

# Računarske mreže i mrežne tehnologije

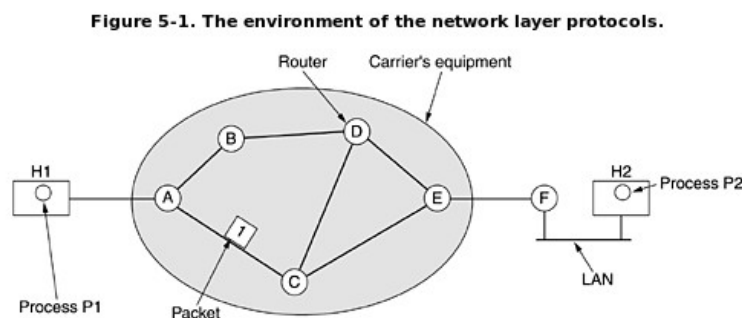
## 8. termin - prvi deo

### 1. Mrežni sloj

- **Zadatak mrežnog sloja je da pakete od izvorišta do odredišta sprovede cellim putem**, što znači da treba da ih provuče kroz sve usputne **rutere** (usmerivače). Taj zadatak je jasno izdvojen od zadatka sloja veze podataka koji samo treba da prebaci okvir s jednog kraja veze na drugi.
- Da bi efikasno ostvario zadatak, mrežni sloj mora da poznaje topologiju komunikacione podmreže, tj. skupa rutera (usmerivača).

### 2. Komutiranje tehnikom “čuvaj i prosledi”

- Glavne komponente sistema čini (1) **oprema kompanije za prenošenje podataka** (ruteri povezani prenosnim linijama) i (2) **korisnička oprema** izvan tog domena.
- Na primer, računar **H1** direktno je vezan za jedan od rutera, dok se računar **H2** nalazi na nekoj lokalnoj mreži koja je preko rutera **F** vezana iznajmljenom linijom.



- Oprema se koristi na sledeći način. Računar koji ima paket za slanje upućuje ga najbližem ruteru na sopstvenoj lokalnoj mreži ili preko linije (point-to-point) ruteru kompanije prenosioca podataka (*carrier*). Paket se tamo čuva dok ne stigne u potpunosti da bi mogao da mu se proveri kontrolni zbir. Nakon toga, paket se šalje sledećem ruteru na isti način.

### 3. Usluge koje se obezbeđuju transportnom sloju

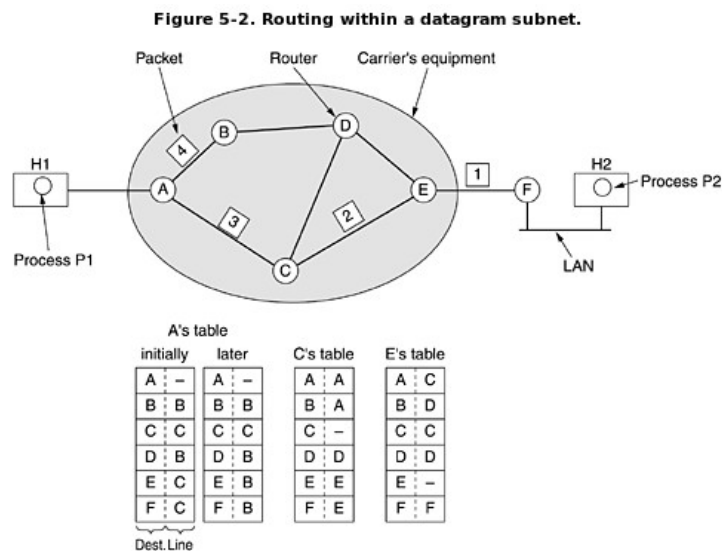
- Mrežni sloj obezbeđuje usluge transportnom sloju na interfejsu između njih. Usluge mrežnog sloja su projektovane imajući na umu sledeće:
  - Usluge treba da budu nezavisne od tehnologije rutera
  - Transportni sloj ne sme da zna ništa o broju, vrstama i topologiji rutera
  - Mrežne adrese moraju da budu uniformno označene i u lokalnim mrežama
- Aktuelna su dva načina pristupa uslugama mrežnog sloja: (1) **bez uspostavljanja direktne**

veze i (2) sa uspostavljanjem direktne veze.

- **Jedan tabor (zajednica korisnika Interneta)** tvrdi da ruteri treba samo da usmeravaju pakete i ništa više. Kažu da je pod mreža po prirodi nepouzdana, a kontrolu redosleda pristizanja paketa i kontrolu toka ionako rade sami računari, tako da nema potrebe da se ruteri time bave.
- **Drugi tabor (telefonske kompanije)** tvrdi da pod mreža treba da obezbedi pouzdanu uslugu sa uspostavljanjem direktne veze, što ima smisla ako je glavnicu saobraćaja govor ili video materijal.

#### 4. Realizacija usluge bez uspostavljanja direktne veze

- Ako se nudi usluga bez uspostavljanja direktne veze, **paketi se u pod mrežu upućuju nezavisno jedan od drugog**. Ova usluga se često naziva i **uslugom datagrama** (po analogiji sa telegramom).
- Na slici je dat primer usmeravanja na datagramskoj pod mreži. Prenosi se dugačka poruka koja se deli na 4 paketa sa oznakama 1,2,3 i 4.

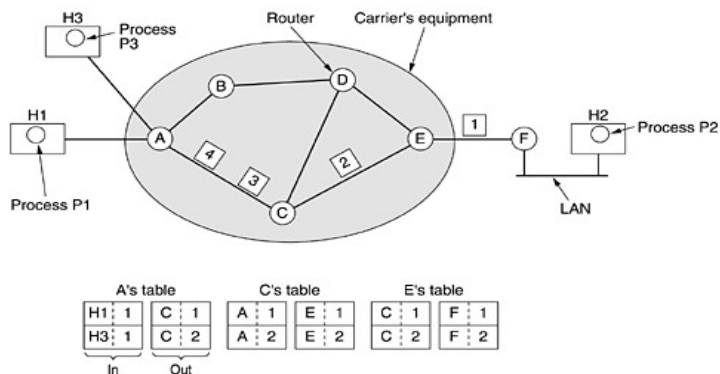


- Paket broj 4 iz nekog razloga (možda prekid linije ACE) prati drugu putanju, jer ga ruter A usmerava prema ažuriranoj tabeli.
- Algoritam koji radi sa tabelama i donosi odluke o usmeravanju naziva se **algoritam za rutiranje**.

#### 4. Realizacija usluge sa uspostavljanjem direktne veze

- Za uslugu sa uspostavljanjem direktne veze potrebna su tzv. **virtuelna kola (Virtual Circuit - VC)**.
- Virtuelna kola su stvorena da se ne bi za svaki paket izmišljala nova putanja. Umesto toga, kada se veza uspostavi, **putanja između izvorišta i odredišta se upisuje u tabele rutera**.
- Kao i u sistemu telefonije, sav saobraćaj se odigrava preko tog virtuelnog kola, dok svaki paket nosi identifikator virtuelnog kola kojem pripada.

Figure 5-3. Routing within a virtual-circuit subnet.



- Obratiti pažnju na donji red tabela, gde proces P3 pokušava da isporuči paket kome je on dodelio identifikator virtuelnog kola 1 (jer nije deo podmreže). Ruter A mu automatski menja identifikator u 2, na taj način izbegavajući sukob.

## 5. Poređenje podmreža sa virtuelnim kolima i datagramskih podmreža

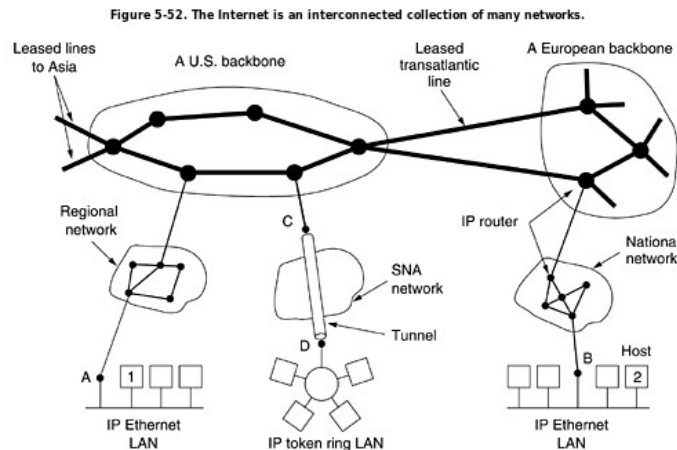
Figure 5-4. Comparison of datagram and virtual-circuit subnets.

Issue	Datagram subnet	Virtual-circuit subnet
Circuit setup	Not needed	Required
Addressing	Each packet contains the full source and destination address	Each packet contains a short VC number
State information	Routers do not hold state information about connections	Each VC requires router table space per connection
Routing	Each packet is routed independently	Route chosen when VC is set up; all packets follow it
Effect of router failures	None, except for packets lost during the crash	All VCs that passed through the failed router are terminated
Quality of service	Difficult	Easy if enough resources can be allocated in advance for each VC
Congestion control	Difficult	Easy if enough resources can be allocated in advance for each VC

## 8. termin - drugi deo

### 1. Mežni sloj na Internetu

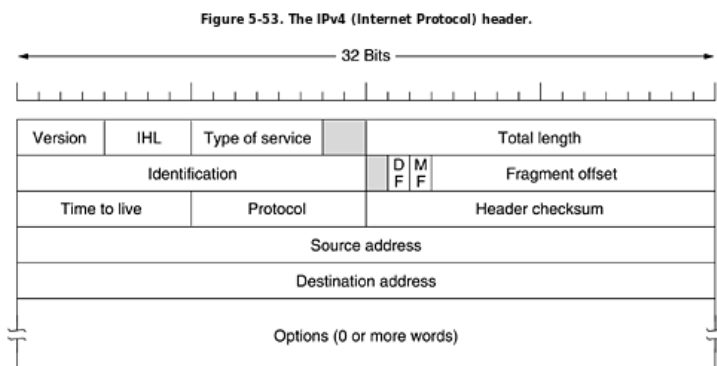
- Čitav Internet na okupu drži protokol mrežnog sloja, tzv. **protokol IP** (*Internet Protocol*). Za razliku od nekih starijih protokola, IP je od početka projektovan za međumrežni rad.
- Dakle, zadatak IP protokola je da na najbolji način (naravno, ne garantovano) **obezbedi prenos datagrama od izvorišta do odredišta, bez obzira da li se računari nalaze na istoj mreži** ili se i druge mreže nalaze između njih.



- Komunicira se tako što transportni sloj preuzima tokove podataka i deli ih u datagrame veličine do 64KB. Svaki datagram se prenosi Internetom i usput možda deli na manje fragmente. Kada svi delovi datagrama konačno stignu na odredište, mrežni sloj od njih sklapa originalni datagram.
- Na slici paket od računara 1 do računara 2 prolazi kroz 6 mreža, a taj broj je u praksi i veći.

## 2. Protokol IP

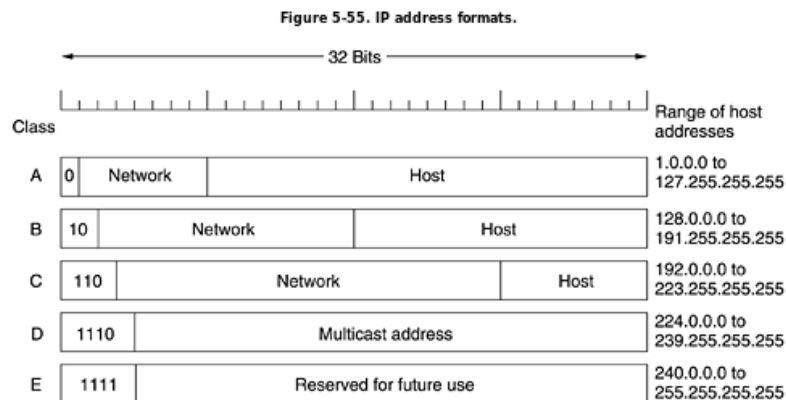
- IP datagram sadrži zaglavlje i deo sa podacima. Zaglavlje ima fiksni deo od 20 bajtova i opcioni deo promenljive dužine. Format zaglavlja prikazan je na slici, a prenosi se “big-endian” redosledom.



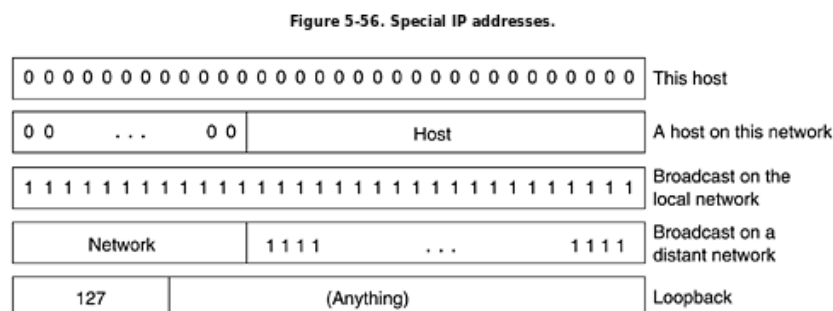
- U polju **Version** nalazi se verzija protokla kojem pripada datagram. Trenutno aktuelne su verzije 4 i 6 (IPv4 i IPv6).
- Pošto dužina zaglavlja nije fiksna, postoji polje **IHL (Internet Header Length)** u kome se beleži dužina zaglavlja u 32-bitnim rečima.
- **Type of service** je 6-bitno polje koje služi za određivanje kvaliteta usluge.
- U polju **Total Length** čuva se ukupna dužina datagrama, tj. zaglavlje+podaci. Maksimalna dužina je 65535 bajtova (jer je polje dužine 16 bita), ali u praksi ne prelazi 1500 bajtova što je maksimalna dužina Ethernet okvira.
- Polje **Identification** određuje kom datagramu odgovara pristigli fragment, dok je bit **DF (Don't Fragment)** uključen ako datagram ne sme da se fragmentira, a **MF (More Fragments)** označava da još fragmenata treba da usledi. **Fragment offset** definiše redni broj fragmenta.
- **Time to live** polje ograničava trajanje paketa na mreži (početno 255). Brojač smanjuje vrednost pri svakom skoku, kao i pri zadržavanju u redu. Postojanje ovog polja sprečava pojavu zalutalih paketa koji “večno” kruže mrežom.
- Najčešće vrednosti polja **Protocol** su TCP ili UDP indentifikatori.
- **Header checksum** ima istu funkciju kao u sloju veze - proveru ispravnosti zaglavlja.
- Polje **Opcije** prihvata informacije koje nose novije verzije protokola. Ovaj prostor omogućava da se isprobaju nove ideje i ugrade opcije koje se retko koriste.
- Poseban odeljak posvećen je IP adresama.

### 3. IP adrese

- Svaki računar i svaki ruter na Internetu imaju svoju **jedinstvenu IP adresu** koja obuhvata broj njihove mreže i broj računara. Dužina adresa je 32 bita (4 bajta) i uklapa se u polja *Source Address* i *Destination Address* IP zaglavlja.
- Treba naglasiti da se **IP adresa u stvari odnosi na mrežni interfejs**, a ne na računar! Dakle, računar sa dva NIC-a (*Network Interface Controller*) ima dve IP adrese.
- Već više decenija se IP adrese grupišu u 5 kategorija prikazanih na slici.



- Formati klasa A, B, i C omogućavaju:
  - **A**: 128 mreža sa po 16 miliona računara
  - **B**: 16384 mreže sa po 64K računara
  - **C**: 2 miliona mreža (npr. lokalnih) sa po 256 računara (neke od njih su specijalne).
- Podržano je i višesmerno emitovanje (*multicast*). Adrese koje počinju sa 1111 rezervisane su za buduću upotrebu.
- Na Internet je danas povezano preko  $5 \cdot 10^5$  mreža i taj broj raste. Brojeve mreža dodeljuje organizacija **ICANN** (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*).
- Mrežne adrese obično se pišu **decimalnom notacijom s tačkom**, npr. 147.91.204.77. Brojevi idu od 0 do 255.
- Vrednosti 0 i -1 (sve jedinice) imaju specijalno značenje, što se vidi sa slike.

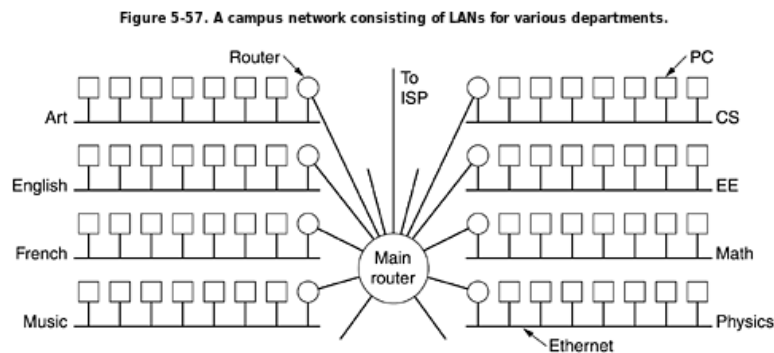


- Adresu 0.0.0.0 koriste računari u fazi uključivanja. IP adresa sa brojem mreže 0 označava tekuću mrežu. Adresa koja se sastoji od samih jedinica omogućava difuzno slanje paketa svim hostovima na sopstvenoj mreži, dok četvrta varijanta u tabeli šalje paket svim hostovima na udaljenoj mreži. Konačno, 127.xx.yy.zz rezervisane su za testiranje povratnom

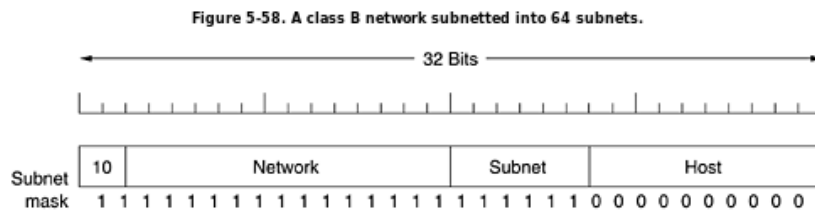
petljom (localhost ili 127.0.0.1).

## 4. Podmreže

- Kao što je već objašnjeno, svi računari na istoj mreži moraju imati isti mrežni broj. To pravilo adresiranja može stvoriti probleme prilikom rasta mreža.
- Primera radi, svi univerziteti u Srbiji su deo jedne velike mreže klase B (147.91.\*.\*), što se lako vidi iz binarnog zapisa  $147_{10} = 10010011_2$ . Međutim, to nije jedinstvena Ethernet mreža, već skup većeg broja manjih mreža.
- Tipična mreža na jednom univerzitetu izgleda kao na slici. Svaka lokalna mreža je sa glavnim ruterom povezana preko svog lokalnog rutera.



- U literaturi se delovi velike mreže (u ovom slučaju to su pojedinačne Ethernet mreže) nazivaju **podmrežama** (*subnets*).
- Kada IP paket stigne do glavnog rutera (*Main router* na slici), kako on da zna gde da ga pošalje? Jedan od načina bi bio da glavni ruter sadži 65536 odrednica za svaki računar/ruter na mreži klase B. Međutim, tu ogromnu tabelu bi bilo dosta nezahvalno održavati. Primera radi, to bi bilo kao kada bi za svaki novi računar na PMF-u u Kragujevcu morao da se kontaktira administrator glavnog rutera na Univerzitetu u Beogradu.
- U praksi se radi drugačije. Umesto da se zadrži jedinstvena adresa klase B sa 14 bitova za mrežu i 16 za računar, od računarskih bitova se deo uzima za označavanje podmreže. Na primer, uzme se 6 bitova za podmrežu, a ostane 10 bitova za računar, kao na slici.



- U primeru sa slike moguće su  $2^6=64$  podmreže sa po  $2^{10}-2=1022$  računara (0 i -1 su rezervisani).
- **Maska podmreže** (*subnet mask*) naznačava podelu bitova između mreže+podmreže i računara. Za primer na slici, maska se može pisati kao 255.255.252.0 ili alternativno /22, što znači da je maska podmreže dugačka 22 bita.
- Podela na podmreže nije vidljiva izvan glavne mreže, pa ne treba tražiti dozvolu od ICANN.
- U gornjem primeru, prva podmreža bi mogla koristiti IP adrese počev od 147.91.4.1, druga bi

počela od 147.91.8.1, treća od 147.91.12.1 itd. Zašto je to tako može se videti iz binarnog zapisa:

```
Subnet 1: 10000010 00110010 000001|00 00000001
Subnet 2: 10000010 00110010 000010|00 00000001
Subnet 3: 10000010 00110010 000011|00 00000001
```

- Vertikalna crta odvaja broj mreže od broja računara.
- Rezultat podele u podmreže je mnogo fleksibilnije adresiranje, jer sada **glavni ruter treba samo da sadrži tabelu podmreža, ali ne i računara unutar njih.**



## 5. CIDR - Besklasno međudomensko usmeravanje

- **IP protokol verzije 4** se koristi već decenijama, međutim, u poslednje vreme se javlja problem nedostatka adresa. Opšte rešenje ovog problema je prelazak na **IPv6** protokol koji koristi 128-bitne adrese.
- Međutim, šta je glavni uzrok problema? **Neefikasno korišćenje postojećeg adresnog prostora čiji je glavni krivac organizacija u klase.**
- Najveći rasipnik je, konkretno, klasa B jer je za većinu firmi C klasa (256 adresa) premala, dok je 65536 adresa klase B dovoljno i za buduća proširenja. U stvarnosti, klasa B je prevelika za većinu organizacija. Ispitivanja su pokazala da čak polovina mreža klase B ima manje od 50 računara!
- Rešenje koje je realizovano i koje je omogućilo da se bar neko vreme predahne je **besklasno međudomensko usmeravanje (CIDR-Classless InterDomain Routing)**. Osnovna zamisao je da se preostali nedodeljeni prostor podeli u blokove različite veličine, ne vodeći računa o klasama.
- Tehničko izvedba radi na sledeći način. **Svaka odrednica rutinje se proširuje 32-bitnom maskom** koja se koristi za bliže određivanje rutiranja.
- Posmatrajmo primer u kome su raspoložive desetine hiljada adresa počev od 194.24.0.0. Taj prostor je podeljen između univerziteta Kembridž, Edinburg i Oksford na sledeći način:

Figure 5-59. A set of IP address assignments.

University	First address	Last address	How many	Written as
Cambridge	194.24.0.0	194.24.7.255	2048	194.24.0.0/21
Edinburgh	194.24.8.0	194.24.11.255	1024	194.24.8.0/22
(Available)	194.24.12.0	194.24.15.255	1024	194.24.12.0/22
Oxford	194.24.16.0	194.24.31.255	4096	194.24.16.0/20

- Rutinje tabele širom sveta su sada ažurirane novim odrednicama, koje u binarnom obliku izgledaju ovako:

Address	Mask
C: 11000010 00011000 00000000 00000000	11111111 11111111 11111000 00000000
E: 11000010 00011000 00001000 00000000	11111111 11111111 11111100 00000000
O: 11000010 00011000 00010000 00000000	11111111 11111111 11110000 00000000

Šta se događa kada stigne paket sa odredišnom adresom 194.24.17.4 koja u binarnom zapisu izgleda kao:

11000010 00011000 00010001 00000100

Taj niz se najpre AND-uje sa maskom Kembridža, pri čemu se dobija:

11000010 00011000 00010000 00000000

Ta vrednost se ne poklapa sa osnovnom adresom Kembridža, pa se proverava dalje. AND-ovanjem sa Edinburškom maskom se ne dobija osnovna adresa Edinburga, ali se sprovođenjem istog postupka dobija osnovna adresa Oksforda, pa ako se u tabeli ne nađe još neka odrednica koja odgovara, **paket šalje na Oksford.**

- Kada npr. softver rutera na Univerzitetu u Kragujevcu (koji ima dve izlazne linije ka Univerzitetu u Beogradu i Univerzitetu u Nišu) dobije tri nove odrednice (Kembridž,

Edinburg , Oksford) zapaža da sve tri može da kombinuje u jedinstvenu **grupnu odrednicu** (*aggregate entry*) 194.24.0.0/19, sa sledećom binarnom adresom i maskom pod mreže:

11000010 00011000 00000000 00000000 11111111 11111111 11100000 00000000

- Tada ruter zna da pakete namenjene bilo kom od ova tri univerziteta šalje npr. ruteru Univerziteta u Beogradu, a **tehnika grupnih odrednica uveliko smanjuje potreban prostor u ruting tabelama.**
- Na kraju treba pomenuti da grupna odrednica na Univerzitetu u Kragujevcu šalje u Beograd i pakete sa adresama označenim kao *Available* (nedodeljene) u prethodnoj tabeli. Međutim, ako se kasnije one nekom dodele (npr. Univerzitetu u Hanoveru), za njih se mora uneti dodatna odrednica u ruting tabelu: 194.24.12.0/22.