

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

Lokalne mreže

(Drugi dio)

Prof. dr.sc. Alen Bažant

1. Lokalne mreže – drugi dio

1.1. Povezivanje LAN-ova

Kao što je već ranije spomenuto, ethernetске LAN-ove je moguće na fizičkom sloju međusobno povezivati obnavljačima. Promatrajmo lokalnu mrežu čiju okosnicu (*backbone*) čine međusobno povezani obnavljači. Sve stanice spojene u takvu mrežu, zajedno s obnavljačima čine jednu domenu sudara okvira. Kad u promatranoj mreži ima puno krajnjih uređaja i obnavljača, broj sudara okvira postaje prevelik i pristupno kašnjenje nekontrolirano raste. Najveći broj stanica u jednoj domeni sudara okvira iznosi 1024. Ako je broj stanica veći od tog broja, tada će sudari sigurno nastupiti prilikom svakog slanja okvira bilo koje stanice, što komunikaciju između stanica čini nemogućom (u mreži postoje samo sudari okvira, a korisnički se promet ne prenosi).

Stoga je potrebno razdvajanje kolizijskih domena uređajima koji se nazivaju mostovi (*bridges*). Sa stajališta mrežnog sloja, ako se dva LAN-a povežu mostom oni i dalje predstavljaju istu podmrežu (*subnetwork*). Za povezivanje lokalnih mreža često se koriste i usmjerivači (*routers*). Usmjerivač predstavlja kraj lokalne mreže iza kojeg započinje pristup mreži šireg područja (Wide Area Network – WAN) ili druga lokalna mreža koja na mrežnom sloju predstavlja zasebnu podmrežu (npr. IP podmreža).

Konačno, ako je potrebno povezati dva LAN-a u kojima su primijenjene potpuno različite protokolne arhitekture (npr. u jednom LAN-u TCP/IP, a u drugom IBM SNA), tada je na granici ta dva LAN-a potrebno implementirati uređaj nazvan **prolaz** (*gateway*). Prolaz omogućava aplikaciji koja se izvodi na krajnjem uređaju u LAN-u s jednom protokolnom arhitekturom da komunicira s aplikacijom koja se izvodi na krajnjem uređaju u drugom LAN-u s potpuno različitom protokolnom arhitekturom koja se od prve razlikuje u svih sedam slojeva modela OSI RM.

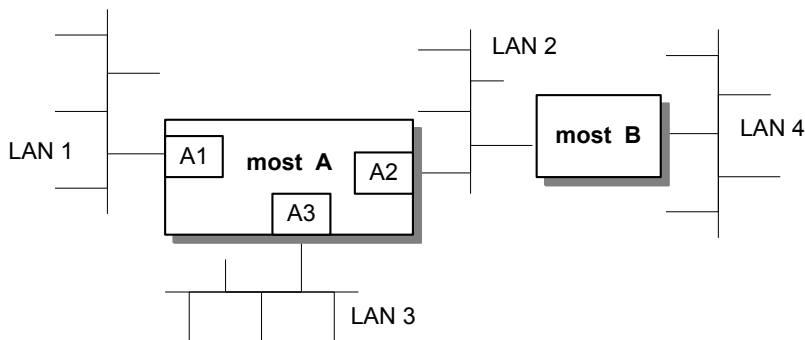
Navedeni uređaji za povezivanje LAN-ova koriste se ne samo u ethernetским mrežama već i u lokalnim mrežama utemeljenim nad drugim tehnologijama (npr. Token Ring, FDDI, ATM i dr.). Međutim, u nastavku je naglasak dan upravo na uređaje za povezivanje ethernetских LAN-ova, a posebno je istaknuto kad se radi o drugim mrežnim tehnologijama.

1.1.1. Mostovi

Promatrajmo nekolicinu lokalnih mreža međusobno povezanih mostovima (Sl. 1.1). Na tom je primjeru moguće definirati osnovne funkcije mosta. Mostovi obavljaju tri osnovne funkcije, definirane na drugom sloju modela OSI RM (Smythe [1995]):

- **filtriranje** (*filtering*) MAC okvira pomoću odredišne adrese upisane u okvire;
- **prosljeđivanje** (*forwarding*) MAC okvira iz jednog u drugi LAN brzinom koja je jednaka prijenosnoj brzini u drugom LAN-u;
- **učenje** (*learning*) topologije LAN-a na temelju izvorišnih adresa upisanih u primljene MAC okvire.

Navedene funkcije bit će detaljnije objašnjene u nastavku. Pretpostavimo da neki krajnji uređaj u lokalnoj mreži LAN 1 šalje okvir koji je namijenjen nekom drugom krajnjem uređaju u istom LAN-u (Sl. 1.1). Most A preko priključka A1 prima sav lokalni promet u LAN-u 1. Kad most A utvrdi da je okvir namijenjen stanici u istom LAN-u, ne prosljeđuje taj okvir, već ga uklanja iz memorije. Nadalje, ako most A primi iz LAN-a 1 okvir namijenjen stanici u LAN-u 2, i pod pretpostavkom da je adresu te stanice naučio preko priključka A2, tada će dotični okvir preko priključka A2 poslati u LAN 2.



Sl. 1.1 Povezivanje lokalnih mreža pomoću mostova

Međutim, ako most A po priključku A1 primi okvir čija mu je odredišna adresa (DA) nepoznata, tada dotični okvir pošalje na sve priključke osim na onaj po kojem je taj okvir primio (da se u istom LAN-u ne bi udvostručavali okviri). Takav način rada mosta naziva se poplavljanje mreže (*flooding*).

Na primjer, ako krajnji uređaj u LAN-u 1 pošalje okvir nekoj stanici u LAN-u 4, a most A tu adresu još nije naučio, tada će most A taj okvir poslati preko priključaka A2 i A3 u LAN 2 i 3, a okvir će do odredišta doći preko mosta B. Dakle, mostovi obilno koriste razašiljanje okvira kao temeljno načelo svog rada.

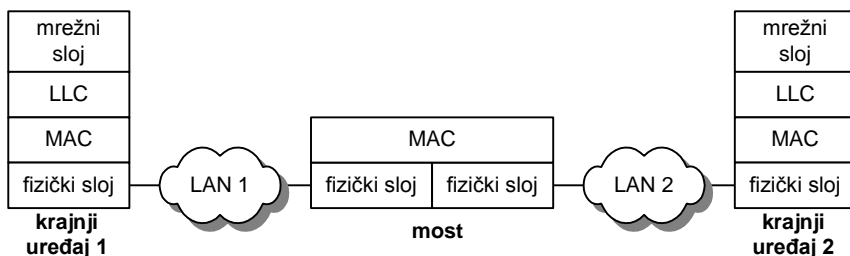
Poplavljivanje je vrlo nezgodna pojava u velikim lokalnim mrežama jer bitno povećava količinu prometa u LAN-u. Ako most A po priključku A1 primi okvir čija je odredišna MAC adresa jednaka MAC adresi razaslanja, on će dotični okvir također poslati na sve priključke osim na onaj po kojem je taj okvir primio.

Most održava tablicu parova (**broj priključka, MAC adresa**). Prilikom svakog prijema okvira most provjerava postoji li za izvorišnu adresu (SA), sadržanu u primljenom okviru, i za priključak po kojem je okvir primljen, odgovarajući unos u tablici. Ako unos ne postoji, most ga kreira kao redak u tablici i pridružuje mu vremenski brojač. Ako nakon specificiranog vremena brojač istekne (njegov sadržaj postane jednak nuli), unos se briše iz tablice. Taj je detalj ugrađen u mostove kako bi se izbjeglo da je neka stanica odavno ugašena i neaktivna, a njen unos i dalje zauzima mjesto u tablici.

Dakle, učeći izvorišne adrese most može unutar nekog vremenskog razdoblja naučiti topologiju lokalne mreže. Uslijed toga, proces filtriranja MAC okvira u mostu postaje učinkovitiji, a količina poplavljivanja se osjetno smanjuje.

Protokolna arhitektura mostova

Prilikom povezivanja dva istovrsna LAN-a (npr. dva ethernetka LAN-a) koriste se **transparentni mostovi**, odnosno **MAC mostovi** (*MAC bridge*). Transparentni mostovi ne podržavaju međusobno povezivanje raznovrsnih LAN-ova (npr. ethernetkog i Token Ring LAN-a). Protokolni složaji koji se koriste u krajnjim uređajima i transparentnom mostu definirani su preporukom IEEE 802.1D, a prikazani su na Sl. 1.2 (Stallings [1997]).

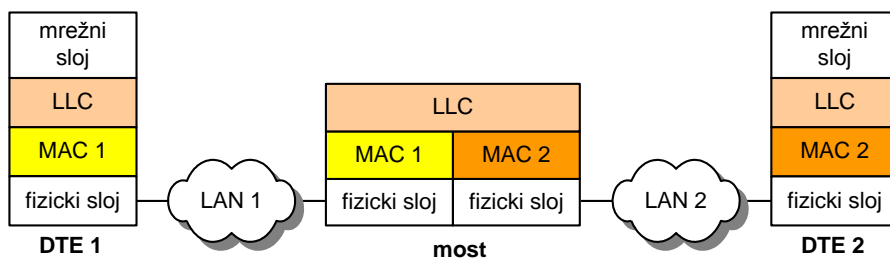


Sl. 1.2 Povezivanje dva LAN-a transparentnim mostom

Kad krajnji uređaj 1 šalje svoje informacije kroz dva LAN-a krajnjem uređaju 2, mrežni sloj krajnjeg uređaja 1 predaje paket podsloju LLC koji dodaje vlastito zaglavlje i predaje formirani LLC PDU podsloju MAC. Podsloj MAC dodaje svoje zaglavlje i začelje i šalje formirani MAC PDU (okvir) kao slijed bita fizičkim slojem u LAN 1. Most primi MAC okvir, filtrira ga i proslijedi u LAN 2, gdje ga primi i krajnji uređaj 2. Na odredištu se sada zbiva obrnuti proces od onog na izvorištu, tj. svaki podsloj uzima svoja zaglavlja i začelja, obavlja provjere i šalje preostale oktete sloju iznad sebe. Dakle, izvor obavlja pakiranje, tj. inkapsulaciju paketa u MAC okvire, a odredište raspakiravanje, tj.

dekapsulaciju paketa iz MAC okvira. Ovakav most, koji izravno povezuje dva LAN-a, naziva se i **most za lokalno povezivanje** (*local bridge*).

Lokalne mreže različitih protokola podsloja MAC moguće je povezati **mješovitim mostom** (*link bridge, mixed bridge*). S obzirom da je u takvom scenariju povezivanja LAN-ova nužna pretvorba iz jednog formata MAC PDU-a u drugi, mješoviti most se naziva i **translacijski most**. Pretvorba različitih formata okvira zbiva se na podsloju LLC u mostu (Sl. 1.3).

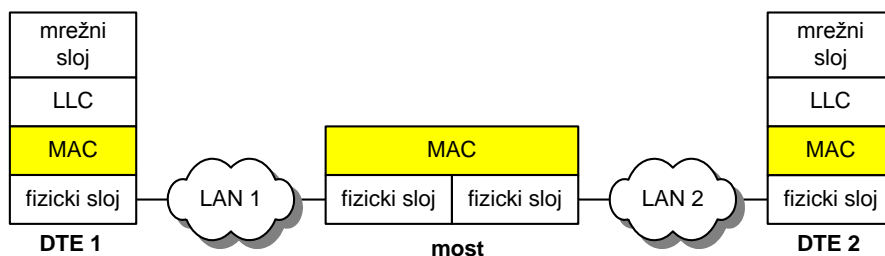


Sl. 1.3 Povezivanje dva LAN-a translacijskim mostom

Sl. 1.4 Primjer primjene mosta za povezivanje LAN-ova na daljinu

Drugi oblik realizacije mješovitog mosta je **inkapsulacijski most** koji se koristi pri povezivanju istovrsnih lokalnih mreža kroz LAN druge vrste (npr. dva ethernetka LAN-a međusobno povezana Token Ringom). Inkapsulacijski most prima MAC okvire iz jednog LAN-a (npr. ethernetki LAN) i pakira ih u korisničko polje MAC PDU-a drugog LAN-a (npr. Token Ring LAN). U suprotnom smjeru komuniciranja, okvire koje prima iz Token Ring LAN-a raspakirava i izvađene Ethernet okvire šalje u odredišni ethernetki LAN.

Prilikom povezivanja LAN-ova pomoću linkova druge vrste potrebno je primijeniti **most za povezivanje na daljinu** (*remote bridge*). Na Sl. 1.4 prikazan je primjer povezivanja dva LAN-a linkom od točke do točke u mreži šireg područja.



Transparentni mostovi

Djelovanje **transparentnog mosta** (*transparent bridge*) utemeljeno je na algoritmu optimalnog stabla (Spanning Tree Algorithm – STA) (Smythe [1995]). Taj je algoritam moguće primijeniti podjednako u mostovima za

lokalno povezivanje i u mostovima za povezivanje na daljinu. Primjena algoritma STA moguća je u ethernetским i Token Ring LAN-ovima. Primarna funkcija transparentnog mosta je usmjeravanje okvira kroz mrežu. Put kojim se okvir kreće od jedne do druge točke u mreži definiran je kao skup ulančenih (*concatenated*) linkova kojima se okvir prenosi. Zadatak algoritma STA je da spriječi pojavu dvostrukih putova u mreži. U LAN-u nije dozvoljeno postojanje više od jednog puta između bilo koja dva krajnja uređaja. Eventualna pojava zatvorenih petlji (*loop*) u LAN-u može dovesti do netočnog učenja mostova, posljedica čega je pogrešno filtriranje i prosljeđivanje MAC okvira u mostu. Jednoznačnost konfiguracije lokalne mreže sastavljene od većeg broja LAN-ova međusobno povezanih mostovima osigurava most nazvan korijenski most (*root bridge*). Korijenski most se odabire protokolom STP između svih mostova u LAN-u.

Mostovi međusobno komuniciraju protokolnim podatkovnim jedinicama mosta (Bridge Protocol Data Unit – BPDU). Ukoliko na bilo kojem linku u mreži nastupi kvar, zadatak je mostova da rekonfiguriraju mrežu tako da je sva komunikacija između krajnjih uređaja i dalje moguća. Opterećenje mrežnog linka uslijed komunikacije između mostova ne prelazi 10 kbit/s.

Prednosti i nedostaci mostova

Mostovi unose u komunikaciju određeno kašnjenje koje je veće nego kašnjenje u obnavljačima. Mostovi su najčešće koristili način prosljeđivanja okvira poznat pod nazivom «spremi pa proslijedi» (*store and forward*). Pri takvom načinu rada most prvo primi cijeli MAC okvir, provjeri njegovu ispravnost i tek ga nakon toga proslijedi na neki od izlaznih priključaka. Takav način rada može dovesti do pojave velikih kašnjenja u mostovima u slučaju transfera dugačkih okvira.

Osnovna prednost mostova u odnosu na obnavljače je u tome što mostovi razdvajaju domene sudara okvira. Glavna mana mostova u odnosu na usmjerivače leži u sljedećem. Većina protokola mrežnog sloja koristi u LAN-ovima mehanizam razasijljanja na podsloju MAC kao svoj temeljni način rada. Primjer takvog protokola je ARP (Address Resolution Protocol) u IP (Internet Protocol) okolini. Mostovi su transparentni za razasijljanja na podsloju MAC i stoga nisu pogodni za kreiranje velikih LAN-ova. U tu je svrhu bolje koristiti usmjerivače, koji nisu transparentni za razasijljanja na podsloju MAC.

Mostovi, u kojima su funkcije učenja, filtriranja i prosljeđivanja okvira bile implementirane softverski, istisnuti su iz upotrebe od strane uređaja nazvanog **komutator drugog sloja** (*Layer 2 switch*), u kojem su funkcije mosta implementirane hardverski. U kontekstu komutatora pojam drugi sloj odnosi se na drugi protokolni sloj modela OSI RM. Ponekad se za komutatore implementirane u lokalnim mrežama koristi naziv **LAN komutator** (*LAN switch*) kako bi se naglasilo područje primjene dotičnog uređaja. U nastavku

ovog poglavlja bit će korištena oba naziva, komutator i LAN komutator, pri čemu oba označavaju istu vrstu uređaja. LAN komutator drugog sloja je uređaj koji obavlja iste funkcije kao i most s većim brojem priključaka (*multiport bridge*). Danas sve vrste lokalnih mreža (Ethernet, Token Ring, FDDI i dr.) koriste komutiranu mrežnu arhitekturu. U nastavku ovog potpoglavlja naglasak je dan na Ethernet komutatore i njihova svojstva.

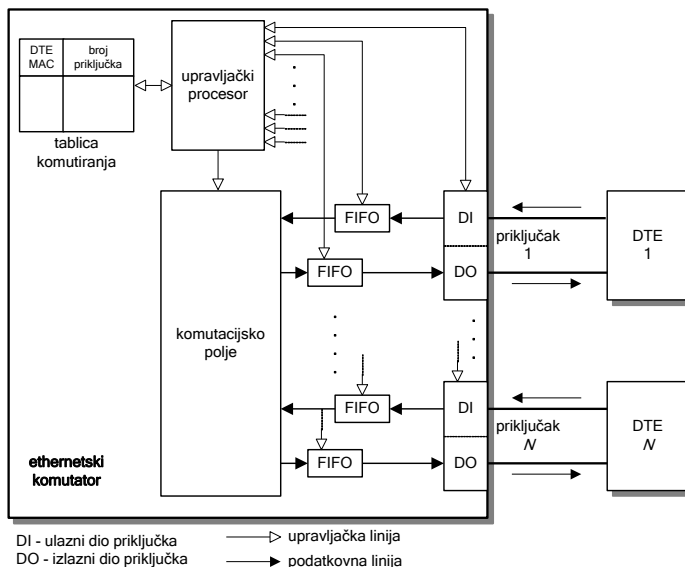
1.1.2. Ethernetski komutatori

Sl. 1.5 prikazuje generičku arhitekturu ethernetskog komutatora (*Ethernet switch*). Svaki se krajnji uređaj (DTE) povezuje s priključkom komutatora (*port*) pomoću dvije parice (ili pomoću dvije optičke niti), od kojih jedna služi za slanje okvira od DTE-a prema komutatoru, a druga za slanje okvira u suprotnom smjeru. Na razini podsloja MDI (konektor), svaki priključak komutatora podržava prijenos informacija u oba smjera. Na višim slojevima nastaje razdvajanje funkcija ulaza i izlaza, pa je moguće govoriti o ulaznom (DI) i izlaznom priključku (DO). Ako se podaci kroz priključak šalju u oba smjera istovremeno, tada se radi o dvosmjernom prijenosu (FD). Međutim, ako je u svakom trenutku kroz priključak moguće prenositi podatke samo u jednom smjeru, tada se radi o naizmjeničnom prijenosu (HD).

U svom izvornom načinu rada ethernetskog komutatora na svim priključcima podržava naizmjenični prijenos. Međutim, administrator LAN-a može neke priključke (ili sve, ako je potrebno) postaviti u modalitet dvosmjernog prijenosa, pri čemu dotični priključci ne koriste CSMA/CD kao metodu pristupa mediju, tj. ne obavljaju detekciju sudara okvira. Stanica i priključak komutatora mogu dogovoriti način prijenosa i pomoću protokola Auto-Negotiation, tj. prilikom početne uspostave linka.

Osnovu za prospajanje korisničkog prometa od ulaznog do izlaznog priključka predstavlja tablica komutiranja u koju su spremljeni parovi (MAC adresa, broj priključka). Na sličan način kao i most, LAN komutator drugog sloja uči topologiju LAN-a iz primljenih MAC okvira. Nakon što po nekom priključku primi MAC okvir, analizira njegovu izvorišnu adresu. Ako za tu adresu ne postoji odgovarajući unos u tablici komutiranja, LAN komutator kreira slog (izvorišna MAC adresa iz primljenog okvira, broj priključka po kojem je taj okvir primljen) i upisuje ga u tablicu komutiranja. Neki čvorovi koriste zajednički memorijski prostor u koji se unose parovi (MAC adresa, broj priključka) za sve priključke čvora. Ako se takva tablica iz bilo kojeg razloga popuni, komutator ne može nastaviti proces učenja, i počinje pojačano «poplavljavati» mrežu okvirima čije odredišne adrese nije više u stanju naučiti. Stoga je bolje rješenje u kojem svaki priključak komutatora koristi vlastiti ograničeni memorijski prostor za unos parova (MAC adresa, broj priključka). Unosi u tablici mogu biti statički (kreira ih administrator) i dinamički (kreirani učenjem).

Svaki priključak na komutatoru ima vlastitu jedinstvenu MAC adresu (kao i svaki priključak mosta). Najmanja od tih adresa, promatrana kao heksadecimalni broj, ujedno je i MAC adresa cijelog komutatora (mosta). Razmjena topologijske informacije vezane uz protokol STP obavlja se pomoću BPDU-ova koji se šalju na MAC adrese komutatora.



Sl. 1.5 Generička arhitektura Ethernet komutatora

U komutatoru se koriste spremnici (*buffers*), bilo ulazni, bilo izlazni, ili oba istovremeno (kao što je prikazano na Sl. 1.5). Svaki način korištenja spremnika pokazuje određene prednosti i nedostatke. Glede discipline posluživanja okvira, najjednostavniji su FIFO (First In First Out) spremnici. Danas se u komutatorima koriste naprednije tehnike komutiranja od FIFO-a (ponekad se za takve spremnike koristi i skraćeni naziv FCFS – First Come First Served), kao npr. CBWFQ (Class Based Weighted Fair Queuing) i LLQ (Low Latency Queuing). Glede veličine spremnika, posebno je važno da spremnici ne budu preveliki zbog povećanog kašnjenja pri transportu prometnih tokova u stvarnom vremenu. Međutim, u slučaju pojave zagušenja (*congestion*), politika korištenja velikih spremnika dovodi do smanjenog broja odbačenih okvira. Proizvođači mrežne opreme u sklopovlje priključaka komutatora ugrađuju spremnike čija veličina varira od 30 KB, pa sve do 500 KB (Saunders [1996]).

Prve inačice LAN komutatora koristile su načelo komutiranja nazvano «spremi pa prosljedi». U novijim inačicama komutatora uveden je brži način prosljeđivanja okvira, nazvan «pročitaj adresu pa prosljedi» (*cut-through*), koji se temelji na djelomičnom pohranjivanju okvira u spremnik. Čim most pročita određenu adresu okvira, prosljeđuje okvir na odgovarajući izlazni priključak. Takav je način rada brži, ali osjetljiviji na pogreške koje se javljaju u prijenosu.

LAN komutator koji koristi metodu «pročitaj adresu pa proslijedi» može provjeriti ispravnost primljenog okvira, ali ga ne može odbaciti u slučaju da je neispravan.

Metoda «pročitaj adresu pa proslijedi» je u svom izvornom obliku (*true cut-through*) prilično neučinkovita (Saunders [1996]). Uzrok tome je zamjetan broj okvira u LAN-u koji su kraći od 64 okteta. Prekratki paketi su posljedica ranih kolizija, a nazivaju se fragmenti (*runt*). Dakle, koristeći izvornu metodu «pročitaj adresu pa proslijedi», LAN komutator bi bespotrebno opterećivao lokalnu mrežu neispravnim okvirima. Modifikacijom metode «pročitaj adresu pa proslijedi» dizajnirana je nova metoda nazvana «pročitaj adresu pa proslijedi sve osim fragmenata» (*fragment-free cut-through*). Koristeći ovu metodu, LAN komutator prvo pričekava dok primi početna 64 okteta nekog okvira, i tek ga nakon toga temeljem određene adrese prosljeđuje odgovarajućem izlaznom priključku. Na taj je način spriječeno prosljeđivanje prekratkih okvira.

Moguća je i primjena adaptivne metode komutiranja. LAN komutatori s implementiranom adaptivnom metodom rade na način «pročitaj adresu pa proslijedi sve osim fragmenata» sve dok broj okvira s pogreškama ne postane prevelik. Nakon toga LAN komutator prelazi u sigurniji način rada «spremi pa proslijedi». Čim se broj pogrešaka smanji ispod nekog prihvatljivog iznosa, LAN komutator se vraća u osnovni način rada, tj. «pročitaj adresu pa proslijedi sve osim fragmenata». Glede metoda komutiranja, LAN komutatori koji koriste priključke s mješovitim prijenosnim brzinama (npr. dio priključaka koristi prijenosnu brzinu 10 Mbit/s, a preostali priključci koriste prijenosnu brzinu 100 Mbit/s) mogu koristiti isključivo metodu komutiranja «spremi pa proslijedi».

Upravljanje prometnim tokovima u ethernetским komutatorima

Kad u LAN komutatoru uslijed prevelikih ulaznih prometnih tokova i popunjenosti spremnika nastupi zagušenje, izravna posljedica takvog stanja je odbacivanje okvira, što rezultira smanjenjem propusnosti LAN-a. Međutim, krajnji uređaji koji šalju okvire prema komutatoru nemaju informaciju o nastanku zagušenja, te nastavljaju i dalje slati svoje okvire nesmanjenim intenzitetom.

Navedene probleme moguće je riješiti uvođenjem mehanizama upravljanja prometnim tokovima u mrežne uređaje. Osnovni zadatak upravljanja prometnim tokovima je privremeno smanjiti brzinu slanja relevantnih prometnih izvora u mreži kako bi se razriješilo zagušenje u preopterećenom mrežnom uređaju. Na sloju podatkovnog linka u ethernetским LAN-ovima definirana su tri načina upravljanja prometnim tokovima (Kadambi [1998]):

1. lažni signal sudara okvira (*backpressure*),
2. produljenje nosioca (Carrier Extension – CE), i
3. upravljanje prometnim tokovima pomoću okvira PAUSE.

Prve dvije metode pokazuju dobre performanse u LAN-ovima koji koriste naizmjenični način rada, a treća metoda u LAN-ovima s dvosmjernim načinom rada. Metoda lažnog signala sudara okvira temelji se na generiranju umjetnog signala sudara okvira (Collision Detection – CD) na priključku komutatora koji je preopterećen prometom kojeg prima. Takav će signal dovesti do detekcije sudara okvira u krajnjem uređaju spojenom na taj priključak uslijed čega će DTE odgoditi daljnje slanje okvira i aktivirati algoritam BEB (pokretanje BEB-a znači da stanica ulazi u proces razrješavanja sudara okvira). Na sličnom načelu radi i metoda produljenja nosioca, ali s jednom bitnom razlikom, a to je da krajnji uređaj ne aktivira algoritam BEB.

Upravljanje prometnim tokovima pomoću okvira PAUSE definirano je preporukom IEEE 802.3x koja specificira uvođenje novog podsloja u protokolni složaj LAN-a, nazvanog **podsloj upravljanja MAC-om** (MAC Control Sublayer). Taj je podsloj smješten između tradicionalnog podsloja MAC i podsloja LLC. Struktura okvira PAUSE prikazana je na Sl. 1.6 (Kadambi [1998]).

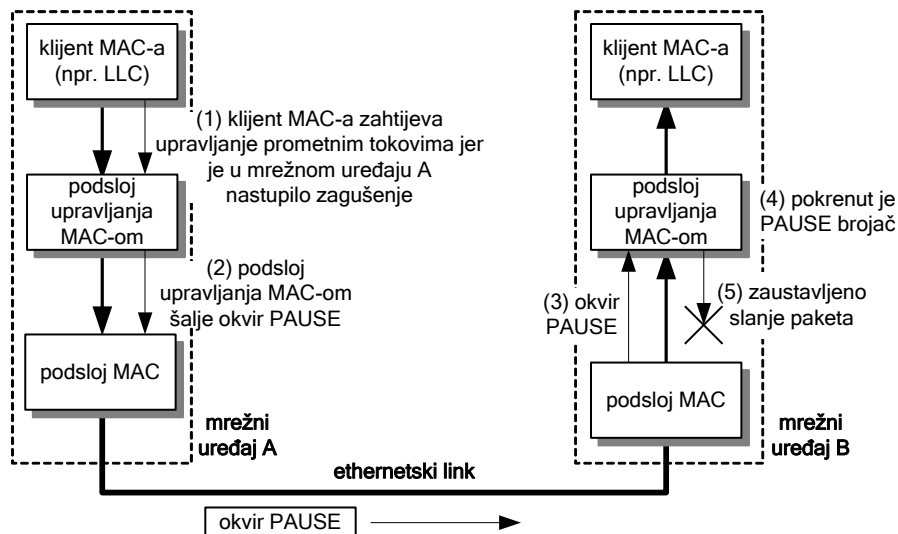
broj okteta	LSB	MSB
8	preambula i SFD	
6	DA x01-80-c2-00-00-01 (<i>multicast</i>)	
6	SA	
2	ET x88-08	
2	parametar upravljanja MAC-om, za okvir PAUSE = x00-01	
44	podaci specifični za upravljačku funkciju i/ili PAD (u okviru PAUSE sadrži brojač duljine 2 okteta)	
4	FCS	

Sl. 1.6 Struktura MAC okvira s ugrađenim poljem upravljanja MAC-om

Upravljanje prometnim tokovima pomoću okvira PAUSE može biti simetrično i asimetrično (Asymmetric Flow Control – AFC). Ako se između dva mrežna uređaja provodi asimetrično upravljanje prometnim tokovima, to znači da jedan uređaj može utjecati na brzinu slanja drugog uređaja, ali obratno ne vrijedi. Nasuprot tome, ako se između dva mrežna uređaja provodi simetrično upravljanje prometnim tokovima, tada svaki uređaj može utjecati na prijenosnu brzinu drugog uređaja. Na Sl. 1.7 prikazano je osnovno načelo funkcioniranja upravljanja prometnim tokovima pomoću okvira PAUSE.

Korištenje upravljanja prometnim tokovima pomoću okvira PAUSE neophodno je ako se u LAN-u koristi dvosmjerni način rada. Izostanak upravljanja

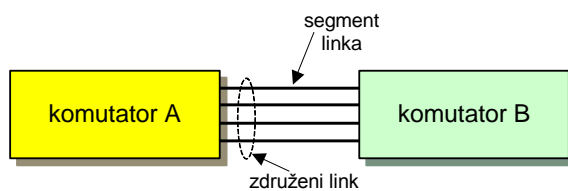
prometnim tokovima u dvosmjernom načinu rada prouzročio bi veća zagušenja u mreži od onih koja nastaju u mrežama s naizmjeničnim načinom rada.



Sl. 1.7 Osnovno načelo djelovanja podsloja MAC upravljanja

Združivanje linkova

Standardom IEEE 802.3ad definirano je združivanje linkova (*link aggregation*) u LAN-ovima. Združeni link omogućava međusobno povezivanje dva uređaja pomoću više pojedinačnih linkova nazvanih segmenti linka (*link segment*, Sl. 1.8). Svi segmenti linka moraju biti dvosmjernog tipa. Pomoću združenog linka moguće je međusobno povezati dva komutatora drugog sloja, komutator drugog sloja i poslužitelj, dva poslužitelja, komutator drugog sloja i usmjerivač, ili dva usmjerivača.



Sl. 1.8 Združivanje linkova

Svi segmenti koji pripadaju združenom linku moraju koristiti istu prijenosnu brzinu. Ukupno prometno opterećenje ponuđeno združenom linku raspodjeljuje se ravnomjerno između segmenata. Za potrebe djelovanja združivanja linkova definiran je novi podsloj nazvan **podsloj združivanja linkova** (Link Aggregation Sublayer – LAS). LAS je zajednički podsloj koji podjednako pripada svim segmentima linka. LAS je smješten između podsloja LLC i

podslajeve MAC pridruženih segmentima linka. Na podsloju LAS definiran je protokol za upravljanje združivanjem linkova (Link Aggregation Control Protocol – LACP), namijenjen kreiranju, nadzoru i ažuriranju združenih linkova.

Primjena upravljanja mrežom u ethernetским komutatorima

Svaki komutacijski čvor u lokalnoj mreži trebao bi podržavati standarde upravljanja mrežom SNMP (Simple Network Management Protocol) i RMON (Remote Monitoring) (Stallings [1999]). Posebno je poželjna podrška svim standardnim bazama upravljačkih informacija (Management Information Base – MIB), s posebnim naglaskom na MIB-II, koji je definiran preporukom RFC 1213. Mnogi proizvođači mrežne opreme ugrađuju u opremu svoje vlastite MIB-ove.

Trenutno postoje tri inačice standarda SNMP: SNMPv1, SNMPv2 i SNMPv3. Iako većina mrežne opreme još uvijek podržava samo SNMPv1 i SNMPv2, neki su proizvođači opreme počeli s ugradnjom SNMPv3 modula koji upravljačkom sustavu pružaju zadovoljavajuću razinu sigurnosti.

Postoje dvije inačice standarda RMON, RMONv1 i RMONv2. Mrežnu komunikacijsku statistiku moguće je prikupiti na razne načine. Jedan od načina je ugradnja **RMON sonde** (RMON *probe*) u svaki mrežni segment kojeg želimo nadzirati. RMON MIB (RFC 2613 – RMON for Switched Networks MIB) omogućava da RMON sonda samostalno, bez sudjelovanja stanice mrežnog upravljanja (Network Management Station – NMS), prikuplja podatke o mreži koju nadzire. Drugim riječima, RMON sonda ne očekuje stalne upite od strane NMS-a kako bi prikupljala mrežnu statistiku. U bilo kojem trenutku NMS može poslati upit RMON sondi, na što će sonda odgovoriti slanjem prikupljenih statističkih podataka.

Pravila kreiranja LAN-a pomoću komutatora drugog sloja

Kao prvo, treba izbjegavati izravnu zamjenu LAN-a s dijeljenim medijem s komutiranim LAN-om (Saunders [1995]). Na primjer, povezivanje osobnih računala s jednim LAN komutatorom i njihovog poslužitelja s drugim komutatorom može izazvati usko grlo u komunikaciji na linku koji povezuje LAN komutatore. Nadalje, propusnost LAN-a je potrebno ugoditi na temelju mjerenja prometa pomoću analizatora protokola. Iz tog je razloga poželjno da LAN komutatori podržavaju standard RMON.

Ako se u nekom LAN-u koriste multimedijske aplikacije, tada je nužno svaku stanicu spojiti na zasebni priključak LAN komutatora, te koristiti načelo komutiranja «pročitaj adresu pa proslijedi sve osim fragmenata» zbog manjeg kašnjenja u komutatoru (*latency*). Općenito, odluku o korištenju načela komutiranja «pročitaj adresu pa proslijedi sve osim fragmenata» ili «spremi pa proslijedi» treba donijeti na temelju prometnih mjerenja. Ako količina

prekratkih i predugačkih MAC okvira (*jabber*), te ostale smetnje generirane u mreži (npr. retransmisije uslijed sudara okvira) ostaju unutar 3% od ukupnog prometa u LAN-u s dijeljenim medijem, onda se pri prelasku na komutirani LAN treba odlučiti za načelo «pročitaj adresu pa proslijedi sve osim fragmenata». U suprotnom je bolje koristiti metodu «spremi pa proslijedi».

Također je poželjno smanjiti prometno opterećenje po priključcima LAN komutatora. Ako prometni tok na nekom priključku LAN komutatora prelazi 50% nominalne prijenosne brzine, poželjno je načiniti preraspodjelu povezivanja mrežnih uređaja u LAN-u.

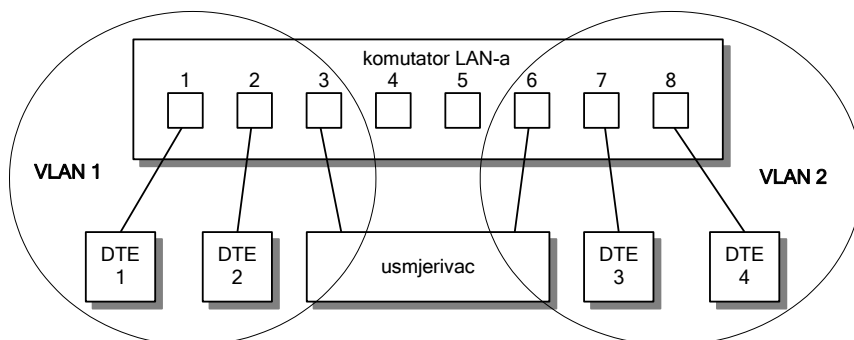
1.1.3. Virtualne lokalne mreže

U modernim LAN-ovima korištenje LAN komutatora drugog sloja i dvosmjernog prijenosa potisnulo je problem sudara okvira na marginu. Međutim, i dalje velik broj protokola mrežnog sloja generira brojna razašiljanja okvira. Prilikom razašiljanja okvira LAN komutator drugog sloja šalje okvir na sve priključke osim na priključak po kojem je dotični okvir primljen. U LAN-u s velikim brojem krajnjih uređaja takav način rada može bitno smanjiti propusnost mreže. Nadalje, ako prilikom prijema okvira LAN komutator drugog sloja nema u tablici komutiranja odgovarajući unos za određenu MAC adresu sadržanu u zaglavlju primljenog okvira, tada šalje takav okvir na sve priključke osim na onaj po kojem je dotični okvir primio, tj. poplavljuje lokalnu mrežu.

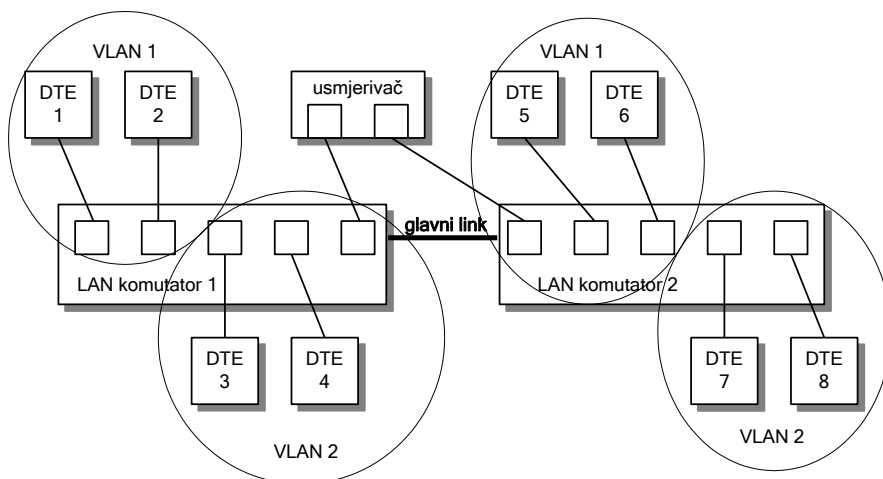
Kako bi se otklonili negativni učinci razašiljanja i poplavljivanja, u upotrebu je uveden koncept virtualnih LAN-ova (Virtual LAN – VLAN). VLAN se sastoji od skupine krajnjih uređaja koji često međusobno komuniciraju. U početku primjene koncepta virtualnih LAN-ova ta je funkcionalnost implementirana samo na drugom sloju protokolnog modela OSI RM. Takvi se VLAN-ovi nazivaju i VLAN-ovi drugog sloja. Pojava LAN komutatora trećeg sloja (*Layer 3 switch*) dovela je do širenja koncepta virtualnih LAN-ova i na mrežni sloj, tj. do pojave VLAN-ova trećeg sloja. U nastavku će biti detaljnije opisani VLAN-ovi drugog sloja.

Promet koji se na drugom sloju razmjenjuje između uređaja u nekom VLAN-u ostaje samo unutar tog VLAN-a. Na taj se način ujedno povećava i sigurnost lokalne mreže. Temelj za primjenu VLAN-ova predstavlja preporuka IEEE 802.1Q “Virtual Bridged Local Area Networks” (Feit [2000]). Svakom je VLAN-u unutar jednog cjelovitog LAN-a pridijeljen jedinstven broj koji ga jednoznačno određuje. Virtualni LAN je zapravo logička domena razašiljanja (*logical broadcast domain*) na sloju podatkovnog linka. Ako se u LAN-u koristi mrežni protokol IP, tada sve stanice u nekom VLAN-u unutar tog LAN-a imaju jedinstveni identifikator IP podmreže (IP *subnet* ID). Krajnji uređaji koji su članovi različitih VLAN-ova međusobno mogu komunicirati samo posredstvom usmjerivača. Osnovno načelo kreiranja i povezivanja VLAN-ova prikazano je

na Sl. 1.9. Stanice koje su članice istog VLAN-a (npr. DTE 1 i DTE 2 su članovi VLAN-a 1) mogu izravno međusobno komunicirati posredstvom LAN komutatora drugog sloja. Međutim, stanice koje su članice različitih VLAN-ova (npr. DTE 1 kao član VLAN-a 1 i DTE 3 kao član VLAN-a 2), mogu međusobno komunicirati samo posredstvom usmjerivača. Nadalje, ako se VLAN-ovi kreiraju u lokalnoj mreži izgrađenoj od većeg broja LAN komutatora, tada postoji problem kako međusobno povezati krajnje uređaje, članove istog VLAN-a, a spojene na različite komutatore. Rješenje problema povezivanja distribuiranih VLAN-ova prikazano je na Sl. 1.10.



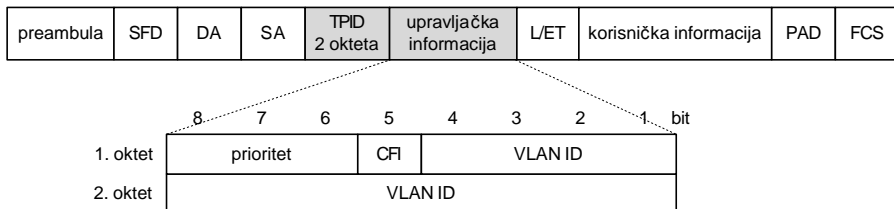
Sl. 1.9 Međusobno povezivanje VLAN-ova usmjerivačem



Sl. 1.10 Međusobno povezivanje VLAN-ova u lokalnoj mreži s dva ili više komutatora

Ako neki krajnji uređaj šalje okvir DTE-u koji je član istog VLAN-a i fizički je spojen na isti LAN komutator, tada se okvir šalje u tradicionalnom MAC formatu. Međutim, ako se okvir prenosi između dvaju DTE-a koji su fizički spojeni na različite LAN komutatore, tada se koristi tzv. označavanje VLAN-ova (*VLAN tagging*), definirano preporukama IEEE 802.1Q i IEEE 802.3ac (Feit [2000]). Označeni okviri se između dva komutatora prenose posebnim

linkom koji se naziva glavni link (*trunk*). Na Sl. 1.11 prikazana je struktura označenog (*tagged*) okvira. Oznaku VLAN-a čine četiri okteta ugrađena u tradicionalni MAC okvir: polje TPID (Tag Protocol ID) i upravljačko polje, svako duljine dva okteta. U polje TPID upisuje se heksadecimalni broj x'81-00. Prva tri bita upravljačkog polja namijenjena su dodjeli prioriteta prometnim tokovima u LAN-u, definiranoj preporukom IEEE 802.1p. Nadalje, ako je bit CFI (Canonical Format Indicator) jednak nuli, tada je maksimalna duljina MAC okvira povećana na 1522 okteta (minimalna duljina i dalje iznosi 64 okteta). Ako je CFI = 1, moguće je dodatno povećanje duljine MAC okvira za 2 okteta koji slijede odmah iza polja L/ET. Ta dva okteta čine polje E-RIF (Extra Embeded Routing Information), koje pokazuje da je okvir promijenjen iz Token Ring/FDDI formata u ethernetski format. Sama oznaka VLAN-a, duljine 12 bita, omogućuje jednoznačno označavanje virtualnih LAN-ova. Od 4096 raspoloživih VLAN ID-a (od 0 do 4095), neki su identifikatori rezervirani. ID koji je jednak nuli (tzv. *null* VLAN ID) u označenom okviru signalizira da okvir prenosi samo informaciju i prioritetu, a ne o VLAN-ovima. Nadalje, VLAN ID jednak jedinici označava osnovni (*default*) VLAN. VLAN ID koji je jednak 4095 također je rezerviran za posebne namjene. Dakle, VLAN-ovima je moguće dodijeliti VLAN ID u rasponu od 2 do 4094. Označavanje okvira ne mijenja sadržaj polja ET, odnosno polja duljine LLC PDU-a. Prilikom svakog dodavanja ili skidanja oznake potrebno je ponovno proračunati vrijednost polja FCS.

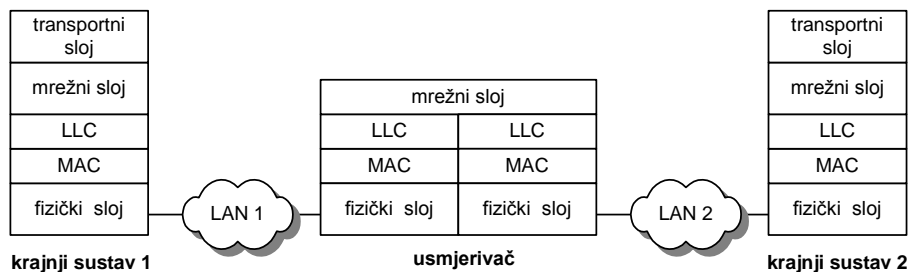


Sl. 1.11 Struktura MAC okvira s oznakom VLAN-a

Svaka stanica može bit član jednog ili više VLAN-ova. Članstvo u VLAN-u se određuje na temelju broja priključka komutatora, na temelju mrežnog protokola, na osnovi adresnog IP prefiksa, na osnovi MAC adrese itd. Nakon prvog uključivanja komutatora, dok još nisu konfigurirani VLAN-ovi, svi su priključci članovi tzv. osnovnog (*default*) VLAN-a. Automatizirana prijava krajnjih uređaja u VLAN-ove omogućena je protokolom GVRP (GARP VLAN Registration Protocol), razvijenim na temelju starijeg protokola GARP. GARP (Generic Attribute Registration Protocol) podržava mehanizam prijave uređaja u LAN-u koji je izgrađen pomoću mostova.

1.1.4. Usmjerivači

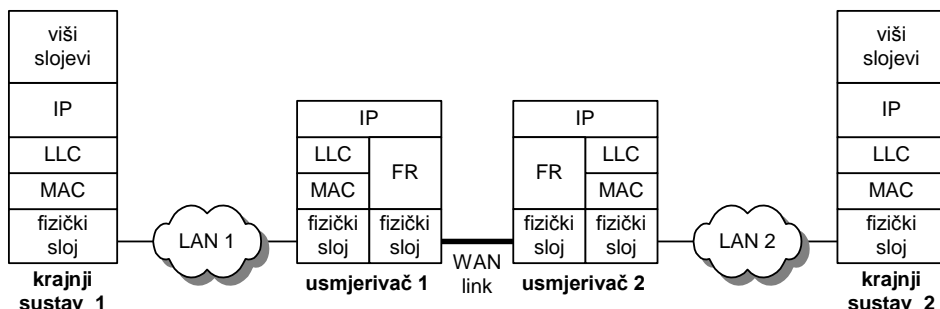
Usmjerivač je mrežni uređaj koji radi na mrežnom sloju protokolnog modela OSI RM. Sl. 1.12 prikazuje mogući scenarij povezivanja dvije lokalne mreže usmjerivačem (Stallings [1997]).



Sl. 1.12 Protokolni složaj usmjerivača koji povezuje dva LAN-a

Ako obje lokalne mreže koriste iste protokole drugog sloja, tada usmjerivač djeluje isključivo na mrežnom sloju. Ako se na ovaj način povezuju dva LAN-a koji koriste različite protokole sloja podatkovnog linka, tada usmjerivač mora djelovati i na drugom sloju, tj. mora obavljati pretvorbu različitih formata MAC okvira.

Na Sl. 1.13 prikazan je primjer međusobnog povezivanja dvije lokalne mreže pomoću dva usmjerivača između kojih je uspostavljen WAN link od točke do točke (Stallings [1997]). U ranijim scenarijima povezivanja usmjerivača kroz WAN dominantno su korišteni zakupljeni vodovi (*leased lines*), a usmjerivači su se povezivali s WAN-om pomoću modema za zakupljene vodove, čije su brzine varirale od 128 kbit/s do 2,048 Mbit/s. U primjeru na slici usmjerivači koriste mrežni protokol IP, a WAN link je realiziran pomoću komutacije okvira (Frame Relay – FR). Takvo se rješenje u novije vrijeme vrlo često koristi pri povezivanju lokalnih mreža. Prijenosne brzine koje je moguće postići na FR WAN linku variraju od 128 kbit/s pa sve do prijenosnih brzina PDH sustava E3/T3.



Sl. 1.13 Povezivanje dva udaljena LAN-a pomoću usmjerivača

Osnovne operacije koje svaki usmjerivač mora obavljati su:

- prosljeđivanje paketa iz jedne u drugu mrežu (*forwarding*), i
- određivanje smjerova za transfer paketa kroz mrežu (*routing*).

Kad usmjerivač po jednom od svojih priključaka primi paket, na temelju određene mrežne adrese (npr. IP adresa) upisane u zaglavlje paketa i tablice usmjeravanja (*routing table*) donosi odluku na koji će priključak, odnosno link proslijediti paket. Paralelno s procesom prosljeđivanja paketa svaki usmjerivač proračunava smjerove transfera paketa pomoću algoritama usmjeravanja (Ford-Fulkerson, Dijkstra i dr.). Usmjerivači međusobno razmjenjuju informaciju o smjerovima transfera koristeći pri tome usmjerivačke protokole (Routing Information Protocol – RIP, Open Shortest Path First – OSPF i dr.).

Osnovna prednost usmjerivača pred mostovima je u korištenju naprednijih mehanizama usmjeravanja informacijskih tokova i u mogućnosti kreiranja mreža čija složenost nije ograničena algoritmima usmjeravanja. Kao što je već ranije spomenuto, usmjerivači ne prosljeđuju razasijanja okvira generirana na podsloju MAC, što je također važna prednost u odnosu na mostove.

Jedina mana usmjerivača u odnosu na mostove je u povećanom kašnjenju koje usmjerivač unosi u komunikaciju. Obrada paketa na mrežnom sloju traje dulje od obrade okvira na sloju podatkovnog linka. S obzirom da su LAN-ovi definirani do drugog sloja modela OSI RM, detaljniji opis usmjerivača nije dan u ovom poglavlju.

Ranije je za potrebe povezivanja lokalnih mreža korišten i uređaj koji može istovremeno obavljati funkcije mosta i obnavljača (*brouter*) (Smythe [1995]). Takav uređaj istovremeno obavlja usmjerivačke funkcije za jednu skupinu protokola (npr. IP i IPX) i funkcije premoštavanja za protokole koji ne podržavaju usmjeravanje (npr. protokol NetBEUI).

U novije vrijeme, po sličnom scenariju kao što su mostovi zamijenjeni LAN komutatorima drugog sloja modela OSI RM, i usmjerivači se u lokalnim mrežama sve češće zamjenjuju **LAN komutatorima trećeg sloja modela OSI RM** (*Layer 3 switch*) (Kadambi [1998]). Razlog tome je u hardverskoj implementaciji prosljeđivanja paketa, uslijed čega je brzina rada LAN komutatora trećeg sloja bitno veća od brzine rada usmjerivača.

1.2. Bežične lokalne mreže

Visoka cijena instalacija, problemi sa sigurnošću komunikacije, male prijenosne brzine i nužnost posjedovanja dozvola za rad (licence vezane uz dodjelu frekvencija) predstavljaju osnovne razloge zbog kojih su krajnji korisnici ranije uglavnom izbjegavali uporabu bežičnih LAN-ova (Wireless LAN – WLAN). Takva je situacija vladala sve do sredine devedesetih godina prošlog stoljeća.

Međutim, današnji WLAN-ovi posjeduju svojstva koja ih čine privlačnim za korištenje sve većem skupu korisnika. Velikom broju poslovnih korisnika posebno je zanimljiva, a nekima i neophodna pokretljivost u radu. Primjena koncepta pokretljivosti (*mobility*) omogućava stanicama u LAN-u permanentno mijenjanje fizičkog položaja uz istovremenu mogućnost međusobnog komuniciranja. Nadalje, WLAN-ove je moguće primijeniti na onim mjestima gdje je realizacija ožičenja teško izvediva ili skupa. Primjena bežične tehnologije bitno smanjuje vrijeme i troškove instalacije, što WLAN-ove čini ekonomičnim rješenjem umreženja. Danas se WLAN-ovi sve više razvijaju, a uporaba WLAN tehnologija širi se na područje pristupnih mreža. WLAN tehnologije sve više nalaze svoju primjenu u pristupu pokretnim mrežama treće generacije. Najveći problem u realizaciji bežičnih mreža predstavljaju smetnje.

1.2.1. Smetnje i izobličenja u bežičnom prijenosu

Pored uobičajenih izobličenja signala prisutnih u svim vrstama prijenosa (žični, optički, bežični), u bežičnim se LAN-ovima javljaju i neke specifične smetnje kojih nema u drugim vrstama prijenosa. Ono što bežične komunikacije čini posebno složenim za realizaciju (složenost je puno veća nego kod žičnih ili optičkih komunikacija) su sljedeće smetnje i izobličenja (Bing [2000]):

- gubitak snage EM zračenja uslijed prostiranja (*path loss*),
- višestazno prostiranje (*multipath propagation*),
- feding uslijed zasjenjenja (*shadow fading*), i
- kašnjenje uslijed prostiranja signala.

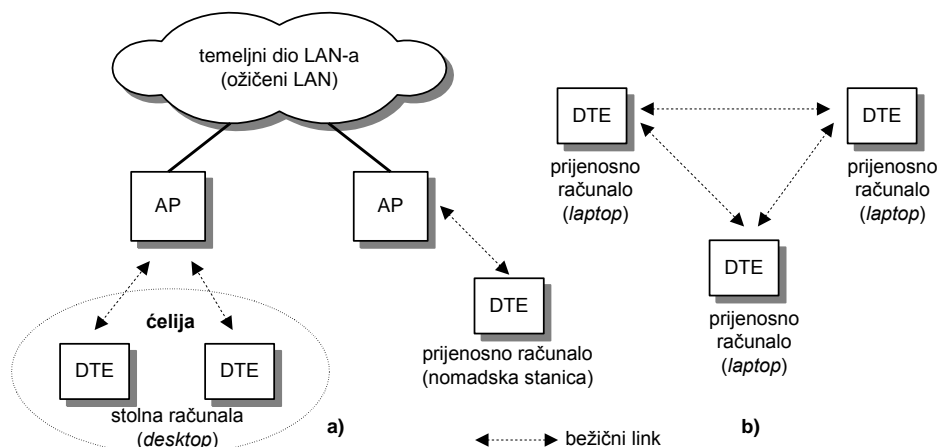
Snaga elektromagnetskog (EM) zračenja brzo opada s udaljenošću od odašiljača. Gubitak snage signala uslijed prostiranja slijedi približno eksponencijalni zakon. Prigušenje signala nije ovisno samo o udaljenosti i snazi odašiljača, već ovisi i o objektima od kojih se zračenje reflektira, o fizičkim preprekama na putu zraka, kao i o količini uzajamnog međudjelovanja (interferencije) s ostalim čvorovima koji odašilju signale. Na primjer, u području frekvencija oko 2,4 GHz prigušenje signala na udaljenosti od 100 metara iznosi čak 100 dB. Zbog toga osjetljivost prijemnika mora biti vrlo velika.

Pojam višestaznog prostiranja promatramo iz perspektive jednog odašiljača (kao da samo on šalje signal). U tome je bitna razlika u odnosu na interferenciju koju uvijek promatramo u scenariju kad više odašiljača istovremeno odašilje signale. Fenomen višestaznog prostiranja nastaje kad se EM zrake na svom putu do odredišta reflektiraju od objekata i na taj način na odredište stiže originalni signal (potječe od izravne zrake) i njegove zakašnjele varijante, više ili manje prigušene. Na taj način nastaje proširenje kašnjenja (*delay dispersion*) koje uzrokuje intersimbolnu interferenciju (Intersymbol Interference – ISI). ISI se

manifestira neželjenim proširenjem simbola u prijemu. Uslijed toga simboli ometaju jedni druge. Ako je proširenje kašnjenja veće od polovine trajanja simbolnog intervala, simboli postaju teško razlučivi, a učestalost pogrešaka naglo raste. Feding uslijed zasjenjenja uzrokovan je fizičkim preprekama na putu prostiranja EM zraka. Prigušenje signala ovisi o dielektričkim svojstvima materijala od kojeg je sastavljena prepreka.

1.2.2. Vrste bežičnih LAN-ova

Glede prijenosne tehnologije na fizičkom sloju bežičnih mreža, postoje dvije vrste bežičnih LAN-ova: infracrveni (Infrared – IR) LAN-ovi i LAN-ovi s radioprijenosom. LAN-ovi s radioprijenosom se nadalje dijele na LAN-ove koji koriste tehniku proširenog spektra (Spread Spectrum – SS) i na uskopojasne mikrovalne LAN-ove (Stallings [1997]).



Sl. 1.14 Topologije bežičnih LAN-ova: a) infrastrukturalni WLAN i b) neovisni WLAN

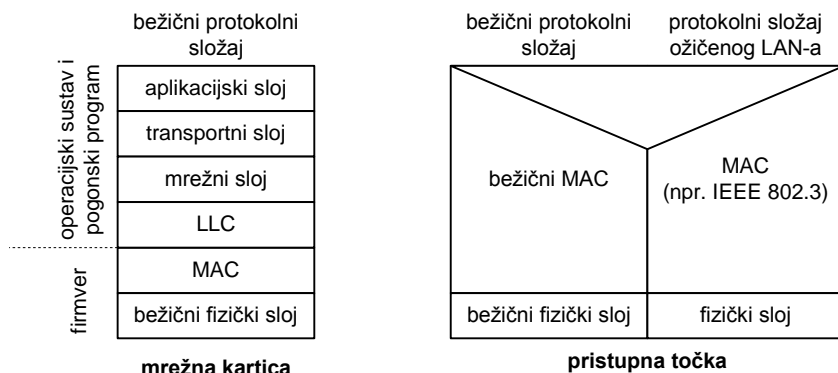
Postoje dvije bitno različite topologije bežičnih lokalnih mreža (Stallings [1997]): **infrastrukturalni WLAN** i **neovisni** (*ad hoc*) **WLAN** (Sl. 1.14). Neovisna topologija omogućava povezivanje stanica na načelu ravnopravnosti (*peer-to-peer*) pri čemu pokretni čvorovi komuniciraju izravno jedni s drugima koristeći bežične adaptere. Takva je topologija pogodna za brzu i jednostavnu implementaciju prema potrebi (otuda naziv *ad hoc* LAN). Jedna od osnovnih slabosti neovisne topologije je izražena ograničenost područja pokrivanja takvog WLAN-a (pojam područje pokrivanja odnosi se na područje pokriveno EM zračenjem). Područje pokrivanja moguće je povećati primjenom pristupne točke (Access Point – AP) koja može praktično udvostručiti domet prijenosa između bilo koja dva pokretna čvora. Primjena pristupnih točaka karakteristična je za infrastrukturalne bežične LAN-ove. Ovakva topologija omogućava integraciju pokretnih čvorova s bežičnim adapterima u ožičeni LAN. Prijelaz sa

1. Lokalne mreže – drugi dio

žičnog u bežični segment mreže, kao i obratno, omogućavaju upravo pristupne točke.

Bežični se LAN-ovi izgrađuju pomoću dva elementa:

- bežična mrežna kartica (NIC),
- pristupna točka.



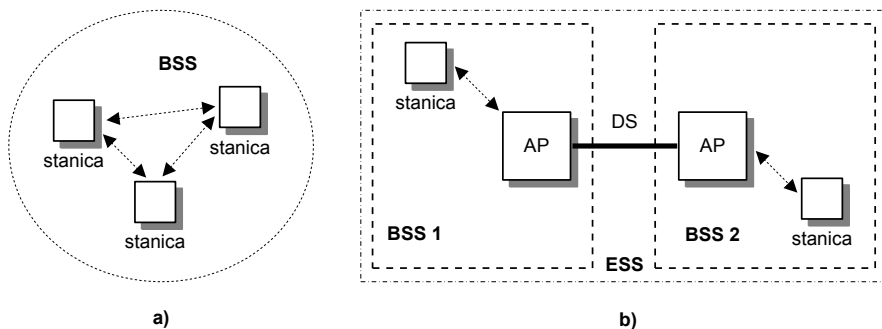
Sl. 1.15 Protokolni složaj u mrežnim elementima WLAN-a

Protokolni složaji implementirani u dotičnim mrežnim elementima prikazani su na Sl. 1.15 (Bing [2000]). Nadalje, u infrastrukturnom WLAN-u moguće je primijeniti centralizirani ili decentralizirani višestruki pristup. Centralizirani pristup ne omogućava čvorovima koji se nalaze unutar područja pokrivanja jedne pristupne točke da izravno međusobno komuniciraju. U slučaju centraliziranog pristupa mediju izvor mora poslati okvir pristupnoj točki, koja će okvir proslijediti odredištu. Na taj se način, uslijed duljeg trajanja prostiranja signala, povećava kašnjenje u prijenosu. Međutim, centralizirani pristup omogućava transport govora i videa, umanjuje problem skrivene stanice (*hidden station*) i omogućava korištenje manje snage odašiljanja signala (Tanenbaum [1996]).

1.2.3. Standard IEEE 802.11

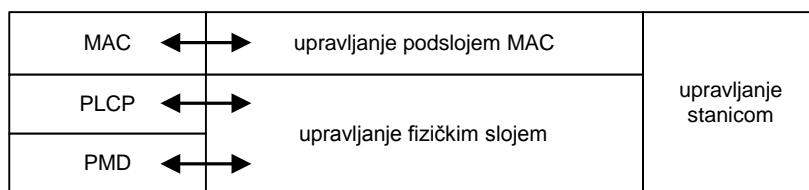
Standardom IEEE 802.11 (Stallings [1997]) definiran je **skup za pružanje osnovne usluge** (Basic Service Set – BSS) kao temeljni dio bežičnog LAN-a (Sl. 1.16a). BSS se sastoji od dva ili više pokretnih čvorova nazvanih stanica ili skraćeno STA (*station*). Svaki BSS ima svoju jedinstvenu oznaku BSSID (BSS Identifier). Područje pokrivanja bežičnog LAN-a unutar kojeg članovi BSS-a mogu međusobno komunicirati naziva se **područje pružanja osnovne usluge** (Basic Service Area – BSA). LAN koji se sastoji od samo jednog BSS-a naziva se IBSS (Independent BSS), što je IEEE-ov pandan neovisnom LAN-u.

Distribucijski sustav (Distribution System – DS) povezuje međusobno dva ili više BSS-a, koristeći pri tome najčešće žičnu ili optičku temeljnu mrežu. Bežični LAN kojeg čine DS i njime povezani BSS-ovi nazvan je **skup za pružanje proširene usluge** (Extended Service Set – ESS). Poput BSS-a, i ESS ima jedinstvenu oznaku ESSID (ESS Identifier).



Sl. 1.16 Definicija IEEE 802.11 LAN-a: a) BSS i b) ESS

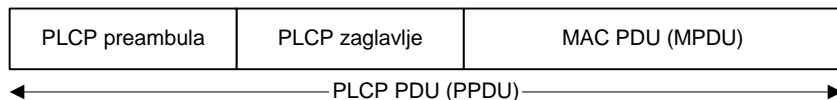
Protokolni složaj IEEE 802.11 LAN-a prikazan je na Sl. 1.17 (Bing [2000]). Fizički sloj (PHY) protokolnog složaja definiranog standardom IEEE 802.11 podijeljen je u dva podsloja: podsloj ovisan o prijenosnom mediju (Physical Medium Dependent – PMD) i podsloj procedure konvergiranja fizičkom sloju (Physical Layer Convergence Procedure – PLCP). Podsloj PMD usko je vezan uz karakteristike bežičnog medija. Njegova obilježja ovise o tome da li se koristi radioprijenos ili infracrveni prijenos. Na podsloju PMD definirani su postupci obrade signala prilikom slanja, odnosno prijema. Podsloj PLCP definira metodu preslikavanja podatkovnih jedinica protokola podsloja MAC (MPDU) u paketski format pogodan za primjenu na podsloju PMD. PLCP može obavljati i funkciju otkrivanja nosioca.



Sl. 1.17 Protokolni složaj IEEE 802.11 LAN-a

Podsloj MAC definira osnovni mehanizam pristupa mediju (temelji se na metodi CSMA) namijenjen većem broju pokretnih čvorova koji žele pristupiti zajedničkom mediju. MAC može obavljati fragmentaciju paketa i zaštitno kodiranje, tj. enkripciju paketa. Upravljanje fizičkim slojem brine se o prilagodbi različitim uvjetima na linku i o održavanju baze upravljačkih informacija o sloju PHY. Upravljanje podslojem MAC bavi se sinkronizacijom, upravljanjem snagom signala odašiljača (*power management*), i pridruživanjem stanice (*association* i *reassociation*) pristupnoj točki. Funkcija pridruživanja

omogućava uspostavu bežičnih linkova između pokretnih stanica i pristupnih točaka u infrastrukturnom WLAN-u. Stanica koja se priključuje bežičnoj mreži može slati i primati pakete tek nakon završetka procesa pridruživanja tom LAN-u. Generička struktura IEEE 802.11 okvira prikazana je na Sl. 1.18.



Sl. 1.18 Generička struktura IEEE 802.11 okvira

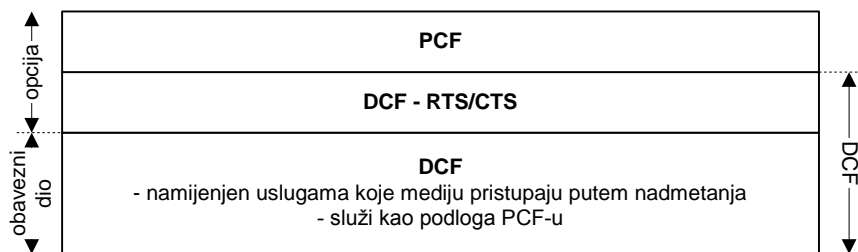
PLCP preamble služi za sinkronizaciju prijemnika, a PLCP zaglavlje pruža stanici informacije o duljini primljenog paketa, o korištenoj prijenosnoj brzini i dr. Predajnik šalje PLCP preambulu i zaglavlje brzinom 1 Mbit/s (to omogućava međudjelovanje bržih i sporijih stanica) neovisno o vrsti fizičkog sloja.

Podsloj IEEE 802.11 MAC

Specifikacija IEEE 802.11 definira na podsloju MAC tri različite koordinacijske funkcije (*coordination function*) koje su namijenjen transportu raznih vrsta prometnih tokova (Santamaria et al. [2001]):

distribuirana koordinacijska funkcija (Distributed Coordination Function – DCF) temelji se na protokolu CSMA s ugrađenim mehanizmom za izbjegavanje sudara okvira (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance – CSMA/CA);

DCF s ugrađenim procedurama jednostavnog protokola «rukovanja» (*handshaking*) predstavlja protokolnu proceduru utemeljenu na razmjeni upravljačkih okvira RTS i CTS. Korištenje RTS-a i CTS-a bitno reducira probleme u komunikaciji koji nastaju uslijed skrivenih stanica;



Sl. 1.19 Arhitektura podsloja IEEE 802.11 MAC

centralizirana koordinacijska funkcija (Point Coordination Function – PCF) namijenjena je transportu usluga u stvarnom vremenu i usluga koje zahtijevaju malo kašnjenje. Prilikom korištenja PCF-a jedan mrežni uređaj u LAN-u (u infrastrukturnom WLAN-u to je obično pristupna točka) preuzima ulogu PCF stanice koja ima prioritet u upravljanju pristupom mediju. Kad je u LAN-u

aktivirana funkcija PCF, PCF stanica omogućava da u bilo kojem trenutku samo jedna stanica ima prioritet u pristupu mediju. Arhitektura IEEE 802.11 MAC-a prikazana je na Sl. 1.19;

hibridna koordinacijska funkcija (Hybrid Coordination Function – HCA) je koordinacijska funkcija uvedena u standardu 802.11e, namijenjenom podršci kvaliteti usluge u bežičnim LAN-ovima. HCA omogućava dva načina pristupa mediju: EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) i HCCA (HCF (Hybrid Coordinator Function) Controlled Channel Access). Prva metoda je nasljednik DCF-a, dok je druga nasljednik PCF-a. Pri korištenju EDCA promet većeg prioriteta ima veću vjerojatnost slanja od prometa manjeg prioriteta. HCCA, kao i PCF, radi na načelu prozivanja stanica, ali se stanicama, tj. prometnim tokovima koje one šalju mogu dodijeliti prioriteti.

Fizički sloj IEEE 802.11 LAN-a

Dio specifikacije IEEE 802.11 koji se odnosi na fizički sloj WLAN-a definira korištenje tri opcije (Bing [2000]): DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) i DFIR (Diffuse Infrared). DFIR djeluje u području valnih duljina od 850 do 950 nm. Radijski sustavi rade u području 2.4 GHz. To je dio frekvencijskog pojasa ISM (Industrial, Scientific, Medical). Krajnji korisnici ne moraju posjedovati dozvole za korištenje radiosustava koji koriste frekvencije ISM-a. DSSS podržava prijenosne brzine 1 i 2 Mbit/s, dok DFIR i FHSS podržavaju prijenosnu brzinu 1 Mbit/s (prijenosna brzina od 2 Mbit/s je opcija). Standard IEEE 802.11b određuje da se na fizičkom sloju koristi DSSS (prijenosne brzine 1, 2, 5,5 i 11 Mbit/s). Standardi IEEE 802.11a (za područje oko 5 GHz) i IEEE 802.11g (za područje oko 2,4 GHz) definiraju korištenje OFDM-a (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) na fizičkom sloju WLAN-a, a podržavaju prijenosnu maksimalnu brzinu od 54 Mbit/s (to je brzina na fizičkom sloju pri kojoj brzina iznad MAC-a iznosi svega 25 Mbit/s). Trenutno se radi na standardu IEEE802.11n, koji bi omogućio komunikaciju brzinom od 248 Mbit/s. Planirano je dovršenje standarda do ljeta 2009. Stanice u IEEE 802.11 LAN-u moraju koristiti isti fizički sloj ako žele međusobno komunicirati.

1.2.4. Infracrveni LAN-ovi

Infracrveni LAN-ovi (IR LAN) rade u području vrlo visokih frekvencija oko 350 THz (to je područje valnih duljina između 800 i 900 nm). Infracrveno zračenje se prostire ravnim zrakama i ne može prodrijeti kroz objekte koji ne propuštaju svjetlost (zidovi, podovi, stropovi), a prilikom prolaska kroz staklo biva prigušeno. IR zračenje je moguće ograničiti na područje jedne prostorije čime se bitno smanjuje elektromagnetska interferencije (Electromagnetic Interference – EMI) i mogućnost neovlaštenog prisluškivanja veza. Zahvaljujući

navedenim pozitivnim osobinama IR zračenja korisnici ne trebaju imati dozvole za korištenje IR LAN-ova.

1.3. Ostale tehnologije lokalnih mreža

Od pojave lokalnih mreža pa do danas u tom je području nastalo mnoštvo tehnologija LAN-ova. Osim već ranije navedenih Ethernet, Token Ringa i Token Busa, najvažnije od njih su sljedeće:

- FDDI (Fiber Distributed Data Interface),
- HIPPI (High-Performance Parallel Interface),
- Fibre Channel,
- 100VGAny-LAN,
- ATM (Asynchronous Transfer Mode).

Od svih navedenih tehnologija jedina koja se je održala u području lokalnih mreža, a posljednjih godina se njena primjena polagano premješta i u područje pristupnih i gradskih mreža, je Ethernet. Njegovu nadmoć nad ostalim tehnologijama moguće je pripisati prije svega jednostavnosti i nižoj cijeni u odnosu na ostale tehnologije. Pored Ethernet, Fibre Channel je pronašao primjenu u SAN-ovima (Storage Area Network), odnosno mrežama koje su namijenjene međusobnom povezivanju poslužitelja, diskovnih polja, uređaja za manipulaciju magnetskim trakama i drugim uređajima za masovnu pohranu podataka. Takve se mreže grade odvojeno od LAN-ova kako taj specifični podatkovni promet (npr. zrcaljenje sadržaja diskova, arhiviranje odataka i dr.) ne bi interferirao s korisničkim prometom u LAN-u. U nastavku je stoga dan kratak opis tehnologije Fibre Channel.

1.3.1. Fibre Channel

Tehnologiju Fibre Channel razvile su tvrtke Hewlett-Packard, IBM i Sun Microsystems. ANSI je usvojio njihov prijedlog i kreirao standard Fibre Channel, objavljen 1993. godine (Stallings [1997]). Link se u Fibre Channel LAN-u fizički realizira pomoću dvije optičke niti (moguće je korištenje koaksijalnih kabela i STP-a). Prijenosna brzina se kreće u rasponu od 100 do 800 Mbit/s, a planirane su i veće prijenosne brzine (1 i 2 Gbit/s). Fibre Channel podržava i dvosmjerni način rada, a domet prijenosa po jednomodnim optičkim nitima, pri brzini 100 Mbit/s, iznosi 10 km. Transfer informacija odvija se okvirima duljine do 2112 okteta, a moguće je koristiti i dulje okvire.

Ključni element mreže optičkih kanala su krajnji sustavi (*end systems*), koji se ujedno nazivaju i čvorovi (*nodes*), te sama mreža koja se sastoji od jednog ili više komutacijskih elemenata. Skup komutacijskih elemenata naziva se

komutacijsko polje (*switching fabric*). Komutacijsko polje može biti izvedeno od jednog elementa ili od mreže međusobno povezanih komutacijskih elemenata. Svaki čvor i komutacijski element (odnosno komutacijsko polje) imaju određeni broj priključaka (*ports*) koji se međusobno povezuju dvosmjernim linkovima od točke do točke. Priključci na čvorovima zovu se N-priključci, a na komutacijskim elementima F-priključci. Komunikacija se sastoji od transfera okvira linkovima od točke do točke (transfer okvira definiran je slojem FC-2).

Protokolna arhitektura Fibre Channela sastoji se od pet slojeva (Saunders [1996]): od najnižeg FC-0 do najvišeg FC-4. Najniži sloj (fizičko sučelje/prijenosni medij) definira prienosne medije. Na sloju FC-1 (protokol fizičkog sloja) definirano je linijsko kodiranje/dekodiranje kodom 8B/10B. Sloj FC-2 definira način transfera Fibre Channel okvira. Transfer okvira na sloju FC-2 odvija se namjenskim (*dedicated*) vezama namijenjenim signalizaciji kao:

- nespojna usluga (multipleksiranje okvira ili usluga datagramskog tipa), ili
- kombinacija spojne i nespojne usluge koju Fibre Channel pruža višim protokolnim slojevima.

Na sloju FC-2 definirano je upravljanje prometnim tokovima pomoću protokola kliznog prozora (*sliding-window*), te ispravljanje pogrešaka nastalih u transferu okvira pomoću metode CRC. Svaki čvor može komunicirati s bilo kojim drugim čvorom spojenim na zajedničko komutacijsko polje koristeći usluge koje pruža komutacijsko polje. Te su usluge definirane na sloju FC-3. Sloj FC-4 definira preslikavanje kanala (SCSI, HIPPI, IPI-3) i mrežnih protokola (ATM, IP) u fizički sloj. Definirane su tri vrste topologije Fibre Channel LAN-a: komutirana topologija, topologija od točke do točke i topologija arbitrirane petlje (*arbitrated-loop*). Fibre Channel LAN se izgrađuje pomoću komutatora, koncentratora za arbitrirane petlje (*arbitrated-loop hub*), te mrežnih adaptera namijenjenih ugradnji u računala. Na sličan način kao i HIPPI, Fibre Channel je uglavnom namijenjen povezivanju velikih računala i sustava za pohranu podataka (polja diskova, jedinice magnetskih vrpce i dr.). Tehnologija optičkog kanala je dobra za postizanje visokih performansi mreže, iako treba spomenuti da je po pitanju kašnjenja u čvorovima mreže, koja se kreću u rasponu od 10 do 30 ms, Fibre Channel inferioran u odnosu na HIPPI.

1.4. Literatura

- [1] ANSI/IEEE Std 802.3-1985 (ISO DIS 8802/3). 1985. *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*. IEEE, New York.
- [2] BARNES, D., SAKANDAR, B. 2005. *Cisco LAN Switching Fundamentals*. Cisco Press, Indianapolis.

- [3] BING, B. 2000. *Wireless LANs and ATM*. Artech House, London.
- [4] CUNNINGHAM, D, W. G. LANE. 1999. *Gigabit Ethernet Networking*. Macmillan, Indianapolis.
- [5] FEIT, S. 2000. *Local Area High Speed Networks*. MTP, Indianapolis.
- [6] HALSALL, F. 1996. *Data Communication, Computer Networks, and Open Systems*. 4. izdanje, Addison-Wesley, Reading.
- [7] HAMMOND, J. L, P. J. P. O'REILLY. 1986. *Performance Analysis of Local Computer Networks*. Addison-Wesley, Reading.
- [8] HELD, G. 2003. *Ethernet Networks*. Wiley, New York.
- [9] JAIN, R. 1994. *FDDI Handbook*. Addison-Wesley, Reading.
- [10] KADAMBI, J, I. CRAYFORD, M. KALKUNTE. 1998. *Gigabit Ethernet*. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [11] MARTIN, J. 1994. *Local Area Networks*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [12] PERLMAN, R. 2000. *Interconnections*. 2. izdanje, Addison-Wesley, Reading.
- [13] RACKLEY, S. 2007. *Wireless Networking Technology*. Newnes, Oxford.
- [14] SANTAMARIA, A, F. J. LOPEZ-HERNANDEZ. 2001. *Wireless LAN Standards and Applications*. Artech House, Norwood.
- [15] SAUNDERS, S. 1996. *The McGraw-Hill High-Speed LANs Handbook*. McGraw-Hill, New York.
- [16] SCHWARTZ, M. 1977. *Computer-Communication Network Design and Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [17] SCHWARTZ, M. 1987. *Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis*. Addison-Wesley, Reading.
- [18] SEIFERT, R. 2000. *The Switch Book*. Wiley, New York.
- [19] SMYTHE, C. 1995. *Internetworking*. Addison-Wesley, London.
- [20] SPURGEON, C.E. 2000. *Ethernet, the Definitive Guide*. O'Reilly, Sebastopol.
- [21] STALLINGS, W. 1990. *Handbook of Computer-Communications Standards: Volume 2 - Local Area Network Standards*. 2. izdanje, SAMS, Indianapolis.
- [22] STALLINGS, W. 1997. *Local and Metropolitan Area Networks*. 5. izdanje, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [23] STALLINGS, W. 1999. *SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMONv1 and RMONv2*. 3. izdanje, Addison Wesley, Reading.
- [24] TANENBAUM, A. S. 1996. *Computer Networks*. 3. izdanje, Prentice-Hall, Upper Saddle River.