podataka, osiguravajući pritom definiranje dodatnih simbola za prijenos kontrolnih i drugih podataka. Svi valjani simboli sadrže pet jedinica i pet nula radi istosmjerne izbalansiranosti. Česte promjene stanja olakšavaju prijatelju održavanje takta. Simboli koji ne sadrže pet jedinica i pet nula nisu valjani, te ukazuju na pojavu pogrešaka u prijenosu.

4.1.1. 1000Base-LX

"L" u nazivu izvedbe 1000Base-LX odnosi se na "long" (dugo), budući da ova izvedba za slanje signala podataka koristi laser velike valne duljine (1270 nm do 1355 nm). Laseri za velike valne duljine su skuplji od lasera za male valne duljine, ali mogu prenijeti podatke na veće udaljenosti. Ova je izvedba namijenjena za korištenje na vertikalnom kabliranju zgrade izvedenom optičkim kabelima s višemodnim vlaknima ili na vertikalnom kabliranju kompleksa zgrada izvedenom optičkim kabelima s jednomodnim vlaknima.

4.1.2. 1000Base-SX

"S" u nazivu izvedbe 1000Base-SX odnosi se na "short" (kratko), budući da ova izvedba za slanje signala podataka koristi laser male valne duljine (770 nm do 860 nm). Prednost lasera za male valne duljine u odnosu na lasere za velike valne duljine je cijena. Ova je izvedba namijenjena za korištenje na horizontalnom kabliranju zgrade izvedenom optičkim kabelima s višemodnim vlaknima ili na vertikalnom kabliranju zgrade u slučaju kraćih dionica izvedenih optičkim kabelima s višemodnim vlaknima.

Gigabitni Ethernet je prva LAN tehnologija kod koje je duljina veze ograničena pitanjima modalne propusnosti. S obzirom da je jedan od ciljeva pri izradi norme za Gigabitni Ethernet bio omogućiti rad na postojećim kablenskim platformama, koje su kod optičkih kabela uglavnom izvedene višemodnim vlaknima, te s obzirom da LED diode nisu u stanju raditi brzinama koje

zahtijeva Gigabitni Ethernet, bilo je potrebno pronaći način emitiranja svjetlosnih impulsa iz laserskih izvora u višemodna optička vlakna. Uvjeti emitiranja svjetlosti u optičko vlakno kod lasera sasvim su različiti od LED dioda. Laser emitira tanki snop svjetlosti, znači snop manjeg promjera i manjeg kutnog zahvata. Takav uski svjetlosni snop je veoma osjetljiv na promjene u profilu indeksa loma, te je kod mnogih višemodnih vlakana uočeno cijepanje optičkog impulsa pri korištenju lasera kao izvora svjetlosti. Efekt se opisuje parametrom DMD (Differential Mode Delay), definiranim kao relativno kašnjenje prostiranja optičkog moda pri njegovom emitiranju na različitim radijalnim pozicijama promjera višemodnog optičkog vlakna. Rješenje problema postignuto je poboljšanjem upada svjetlosti (Conditioned Launch), tj. definiranjem načina na koji predajnik treba emitirati svjetlosni impuls iz lasera u višemodno vlakno a da se izbjegnu područja profila optičkog vlakna koja uzrokuju najveće cijepanje optičkog impulsa. Sposobnost poboljšanja upada svjetlosti ugrađena je u 1000Base-SX primopredajnike, dok se za 1000Base-LX prijenos višemodnim vlaknima za isto treba koristiti vanjski hibridni kabel (jumper cable).

4.1.3. 1000Base-CX

"C" u nazivu izvedbe 1000Base-CX odnosi se na "copper" (bakar) budući da se za ovu izvedbu koristi posebni oklopljeni balansirani bakreni kabel zvan "twinnax" ili "short haul copper". Duljina segmenta ograničena je na 25 m, te je primjena ove izvedbe ograničena na mala područja, kao što je npr. prostor oko kablenskog razdjelnika. Zamišljena je za spajanje nakupine računalne opreme na kakvu se uobičajeno nailazi u računalnoj prostoriji. Osnovne karakteristike izvedbi 1000Base-X dane su u tablici 6.

4.2. 1000Base-T

1000Base-T [10] podržava Gigabit Ethernet na 100 m segmentu simetričnog bakrenog kabliranja kategorije 5. Fizički sloj izvedbe 1000Base-T koristi puni dvosmjerni prijenos u osnovnom pojasu na četiri parice. Združena brzina prijenosa podataka 1000 Mb/s postiže se prijenosom podataka brzinom 250 Mb/s preko svake od četiri parice.

Za razliku od signalizacije kod 10Base-T i 100Base-TX izvedbi koja je jednosmjerna – na svakoj pojedinoj parici signali se prenose u jednom smjeru, kod 1000Base-T izvedbe signali se prenose dvosmjerno, tj. istodobno u oba smjera unutar iste parice. Dvosmjerni prijenos podataka paricom omogućuju uređaji zvani hibridi. Hibridi onemogućuju miješanje lokalno prenošenog signala s lokalno primanim signalom. Ovakvo dvosmjerno signaliziranje koristi se na sve četiri parice. Dvosmjerno signaliziranje istom žicom rezultira pojavom odjeka. Odjek je rezultat združenog djelovanja kablenskog prigušenja zbog refleksije (return loss) i

Tablica 6. Osnovne karakteristike 1000Base-X izvedbi IEEE 802.3 LAN-a

	1000Base-LX	1000Base-SX	1000Base-CX
prijenosna brzina	1000 Mb/s (2000 Mb/s uz puni dvosmjerni način rada)	1000 Mb/s (2000 Mb/s uz puni dvosmjerni način rada)	1000 Mb/s (2000 Mb/s uz puni dvosmjerni način rada)
vrsta kabela	2 MM opt. vlakna 62,5/125 μm , 2 MM opt. vlakna 50/125 μm ili 2 SM vlakna dimenzije 10 μm valna duljina 1270-1355 nm	dva MM opt. vlakna 62,5/125 μm ili dva MM opt. vlakna 50/125 μm valna duljina 770-860 nm	poseban oklopljeni bakreni kabel ("twinax" ili "short haul copper")
najveća duljina segmenta	poludvosmjerni MMF: 316 m poludvosmjerni SMF: 316 m puni dvosmjerni MMF: 550 m puni dvosmjerni SMF: 5000 m	poludvosmjerni 62,5/125: 275 m poludvosmjerni 50/125: 316 m puni dvosmjerni 62,5/125: 275m puni dvosmjerni 50/125: 550 m	poludvosmjerni: 25 m puni dvosmjerni: 25 m
maksimalni broj primopredajnika po segmentu	2	2	2
konektori	dvojni SC konektor (IEC 60874-14)	dvojni SC konektor (IEC 60874-14)	9-pozicijski oklopljeni D-konektor ili 8-pozicijski ANSI Fiber Channel konektor vrste 2 (HSSC)
kodiranje signala	8B/10B	8B/10B	8B/10B
Napomene MM (Multi Mode): višemodna SM (Single Mode): jednomodna MMF (Multi Mode Fiber): višemodna optička vlakna SMF (Single Mode Fiber): jednomodna optička vlakna			

funkcije hibrida, a rješava se primjenom poništavača odjeka (echo canceller), ispitane telefonske tehnologije.

Kako bi se zadržala udaljenost od 100 m definirana specifikacijom generičkog kabliranja [6], bilo je potrebno produljiti vrijeme prostiranja MAC-okvira nositeljem i povećati vrijeme-slota s 512 bita na 512 okteta (4096 bitova). Minimalna duljina MAC-okvira ostaje ista, a produljenje vremena nositelja postiže se slanjem polja za proširenje odmah po isteku MAC-okvira. Na taj se način rješava problem vremenskog usklađivanja bez mijenjanja veličine MAC-okvira na sučelju podsloja MAC. Ovakva promjena bi mogla loše utjecati na performanse sustava pri prijenosu malih paketa da u Gigabitni Ethernet nije uvedena mogućnost praskavog načina rada (packet bursting), koji dozvoljava slanje niza MAC-okvira bez oslobađanja medija.

Pri punom dvosmjernom načinu rada nije potrebno produljenje vremena nositelja, povećanje vremena-slota niti praskavi način rada, već se koristi regularni vremenski-razmak-između-okvira od 96 vremena-bitova i najmanja duljina MAC-okvira od 512 bita.

Zbog punog dvosmjernog prijenosa na sve četiri parice UTP kabela, kod Gigabitnog Ethernet postaju kritični sasvim novi parametri kabliranja. Prijenos paricom ometaju istodobni prijenosi na ostale tri parice. Također, razlike u brzini prostiranja signala pojedini

nom paricom moraju biti u definiranim granicama. Novi parametri kojima su propisane vrijednosti [8][9] neophodne za omogućavanje rada Gigabitnog Ethernet na kabliranju kategorije 5 jesu: istorazinsko prigušenje preslušavanja na daljem kraju ELFEXT (Equal Level Far-End Crosstalk), prigušenje zbog refleksije (return loss) i odstupanje kašnjenja u prostiranju signala (delay skew). Zbog tih je parametara prije početka rada Gigabitnog Ethernet na kabliranju kategorije 5 potrebno provjeriti da performanse kabliranja zadovoljavaju zahtjeve definirane u TSB-95 [9] korištenjem tamo definiranih ispitnih uređaja razreda IIE i ispitnih metoda. Očekuje se da će 90% postojećih instalacija proći ovu provjeru.

Za izvođenje nove instalacije preporuča se kabliranje poboljšane (Enhanced) kategorije 5, označene 5E [10], definirano eksplicitno radi udovoljavanja svim izazovima koje za UTP predstavlja Gigabit Ethernet promet. Dodatni parametri definirani za kategoriju 5E ili promijenjenih graničnih vrijednosti u odnosu na one definirane za kategoriju 5 jesu prigušenje zbog preslušavanja na bližem kraju (NEXT), prigušenje zbog združenog preslušavanja na bližem kraju (PS-NEXT), istorazinsko prigušenje preslušavanja na daljem kraju (ELFEXT), združeno istorazinsko prigušenje preslušavanja na daljem kraju (PS-ELFEXT), prigušenje zbog refleksije (return loss), brzina prostiranja signala i odstupanje kašnjenja u prostiranju signala (delay skew).

Ukoliko se prigodom verifikacije postojećeg kabliranja ustanovi da isto ne zadovoljava dodatne zahtjeve [9], moguće je primijeniti jednu od sljedećih metoda:

- prijelaz na spojne kabele za opremu (patch cords) kategorije 5E
- zamjena dvostrukog prespojnog polja (cross connect) jednostrukim (interconnect)
- zamjena postojećeg konektora na mjestu prijelaza (transition point) konektorom kategorije 5E
- zamjena postojeće telekomunikacijske utičnice (work area outlet) telekomunikacijskom utičnicom kategorije 5E
- zamjena postojećeg jednostrukog prespojnog polja (interconnect) jednostrukim prespojnim poljem kategorije 5E.

Preslušavanje (Crosstalk) je pridodavanje neželjenih signala između susjednih parica. Kod izvedbe 1000Base-T koja koristi četiri parice na svaku paricu utječe preslušavanje sa sve tri susjedne parice. Preslušavanje se karakterizira u odnosu na predajnik.

Preslušavanje na bližem kraju (Near-end crosstalk, NEXT) je preslušavanje koje se pojavljuje na onom kraju parice gdje je predajnik.

Združeno preslušavanje na bližem kraju (Power sum near-end crosstalk, PS-NEXT)

Preslušavanje na udaljenom kraju (Far-end crosstalk, FEXT) je mjera neželjenog pridodavanja signala predajnika na bližem kraju veze signalu na udaljenom kraju susjedne parice.

Istorazinsko preslušavanje na udaljenom kraju (Equal level far-end crosstalk, EL-FEXT) je mjera neželjenog pridodavanja signala predajnika na bližem kraju veze signalu na udaljenom kraju susjedne parice mjerena na udaljenom kraju i to u odnosu na razinu primljenog signala mjerenu na istoj parici. Kvantitativno, EL.FEXT je FEXT smanjen za prigušenje.

Združeno istorazinsko preslušavanje na udaljenom kraju (Power sum equal level far-end crosstalk, PS-ELFEXT) je zbroj neželjenog pridodavanja signala više predajnika na bližem kraju veze signalu na udaljenom kraju susjedne parice i to u odnosu na razinu primljenog signala mjerenu na istoj parici.

Odstupanje kašnjenja u prostiranju signala (Delay skew) je razlika u kašnjenju vremena prostiranja signala paricom u najgorem slučaju za četiri parice kabela s upredenim paricama.

Prema tome, za postojeće kabliranje kategorije 5 koje ne prođe provjeru za Gigabitni Ethernet postoji rješenje bez mijenjanja kablenskog dijela instalacije. 1000Base-T koristi brzinu signaliziranja 125 Mbaud, prijenos na sve četiri parice istodobno i veoma složenu petorazinsku shemu kodiranja. Kombinirajući petorazinsko kodiranje i 4 parice, 1000Base-T može poslati jedan oktet u paraleli po svakom signalizacijskom impulsu, čime se dolazi do brzine 1 Gb/s.

Osnovne karakteristike izvedbe 1000Base-T dane su u tablici 7.

Tablica 7. Osnovne karakteristike 1000Base-T izvedbe IEEE 802.3 LAN-a

	1000Base-T
prijenosna brzina	1000 Mb/s (2000 Mb/s uz puni dvosmjerni način rada)
vrsta kabela	4 parice kabela s upredenim paricama kategorije 5 ili bolje karakteristične impedancije 100 Ω
najveća duljina segmenta	100 m
maksimalni broj primopredajnika po segmentu	2
konektori	modularni 8-pozicijski RJ-45 konektor (ISO 8877)
kodiranje signala	PAM5

5. KRATICE

AUI	Attachment Unit Interface	sučelje priključne jedinice
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection	višestruki pristup s osluškivanjem nositelja i otkrivanjem sudara
DIX	DEC, Intel and Xerox	DEC, Intel i Xerox
FOIRL	Fiber Optic Inter-Repeater Link	veza dvaju prijenosnika izvedena optičkim vlaknima
FTP	Foiled Twisted Pair	upredene parice s folijom
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut inženjera elektrotehnike i elektronike
ISO	International Organization for Standardization	Međunarodna organizacija za normizaciju
LAN	Local Area Network	lokalna računalna mreža
MAC	Media Access Control	kontrola pristupa mediju
MAU	Medium Attachment Unit	jedinica za priključenje na medij
MDI	Medium Dependent Interface	sučelje zavisno o mediju
MII	Medium Independent Interface	sučelje nezavisno o mediju
OSI RM	Open Systems Interconnection Reference Model	referentni model za međupovezivanje otvorenih sustava
PLS	Physical Layer Signalling	signalizacija fizičkog sloja
UTP	Unshielded Twisted Pair	neoklopljena upredena parica
ScTP	Screened Twisted Pair	neoklopljena upredena parica sa zajedničkim okloptom
STP	Shielded Twisted Pair	oklopljena upredena parica

6. ZAKLJUČAK

Kako je već istaknuto u prvom dijelu serije Pregled IEEE 802.3/Ethernet norme, IEEE 802.3/Ethernet je danas najpopularnija mrežna tehnologija za lokalne računalne mreže. Razlog tome leži kako u uspješnosti rješenja, kako sloja podatkovne veze što uključuje jednostavnost CSMA/CD protokola, visoku razinu pouzdanosti i djelotvorno korištenje zajedničkog medija, tako i u uspješnosti rješenja fizičkog sloja.

Po definiranom velikom broju fizičkih izvedbi vidi se da su unutar IEEE 802.3 radne grupe neprestano nastojali zadovoljiti potrebe tržišta, kao i iskoristiti napredak u proizvodnji kabela i silicijskim tehnologijama, te mogućnosti tehnika obrade digitalnih signala.

Osnovna prednost rješenja fizičkog sloja za IEEE 802.3/Ethernet leži u skalabilnosti; norma za Fast Ethernet, definirana 1995. godine, utemeljila je IEEE 802.3/Ethernet kao skalabilnu tehnologiju, a razvoj Gigabitnog Etherneta proširuje skalabilnost još i dalje, čime je pojednostavljena migracija prema višim performansama.

Kako se i kod Fast Etherneta i kod Gigabitnog Etherneta zadržava ista struktura MAC-okvira i isti CSMA/CD protokol pristupa mediju, omogućeno je korištenje istih elektroničkih elemenata pri dizajniranju Ethernet kontrolera za mrežne kartice MAC-stanica i za prijenosnike. Također, pri razvoju Fast Etherneta i Gigabitnog Etherneta nastojalo se specificirati takve zahtjeve za kabliranje da je moguć rad na što je moguće većem broju postojećih instalacija. S obzirom na široku rasprostranjenost generičkog kabliranja u skladu s američkom normom TIA/EIA 568A, odnosno srodnom međunarodnom normom ISO/IEC 11801 izvedenih upredenim paricama kategorije 3 i 5, te 62,5/125 μm optičkim vlaknima pri definiranju Fast Etherneta i Gigabitnog Etherneta nastojalo se iznaći rješenja koja će uz postojeću definiciju podsloja MAC omogućiti rad brzinama 100 Mb/s, odnosno 1000 Mb/s na takvom kabliranju. Isto je postignuto implementiranjem složenih metoda signalizacije i obrade digitalnih signala koje održavaju integritet signala pri njegovom prijenosu kabliranjem kategorije 5.

Bilo bi idealno kad bi rad LAN-ova uz takav izrazit napredak u performansama novih mrežnih tehnologija bio moguć na postojećim instalacijama izvedenim prema normama za generičko kabliranje. Usklađenost u radu organizacija za normizaciju umrežavanja i kabliranja uklanja redundanciju u normizacijskim naporima i dvostruki rad. Ali, kad se uzme u obzir izuzetna složenost podatkovnog komuniciranja ne može se očekivati glatki prijelaz s brzine 10 Mb/s na 1000 Mb/s na istom kabliranju.

Pri razvoju mrežne tehnologije obično dolazi do potrebe definiranja posebnih karakteristika kanala potrebnih za postizanje željenog omjera pogrešnih bitova, BER korištenjem odabrane sheme kodiranja/dekodiranja i signaliziranja. Često takve posebne

karakteristike nisu obuhvaćene normama za generičko kabliranje. Takav je slučaj bilo definiranje izvedbi 100Base-T4, a osobito kasnije 1000Base-T. Budući da se kod tih izvedbi koristi istodobni prijenos na sve četiri parice, između ostalog dolazi do izražaja preslušavanje na daljem kraju kao i razlika brzine prostiranja signala paricom.

Združenim naporima organizacija za normizaciju IEEE 802.3 LAN-ova i organizacijama za normizaciju kabliranja, postignuto je rješenje, ali korisnici LAN-ova ipak moraju provjeriti performanse postojećeg kabliranja kategorije 5 prema novodefiniranim metodama radi utvrđivanja zadovoljavanja zahtjeva Gigabitnog Etherneta.

Radi potpunog usklađivanja sa zahtjevima Gigabitnog Etherneta definirana je poboljšana kategorija 5, kategorija 5E, koja se preporuča za izvođenje novih instalacija.

Unatoč tome, prednosti prelaska s 10 Mb/s IEEE 802.3 Etherneta na više brzine korištenjem Fast Etherneta, odnosno Gigabitnog Etherneta u odnosu na neke druge mrežne tehnologije su velike.

Postojeći korisnici Etherneta dobro su upoznati s tehnologijom, te im je prelazak na Fast Ethernet, odnosno Gigabitni Ethernet olakšan.

Kako ukupna cijena posjedovanja LAN-a uključuje uz kupovnu cijenu opreme i cijenu tečaja za obuku korisnika, te cijenu održavanja i rješavanja problema, samim time ostajanje na Ethernet-rješenjima je jeftinije. Uz to, skalabilnost rješenja omogućila je općenito niže cijene Ethernet tehnologija, kao i stalan pad cijene po Ethernet i Fast Ethernet ulazu, kakav se očekuje i za Gigabit Ethernet ulaze.

LITERATURA

- [1] S. JAVORNIK VONČINA: "Pregled IEEE 802.3/Ethernet norme – I dio: Kontrola pristupa mediju", *Energija* 4/2000.
- [2] IEEE 802-1990, IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture
- [3] ISO/IEC 8802-3: 1996 ŠANSI/IEEE Std 802.3, 1996C 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] Digital Equipment Corp., Intel Corp., Xerox: The Ethernet, Local Area Network: Data Link Layer and Physical Layer Specifications (Version 2.0) 1982
- [5] ANSI/TIA/EIA 568A: 1995, Commercial Building Telecommunications Wiring Standard
- [6] ISO/IEC 11801:1995, Information technology – Generic cabling for customer premises
- [7] IEEE 802.3: 1998, 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

- [8] IEEE 802.3ab: 1999, Supplement to IEEE Std 802.3, 1998 Edition: Physical Layer Parameters and Specifications for 1000 Mb/s Operation over 4-Pair of Category 5 Balanced Copper Cabling, Type 1000BASE-T
- [9] TIA/EIA TSB 95:1999, Additional transmission performance guidelines for 4-pair 100 ohm category 5 cabling
- [10] TIA/EIA 568-a-5: 2000, Addendum 5 to TIA/EIA 568A, 1995 Edition: Additional transmission performance specifications for 4-pair 100 ohm enhanced category 5 cabling

REVIEW OF IEEE 802.3/Ethernet STANDARD – Part II: PHYSICAL LAYER

The paper gives an overview of the physical layer structure of the IEEE 802.3 LAN. Described are physical realisations of transmission capabilities of 10 Mbps (Ethernet) over coaxial cables, twisted pair cables and optical cables, as well as implementations with transmission capabilities of 100 Mbps (Fast Ethernet) and 1,000 Mbps (Gigabit Ethernet) over twisted pair cables and optical cables.

EINE ÜBERSICHT DER NORM IEEE 802.3/ Ethernet - II TEIL: PHYSISCHE SCHICHT

Der Artikel gibt eine Einsicht in die Beschaffenheit physikalisch aktiver Kabelschicht laut der Ethernet-Norm nach IEEE 802.3. für LAN. ("LAN" = Local Area Network = Lokales Fernmeldenetz). Beschrieben wurden Ausführungen für Übertragungsgeschwindigkeiten von 10 Mb/s mittels Koaxialkabel, mittels Kabel benutzend verseilten Adernpaaren und mittels optischer Kabel, Ausführungen für Geschwindigkeiten der Übertragung von 100 Mb/s (Schnell-Ethernet) und Ausführungen für Übertragungsgeschwindigkeiten von 1000 Mb/s (Gigabit-Ethernet) ebenfalls mittels Kabel mit verseilten Adernpaaren und mittels optischen Kabel.

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:
2000-05-21.