



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
Fakultet  
elektrotehnike i  
računarstva

Preddiplomski studij

Računarstvo

# Komunikacijske mreže

6.

Međusobno povezivanje mreža.

Ak.g. 2023./2024.

4.4.2024.



### slobodno smijete:

- **dijeliti** — umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
- **remiksirati** — prerađivati djelo

### pod sljedećim uvjetima:

- **imenovanje**. Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
- **nekomercijalno**. Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
- **dijeli pod istim uvjetima**. Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnjeg korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencijske uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je poveznicom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licence preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

## Povezivanje adresa mrežnog sloja i sloja podatkovne poveznice

- ◆ Protokol ARP

## Načela povezivanja mreža i mrežni uređaji

- ◆ Povezivanje lokalnih mreža
- ◆ Povezivanje u mrežnom sloju: IP-mreža

# Povezivanje adresa mrežnog sloja i sloja podatkovne poveznice – protokol ARP

## Adresa mrežnog sloja

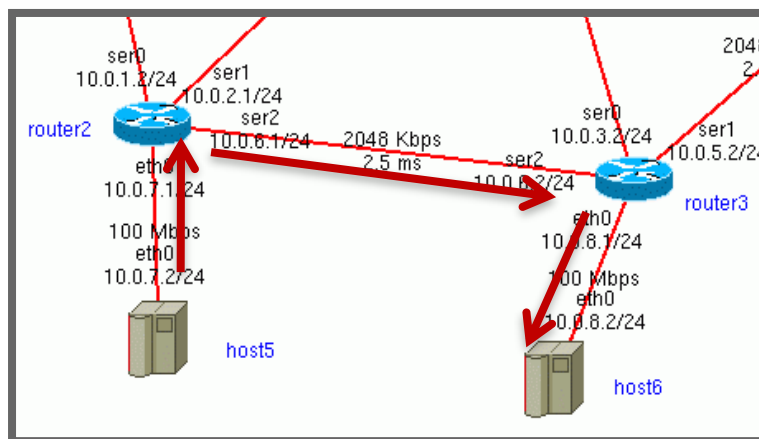
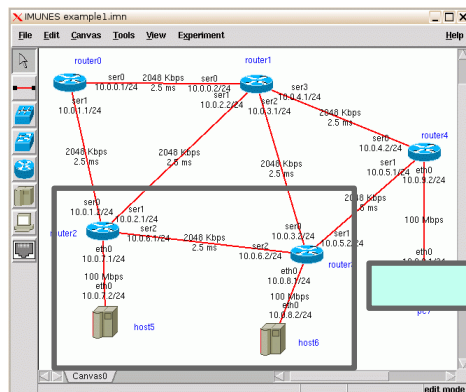
- ◆ Format neovisan o tehnologiji mreže
- ◆ Identifikacija mrežnog sučelja i usmjeravanje
- ◆ Primjer: IP adresa

## Adresa sloja podatkovne poveznice

- ◆ Format ovisan o tehnologiji mreže
- ◆ Primjer: Ethernet
  - adresu postavlja proizvođač
  - nije prikladna za usmjeravanje

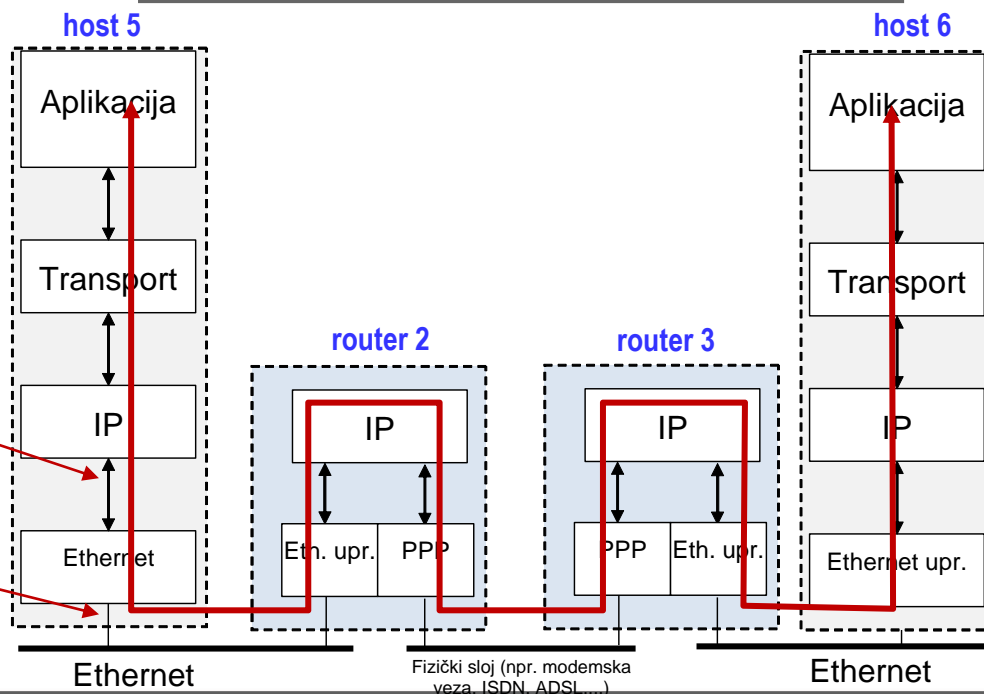
**Adrese različitih slojeva nisu u međusobnoj vezi!**

# Primjer – usmjeravanje paketa s kraja na kraj mreže (1/4)



IP-adresa (32-bit); ICANN,  
RIR, LIR, sysadmin...

Ethernet-adresa  
(48-bit); hw-zadana



# Primjer – usmjeravanje paketa s kraja na kraj mreže (2/4)

Promatramo IP datagram:

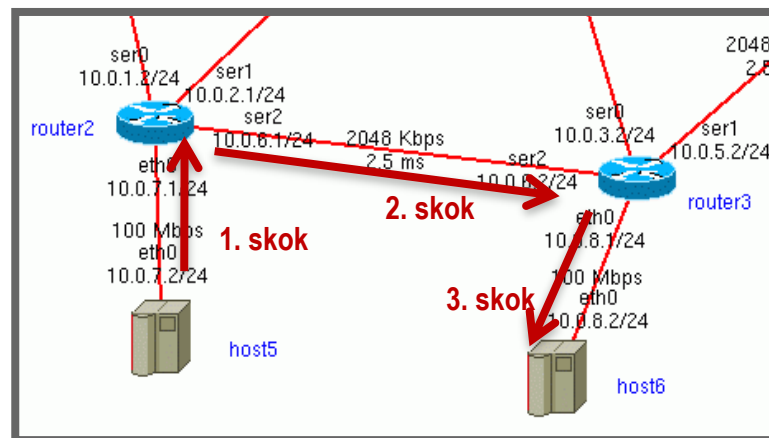
- izvorišna IP-adresa:

host 5 (10.0.7.2)

- odredišna IP-adresa:

host 6 (10.0.8.2)

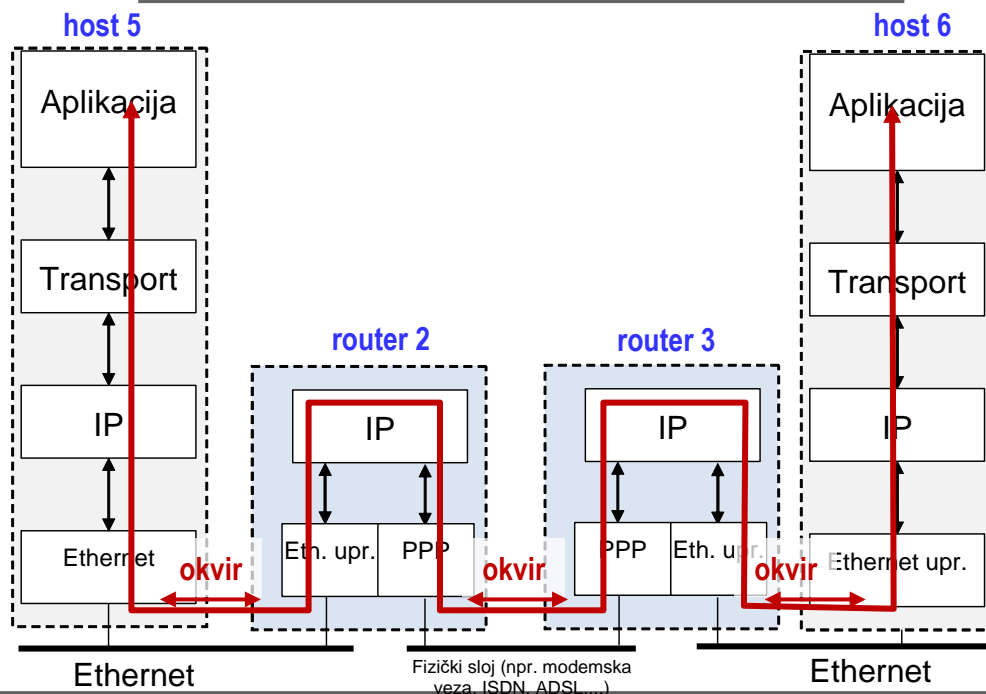
*Podsjetnik: izvorišna IP-adresa i  
odredišna IP-adresa su zadane i ne  
mijenjaju se prolaskom kroz mrežu!*



Put kroz mrežu čini niz od tri “skoka”, koji uključuje sljedeće podatkovne poveznice:

1. skok: (izv.) host 5 -> router 2 (default)
2. skok: router 2 (odluka) -> router 3
3. skok: router 3 (odluka) -> host 6 (odr.)

Pitanje: što se mijenja putem (po “skokovima”)?



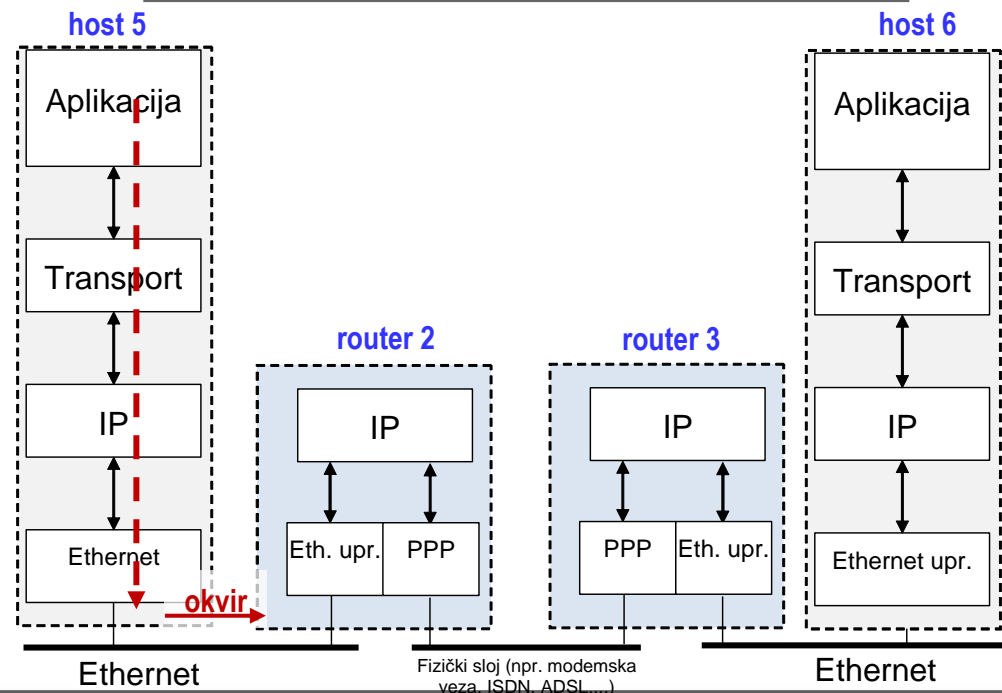
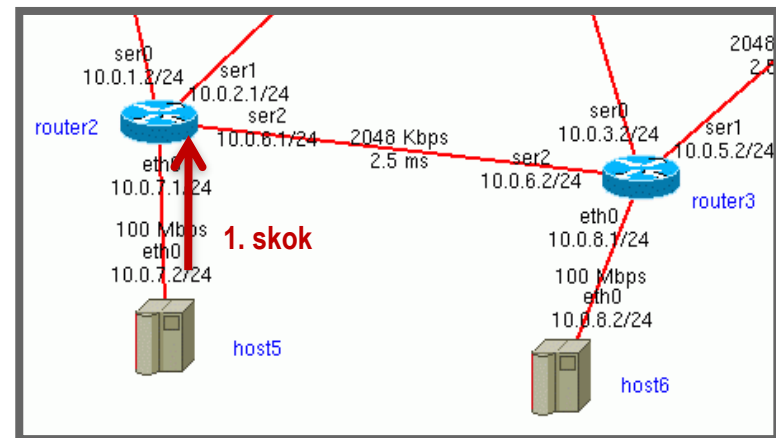
# Primjer – usmjeravanje paketa s kraja na kraj mreže (3/4)

(nastavak)

Na svakom “skoku” izvorišna i odredišna adresa okvira odgovara krajnjim točkama promatrane poveznice (MAC adresama sučelja).

Za 1. skok, (izv.) host 5 -> router 2:

- host 5 mora “znati” IP adresu usmjeritelja router 2 (*kako? – piše u tablici usmjeravanja!*)
- host 5 formira okvir na poveznici prema routeru 2 u koji smješta datagram:
  - izvorišna adresa okvira: MAC adresa Ethernet sučelja eth0 hosta 5
  - odredišna adresa okvira: MAC adresa *koja odgovara IP adresi usmjeritelja* router 2 (10.0.7.1), odn. njegovog sučelja eth0 (*kako saznati tu adresu?*)





# Primjer – usmjeravanje paketa s kraja na kraj mreže (4/4)

(nastavak)

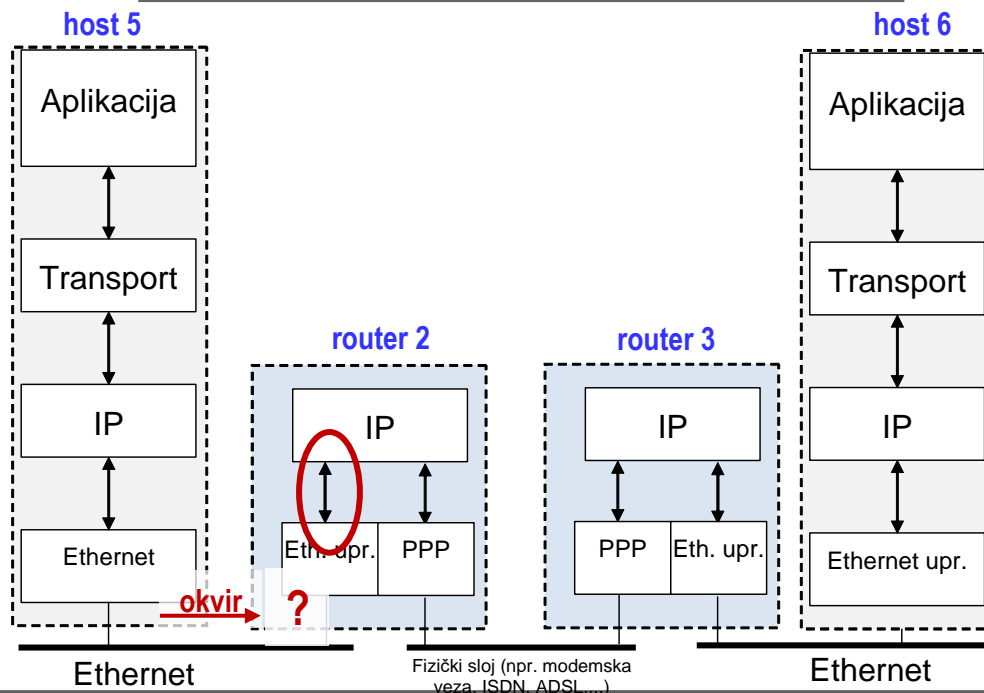
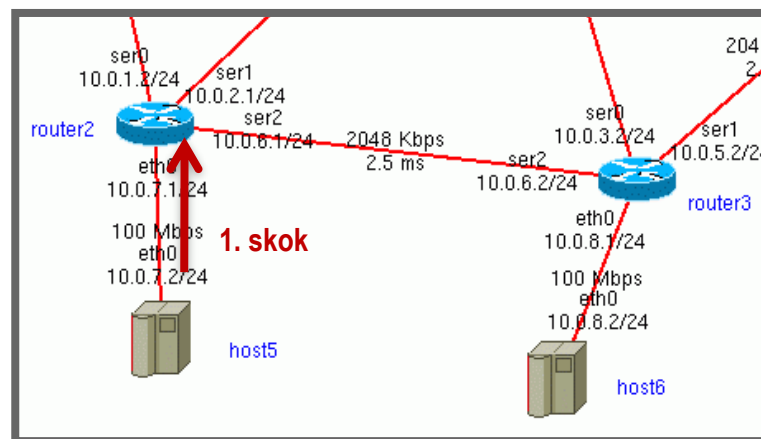
Mora se riješiti odnos između IP-adrese i  
MAC-adrese!

Kako host 5 može “saznati” koja je MAC  
adresa *koja odgovara IP adresi*  
*usmjeritelja* router 2 (10.0.7.1), odn.  
njegovog sučelja eth0?

– host 5 “ne zna” tu adresu, očito mora  
“pitati” router 2

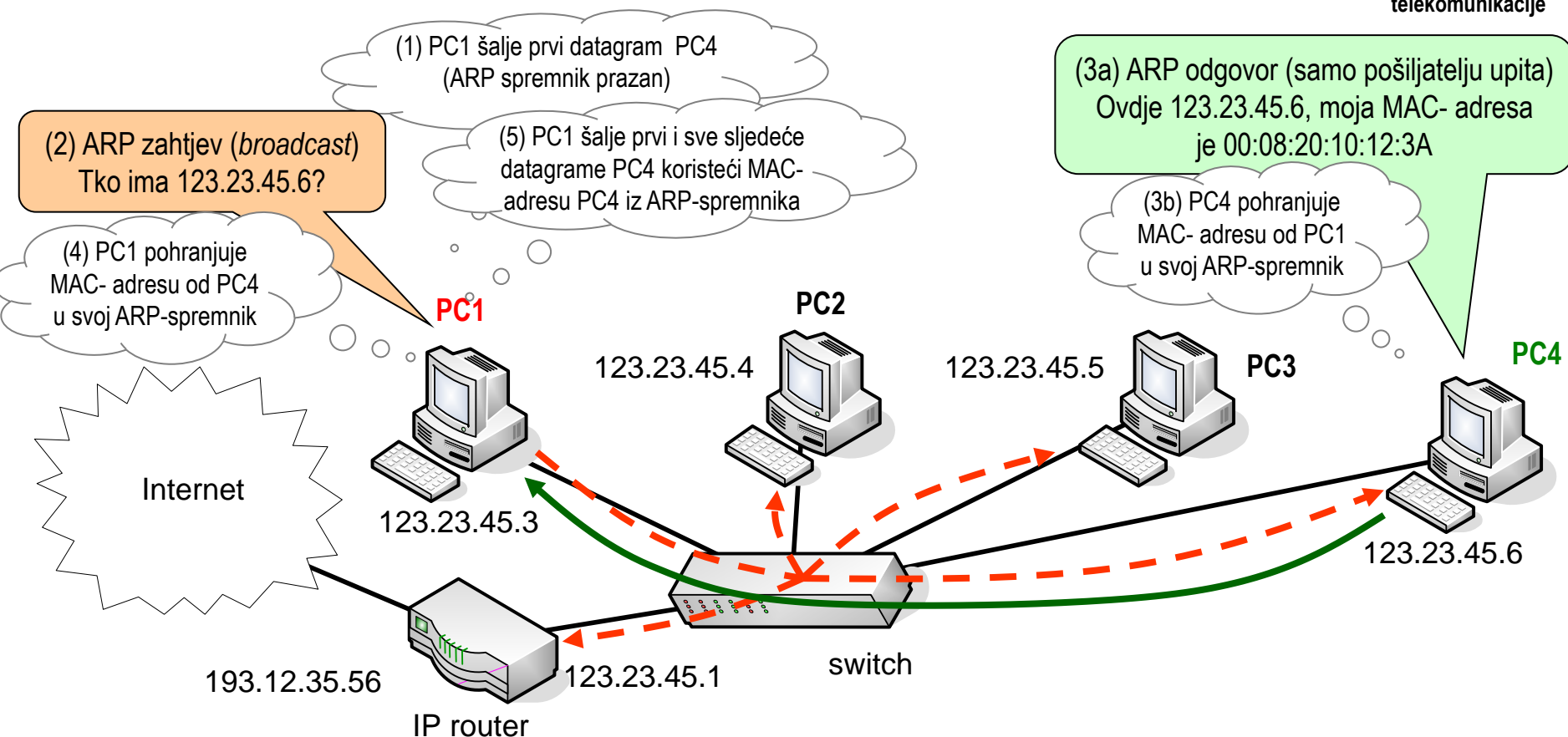
– problem: host 5, da bi poslao upit na  
router 2, mora ga moći adresirati, a  
upravo to “ne zna”

– rješenje: razašiljanje upita “svima na  
poveznici”, na što router 2 može  
odgovoriti i dojaviti svoju MAC adresu na  
toj poveznici – osnovna ideja protokola  
**Address Resolution Protocol (ARP)**



- ◆ protokol razlučivanja adrese
- ◆ dizajniran za mreže s dijeljenim medijem (npr. Ethernet)
- ◆ čemu služi ARP?
  - ◆ IP-adrese su adrese mrežnog sloja - protokoli viših slojeva (transport, aplikacije, ali i usmjeravanje, ...) koriste mrežnu (IP) adresu
  - ◆ upravljač mrežne kartice prepoznaje samo MAC-adrese
  - ◆ **problem: kako dinamički povezati IP-adresu s MAC-adresom?**
- ◆ način rada protokola ARP:
  - upit za IP-adresu razašilje se svim sučeljima na poveznici (*broadcast*)
  - upit primaju svi uređaji
  - odgovor šalje samo onaj uređaj čija je IP-adresa “prozvana” i to samo pošiljatelju upita (ne svima)
  - na temelju primljenih upita i odgovora (na svoje zahtjeve), svaki uređaj održava ARP-spremnik u koji privremeno pohranjuje uparene IP-MAC adrese

# ARP primjer: slanje datagrama od PC1 na PC4



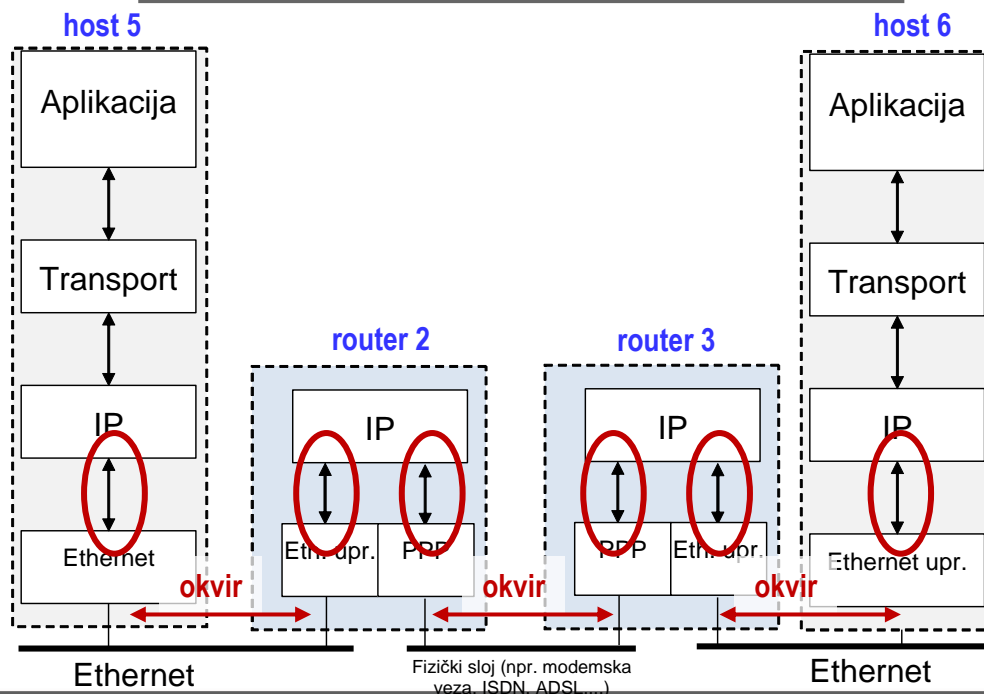
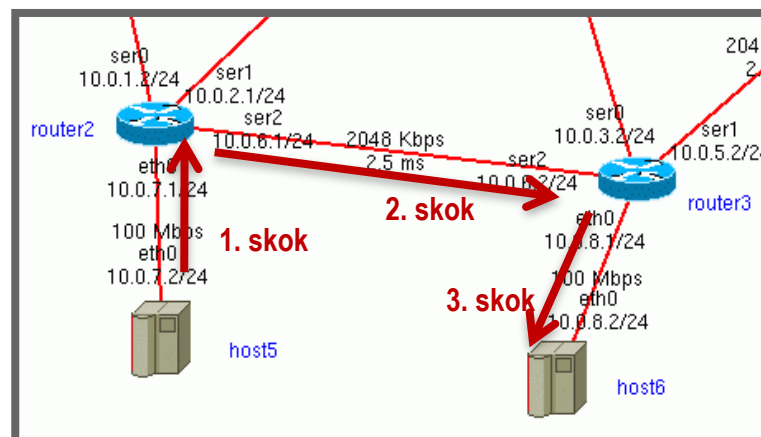
- ◆ uparene adrese (IP-adresa, MAC-adresa) se pohranjuju u ARP-spremnik
- ◆ u spremniku se nalaze i statički i dinamički unosi
- ◆ dinamički unosi se automatski brišu ako se ne koriste (nekoliko minuta)

Primjer: KM-  
2015\_06\_dodatak  
\_arp.swf

*Pitanja za diskusiju (bodovi za aktivnost!):*

Ako nije bilo prethodne komunikacije (ARP spremnici su prazni), koji hostovi ili routeri moraju slati ARP upite?:

1. skok: (izv.) host 5 -> router 2 (default)
2. skok: router 2 (odluka) -> router 3
3. skok: router 3 (odluka) -> host 6 (odr.)



*Pitanja za diskusiju (bodovi za aktivnost!):*

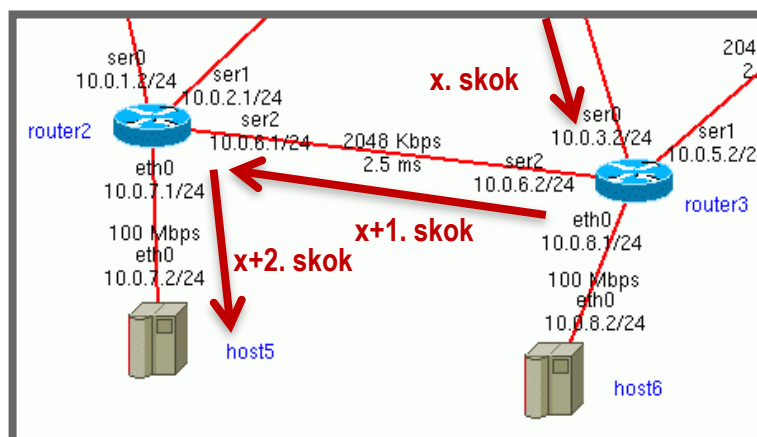
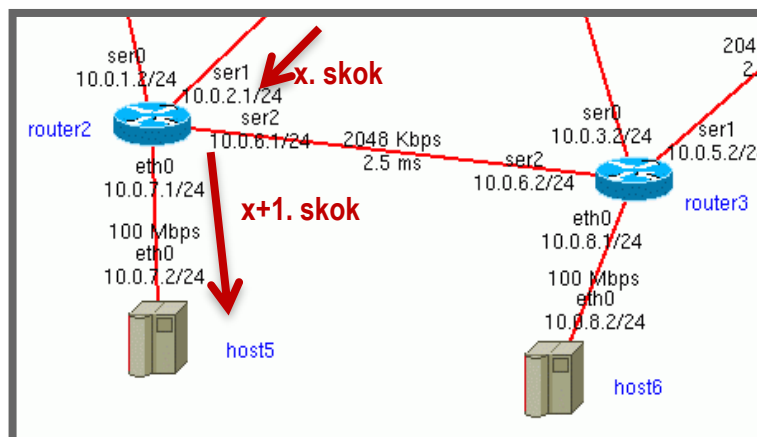
1. Nakon komunikacije opisane na prethodnoj slici, a prije isteka vremena trajanja zapisa u ARP spremniku, router 2 prima na svom serijskom sučelju *ser1* IP-datagram adresiran na host 5.

Treba li router 2 slati ARP upit? (Ako da, opišite kakav.)

2. Nakon opisane komunikacije, a prije isteka vremena trajanja zapisa u ARP spremniku, router 3 prima na svom serijskom sučelju *ser0* IP-datagram adresiran na host 5.

Treba li router 3 slati ARP upit? (Ako da, opišite kakav.)

Treba li router 2 slati ARP upit? (Ako da, opišite kakav.)

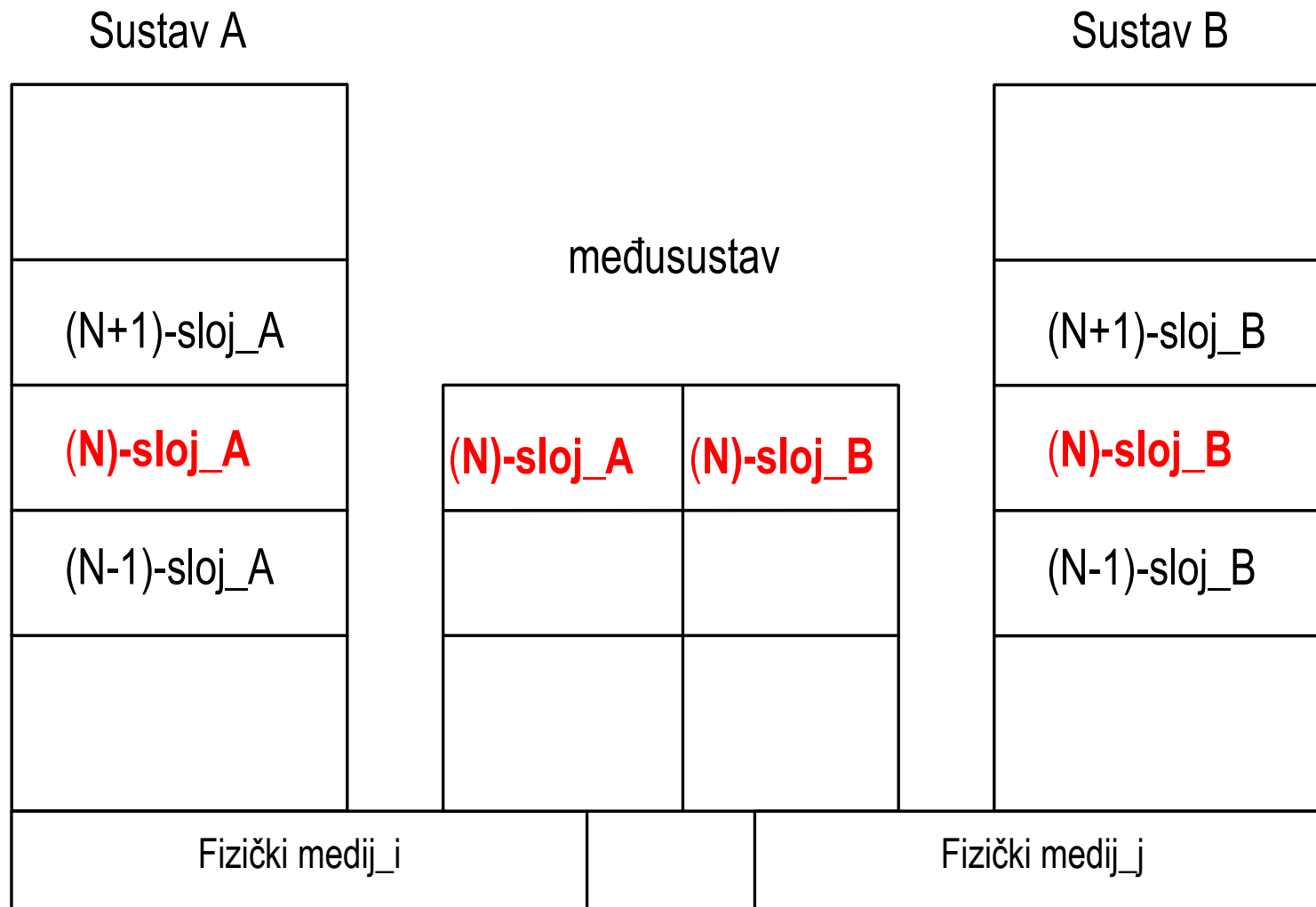


*Pretpostavka: tablice usmjeravanja u svim usmjeriteljima kroz koje prolazi datagram postavljene su u skladu s nacrtanim strelicama.*

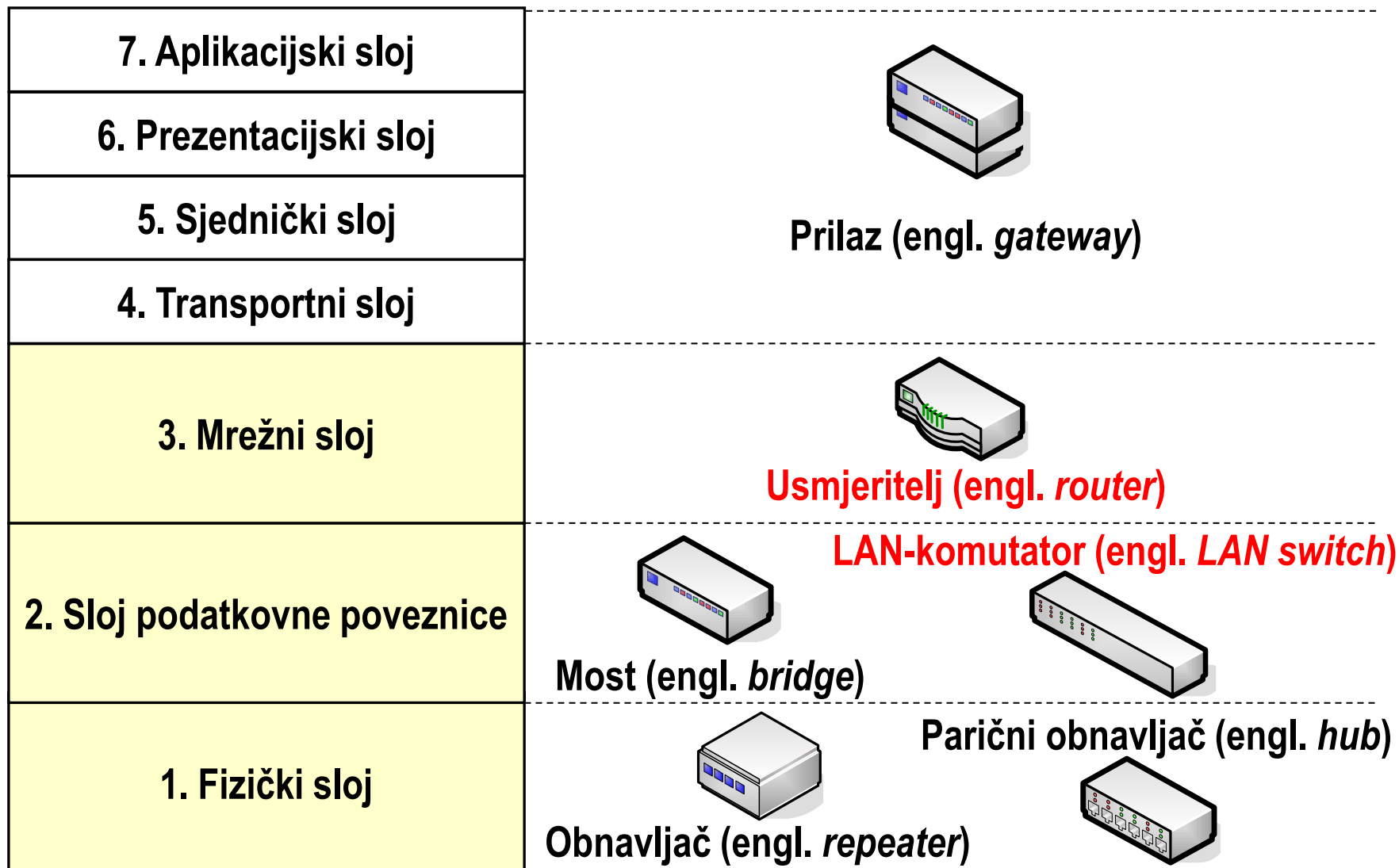
# Međusobno povezivanje mreža

1. Ustanoviti zahtjeve na povezivanje
  - kakvu komunikaciju treba ostvariti?
  - koje aplikacije i usluge treba podržati?
2. Odrediti moguća rješenja povezivanja
  - arhitektura: slojevi u kojima se ostvaruje povezanost
  - funkcionalnost: mrežni uređaji kojima se ostvaruje povezanost
3. Odabrati najpovoljnije rješenje
  - tehnologija
  - performanse
  - troškovi

# Načela povezivanja mreža (2)







Na performanse povezanih mreža utječu:

## Domena sudara (engl. *collision domain*)

- ♦ dio mreže unutar kojeg se javlja sudar kad dvije ili više stanica istodobno šalju okvire
- ♦ javlja se samo u lokalnoj mreži

## Domena razašiljanja (engl. *broadcast domain*)

- ♦ dio mreže unutar kojeg se svim stanicama razasliju jedinice podataka
- ♦ javlja se u svim mrežama i svim slojevima s mogućnošću razaslijanja jedinica podataka

# Povezivanje lokalnih mreža

A. Bažant, G. Gledec, Ž. Ilić, G. Ježić, M. Kos, M. Kunštić, I. Lovrek, M. Matijašević, B. Mikac, V. Sinković: Osnovne arhitekture mreža, Element, 2007.

## 4. Lokalne mreže

## Fizički sloj:

- ♦ generička arhitektura: obnavljač (engl. *repeater*)
- ♦ primjer izvedbene arhitekture:
  - parični obnavljač (engl. *hub*)

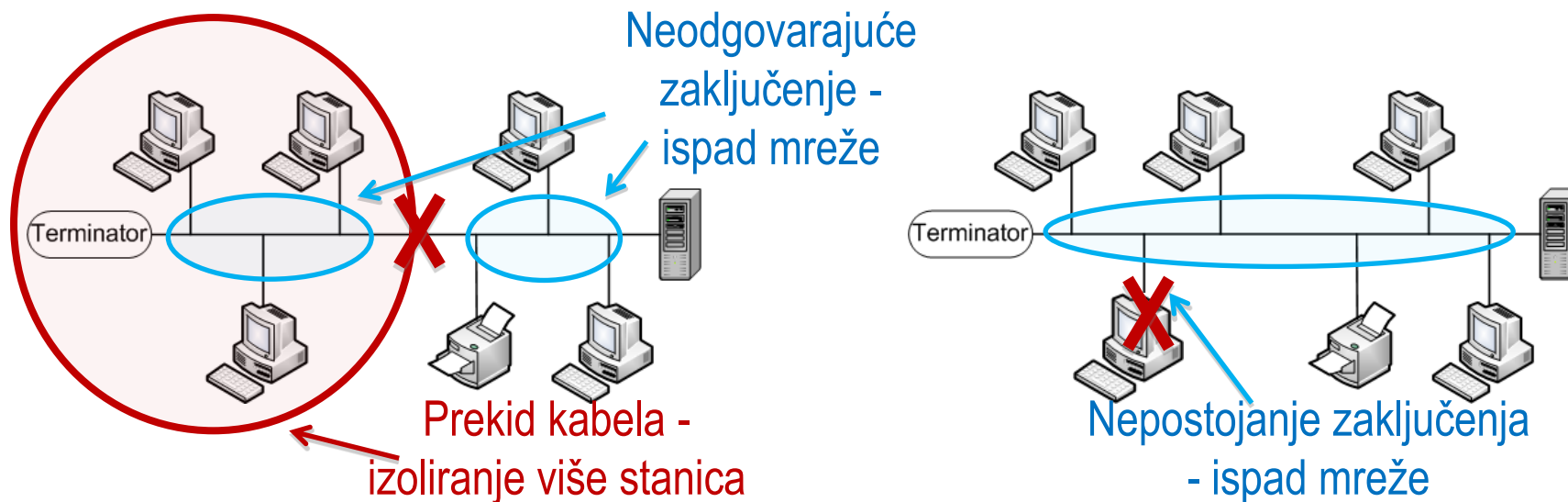
## Sloj podatkovne poveznice:

- ♦ generička arhitektura: most (engl. *bridge*)
  - ♦ primjer izvedbene arhitekture:
    - ♦ LAN-komutator (engl. *LAN switch*), ethernetski komutator (engl. *Ethernet switch*)

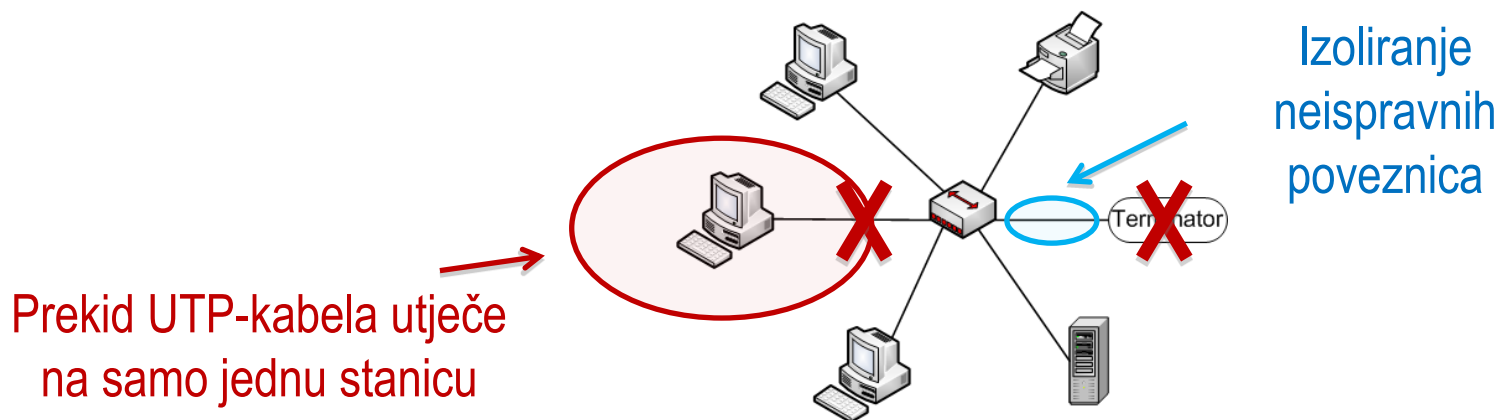
Svi primjeri: *Ethernet LAN*

# Podsjetimo se *Etherneta* - početna ideja

- ◆ dijeljeni prijenosni medij - koaksijalni kabel (sabitnica)
- ◆ postupak CSMA/CD, poludvosmjerni prijenos okvira
- ◆ problemi sabirničke topologije:
  - prekid kabela
  - električki uvjeti: neodgovarajuće zaključenje kabela ( $50 \Omega$ ), neodgovarajuće uzemljenje, uklanjanje i dodavanje stanica

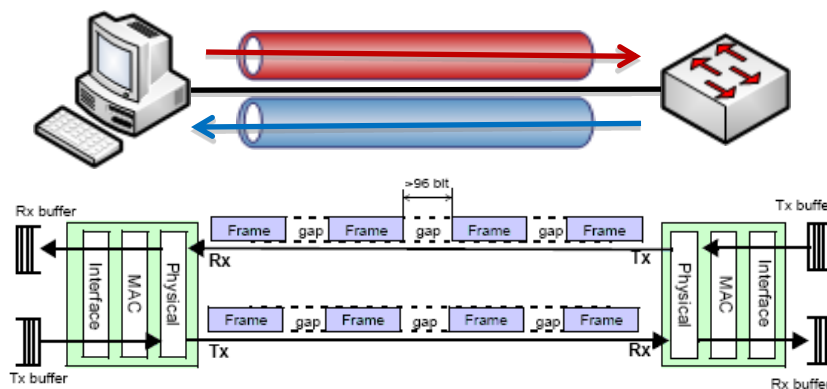


- ◆ **primjena neoklopljene upredene parice**  
(engl. *Unshielded Twisted Pair*, UTP) početkom 1990-ih
  - UTP-kabel jeftiniji i jednostavniji za rukovanje
  - zvjezdasta topologija: središnji uređaj na koji se spajaju sve stanice - parični obnavljač
  - zadržan postupak CSMA/CD i poludvosmjerni prijenos okvira



## ◆ dvosmjerni prijenos okvira (engl. *full duplex*)

- dva neovisna “kanala” (dvije parice, dva optička vlakna, dvije valne duljine, ...): istodobno **slanje** i **primanje** okvira
- postupak CSMA/CD nije potreban, jer pojava sudara nije moguća
- zadržan razmak između okvira (engl. *interframe gap*)
- omogućeno upravljanje tokom na podatkovnoj poveznici - zahtjev primatelja za privremenim zaustavljanjem slanja okvira



Potreba za sve većim brzinama prijenosa



## Povezivanje stanica

- Fizički sloj i prijenosni medij: UTP-parica, optičko vlakno
- Sloj podatkovne poveznice: ethernetki komutator (dvosmjerni prijenos podataka)

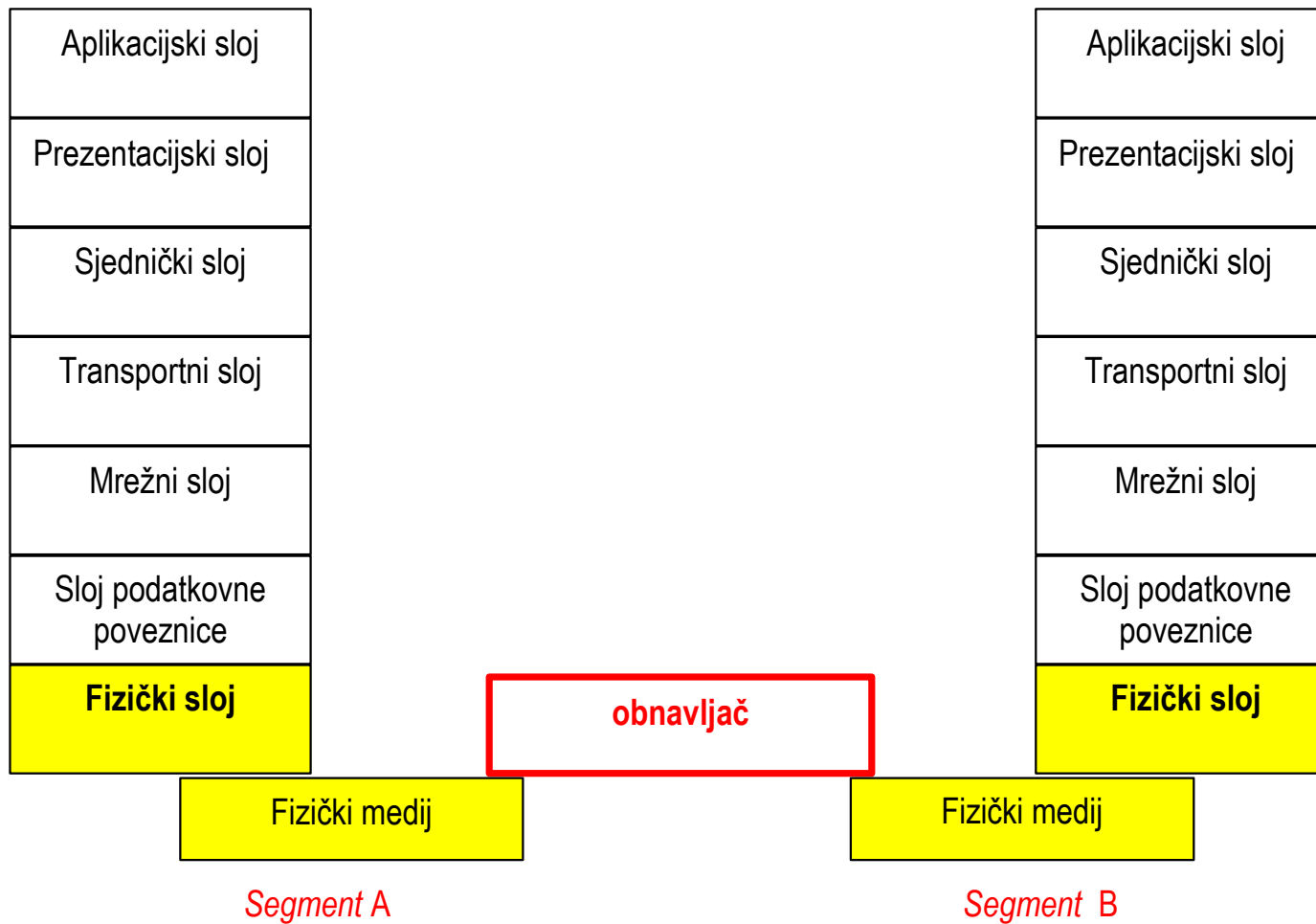


## *Fast Ethernet*

- ◆ zajednički naziv za skup normi koje omogućuju prijenosne brzine do 100 Mbit/s (norme uvedene 1995. g.)

## *Gigabit Ethernet*

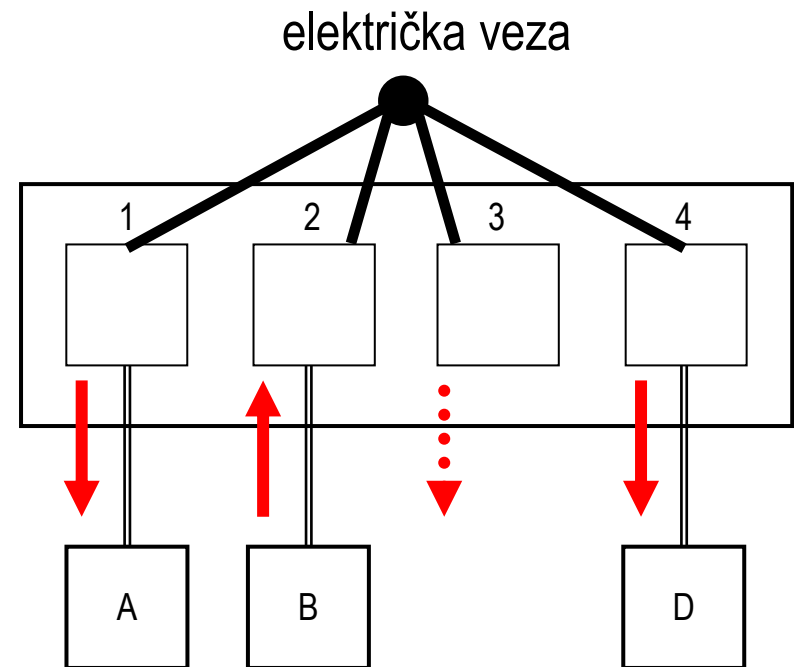
- ◆ *Gigabit Ethernet* (GbE), omogućuje prijenosne brzine do 1 Gbit/s (norma uvedena 1998. g.)
- ◆ *10 Gigabit Ethernet* (10GbE), omogućuje prijenosne brzine do 10 Gbit/s (norma uvedena 2006. g.)
- ◆ *100 Gigabit Ethernet* (100GbE), omogućuje prijenosne brzine do 100 Gbit/s (prve norme uvedene 2010. g., u razvoju)

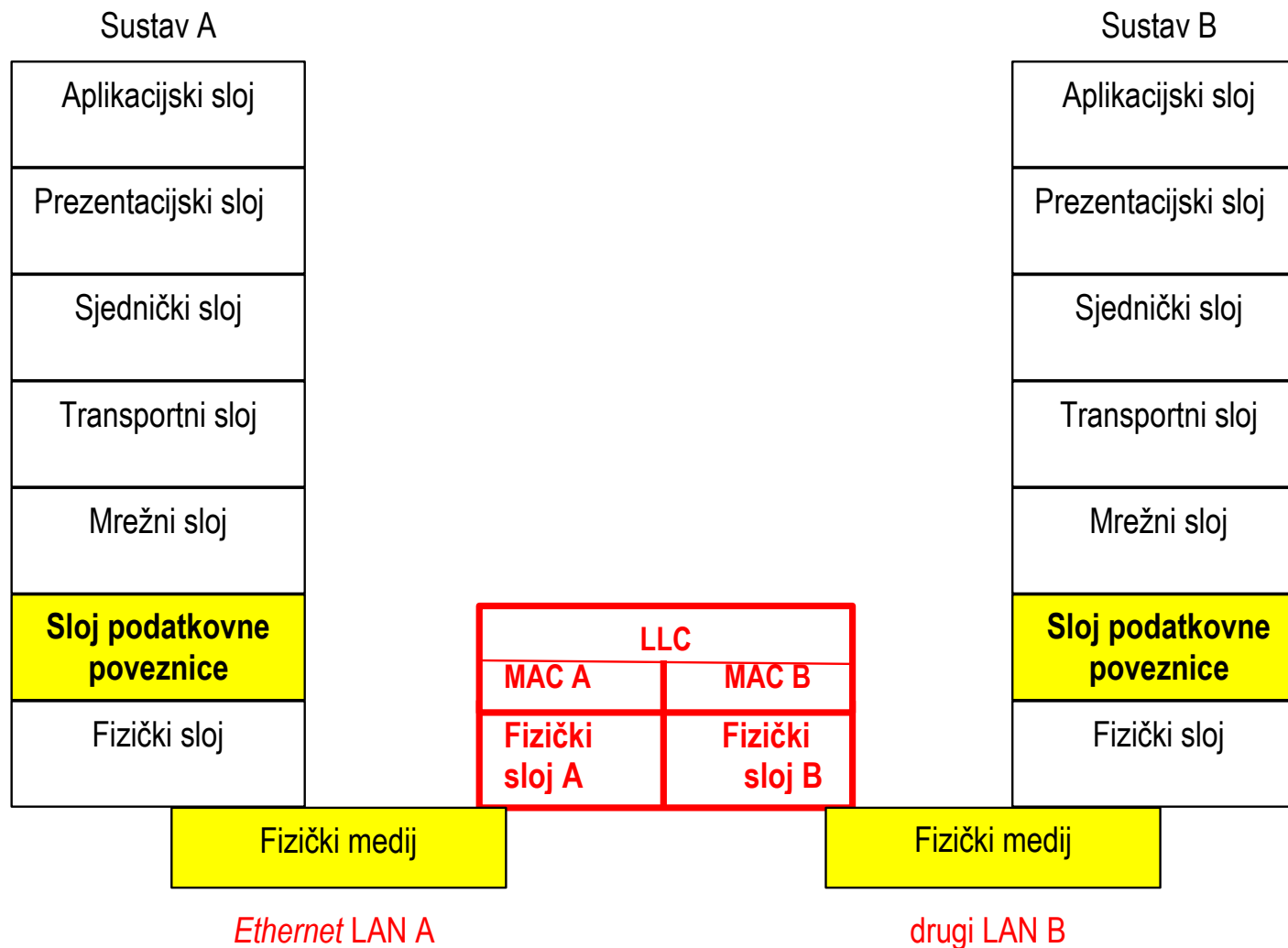


- ♦ uređaj koji povezuje stanice spojene paricom u lokalnu mrežu i obnavlja signal (nema dodatnog procesiranja, ograničenja proizlaze iz dijeljenja medija)
- ♦ fizička topologija zvijezde, a logička sabirnice
- ♦ u praksi se (uglavnom) više ne koriste – umjesto njih komutatori



*u praksi se (uglavnom)  
više ne koriste*

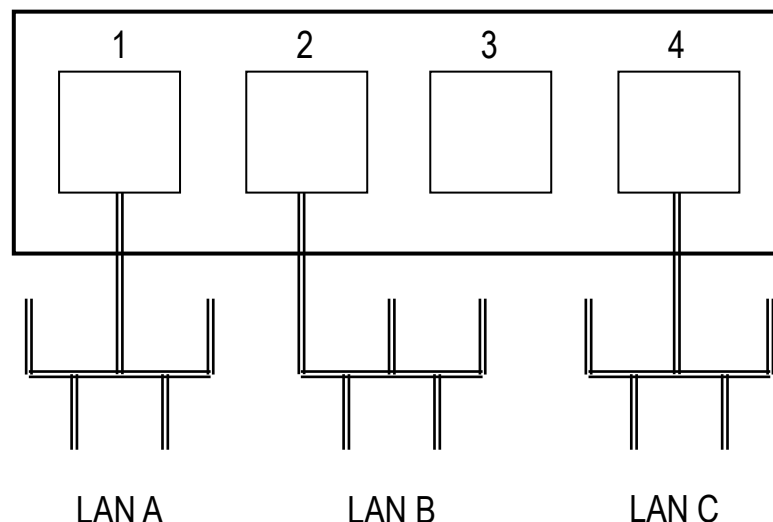




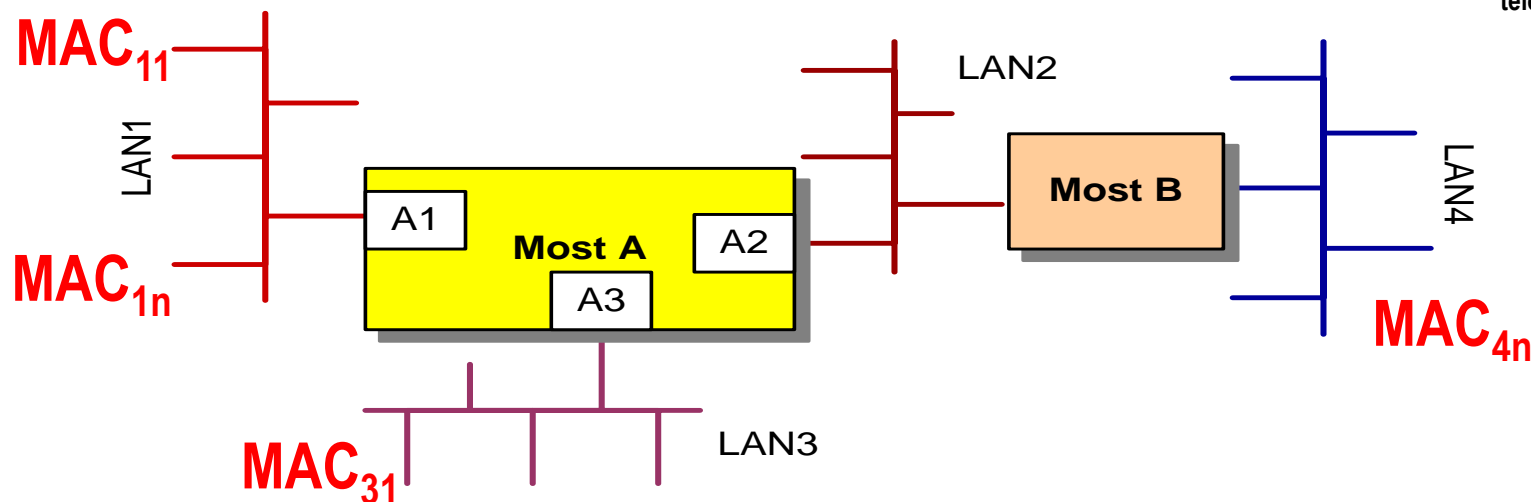
- ♦ uređaj sloja podatkovne poveznice koji omogućuje povezivanje lokalnih mreža različite ili iste izvedbe te različitih ili istih brzina prijenosa
- ♦ najčešće provodi prosljeđivanje okvira na temelju MAC-adrese



- ◆ razdvaja domene sudara - svaka lokalna mreža zasebna je domena sudara
  - sudar moguć samo unutar iste mreže
- ◆ ne razdvaja domene razašiljanja
  - svim se stanicama u svim mrežama razašilju okviri

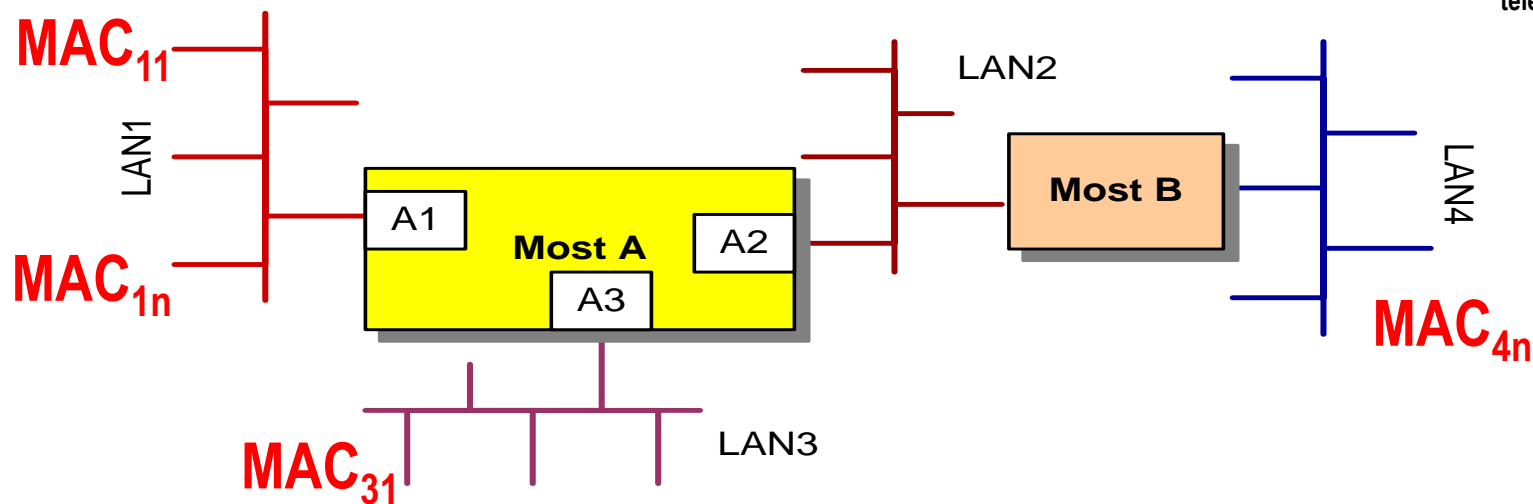


# Most - načelo rada i osnovne funkcije (1)



- ◆ **Most održava tablicu prosljeđivanja:**
  - Par: broj fizičkog priključka, MAC-adresa
- ◆ **Učenje:**
  - ažuriranje tablice prosljeđivanja na temelju informacije o izvorišnoj MAC-adresi okvira i broju fizičkog priključka na koji je stigao, npr. (A1, MAC<sub>11</sub>)

# Most - načelo rada i osnovne funkcije (2)

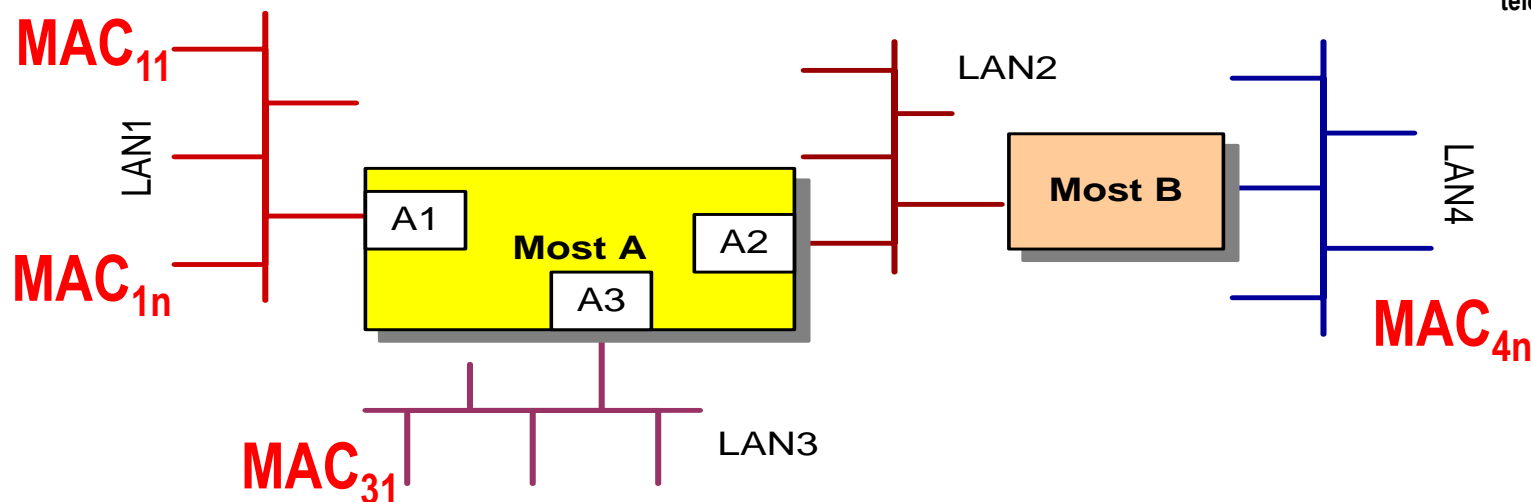


## ◆ Filtriranje

- odabir fizičkog priključka na koji će se proslijediti primljeni okvir
- provjerava se postoji li zapis u tablici koji odgovara odredišnoj MAC-adresi okvira
- ako je primljeni okvir namijenjen stanici u istom LAN-u, uklanja ga se iz spremnika i ne prosljeđuje (npr. od  $MAC_{11}$  za  $MAC_{1n}$  u LAN1 spojen na fizički priključak A1)

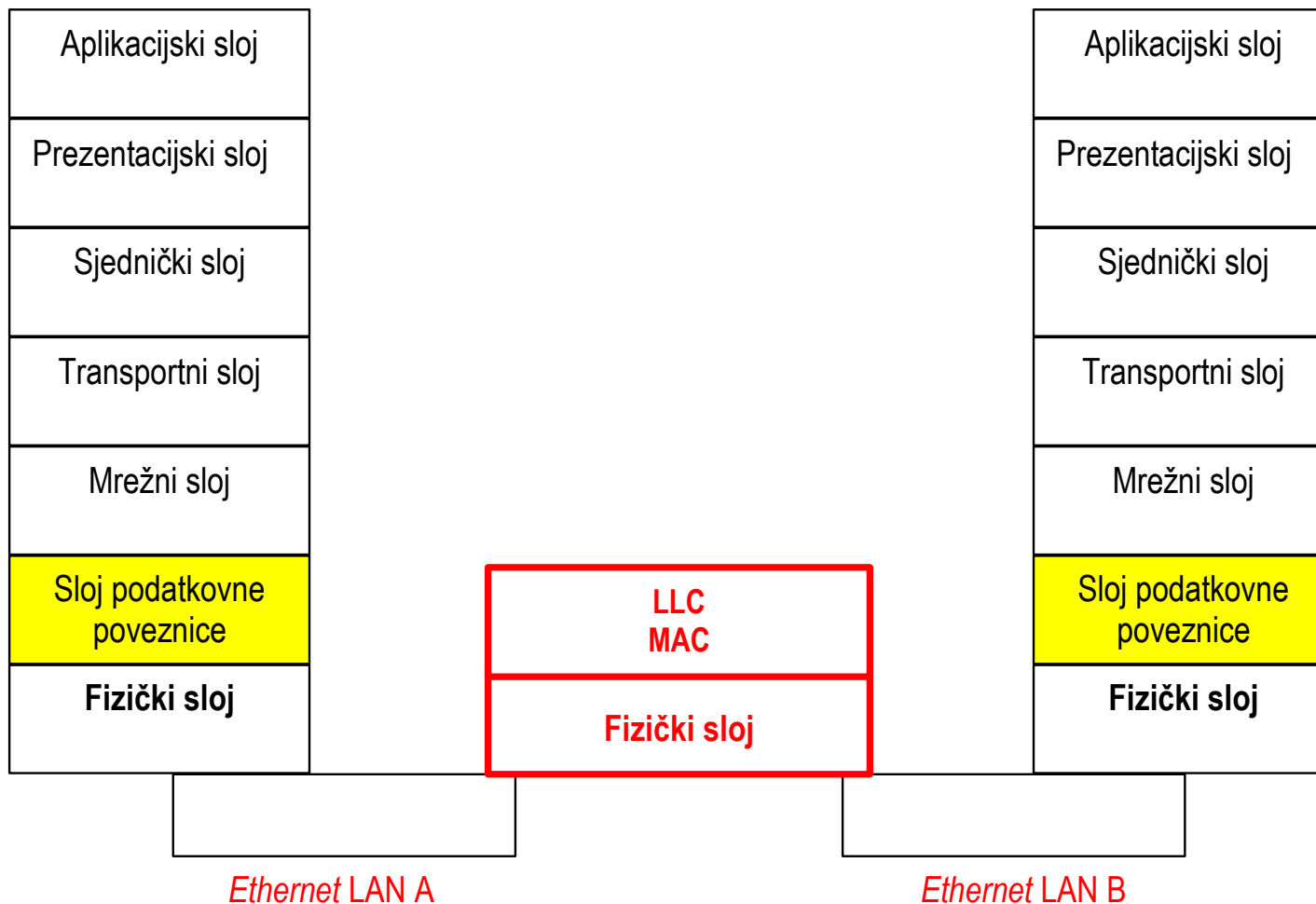


# Most - načelo rada i osnovne funkcije (3)



## ◆ Prosljeđivanje:

- slanje okvira na odabrani fizički priključak
- ako se filtriranjem utvrdi da postoji zapis u tablici koji sadrži odredišnu MAC-adresu (npr.  $MAC_{31}$ , A3), primljeni okvir (npr. od  $MAC_{11}$  na A1) se prosljeđuje na taj fizički priključak (A3)
- ako zapis ne postoji (npr. za  $MAC_{4n}$  u LAN4) primljeni se okvir prosljeđuje na sve fizičke priključke, osim onog preko kojeg je primljen (dakle, na A2 i A3)

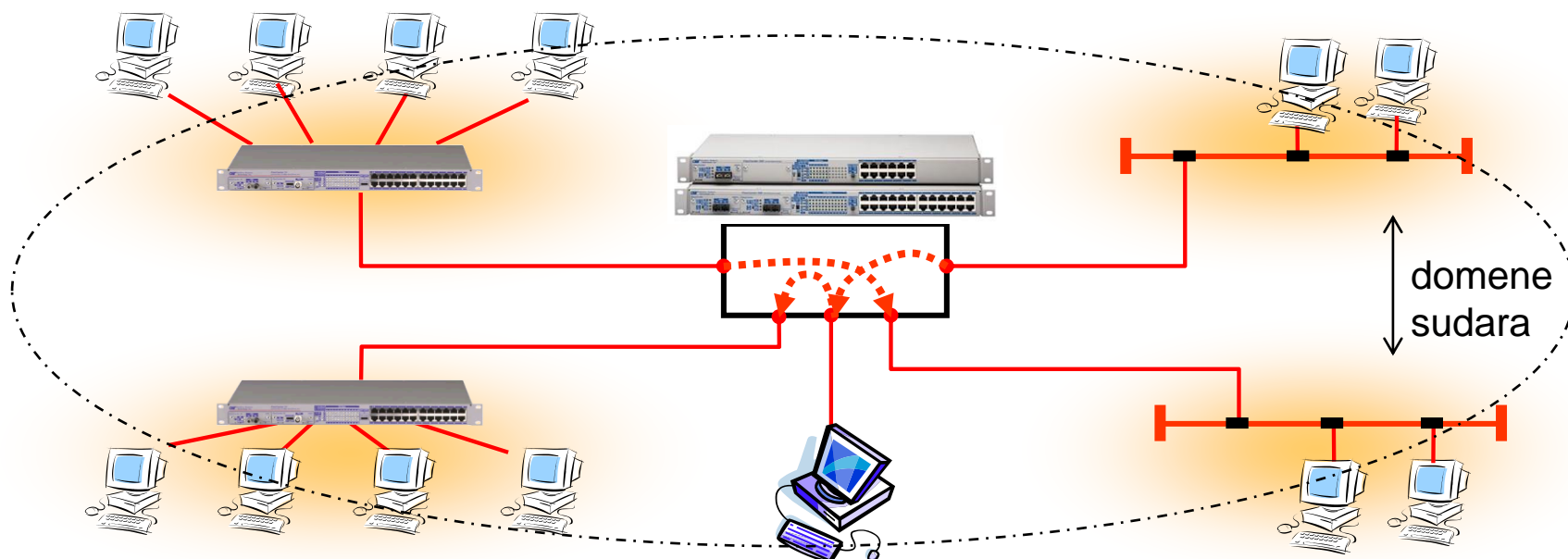


- ♦ uređaj sloja podatkovne poveznice koji omogućuje povezivanje istovrsnih lokalnih mreža istih ili različitih brzina prijenosa
- ♦ prosljeđivanje okvira na temelju MAC-adrese
- ♦ održava tablicu komutiranja na načelu kojim most održava tablicu prosljeđivanja
- ♦ funkcije učenja, filtriranja i prosljeđivanja riješene sklopovski



Rješenje koje se primjenjuje u današnjim lokalnim mrežama:

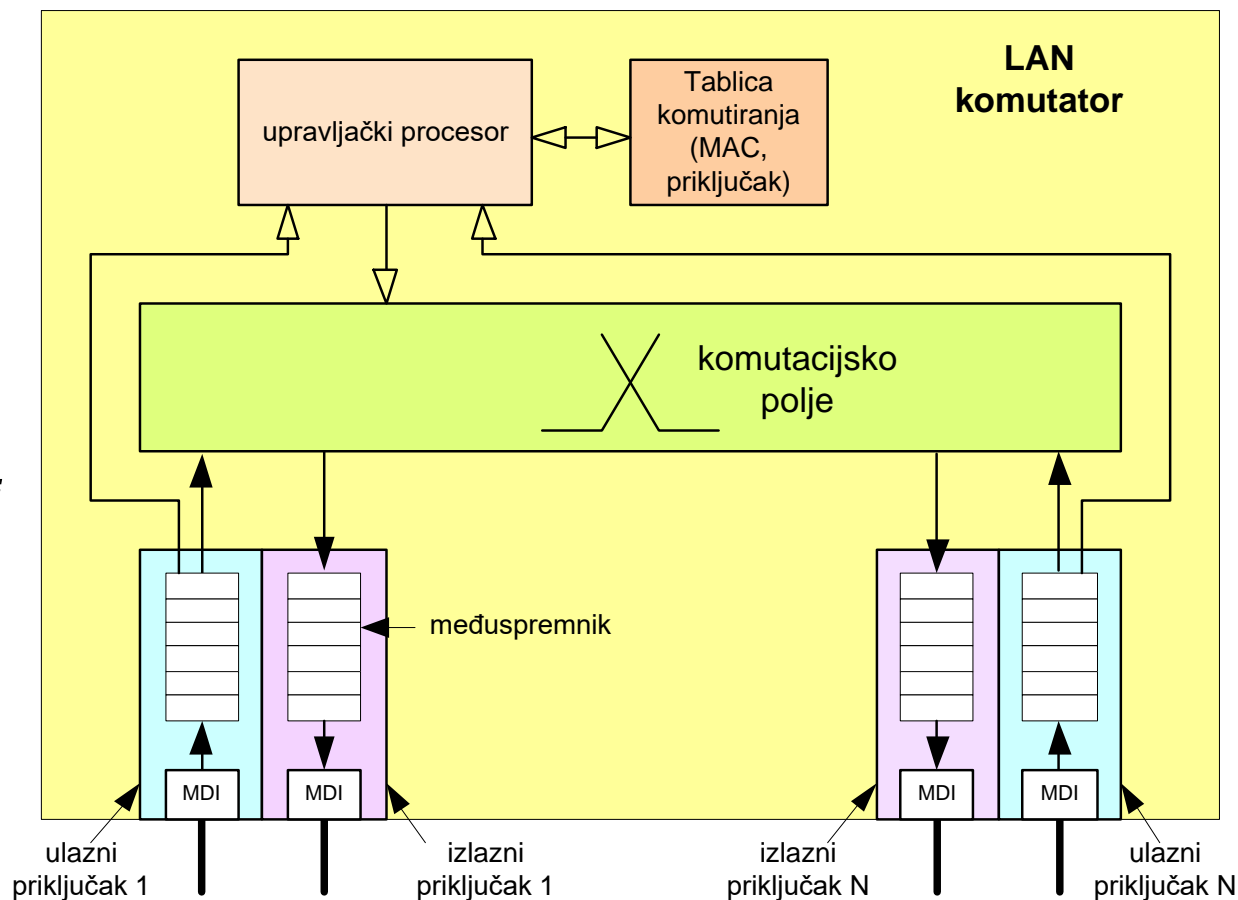
- ◆ razdvaja domene sudara - svaka mreža zasebna je domena sudara
  - sudar moguć samo unutar jedne mreže
- ◆ ne razdvaja domene razašiljanja
  - svim se stanicama u svim mrežama razašilju okviri
- ◆ LAN-komutatori mogu se međusobno povezivati



- ◆ Ulazni repovi

- metoda *spremi pa proslijedi*
- metoda *pročitaj adresu pa proslijedi*

- ◆ Dijeljeni izlazni rep



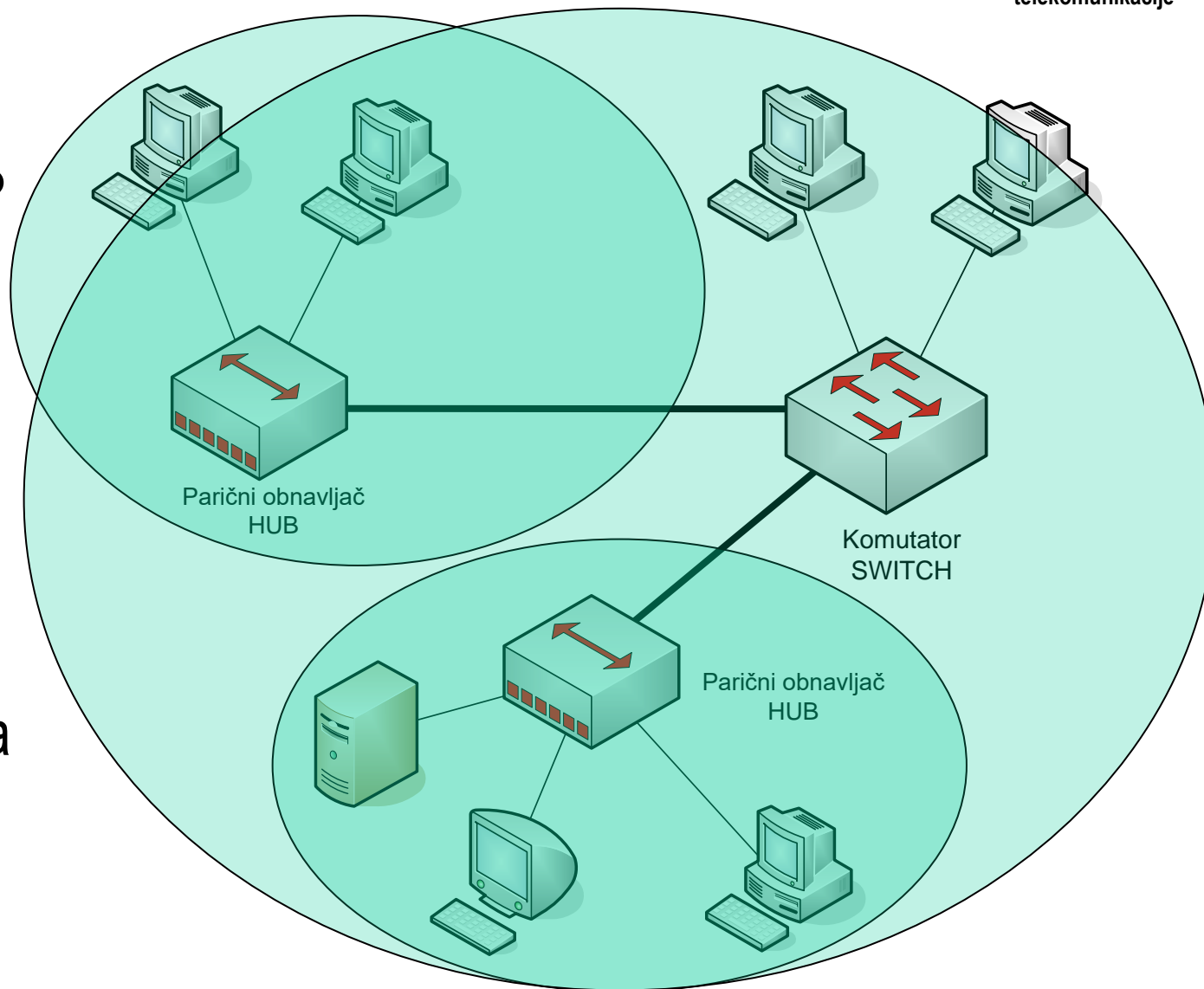
Fizički priključak: MDI (*Medium Dependent Interface*)

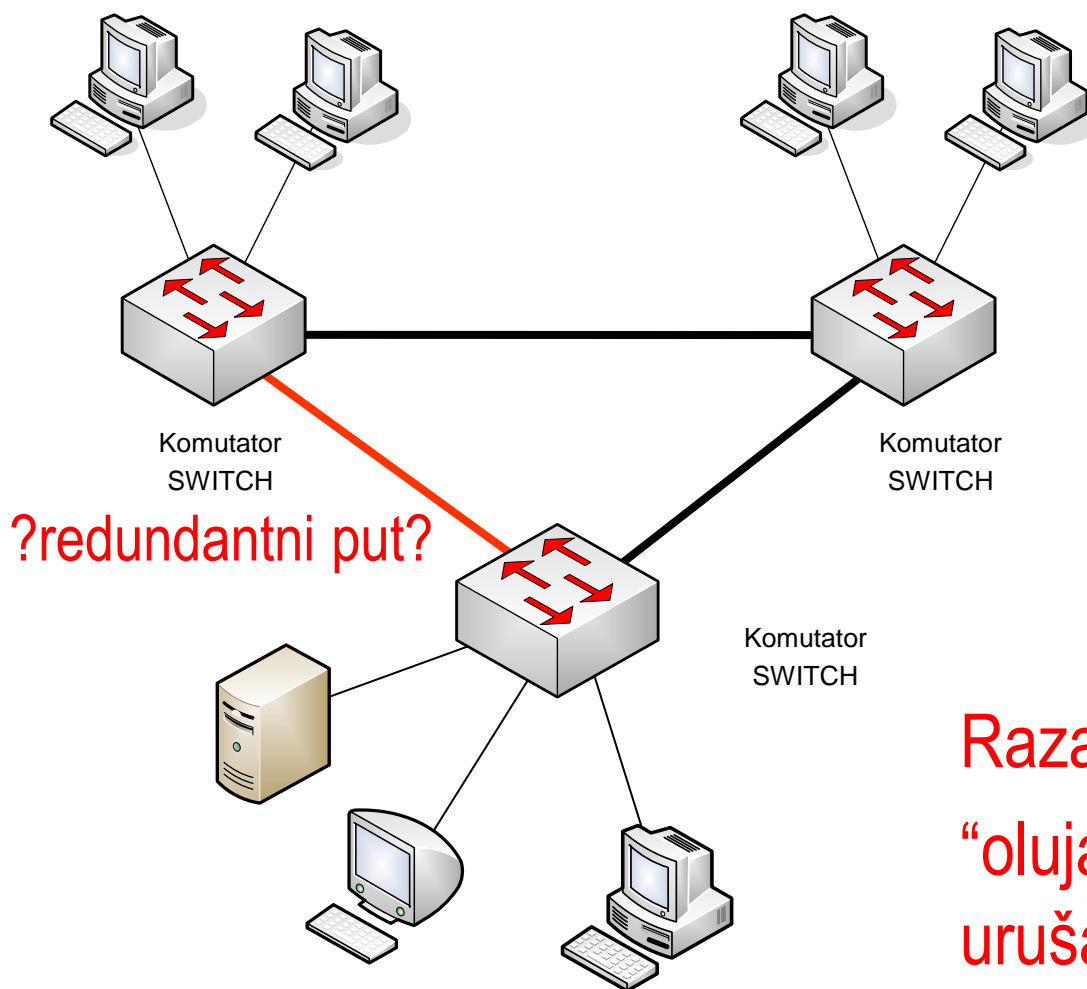
- ♦ u današnjim lokalnim mrežama koristi se komutirana topologija (engl. *switched*)
- ♦ poludvosmjerni način prijenosa zamijenjen je dvosmjernim prijenosom - višestruki pristup (CSMA/CD) više nije potreban
- ♦ postupak CSMA/CD podržan radi kompatibilnosti “prema natrag”
- ♦ najveća udaljenost između stanica - ovisna o prijenosnom mediju, a ne o protokolu
- ♦ pregovaranje o mogućnostima stanica (različite brzine, dvosmjerni/poludvosmjerni prijenos podataka)

Primjer: KM-2015\_06\_dodatak\_LAN-komutator.swf

Koliko domena  
sudara postoji?

Koliko domena  
razašiljanja  
postoji?





Zašto nije dopušteno  
povezivanje LAN-  
komutatora u petlju?

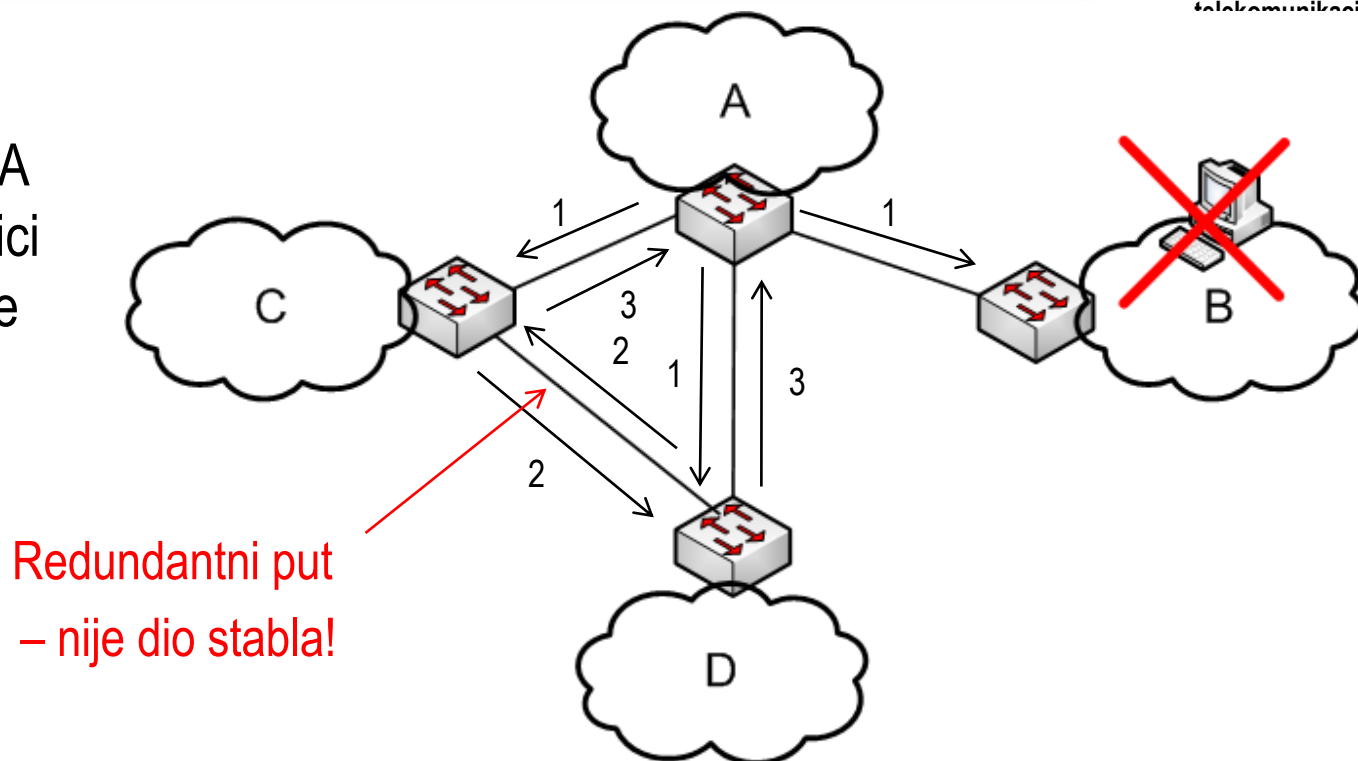
Razašiljanja se umnožavaju:  
“oluja” razaašiljanja - praktički  
urušava mrežu!



# Problem redundantnih putova (petlji)

Primjer:

stanica u mreži A  
šalje okvir stanici  
u mreži B koja je  
nedostupna



- ◆ komutator u mreži A nema zapis u tablici komutiranja pa prosljeđuje okvire prema susjednim komutatorima u mrežama B, C i D
- ◆ komutatori u mrežama C i D također nemaju zapis za tu stanicu, pa prosljeđuju okvire  $C \rightarrow D$ ,  $D \rightarrow C$ , zatim  $C \rightarrow A$  i  $D \rightarrow A$ , pa opet A prema ... - stvara se petlja općeg razasijanja (*broadcast*)

## Protokol *Spanning Tree Protocol* (STP)

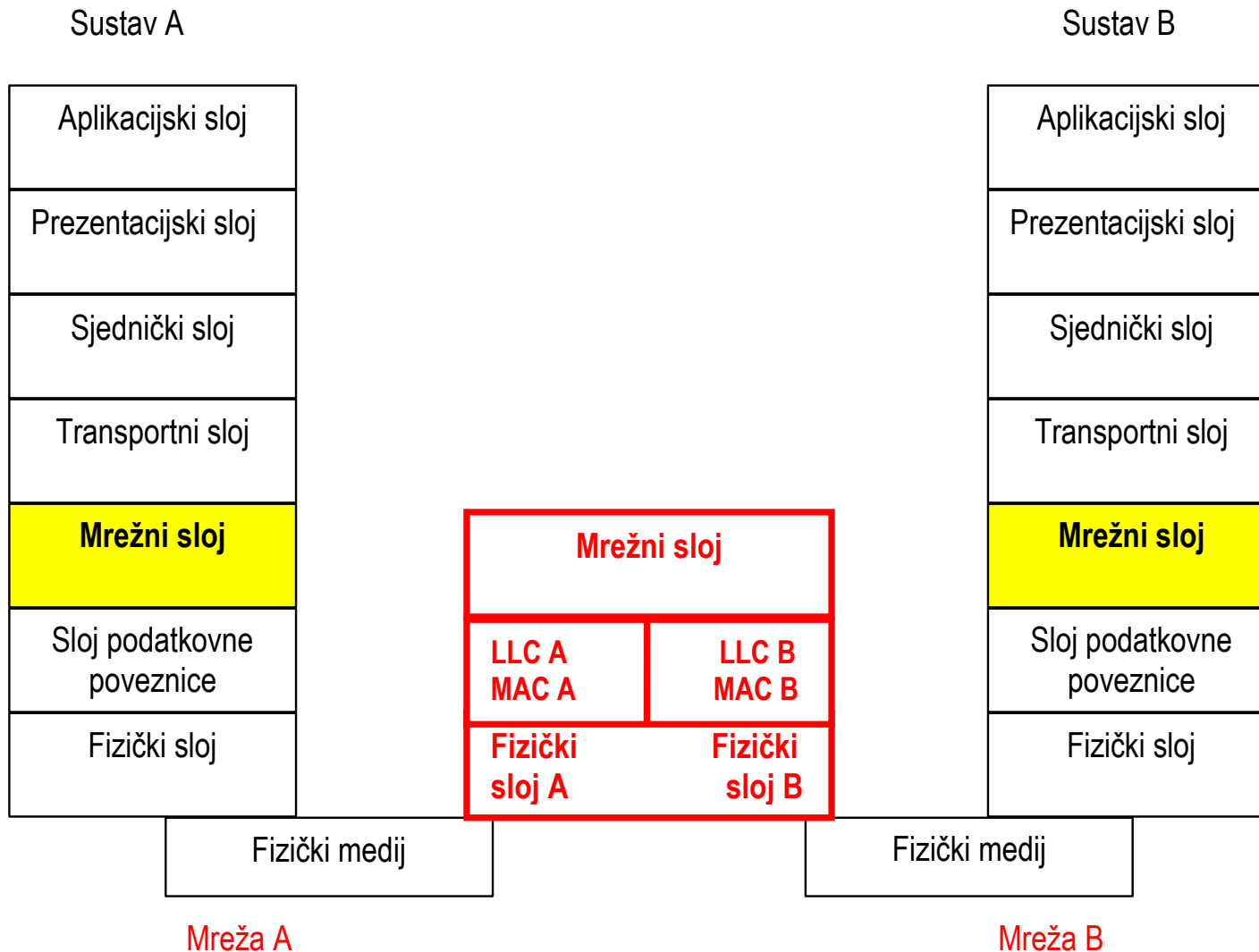
- ◆ definiran normom IEEE 802.1D
- ◆ koristi algoritam razapinjućeg stabla (engl. *spanning tree*):
  - generira se stablasta logička topologija mreže: između svaka dva čvora postoji samo jedan put preko aktivnih poveznica (npr. A-B, A-C, A-D), ostale poveznice su neaktivne (npr. C-D)
  - omogućuje otkrivanje kvara i oporavak mreže nakon kvara (npr. nakon prekida poveznice A-D, aktivira se redundantna poveznica C-D)

# Povezivanje u mrežnom sloju

## Mrežni sloj:

- ◆ generička arhitektura: usmjeritelj, usmjernik (engl. *router*)
- ◆ druge izvedbene arhitekture:
  - slično kao kod mostova, gdje se funkcije LAN-komutatora drugog sloja izvode sklopovski, za potrebe povezivanja u lokalnim mrežama primjenjuju se LAN-komutatori trećeg sloja (engl. *L3 switch*) sa sklopovski izvedenim funkcijama prosljeđivanja paketa

## Svi primjeri: IP-mreža



## Uređaj mrežnog sloja:

- ◆ razdvaja domene sudara okvira - svaka mreža zasebna je domena sudara
- ◆ razdvaja domene razašiljanja okvira - svaka mreža zasebna je domena razašiljanja
- ◆ usmjeritelji se mogu međusobno povezivati

## U Internetu i drugim IP-mrežama:

- ◆ usmjerava i prosljeđuje datagrame

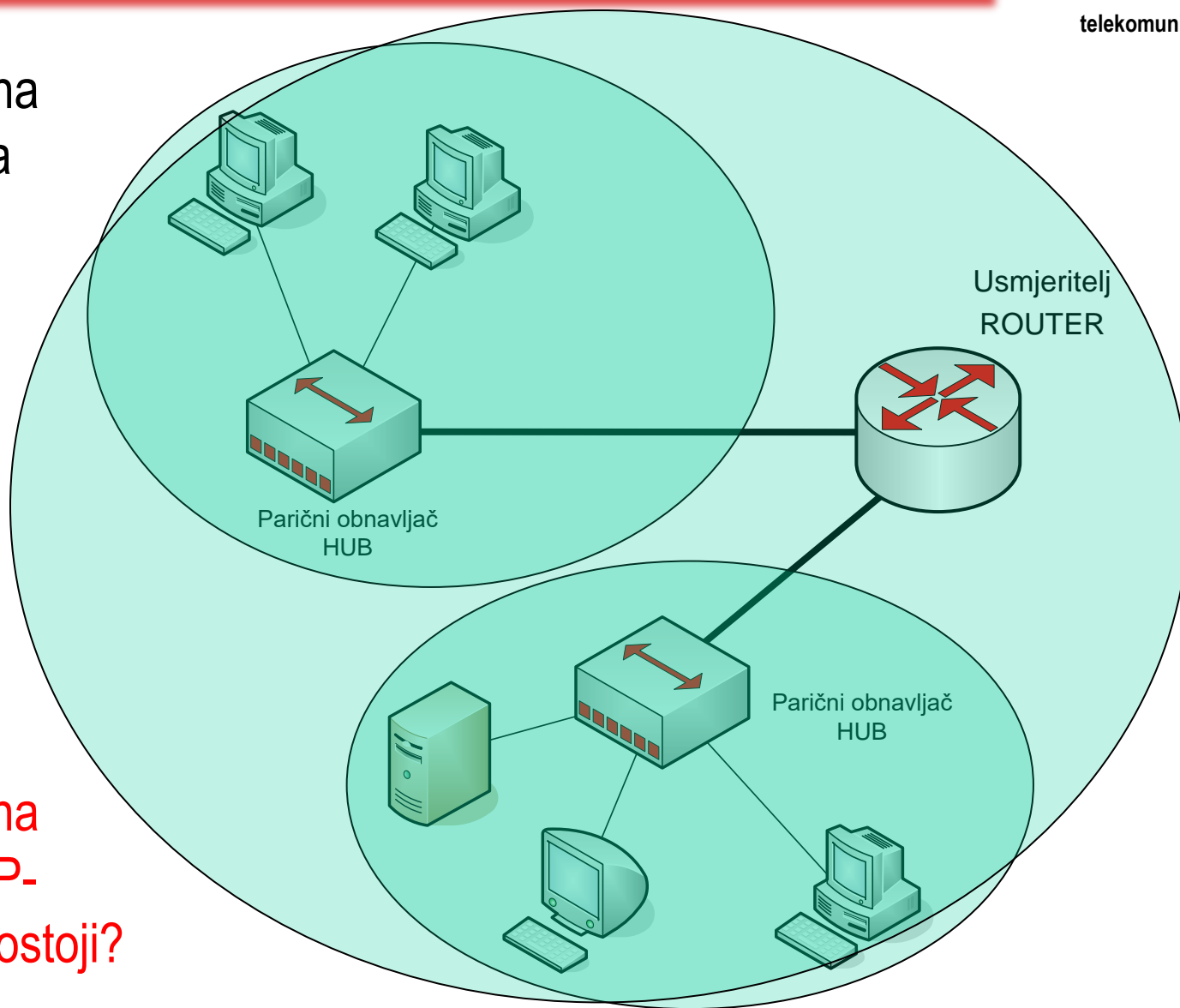


# Povezivanje s usmjeriteljem (1)

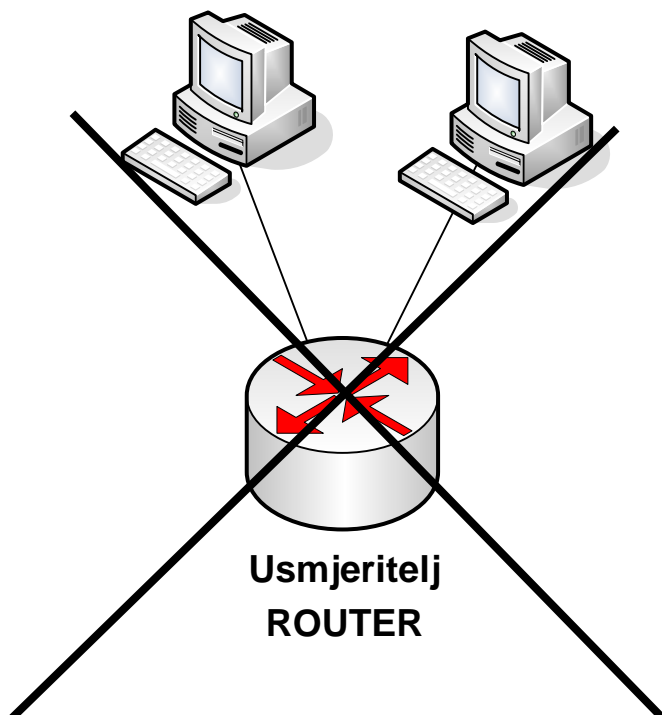
Koliko domena  
sudara okvira  
postoji?

Koliko  
domena  
razašiljanja  
okvira  
postoji?

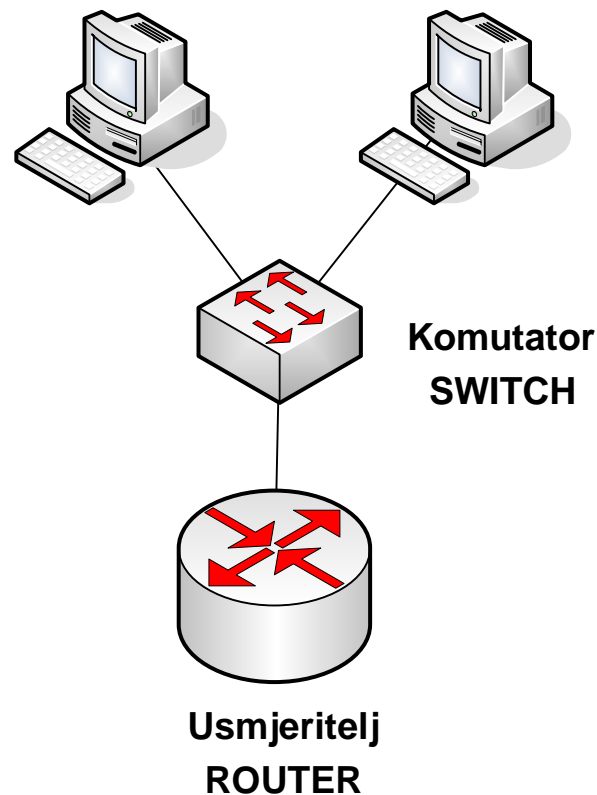
Koliko domena  
razašiljanja IP-  
datagrama postoji?



“Mitska” topologija



Realna topologija



Ustanovite razloge zbog kojih se u mrežama ne primjenjuje “mitska”, već realna topologija!