



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Fakultet
elektrotehnike i
računarstva

Preddiplomski studij

Računarstvo

Komunikacijske mreže

1.

Uvod u komunikacijske mreže i
osnove arhitekture mreža

Ak.g. 2023./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.

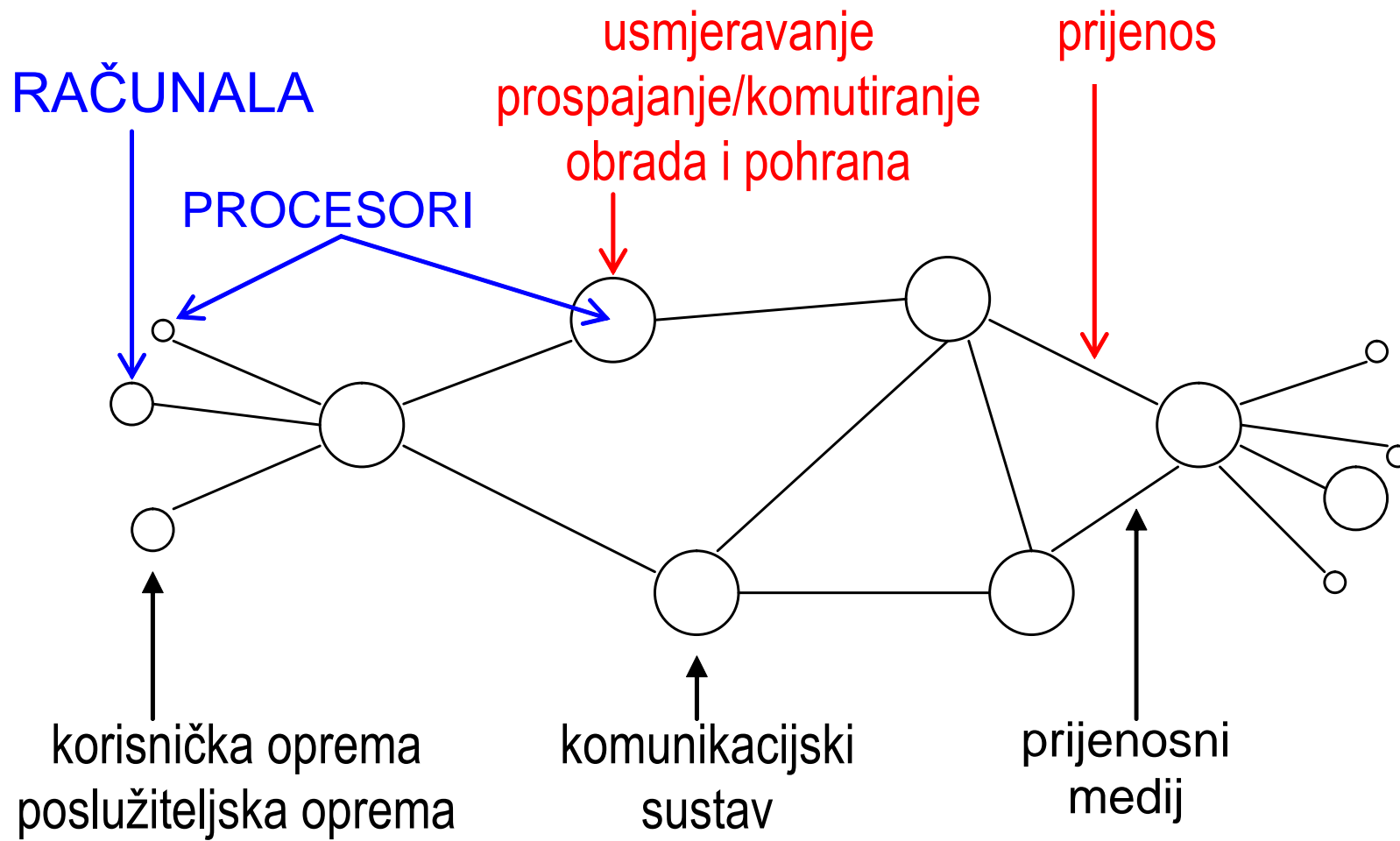
Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava. Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

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

- ◆ Vrste mreža
- ◆ Komunikacijski kanal i informacijski paket
- ◆ Arhitektura mreže
- ◆ Slojeviti modeli
 - Referentni model povezivanja otvorenih sustava (OSI)
 - Internetski model (TCP/IP)
- ◆ Mrežne performanse
- ◆ Normizacija

- ◆ Komunikacijsku mrežu čine međusobno povezani komunikacijski sustavi na koje se spaja korisnička oprema (komunikacijska, računalna) i druga oprema potrebna za pružanje informacijskih i komunikacijskih usluga te potporu aplikacija korisnicima (poslužiteljska računala i drugi sustavi).
- ◆ Mreža se može predložiti grafički čiji čvorovi odgovaraju sustavima (računalnim, komunikacijskim), a grane prijenosnim medijima koji ih međusobno povezuju.

MREŽA RAČUNALA



Klasifikacijski kriteriji:

- ◆ Rasprostranjenost (područje na kojem se prostire)
- ◆ Namjena (javna/privatna)
- ◆ Vrsta informacije – medij (govor, podatak, slika,)
- ◆ Način komuniciranja (kanal, paket)
- ◆ Topologija (povezanost čvorova)
- ◆ Pokretljivost korisnika (da/ne)

- ◆ mreža širokog područja
(engl. *Wide Area Network*, WAN)
- ◆ metropolitanska ili gradska mreža
(engl. *Metropolitan Area Network*, MAN)
- ◆ lokalna mreža
(engl. *Local Area Network*, LAN)
- ◆ ostale:
 - kućna mreža (engl. *Home Network*)
 - osobna mreža (engl. *Personal Area Network*, PAN)
 - tjelesna mreža (engl. *Body Area Network*, BAN)
 - ...

- ◆ javna mreža (engl. *public network*)
 - dostupna korisnicima s ugovornim odnosom s mrežnim operatorom (engl. *network operator*)

- ◆ privatna mreža (engl. *private network*)
 - namijenjena ograničenoj skupini korisnika unutar iste zajednice
 - akademska i istraživačka mreža (engl. *Academic Research Network*, ARN)
 - korporacijska mreža (engl. *corporate network*)

Od:

- ◆ govor (npr. telefonska mreža)
- ◆ podatak (npr. Internet)
- ◆ slika (npr. kabelska televizija)

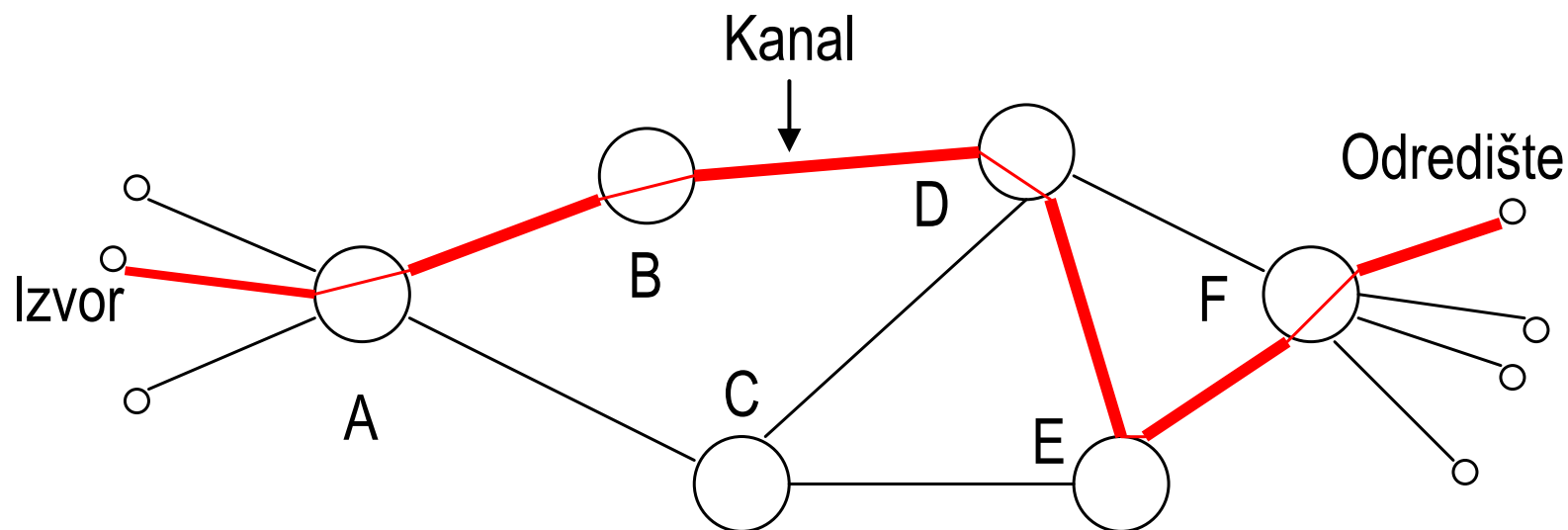
Prema:

- ◆ više vrsta informacije – više medija objedinjeno istom mrežom (engl. *multimedia*),
- ◆ više usluga u istoj mreži (engl. *multiservice*), uz
- ◆ međusobno povezivanje raznovrsnih mreža

Komunikacijski kanal

- ♦ put kroz mrežu između izvora i odredišta određenog kapaciteta (bit/s) koji se dodjeljuje na zahtjev (npr. pozivanjem), ili trajno (npr. najmom), zauzet cijelo vrijeme trajanja komunikacije
- ♦ **prednost:** prikladno za kontinuirani protok informacija u stvarnom vremenu, npr. kod razgovora, kad je važno održati vremenske uvjete komuniciranja kako se ne bi ugrozila razumljivost zbog prevelikog kašnjenja ili promjene kašnjenja
- ♦ **nedostatak:** neučinkovito, jer se dodijeljeni kapacitet zauzima (i naplaćuje) neovisno o tome da li se i koliko informacije prenosi

engl. *circuit switched network*



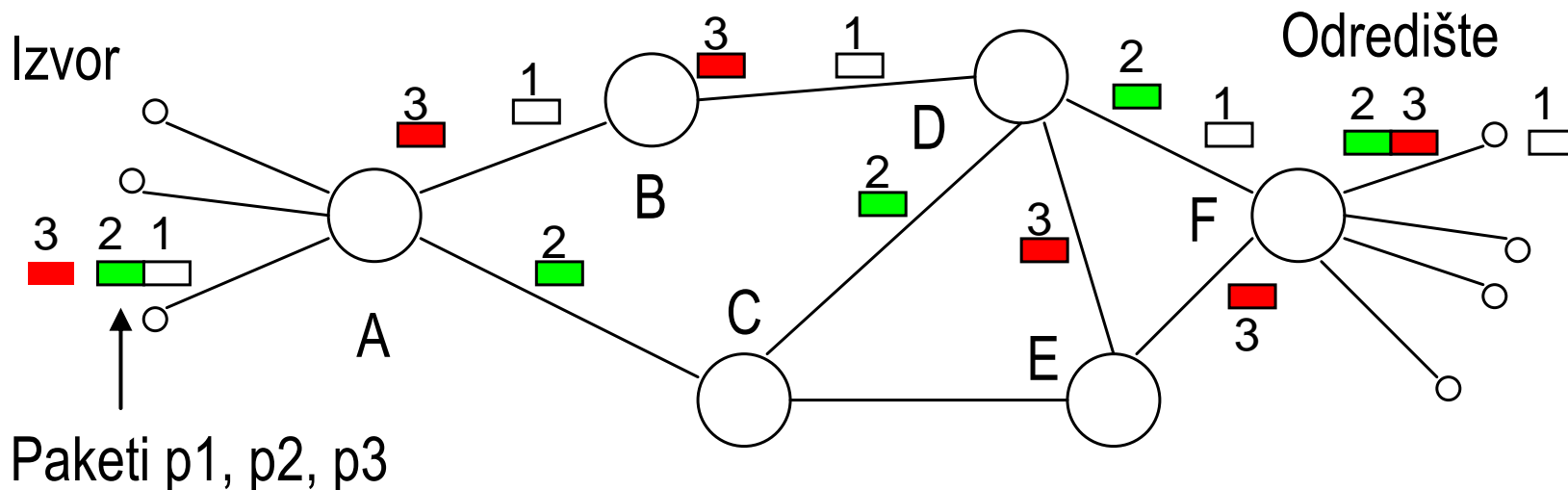
(Informacijski) paket

- ◆ informacija se dijeli na blokove kojima se dodaje zaglavlje s adresom na temelju koje ih se usmjerava od izvora do odredišta, i drugom upravljačkom informacijom
- ◆ **prednost:** mreža se zauzima samo tijekom prijenosa paketa, a broj i veličina paketa može se prilagoditi količini informacije; u razdobljima kad jedan izvor ne odašilje pakete, mogu se prenositi paketi iz drugih izvora.
- ◆ **nedostatak:** teže održati vremenske uvjete komuniciranja (kašnjenje i promjena kašnjenja); dio kapaciteta se troši na prijenos upravljačke informacije - zaglavlja paketa

engl. *packet switched network*

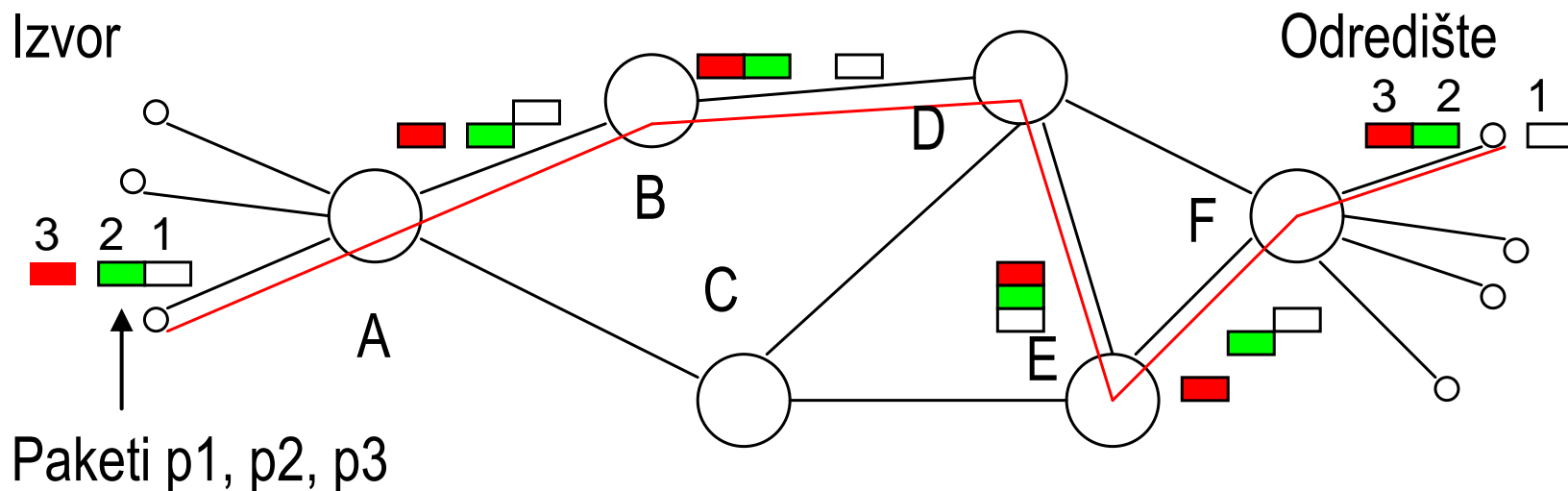
Usmjeravanje paketa (engl. *routing*):

- ◆ datagramski
- ◆ virtualni kanal



Svaki paket usmjerava se zasebno kroz mrežu, od izvora prema odredištu, pri čemu se može dogoditi da paketi prolaze različitim putovima; takav paket naziva se **datagram**.

Ovako radi Internet!



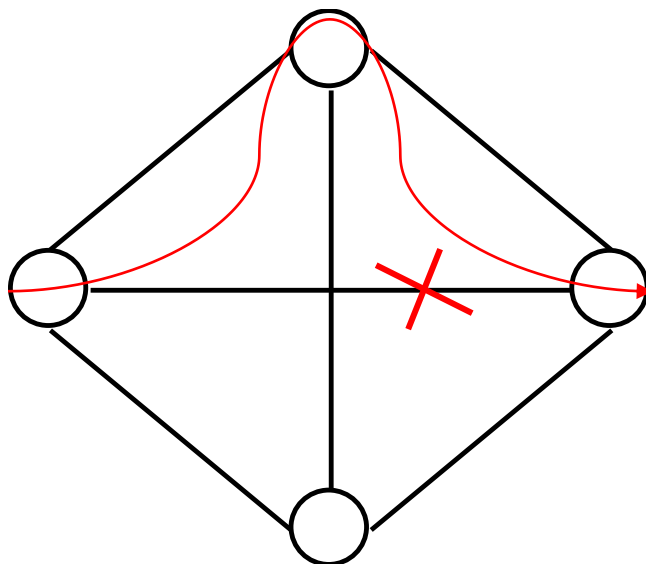
Najprije se određuje put kojim će se paketi usmjeravati kroz mrežu od izvora do odredišta, a zatim se svi paketi usmjeravaju tim istim putem, a što se naziva **virtualnim kanalom** (engl. *virtual circuit*).

Regularne topologije:

- ♦ potpuna povezanost (engl. *fully connected*)
- ♦ zvijezda (engl. *star*)
- ♦ sabirnica (engl. *bus*)
- ♦ prsten (engl. *ring*)
- ♦ stablo (engl. *tree*)

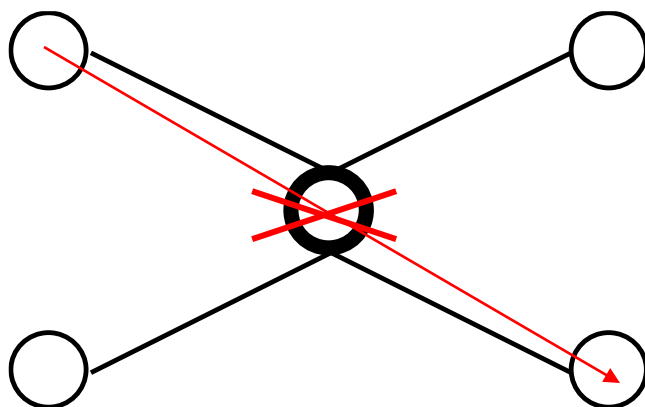
Ostale topologije:

- ♦ nepotpuna povezanost
- ♦ međusobno povezane različite regularne topologije



Izravna povezanost svaka dva čvora u mreži

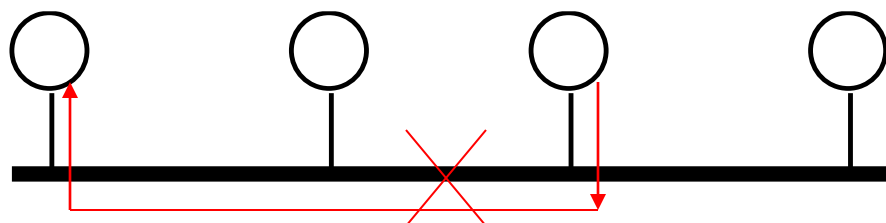
- ◆ jednostavno prospajanje i usmjeravanje informacijskih tokova
- ◆ otpornost na kvarove - pri prekidu grane između dva čvora može ostvariti alternativni put preko ostalih čvorova
- ◆ primjena: umjereni broj čvorova i/ili ograničeno područje zbog troškova povezivanja (manje mreže)



Središnji čvor na koji su spojeni svi ostali čvorovi posreduje pri komunikaciji između njih

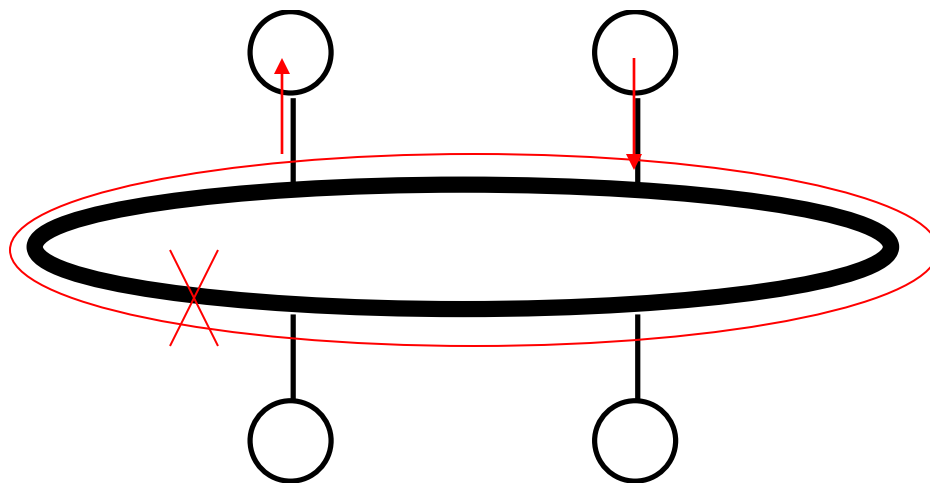
- ◆ smanjen broj grana u mreži
- ◆ osjetljivost na kvarove - ispad središnjeg čvora onemogućuje ikakvu komunikaciju
- ◆ primjena: ograničeno područje (lokalna mreža, priključak korisnika na mrežu)

Svi čvorovi priključeni na
zajednički prijenosni medij



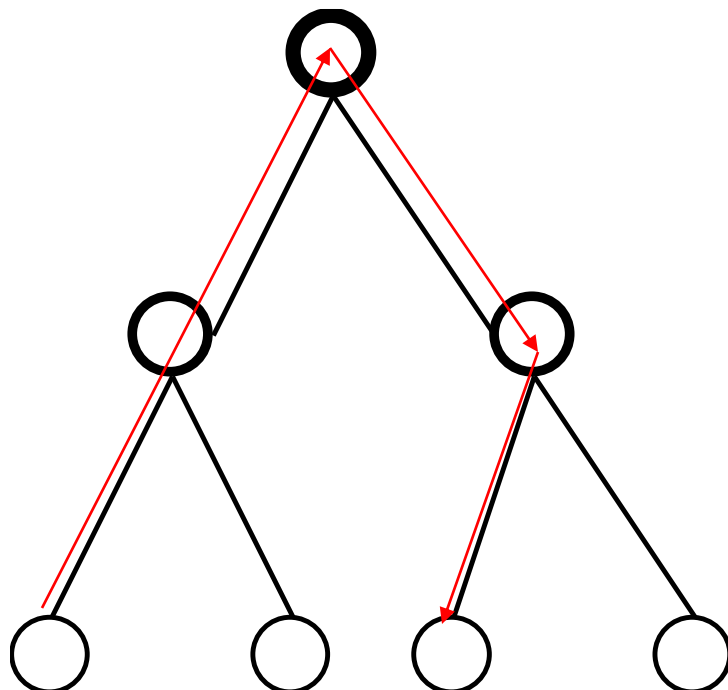
- ♦ potrebni posebni mehanizmi dodjele prava komuniciranja pojedinom čvoru
- ♦ osjetljivost na kvarove - prekid onemogućuje komunikaciju
- ♦ primjena: lokalna mreža

Svi čvorovi priključeni na
zajednički prijenosni medij koji
stvara zatvoreni put



- ♦ potrebni posebni mehanizmi dodjele prava komuniciranja pojedinom čvoru
- ♦ osjetljivost na kvarove - prekid prstena onemogućuje komunikaciju
- ♦ primjena: mreže velikog kapaciteta (optičke mreže)

Hijerarhijska struktura



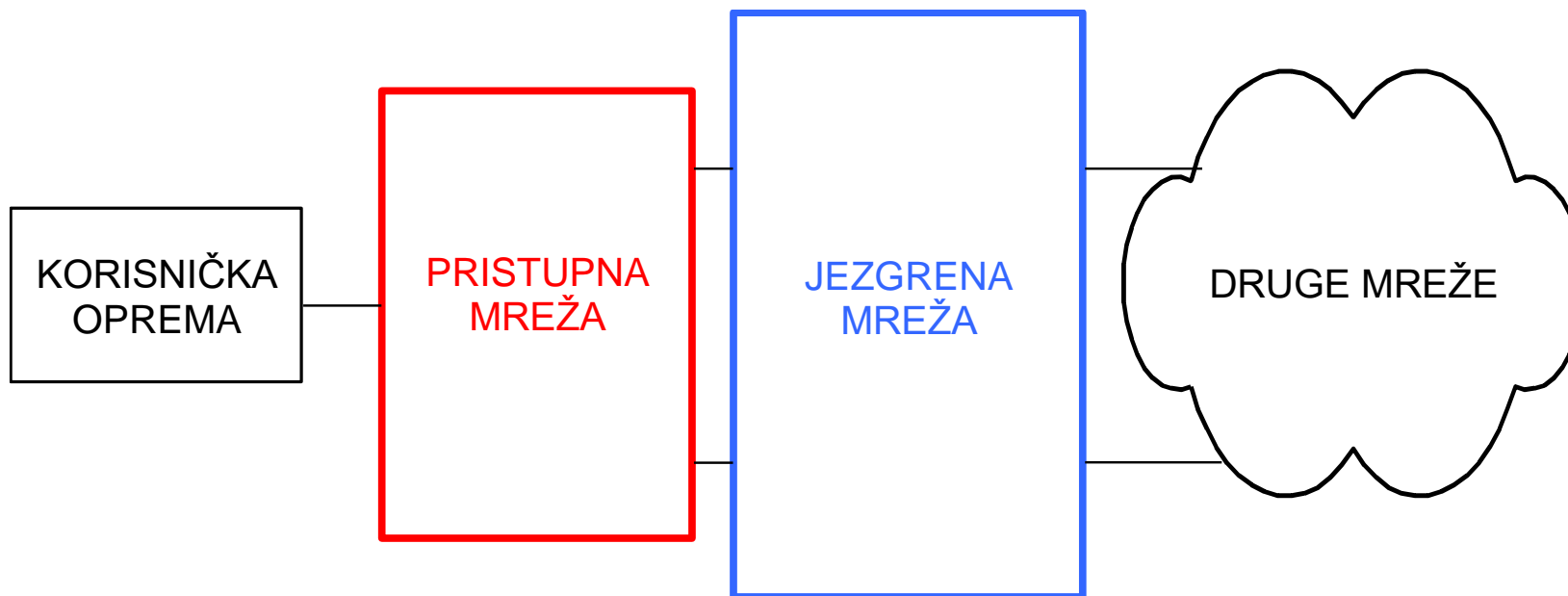
- ◆ komunikacija nadređenog i njemu podređenog čvora je izravna, a svaka druga zahtijeva posredovanje jednog ili više čvorova
- ◆ primjena: međunarodna - nacionalna - regionalna - lokalna povezanost

Dijelovi mreže:

- ◆ pristupna mreža (engl. *access network*) preko koje se priključuju korisnici
- ◆ jezgrena mreža (engl. *core network*) koja povezuje sustave u pristupnoj mreži te omogućuje komunikaciju s drugim mrežama

Slojevi mreže:

- ◆ vertikalna podjela funkcija po slojevima (engl. *layer*), od prijenosa informacije fizičkim medijem (najniži sloj), do usluga i primjena na raspolaganju korisnicima (najviši sloj)



Aplikacijski sloj, sloj primjene
.....
(N+1)-sloj
(N)-sloj
(N-1)-sloj
....
Fizički sloj

Vertikalna dekompozicija na slojeve

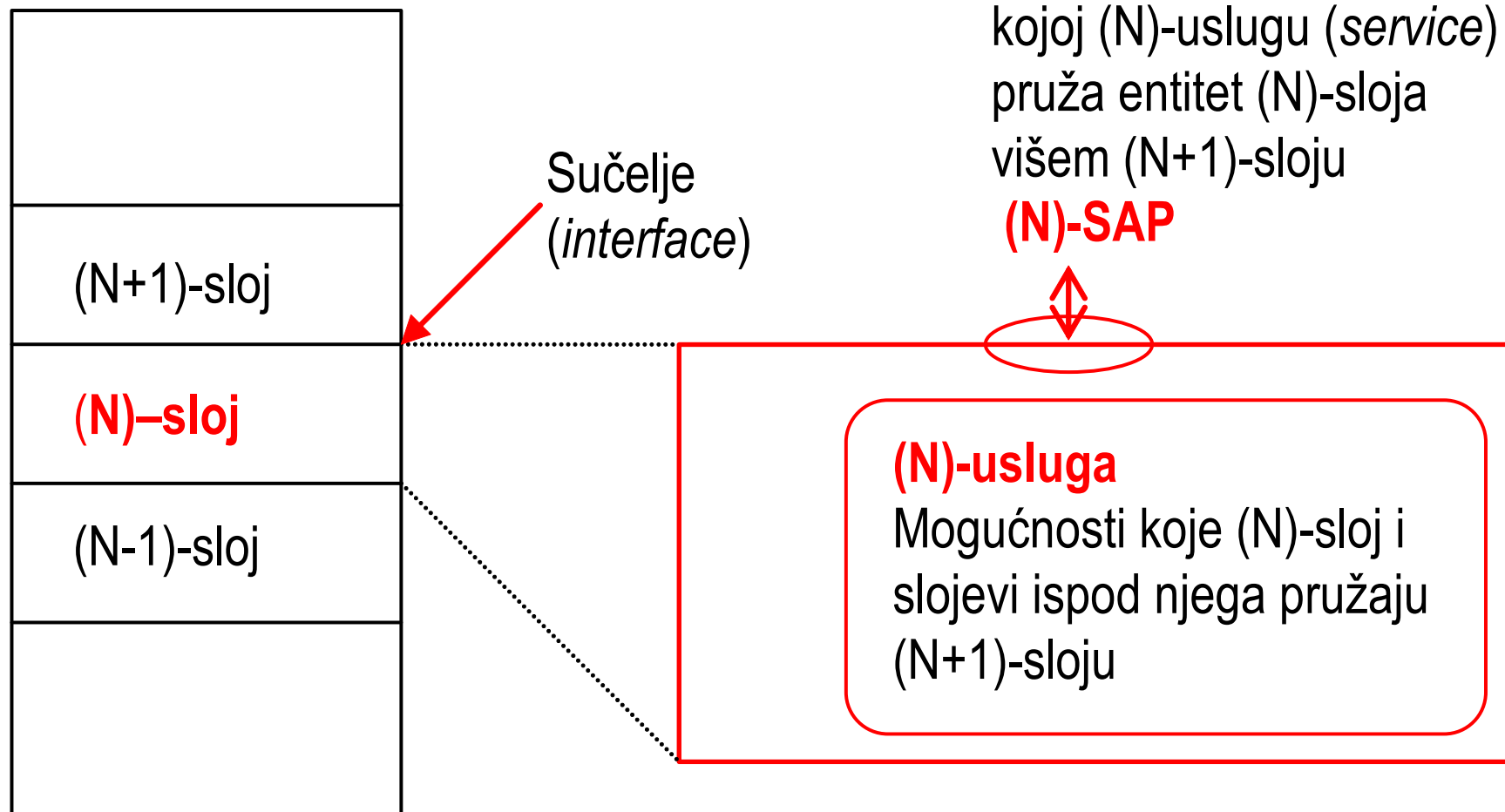
- ◆ svakom sloju dodjeljuju se funkcije i specificiraju sučelja sa susjednim slojevima kako bi viši sloj mogao koristiti **uslugu** nižeg sloja
- ◆ najviši je uvijek **aplikacijski** sloj koji predočuje primjene i usluge za korisnike
- ◆ najniži je uvijek **fizički sloj** koji omogućuje stvarni prijenos informacije fizičkim medijem

Namjena:

- ◆ definiranje koncepata i normiranje,
- ◆ utvrđivanje pravila povezivanja sustava u mrežu te mreža međusobno,
- ◆ stvaranje otvorenih rješenja, neovisnih o proizvođaču opreme ili mrežnom operatoru.

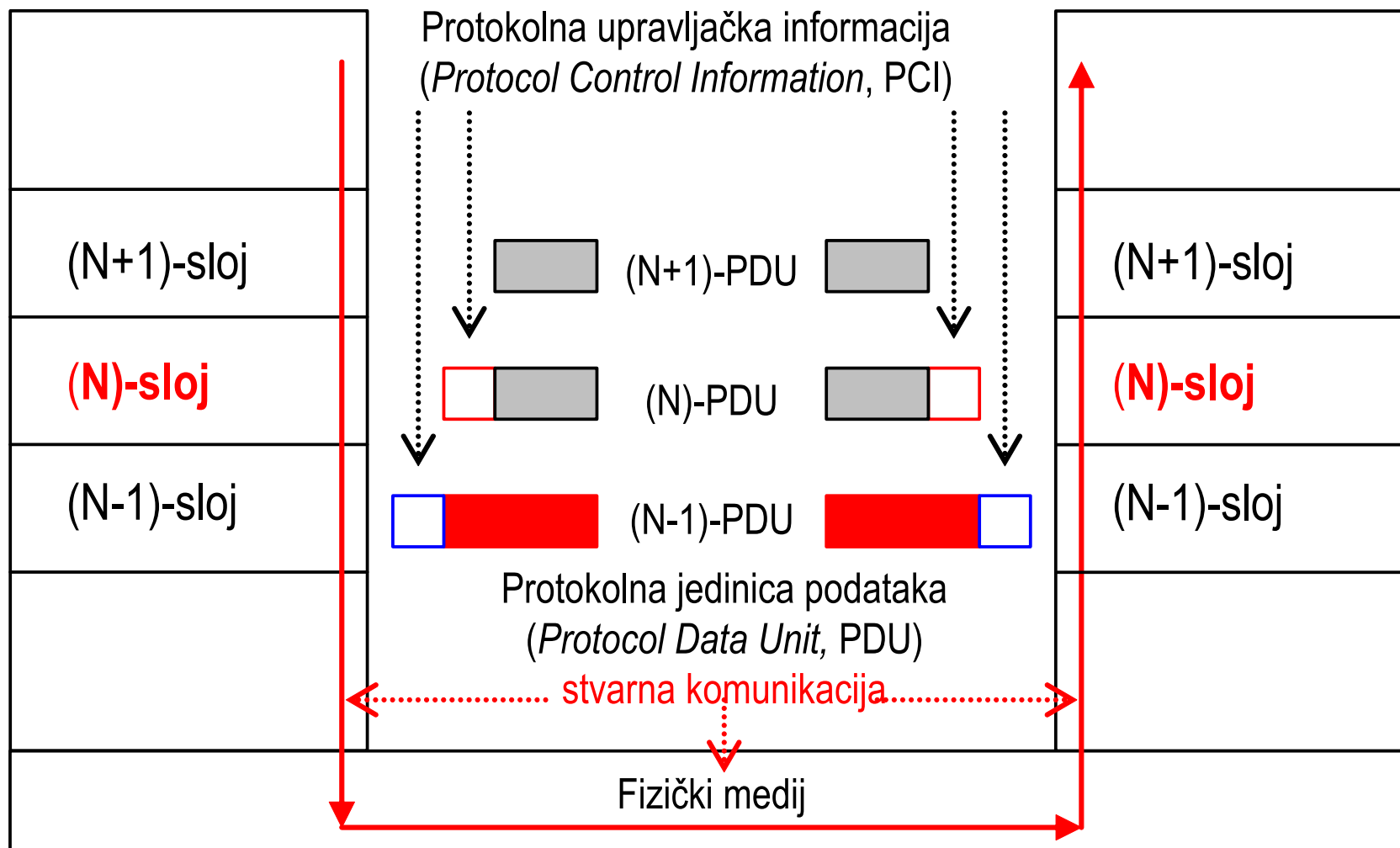
Osnovni modeli:

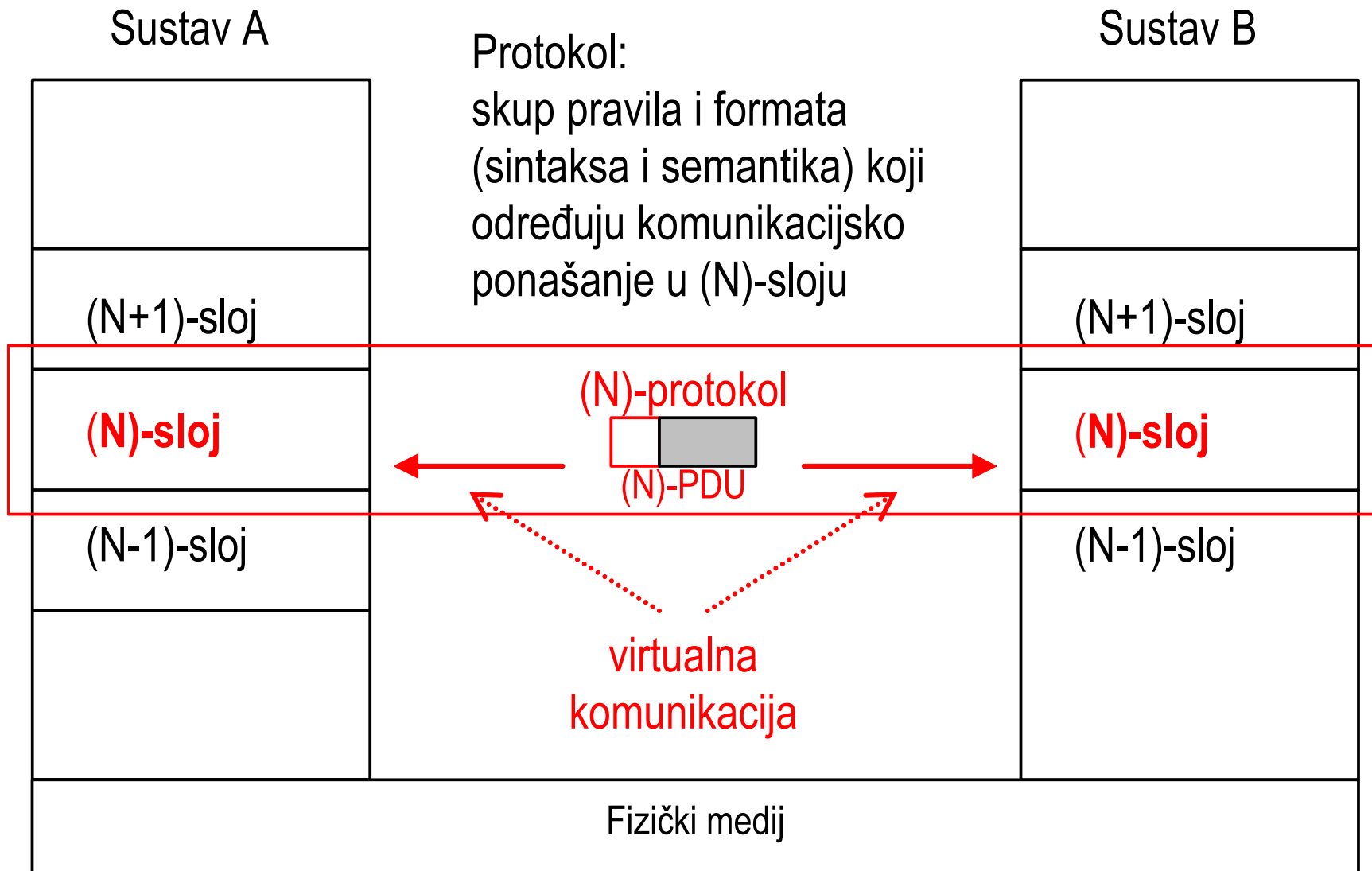
- ◆ referentni model povezivanja otvorenih sustava
(engl. *Open System Interconnection Reference Model*, OSI RM)
- ◆ referentni model TCP/IP (internetski model)
(engl. *TCP/IP Reference Model*)



Sustav A

Sustav B





Skup pravila

- ◆ za postupak razmjene informacije između entiteta u mreži (npr. dva računala, korisničke opreme i pristupnog čvora, dva čvora u mreži, dva korisnika, korisnika i davatelja usluge)
- ◆ kojim se ostvaruje usklađenost predajnog i prijamnog entiteta te
- ◆ zaštita od mogućih pogrešaka u prijenosu i kvarova na sustavima i prijenosnim medijima

Skup formata

- ◆ jedinice podataka koje služe za razmjenu informacije

(engl. *connection-oriented service*)

- ◆ razmjeni jedinica podataka prethodi uspostavljanje veze kojim se određuje put kroz mrežu, a po završetku razmjene podataka veza se prekida
- ◆ sve jedinice podataka razmjenjuju se na isti način koji određuje “veza” (npr. usmjeravaju se istim putem, isporučuju se ispravne u redoslijedu u kojem su poslane i dr.)
- ◆ veza može biti:
 - stvarna,
 - virtualna,
 - logička,
 - ...
- ◆ primjer: virtualni kanal

(engl. *connectionless service*)

- ◆ svaka jedinica podataka razmjenjuje se neovisno o ostalima, odnosno usmjerava i isporučuje na odredištu neovisno o ostalima

- ◆ primjer: datagram
 - paketi se prenose od izvorišta do odredišta (prosljeđuju i usmjeravaju između čvorova) svaki za sebe
 - ne jamči se isporuka na odredištu
 - ne potvrđuje se primitak na odredištu
 - zaključak: nepouzdana usluga

Svaki sloj treba moći:

- ◆ identificirati pošiljatelja i primatelja s kojima komunicira
- ◆ odrediti smjer prijenosa podataka:
 - jednosmjerno (engl. *simplex*)
 - dvosmjerno (engl. *duplex*)
 - naizmjenično, u oba smjera (engl. *half-duplex*)

Dodatno, sloj može:

- ◆ upravljati pogreškama - otkrivati i ispravljati ih (engl. *error control*)
- ◆ upravljati tokom podataka (engl. *flow control*)
- ◆ usmjeravati jedinice podataka i
- ◆ višestruko iskoristiti raspoloživu vezu (engl. *multiplexing*)

7 Aplikacijski sloj, sloj primjene (*Application Layer*)

6 Prezentacijski/predodžbeni sloj (*Presentation L.*)

5 Sjednički sloj, sloj sesije (*Session Layer*)

4 Transportni sloj (*Transport Layer*)

3 Mrežni sloj (*Network Layer*)

2 Sloj podatkovne poveznice (*Data Link Layer*)

1 Fizički sloj (*Physical Layer*)

7 Aplikacijski sloj
6 Prezentacijski sloj
5 Sjednički sloj
4 Transportni sloj
3 Mrežni sloj
2 Sloj podatkovne poveznice
1 Fizički sloj

Komunikacijski put ostvaren fizičkim prijenosnim medijem između dva ili više fizičkih entiteta

- ♦ jedinica podataka: bit

Osnovne funkcije

- ♦ prijenos slijeda bita
- ♦ mehaničko, električko/fotoničko i vremensko sučelje s prijenosnim medijem:
 - žični (engl. *wired*, *wireline*)
 - optički (engl. *fibre optics*)
 - bežični (engl. *wireless*)

Komunikacija između dva izravno povezana (susjedna) čvora

7 Aplikacijski sloj
6 Prezentacijski sloj
5 Sjednički sloj
4 Transportni sloj
3 Mrežni sloj
2 Sloj podatkovne poveznice
1 Fizički sloj

- ♦ jedinica podataka: ograničeni niz bita - okvir (engl. *frame*)

Osnovne funkcije

- ♦ prijenos okvira od točke do točke (engl. *point-to-point*) ili od točke do više točaka (engl. *point-to-multipoint*)
- ♦ upravljanje pogreškama
- ♦ upravljanje tokom

7 Aplikacijski sloj
6 Prezentacijski sloj
5 Sjednički sloj
4 Transportni sloj
3 Mrežni sloj
2 Sloj podatkovne poveznice
1 Fizički sloj

Komunikacija između dva (krajnja) čvora u mreži, izravno ili preko međučvorova

- ♦ jedinica podataka: ovisna o vrsti mreže, npr. paket

Osnovne funkcije

- ♦ usmjeravanje jedinica podataka
- ♦ upravljanje pogreškama
- ♦ upravljanje tokom
- ♦ međusobno povezivanje mreža i podmreža

7 Aplikacijski sloj
6 Prezentacijski sloj
5 Sjednički sloj
4 Transportni sloj
3 Mrežni sloj
2 Sloj podatkovne poveznice
1 Fizički sloj

Transparentan prijenos s kraja na kraj mreže (engl. *end-to-end*)

- ♦ jedinica podataka: ovisna o vrsti mreže, npr. paket
- ♦ Osnovne funkcije
- ♦ transportne usluge:
 - prijenos bez pogrešaka (semantička transparentnost)
 - prijenos uz najmanje kašnjenje (vremenska transparentnost)
- ♦ upravljanje pogreškama
- ♦ upravljanje tokom

Usklađivanje sustava koji međusobno komuniciraju

7 Aplikacijski sloj
6 Prezentacijski sloj
5 Sjednički sloj
4 Transportni sloj
3 Mrežni sloj
2 Sloj podatkovne poveznice
1 Fizički sloj

- ◆ uspostavljanje, održavanje i prekidanje dijaloga
- ◆ dodjela prava za komuniciranje
- ◆ nastavljavanje komunikacije u slučaju prekida

7 Aplikacijski sloj
6 Prezentacijski sloj
5 Sjednički sloj
4 Transportni sloj
3 Mrežni sloj
2 Sloj podatkovne poveznice
1 Fizički sloj

Prikaz (sintaksa) i značenje
informacije (semantika) koja se
razmjenjuje

- ◆ kodovi
- ◆ formati
- ◆ struktura podataka

7 Aplikacijski sloj
6 Prezentacijski sloj
5 Sjednički sloj
4 Transportni sloj
3 Mrežni sloj
2 Sloj podatkovne poveznice
1 Fizički sloj

Aplikacije i usluge za korisnike

- ◆ aplikacijski (računalni) procesi
- ◆ skup protokola za korisničke usluge i aplikacije

4 Aplikacijski sloj (<i>Application Layer</i>)	
3 Transportni sloj (<i>Transport Layer</i>)	TCP
2 Mrežni sloj, internetski sloj (<i>Network Layer, Internet Layer</i>)	IP
1 nije definiran → sloj podatkovne poveznice i fizički sloj upotrijebljene mreže (pristupa mreži)	

4 Aplikacijski sloj
3 Transportni sloj
2 Mrežni/internetski sloj
1

Protokol IP (*Internet Protocol*)

- ◆ i dodatni protokoli za usmjeravanje, kontrolu komunikacije i komunikaciju u skupini
- ◆ međusobno povezivanje mreža/podmreža (engl. *internetworking*)
- ◆ mreža s komutacijom paketa: svaki se paket usmjerava zasebno - datagram
- ◆ IP preko X (IP over X, IPoX)
- ◆ Y preko IP (Y over IP, YoIP)

Protokoli:

4 Aplikacijski sloj
3 Transportni sloj
2 Mrežni/internetski sloj
1

Transmission Control Protocol, TCP

- pouzdana transportna usluga:
prijenos bez pogrešaka, uz
isporuku potpune informacije u
nepromijenjenom redoslijedu

User Datagram Protocol, UDP

- jednostavna transportna usluga:
prijenos uz najmanje moguće
kašnjenje informacije

Aplikacijski protokoli za različite
usluge i primjene

4 Aplikacijski sloj
3 Transportni sloj
2 Mrežni/internetski sloj
1

- ◆ korisnički, npr.:
 - SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*): elektronička pošta
 - HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*): WWW
- ◆ sustavski, npr.:
 - DNS (*Domain Name System*): sustav imenovanja domena

7 Aplikacijski sloj
6 Prezentacijski sloj
5 Sjednički sloj
4 Transportni sloj
3 Mrežni sloj
2 Sloj podatkovne poveznice
1 Fizički sloj

4 Aplikacijski sloj
3 Transportni sloj
2 Mrežni sloj
1

...kroz mogućnost upotrebe informacijskih i komunikacijskih
usluga, odnosno **aplikacija**.

Kvaliteta usluge (engl. *Quality of Service*, QoS) definirana je kao zajednički učinak **performansa** usluge koji određuje stupanj zadovoljstva korisnika.

Čovjek izražava subjektivni dojam o kvaliteti usluge, npr.:

“slabo te razumijem”, “dugo čekam stranicu weba”, “datoteka je prenesena jako brzo”, “u tekstu ima puno pogrešaka”, “glas nije usklađen s otvaranjem usta”, “slika je jako dobra”, ...

Mrežne performanse

- ◆ definirane su kao sposobnost mreže ili dijela mreže da ostvari funkcije potrebne za komunikaciju između korisnika te korisnika i poslužiteljskih sustava
- ◆ karakterizirane su skupom izračunljivih i mjerljivih parametara, kao što su:
 - širina pojasa
 - propusnost
 - kašnjenje i
 - drugi
- ◆ svaki sloj i njegove performanse utječu na ukupne mrežne performanse

engl. *bandwidth*

B (Hz)

- ◆ širina frekvencijskog pojasa koja se može upotrijebiti za prijenos,
- ◆ fizikalno svojstvo prijenosnog medija, opisano najvišom frekvencijom koja se može prenijeti

B (bit/s)

- ◆ maksimalni broj bita koji se može prenijeti u jedinici vremena
 - “digitalni” propusni opseg
 - brzina prijenosa bita (engl. *bit rate*)

engl. *throughput*

(bit/s)

- ◆ broj *korisnih* bita prenesen u jedinici vremena,
- ◆ manja je od kapaciteta kanala/propusnog opsega/brzine prijenosa bita, jer se uz korisne prenose i dodatni bitovi (ovisno o protokolu i načinu prijenosa)

Teorija informacije

- ◆ kapacitet kanala (bit/s) - najveća brzina prijenosa bita koja ovisi o širini frekvencijskog pojasa te odnosu signal/šum

engl. *delay, latency*

(s)

- ◆ vrijeme potrebno da bit s izvora stigne na odredište
- ◆ ako je riječ o izravnoj vezi, uključuje:
 - vrijeme potrebno za odašiljanje na izvoru,
 - vrijeme propagacije prijenosnim medijem (udaljenost/brzina svjetlosti u mediju),
 - vrijeme potrebno za prijam na odredištu.
- ◆ ako postoje međučvorovi, dodatno:
 - vrijeme čekanja na obradu u svakom čvoru,
 - vrijeme obrade u svakom čvoru.

Potrebno je precizno definirati relaciju za koju se izračunava ili mjeri kašnjenje!

- ◆ International Organisation for Standardisation (ISO)
<http://www.iso.org>

- ◆ International Telecommunication Union (ITU)
<http://www.itu.int>

ITU-T (*International Telecommunication Union - Telecommunications*)

CCITT (*Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique*) – stari naziv!

- ◆ Internet Engineering Task Force (IETF) <http://www.ietf.org>
- ◆ Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
<http://www.ieee.org>, <http://standards.ieee.org>

Razmislite do sljedećeg predavanja ...

Kriterij usporedbe	Komutacija kanala	Komutacija paketa - datagram
Uspostava veze		
Dodijeljen fizički put		
Svi podaci idu istim putem		
Podaci stižu ispravnim redoslijedom		
Fiksna raspoloživa širina prijenosnog pojasa		
Moguće zagušenje u mreži		