



Preddiplomski studij

Računarstvo

# Komunikacijske mreže

4.

Mrežni sloj

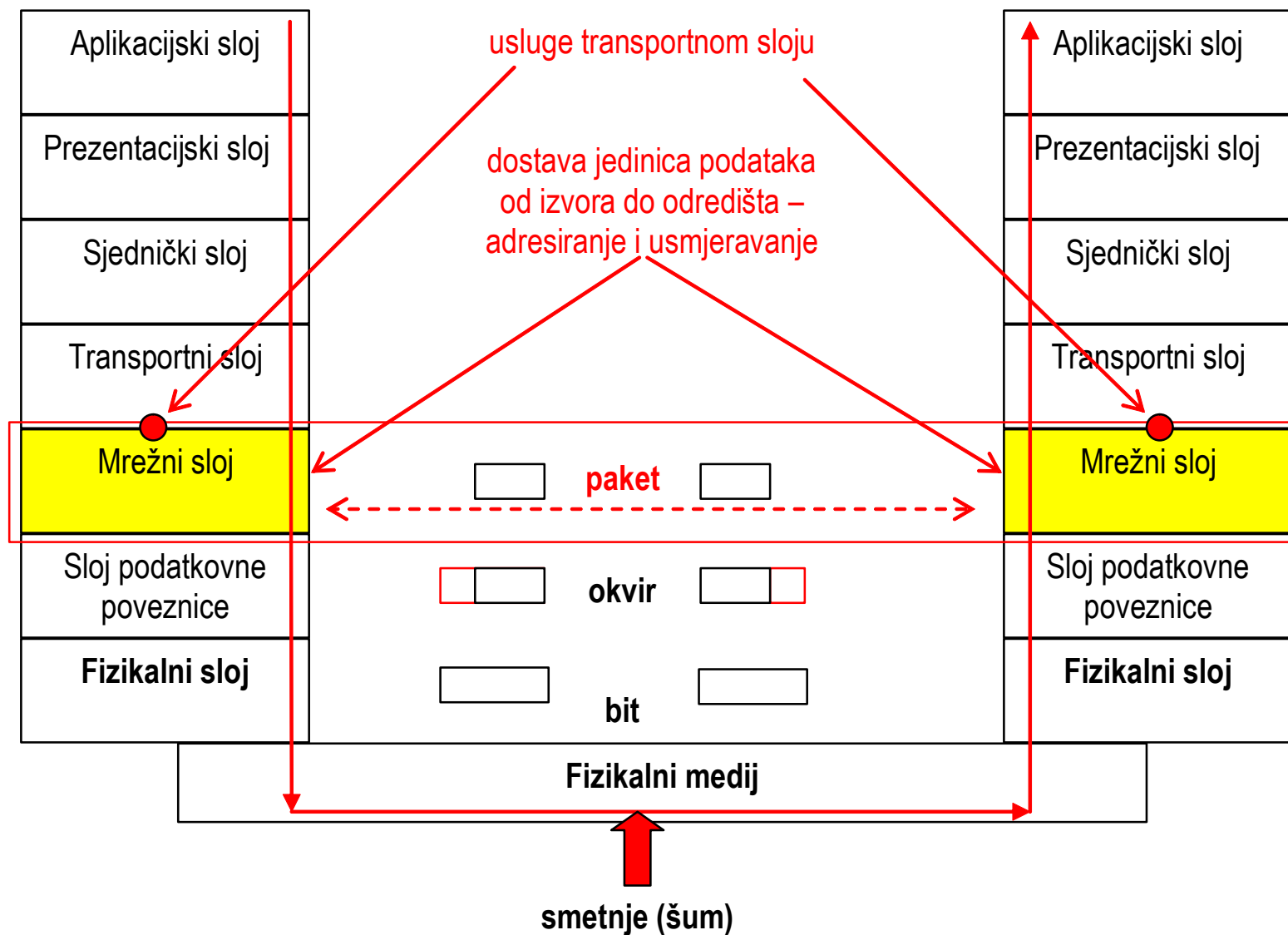
Ak.g. 2011./2012.

## Zadaća mrežnog sloja

- ◆ omogućiti komunikaciju između dva (krajnja, korisnička) čvora u mreži, izravno ili preko niza međučvorova
  - adresiranje
  - usmjeravanje jedinica podataka
  - kontrola zagušenja
  - kontrola pogrešaka
  - kontrola toka
  - međusobno povezivanje mreža i podmreža

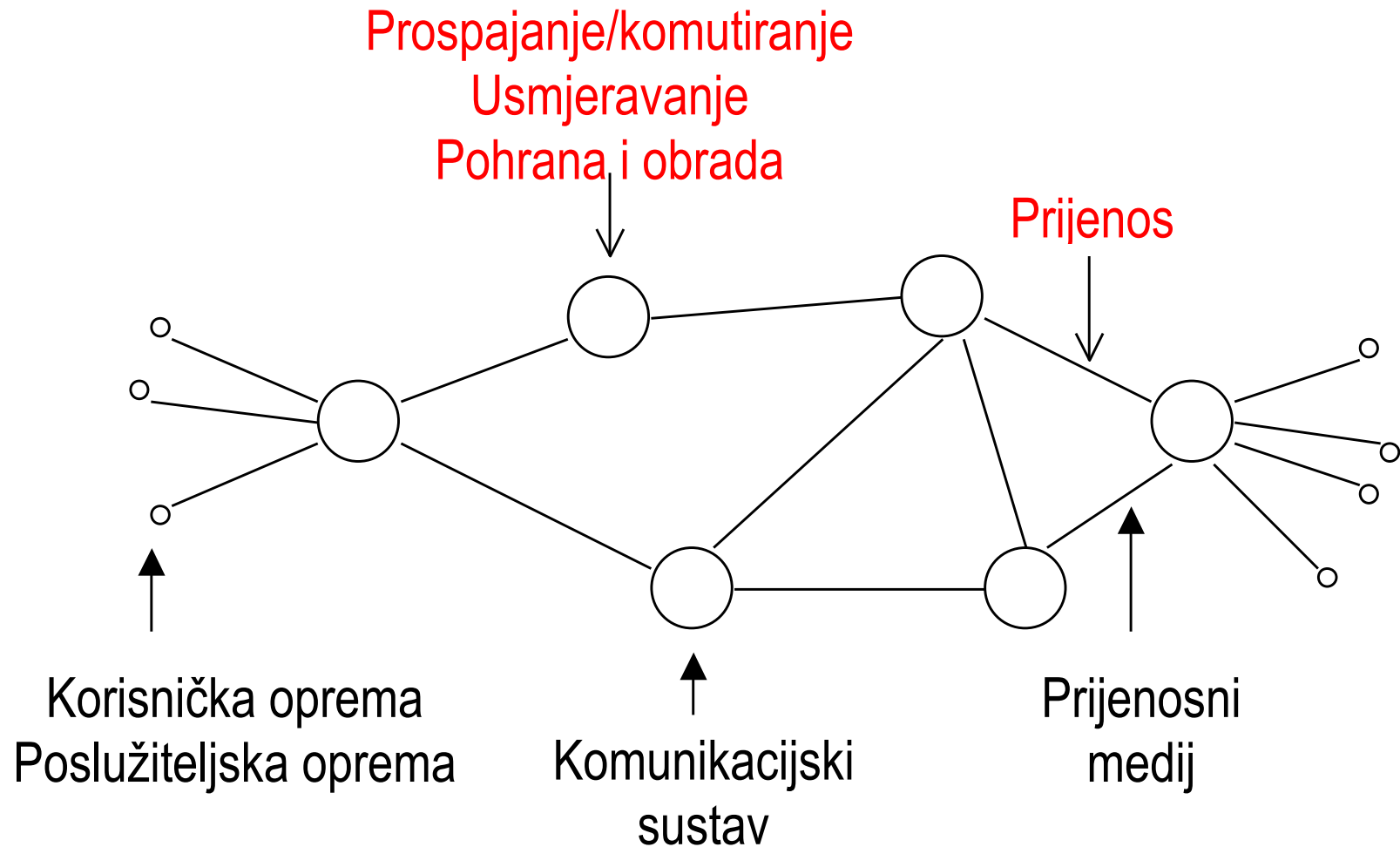
## Problemi:

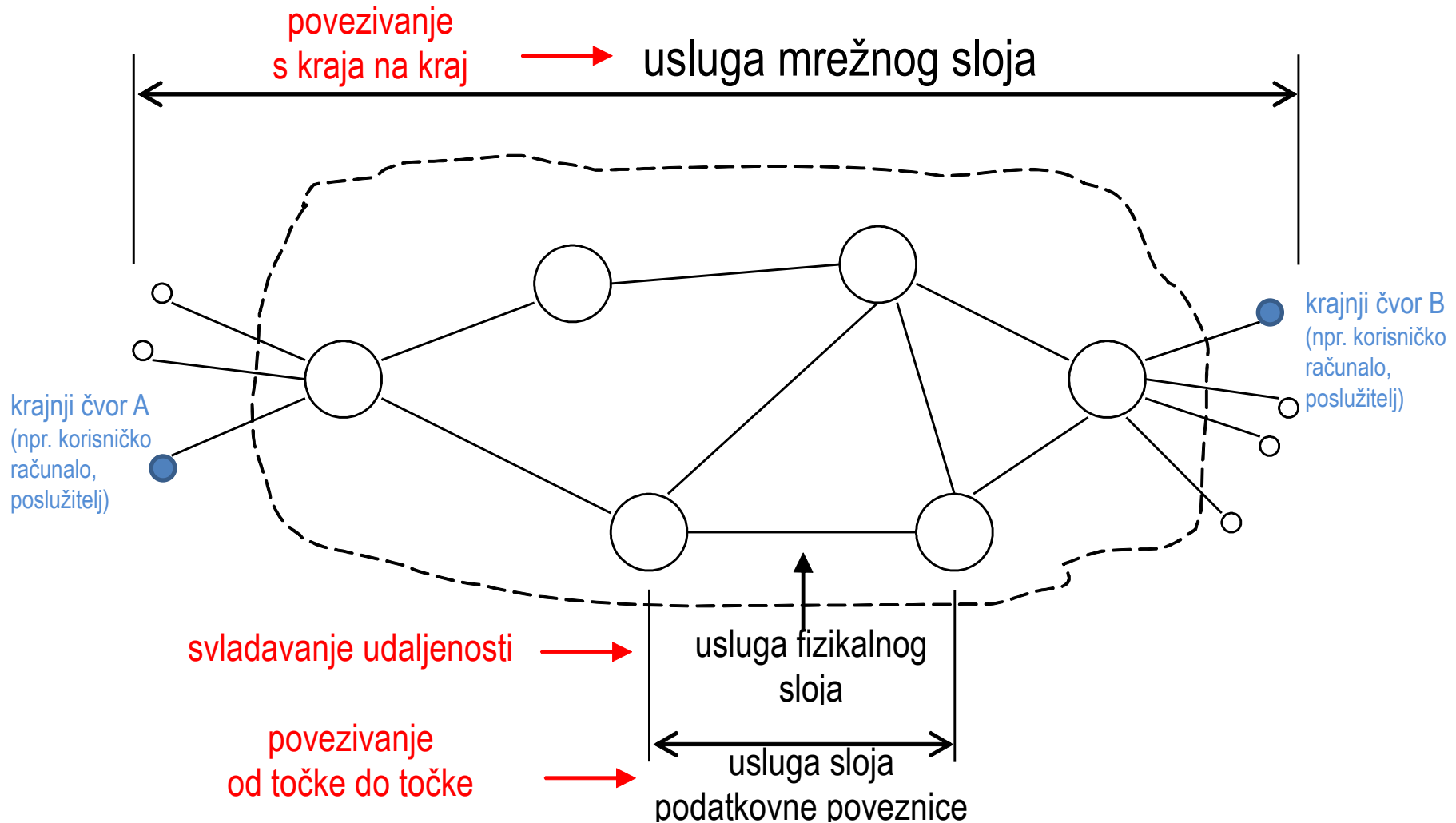
- ◆ znanje o topologiji, učinkovitost usmjeravanja, opterećenje poveznica, kontrola zagušenja, kvaliteta usluge ....



- ◆ Usluge mrežnog sloja (transportnom sloju)
  - ◆ Virtualni kanal i datagram, spojna usluga i nespojna usluga
- ◆ Komutacija paketa i usmjeravanje
- ◆ Načela upravljanja zagušenjem
- ◆ Međusobno povezivanje mreža i podmreža
  - ◆ Povezivanje podmreža, primjer – Internet

- ◆ osnovna zadaća mrežnog sloja: dostaviti pakete od izvorišnog krajnjeg čvora (npr. korisničkog računala) do odredišnog krajnjeg čvora, izravno ili preko niza međučvorova
  
- ◆ dvije vrste usluga:
  - spojna usluga
  - nespojna usluga ← mrežni sloj u Internetu
  
- ◆ izvedba usmjeravanja u (pod)mrežama s komutacijom paketa:
  - virtualni kanal
  - datagramski ← mrežni sloj u Internetu

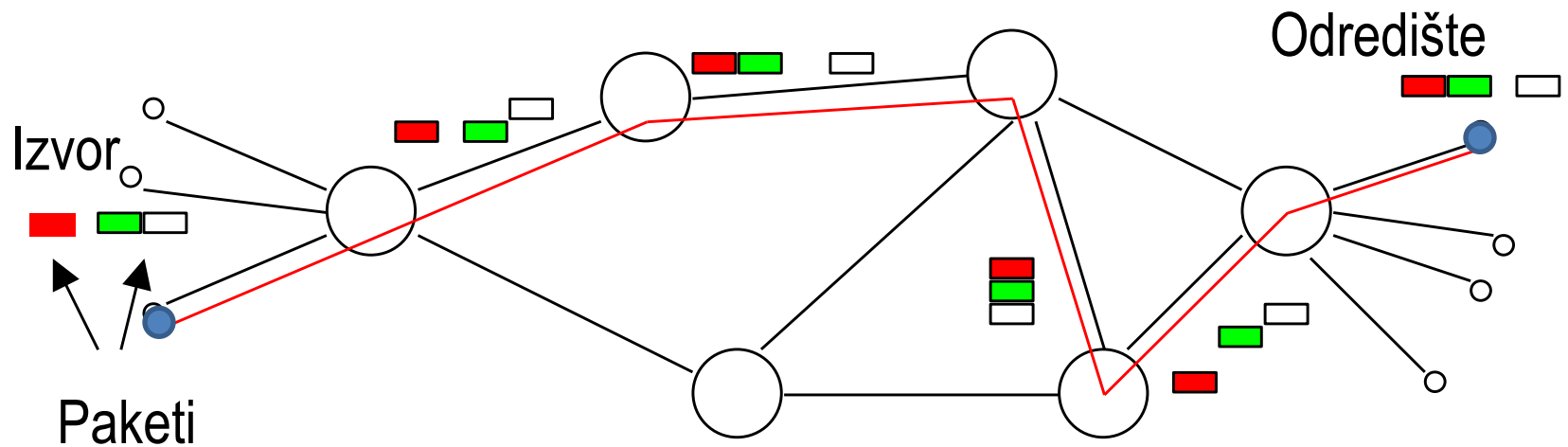




# Nespojna usluga izvedena virtualnim kanalom

Svi paketi usmjeravaju se istim putem - **virtualnim kanalom**.

Odluke o usmjeravanju donose se samo jednom, prilikom uspostavljanja novog virtualnog kanala.



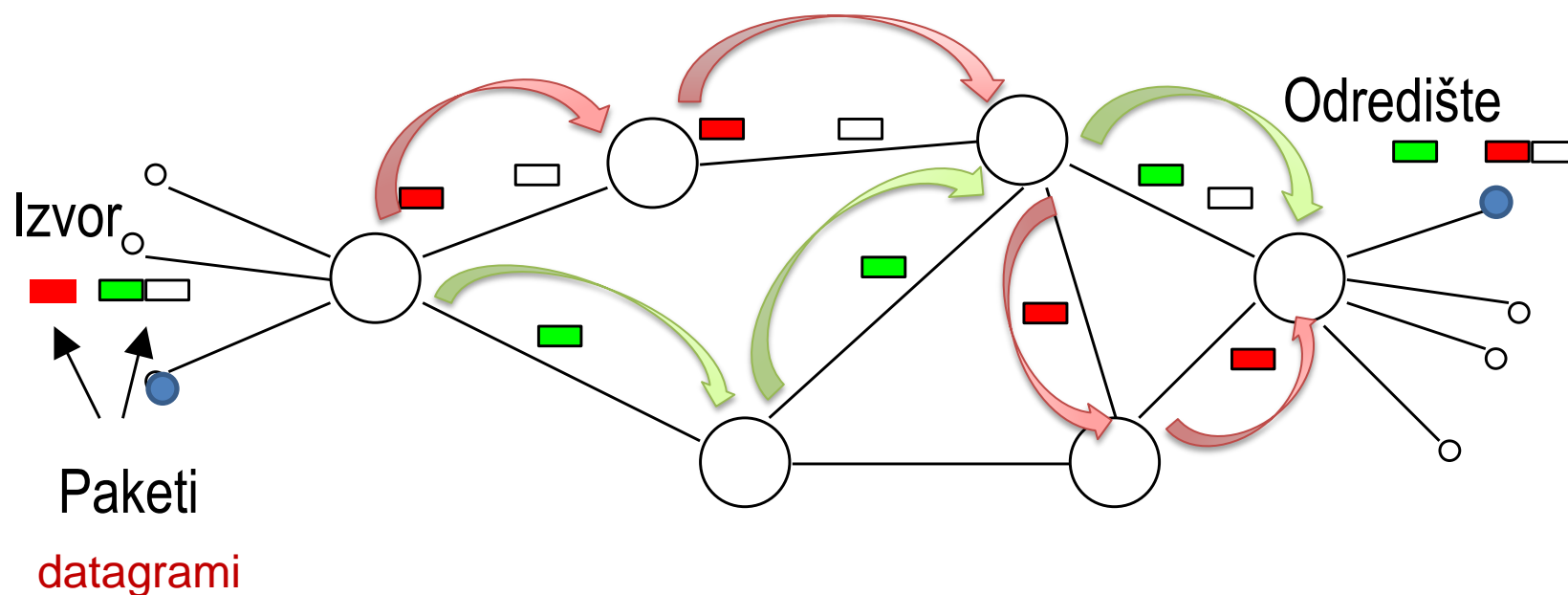


# Nespojna usluga izvedena datagramski (1/2)

Svaki datagram **usmjerava se zasebno** kroz mrežu

Svaki usmjeritelj odluku o usmjeravanju datagrama donosi neovisno.

Moguće je da uzastopni datagrami prolaze različitim putovima



**potrebni algoritmi usmjeravanja!**

- ◆ minimalni skup funkcija za dostavu datagrama s kraja na kraj mreže
- ◆ mogući problemi:
  - povremeni gubitak paketa zbog pogreške, smetnji ili kvarova na nekoj od poveznica na putu
  - povremeni gubitak paketa zbog zagušenja u nekom od mrežnih čvorova na putu
  - povremena dostava paketa s narušenim redoslijedom u slučaju kad se izbor puta kroz mrežu promijeni tijekom komunikacije
  - veće kašnjenje u slučaju retransmisije s kraja na kraj mreže
  - pošiljalatelj nema povratnu informaciju o ishodu
- ◆ rješavanje ovih problema prepušta se transportnom sloju!

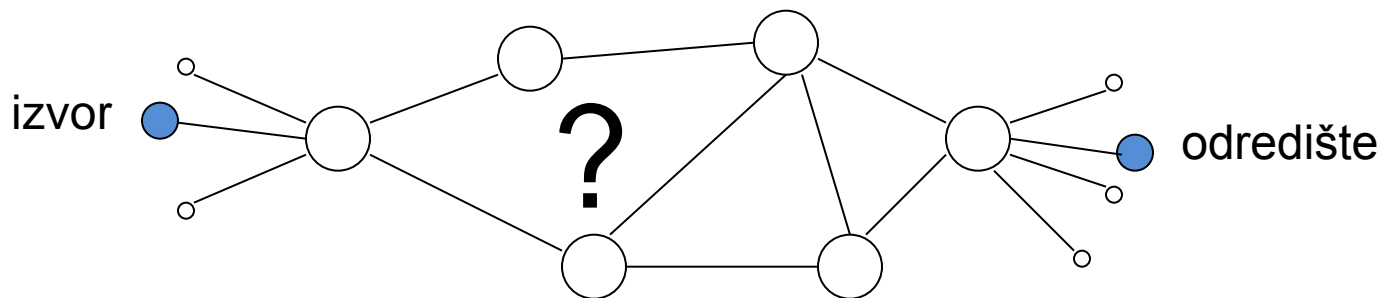
# Usporedba datagram – virtualni kanal



Značajka	Datagram	Virtualni kanal
Uspostava veze	Ne treba	Treba
Adresiranje	Svaki paket mora sadržavati potpunu adresnu informaciju (potpune mrežne adrese izvora i odredišta)	Svaki paket sadrži samo kratku oznaku virtualnog kanala
Informacija o stanju uspostavljenih veza	Usmjeritelji ne pohranjuju podatke o uspostavljenim vezama	Svakom virtualnom kanalu odgovara jedan unos u tablici usmjeravanja u usmjeritelju
Usmjeravanje	Svaki paket usmjerava se neovisno o drugima	Put se odabire prilikom uspostave veze, nakon toga svi paketi idu tim putem
Utjecaj kvara na usmjeritelju	Gubitak samo onih paketa koji su taj čas u obradi	Prekid svih uspostavljenih virtualnih kanala
Upravljanje zagušenjem Kvaliteta usluge	Složeno i teško izvedivo	Jednostavno, ako se potrebni resursi mogu unaprijed pridjeliti virtualnom kanalu

- ◆ Usluge mrežnog sloja (transportnom sloju)
  - ◆ Virtualni kanal i datagram, spojna usluga i nespojna usluga
- ◆ Komutacija paketa i usmjeravanje
- ◆ Načela upravljanja zagušenjem
- ◆ Međusobno povezivanje mreža i podmreža
  - ◆ Povezivanje podmreža, primjer – Internet

- **usmjeravanje** (engl. *routing*) – određivanje puta kroz mrežu kojim će proći paket na putu od izvora do odredišta
  - algoritmi kojima se računa taj put nazivaju se **algoritmima usmjeravanja** (engl. *routing algorithm*)
  - problem usmjeravanja se formulira pomoću grafa u kojem čvorovi predstavljaju usmjeritelje, a grane grafa veze među njima



- **prosljeđivanje** (engl. *forwarding*) – odluka unutar čvora: određivanje na koje odlazno sučelje proslijediti paket

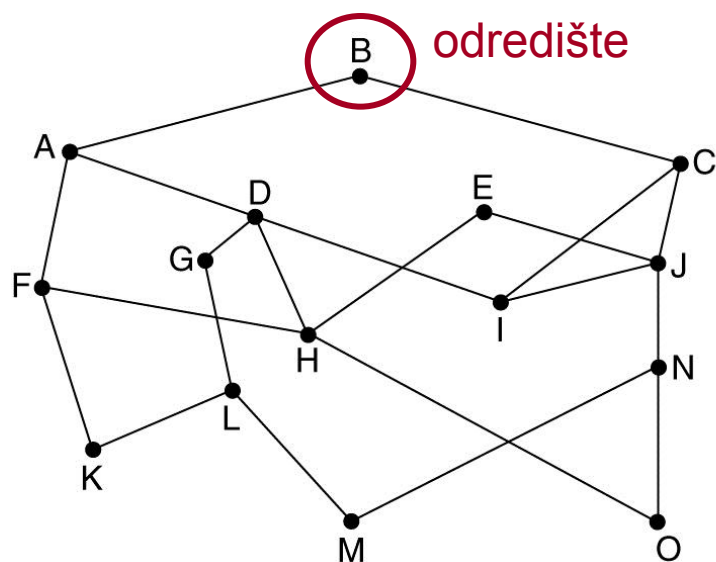
- ◆ Ako je usmjeritelj  $J$  na optimalnom putu od usmjeritelja  $I$  prema usmjeritelju  $K$ , onda je optimalni put od  $J$  do  $K$  dionica tog puta.
- ◆ jednostavni dokaz (kontradikcijom):
  - nazovimo dionicu puta od  $I$  do  $J$   $r_1$  i ostatak puta  $r_2$

$(I) \text{---} \dots r_1 \text{---} \dots (J) \text{---} \dots r_2 \text{---} \dots (K)$

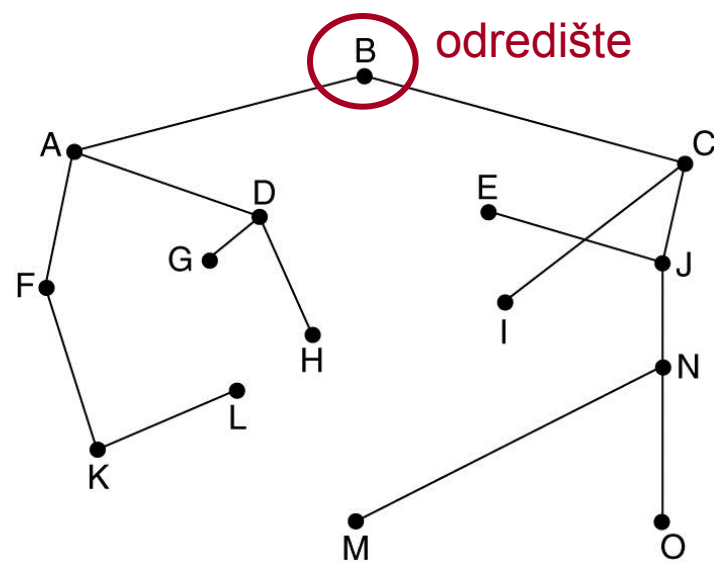
- ako bi postojao bolji put od  $r_2$  za dionicu od  $J$  do  $K$ , onda bi se taj put mogao nadovezati na  $r_1$  da bi poboljšao put od  $I$  do  $K$ , što je u kontradikciji s pretpostavkom da je  $J$  na optimalnom putu od  $I$  do  $K$

# Primjena načela optimalnosti na usmjeravanje

- ◆ za graf koji predstavlja mrežu i za zadano odredište, može se naći skup optimalnih puteva od svih izvora **prema zadanom odredištu**
- ◆ svi ti putevi čine stablo s korijenom u odredištu (engl. *sink tree*)
  - takvo stablo ne mora biti jedinstveno
  - cilj algoritama usmjeravanja: pronaći takvo stablo za sve usmjerenitelje i iskoristiti ga za usmjeravanje (u praksi nije lako!)



graf koji predstavlja mrežu



stablo optimalnih puteva prema čvoru B

## ◆ neadaptivni (statički) algoritmi

- unaprijed izračunati putevi na temelju nekog(ih) kriterija (npr. udaljenost, cijena, ...)
- putevi se postavljaju prilikom prvog pokretanja čvora i više se ne mijenjaju; ne uzimaju u obzir trenutno stanje

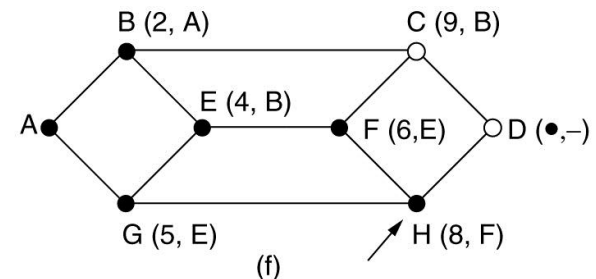
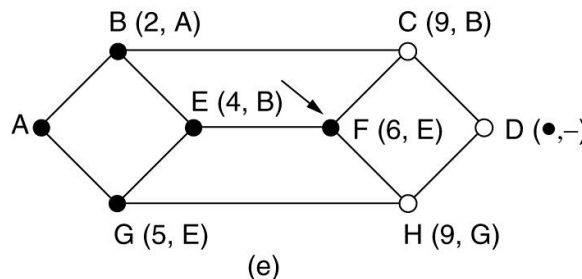
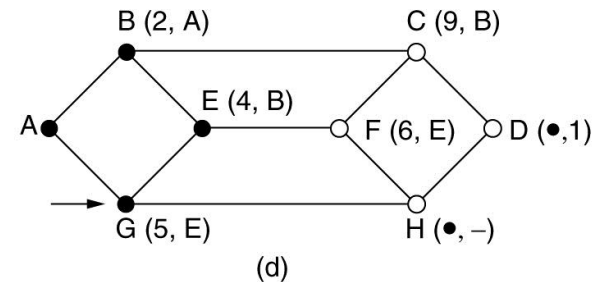
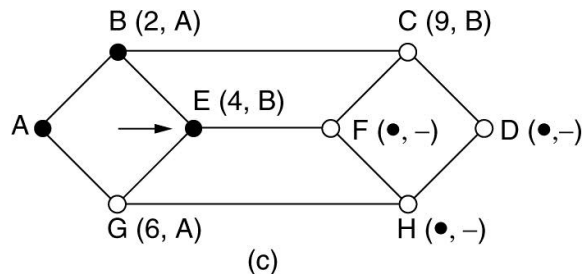
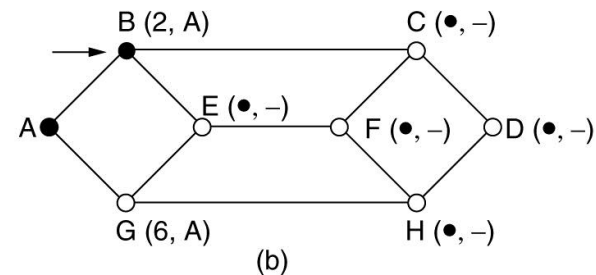
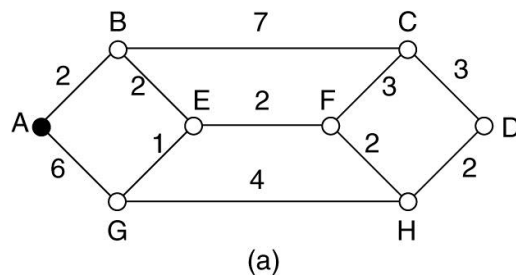
## ◆ adaptivni (dinamički) algoritmi

- donose odluke o usmjeravanju temelje na mjerenjima ili procjeni važećeg stanja u mreži (npr. aktualna topologija, opterećenje, ...)
- pitanja “skupljanja znanja” o stanju u mreži i prilagodbe:
  - što pratiti? (udaljenost, broj skokova, opterećenje, cijenu,...?)
  - koga pitati? (samo susjedne čvorove, sve čvorove, ...?)
  - kada reagirati? (periodički, na promjenu topologije-opterećenja, ...?)



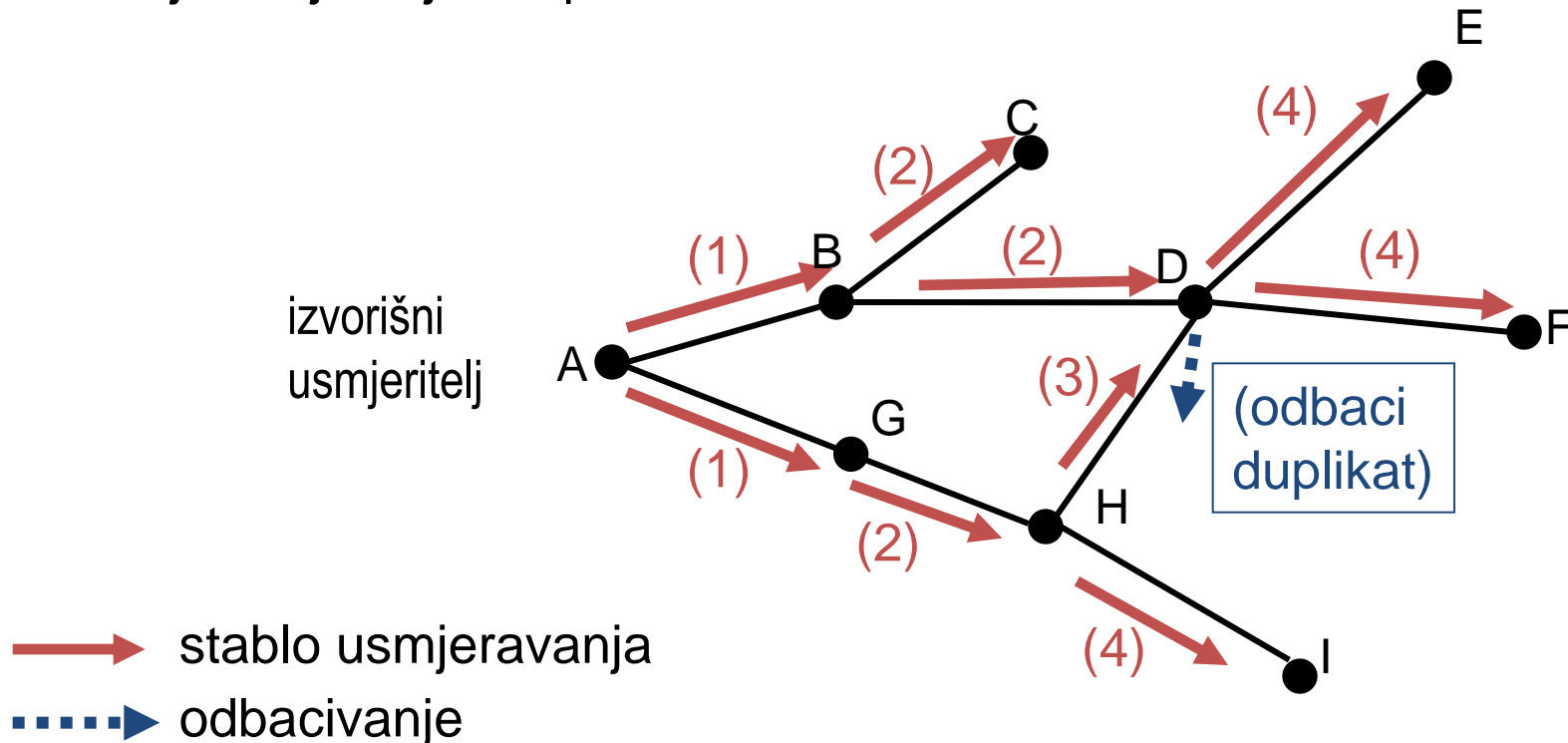
- ◆ Usmjeravanje najkraćim putem
  - ◆ Preplavljivanje
  - ◆ Usmjeravanje prema vektoru udaljenosti
  - ◆ Usmjeravanje prema stanju poveznice
- } neadaptivni algoritmi
- } adaptivni algoritmi
- 
- ◆ Posebni slučajevi:
    - hijerarhijsko usmjeravanje
    - opće razašiljanje, difuzija (engl. *broadcast*)
    - višeodredišno razašiljanje (engl. *multicast*)
    - kada su krajnji čvorovi u pokretu (pristup Internetu u pokretu)
    - kada nema infrastrukture (ad-hoc mreže)

- ♦ statički; algoritam računa najkraći put od svih čvorova prema zadanom čvoru u grafu - poznati algoritam: Dijkstra (na slici prvih 5. koraka)



Primjer:  
dijkstra.ppt

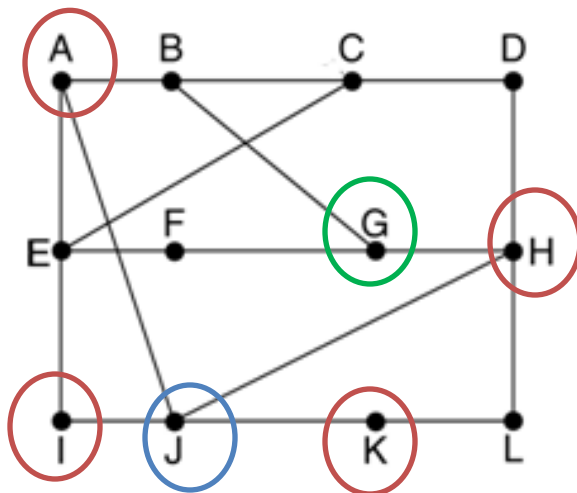
- ◆ statički; algoritam prosljeđuje sve dolazne pakete na svako svoje odlazno sučelje, osim onog po kojem je primio paket
- ◆ paketi se označavaju i već viđeni paketi se odbacuju
- ◆ uvijek daje najkraći put!



# Usmjeravanje vektorom udaljenosti (1/2)

- ♦ dinamički; svaki usmjeritelj ima tablicu (vektor) koji daje najbolju “poznatu udaljenost” za svako odredište i prvi korak ka njemu
- ♦ poznati algoritmi: Bellman-Ford i Ford-Fulkerson

graf mreže



To	A	I	H	K	New estimated delay from J ↓ Line	
A	0	24	20	21	8	A
B	12	36	31	28	20	A
C	25	18	19	36	28	I
D	40	27	8	24	20	H
E	14	7	30	22	17	I
F	23	20	19	40	30	I
G	18	31	6	31	18	H
H	17	20	0	19	12	H
I	21	0	14	22	10	I
J	9	11	7	10	0	–
K	24	22	22	0	6	K
L	29	33	9	9	15	K

JA delay is	JI delay is	JH delay is	JK delay is
8	10	12	6

Vectors received from J's four neighbors

New routing table for J

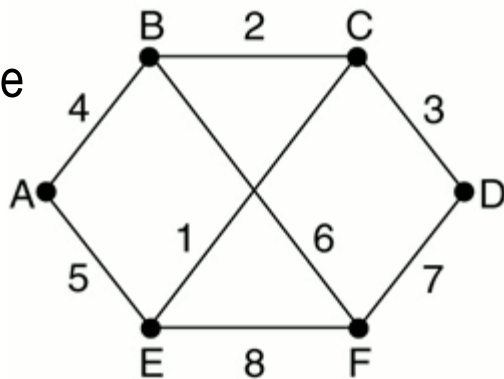
- ◆ algoritam konvergira prema pravom stanju, ali to čini sporo
- ◆ brzo reagira na dobre vijesti
  - npr. ako susjed A javi da ima kraći put do odredišta X, tablica se osvježava i promet za X se odmah počinje usmjeravati preko A
  - svaka sljedeća razmjena vektora propagira dobru vijest dalje
- ◆ sporo reagira na loše vijesti
  - npr. ako neki čvor ispadne, prvi susjed to zna, ali ne i drugi; nakon prve razmjene vektora, zna drugi susjed, ali ne i treći, itd. - u svakom slučaju razlika je uvijek jedan više
  - postoje neka rješenja, ali nijedno nije univerzalno učinkovito

- ◆ dinamički; temelji se na razmjeni podataka o topologiji i stvarno izmjerenih podataka o stanju poveznice (kašnjenje) među čvorovima i zatim primjeni Dijkstrinog algoritma za izračun najkraćeg puta prema svim ostalim čvorovima
  
- ◆ algoritam uzima u obzir stvarno stanje – bolja prilagodljivost, ali uz povećanu složenost
  - kada, odn. kako često slati podatke susjedima i osvježavati stanje?
    - periodički
    - u slučaju značajnih događaja kao npr. ispad ili dodavanje čvora
  - kako pouzdano distribuirati poruke sa stanjem poveznice?
    - numerirati pakete, uvesti potvrde, uvesti oznaku starosti poruke, poslužiti se preplavlivanjem (uz neka proširenja)

## ◆ Svaki čvor mora:

- otkriti svoje susjede i saznati njihove mrežne adrese
- izmjeriti kašnjenje (ili drugi dogovoreni parametar) prema svakom od njih
- stvoriti paket kojim javlja što je sve upravo saznao

graf mreže



poruke o stanju poveznice

A	
Seq.	
Age	
B	4
E	5

B	
Seq.	
Age	
A	4
C	2
F	6

C	
Seq.	
Age	
B	2
D	3
E	1

D	
Seq.	
Age	
C	3
F	7

E	
Seq.	
Age	
A	5
C	1
F	8

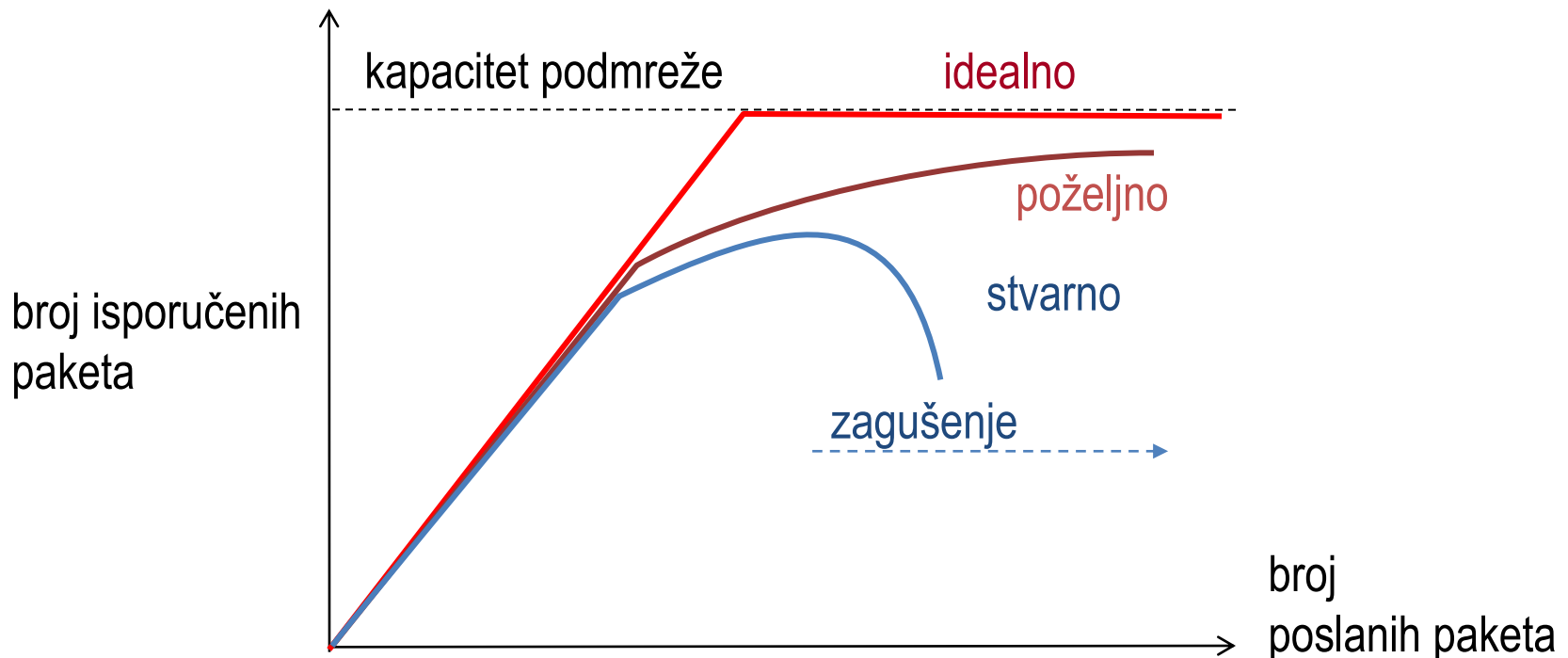
F	
Seq.	
Age	
B	6
D	7
E	8

- razaslati paket svim ostalim čvorovima (ne samo susjedima!)
- izračunati najkraći put do svih ostalih čvorova (cijela topologija!)

- ◆ Usluge mrežnog sloja (transportnom sloju)
  - ◆ Virtualni kanal i datagram, spojna usluga i nespojna usluga
- ◆ Komutacija paketa i usmjeravanje
- ◆ Načela upravljanja zagušenjem
- ◆ Međusobno povezivanje mreža i podmreža
  - ◆ Povezivanje podmreža, primjer – Internet



- ◆ **zagušenje** (engl. *congestion*) je degradacija performansi mreže uzrokovana prevelikim brojem paketa u mreži
  - opterećenje je trenutno veće od onog koje je mrežna infrastruktura (čvorovi, poveznice) ili njen dio trenutno u stanju obraditi
- ◆ za razliku od kontrole toka, ovo je globalni problem!



- ◆ razni uzroci i razna rješenja, npr:
  - prometni tokovi iz raznih, neovisnih izvora u mreži mogu biti takvi da unutar nekog usmjeritelja konvergiraju na isto izlazno sučelje – stvara se rep čekanja:
    - nedovoljna količina memorije: odbacivanje paketa
    - više memorije sprečava odbacivanje, ali povećava kašnjenje zbog čekanja na obradu
    - povećano kašnjenje može uzrokovati istek vremenske kontrole i retransmisiju
- ◆ općenito, teži se ka smanjenju opterećenja (odbijanje/ograničavanje zahtjeva, smanjenje kvalitete, uvođenje prioriteta) i/ili povećanju resursa (brzina,...), ali to ne rješava sve probleme (npr. povećanje brzine neće nužno smanjiti kašnjenje!) → **upravljanje zagušenjem**

- ◆ upravljanje zagušenjem obuhvaća dva osnovna pristupa iz teorije regulacije (engl. *control theory*):
  1. rješenja s otvorenom petljom
  2. rješenja sa zatvorenom petljom
  
- ◆ rješenja s otvorenom petljom temelje se na dobrom oblikovanju sustava s ciljem **izbjegavanja zagušenja**:
  - ograničeni prihvrat novih zahtjeva/prometnih tokova
  - odbacivanje paketa po potrebi (i odluka kojih)
  - oblikovanje prometa
  - raspoređivanje unutar mreže

- ◆ rješenja sa zatvorenom petljom temelje na **stalnom praćenju ponašanja mreže i povratnoj vezi**:

- ponašanje

1. nadziraj sustav i detektiraj pojavu i mjesto zagušenja
2. proslijedi tu informaciju na mjesto ili mjesta gdje se može djelovati
3. prilagodi način rada sustava radi ispravljanja problema

- izravne indikacije zagušenja pomoću upravljačkih paketa, npr. zahtjev pošiljatelju da smanji brzinu slanja

- neizravne indikacije zagušenja na temelju praćenja ponašanja, npr. povećano prosječno kašnjenje, gomilanje u usmjeriteljima, učestali gubici i retransmisije, povećan % izgubljenih paketa i sl.

→ Teorija informacije, Informacijske mreže, Teorija prometa

- ◆ Usluge mrežnog sloja (transportnom sloju)
  - ◆ Virtualni kanal i datagram, spojna usluga i nespojna usluga
- ◆ Komutacija paketa i usmjeravanje
- ◆ Načela upravljanja zagušenjem
- ◆ Međusobno povezivanje mreža i podmreža
  - ◆ Povezivanje podmreža, primjer – Internet

Svaku mrežu obilježava:

- ◆ Organizacija:
  - ◆ struktura (spajanje korisničke opreme na mrežu, međusobna povezanost komunikacijskih sustava, povezivanje s drugim mrežama) korisnika
- ◆ Adresiranje:
  - mrežnih sustava i umreženih resursa
  - korisnika
- ◆ Mrežni protokol (komunikacijski protokol mrežnog sloja)

Pozor:

Načela slična (ista) – terminologija različita za različite mreže!

7 Aplikacijski sloj, sloj primjene

6 Prezentacijski sloj

5 Sloj sesije/sjednice

4 Transportni sloj

3 Mrežni sloj

2 Sloj podatkovnog linka/veze

1 Fizikalni/fizički sloj

- Prijenos informacije između dva čvora u mreži, izravno ili preko međučvorova
- Jedinica podataka: ovisna o vrsti mreže, npr. paket
- Usmjeravanje jedinica podataka
- Kontrola pogrešaka
- Kontrola toka
- Međusobno povezivanje mreža i podmreža

4 Aplikacijski sloj, sloj primjene	
3 Transportni sloj	TCP
2 Mrežni/Internetski sloj	IP
1 (sloj podatkovne poveznice i fizički sloj)	

- ◆ Internetski protokol (*Internet Protocol*, **IP**) i dodatni protokoli za usmjeravanje, kontrolu komunikacije i komunikaciju u skupini
- ◆ Međusobno povezivanje mreža/podrmreža (engl. *internetworking*)
- ◆ Mreža s komutacijom paketa, svaki se paket usmjerava zasebno - datagram

Oznake:

IP – Internet Protocol

TCP – Transmission Control Protocol



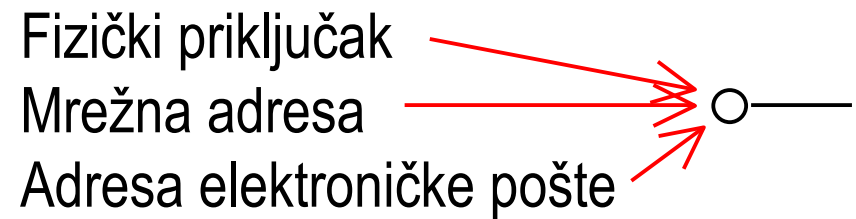
- ◆ mrežni sloj pruža uslugu transportnom sloju na sučelju između ta dva sloja
  - mrežni sloj daje transportnom **sloju jedinstveni adresni plan** (neovisno o broju podmreža, fizikalnom mediju, topologiji povezivanja i sl.) → **adresiranje**
  - mrežni sloj čini slojeve iznad, počevši od transportnog sloja, potpuno **odvojenima** i **neovisnima o izvedbenoj tehnologiji** mreže (protokol sloja podatkovne poveznice i prijenosni medij) → **pitanje fragmentacije**
  - sučelje mreža/transport je ujedno i **granica podmreže** prema krajnjim računalima (engl. *host*) → **povezivanje podmreža**
    - usmjeritelji imaju izvedene slojeve do (uključivo) mrežnog sloja
    - krajnja računala imaju izvedene sve slojeve

Jednoznačno označavanje komunicirajućih entiteta:

- ◆ Fizička adresa (mjesto priključka, pristupna točka)
- ◆ Mrežna adresa (točka u mreži) – logička adresa
- ◆ Adresa mrežnog/umreženog resursa:
  - Uslužna pristupna točka
  - Web stranica
  - ...
- ◆ Korisnička adresa:
  - Pozivni broj
  - Adresa elektroničke pošte
  - ...

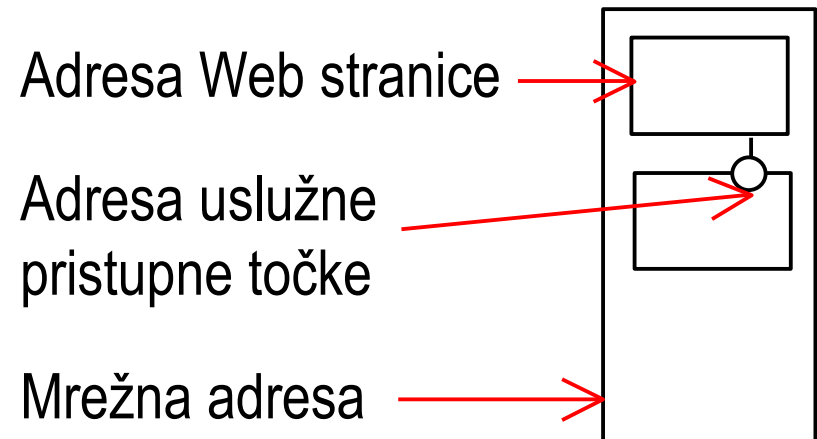
## Dinamička adresa:

- dodijeljena privremeno, tijekom pružanja usluge
- primjer: mrežna adresa (IP) kod pristupa Internetu preko ADSL-a, odn. telefonske mreže



## Statička adresa:

- dodijeljena trajno
- primjer: mrežna adresa Web poslužitelja i jedinstveni identifikator stranice



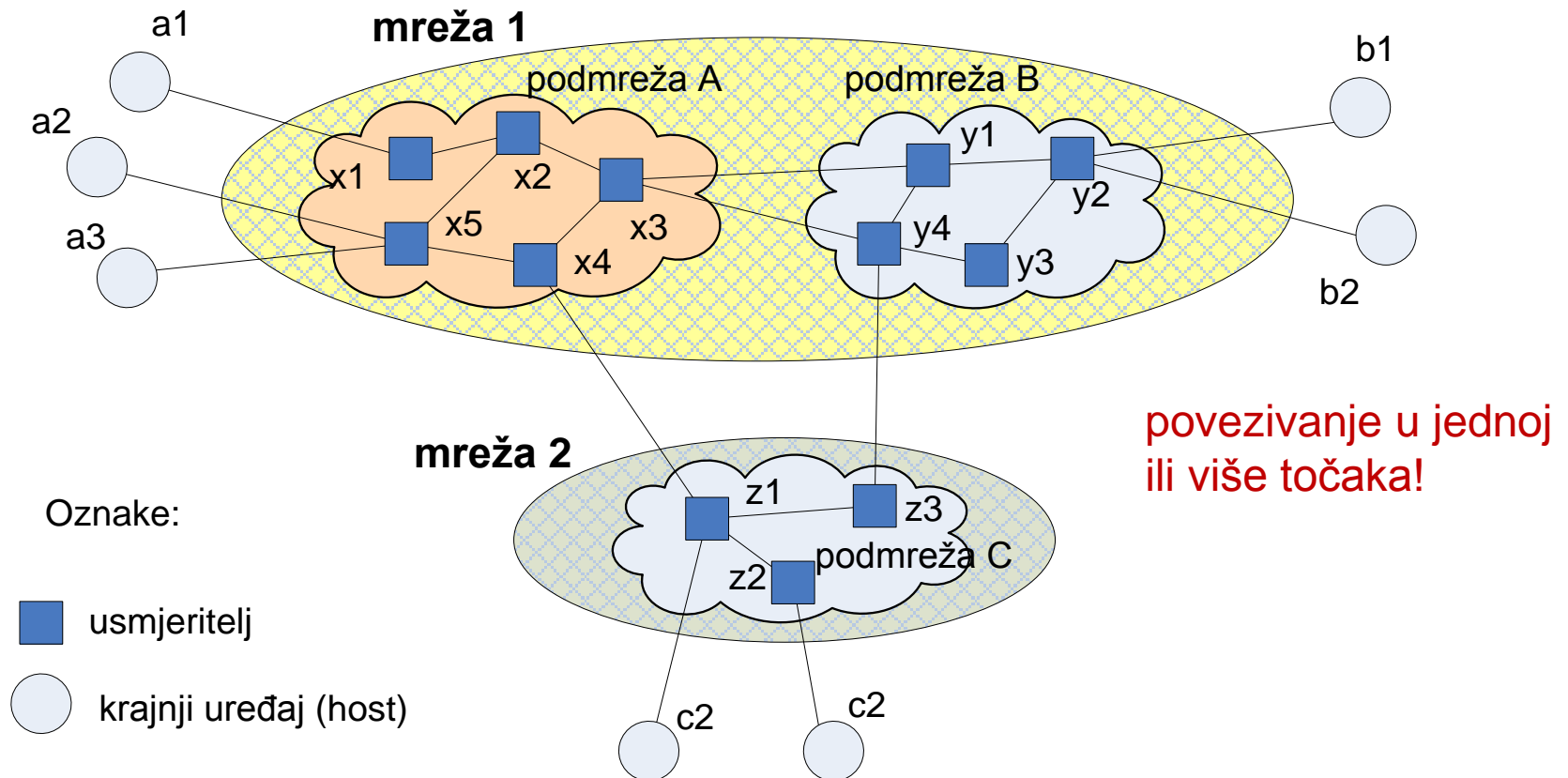
IP-adresa - 32 bita (IPv4):

- ◆ identifikator koji globalno i jednoznačno određuje mrežno sučelje
  - krajnji sustav (npr. računalo priključeno na mrežu) obično ima jedno sučelje i jednu IP-adresu
  - mrežni čvor (npr. usmjeritelj) priključen na više (pod)mreža ima više sučelja i isto toliko IP-adresa
- ◆ način zapisa:
  - numerički zapis: binarni i dekadski

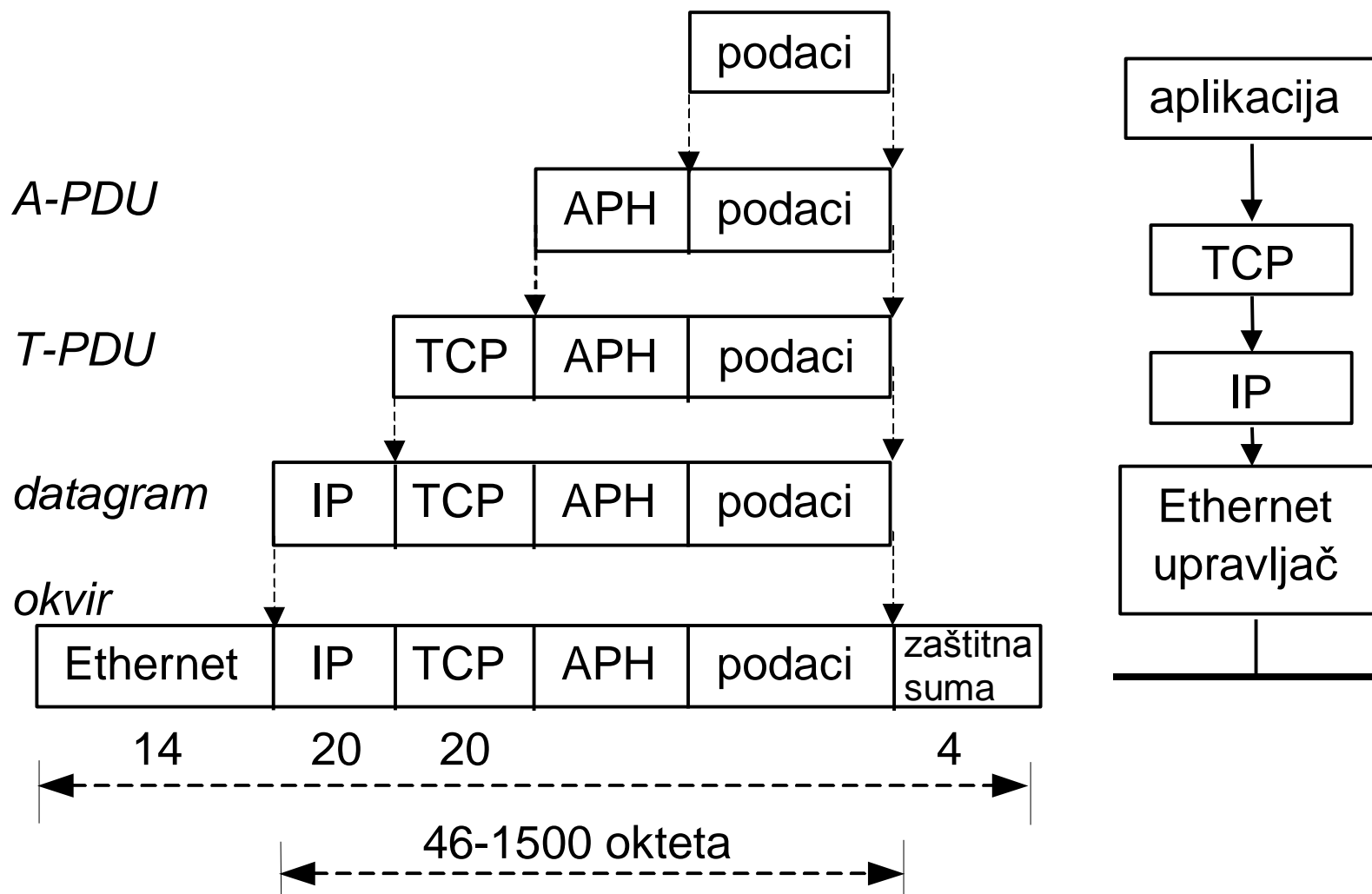
10100001 00110101 00010011 11001001  
└──┬──┘ └──┬──┘ └──┬──┘ └──┬──┘  
161 . 53 . 19 . 201

- simbolički zapis: lakše pamtljiv (npr. [www.fer.hr](http://www.fer.hr)) – veza: **DNS**

# Povezivanje mreža i podmreža

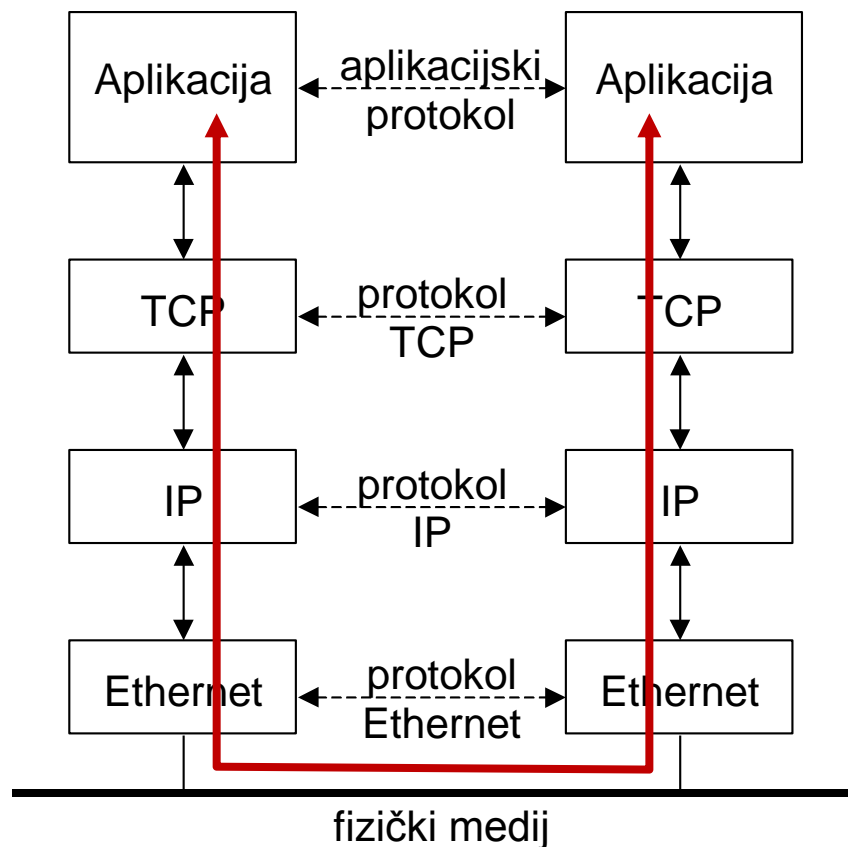


# Obrada u krajnjem čvoru, protokolni složaj



# Izravno usmjeravanje paketa

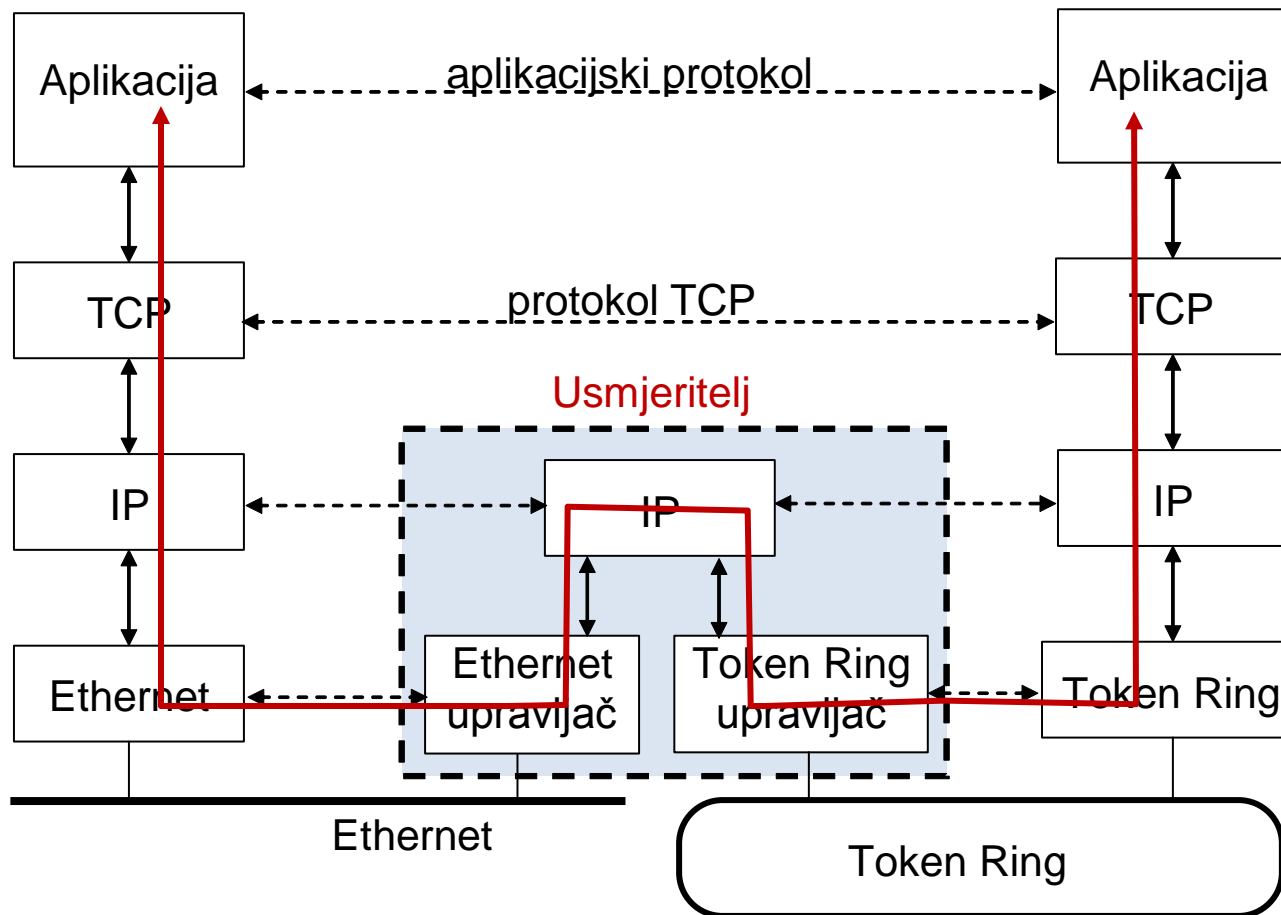
Primjer: Izvorišni i odredišni čvor spojeni na istu podatkovnu poveznicu u lokalnoj mreži (Ethernet)



nema potrebe  
za usmjeriteljem!

# Usmjeravanje paketa preko usmjeritelja

Primjer: Izvorišni i odredišni čvor spojeni na poveznice međusobno odvojene usmjeriteljem ili u lokalnim mrežama različite izvedbe (Ethernet, Token Ring)

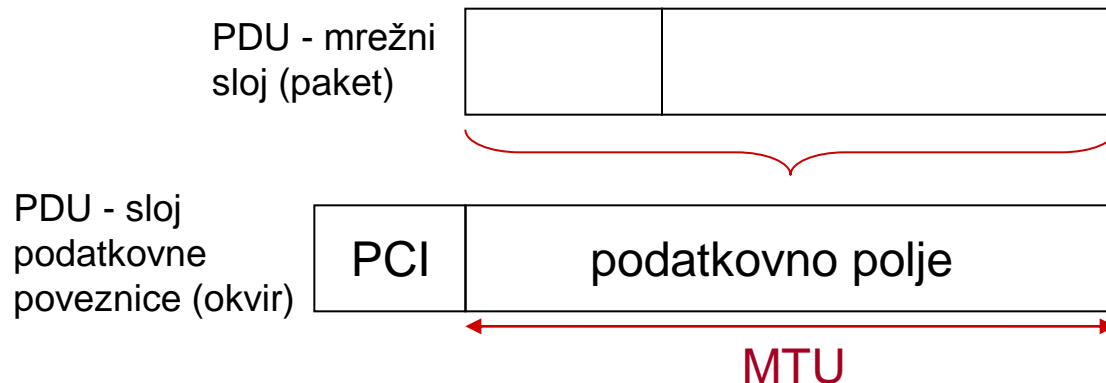




- ◆ PDU mrežnog sloja (paket) smješta se u podatkovno polje PDU sloja podatkovne poveznice (okvir)

- **pojam MTU - Maximum Transmission Unit**

- ovisi o tehnologiji izvedene mreže, npr. Ethernet/IEEE 802.3: MTU=1500 byte

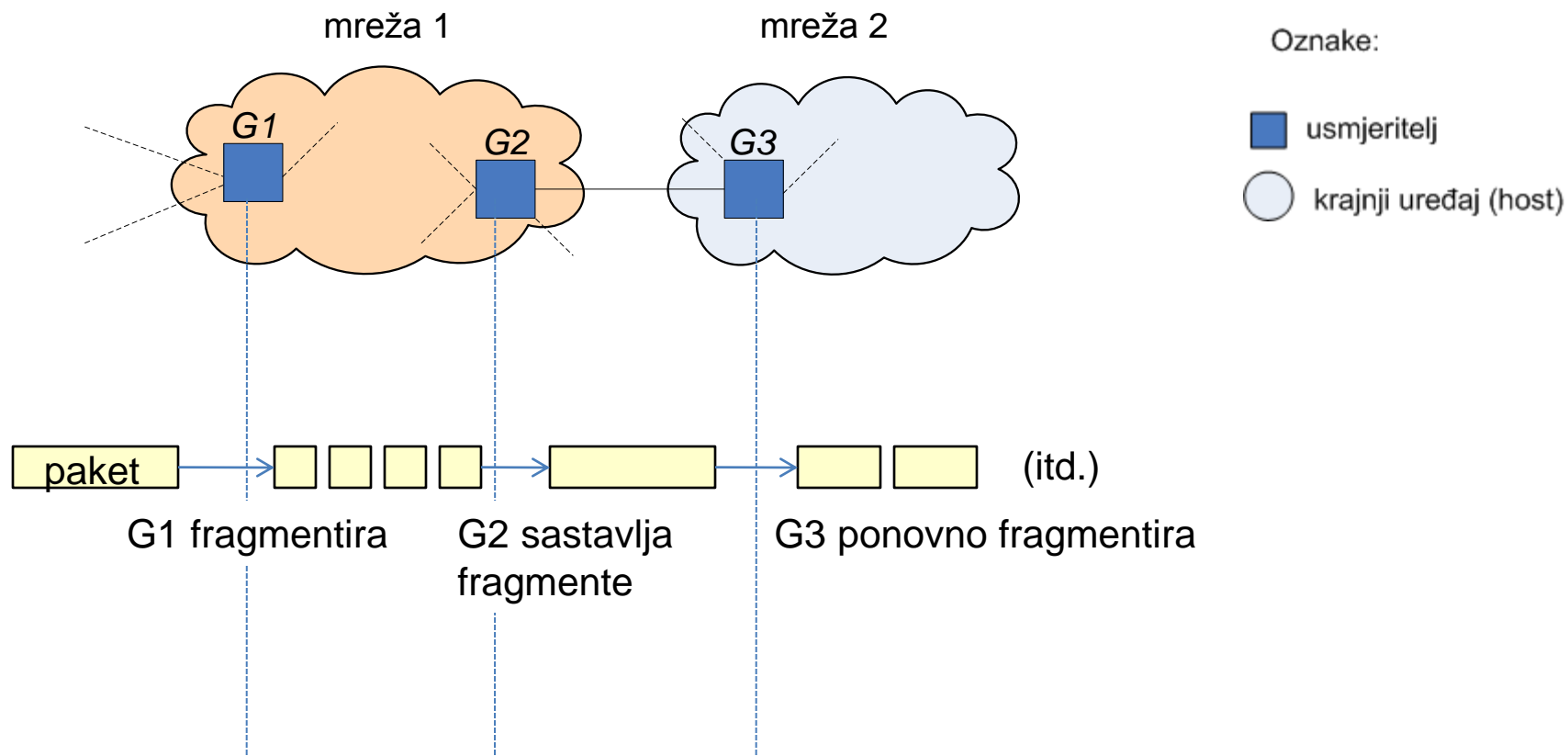


ako je veličina PDU veća od MTU, PDU se mora podijeliti na dijelove odgovarajuće veličine – **fragmente** (→ pitanje: *tko* i *gdje*?)

- ◆ transparentna fragmentacija
  - ◆ na ulazu/izlazu iz podmreže
- ◆ netransparentna fragmentacija
  - ◆ fragmenti se sastavljaju tek na odredišnom računalu

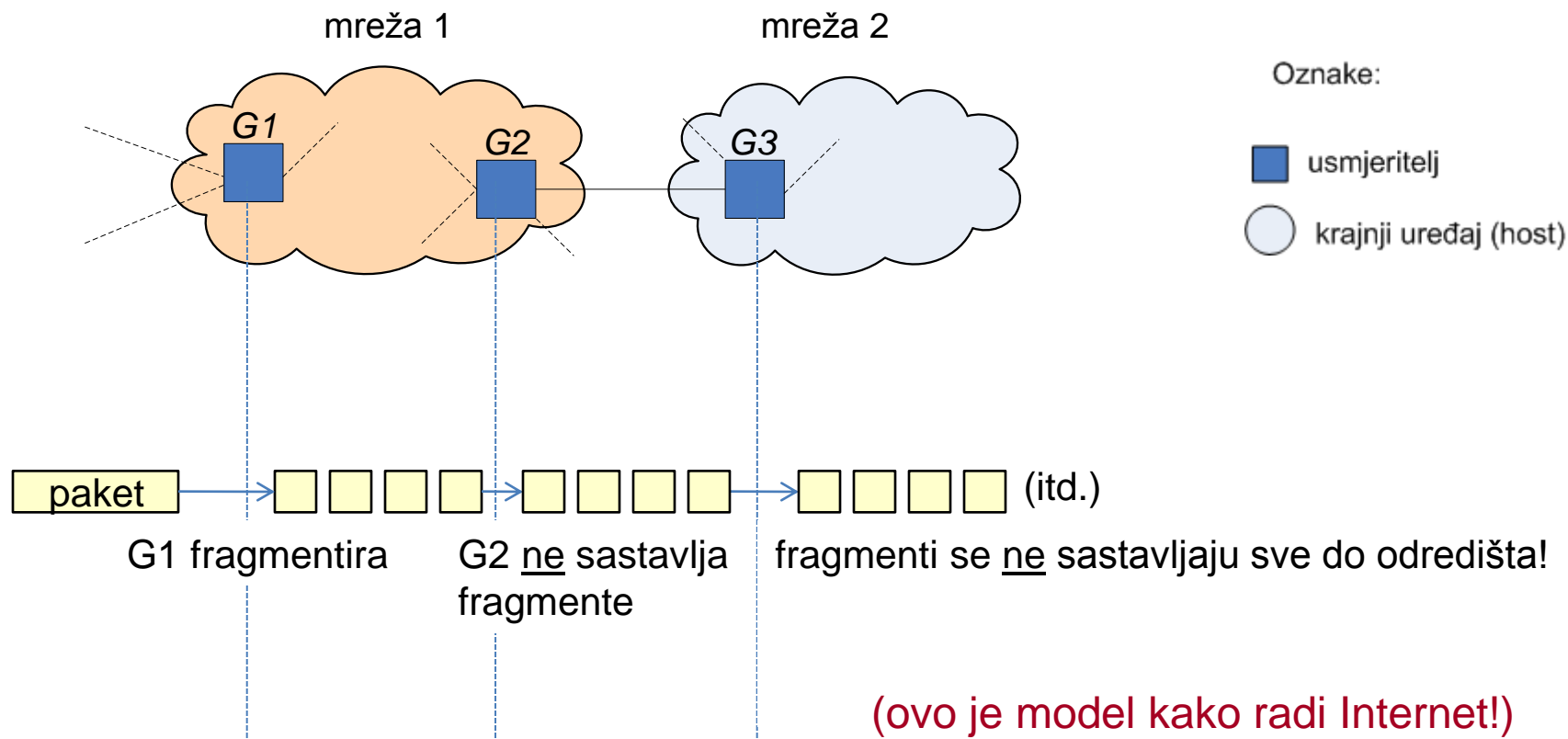
# Transparentna fragmentacija

- ♦ tko: **usmjeritelj**
- ♦ gdje: fragmentacija i sastavljanje fragmenata obavlja se **na ulazu/izlazu** iz svake podmreže



# Netransparentna fragmentacija

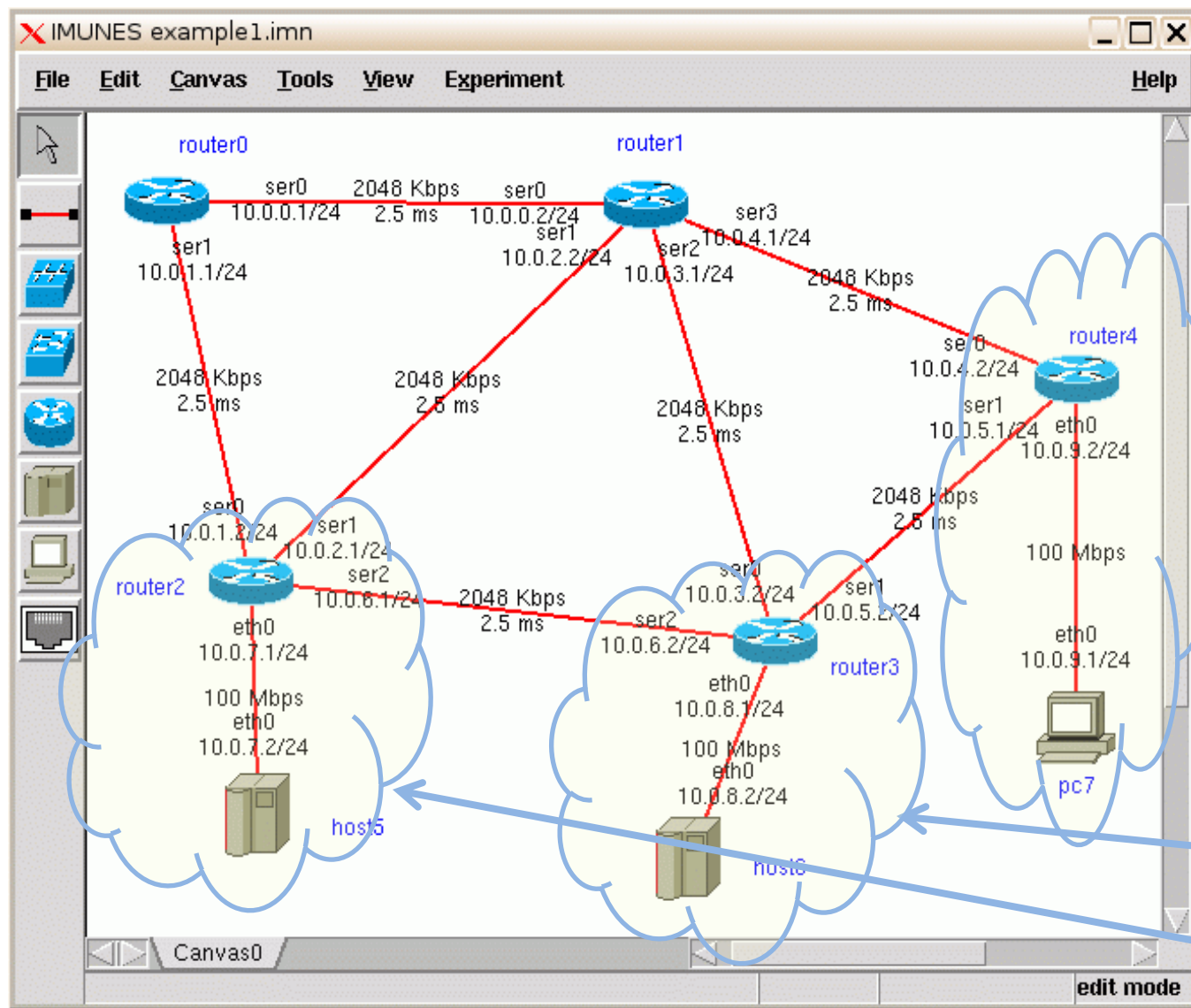
- ♦ tko: **usmjeritelj**
- ♦ gdje: fragmenti se šalju u novim, međusobno neovisnim datagramima i sastavljaju u originalni datagram **na odredištu**



- ◆ Usluge mrežnog sloja (transportnom sloju)
  - ◆ Virtualni kanal i datagram, spojna usluga i nespojna usluga
- ◆ Komutacija paketa i usmjeravanje
- ◆ Načela upravljanja zagušenjem
- ◆ Međusobno povezivanje mreža i podmreža
  - ◆ Povezivanje podmreža, primjer – Internet

# Povezivanje podmreža, primjer – Internet

Jedinstveni adresni prostor uz logičku podjelu na podmreže



mreža ISP-a  
(npr. CARNET)

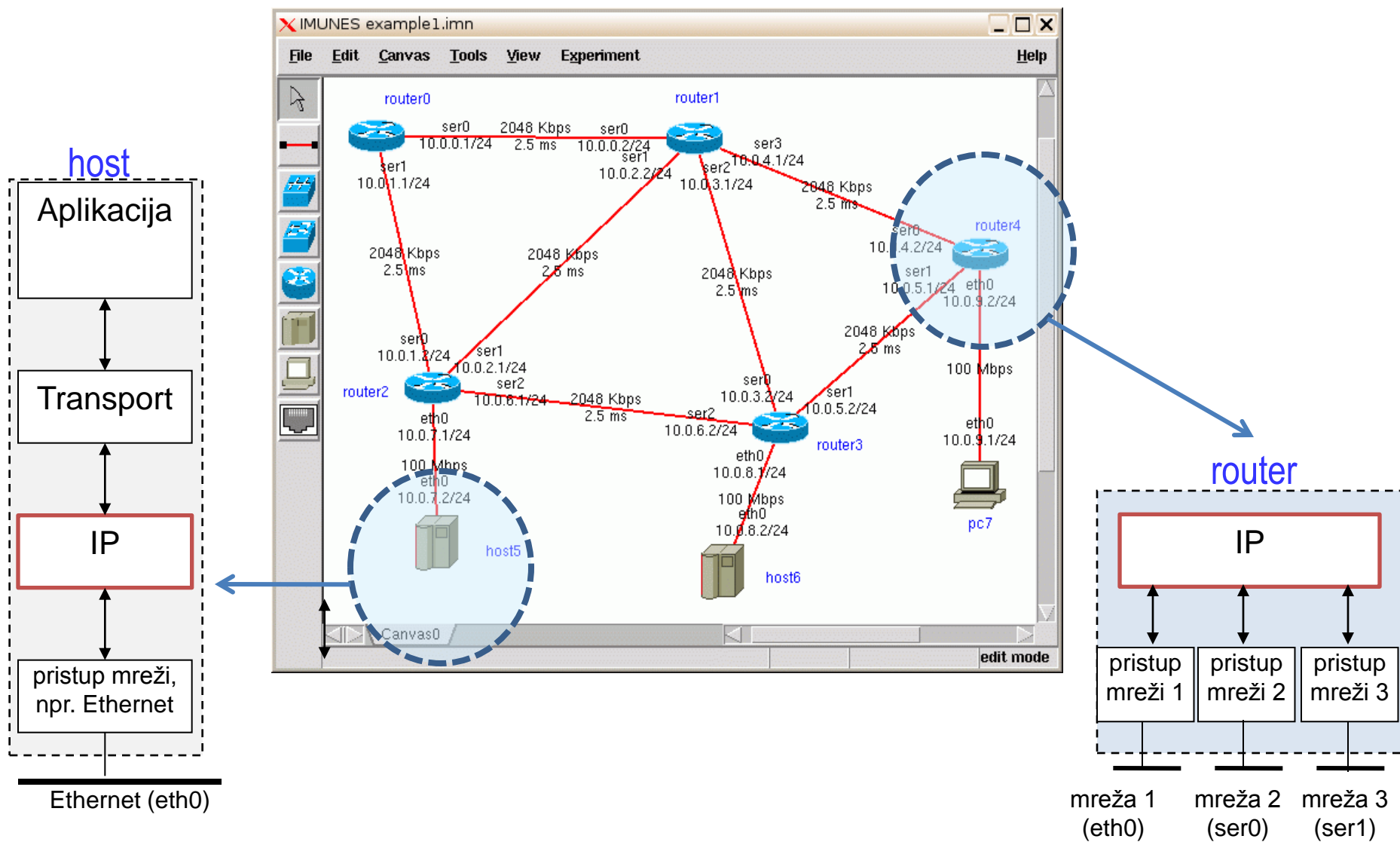
podmreža 1  
(npr. FER)

podmreža 2  
(npr. FSB)

podmreža 3  
(npr. FFZG)

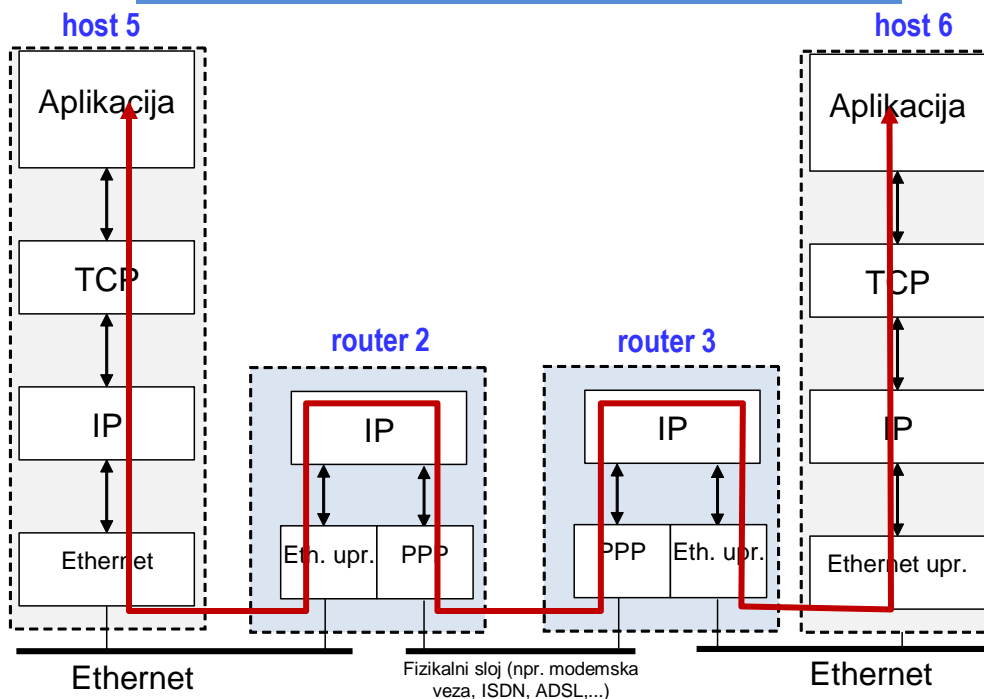
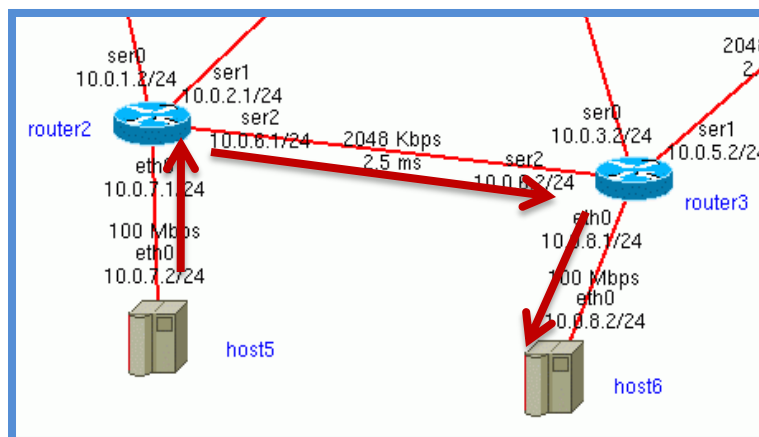
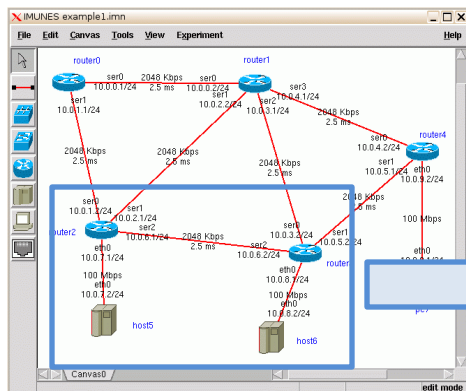
# Povezivanje podmreža, primjer – Internet

Izvedba mrežnog sloja u krajnjim računalima i usmjeriteljima



# Povezivanje podmreža, primjer – Internet

Usmjeravanje paketa s kraja na kraj mreže



# Povezivanje podmreža, primjer – Internet

Diskusija - aktivnost na satu



- ◆ sl. 45
  - ◆ jedinstveni adresni prostor, hijerarhija adresa
  - ◆ što je zajedničko adresama unutar podmreže?
- ◆ sl. 46
  - ◆ veza IP-adrese i mrežnog sučelja?
  - ◆ veza IP i MAC-adrese?
- ◆ sl. 47
  - ◆ gdje se donosi odluka o usmjeravanju?
  - ◆ gdje bi moglo doći do fragmentacije?
  - ◆ kako izbjeći fragmentaciju?
- ◆ koji su mogući problemi?
  - ◆ zagušenje (gubici, kašnjenje...)?
  - ◆ prekidi u fizičkoj vezi?
  - ◆ problemi u usmjeravanju?
  - ◆ ...