

Računarske mreže 1

1. deo - UVOD

Predavač:

Prof. dr Slavko Gajin, slavko.gajin@rcub.bg.ac.rs

Asistenti:

Stefan Tubić, stefan.tubic@etf.bg.ac.rs

Marko Mićović, micko@etf.bg.ac.rs

Kristijan Žiza, ziza@etf.bg.ac.rs

<http://elearning.rcub.bg.ac.rs>

2020. god

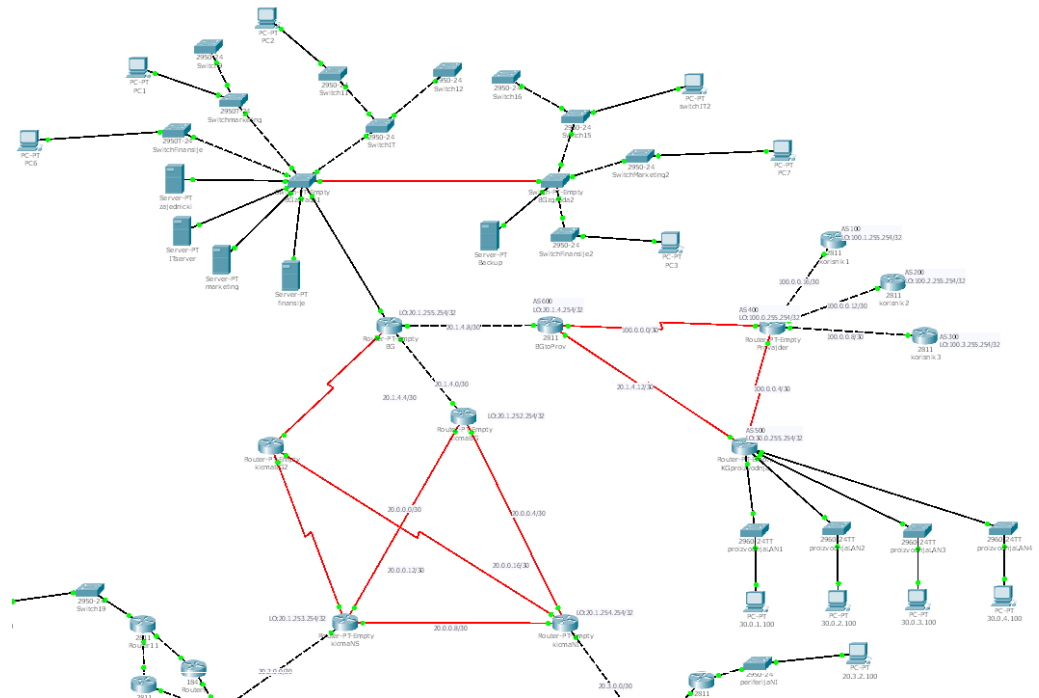
Šta su računarske mreže?

- Stari koncept računarskih centara:
 - Veliki centralni računar
Mainframe
 - Veliki broj terminal (tekstualnih)
 - Komunikacija terminala sa centralnim računarom
 - Modemske veze po običnim telefonskim kablovima
 - Male brzine (9.6 kbps – “kilo-bita u sekundi”)
 - Prenos samo tekstualnog ulaza i izlaza
 - To nisu računarske mreže !
- Računarske mreže:
 - Razmena podataka između računara



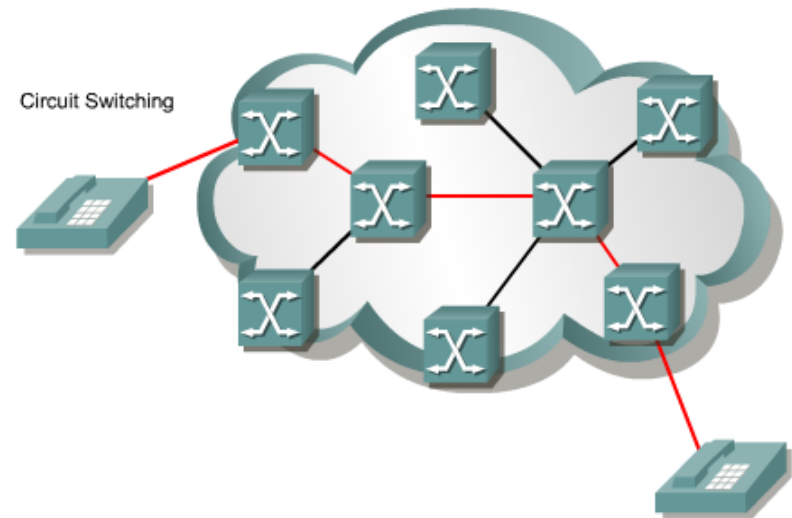
Šta su računarske mreže?

- Osnovne komponente:
 - Komunikacioni uređaji:
 - ruteri, svičevi, habovi, modemi, ripitere, mrežne barijere (*firewall*)
 - Komunikacione veze:
 - različite vrste fizičkog medijuma, različite brzine i osobine
 - Funkcionalna logika:
 - protokoli, servisi, konfiguracije...



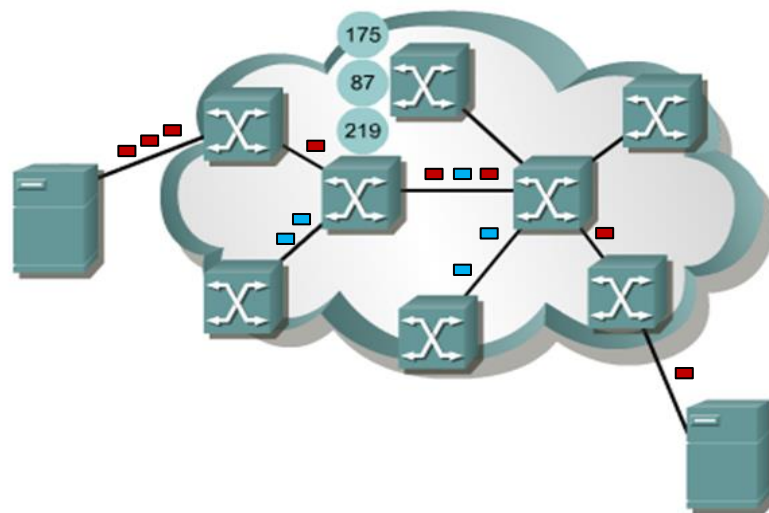
Prvobitne računarske mreže

- Mainframe računari
 - međusobno povezani direktnim iznajmljenim telefonskim linijama
- **Circuit Switching**
(„komutacija kola“, „svičovanje veze“)
 - Unapred se rezerviše veza „s-kraja-na-kraj“ (*end-to-end*)
 - Trajno ili po potrebi (ustpostavljanje)
- Problemi:
 - Neekonomično
 - Zauzeto i kada se ne koristi
 - Neskálabilno



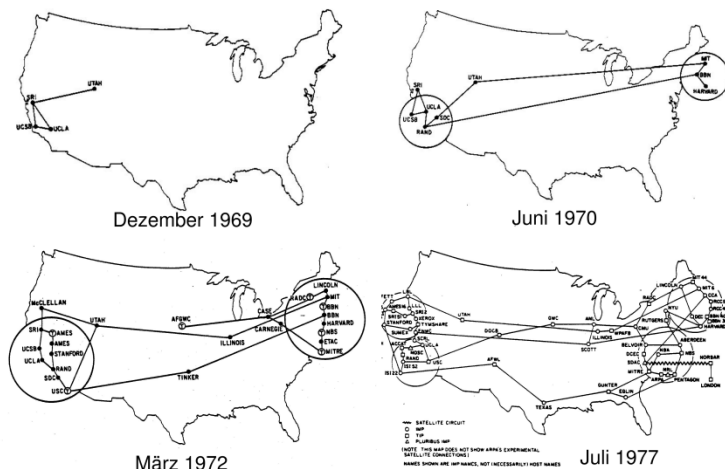
Razoj u pravcu svičovanja paketa

- **1961:** Kleinrock – „Queueing theory“, Teorija redova čekanja
 - Matematička osnova
- **1965:** Paul Baran (US), Donald Davies (UK):
Packet Switching – „Svičovanje paketa“
 - Podela podataka na manje pakete koji se nezavisno prenose preko mreže, bez prethodno uspostavljene veze s-kraja-na-kraj
 - Deljenje komunikacionih resursa, veća iskorišćenost, fleksibilnost...



Razoj u pravcu svičovanja paketa

- **1969:** ARPANET (*Advanced Research Projects Agency, Department of Defence*)
 - Prva računarska mreža sa svičovanjem paketa
 - Povezivanje univerziteta i istraživačkih organizacija u SAD
 - Organizacija
 - Radna grupa (*Network Working Group*),
 - Tehnička specifikacija
 - *Request for Comments* (RFC) dokumenti (u početku neformalni, kasnije u formi standarda, preporuka i pojašnjenja)
 - Prvi mrežni protokol - *NCP Network Control Protocol*
- **1971:** Cyclades, Francuska



Standardizacija

- **1972:** *International Network Working Group (INWG)*
 - Zalagali se za svičovanje paketa
 - Radikalna ideja, suprotno interesima telekom industrije i računarskih giganata (IBM)
- **1974:** Vint Cerf and Robert Kahn
 - Naučni rad: “*A Protocol for Packet Network Intercommunication*” IEEE Transactions on Communications
 - Osnovni principi:
 - minimalizam, decentralizovana kontrola, *best-effort* (nema garancije)
- **1974:** IBM uspostavlja SNA (*System Network Architecture*), prete ga ostali proizvođači (DEC – DECnet, Novell NetWare...)
- **1975:** INWG podnosi tehnički predlog protokola međunarodnoj organizaciji sa standarde u telekomunikacijama – CCITT (ITU-T)
 - Predlog odbijen pod uticajem monopolističke telekom industrije
 - Obrazloženje: „riskantan i netestiran“



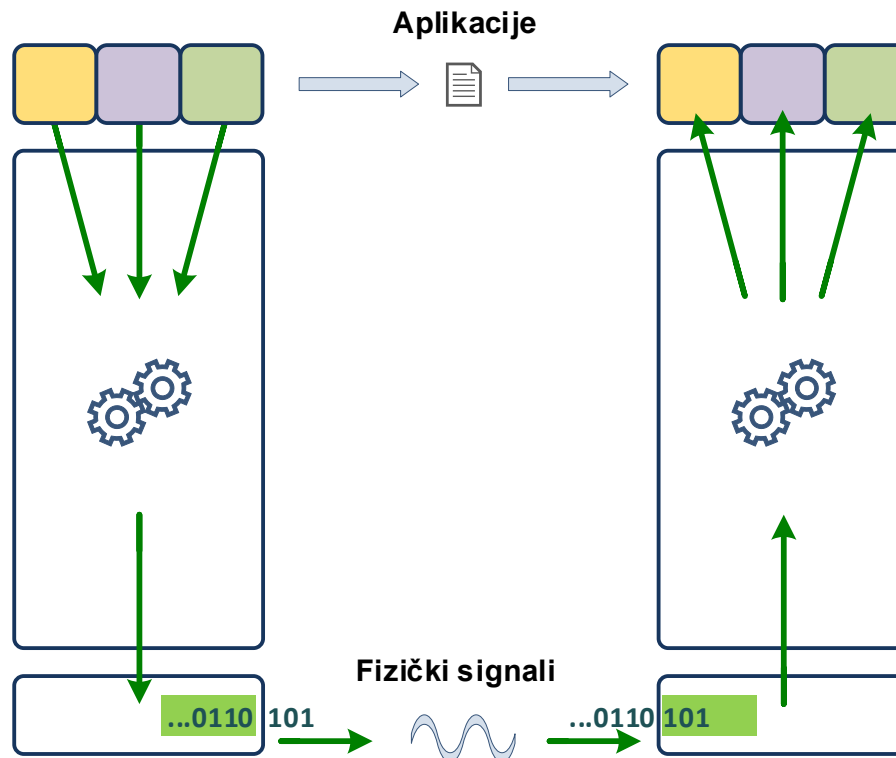
Open System Interconnection

- **1977:** OSI - *Open System Interconnection*, unutar međunarodne organizacije za standarde ISO (*International Organization for Standardization*)
 - Zadatak
 - Donošenje međunarodnog standarda za računarske komunikacije
 - Priključila se većina članova INWG, osim Vint Cerf koji je prešao u ARPA
 - Konglomerat renomiranih istraživača, telekomunikacione i računarske industrije (IBM)
 - Principi:
 - Otvorenost – komunikacija nezavisna od proizvođača uređaja
 - Modularnost – kompleksan problem je podeljen u manje celine



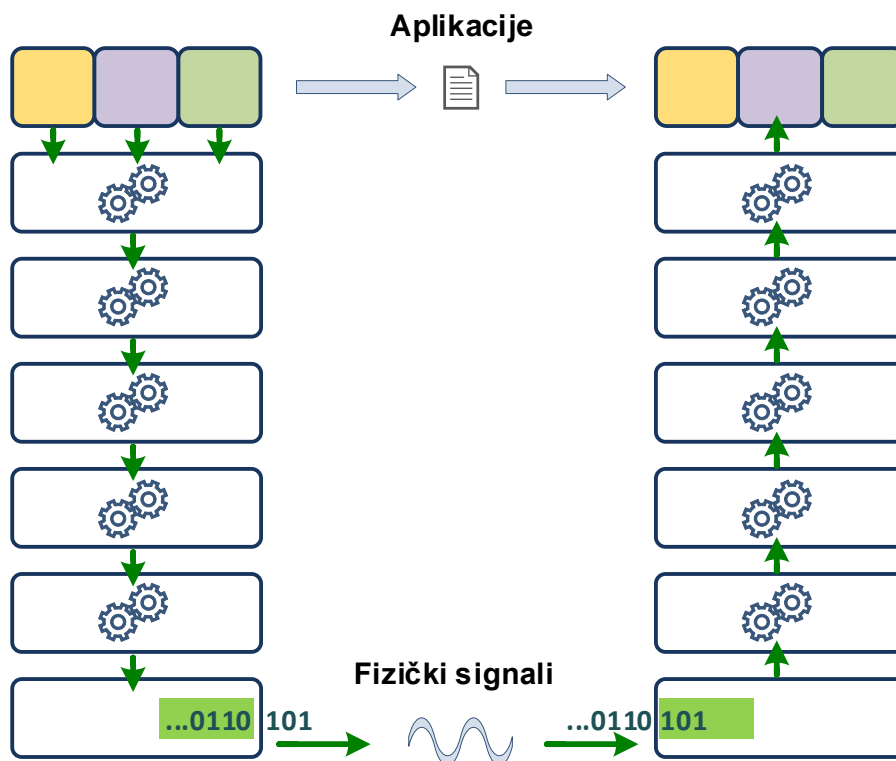
OSI referentni model

- Računarske komunikacije - razmena poruka (paketa)
 - Na najvišem (logičkom) nivou – prenos poruka između aplikacija
 - Na najnižem (fizičkom) nivou – prenos bitova kao elektromagnetni signali
- A šta se dešava između?
 - Treba obezbediti da poruke nađu put do odredišnog uređaja i prepoznaju odredišnu aplikaciju na tom uređaju



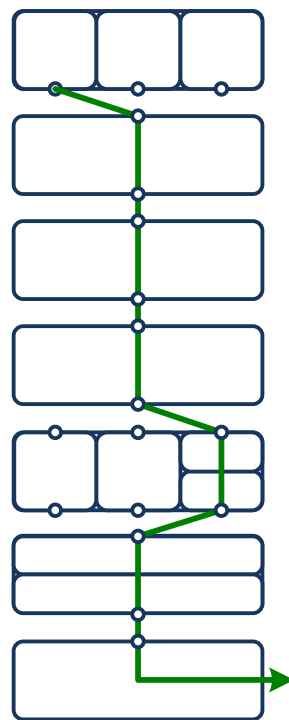
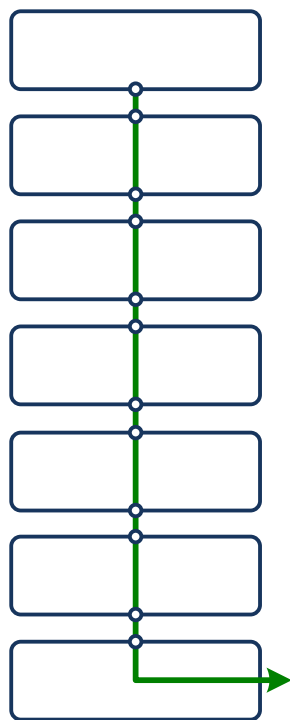
OSI referentni model

- Podela posla na nivoe apstrakcije – slojeve (*Layers*)
- Svaki sloj obavlja svoj deo posla – nezavisna implementacija
- Svaki sloj na usaglašeni način komunicira sa višim i nižim slojevima



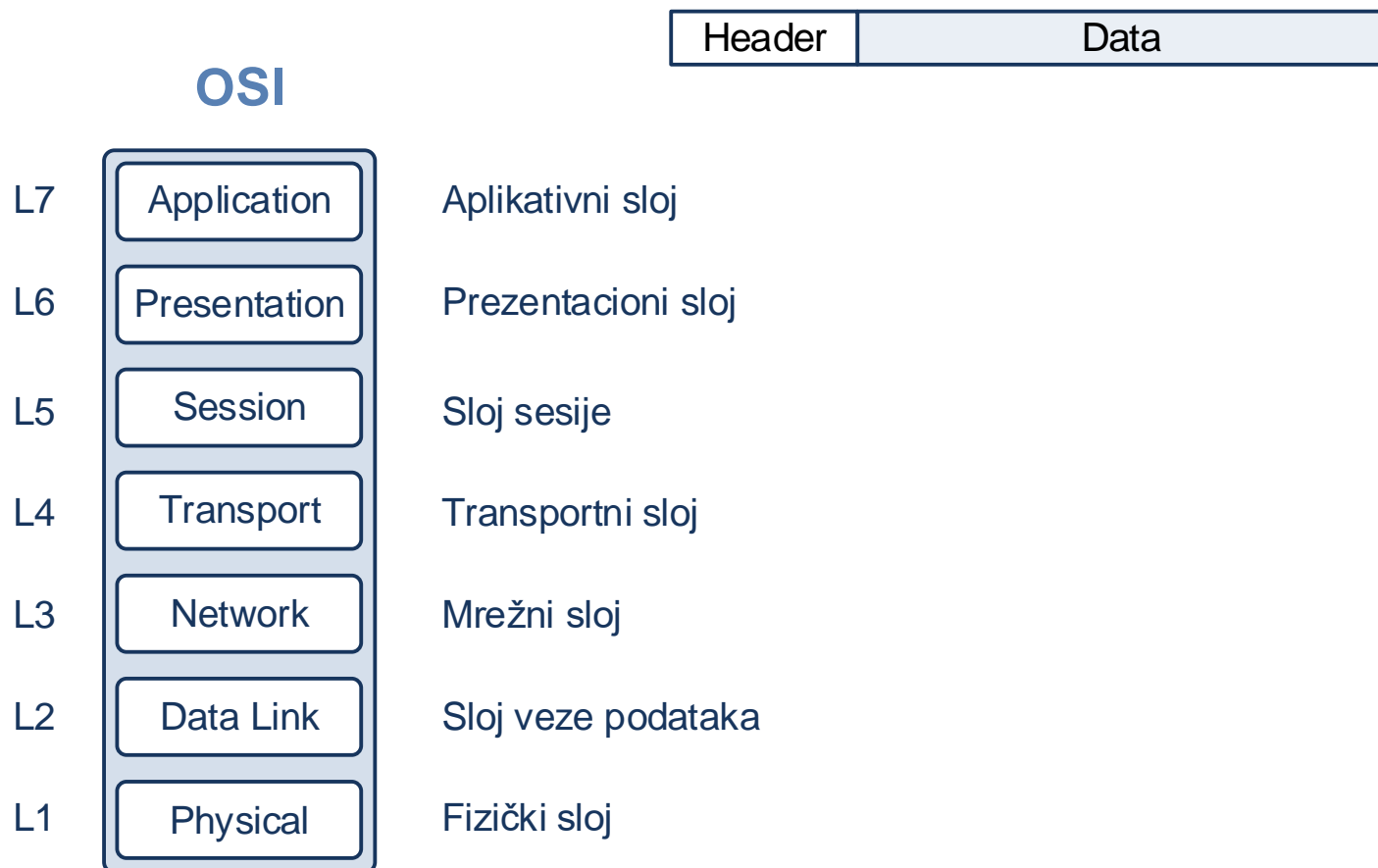
OSI referentni model

- Svaki sloj na usaglašeni način komunicira sa višim i nižim slojevima
 - Interfejsi za komunikaciju - *Service Access Point* (SAP)
- Jedan sloj može da ima više različitih implementacija (protokola)
- Jedan sloj ili implementacija može da ima više podslojeva (obično dva)



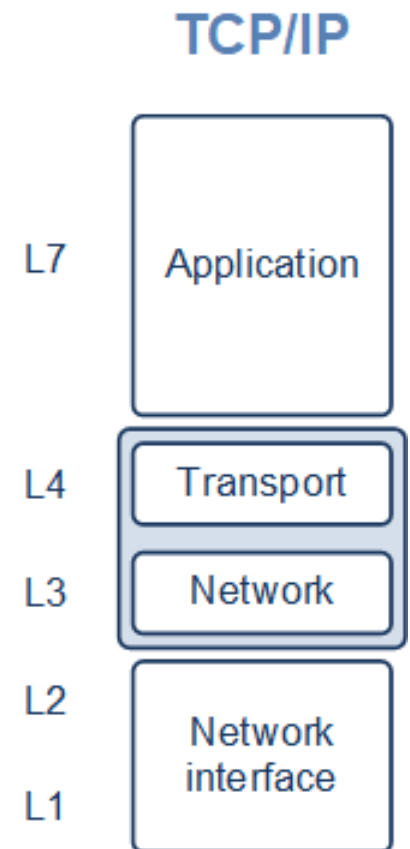
OSI referentni model

- Sedam slojeva
- Komunikacija porukama
 - Zaglavlje poruke (*Header*) – kontrolni podaci
 - Telo poruke (*Body*) – podaci koji se prenose



ARPANET razvoj

- **1980:** *U.S. Department of Defence* objavljuje “*Standards for the Internet Protocol and Transmission Control Protocol*”
 - IP - *Internet Protocol*
 - TCP - *Transmission Control Protocol*



- **ARPANET**

- Univerziteti i instituti u SAD, manja zajednica, jednostavnije procedure i rešenja...

Rat između OSI i TCP/IP

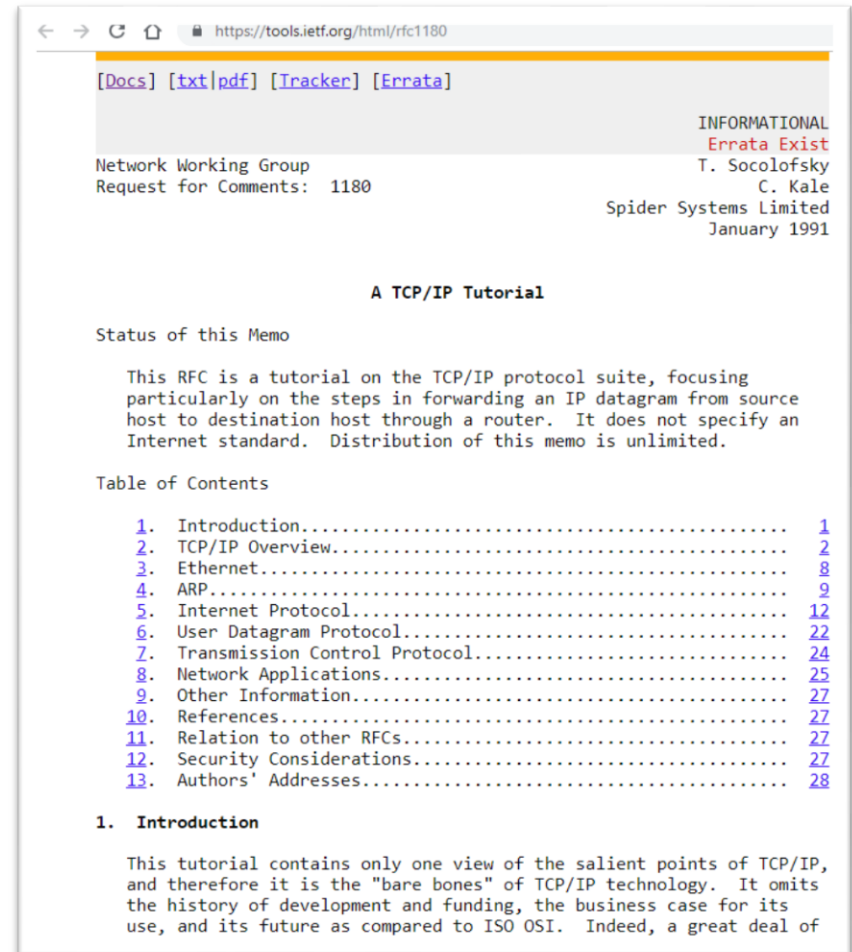
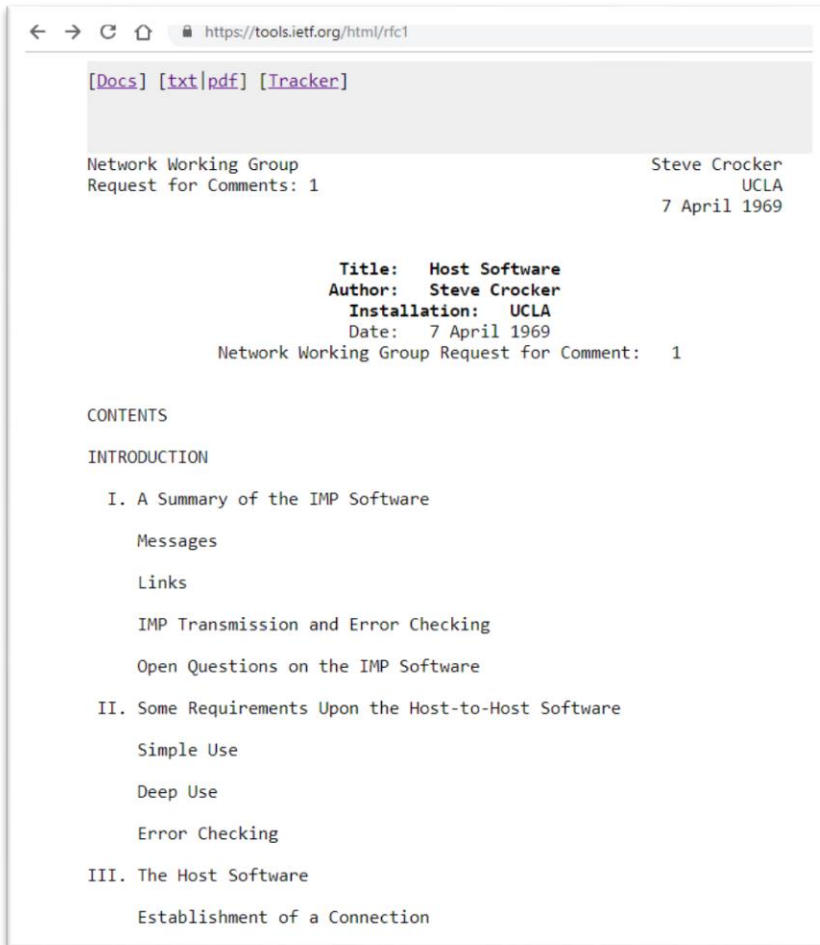
- **1.1.1983:** *U.S. Department of Defence*
 - Odluka o korišćenju TCP/IP u okviru ARPANET - “birth of the Internet”
- **May 1983:** Objavljivanje ISO standarda “*ISO 7498: The Basic Reference Model for Open Systems Interconnection*”
 - OSI referentni model
- **1985:** *U.S. National Research Council* preporučuje da *Department of Defense* postepeno pređe sa TCP/IP na OSI standard
- **1988:** *U.S. Department of Commerce* naložio vladinim ustanovama prelazak na OSI do avgusta 1990.
- **Kraj 80-tih:** naznake neostvarenih očekivanja
 - Birokratija, inertnost, različite vizije i interesi velikih kompanija, sporo...
 - Brian Carpenter, “Is OSI Too Late?”
 - Louis Pouzin, „Ten Years of OSI—Maturity or Infancy?”
- **1991:** **WWW**, WorldWideWeb, Tim Berners-Lee
- **1992:** U.S. National Science Foundation dozvoljava komercijalni saobraćaj na Internetu
- **IETF** - *Internet Engineering Task Force*
 - Standardizacija Internet protokola, RFC dokumenti

RFC dokumenti

- *RFC - Request for Comments*

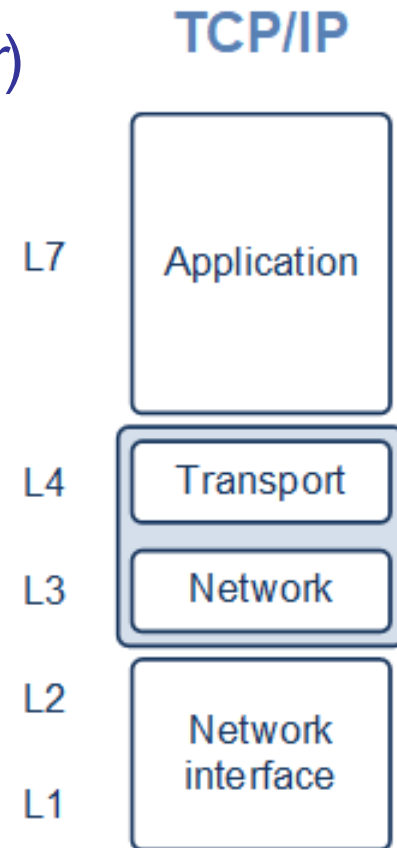
<https://tools.ietf.org/html/rfc1>

<https://tools.ietf.org/html/rfc1180>



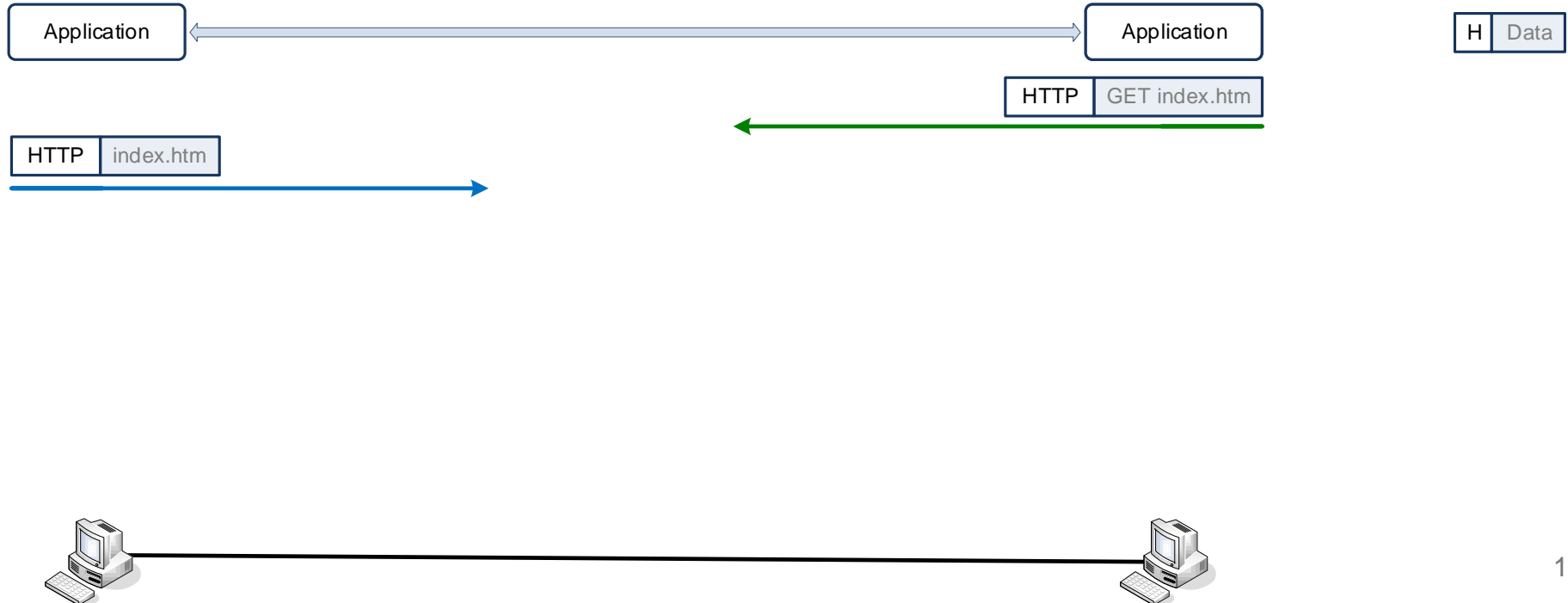
L7 - Aplikativni sloj

- L7 – Aplikativni sloj (*Application Layer*)
 - Razmena podataka između aplikacija
- L6 (OSI) - Prezantacioni sloj (*Presentation Layer*)
 - Sloj za predstavljanje i konverziju podataka
 - Formatiranje, enkripcija, kompresija
 - JPEG, ASCII, EBCDIC, MPEG, ASN.1
- L5 (OSI) - Sloj sesije (*Session Layer*)
 - Uspostavljanje, kontrola i raskidanje sesije između aplikacija
 - Definisanje redosleda akcija i sinhronizacija
 - RPC (*Remote Procedure Call*), SQL, NetBIOS
- U TCP/IP modelu OSI slojevi L6 i L5 su integrisani u Aplikativni sloj



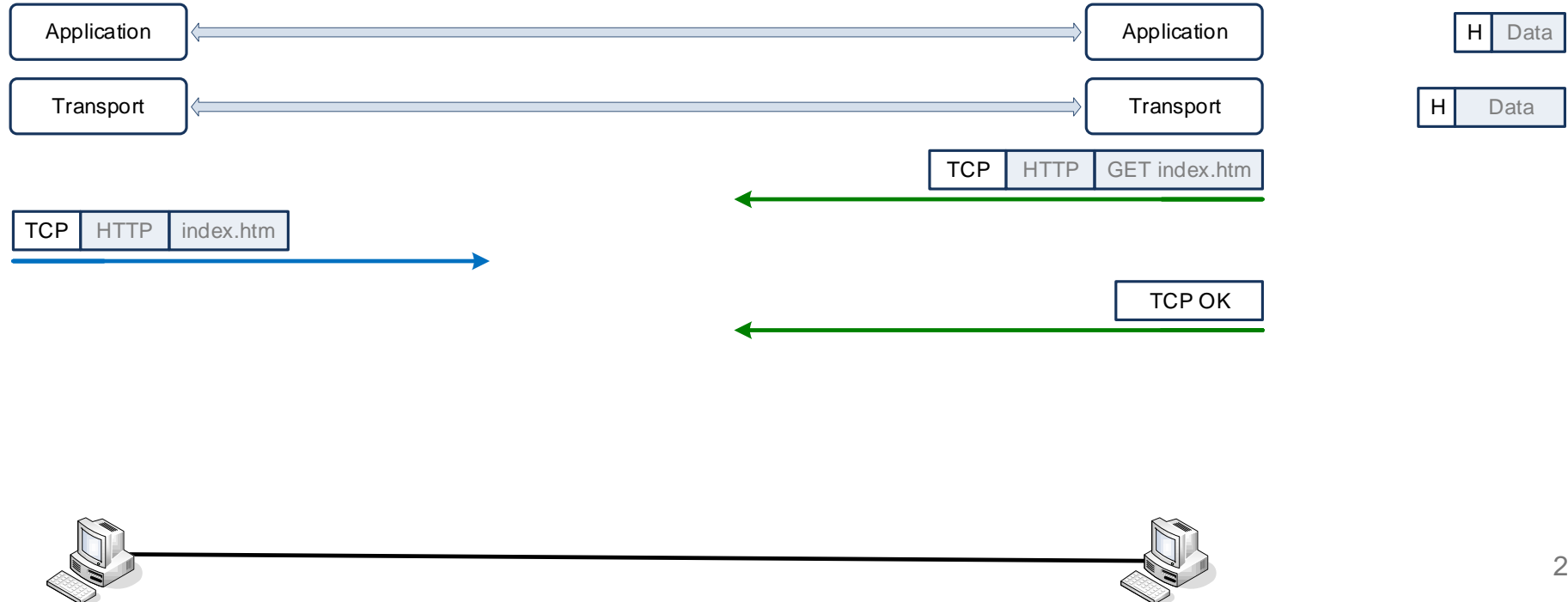
L7 - Aplikativni sloj

- Aplikacije koje koriste mrežne usluge (HTTP, telnet, email...)
- Komunikacija porukama „s-kraja-na-kraj“



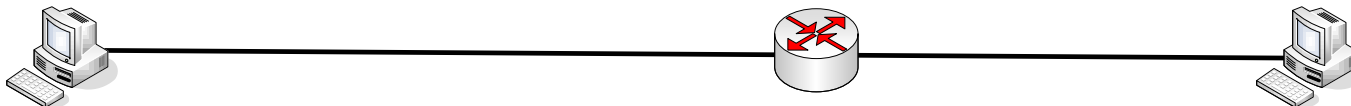
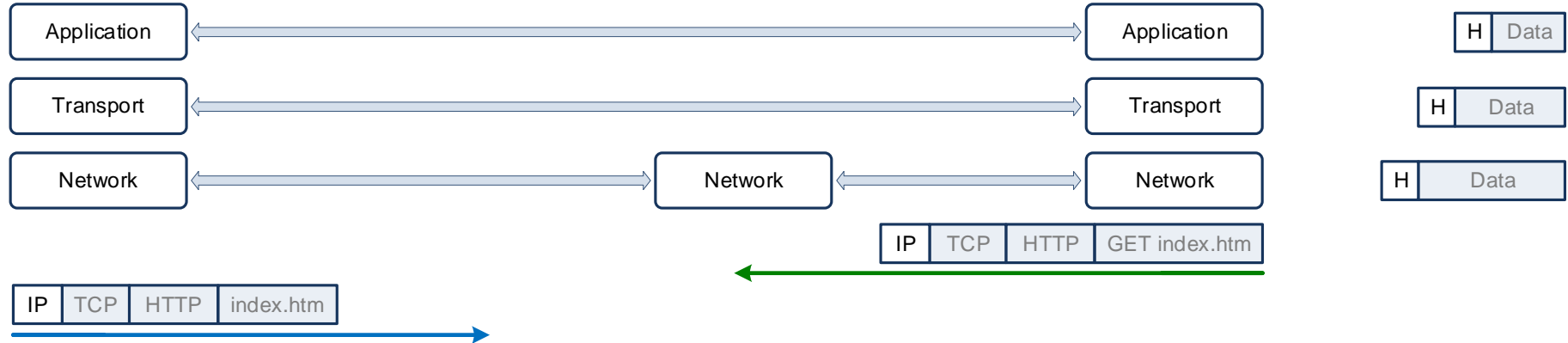
L4 - Transportni sloj

- Prihvata podatke sa višeg sloja i prosleđuje nižim
- Komunikacioni servis „s-kraja-na-kraj“
- Garantuje redosled paketa



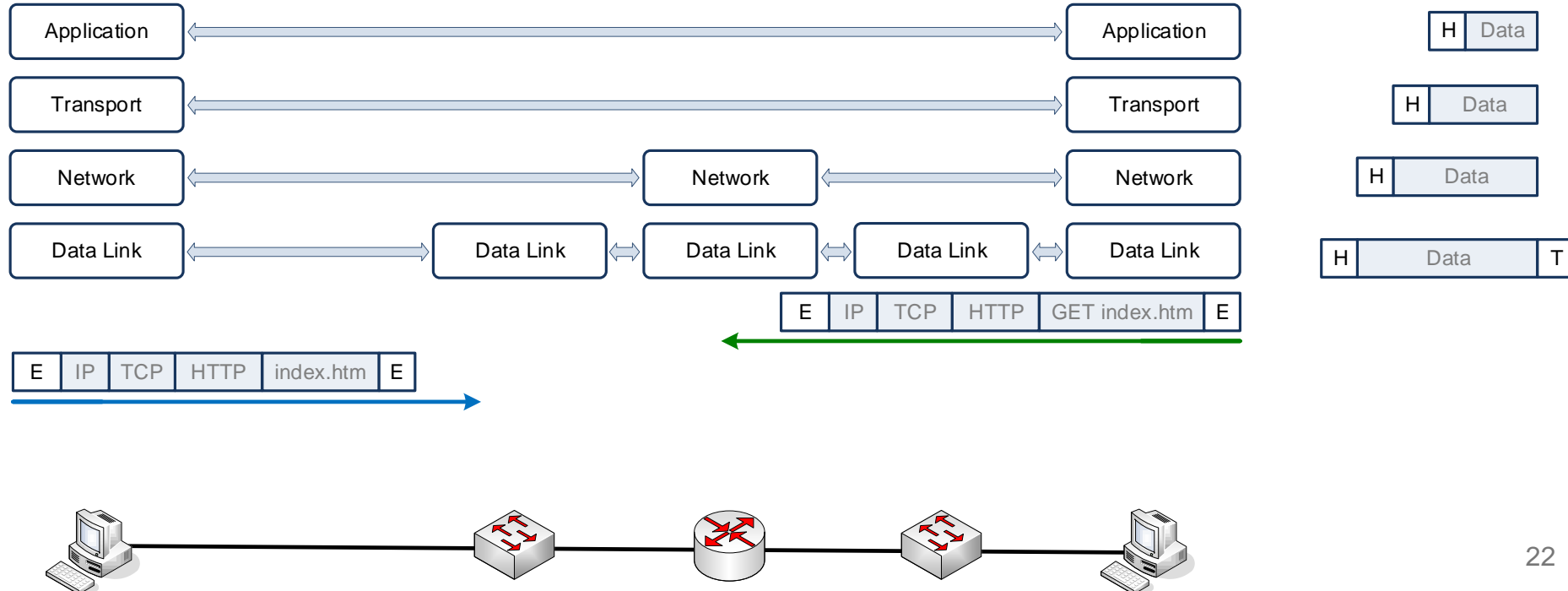
L3 - Mrežni sloj

- Adresiranje – jedinstveno u celoj mreži
- Rutiranje – prosleđivanje poruka od izvorišta do odredišta
- Ruteri – uređaji koji sprovode rutiranje L3 paketa u mreži
- Komunikacija od izvorišta do odredišta „s-kraja-na-kraj“, preko niza rutera



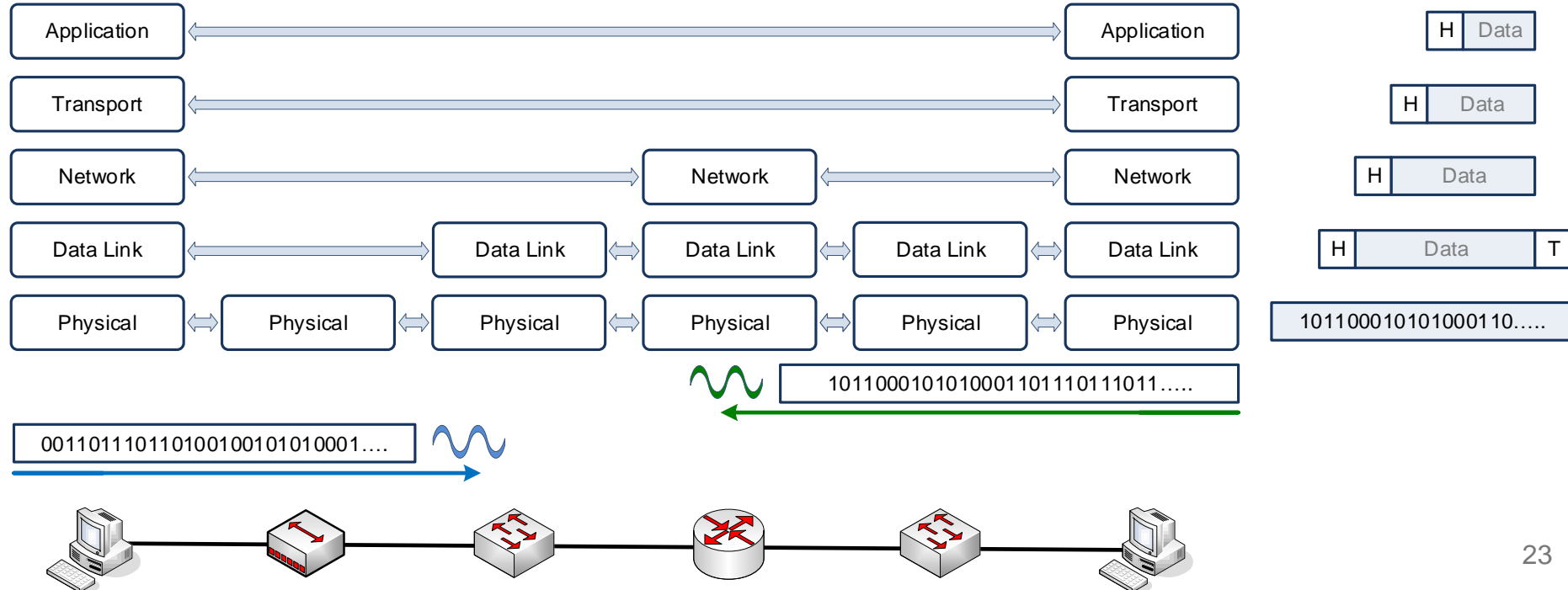
L2 - Sloj veze

- Pristup fizičkom medijumu (MAC – *Media Access Control*)
- Adresiranje – ako je medijum deljen (više od dva učesnika) – MAC adrese
- Detekcija grešaka u prenosu – „potpis“ (*trailer*) na kraju poruke
- Svičevi – uređaji koji prosleđuju L2 okvire
- Komunikacija u L2 domenu između L3 uređaja (ruter, računara...)
- Primeri: Ethernet, Wireless, PPP, Frame Relay...



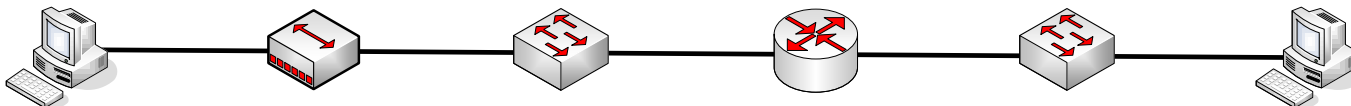
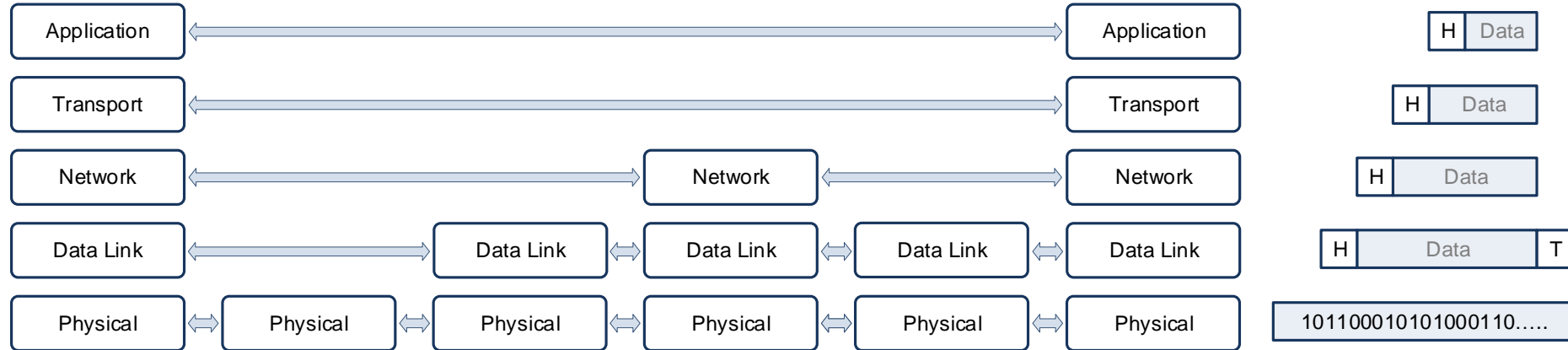
L1 - Fizički sloj

- Serijski prenos bitova
- Modulacija – pretvaranje bitova u elektromagnetne talase
 - Nivoi napona, talasne dužine
- Konektori, utičnice, kablovi...
- Bakarni provodnici, optička vlakna, mikrotalasi...



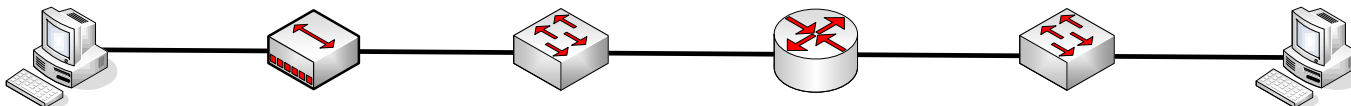
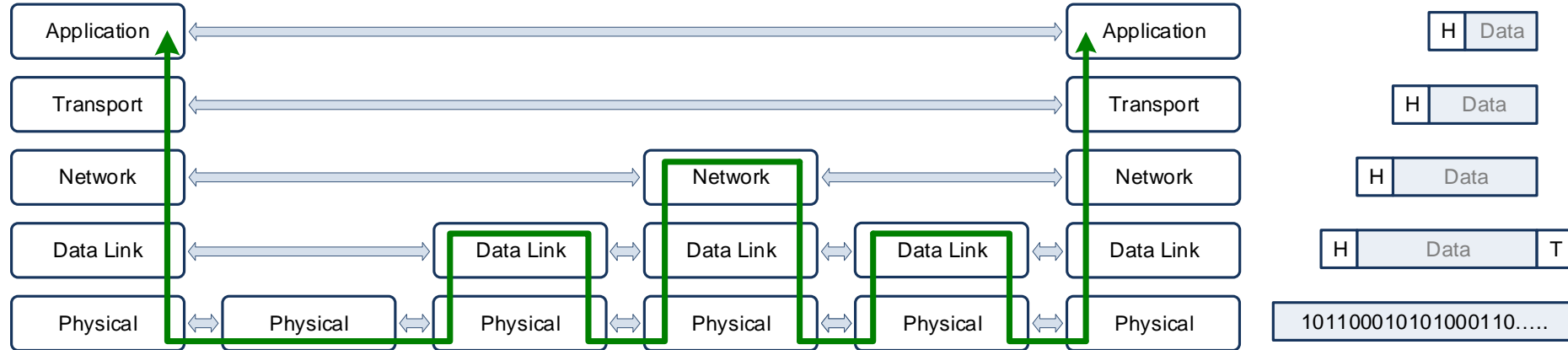
Komunikacija „po horizontali“

- OSI poruke - *Protocol Data Unit* (PDU)
- TCP/IP poruke
 - L4 – poruka (message)
 - L3 – paket (*datagram*)
 - L2 – okvir (*frame*)



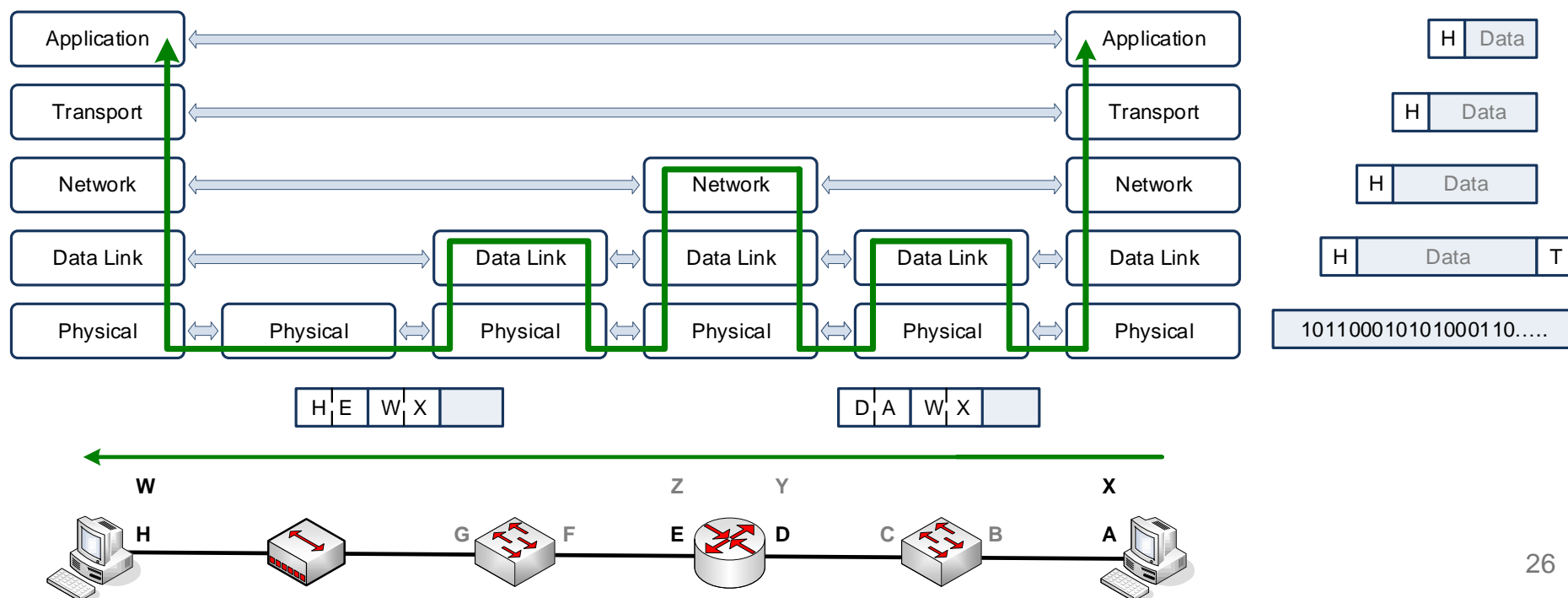
Fizički prenos podatak kroz mrežu

- „Po vertikali nadole“
- „Po horizontali kroz mrežu“ – L1, L2, a ponekad i L3 nivo
- „Po vertikali nagore“



Adresiranje – L2 i L3 nivo

- Adrese izvorišta i odredišta – različite adrese na L2 i L3 nivou
- L3 – poruke se prenose preko rutera – „s-kraja-na-kraj“
 - Od izvorišta X do odredišta Y – adrese u L3 zaglavlju **se NE menjaju**
- L2 – poruke se prenose preko svičeva – „od-rutera-do-rutera“
 - Na L2 segmentima između rutera – adrese u L2 zaglavlju **se NE menjaju**
 - Na prelasku između L2 segmenata – adrese u L2 zaglavlju **se menjaju**



Prenos podataka „po vertikali“

- **Enkapsulacija**



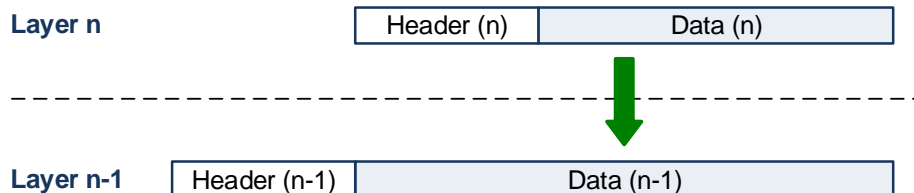
- Sa višeg sloja na niži sloj
- Dodaje se zaglavlje na početku, a ponekad i potpis na kraju (*trailer*)
- Poruka višeg sloja se prenosi kao podatak u poruci nižeg sloja (ne gleda se strukturu)

- **Dekapsulacija**

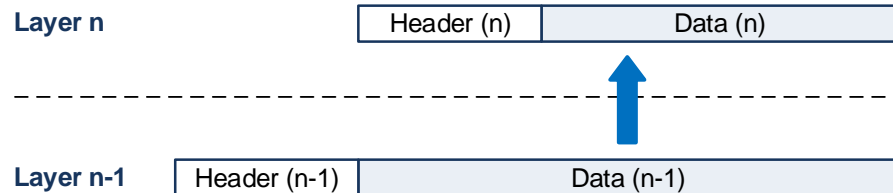


- Sa nižeg sloja na viši sloj
- Odbacivanje zaglavlja tekućeg sloja
- Izdvajanje podataka (cela poruka višeg sloja)
- Predaja podataka višem sloju

Enkapsulacija



Dekapsulacija



Prenos podataka „po vertikali“

- **Multipleksiranje**

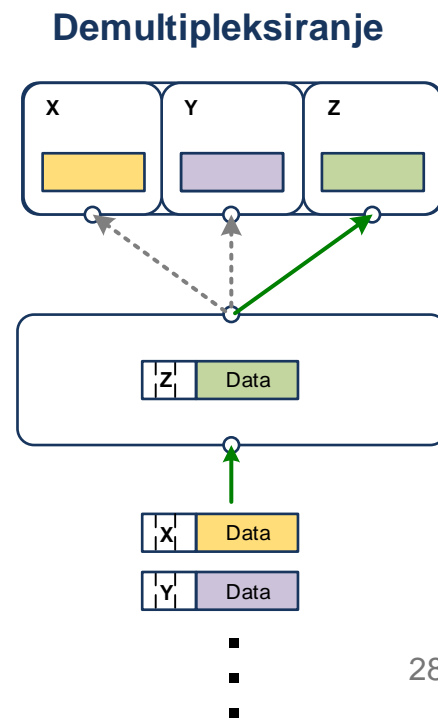
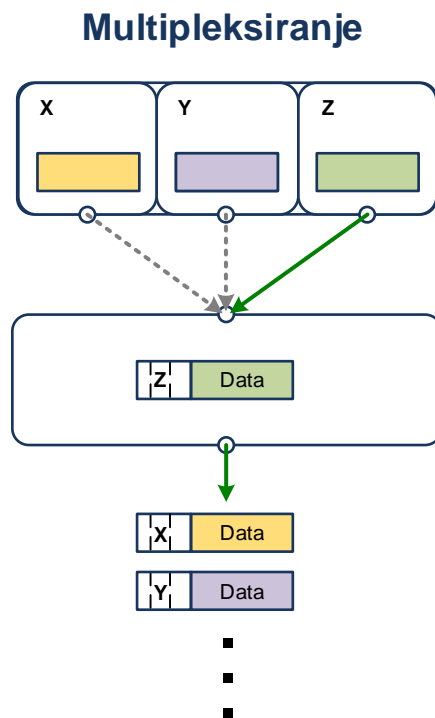


- Sa višeg na niži sloj
- Poruke različitih protokola (delova) višeg sloja se „obeležavaju“ u zaglavlju poruke nižeg sloja i na isti način prenose u niži sloj

- **Demultipleksiranje**

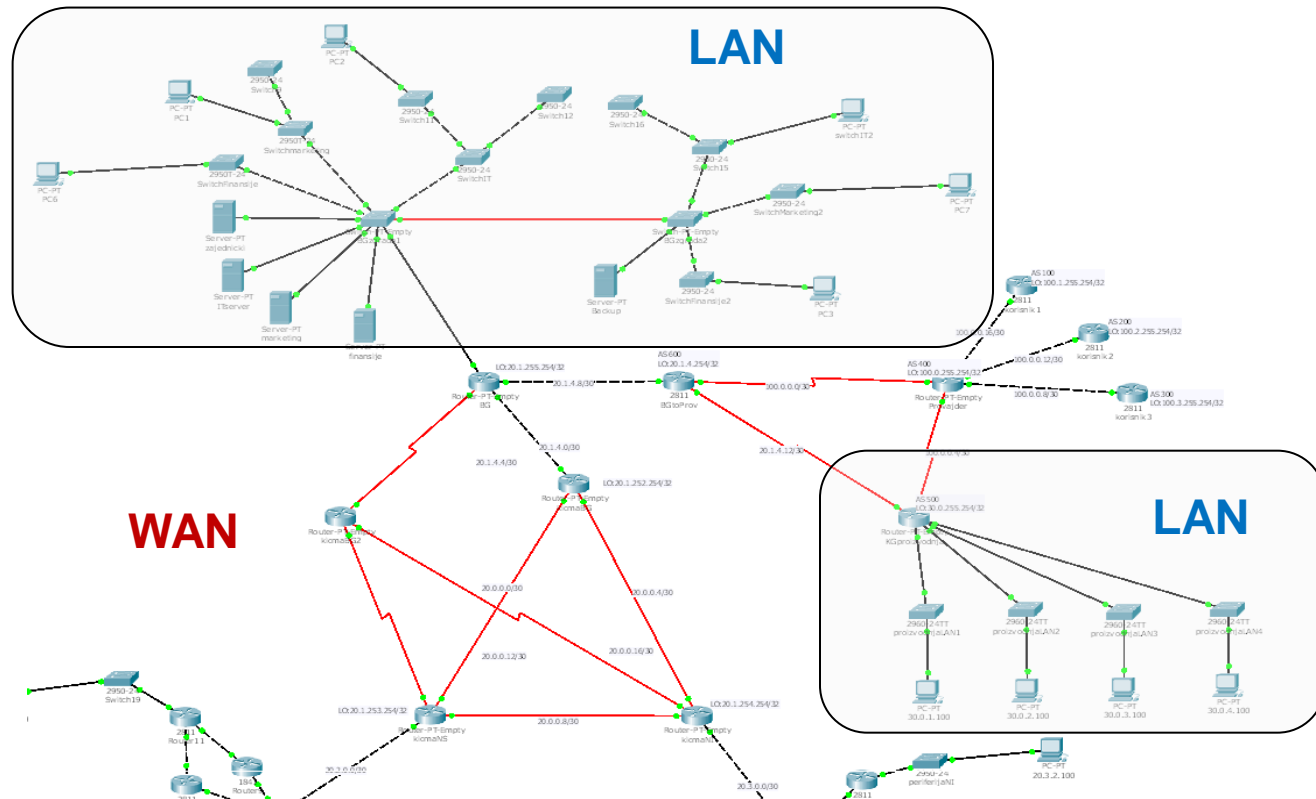


- Sa nižeg na viši sloj
- Prepoznavanje protokola višeg sloja (na osnovu tipa iz zaglavlja)



Današnje računarske mreže

- Povezivanje različitih mreža u jedinstvenu mrežu
 - **LAN** – *Local Area Network*, lokalne računarske mreže
 - **WAN** – *Wide Area Network*, regionalne/globalne



Današnje računarske mreže

Klasična podela – po prostornoj rasprostranjenosti

- **LAN**

- mali prostor, velike brzine (Mbps - Gbps)
- privatne instalacije
- kancelarija, spratovi, zgrada, kampus
- Layer 2 uređaji (L2) - svičevi, habovi

- **WAN**

- veliki prostor, manje brzine (kbps – Mbps)
- regioni, države
- iznajmljeni telekomunikacioni servisi
- Layer 3 uređaji (L3) – ruteri

- **MAN – *Metropolitan Area Network*, gradske mreže**

Današnje računarske mreže

- **LAN** – *Local Area Network*

- Privatne instalacije - unutar poslovnih mreža (spratovi, zgrada...)
- Velike brzine (100 Mbps, 1Gbps, 10Gbps)
- Pretežno L2 uređaji – L2 svičevi
- povećana rastojanja primenom optičkih kablova – preko 100km

- **WAN** – *Wide Area Network*

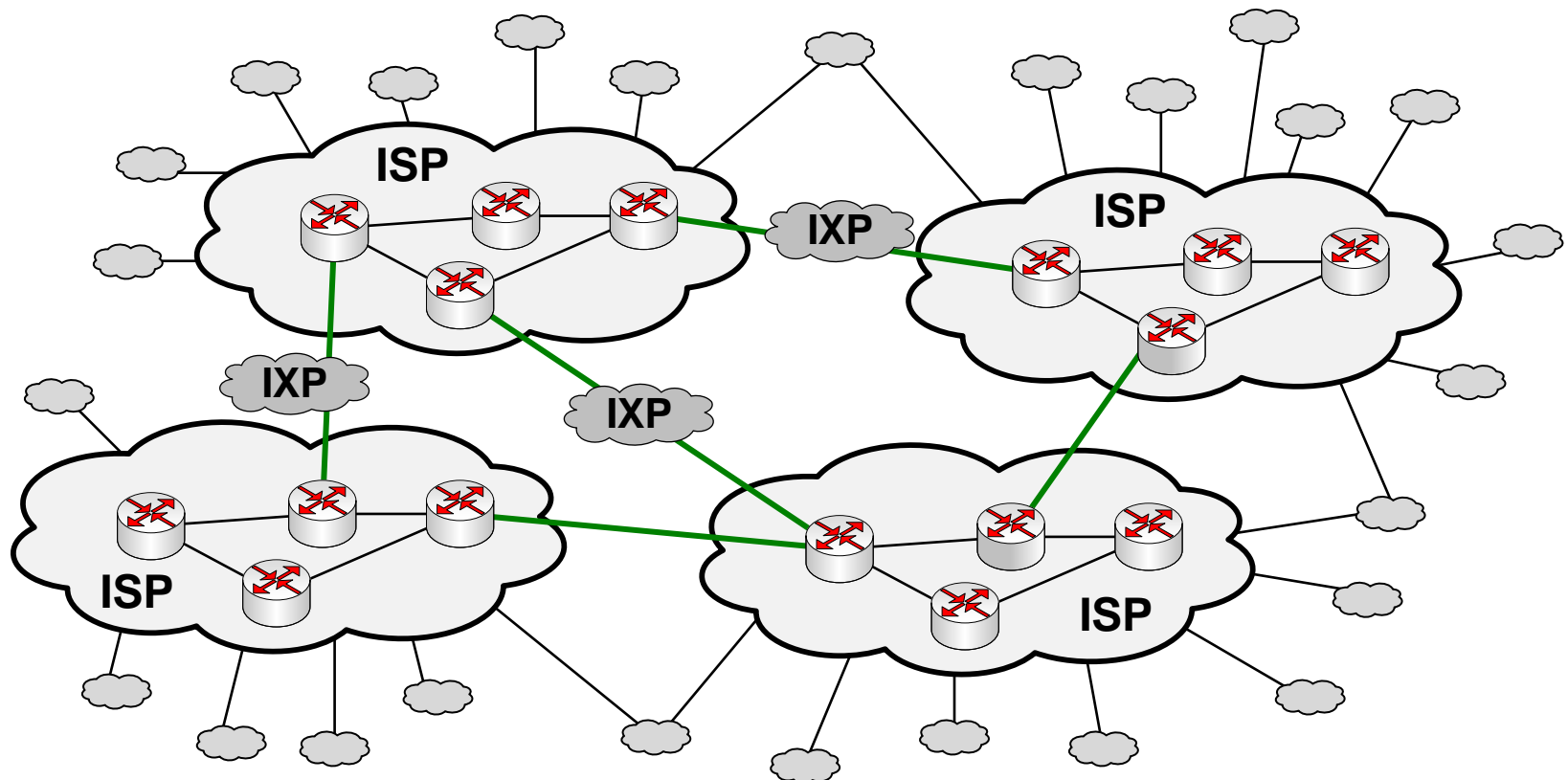
- Instalacije telekomunikacionih provajdera - gradovi, regioni, države...
- Korisnici iznajmljuju telekomunikacione servise (npr. 2, 34, 155 Mbps)
- Pretežno L3 uređaji – ruteri, L3 svičevi
- Velike brzine provajdera, manje brzine za korisnike

- **Tehnološka podela mreža:**

- L2 uređaji – svičevi
- L2 protokoli - Ethernet, Wireless, MPLS (FrameRelay, ATM, SDH)
- L3 uređaji – ruteri, L3 svičevi
- L3 protokoli – IP, IPv6

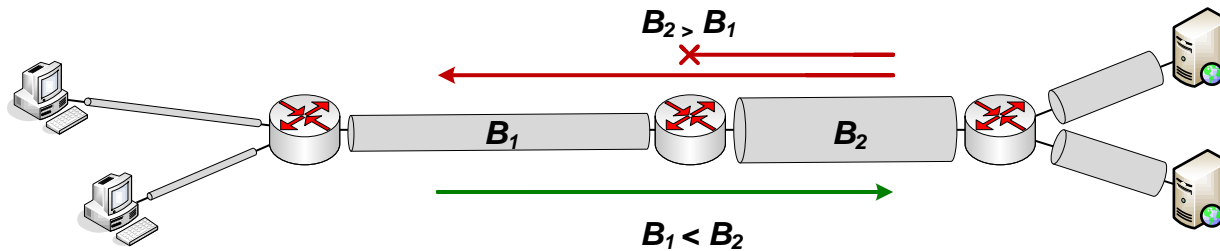
Današnje računarske mreže

- Internet - povezivanje različitih mreža u jedinstvenu mrežu
- ISP – *Internet Service Provider*
- IXP – *Internet Exchange Point*



Protok podataka

- Protok podataka (brzina prenosa) – *throughput (speed)*
- Kapacitet veze – maksimalni protok – *bandwidth (capacity)*



- Jedinica mere
 - **bps** – *bits per second*, biti u sekundi
- Dekadni multiplikatori
 - kbps – *Kilo-bits per second* (10^3)
 - Mbps – *Mega-bits per second* (10^6)
 - Gbps – *Giga-bits per second* (10^9)
 - Tbps – *Tera-bits per second* (10^{12})

Kašnjenje paketa

- Kašnjenje paketa - *delay*

- Vreme prenosa celog paketa između dve tačke u mreži (u jednom smeru)

$$d = d_n + d_q + d_t + d_p$$

- d_n – Vreme procesiranje u uređaju (*nodal processing*)

- odlučivanje o prosleđivanju paketa – manje od 1 ms

- d_q – Vreme čekanje u redu (*queueing delay*)

- redovi čekanja na izlaznim vezama mogu da sadrže i druge pakete

- $d_q = \sum L_i / B$

- L_i – veličina jednog paketa u bitima, B – kapacitet veze u *bps*

- d_t – Vreme sekvencijalnog izlaska paketa „bit-po-bit“ (*transmission delay*)

- $d_t = L / B$

- Primer: paket od 10.000 bita, na vezi od 10 Mbps, izađe za 1 ms

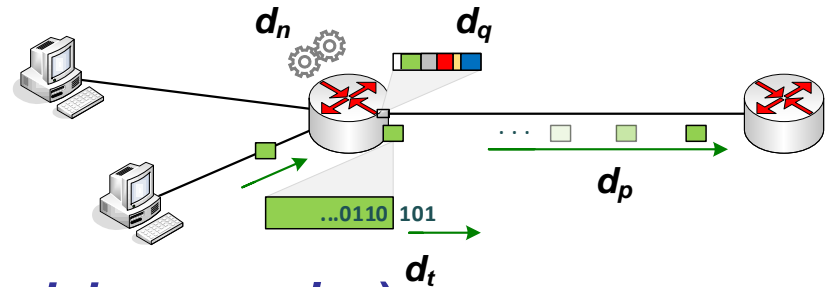
- d_p – Vreme propagacije (*propagation delay*)

- $d_p = D / v$

- D – dužina veze

- v - brzina prenosa signala u fizičkom medijumu – oko $2/3 c$ ($\sim 200.000.000$ m/s)

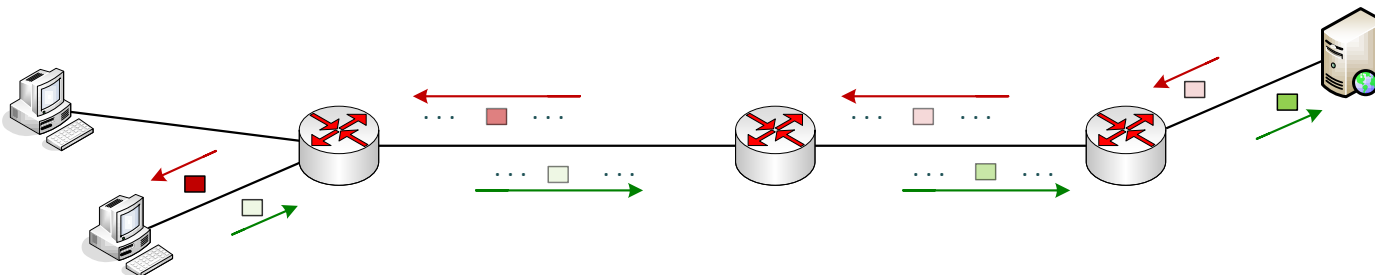
- Primer: vezu od 100 km paket prođe izađe za 0.5 ms



Ostali parametri

- **RTT – *Round Trip Time***

- Vreme prenosa paketa u oba smera - od trenutka slanja paketa do prijema odgovora
- Komunikacija je dvosmerna – čekanje na odgovor



- **BER - Bit Error Rate**

- U koliko prenetih bitova se javlja statistička greška
- Uobičajeno - 10^{-8} , 10^{-9} i manje

- **Gubitak paketa (*packet loss*)**

- Izraženo u procentima (%)
- Usled zagušenja u mreži (redovi čekanja u uređajima)

Predmet kursa

- Protokoli i tehnologije pojedinačnih slojeva TCP/IP modela
 - L1,L2
 - UTP, FO
 - LAN – Ethernet, svičevi, VLAN, STP
 - WAN – PPP
 - Wireless
 - L3 – IP - Internet protokol (IPv4, IPv6)
 - adresiranje, pod mreže
 - principi i protokoli rutiranja
 - L4 – TCP, UDP
 - protokoli i mehanizmi transporta
 - L7 – Aplikativni sloj
 - primeri pojedinih aplikacija

Literatura

- Wendell Odom
„CCNA - Cisco official exam certification guide“
Cisco Press
- James Kurose, Keith Ross
„Computer Network - A Top-Down Approach“
- James Kurose, Keith Ross
„Umrežavanje računara: Od vrha ka dnu“
prevod 7. izdanja
CET

