

21. LOKALNE MREŽE NA PODATKOVNOJ RAZINI

21.1. Organizacija podatkovne razine lokalnih mreža

- svojstva lokalnih mreža
- podjela na podrazine i uloga podrazina
- pregled standarda

Lokalne mreže su mreže velike brzine, malog kašnjenja i kratkog doseg. Povezuju računala unutar jedne prostorije ili zgrade. Od LAN tehnologije najčešće se koristi ETHERNET, a poznate su i TOKEN-RING, TOKEN-BUS, bežične WLAN (Wireless LAN). Za lokalne mreže se najčešće koristi standard **IEEE 802.x**, kojim su definirane podrazine:

- 2.2 **LLC** (Logical Link Control) → specificira bitovno-orijetirani protokol zajednički za sve vrste lokalnih mreža.
- 2.1 **MAC** (Media Access Control) → specificira oblik okvira koji se pojavljuje na mediju i metode pristupa mediju prilagođene samom mediju.

21.2. Protokol podrazine 2.2

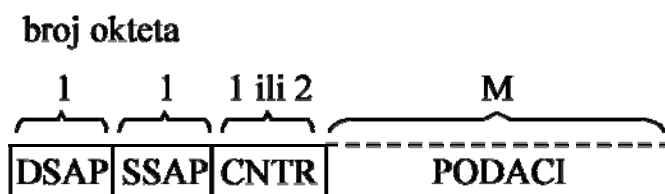
- svojstva protokola, klase usluga
- oblik okvira, C polje i tipovi okvira
- sustav adresiranja s komentarom
- praktična primjena po klasi usluge i po adresiranju

LLC je bitovno orijentirani protokol, zajednički za sve 802 lokalne mreže, specificiran je **IEEE 802.2** standardom. Pruža mogućnost prijenosa podataka u dvije klase usluga:

- I. Klasa omogućuje bespojni prijenos korištenjem UI (Unnumbered Information) okvira.
- II. Klasa omogućuje spojevni prijenos. Sadrži klasične okvire HDLC protokola.

Od svih naredbi u obje klase u praksi se najčešće koristi naredba UI.

LLC okvir:



DSAP je adresa odredišne, a SSAP izvorišne priključne točke. **C (kontrolno)** polje određuje vrstu okvira. Za S i I okvire koristi se 16 bitno, a za U okvire 8 bitno C polje.

Tipovi okvira su : **S** okviri (RR, RNR, REJ) i **U** okviri.

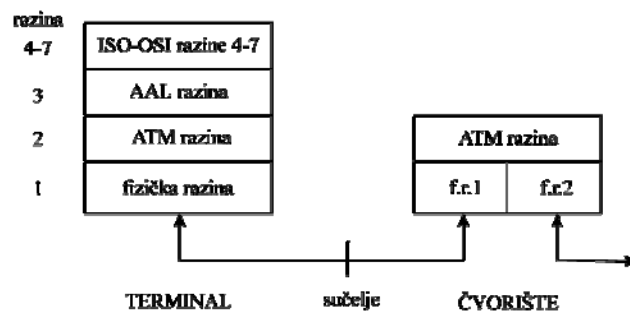
Pomoću DSAP i SSAP se identificiraju korisnici logičkog kanala i te adrese se koriste dinamički u trenutku uspostave veze. Nedostatak koncepta priključnih točaka je u nepostojanju standardne identifikacije mrežnih protokola.

21.3. ATM tehnologija na podatkovnoj razini

- struktura ATM mreže i položaj sučelja
- referentna ATM arhitektura
- karakteristike AAL5 razine
- parametri kvalitete usluge ATM veze

ATM je **stablata mreža** kod koje se u čvorištima nalaze ATM prospojnici. Kod ATM mreže su definirana dva sučelja **UNI** (User Network Interface) i **NNI** (Network Node Interface).

Referentna ATM arhitektura:



1. Fizička razina omogućava prijenos ćelija različitim medijima
2. ATM razina je odgovorna za uspostavu i raskid virtuelnih kanala, te za prosljeđivanje ćelija.
3. AAL prilagodna razina ostvaruje vezu između većih jedinica podataka (SDU) i ćelija.

AAL5 razina osigurava prijenos podataka bespojinim protokolom. SDU korisnika se nadopunjuje AAL5 CS-SDU dodatkom, te se tako formirani CS-SDU segmentira na ćelije (SAR-PDU).

Parametri kvalitete usluge:

- CDV (Cell Delay Variation) → varijacija kašnjenja na mreži.
- CTD (Cell Transfer Delay) → prijenosno kašnjenje ćelija.
- CLR (Cell Loss Ratio) → omjer izgubljenih ćelija.

21.4. Primjena ATM tehnologije na lokalnim mrežama

- struktura i svojstva LANE tehnologije
- struktura i svojstva CIPOA tehnologije
- struktura i svojstva NHRP i MPOA tehnologije

LANE (LAN Emulation) je skup protokola koji omogućavaju korištenje ATM tehnologije za izgradnju bespojinih lokalnih mreža čija je funkcionalnost usporediva s Ethernet mrežom. Takva lokalna mreža predstavlja domenu prostiranja (broadcast) i može se kao podmreža povezati na Internet. Sastoji se od LANE korisnika, LANE poslužitelja, LANE konfiguracijskog poslužitelja, LAN prospojnika...

Klasični IP/ATM (**CIPOA**, Classical IP over ATM) omogućava prijenos IP paketa preko ATM mreže uz korištenje specifičnog ATMARP (ATM Address Resolution

Protocol) sustava. Na ovaj način je moguće koristiti ATM mrežu kao izravnu zamjenu za lokalne mreže.

NHRP (Next Hop Resolution Protocol) je modifikacija IPOA na način da se veza najprije ostvari među usmjernicima (NHS Next Hop Server). Na taj način se dozna ATM adresa odredišnog računala. **MPOA** (Multi Protocol Over ATM) povezuje virtualne podmreže različitih tehnologija ATM virtualnim kanalima.

22. LOKALNE MREŽE ETHERNET

22.1. Osnovna svojstva MAC podrazine Etherneta

- osnovna struktura MAC okvira Etherneta
- arhitektura adresiranja Etherneta
- struktura i svojstva MAC adresa

MAC okvir:

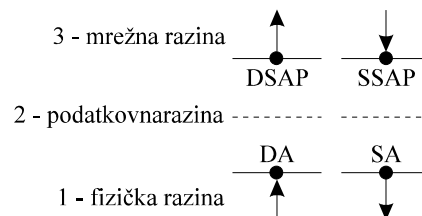
SY	SFD	DA	SA	LEN	LLC	PAD	FCS
7 okteta	1 oktet	6(2) okteta	6(2) okteta	2 okteta	LEN okteta		4 okteta

SY - uspostava sinkronizacije;
SFD - okvirni znak; DA, SA
odredišna i izvorišna adresa

LEN duljina korisnikove informacije u oktetima; LLC - informacijsko polje koje sadrži korisnikove podatke; PAD - nadopuna okvira na minimalnu duljinu; FCS - polje zaštite .

Arhitektura adresiranja:

DA i SA su adrese fizičkog uređaja na fizičkom mediju (fizička razina), dok DSAP i SSAP LLC adrese identificiraju korisnika (protokol) na mrežnoj razini.



DA i SA mogu biti 48-bitna i 16-bitna adresna polja.

48-bitno adresno polje:

I/G	U/L	46 bitna adresa
-----	-----	-----------------

16-bitno adresno polje:

I/G	15 bitna adresa
-----	-----------------

I/G = 0 je individualna adresa

I/G = 1 je grupna adresa

U/L = 0 je globalno administrirana adresa; U/L = 1 je lokalno administrirana adresa

22.2. Problemi standardizacije Etherneta

- problem minimalne duljine okvira
- problem identifikatora protokola mrežne razine
- primjena Ethernet okvira u praksi

Zbog kašnjenja informacije i mogućnosti kolizije, predviđeno je da okvir ima minimalnu duljinu da bi se mogao prenijeti. Radi toga se u MAC okviru nalazi dodatni **PAD** okvir za nadopunu okvira. Ako je dužina okvira manja od minimalne, između LLC i FCS se mogu ubaciti dodatni okteti.

Okvir za Ethernet je propisan IEEE 802.3 standardom. Problem ovog standarda je u tome što nije adekvatno riješena identifikacija protokola na mrežnoj razini. Da bi se riješio taj problem, definirane su nove vrste okvira. Danas se u praksi na Ethernet mrežama koriste ukupno 4 različita okvira: Ethernet II, 802.3, 802.2 (LLC), SNAP.

Danas se lokalnim ETHERNET mrežama mogu se naći sva 4 okvira. Zbog toga se na podatkovnoj razini koristi sustav za multipleksiranje koji će prepoznati vrstu okvira i uputiti je na ispravne procese na mrežnoj razini.

22.3. Varijante okvira Etherneta

- struktura i svojstva Ethernet II okvira
- struktura i svojstva 802.3 okvira
- struktura i svojstva 802.2 LLC okvira
- struktura i svojstva 802.2 SNAP okvira

Ethernet II okvir:

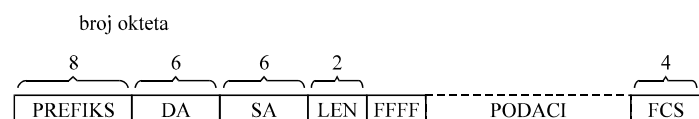


Osnovna razlika je u odnosu na 802.3 okvir je u tome što Ethernet okvir ima PID polje za identifikaciju protokola mrežne razine

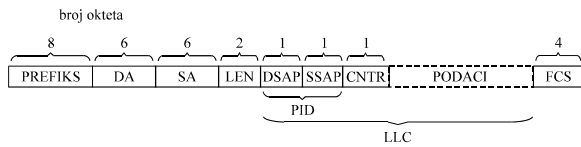
Polje podaci sadrži kao SDU paket mrežne razine, Ethernet II pruža uslugu bespojnog prijenosa lokalnom mrežom.

802.3 okvir:

Polje PID zamijenjeno je poljem LEN, a umjesto DSAP i SSAP se umeće 0xFFFF iza LEN polja



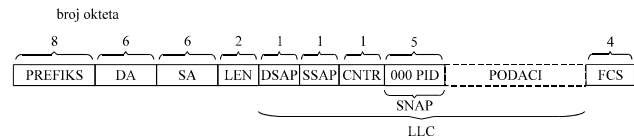
802.2 LLC okvir:



Pokušava se iskoristiti originalna specifikacija 802.3 sa uključenim LLC okvirom. Polja SSAP i DSAP zajedno služe kao identifikator protokola mrežne razine - PID. Problem ovog okvira je u tome što DSAP i SSAP imaju fiksne vrijednosti.

802.2 SNAP okvir:

Zajednički je za sve vrste lokalnih mreža, zadovoljava sve standarde.



23. LOKALNE MREŽE - WLAN

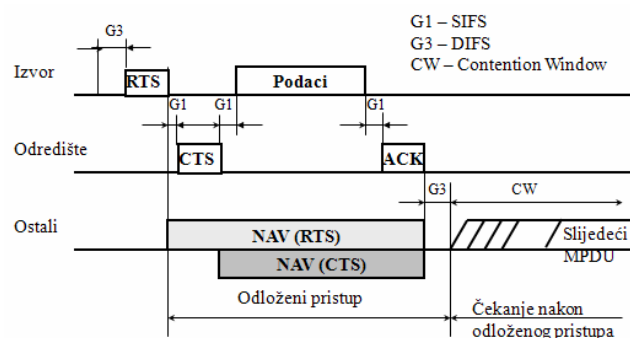
23.1. Osnovna svojstva MAC podrazine WLAN

- osnovna arhitektura WLAN
- vremenski dijagram CSMA/CA
- CSMA/CA procedura za razne scenarije

Za bežične mreže IEEE donosi standard 802.11. Na podatkovnoj razini definiran je specifičan MAC protokol kao podloga za zajednički LLC. Osnovna zadaća MAC razine je isporuka MSDU. Sadrži funkcije provjere identiteta i zaštite informacije.

Osnovna arhitektura WLAN-a:

802.2			Podatkovna razina
802.11MAC			
FH	DS	IR	Fizička razina



Sl. Vremenski dijagram CSMA/CA

Nekoliko **CSMA/CA procedura za razne scenarije**: Stanica koja traži prijenos: najprije osluškuje medij, čeka dok kanal ne postane slobodan. Pri tome mjeri snagu radio signala. Kad je medij slobodan: stanica odredi slučajno vrijeme čekanja DIFS i ponovno osluškuje. Nakon isteka DIFS perioda: stanica šalje RTS okvir čime daje do znanja da će zazeti medij upravo NAV vremena (mjereno do kraja RTS okvira) . Ukoliko je za vrijeme CTS došlo do kolizije: dvije stanice s istim DIFS periodom, neće biti odziva, te će obje stanice u koliziji vratiti u

početno stanje. Kad nema kolizije: prozvana stanica odaziva se sa CTS okvirom, taj okvir sadrži potvrdu NAV vremena, ovaj put mjereno od kraja CTS okvira, time se NAV pojavljuje onim stanicama, koje nisu u dometu pozivajuće stanice.

23.2. MAC okvir WLAN

- struktura MAC okvira WLAN
- koncept prilagođenja brzine
- fragmentacija
- funkcija čvornih uređaja

Prijenos podatak prenosi se korištenjem tri vrste okvira: **podatkovnih, nadzornih i upravljačkih.**

Početni niz	PLCP zaglavlje	MAC zaglavlje	PODACI	CRC
-------------	----------------	---------------	--------	-----

Početni niz se sastoji od sinkronizacijske sekvence i okvirnog znaka, **PLCP** – određuje duljinu okvira i brzinu emitiranja, **MAC** – određuje vrstu okvira, adrese odredišta izvorišta i relejne stanice, smjer, fragmentaciju, zaštita, **PODACI** – korisnikovi podaci, CRC – 32-bitna ciklička zaštita čitavog okvira.

Koncept prilagođenja brzine → pitati Škobu.

Radio prijenos je izložen smetnjama, pa se očekuje visoka učestalost pogreški. Zbog toga je optimalno slati okvire manje duljine, pa se koristi **fragmentacija**. MSDU (informacijsko polje) se fragmentira na dijelove optimalne duljine.

Čvorni uređaj WLAN-a je AP, koji ima ulogu odbravanja prijenosa.

24. SVOJSTVA MREŽNE RAZINE

24.1. Opća svojstva mrežne razine

- zadaća, protokoli, standardizacija
- moguće kombinacije mehanizama protokola
- optimalna konfiguracija mehanizama mrežne razine

Mrežna razina osigurava prijenos podataka s kraja na kraj mreže. Problemi ovog sloja su adresiranje i usmjeravanje. To se nastoji riješiti na način optimalan za korisnika (da podaci stižu sa minimalnim kašnjenjem i s najvećom mogućom točnošću) i za mrežu (da se izbjegne zagušenje i da se maksimalno iskoristi mreža). Na mrežnoj razini nalazimo spojevne ili bespojne protokole.

Internet koristi zasebno prosljeđivanje i bespojni protokol, dok X.25 paketna mreža koristi prosljeđivanje virtualnim kanalom i spojevni protokol. ATM s AAL5 koristi prosljeđivanje virtualnim kanalom i bespojni protokol.

Na mrežnoj razini treba koristiti prozorsku kontrolu, kontrolu brzine ili kombinaciju za kontrolu toka. X.25 koristi neposrednu kontrolu toka dok IP ne predviđa kontrolu toka koja se obavlja na prijenosnoj razini (TCP).

24.2. Deterministički algoritmi usmjeravanja

- teorijske i praktične mogućnosti usmjeravanja, prosljeđivanje
- pregled determinističkih algoritama usmjeravanja

Usmjeravanje prometa je postupak otkrivanja optimalnog puta između izvorišta i odredišta toka podataka. Prosljeđivanje paketa, odnosno određivanje virtualnog kanala, obavlja se prema tablicama usmjeravanja koje se izračunavaju korištenjem algoritama usmjeravanja. Kod determinističkih algoritama usmjeravanja, odluku o usmjeravanju donosimo pomoću nekih čvrstih pravila. Svrha ovih algoritama je da mreža bude optimalno iskorištena, da se maksimalno iskoristi kapacitet te da se korisniku pruži određena kvaliteta usluge.

Deterministički algoritmi usmjeravanja su:

1. **Algoritam poplave** – primljeni paket šaljemo na sve kanale, osim na onaj s kojeg je došao.
2. **Algoritam stalnog usmjeravanja** – za svaki par odredišta i izvorišta postoje unaprijed određeni putovi tako da na osnovu adresa možemo znati kojim je putem paket došao te unaprijed znamo kamo treba krenuti.
3. **Algoritam razdvojenog** prometa – promet se šalje po više kanala prema istom odredištu, s tim da se odredi koji će postotak ići kojim kanalom.
4. **Algoritam idealnog opažača** – pretpostavlja se da svako čvorište u trenutku usmjeravanja ima sve informacije o stanju mreže, ali čvorišta zapravo imaju samo djelomičnu informaciju o stanju mreže.

24.3. Stohastički algoritmi usmjeravanja

- teorijske i praktične mogućnosti usmjeravanja, prosljeđivanje
- pregled stohastičkih algoritama usmjeravanja

(Prvi dio kao u prethodnom pitanju..). Kod **stohastičkih algoritama usmjeravanja**, odluku o usmjeravanju donosimo pomoću nekih čvrstih pravila, ali uz ta pravila dopuštamo i određene slučajnosti. Svrha ovih algoritama je da mreža bude optimalno iskorištena, da se maksimalno iskoristi kapacitet te da se korisniku pruži određena kvaliteta usluge.

Stohastički algoritmi usmjeravanja su:

1. **Usmjeravanje nasumce** – čvorište koje dobije paket otprilike zna odakle je paket došao i neće ga vratiti natrag nego ga pošalje nasumce u smjeru odredišta.
2. **Algoritam izoliranog usmjeravanja** – pojedini čvor nema informaciju o stanju na mreži već na osnovu opterećenja na izlaznim kanalima donosi odluku o usmjeravanju.
3. **Algoritam raspodijeljenog prometa** – povezuje algoritam razdvojenog prometa (deterministički) i algoritam izoliranog usmjeravanja tako da sada imamo točnu informaciju o strukturi mreže, te od mogućih putova prema lokalnoj procjeni biramo optimalan put.

25. MREŽNA RAZINA INTERNETA

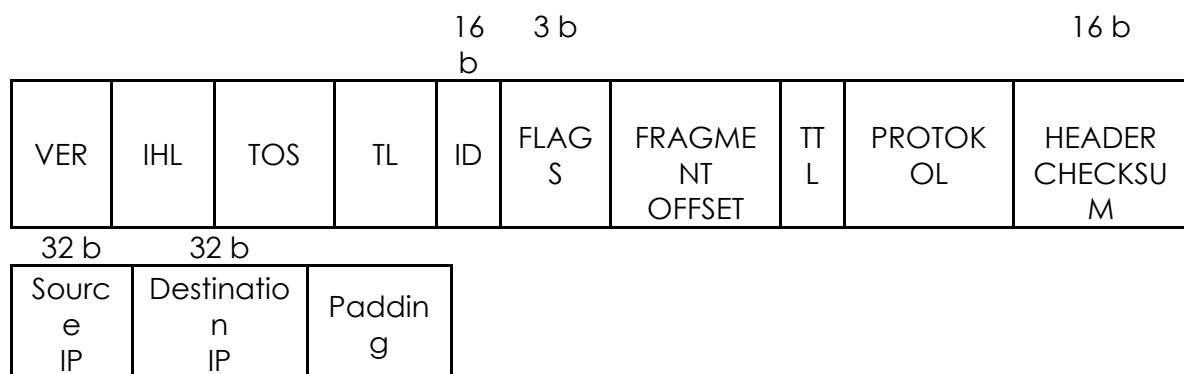
25.1. Protokoli mrežne razine Interneta

- IPv4 protokol Interneta
- mehanizmi IPv4 protokola
- zaglavlje IP paketa
- polja zaglavlja IP paketa

Internet protokol (IP) je protokol mrežne razine kojem je namjena osigurati prijenos podataka između razonodnih mreža, što uključuje adresiranje i usmjeravanje. Trenutno se koristi **IPv4** (koji koristi 32 bitno adresiranje), a rjeđe IPv6 (koji koristi 128 bitno adresiranje).

Mehanizmi IP protokola omogućuju adresiranje i dostupnost do svakog računala priključenog na internet.

Zaglavlje paketa IP protokola:



Polja zaglavlja IP paketa:

VER (Version) IPv4 ili IPv6; **IHL (Internet Header Length)** - duljina zaglavlja; **TOS (Type Of Service)** definira kvalitetu usluge; **TL-** total lenght; **ID; Flags** - indikatori ; **pomak fragmenta (Fragment Offset); TTL (Time To Live)** - koliko sekunda

paket smije biti na mreži; **protokol** - definira protokol prijenosne razine (TCP ili UDP); **Nadopuna (Padding)** - nadopuna zaglavlja do pune riječi duljine 32 bita

25.2. Adresiranje na Internetu

- arhitektura adresiranja na Internetu, priključnice i veza
- klase IP adresa, oblik i svojstva
- korištenje mrežne maske za pod mrežavanje i nad mrežavanje

Adrese IPv4 protokola su duljine 32 bita i sastoje se od mrežne adrese i adrese računala (mrežnog priključka). Klasa određuje broj bitova adrese pod mreže i adrese računala.

Specificirane su 3 korisničke klase adresa (A, B i C); klasa D koja je rezervirana za grupne adrese i klasa E koja je rezervirana za proširenja.

Klasa A omogućuje (2^7-2) mreža i ($2^{24}-2$) računala. **Klasa B** omogućuje ($2^{14}-2$) mreža i ($2^{16}-2$) računala, a **klasa C** omogućuje ($2^{21}-2$) mreža i (2^8-2) računala.

Kod **pod mrežavanja** za podjelu na pod mreže se koristi adresna maska. Adresna maska je 32-bitna varijabla koja se sastoji od bloka jedinica i nula – dio s jedinicama definira dio IP adrese koji definira mrežu i pod mrežu, a dio s nulama adresu računala. Kod **nad mrežavanje** klase C se ujedinjuju u superklase. Time smo na globalnoj razini smanjili broj subjekata.

25.3. IP adresiranje na lokalnoj mreži

- preslikavanje IP adrese u MAC adresu
- obrada dolaznog paketa
- obrada odlaznog paketa za lokalno i udaljeno odredište

Za prevođenje IP adrese u MAC adresu se koristi ARP protokol.

Pakete koji **dolaze** na pod mrežu osnovni usmjernik pakira u okvire s MAC adresom odredišta i prosljeđuje ih lokalnom mrežom.

Pakete koji idu **van** iz pod mreže, izvorište pakira u okvire s MAC adresom osnovnog usmjernika, koji ih prosljeđuje dalje kroz osnovnu pod mrežu. Paketi kojima je izvorište i odredište na istoj pod mreži, odredište pakira u okvir s MAC adresom odredišta i šalje ga direktno odredištu. U sva tri slučaja, pripadnost paketa pod mreži se određuje na osnovu mrežnog dijela IP adrese, a **pretvorba IP adrese** odredišta ili usmjernika **u MAC adresu** obavlja se korištenjem ARP protokola. Ako odredišna stanica nije na istoj mreži paket se šalje usmjerniku (default gateway), a put paketa se dalje određuje prema tablicama usmjeravanja.

26. USMJERAVANJE PROMETA NA INTERNETU

26.1. IP adresiranje na globalnom Internetu

- struktura i razvoj usmjeravanja na Internetu
- koncept autonomnih sustava
- korištenje podmreža i nadmreža

Primarna uloga usmjeravanja je osigurati dostupnost od izvorišta do odredišta toka podataka, a sekundarna pri tome utjecati na optimalno iskorištenje mreže i kvalitetu usluge. Te funkcije ostvaruju usmjernici Interneta (IP usmjernici).

Prvi su usmjernici interneta bili organizirani hijerarhijski. Postojao je centralni sustav kroz čije su usmjernike prolazile informacije o usmjeravanju među svim mrežama interneta. Novi model usmjeravanja se zasniva na **autonomnim sustavima**, koji se sastoji od grupe mreža koje su pod istom administrativnom upravom. S obzirom na takvu podjelu razlikujemo različite vrste usmjernika (vanjske i unutarnje) i različite dijelove mreže.

Osnovna mreža (Backbone) - povezuje vanjske usmjernike i predstavlja najvišu razinu usmjeravanja. **Osnovna podmreža** (Autonomous system) karakterizirana je vlastitom administracijom adresa. Najčešće je ostvarena jednostavnom do srednje složenom mrežom unutrašnjih usmjernika, na koje su povezane podmreže. **Podmreža** (Subnetwork) obuhvaća jednu zonu prostiranja lokalne mreže i osnovnom podmrežom je najčešće povezana sa samo jednim usmjernikom koji za računala podmreže predstavlja osnovni usmjernik (Default Gateway).

26.2. Usmjeravajući protokoli Interneta

- definirati ulogu usmjeravajućih protokola
- opća svojstva usmjeravajućih protokola
- tablice usmjeravanja
- RIP protokol

Uloga usmjeravajućih protokola je osiguranje optimalnog puta od izvorišta do odredišta, uz zadovoljavajuću kvalitetu usluge. Usmjernici ne drže informacije o potpunom putu paketa, već imaju samo prvi slijedeći korak na tom putu. Paketi za koje se ne može pronaći odredište unutar tablice usmjeravanja šalju na osnovni smjer tj. default route.

Tablice usmjeravanja služe za određivanje optimalnog puta i sadrže podatak o prvom usmjerniku na optimalnom putu, mrežnu masku pojedinog odredišta, podatak o ispravnosti pojedinog smjera...

RIP (Routing Information Protocol) je unutrašnji protokol za usmjeravanje koji usmjernicima i radnim stanicama omogućuje razmjenu informacije o usmjerivačkim smjerovima unutar Internet mreže. Zasniva se na algoritmu **vektora udaljenosti** → najboljim proglašava smjer s najmanjim brojem usmjernika koje paket treba proći na putu do odredišta. RIP pamti samo najbolji put do odredišta.

26.3. Privatne podmreže - intranet

- motivacija i razvoj
- privatne adrese
- povezivanje privatne podmreže na Internet
- tehnike prevodenja adresa

Privatne mreže (Intranet) su mreže organizirane na TCP/IP tehnologiji, ali ne koriste javne, već privatne IP adrese. Postojanje Intranet mreža ima jedno od tri opravdanja: mreža nije povezana na Internet; mreža je povezana ali zbog sigurnosti koristi privatne adrese, te mreža je povezana, ali zbog nedostatka IP adresa koristi privatne adrese.

Za privatne mreže rezervirane su jedna A, jedna B i blok od 256 uzastopnih C klasa. Pakete s ovim IP adresama usmjernici Interneta odbacuju bez pokušaja daljnjeg usmjeravanja. Privatne adrese koriste se kod nepovezanih i sigurnih podmreža.

Sigurne podmreže (Intranet) povezane su na Internet preko jednog usmjernika koji prema Internetu djeluje kao krajnje računalo. Tako vanjskom učesniku komunikacije nisu poznati ni broj ni nazivi računala unutar sigurne podmreže.

Proces prevođenja adresa (NAT, Network Address Translation) obavlja se tehnikama:

- **Maskerade**, koja se obavlja na mrežnoj razini tako da usmjernik brojeve priključnice (priključne točke i IP adrese) mijenja vlastitim.
- **Uslužne veze (proxy)**, koje usmjernik ostvaruje za potrebe i za račun korisnika na sigurnom dijelu mreže. Radi se o prenošenju segmenata na prijenosnoj razini sa vanjske veze na unutrašnju.

27. SVOJSTVA PRIJENOSNE RAZINE

27.1. Opća svojstva prijenosne razine

- zadaća, protokoli, standardizacija
- moguće kombinacije mehanizama protokola
- optimalna konfiguracija mehanizama prijenosne razine
- arhitektura adresiranja na Internetu

Osigurava prijenos poruke među krajnjim korisnicima. Na ovoj razini optimalno je organizirati kontrolu pogreški i kontrolu toka. Standardizacija protokola se sastoji od vanjske (definira oblik i značenje pojedinih dijelova PDU-a) i unutarnje specifikacije (definira postupke na osnovi primljenih PDU-a).

Protokoli prijenosne razine mogu biti spojevni i bespojni. **Bespojni** mogu samo detektirati greške. **Spojevni** protokoli uz detekciju grešaka mogu obaviti i korekciju.

Na prijenosnoj razini koristimo:

- **bespojni UDP** protokol za usluge kod kojih je bitnija jednostavnost rukovanja i brzina od pouzdanosti prijenosa (audio– video prijenos).
- **spojevni TCP** protokol za pouzdanu komunikaciju Internet aplikacija korištenjem nepouzdanog (best– effort) **IP** protokola mrežne razine.

Zaglavlje protokola prijenosne razine sadrži port izvorišta i odredišta. IP adresa i port čine socket. Veza između dva računala na Internetu jedinstveno je određena parom socketa.

Uspostava veze s kraja na kraj mreže moguća je na principu unaprijed poznatih portova. U sustavu korisnik– poslužitelj, korisnik uvijek traži uslugu od poslužitelja, pa se poslužiteljskim procesima mogu dodijeliti unaprijed poznati portovi.

27.2. UDP protokol Interneta

- namjena UDP protokola i mehanizmi
- zaglavlje UDP protokola
- polja zaglavlja UDP protokola

UDP je bespojni protokol. Omogućuje slanje podataka bez uspostave logičke veze između dva računala koja komuniciraju. Koristi za usluge kod kojih je bitnija jednostavnost rukovanja i brzina od pouzdanosti prijenosa (audio-video prijenos). Podaci se tretiraju kao kratke poruke (datagrami), a korisnik treba osigurati konzistentnost poruke.

Zaglavlje UDP protokola:

16	16	16	16	Variable
Source Port Address	Destination Port Address	Message Length	Checksum	Data

Source Port Address – označava proces koji šalje datagram; **Destination Port Address** – označava proces koji prima datagram; **Message Length** – označava duljinu datagrama u oktetima, uključujući zaglavlje i podatke (Minimalna duljina je 8 okteta); **Checksum** – služi za kontrolu; **Data** – podaci korisnika.

27.3. TCP protokol Interneta

- namjena TCP protokola i mehanizmi
- zaglavlje TCP protokola
- polja zaglavlja TCP protokola

TCP (Transmission Control Protocol) je spojevni protokol koji omogućuje pouzdanu komunikaciju Internet aplikacija korištenjem nepouzdanog (best-effort) IP protokola. Podaci se tretiraju kao segmenti poruke, a korisniku se isporučuje cjelovita poruka. TCP je spojevni protokola pa koristi mehanizam retransmisije kako bi osigurao dostavu svakog segmenta.

Zaglavlje TCP protokola:

16	16	32	32	4	6	6	16	16	16	24	8	Variable
Source Port	Destination Port	Sequence No.	Ack. No.	Header length	Reserved	Code bits	Window	Checksum	Urgent Pointer	Options	Padding	Data

Source Port – označava proces koji šalje podatke; **Destination Port** – označava proces koji prima podatke; **Sequence No.** – redni broj početnog okteta segmenta u odnosu na početak poruke; **Ack. No.** – redni broj slijedećeg okteta segmenta poruke i ima značenje kumulativne potvrde; **Header length** – predstavlja duljinu TCP zaglavlja u 32-bitnim riječima;

Code bits (*flags*):URG (hitna poruka); ACK (potvrđni broj); PSH (zahtjev za trenutnu isporuku podataka); RST (resetiranje); SYN (uspostava veze); FIN (zahtjev za raskid veze).

Checksum – služi za kontrolu; **Urgent Pointer** - pokazuje gdje se nalaze hitni podaci unutar segmenta; **Options** – se ugovaraju kod uspostave veze; **Padding** – popunjava nulama zaglavlje do pune širene 32-bitne riječi; **Data** – podaci pripadaju korisniku.

28. MEHANIZMI TCP PROTOKOLA

28.1. Uspostava TCP veze

- vrste TCP priključaka
- sinkronizacija u 3 koraka
- dijagram stanja TCP priključka
- određivanje početnog rednog broja

TCP protokol koriste korisnički procesi koji zahtijevaju siguran prijenos kao što su Telnet, FTP, WWW i SMTP.

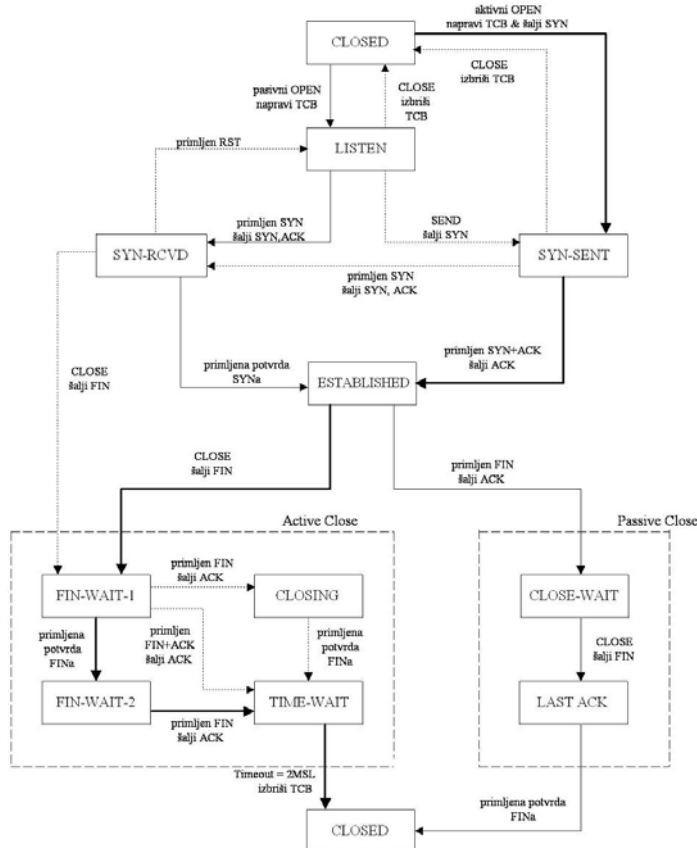
Prilikom uspostave veze koristi se proces sinkronizacije u tri koraka (**three-way handshake**), koji pokreće korisničko računalo aktivnim otvaranjem veze (OPEN) i upućuje poziv ka poznatoj priključnoj točki poslužiteljskog procesa.

Poslužiteljsko računalo odgovara na poziv koji stiže na priključnu točku otvorenu u pasivnom načinu rada (LISTEN). Tri koraka su:

1. računalo B se nalazi u stanju osluškivanja i čeka na zahtjev za uspostavu veze, a računalo A šalje zahtjev za uspostavu veze (SYN=1, ACK=0 i redni broj od kojeg želi započeti prijenos, ISN=X)
2. računalo B šalje SYN=1, potvrdu ACK=1, potvrđni broj X+1 te redni broj ISN=Y
3. računalo A odašilje segment ACK=1 s potvrđnim brojem Y+1 i veza je uspostavljena

Dijagram stanja TCP priključka:

Da bi uspostavila vezu, dva TCP procesa moraju sinkronizirati početne redne brojeve. To se radi razmjenom segmenata za uspostavu veze koji nose kontrolni bit SYN i ISN (Initial Sequence Number). Prilikom sinkronizacije obje strane moraju poslati svoj



ISN, te primiti potvrdu za to od druge strane. TCP protokol koristi slučajno izabrani ISN. Kod uspostave veze, generator početnih rednih brojeva odabire 32-bitni ISN.

28.2. Kontrola pogreški TCP protokola

- vrste potvrda TCP protokola i detekcija gubitka
- izračun vremena obilaska i devijacije
- izračun vremena retransmisije

Na mrežnoj razini IP prosljeđuje svaki paket zasebno pa može doći do izmjene redoslijeda pristizanja na odredište. Ako u RTO vremenu (Retransmission Timeout) ne dobije potvrdu, TCP ponovo šalje segment računajući da je izgubljen. RTO se računa dinamički zbog raznolikosti mreža (kratki RTO izaziva nepotrebne retransmisije, a predugački usporava oporavak od pogreške i produljuje ukupno vrijeme prijenosa podataka).

RTT (Round Trip Time - vrijeme obilaska) je vrijeme potrebno da stigne potvrda za odaslani paket, stalno se mijenja i ovisi o trenutnoj opterećenosti mreže.

$$RTT = \alpha RTT + (1 - \alpha)M$$

Za svaku vezu TCP mjeri i filtrira vrijeme obilaska na osnovi stare vrijednosti RTT i nove vrijednosti M. α je faktor koji odlučuje kolika će se težina pridati starom vremenu.

Da bi se spriječile neželjene retransmisije i predugo čekanje na detekciju gubitka, računa se devijacija D, kod koje α može, ali i ne mora imati istu vrijednost

kao i kod proračuna RTT:

$$D = \alpha D + (1 - \alpha) |RTT - M|$$

Vrijeme retransmisije (čekanja na potvrdu) se računa po formuli:

$$RTO = RTT + 4D$$

28.3. Organizacija kontrole toka TCP protokola

- algoritmi segmentacije
- varijable kontrole toka
- usporeni start i izbjegavanje zagušenja

Kod nekih aplikacija uočeno je vrlo neučinkovito iskorištenje kanala zbog slanja vrlo kratkih segmenata, a često se događa da u suprotnom smjeru posebno putuje potvrda.

Koristimo algoritme segmentacije:

- Nagle-ov algoritam
- Algoritam izbjegavanja besmislenih prozora

Varijable kontrole toka su: **SSTHRESH** prag usporenog starta (Slow Start Threshold) i **CWND** prozor zagušenja (Congestion Window).

Usporeni start (**Slow Start**) služi za otkrivanje raspoloživog kapaciteta mreže, a koristi se na početku prijenosa ili kod oporavka od gubitka. **Izbjegavanje zagušenja** (Congestion Avoidance) je faza u kojoj TCP treba ispitivati mogućnost povećanja prozora kako bi iskoristio kapacitet mreže oslobođen eventualnim završetkom prijenosa drugih korisnika.

28.4. Napredni algoritmi kontrole toka TCP protokola

- algoritam brze retransmisije
- algoritam brzog oporavka
- algoritam djelomičnih potvrda

Algoritam brze retransmisije: Čekanje na istek RTO je dugotrajno i raje $RTT + 4D$. Brza detekcija gubitka je moguća ako prijemnik za svaki prekoredno primljeni segment (nakon gubitka) ponavlja posljednju poslanu kumulativnu potvrdu. Nakon što primi tri duplicirane potvrde, predajnik zaključuje da je došlo do gubitka segmenta i obavlja ponovno slanje prije isteka RTO.

Algoritam brzog oporavka (Fast Recovery): Nakon gubitka paketa, TCP normalno mora ići u fazu usporenog starta. Algoritam brzog oporavka ovu fazu izbjegava tako da se kod brze retransmisije parametri postave na:

$SSTHRESH = CWND / 2$ Time se uzimaju u obzir paketi koji su izašli iz mreže (tri
 $CWND = SSTHRESH + 3$ duplicirane potvrde). Primitkom potvrde novih podataka
 ulazi se u fazu izbjegavanja zagušenja s polovičnim
 prozorom: $CWND = SSTHRESH$

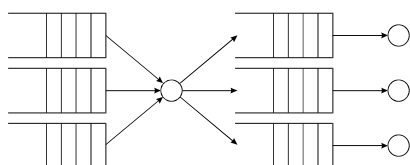
Algoritam djelomičnih potvrda (Partial Acknowledgement) se koristi da bi se ubrzao izlazak iz faze brzog oporavka za slučaj višestrukog gubitka segmenta. Ukoliko prijemnik potvrdi samo dio podataka, predajnik može zaključiti da se radi o višestrukom gubitku segmenta. Takva potvrda se zove djelomična potvrda. Ona istovremeno znači da je određeni broj segmenata izašao iz mreže te da je još neki od ranije poslanih segmenata izgubljen. Taj segment je moguće odmah poslati.

29. SUSTAVI S POSLUŽIVANJEM

29.1. Modeli sustava s posluživanjem

- opća struktura sustava s jednim ili više poslužitelja
- model usmjernika kao sustava s posluživanjem
- vrijeme kašnjenja paketa
- razdioba duljine paketa na Internetu

Paket na putu kroz mrežu prolazi kroz više čvorišta. Najčešće mora čekati dok ne budu poslani paketi prije njega. Dok čeka, paket treba zapamtiti. Paketi koji čekaju na predaju (posluživanje) pamte se u spremniku. Spremnik se formira ispred predajnika (poslužitelja), s kojim čini sustav s posluživanjem **s jednim redom čekanja i jednim poslužiteljem**. Isti princip se koristi i kod **više redova čekanja i više poslužitelja**.

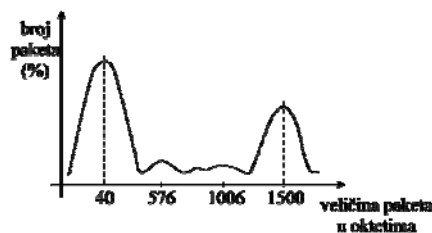


Model usmjernika kao sustav s posluživanjem:

- paketi stižu na ulazne redove čekanja
- sustav prosipanja jedan od poslužitelja šalje pakete sa dolaznih kanala na odlazne kanale.

Vrijeme kašnjenja paketa se sastoji od vremena čekanja u izlaznom redu, vremena predaje na medij i vremena prostiranja **$T_d = T_q + T_s + T_p$** .

Razdioba duljine paketa na Internetu: Vrijeme posluživanja ovisi o duljini paketa, a vrijeme čekanja ovisi o duljini paketa u redu.



29.2. Stohastički procesi

- opis procesa dolazaka zahtjeva
- opis procesa posluživanja
- Kendallova notacija
- najčešće korišteni stohastički modeli

Proces dolazaka ovisi o: populaciji generatora zahtjeva(paketa), intenzitetu pojedinog generatora, statističkoj zavisnosti uzastopnih paketa. Iskazuje se kroz statistička svojstva vremenskog **perioda između dva zahtjeva**. Mjeri se kao srednji intenzitet dolazaka λ paketa/s. **Proces posluživanja** ovisi o : statističkim svojstvima duljine paketa, brzini kanala. Iskazuje se kroz srednje vrijeme posluživanja. To je **srednje vrijeme predaje paketa na kanal**. Mjeri se kao srednji intenzitet posluživanja μ paketa/s.

Kendallova notacija standardizira zapisivanje sustava s posluživanjem. Specificira 6 parametara: **Z** – disciplina, **N** - broj izvorišta, **K** - kapacitet spremnika, **C** - broj poslužitelja, **A** - statistički izražena raspodjela vremena između 2 dolaska zahtjeva, **B** - statistički izražena raspodjela vremena između 2 posluživanja.

Najčešće korišteni stohastički modeli su M/M/1, M/M/1/N.

29.3. Ostali sustavi s posluživanjem

- M/G/1
- Pollachek-Khintchine formula
- veza M/G/1 prema M/M/1 i M/D/1 (ATM)

Ako sustav M/M/1 ne modelira dovoljno dobro izlazni proces koristi se **M/G/1** proces posluživanja koji je modeliran normalnom razdiobom. Opisan je srednjom vrijednosti μ , i varijancom σ .

Pollaczek-Khintchine formula je na razne sustave promjenom varijance σ .

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} E(n) = \frac{1}{2\mu(1-\rho)} \left[2 - \rho(1 - \mu^2 \sigma^2) \right]$$

Primjenjiva **Veza M/G/1 prema M/M/1 i M/D/1**:

- za $\sigma=1/\mu$ dobijemo M/M/1
- za $\sigma=0$ dobijemo M/D/1 (za ATM sustave)

$$E(n) = \frac{\rho}{1-\rho} \left[1 + \frac{1}{2}\rho \right]$$

30. M/M/1 sustav s posluživanjem

30.1. Poissonov proces

- Korištenje i svojstva Poissonovog procesa
- vjerojatnost događaja Poissonovog procesa
- razdioba vremena međudolazaka
- funkcije gustoće i kumulativne vjerojatnosti

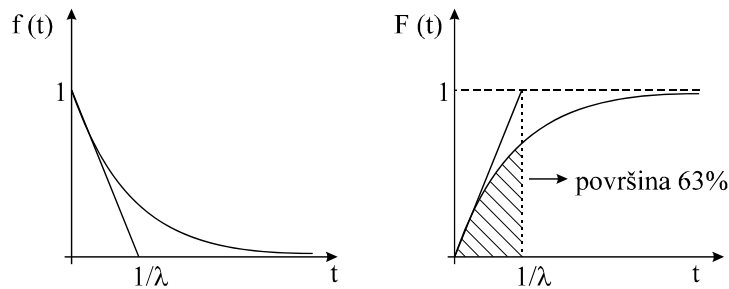
Poissonov proces koristimo radi jednostavnosti. To su procesi kod kojih događaje (pakete) generira beskonačna populacija predajnika, i ti događaji su potpuno nezavisni.

Vjerojatnost događaja Poissonovog procesa:

$$p_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda \cdot t}$$

Nas interesira razdioba gustoće vjerojatnosti vremena između dva dolaska paketa. To je vjerojatnost da u promatranom periodu neće stići niti jedan zahtjev:

Razdioba vremena međudolazaka: (možda su ovo funkcije gustoće i kumulativne vjerojatn?)

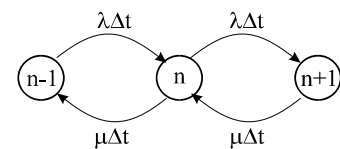


30.2. Markovljevi procesi - lanci

- svojstva eksponencijalne razdiobe
- sustavi rađanja i umiranja i Markovljevi lanci
- izvod vjerojatnosti $p(n)$ i očekivanja $E(n)$

Svojstva eksponencijalne razdiobe: ako uzmemo dovoljno mali period, tada vjerojatnost jednog dolaska prelazi u $\lambda \Delta t$, a vjerojatnost posluživanja prelazi u $\mu \Delta t$, dok je vjerojatnost višestrukih dolazaka/posluživanja zanemariva.

Procesi dolazaka i posluživanja prelaze u **proces** **rađanja i umiranja** i nazivaju se Markovljevi procesi. Sustav iz stanja n može prijeći samo u stanje $n-1$ ili u $n+1$. Dakle, moguć prijelaz samo u susjedno stanje:



Vjerojatnost da u spremniku imamo n paketa: $p_n = (1-\rho) \cdot \rho^n$; gdje je $\rho = \lambda/\mu$ faktor opterećenja sustava, λ je intezitet dolazaka paketa, a μ je intezitet posluživanja paketa.

Prosječna duljina čekanja kao očekivanje od n je $E(n) = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot p_n = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot (1-\rho) \cdot \rho^n$

za $\rho < 1$ vrijedi: $E(n) = \frac{\rho}{1-\rho}$

30.3. Svojstva M/M/1 sustava

- izračun očekivanja $E(t)$
- Littleova formula
- utjecaj konačnosti spremnika i vjerojatnost gubitka
- primjena M/M/1 sustava

Prosječno vrijeme čekanja se može izračunati iz Littleove formule: $E(T) = \frac{1}{\mu - \lambda}$
 $\lambda \rightarrow$ intezitet dolazaka paketa; $\mu \rightarrow$ intezitet posluživanja paketa.

Littleovu formula: $E(n) = \lambda \cdot E(T)$

$E(n) \rightarrow$ očekivana duljina reda čekanja. Ona u sustavima za posluživanje daje vezu između *dužine reda čekanja* i *dužine čekanja*, preko inteziteta prometa. Iz dvije izmjerene veličine možemo izračunati treću. Važnost formule je da vrijedi za sve razdiobe.

U realnim sustavima spremnik je ograničenog kapaciteta, te je vjerojatnost da u spremniku imamo određen broj poruka iznad predviđenog kapaciteta = 0. Takav sustav se naziva sustav s **gubicima**, jer se zahtjevi koji su došli, a nisu imali mjesta u spremniku, smatraju izgubljenima.

M/M/1 **služi** za procjenu rada mreže. Zbog visoke varijance približan je najgorem slučaju.