



БК



Violeta Dimić
Milan Gligorijević

RAČUNARSKE MREŽE I IP TEHNOLOGIJE



Beograd, 2025



Алфа БК Универзитет

ALFA BK UNIVERZITET
Fakultet informacionih tehnologija
Fakultet za matematiku i računarstvo

Violeta Dimić, Milan Gligorijević

RAČUNARSKE MREŽE I IP TEHNOLOGIJE
Prvo izdanje

Beograd, 2025.

Doc. dr Violeta Dimić
Prof. dr Milan Gligorijević

RAČUNARSKE MREŽE I IP TEHNOLOGIJE

Izdavač
ALFA BK UNIVERZITET
Palmira Toljatija 3, Beograd
Za izdavača
Prof. dr Jovan Veselinović
Recenzenti
Prof. dr Dejan Viduka
Prof. dr Negovan Stamenković
Lektura
Lektorski tim Alfa BK Univerziteta
Dizajn korica
Doc. dr Violeta Dimić
Štampa
3D + Beograd
Tiraž
100
ISBN-978-86-6461-089-6

Copyright © Violeta Dimić i Milan Gligorijević, 2025

Sva prava su zadržana. All rights reserved.

*Zahvalnost ljudima koji su motivisali autore da napišu ovakav udžbenik i
unapred onima koji će imati motivaciju da stiču znanja iz istog*

SADRŽAJ

PREDGOVOR	10
1 UVOD U RAČUNARSKE MREŽE	12
1.1 Pojam i značaj	12
1.1.1 Prednosti mrežne komunikacije	13
1.2 Istorija računarskih mreža i Interneta	15
1.2.1 Razvoj paketskog prenosa	15
1.2.2 Mreže i međumrežno povezivanje	16
1.2.3 Ekspanzija mreža	18
1.2.4 Internet	19
1.3 Podela mreža	21
1.3.1 Osnovni elementi mreže	21
1.3.2 Vrste mreža	22
1.3.3 Mrežna topologija	24
1.4 Mrežna arhitektura	26
1.4.1 Format podataka	26
1.4.2 Mrežni protokoli	27
1.4.3 Logičke strukture	28
1.5 Mrežni modeli	30
1.5.1 OSI model	30
1.5.2 TCP/IP model	33
1.5.3 Enkapsulacija podataka i vrste usluga	36
1.5.4 Povezivanje teorije sa praktičnom primenom	38
REZIME	39
PITANJA ZA PROVERU ZNANJA	40
PROBLEMI I PITANJA ZA DISKUSIJU	42
LITERATURA	43

2 APLIKACIONI SLOJ	46
2.1 Mrežne aplikacije	46
2.1.1 Arhitektura aplikacionog sloja	46
2.1.2 Komunikacija i interfejs između procesa	48
2.1.3 Transportne usluge dostupne aplikacijama	51
2.1.4 Usluge transportnog sloja koje pruža Internet.....	52
2.1.5 Protokol kao deo mrežne aplikacije	55
2.2 WEB i HTTP	56
2.2.1 Nepostojane i postojeane veze	57
2.2.2 Format HTTP poruka	59
2.2.3 Interakcija Korisnika i Servera: Kolačići (Cookies)	63
2.2.4 Keširanje na Vebu	64
2.2.5 HTTP/2.....	69
2.3 Elektronska pošta na internetu	72
2.3.1 SMTP protokol.....	73
2.4 DNS—Direktorijumska usluga Interneta	77
2.4.1 Usluge koje pruža DNS.....	78
2.4.2 Pregled funkcionisanja DNS-a	79
2.4.3 DNS keširanje	82
2.5 Video Streaming i Mreže za Distribuciju Sadržaja (CDN)	85
2.5.1 HTTP Streaming i DASH	85
2.5.2 Mreže za Distribuciju Sadržaja (CDN)	86
REZIME	88
PITANJA ZA PROVERU ZNANJA	90
PROBLEMI I POTENCIJALNA REŠENJA	91
LITERATURA.....	94
3 TRANSPORTNI SLOJ	97

3.1 Uvod u transportni sloj	97
3.1.1 Pregled transportnog sloja na Internetu	99
3.2 Multipleksiranje i demultipleksiranje u transportnom sloju	101
3.2.1 Multipleksiranje i demultipleksiranje bez povezivanja	102
3.2.2 Multipleksiranje i demultipleksiranje sa povezivanjem	102
3.2.3 Transport bez povezivanja	104
3.2.4 Principi pouzdane prenosa podataka	107
3.3 Transport zasnovan na povezivanju: TCP	116
3.3.1 TCP veza	116
3.3.2 Struktura TCP segmenta	117
3.3.3 Procena vremena povratnog putovanja (RTT)	120
3.3.4 Pouzdan prenos podataka	121
3.3.5 Kontrola protoka	126
3.3.6 Upravljanje TCP vezom	128
3.4 Kontrole zagušenja	129
3.4.1 Klasična kontrola zagušenja u TCP-u	131
3.4.2 TCP Kontrola Zagušenja	134
3.4.3 QUIC: Brze UDP Internet Veze	137
REZIME	138
PITANJA ZA PROVERU ZNANJA	139
PROBLEMI I POTENCIJALNA REŠENJA	140
LITERATURA	142
4 SLOJ MREŽE	145
4.1 Osnovne funkcije mrežnog sloja	145
4.2 Funkcije prosleđivanja unutar rutera	148
4.2.1 Obrada kontrolnih paketa	151
4.2.2 Redovi čekanja	152

4.2.3 Raspoređivanje paketa.....	156
4.3 Internet Protokol (IP): Adresiranje.....	159
4.3.1 IPv4	159
4.3.2 Prevođenje Mrežnih Adresa (NAT)	163
4.3.3 IPv6	165
4.3.4 Prelazak sa IPv4 na IPv6.....	166
4.4 Generalizovano prosleđivanje i SDN	168
4.5 Upravljanje mrežnim slojem	171
4.5.1 Link-State (LS) Algoritam Rutiranja	175
4.5.2 Algoritam rutiranja sa vektorom udaljenosti (Distance-Vector Routing Algorithm).....	181
4.5.3 OSPF protokol.....	186
4.5.4 Međusobno rutiranje između ISP-ova: BGP	187
4.6 SDN Kontrolna Ravan	192
4.6.1 SDN kontrolna ravan.....	194
4.6.2 Protokol OpenFlow	195
4.6.3 ICMP: Internet Protokol za Kontrolne Poruke	196
4.6.4 Upravljanje mrežom.....	198
REZIME	202
PITANJA ZA PROVERU ZNANJA	203
PROBLEMI I NJHOVA REŠENJA	204
LITERATURA.....	206
5 PRISTUP MREŽI	209
5.1 Uvod u sloj veze	209
5.2 Tehnike za detekciju i ispravljanje grešaka.....	212
5.2.1 Paritetne provere	213
5.2.2 Metode provere zbira (Checksumming Methods).....	214
5.2.3 Ciklička provera redundansi (CRC)	215

5.3 Veze s višestrukim pristupom i protokoli.....	217
5.3.1 Protokoli za deobu kanala	219
5.3.2 Protokoli sa slučajnim pristupom	221
5.3.3 Carrier Sense Multiple Access (CSMA)	224
5.3.4 Detekcija sudara u višestrukome pristupu sa osluškivanjem nosioca (CSMA/CD)	225
5.3.5 Adresiranje na sloju veze i protokol za prevođenje adresa	229
5.4 Ethernet	234
5.5 Mrežni uređaji	242
5.6 Virtuelne lokalne mreže (VLAN).....	245
5.7 Virtualizacija veze: Mreža kao sloj veze.....	247
5.7.1 Multiprotokolsko preslikavanje oznaka (MPLS)	248
REZIME	250
Pitanja za proveru znanja studenata	251
Potencijalni problemi i njihova rešenja	252
LITERATURA.....	254
6 Bežične i mobilne mreže	256
6.1 Karakteristike bežičnih veza i mreža.....	256
6.1.1 CDMA – kodna višestruka podela pristupa	258
6.2 WiFi – 802.11 bežične LAN mreže.....	258
6.2.1 Arhitektura i bezbednost 802.11 mreža.....	259
6.2.2 802.11 MAC protokol	261
6.2.3 Okvir IEEE 802.11	263
6.2.4 Mobilnost unutar iste IP podmreže	265
6.2.5 Napredne funkcije u 802.11	266
6.2.6 Bluetooth	267
6.3 Mobilne mreže: 4G i 5G.....	267
6.3.1 4G LTE.....	267

6.4 5G mreže	270
6.5 Upravljanje mobilnošću	272
6.5.1 Mobilnost uređaja iz perspektive mrežnog sloja	272
6.5.2 Matične i Gostujuće Mreže	272
6.5.3 Direktno i Indirektno Rutiranje ka Mobilnom Uređaju	272
6.6 Upravljanje mobilnošću u praksi	274
6.6.1 Upravljanje mobilnošću u 4G/5G mrežama	274
6.6.2 Mobile IP	276
REZIME	277
PITANJA ZA PROVERU ZNANJA	278
PROBLEMI I POTENCIJALNA REŠENJA	279
LITERATURA	281
7 BEZBEDNOST RAČUNARSKIH MREŽA	283
7.1 Uvod u bezbednost i potencijalne pretnje	283
7.2 Kriptografija	284
7.2.1 Principi kriptografije	285
7.2.2 Kriptografski algoritmi	285
7.2.3 Šifrovanje javnim ključem	287
7.2.5 Integritet poruka	291
7.2.6 Obezbeđivanje sigurnosti e-pošte	292
7.3 IPsec i Virtuelne Privatne Mreže (VPN)	294
7.3.1 Sigurnosna asocijacija i IPsec datagram	296
7.4 Sigurnost bežičnih mreža i 4G/5G	297
7.5 Zaštitni zidovi (Firewall) i sistemi za detekciju upada (IDS)	299
REZIME	302
PITANJA ZA PROVERU ZNANJA	302
PROBLEMI I NJIHOVA REŠENJA	303

LITERATURA.....	304
REČNIK STRUČNIH POJMOVA	307
BIBLIOGRAFIJA	316
BIOGRAFIJA VIOLETE DIMIĆ	327
BIOGRAFIJA MILANA GLIGORIJEVIĆA	328

PREDGOVOR

Dobrodošli u udžbenik "Računarske mreže i IP tehnologije ", namenjen čitaocima koji žele da steknu ili unaprede svoja znanja iz oblasti savremenih mrežnih tehnologija. Ovaj udžbenik prvenstveno je osmišljen za studente OAS i MAS studija na Fakultetu za informacione tehnologije i OAS studija na Fakultetu za matematiku i računarske nauke, Alfa BK Univerziteta, ali je koristan i za širu publiku, uključujući inženjere, IT stručnjake, istraživače i sve one koji se bave dizajnom, implementacijom i održavanjem mrežnih sistema.

Cilj ovog udžbenika je da pruži sveobuhvatan pregled koncepta i tehnologija koje čine osnovu savremenih računarskih mreža i IP tehnologija. Kroz detaljna objašnjenja, primere i analize, studenti će biti u mogućnosti da razumeju osnovne principe mrežne komunikacije i arhitekture, kao i da savladaju ključne protokole i standarde koji omogućavaju rad mreža. Studenti će biti u mogućnosti da primene stečeno znanje u dizajnu i optimizaciji mrežnih sistema kao i da prate aktuelne trendove i tehnologije, poput 5G mreža, SDN-a, i mrežne bezbednosti.

Udžbenik je prilagođen kako početnicima, tako i onima sa osnovnim znanjem o mrežama, nudeći teorijske osnove, ali i praktične primere za savremene aplikacije. Ovaj udžbenik je pažljivo strukturiran kako bi čitaocima pružio sveobuhvatan uvid u koncept mrežne infrastrukture, počevši od osnovnih pojmova pa sve do savremenih tehnologija.

U uvodnim poglavljima obrađuju se osnovne mrežne komunikacije, gde se definišu pojmovi mreža, objašnjavaju njihove prednosti i prikazuju različiti tipovi mreža i topologija. Ovaj deo pruža temelj za razumevanje kako mreže funkcionišu i zašto su ključne u savremenom svetu.

Dalje, udžbenik prelazi na analizu mrežnih modela, uključujući OSI i TCP/IP modele, sa posebnim osvrtom na njihove slojeve i funkcije. Kritički osvrt na svaki model omogućava studentima da sagledaju njihove prednosti, nedostatke i praktičnu primenu u stvarnim mrežnim sistemima. Obrađuju se i koncepti enkapsulacije i vrste mreža, čime se obezbeđuje šira perspektiva arhitekture mreža.

Poseban fokus stavljen je na aplikacioni sloj, gde se detaljno razmatraju mrežne aplikacije poput HTTP-a, DNS-a, i elektronske pošte, ali i moderni protokoli za streaming medija i peer-to-peer mreže. Poglavlje naglašava važnost aplikacionog sloja kao mosta između korisnika i mreže. Kroz razumevanje njegovih protokola i arhitektura, studenti su osposobljeni za razvoj mrežnih aplikacija koje zadovoljavaju zahteve modernih korisnika i tehnologija.

Transportni sloj se bavi ključnim protokolima poput TCP-a i UDP-a, objašnjavajući mehanizme pouzdanog prenosa, segmentacije i reasembliranja podataka. Pored klasičnih protokola, uključeni su i noviji, poput SCTP-a i DCCP-a, koji su dizajnirani za specifične potrebe savremenih aplikacija. Takođe, obrađuju se portovi i njihova uloga u komunikaciji, što je od ključnog značaja za razumevanje mrežnih aplikacija. Transportni sloj je temelj mrežne arhitekture, odgovoran za pouzdanu i efikasnu komunikaciju između aplikacija, uz prilagođavanje dinamičkim mrežnim uslovima i razvoju IP tehnologija.

Mrežni sloj pokriva osnovne funkcije poput adresiranja, rutiranja i enkapsulacije paketa, sa detaljnim objašnjenjima o IPv4 i IPv6 protokolima. Takođe, obrađuju se ICMP protokol i dinamički protokoli rutiranja poput RIP-a i OSPF-a, čime se pruža uvid u način na koji se podaci kreću kroz složene mreže. Poseban deo posvećen je NAT-u i podmrežavanju, omogućavajući čitaocima da razumeju kako se mreže optimizuju i skaliraju.

Sloj veze i fizički sloj, kao jedinstven sloj pristupa mreži, objašnjavaju osnovne principe prenosa podataka, detekcije grešaka i kontrole pristupa medijima. Ethernet i bežične mreže, uključujući standarde poput 802.11, 4G i 5G, detaljno su razmotreni, zajedno sa izazovima kao što su interferencija i sigurnost.

Napredna poglavlja obrađuju moderne tehnologije poput softverski definisanih mreža (SDN), virtualizacije mrežnih funkcija (NFV) i IoT mreža, dok je značajan deo posvećen mrežnoj bezbednosti, uključujući SSL/TLS protokole, VPN tehnologije i zaštitu od napada. Ove teme osiguravaju da studenti budu spremni za izazove koje donose savremeni mrežni sistemi.

Na kraju svakog poglavlja postoji rezime, pitanja za proveru znanja, problemi u praksi i literatura. Problemi i pitanja za diskusiju bi trebalo da podstiču studente da razmišljaju o praktičnim izazovima, predlažu rešenja i argumentuju svoje stavove, pripremajući se za realne situacije u radu sa mrežama.

Svakako verujem da će ovaj udžbenik studentima poslužiti kao koristan vodič za razumevanje mrežnih tehnologija i njihove upotrebe u stvarnom svetu. Pored toga, inženjeri i/ili stručnjaci će pronaći korisne informacije za poboljšanje svojih mrežnih sistema u skladu sa najnovijim trendovima u praksi.

1 UVOD U RAČUNARSKE MREŽE

Poznavanje računarskih mreža postalo je ključna veština u savremenom svetu. Cilj prvog poglavlja je da pruži osnovno razumevanje računarskih mreža, njihovih ključnih pojmova, istorijskog razvoja, arhitekture i praktične primene. Kroz ovo poglavlje, čitalac će steći znanja o tome kako mreže funkcionišu, koji su osnovni elementi njihove strukture i kako se razvijala tehnologija koja omogućava modernu digitalnu komunikaciju. Cilj ovog poglavlja je da omogući razumevanje mrežnih modela, OSI i TCP/IP modele, koji su osnova za dizajn i implementaciju računarskih mreža. Studenti će se upoznati sa osnovnim principima slojevite arhitekture mrežnog softvera, naučiće kako svaki sloj obavlja specifične funkcije i kako se ovi slojevi međusobno povezuju. Takođe, studenti će naučiti kako se ovi modeli koriste u praksi, kako bi se omogućila interoperabilnost među različitim mrežnim uređajima i tehnologijama. Kritički osvrt na prednosti i mane oba modela pomoći će studentima da shvate njihove primene u stvarnim mrežama, kao i da prepoznaju izazove u implementaciji i razvoju mrežnih sistema. Na kraju, poglavlje će obraditi proces enkapsulacije podataka i vrste usluga koje mrežni slojevi pružaju, što je ključno za efikasnu i sigurnu razmenu podataka u mrežama.

1.1 Pojam i značaj

Sa ubrzanom digitalizacijom poslovanja, obrazovanja i društvene komunikacije, razumevanje kako mreže funkcionišu pomaže ne samo u tehničkim profesijama, već i u svakodnevnom životu. Izučavanje mreža omogućava bolje razumevanje sigurnosti podataka, efikasno upravljanje mrežnim resursima, kao i sposobnost da se rešavaju problemi koji mogu nastati u takvom okruženju. Računarske mreže predstavljaju sistem međusobno povezanih uređaja i računara koji omogućavaju deljenje resursa i informacija putem različitih tehnologija prenosa podataka (Pleskonjić, 2006). Korišćenjem mreža, uređaji mogu da razmenjuju podatke, komuniciraju i sinhronizuju se, bilo da se nalaze u istom prostoru ili na različitim geografskim lokacijama. Ove mreže kao temelj moderne digitalne komunikacije, omogućavaju pristup internetu, elektronskoj pošti, deljenje datoteka i mnoge druge usluge koje su deo svakodnevnog života (Wikipedia, 2024). Znanje o mrežama je osnova za razvoj karijere u IT industriji, mrežnoj administraciji, programiranju i mnogim drugim poljima, kao posledica uvođenja digitalizacije (slika 1.1).

Digitalizacija

POSLOVANJE:

strategijski pristup, menadžment, transformacija, virtualizacija

OBRAZOVANJE:

pametna učionica, inovacije, IoT, e-biblioteka

KOMUNIKACIJE:

internet, društvene mreže, mediji, onlajn platforme

Slika 1.1 Digitalizacija poslovanja, obrazovanja i društvene komunikacije

Mrežna komunikacija predstavlja osnovu savremenog poslovanja, obrazovanja, naučnih istraživanja i svakodnevnog života. Njena primena omogućava razmenu informacija i resursa među uređajima i korisnicima, čime se postiže efikasnija organizacija rada i bolja iskorišćenost dostupnih tehnologija.

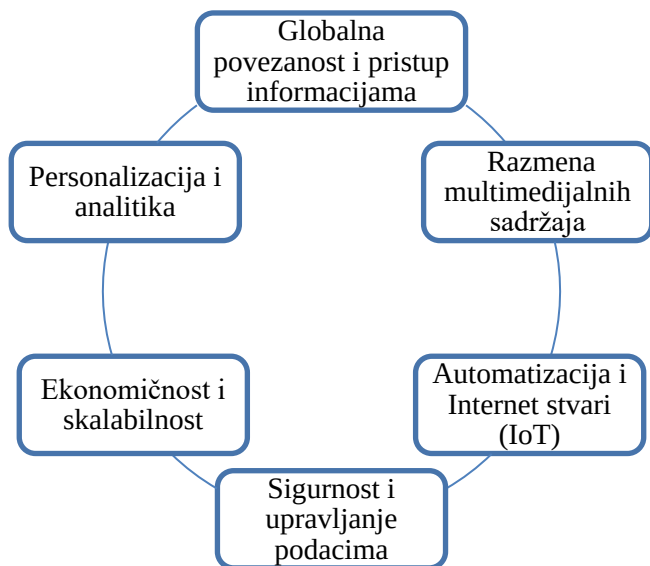
1.1.1 Prednosti mrežne komunikacije

Jedna od najvažnijih prednosti mrežne komunikacije jeste mogućnost deljenja resursa među korisnicima i uređajima. Ova funkcionalnost se ogleda kroz nekoliko aspekata. Jedan od aspekata je deljenje resursa. **Deljenje hardverskih resursa** omogućava istovremeni pristup više korisnika istom uređaju, poput štampača, skenera ili servera, čime se smanjuju troškovi nabavke i održavanja opreme. Tako, na univerzitetima kako zaposleni tako i studenti koriste mrežno povezane štampače za štampanje nastavnih materijala i radova. **Deljenje softverskih resursa** se ogleda kroz softverske alate ili aplikacije koji/e mogu biti instalirani/e na centralizovanom serveru i dostupni/e svim korisnicima u mreži. Primer ovakvog deljenja resursa je pristupanje platformama za elektronsko učenje ili aplikacijama za analizu podataka u okviru mreže fakulteta. **Deljenje podataka** iz centralizovane baza podataka omogućava korisnicima da pristupe informacijama u realnom vremenu, bez potrebe za fizičkom razmenom podataka. Biblioteke koriste mrežne sisteme za pretragu i izdavanje knjiga (Urošević, 2004).

Mrežna komunikacija značajno unapređuje **timski rad**, posebno u situacijama kada članovi tima nisu fizički prisutni na istom mestu. Korisnici mogu da razmenjuju informacije i zajednički rade na projektima putem mrežnih alata, poput platformi za video-konferencije i aplikacija za zajedničko uređivanje dokumenata. Članovi tima mogu da komuniciraju i razmenjuju ideje bez obzira

na geografsku udaljenost, što utiče, naravno kako na smanjenje prostornih, tako i vremenskih ograničenja. Na primer, organizovanje međunarodnih virtuelnih seminara i radionica. Mreže omogućavaju stvaranje virtuelnih zajednica gde korisnici mogu deliti znanja, postavljati pitanja i dobijati odgovore. Univerzitetski istraživački timovi koriste mrežne alate poput Google Drive-a ili Microsoft Teams-a za rad na zajedničkim projektima. Takođe i forumi poput Stack Overflow-a su dobri primeri ključne uloge mrežne komunikacije u IT zajednici (Božović, 2015).

Razmena informacija kroz poruke, datoteke i drugih oblika podataka koja se trenutno odvija i obrađuje, **ubrzava donošenje odluka i rešavanje problema**. Na, primer, diskusija između studenata i profesora putem mrežnih foruma ili sistema za upravljanje učenjem (LMS). Mrežni alati omogućavaju istovremeni rad na dokumentima i projektima, čime se smanjuju kašnjenja i povećava efikasnost. Na primer, timovi koriste platforme poput Slack-a za koordinaciju zadataka i razmenu informacija u realnom vremenu. Mrežna komunikacija **podstiče interdisciplinarnu saradnju i inovacije**, omogućavajući timovima iz različitih oblasti da razmenjuju ideje i razvijaju nova rešenja (Randelović, 2019). Prednosti mrežnih komunikacija su predstavljene na slici 1.2.



Slika 1.2 Prednosti mrežnih komunikacija

Navedene prednosti možemo objasniti kroz primere u praksi. Tako, kada je u pitanju globalna povezanost i pristup informacijama, univerziteti koriste

platforme poput ResearchGate-a i JSTOR-a za deljenje istraživačkih radova i rezultata.

Sledeća prednost se ogleda u tome da studenti mogu koristiti platforme poput YouTube-a za pristup edukativnim video-sadržajima, dok kompanije koriste mreže za kreiranje i distribuciju reklamnih kampanja.

Pametne kuće koriste mrežnu komunikaciju za daljinsko upravljanje uređajima, dok bolnice koriste IoT uređaje za praćenje pacijenata u realnom vremenu (automatizacija i Internet stvari).

Banke koriste mrežne sisteme za bezbedno obavljanje transakcija i upravljanje podacima klijenata (sigurnost i upravljanje podacima).

Kompanije koriste cloud infrastrukturu za skalabilno skladištenje podataka i aplikacija, čime se izbegava potreba za velikim ulaganjima u fizičku opremu.

Streaming servisi poput Netflix-a koriste analitiku podataka kako bi preporučili sadržaje prilagođene interesovanjima korisnika (Veinović, 2007).

1.2 Istorija računarskih mreža i Interneta

Kroz ovo podpoglavljje ćemo upoznati ključne momente u nastanku i evoluciji tehnologija koje danas koristimo.

1.2.1 Razvoj paketnog prenosa

Razvoj računarskih mreža i savremenog Interneta započeo je početkom 1960-ih, u vremenu kada je telefonska mreža bila dominantni komunikacioni sistem. Telefonska mreža je koristila **komutaciju kola** za prenos informacija, što je bilo prikladno za prenos glasa, jer se podaci između pošiljaoca i primaoca prenose konstantnom brzinom. Međutim, sa rastućim značajem računara i pojavom **računara za deljenje vremena** (time-shared computers), prirodno se postavilo pitanje kako povezati računare tako da omoguće pristup korisnicima na udaljenim lokacijama. Saobraćaj generisan takvim korisnicima bio je **isprekidan** – periodi aktivnosti, poput slanja komande udaljenom računaru, bili su praćeni intervalima neaktivnosti dok se čeka odgovor ili razmišlja o primljenim podacima. Tri istraživačke grupe širom sveta, nezavisno jedna od druge, započele su rad na razvoju **komutacije paketa** kao efikasne i robusne alternative komutaciji kola.

Prvo objavljeno istraživanje o tehnikama komutacije paketa pripada Leonardu Klajnroku (Leonard Kleinrock), tada studentu na MIT-u. Koristeći teoriju redova čekanja, Klajnrok je pokazao efikasnost komutacije paketa za isprekidane izvore saobraćaja. Paralelno, Pol Baran (Paul Baran) iz Rand instituta istraživao je primenu komutacije paketa za bezbedan prenos glasa u vojnim mrežama, dok su Donald Dejvis (Donald Davies) i Rodžer Skantlberi

(Roger Scantlebury) u Nacionalnoj fizikalnoj laboratoriji u Engleskoj razvijali svoje ideje o istoj tehnologiji. Ova istraživanja postavila su temelje za današnji Internet (Wikipedia, 2024).

Istorija Interneta nije samo akademska – odlikuje je i pristup „izgradimo i demonstrirajmo“. Ovaj praktični duh bio je prisutan još u 1960-im godinama, kada su Dž. Si. R. Licklider (J. C. R. Licklider) i Lorens Roberts (Lawrence Roberts), Klajnrokov saradnici sa MIT-a, vodili program za računarske nauke u Agenciji za napredne istraživačke projekte (ARPA) u Sjedinjenim Državama (Licklider, 1960). Roberts je 1967. godine objavio plan za ARPAnet – prvu računarsku mrežu zasnovanu na komutaciji paketa, koja se smatra direktnim prethodnikom današnjeg Interneta. Na **Dan rada 1969. godine**, prvi paketni preklopnik (packet switch) instaliran je na UCLA pod Klajnrokovim nadzorom. Ubrzo su instalirana još tri preklopnika: na Stanford Research Institute (SRI), Univerzitetu Kalifornije u Santa Barbari i Univerzitetu Jute. Do kraja 1969. godine, ova pionirska mreža imala je četiri čvora. Klajnrok se seća prvog pokušaja udaljenog prijavljivanja sa UCLA na SRI, kada je sistem pao prilikom unosa prvih nekoliko karaktera.

Do 1972. godine, ARPAnet je porastao na približno 15 čvorova i prvi put je javno demonstriran pod vođstvom Roberta Kana (Robert Kahn). U isto vreme, razvijen je prvi protokol za komunikaciju između krajnjih sistema ARPAnet-a, poznat kao **Network Control Protocol (NCP)**. Ovaj protokol omogućio je razvoj aplikacija, a iste godine, Rej Tomlinson ([britanica](#), 2024) napisao je prvi program za elektronsku poštu, što je označilo početak nove ere komunikacije.

1.2.2 Mreže i međumrežno povezivanje

Početni ARPAnet bio je jedinstvena i zatvorena mreža. Da bi se komuniciralo sa hostom na ARPAnet-u, bilo je neophodno biti fizički povezan sa drugim ARPAnet IMP-om (Interface Message Processor). Međutim, od ranih do sredine 1970-ih, razvijale su se i druge samostalne mreže zasnovane na komutaciji paketa, koje su postale značajne u istoriji mreža.

Jedna od prvih takvih mreža bila je **ALOHA mreža**, mikrotalasna mreža koja je povezivala univerzitete na Havajskim ostrvima. Razvio ju je Norman Abramson, a njen **ALOHA protokol** omogućio je korisnicima sa udaljenih lokacija da dele zajednički komunikacioni medij koristeći radio frekvencije. Ovaj protokol bio je prvi višekorisnički protokol za pristup, postavljajući temelje za buduće tehnologije deljenja resursa.

U isto vreme, **DARPA** je radila na razvoju mreža baziranih na paketskoj tehnologiji, uključujući **paketsko-satelitske** mreže i **paketsko-radio** mreže (Šunjevarić, 2011). Francuska mreža **Cyclades**, koju je predvodio Luj Puzin

(Louis Pouzin), takođe je bila pionirski projekat u komutaciji paketa. Cyclades je bila značajna jer je naglasila koncept krajnjih sistema (end-to-end), što je kasnije postalo ključni princip Interneta. Ostale mreže, poput **Tymnet-a** i mreže **GE Information Services**, omogućavale su deljenje vremena i resursa među korisnicima.

IBM je tokom ovog perioda razvijao svoju mrežnu arhitekturu poznatu kao **SNA (Systems Network Architecture)**, koja je radila paralelno sa razvojem ARPAnet-a. Ove mreže su, iako odvojene, pokazale potrebu za arhitekturom koja bi omogućila povezivanje različitih mreža.

Rastući broj samostalnih mreža jasno je ukazivao na potrebu za arhitekturom koja bi omogućila njihovo međusobno povezivanje. U okviru DARPA programa, Vinton Serf (Vinton Cerf) i Robert Kan (Robert Kahn), prikazani na slici 1.3 a i b, respektivno, radili su na razvoju koncepta **međumrežnog povezivanja (internetting)**, što je dovelo do stvaranja mreže mreža.



Slika 1.3 Vinton Serf (Vinton Cerf) (a) i Robert Kan (Robert Kahn) (b)

https://en.wikipedia.org/wiki/Vint_Cerf

[https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Kahn_\(computer_scientist\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Kahn_(computer_scientist))

Ovaj rad rezultirao je razvojem ključnih arhitektonskih principa koji su implementirani u protokolu **TCP (Transmission Control Protocol)**.

Rane verzije TCP-a bile su značajno drugačije od današnjeg TCP-a. Kombinovala su pouzdan prenos podataka sa funkcijama prosleđivanja, koje su kasnije izdvojene u **IP (Internet Protocol)** (Kumar, 2008). Eksperimenti sa TCP-om ukazali su na potrebu za nepouzdanim transportnim servisom bez kontrole toka, što je dovelo do razvoja **UDP (User Datagram Protocol)**. Do kraja 1970-ih, tri ključna protokola Interneta – TCP, UDP i IP – bila su konceptualno definisana.

Pored istraživanja vezanih za Internet, značajan napredak ostvaren je i u razvoju lokalnih mreža. Na osnovu Abramsonovog rada na ALOHA protokolu, Robert Metkalf (Robert Metcalfe) i Dejvid Bogs (David Boggs) razvili su **Ethernet protokol** za deljene žične mreže. Ethernet je omogućio povezivanje više računara, štampača i diskova na zajedničku mrežu. Iako je razvijen pre pojave personalnih računara i eksplozije mreža, Ethernet je postavio temelje za savremene lokalne mreže (LAN).

1.2.3 Ekspanzija mreža

Tokom 1980-ih godina, svet računarskih mreža doživeo je značajan rast i transformaciju. Na kraju 1970-ih, ARPAnet je povezivao oko 200 računarskih hostova. Međutim, do kraja 1980-ih, broj hostova povezanih na javni Internet, koji je sve više ličio na današnji Internet, dostigao je čak 100.000. Ova decenija obeležena je eksplozijom mreža, što je rezultat različitih inicijativa usmerenih na povezivanje univerziteta i drugih institucija u širu mrežnu zajednicu.

Jedan od ključnih podsticaja za razvoj mreža bila je potreba univerziteta za razmenom informacija. **BITNET** (Because It's Time Network) omogućio je razmenu elektronske pošte i prenos fajlova između univerziteta na severoistoku Sjedinjenih Država. Ova mreža bila je jednostavna za korišćenje i brzo je postala popularna u akademskim krugovima.

U isto vreme, osnovan je **CSNET** (Computer Science Network), mreža koja je omogućila povezivanje univerzitetskih istraživača koji nisu imali pristup ARPAnet-u. CSNET je bio značajan jer je širio dostupnost mreža i omogućavao razmenu informacija među istraživačima na globalnom nivou (Gong, 2011).

Godine 1986, Nacionalna naučna fondacija (NSF) osnovala je **NSFNET** kako bi obezbedila pristup superračunarskim centrima koje je sponzorisala. NSFNET je započeo sa okosnicom (backbone) brzinom od 56 kbps, ali je do kraja decenije povećao brzinu na 1,5 Mbps, što je značajno unapredilo performanse mreže. NSFNET je postao primarna infrastruktura za povezivanje regionalnih mreža, služeći kao temelj za dalji razvoj Interneta.

U okviru ARPAnet zajednice, ključni elementi današnje Internet arhitekture počeli su da se oblikuju. Dana **1. januara 1983. godine, TCP/IP protokol** zvanično je uveden kao standardni protokol za ARPAnet, zamenivši prethodni NCP protokol. Ovaj prelazak bio je poznat kao **flag day event**, jer su svi hostovi morali istog dana da pređu na novi protokol. TCP/IP je omogućio pouzdanu i skalabilnu komunikaciju, postavljajući temelje za savremeni Internet.

Krajem 1980-ih, TCP je dodatno unapređen uvođenjem mehanizama za kontrolu zagušenja, čime je povećana efikasnost mreže. Takođe, razvijen je **DNS** (Domain Name System), koji je omogućio mapiranje čitljivih imena domena

(npr. *gaia.cs.umass.edu*) na 32-bitne IP adrese. DNS je značajno olakšao korišćenje mreža, čineći ih pristupačnijim široj populaciji.

Dok su se u Sjedinjenim Državama razvijale mreže poput ARPAnet-a i NSFNET-a, Francuska je pokrenula ambiciozan projekat nazvan **Minitel**. Ovaj sistem, koji je sponzorirala francuska vlada, bio je zasnovan na javnoj mreži sa komutacijom paketa (koristeći X.25 protokol), Minitel serverima i jeftinim terminalima sa ugrađenim modemima niske brzine.

Godine 1984, francuska vlada je besplatno podelila Minitel terminale svim domaćinstvima koja su ih želela, čime je sistem brzo postao popularan. Korisnici su imali pristup raznovrsnim uslugama, uključujući besplatni telefonski imenik, kućno bankarstvo i specijalizovane baze podataka. Na svom vrhuncu sredinom 1990-ih, Minitel je nudio preko 20.000 usluga i bio prisutan u velikom broju francuskih domova, deset godina pre nego što je većina Amerikanaca uopšte čula za Internet.

1.2.4 Internet

Početak 1990-ih obeležen je važnim događajima koji su označili dalju evoluciju Interneta i njegovu komercijalizaciju. ARPAnet, pionirska mreža koja je bila preteča Interneta, prestao je da postoji. Godine 1991, NSFNET je ukinuo ograničenja na komercijalnu upotrebu, a do 1995. godine, Internet saobraćaj je prešao u ruke komercijalnih provajdera.

Najvažniji događaj decenije bio je nastanak **World Wide Web-a**, aplikacije koja je Internet učinila dostupnim milionima korisnika širom sveta. Web je poslužio kao platforma za razvoj stotina novih aplikacija, uključujući pretraživače (Google, Bing), elektronsku trgovinu (Amazon, eBay) i društvene mreže (Facebook). **Tim Berners-Li** (Tim Berners-Lee) je između 1989. i 1991. godine u CERN-u razvio osnovne komponente Web-a: **HTML**, **HTTP**, Web server i Web pretraživač. Do kraja 1993. godine, postojalo je oko 200 Web servera, ali je ubrzo usledila eksplozija njihovog broja ([naukakrozprice](#), 2019).

Razvoj grafičkih Web pretraživača, poput **Mosaic-a**, koji su kasnije evoluirali u **Netscape**, dodatno je popularizovao Internet. Do sredine 1990-ih, univerzitetski studenti svakodnevno su koristili Web, a kompanije su počele da implementiraju Web servere i razvijaju elektronsku trgovinu. Krajem decenije, Microsoft je ušao na tržište pretraživača, što je dovelo do "rata pretraživača" između Microsofta i Netscape-a, koji je Microsoft dobio.

Druga polovina 1990-ih bila je period intenzivnog rasta i inovacija. Internet je podržavao stotine aplikacija, uključujući četiri ključne:

- Elektronsku poštu sa priložima i Web-pristupom,
- Web pretraživanje i elektronsku trgovinu,

- Trenutnu razmenu poruka sa listama kontakata,
- Peer-to-peer deljenje fajlova.

U prvih dvadeset godina 21. veka, nijedna tehnologija nije transformisala društvo više od Interneta i pametnih telefona povezanih na mrežu. Inovacije u oblasti računarskih mreža nastavljaju se ubrzanim tempom, sa značajnim napretkom na svim frontovima. Uvođenje brzih rutera i povećanje brzine prenosa podataka, kako u pristupnim mrežama tako i u mrežnim okosnicama, obeležili su ovo razdoblje.

Od početka milenijuma, agresivno su se uvodile **širokopojasne Internet veze** u domaćinstva, uključujući kablovske modeme, DSL, optičke veze do kuće (fiber-to-the-home), i u poslednje vreme, 5G fiksne bežične mreže (Marinković, 2017). Ovaj brzi pristup Internetu postavio je temelje za **razvoj brojnih video aplikacija**. Na primer, platforme poput YouTube-a omogućile su distribuciju sadržaja generisanog od strane korisnika, dok su servisi kao što su Netflix i HBO Max popularizovali on-demand streaming filmova i serija. Višekorisničke video-konferencije, poput onih koje nude Skype, Zoom i Google Meet, postale su deo svakodnevnog života, posebno u poslovnim i obrazovnim okruženjima.

Povećana **dostupnost brzog bežičnog Interneta** omogućila je korisnicima da budu stalno povezani, čak i u pokretu. Ovo je dovelo do razvoja aplikacija specifičnih za lokaciju, poput Yelp-a za pretragu usluga, Tinder-a za društveno umrežavanje i Waze-a za navigaciju. Broj bežičnih uređaja povezanih na Internet je 2011. godine premašio broj žičnih uređaja, što je bio ključni trenutak u razvoju mrežnih tehnologija. Ova transformacija omogućila je brzo širenje ručnih računara – pametnih telefona i tableta, poput iPhone-a, Android uređaja i iPad-a – koji pružaju neprekidan i neograničen pristup Internetu. Ovi uređaji su postali osnova za mnoge moderne aplikacije i servise.

Društvene mreže, poput Facebook-a, Instagram-a, Twitter-a i kineskog WeChat-a, stvorile su ogromne mreže ljudi na osnovu Interneta. Ove platforme su postale centralno mesto za razmenu poruka, deljenje fotografija i društvenu interakciju. Mnogi korisnici danas provode značajan deo svog vremena unutar jedne ili više ovih mreža. Društvene mreže su kroz svoje API-je postale platforme za razvoj novih aplikacija, uključujući mobilna plaćanja i distribuirane igre. Ove inovacije omogućavaju dalji razvoj digitalnih usluga i integraciju sa svakodnevnim životom korisnika.

Veliki provajderi online servisa, poput Google-a i Microsoft-a, razvili su sopstvene opsežne **privatne mreže** koje povezuju njihove globalno distribuirane podatkovne centre. Ove mreže omogućavaju kompanijama da zaobiđu javni Internet i direktno se povežu sa nižerangiranim provajderima usluga (ISP). Rezultat toga je gotovo trenutni pristup uslugama poput pretrage i elektronske

pošte, pružajući korisnicima osećaj kao da se podaci obrađuju lokalno na njihovim računarima.

Mnoge kompanije, uključujući Amazon, Microsoft i Alibaba, prešle su na cloud infrastrukturu za pokretanje svojih aplikacija. **Cloud platforme**, poput Amazon EC2, Microsoft Azure i Alibaba Cloud, omogućavaju skalabilne okruženja za obradu i skladištenje podataka. Univerziteti i preduzeća migrirali su svoje aplikacije, poput elektronske pošte i Web hostinga, na cloud infrastrukturu, čime su smanjili troškove i povećali performanse. **Cloud servisi** ne samo da pružaju fleksibilnost u radu sa aplikacijama, već i implicitni pristup visokoperformantnim privatnim mrežama. Ova integracija omogućava brže, sigurnije i efikasnije upravljanje podacima i aplikacijama.

1.3 Podela mreža

Računarske mreže igraju ključnu ulogu u svakodnevnom životu, omogućavajući povezivanje i razmenu informacija u realnom vremenu. Njihova prisutnost obuhvata gotovo sve aspekte našeg života, od komunikacije, obrazovanja, zabave, do poslovanja i upravljanja. Bilo da se radi o jednostavnoj e-mail poruci, gledanju filmova putem striming servisa ili pristupanju poslovnim aplikacijama u oblaku, mreže su temelj na kojem počiva moderna digitalna ekonomija i društvo.

1.3.1 Osnovni elementi mreže

Da bismo bolje razumeli kako mreže funkcionišu, važno je poznavati osnovne pojmove:

Čvor (Node) - svaki uređaj ili računar povezan na mrežu. Čvor može biti računar, štampač, server, ruter, ili bilo koji drugi uređaj koji može slati i primati podatke.

Mrežni interfejs (Network Interface) - fizički ili virtuelni priključak koji omogućava uređaju povezivanje na mrežu. To može biti mrežna kartica (NIC), bežični adapter, ili softverski interfejs.

Pristupne tačke (Access Points) - uređaji koji omogućavaju bežičnu komunikaciju između računara i mreže, obično koristeći Wi-Fi tehnologiju.

Protokol - skup pravila koja definišu način komunikacije između uređaja u mreži.

Mrežna adresa - jedinstveni identifikator svakog čvora u mreži. Najčešće korišćene adrese su **IP adrese**, koje omogućavaju identifikaciju i lociranje uređaja unutar mreže.

Mrežni uređaj - uređaj koji povezuje čvorove i prosleđuje podatke unutar istih ili između različitih mreža.

Prenos podataka - proces slanja informacija sa jednog uređaja na drugi kroz mrežu. Ove informacije prenose se u obliku digitalnih signala putem različitih prenosnih medijuma. Svaki podatak u mreži izražen je u binarnom obliku – kao niz nula i jedinica.

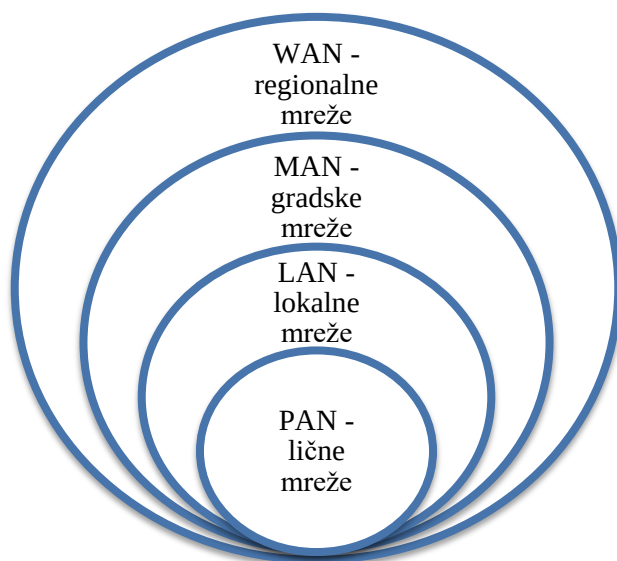
Propusni opseg - količina podataka koja prolazi kroz mrežu u određenom vremenskom periodu. Bandwidth odnosi se na maksimalnu, a throughput na stvarnu količinu podataka.

1.3.2 Vrste mreža

Osnovne mrežne topologije su prikazane na slici 1.4, a nadalje i njihov opis.

Lokalna mreža (LAN) je mreža ograničena na mali geografski prostor, poput kuće, škole ili kancelarije. Ove mreže omogućavaju povezivanje uređaja unutar iste lokacije, kao što su računari, štampači i serveri, radi lakšeg deljenja resursa. LAN mreže su često brze i efikasne, pružajući visoku propusnost podataka na kratkim razdaljinama.

Mreža gradskog područja (MAN) predstavlja dve ili više međusobno povezanih lokalnih računarskih mreža na geografskom području do veličine grada. Primer je univerzitet koji čini više kampusa sa lokalnim mrežama koje se međusobno mogu povezati. Korisnici se povezuju na MAN preko mreže lokalnih mreža a nikako direktno.



Slika 1.4 Osnovni tipovi računarskih mreža

Mreže širokog opsega (WAN) pokrivaju veće geografske oblasti, poput gradova, država ili čak kontinenata. Internet je primer WAN mreže, jer povezuje milione računara i uređaja širom sveta. WAN mreže se obično oslanjaju na komunikacione tehnologije poput optičkih kablova, satelita i telekomunikacionih mreža za prenos podataka na velikim udaljenostima.

Bežična mreža (WLAN) omogućava povezivanje uređaja putem radio signala, bez potrebe za fizičkim kablovima. Najčešći primer je Wi-Fi, koji omogućava korisnicima pristup internetu ili drugim mrežnim resursima bez žičnih konekcija. WLAN mreže su idealne za mobilne uređaje i mesta gde postavljanje kablova nije praktično.

Mobilne mreže omogućavaju povezivanje mobilnih uređaja kao što su telefoni i tableti putem telekomunikacionih mreža. Ove mreže koriste tehnologije poput 4G, 5G i LTE za omogućavanje bežične komunikacije u pokretu. Mobilne mreže su ključne za savremene komunikacije i internet pristup sa bilo koje lokacije.

U savremenim domaćinstvima, računarske mreže su postale neophodan deo svakodnevnog funkcionisanja. Kućne mreže (smart home networks) omogućavaju komunikaciju između različitih pametnih uređaja unutar kuće, kao što su termostati, osvetljenje, sigurnosni sistemi i kućna automatizacija. Ove mreže koriste tehnologije poput Wi-Fi-a i Bluetooth-a za upravljanje uređajima putem aplikacija ili glasovnih komandi. WLAN omogućavaju povezivanje različitih uređaja kao što su laptopovi, pametni telefoni, tableti, pametni televizori i kućni uređaji (IoT). Ove mreže omogućavaju korisnicima da pristupe internetu, obavljaju online kupovine, komuniciraju putem društvenih mreža, strimuju sadržaje i koriste usluge poput video konferencija.

U obrazovnim ustanovama, računarske mreže igraju važnu ulogu u podršci modernim metodama učenja i podučavanja. Mreže omogućavaju pristup e-učionicama, online predavanjima, edukativnim aplikacijama i resursima putem interneta. Studenti i nastavnici mogu deliti nastavne materijale, pristupiti edukativnim platformama i koristiti alate za kolaboraciju, kao što su zajedničke datoteke i projektni rad u oblaku. Pored toga, obrazovne mreže omogućavaju udaljeno učenje i pristup informacijama bez obzira na fizičku lokaciju, što je posebno korisno u savremenom dobu.

U poslovnom okruženju, mreže su ključne za efikasno upravljanje poslovnim procesima i komunikaciju unutar i između organizacija. Preduzeća koriste lokalne mreže (LAN) za povezivanje računara i servera, čime omogućavaju zaposlenima deljenje datoteka, pristup bazama podataka i korišćenje zajedničkih resursa poput štampača i softverskih aplikacija. Mreže

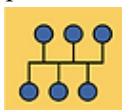
omogućavaju vođenje poslovnih transakcija u realnom vremenu, upravljanje zalihama, kao i daljinsko obavljanje posla.

Posebno značajnu ulogu imaju širokopojasne mreže koje omogućavaju povezivanje poslovnih filijala na različitim geografskim lokacijama. Korišćenjem tehnologija kao što su virtualne privatne mreže (VPN) i cloud computing, preduzeća mogu obezbediti bezbedan pristup svojim resursima i aplikacijama bilo gde u svetu, povećavajući efikasnost, produktivnost i sigurnost poslovanja.

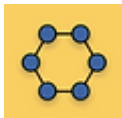
Industrijske mreže se koriste u proizvodnim procesima, postrojenjima i automatizovanim sistemima. Ove mreže moraju biti pouzdane i otporne na smetnje, da bi omogućile sigurno upravljanje i nadzor industrijskih mašina i sistema. Ethernet i specijalizovani industrijski protokoli su osnova ovih mreža.

1.3.3 Mrežna topologija

Mrežna topologija definiše način na koji su uređaji fizički ili logički povezani u mrežu. Na slici 1.5 su prikazani osnovni tipovi mrežnih topologija.



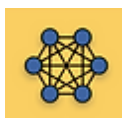
Sabirnička topologija (Bus) - svi uređaji su povezani na jedan zajednički kabl, a podaci se prenose u oba smera. Ova topologija je jednostavna, ali podložna zagušenju.



Prstenasta topologija (Ring) - uređaji su povezani u obliku prstena, gde svaki uređaj prenosi podatke do sledećeg. Nedostatak ove topologije je da kvar jednog uređaja može ugroziti celu mrežu.



Zvezdasta topologija (Star) - svi uređaji su povezani na centralni preklopnik ili ruter. Ovo je najčešća topologija zbog svoje pouzdanosti, jer kvar jednog uređaja ne utiče na ostatak mreže.



Mrežasta topologija (Mesh) -svaki uređaj je povezan sa više drugih uređaja, što omogućava višestruke rute za prenos podataka. Ova topologija je veoma pouzdana, ali kompleksna za implementaciju.

Slika 1.5 Predstavljanje osnovnih mrežnih topologija

Pravilno postavljena mrežna infrastruktura omogućava organizacijama u različitim industrijama da iskoriste prednosti digitalne transformacije i optimizuju svoje poslovne procese. Evo nekoliko primera kako su srpske kompanije koristile mrežne topologije za unapređenje poslovanja, povećanje efikasnosti i poboljšanje korisničkog iskustva.

1. Telekom Srbija: Optimizacija telekomunikacione mreže

Telekom Srbija, kao jedan od vodećih telekom operatera u zemlji, koristi naprednu mrežnu topologiju kako bi optimizovala prenos podataka i povećala

efikasnost svojih usluga. Telekom Srbija je uvela sistem optičkih vlakana kako bi poboljšala infrastrukturu mreže i omogućila veće brzine prenosa podataka korisnicima širom Srbije. Povezivanjem različitih čvorišta i uspostavljanjem redundance (rezervnih mrežnih putanja), ova kompanija je uspela da osigura veću pouzdanost i smanji prekide u radu usluga.

Glavne prednosti:

Povećana brzina interneta kroz optičku mrežu

Bolja stabilnost i pouzdanost mreže zahvaljujući redundantnim vezama

Poboljšano korisničko iskustvo za širok spektar usluga, uključujući internet i IPTV

2. Elektroprivreda Srbije (EPS): Mrežna infrastruktura za energetiku

Elektroprivreda Srbije (EPS) koristi složenu industrijsku mrežnu topologiju za upravljanje elektroenergetskim sistemima. EPS mreža obuhvata veliki broj povezanih postrojenja, dalekovoda i distributivnih čvorišta, što omogućava efikasno upravljanje i nadgledanje prenosa električne energije širom zemlje. Korišćenjem SCADA sistema (Supervisory Control and Data Acquisition), EPS može da prikuplja podatke iz različitih delova mreže i upravlja sistemima u realnom vremenu, što pomaže u održavanju stabilnosti elektroenergetskog sistema.

Glavne prednosti:

Bolja kontrola nad elektroenergetskim mrežama i postrojenjima

Efikasno upravljanje distribucijom električne energije

Smanjenje rizika od zastoja i prekida u isporuci energije

3. Delta Holding: Mreže u maloprodaji i logistici

Delta Holding, jedna od najvećih kompanija u regionu koja se bavi maloprodajom i logistikom, koristi napredne mrežne topologije za upravljanje skladišnim kapacitetima i maloprodajnim objektima. Korišćenjem Lokalnih Mreža (LAN) unutar logističkih centara, Delta omogućava brzu i pouzdanu komunikaciju između skladišta i prodavnica, optimizujući procese naručivanja i isporuke. Ovaj mrežni sistem omogućava kompaniji da prate zalihe u realnom vremenu i automatski upravljaju narudžbinama, što povećava efikasnost poslovanja.

Glavne prednosti:

Optimizovano upravljanje zalihama u realnom vremenu

Smanjenje vremena isporuke zahvaljujući bržoj komunikaciji između centara i prodavnica

Poboljšano korisničko iskustvo u maloprodajnim objektima

4. NIS (Naftna Industrija Srbije): Mrežna topologija u upravljanju resursima

Naftna Industrija Srbije (NIS) koristi složene mrežne topologije za povezivanje svojih rafinerija, pumpnih stanica i kancelarija, omogućavajući centralizovano upravljanje i nadzor svih resursa. Mrežna infrastruktura omogućava praćenje i optimizaciju proizvodnje nafte i gasa, kao i brzu komunikaciju između različitih sektora unutar kompanije. Korišćenjem Industrijskih Mreža, NIS uspeva da poboljša efikasnost proizvodnih procesa i smanji operativne troškove.

Glavne prednosti:

Centralizovano upravljanje proizvodnim postrojenjima

Optimizacija resursa kroz efikasnu mrežnu infrastrukturu

Poboljšana produktivnost i smanjeni operativni troškovi

1.4 Mrežna arhitektura

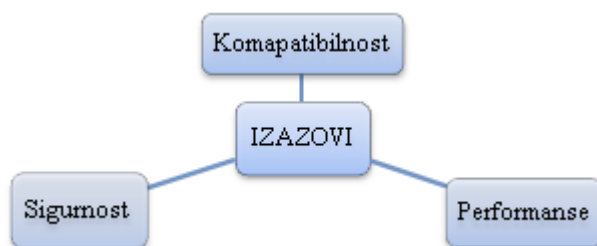
Mrežna arhitektura predstavlja temelj komunikacije u savremenim računarskim mrežama. Osnovni pojmovi mrežne arhitekture uključuju:

1. **Entitet:** Svaki objekat ili proces sposoban da šalje ili prima podatke (npr. korisnički programi, kontroleri baza podataka).
2. **Sistem:** Fizički entitet koji sadrži više različitih entiteta, poput računara, terminala, ili upravljačkih senzora.
3. **Protokol:** Skup pravila i konvencija koje regulišu razmenu podataka između entiteta.
4. **Protokolska jedinica podataka (PDU):** Jedinica podataka koja se razmenjuje između dva entiteta putem protokola, često nazivana segment, datagram ili frejm.

Posmatrano kroz tri ključna elementa, mrežnu arhitekturu definišu: **format podataka** koji se prenose, **mrežni protokoli** koji regulišu tu razmenu, i **logičke strukture** koje povezuju sve komponente u funkcionalnu celinu.

1.4.1 Format podataka

Format podataka je osnovni element u mrežnoj arhitekturi jer omogućava efikasnu razmenu, obradu i razumevanje informacija među različitim uređajima i aplikacijama u mreži. U kontekstu moderne mrežne infrastrukture, gde se koriste različiti protokoli, platforme i jezici programiranja, standardizacija i definicija formata podataka igraju ključnu ulogu u osiguravanju interoperabilnosti i funkcionalnosti sistema. Njegova pravilna definicija i upotreba direktno utiču na performanse, sigurnost i održivost mrežnog sistema.



Slika 1.6 Izazovi u dizajnu mrežnih arhitektura

S obzirom na sve složenije zahteve, odabir i optimizacija formata podataka predstavlja stratešku odluku u dizajnu mrežnih arhitektura. Na slici 1.6 su predstavljeni izazovi.

1.4.2 Mrežni protokoli

Mrežni protokoli predstavljaju skup pravila koji omogućavaju mašinama i uređajima da komuniciraju međusobno. Svaka komunikacija na internetu i unutar lokalnih mreža odvija se u skladu sa jasno definisanim protokolima. Protokoli definišu:

- Format poruka koje se razmenjuju između mrežnih entiteta.
- Redosled slanja i prijema poruka.
- Akcije koje se preduzimaju nakon prijema poruke.

Kao primer, ljudska komunikacija koristi protokole u svakodnevnim situacijama, kao što su upoznavanje ili postavljanje pitanja. Slično tome, mrežni protokoli omogućavaju mašinama da se „razumeju“ i efikasno razmenjuju informacije.

Osnovni elementi mrežnih protokola mogu se grupisati u tri kategorije (Stojanović, Z., 2015):

1. **Sintaksa** - definiše format podataka, način kodiranja i osobine signala na različitim slojevima mreže.
2. **Semantika** - odnosi se na značenje podataka u protokolskoj jedinici podataka (PDU), uključujući kontrolu protoka, otkrivanje grešaka, i njihovo ispravljanje.
3. **Vremenska usklađenost** - obuhvata brzinu prenosa podataka, odnosno usklađivanje brzine slanja podataka sa brzinom obrade na odredištu, kao i osiguranje redosleda poruka.

Mrežni protokoli se mogu razlikovati po nekoliko ključnih karakteristika:

1. **direktnost/indirektnost**
2. **monolitnost/struktuiranost**
3. **simetričnost/nesimetričnost**
4. **standardizovanost/nestandardizovanost**

Direktni protokoli se koriste u komunikaciji tačka-tačka (npr. između dva računara), dok indirektni uključuju komutacione mreže. Monolitni protokoli obavljaju sve funkcije unutar jednog sloja, dok struktuirani protokoli dele funkcije između više hijerarhijskih slojeva. Simetrični protokoli omogućavaju komunikaciju između entiteta na istim pozicijama u mrežnoj arhitekturi, dok nesimetrični koriste klijent-server model. Mrežni protokoli mogu biti standardizovani od strane međunarodnih organizacija, ili nestandardizovani, zavisno od specifičnih potreba i primena. Najvažnije funkcije mrežnih protokola su date u tabeli 1.1.

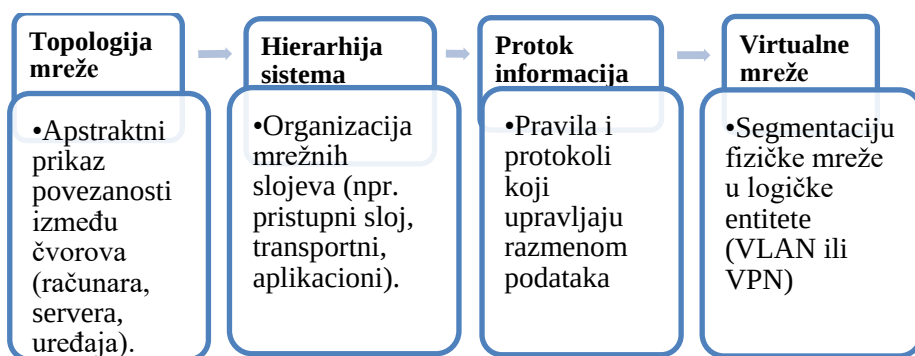
Tabela 1.1 Najvažnije funkcije mrežnih protokola

Segmentiranje i ulančavanje	Podela velikih poruka na manje segmente kako bi se prilagodile karakteristikama mreže.
Formiranje PDU	Stvaranje jedinica podataka koje uključuju korisničke podatke i kontrolne informacije (adrese, detekcija grešaka, sinhronizacija).
Kontrola zagušenja	Usklađivanje količine i brzine prenosa podataka u zavisnosti od opterećenja mreže.
Kontrola protoka	Upravljanje brzinom prenosa podataka prema mogućnostima entiteta sa kojima se komunicira.
Kontrola greške	Mehanizmi zaštite podataka od oštećenja ili grešaka tokom prenosa.
Adresiranje	Osiguravanje jedinstvene globalne adrese za svaki sistem u mreži.
Multipleksiranje	Omogućavanje istovremenog prenosa više sesija unutar jednog sistema.
Transmisioni servisi	Obezbeđivanje servisa poput prioriteta u prenosu podataka i zaštite podataka.

1.4.3 Logičke strukture

Logičke strukture predstavljaju način na koji su komponente mreže povezane i organizovane kako bi omogućile efikasno funkcionisanje sistema (razmatrane sa više aspekta na slici 1.7). One čine nevidljivu, ali izuzetno važnu osnovu mrežne arhitekture, omogućavajući koordinaciju i sinergiju između hardverskih i softverskih elemenata mreže (Walklin, S., 2017).

Primena logičkih struktura u praksi se ogleda kroz LAN i WAN topologije. LAN može koristiti star (zvezdastu) topologiju za centralizovano upravljanje saobraćajem. WAN se često oslanja na mreže sa mrežnom topologijom (mesh) za pouzdanost i redundantnost.



Slika 1.7 Logičke strukture

Zatim, virtualne mreže (VPC) i mikrousluge se oslanjaju na logičke strukture kako bi obezbedile izolaciju i komunikaciju između aplikacija.

Kada su u pitanju IoT mreže, logičke strukture koordiniraju komunikaciju između velikog broja uređaja sa ograničenim resursima. Leaf-Spine arhitektura je primer logičke strukture koja optimizuje protok podataka između servera u data centru (Walklin, 2017). Performanse logičke strukture su prikazane u tabeli 1.2.

Tabela 1.2 Performanse logičke strukture

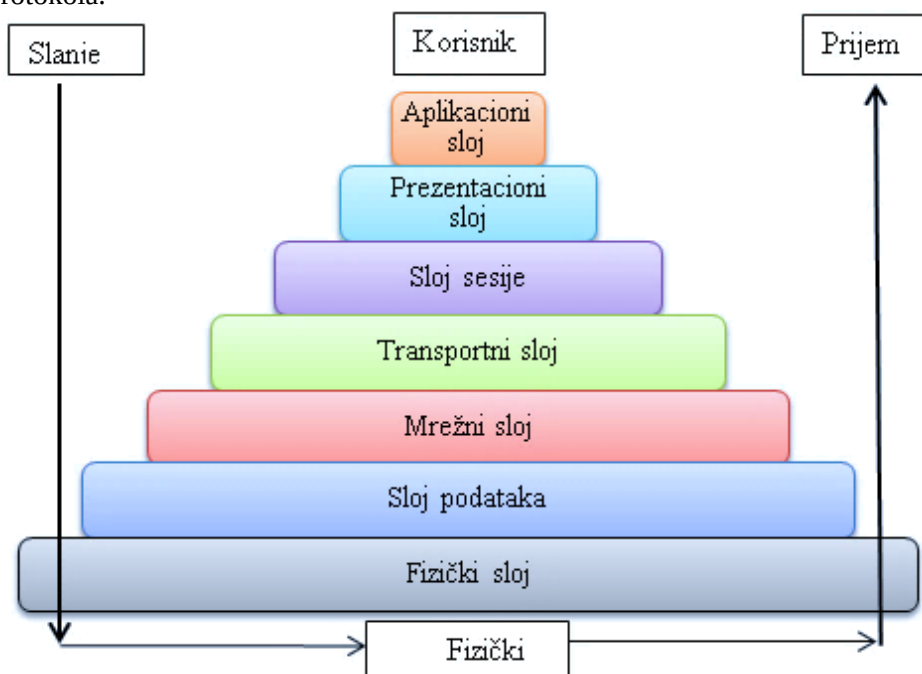
Performanse logičke strukture	Efikasna komunikacija	Definišu pravila za prenos podataka (protokolii na aplikacionom, transportnom i mrežnom sloju) i osiguravaju ih da stižu od izvora do odredišta bez obzira na fizičku infrastrukturu.
	Upravljanje i kontrola	Omogućavaju centralizovano ili distribuirano upravljanje mrežom, (putem SDN, Software-Defined Networking). Obezbeđuju pravilnu raspodelu resursa i upravljanje saobraćajem.
	Redundantnost i pouzdanost	Strukture kao što su redundantni putovi i protokoli za detekciju grešaka (Spanning Tree Protocol - STP) omogućavaju otpornost mreže na kvarove.
	Skalabilnost	Omogućavaju lakše dodavanje novih uređaja i servisa bez poremećaja u radu mreže. Hijerarhijski model mreže podržava jednostavno proširenje pristupnog sloja.
	Bezbednost	Definišu pravila za autentifikaciju, autorizaciju i enkodovanje podataka. Segmentacija mreže pomoću VLAN-ova smanjuje rizik od napada. u mreži.

1.5 Mrežni modeli

Razvoj mrežnog softvera je ključni aspekt dizajna računarskih mreža. Dok su prvi mrežni sistemi bili fokusirani na hardverske komponente, savremeni pristup se oslanja na slojevitu arhitekturu mrežnog softvera koja omogućava fleksibilnost, pouzdanost i skalabilnost. U mrežama se koristi nekoliko komunikacionih modela, od kojih je najpoznatiji OSI model (Open Systems Interconnection). Pored OSI referentnog modela, koristi se i TCP/IP za razumevanje mrežnih arhitektura. Oni predstavljaju apstraktne strukture koje definišu slojeve komunikacije u mreži, njihov raspored i ulogu. Dok OSI model pruža detaljan i generički okvir za analizu mrežnih sistema, TCP/IP model je praktičan i široko primenjen standard za stvarne mreže, uključujući internet.

1.5.1 OSI model

OSI (Open Systems Interconnection) model razvio je ISO (Međunarodna organizacija za standardizaciju) kao univerzalni okvir za standardizaciju mrežnih protokola.



Slika 1.8 Sedam slojeva OSI modela

Glavna snaga OSI modela leži u njegovoj modularnosti i jasno definisanim granicama između slojeva, što olakšava razumevanje i razvoj mrežnih sistema. Međutim, njegovi protokoli nisu našli široku primenu. Sastoji se od sedam slojeva, kao što je prikazano na slici 1.8, pri čemu svaki ima specifičnu ulogu.

Fizički sloj je odgovoran za fizički prenos signala (prenos bitova) preko medijuma (kablovi, radio talasi), odnosno on upravlja osnovnim fizičkim medijem prenosa. Osim električnih signala, uključuje definisanje mehaničkih karakteristika kao što su konektori, kablovi, frekvencije signala, i način sinhronizacije prenosa podataka. Pitanja poput da li je prenos half-duplex ili full-duplex, kao i brzina prenosa podataka, ključna su u ovom sloju.

Sloj podatka (sloj veze) osigurava pouzdan prenos podataka preko fizičkog medija, odnosno pruža pouzdanu komunikaciju između dva direktno povezana čvora. Koristi tehnike kao što su kontrola grešaka, kontrola toka, i okvirno pakovanje podataka. Posebno je značajan kod mreža sa deljenim medijem (npr. Wi-Fi), gde srednji pristupni sloj (MAC) rešava konflikte prilikom istovremenog pristupa.

Mrežni sloj usmerava podatke između različitih mreža odnosno, pruža mehanizme za adresiranje i rutiranje podataka. Omogućava međusobno povezivanje različitih mreža (internetworking) koristeći IP protokole. Takođe rešava probleme fragmentacije paketa kada različite mreže koriste različite veličine paketa.

Transportni sloj omogućava pouzdanost i kontrolu komunikacije između krajnjih tačaka. Kao end-to-end sloj, osim pouzdane komunikacije osigurava i sekvencijalnu isporuku podataka. Protokoli poput TCP omogućavaju kontrolu grešaka i protoka, dok UDP nudi jednostavniji, ali nepouzdan prenos za aplikacije koje zahtevaju brzinu.

Sloj sesije omogućava upravljanje i kontrolu sesija između aplikacija na različitim uređajima, uključujući otvaranje, održavanje i zatvaranje sesija, kao i sinhronizaciju. Sinhronizacija podataka pomoću kontrolnih tačaka olakšava oporavak od grešaka tokom dužih prenosa.

Prezentacioni sloj uređuje i konvertuje podatke u odgovarajući format razumljiv različitim sistemima. On upravlja formatiranjem podataka kako bi različiti uređaji i sistemi mogli komunicirati. Na primer, konvertuje podatke između formata kao što su ASCII i Unicode, i omogućava enkodiranje i deenkodiranje zaštićenih podataka.

Aplikacioni sloj omogućava interakciju korisnika sa mrežom putem aplikacija. Korisnicima nudi direktan pristup mreži kroz servise kao što su pretraživači (HTTP), e-pošta (SMTP), i prenos datoteka (FTP). Fokusira se na specifične funkcionalnosti korisničkih aplikacija, čineći ga najbližim korisnicima (Tanenbaum, A. 2010).

Svaki sloj u OSI modelu predstavlja specifičnu apstrakciju koja omogućava izolaciju funkcionalnosti od drugih slojeva. Ovo osigurava modularnost, gde se promene ili nadogradnje u jednom sloju ne odražavaju na druge. Na primer,

fizički sloj se bavi samo prenosom signala, dok transportni sloj brine o pouzdanosti i redosledu prenesenih podataka.

Svaki sloj ima jasno definisanu ulogu, čime se olakšava razumevanje i razvoj mrežnih protokola. Na primer, mrežni sloj je odgovoran za rutiranje i adresiranje paketa, dok aplikacioni sloj omogućava krajnjim korisnicima korišćenje mrežnih aplikacija poput e-pošte ili pregledanja interneta.

Funkcije slojeva su dizajnirane tako da omogućavaju usvajanje standardizovanih protokola koji se mogu implementirati širom sveta. Ovo omogućava interoperabilnost između različitih proizvođača opreme i softvera, što je ključno za globalne mreže.

Granice između slojeva su pažljivo određene kako bi se minimizovao protok informacija između njih. Ovo smanjuje kompleksnost interfejsa i olakšava zamenu ili unapređenje jednog sloja bez potrebe za promenom drugih.

Broj slojeva (sedam) omogućava da svaka funkcija ima svoj prostor, dok arhitektura ostaje upravljiva. Previše slojeva bi unelo dodatnu složenost, dok bi premalo slojeva dovelo do toga da se različite funkcije mešaju u isti sloj, otežavajući održavanje i proširenje sistema.

OSI referentni model, iako izuzetno vredan u edukativne svrhe, suočava se sa značajnim izazovima i kritikama koje su ograničile njegovu praktičnu primenu:

1. Jasna struktura i apstrakcija

OSI model uvodi preciznu razliku između **servisa, interfejsa, i protokola**. Svaki sloj ima definisanu funkciju i ne zavisi direktno od implementacije nižih slojeva. Ovo je korisno za edukaciju, standardizaciju i konceptualno razumevanje mreža.

2. Modularnost

Sedam slojeva omogućava jasno odvajanje mrežnih funkcionalnosti, što olakšava održavanje i zamenu pojedinačnih komponenti bez uticaja na ceo sistem.

3. Opštost

Dizajniran bez unapred definisanih protokola, OSI model se lako može primeniti na različite tehnologije, omogućavajući interoperabilnost među sistemima.

4. Kompleksnost dizajna

Složenost modela i njegovih standarda dovodi do problema u implementaciji. Dva sloja, sesijski i prezentacioni, često su skoro prazni i retko korišćeni u praksi, dok su neki slojevi, poput sloja veze podataka i mrežnog sloja, prenatrpani funkcionalnostima. To je ta neujednačenost koja povećava složenost implementacije.

5. Teška implementacija i neefikasnost

Prvi protokoli OSI modela bili su preopterećeni specifikacijama koje su otežavale implementaciju i smanjivale efikasnost. Na primer, funkcije kontrole grešaka i toka ponavljale su se na više slojeva, što je dovelo do nepotrebnog trošenja resursa.

6. Loše vreme standardizacije

OSI protokoli su razvijeni pre nego što je postojalo dovoljno praktičnog iskustva sa mrežama, što je rezultiralo neusklađenošću sa realnim potrebama i tehnologijama. U trenutku kada je OSI bio spreman, TCP/IP protokoli su već stekli popularnost, što je dovelo do manjka podrške za OSI standarde.

7. Nedovoljno prilagodljiv političkim i tehničkim promenama

Model je bio pod uticajem političkih odluka i evropske telekomunikacione birokratije, što je usporilo njegovu prihvaćenost. Takođe, OSI nije uspeo da se prilagodi inovacijama poput broadcast mreža i internetworking-a, zbog čega je bio zastareo u trenutku primene.

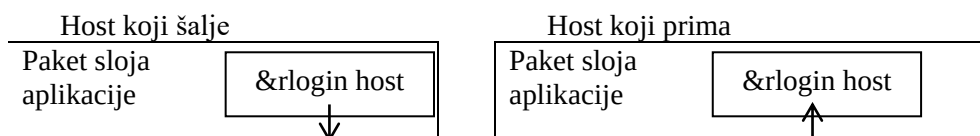
8. Percepcija inferiornosti

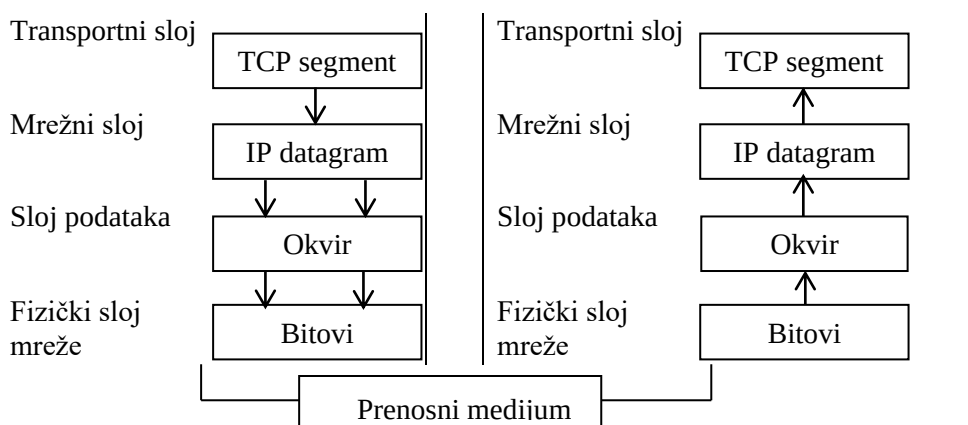
Zbog inicijalnih implementacija koje su bile tehnički neefikasne i složene, OSI model je stekao reputaciju sistema koji je težak za implementaciju i spor u praksi. U poređenju sa TCP/IP protokolima, koji su bili besplatni, funkcionalni i brzo usvojeni u širokom industrijskom kontekstu, OSI model se često percipirao kao neperspektivno rešenje. Njegova složenost, kao i značajna kašnjenja u razvoju i usvajanju standarda, doveli su do toga da industrija prioriteto koristi TCP/IP protokole, prepoznajući njihovu praktičnost i interoperabilnost.

1.5.2 TCP/IP model

TCP/IP model, razvijen u sklopu ARPANET projekta, predstavlja temelj savremenog interneta. Njegova fleksibilnost i praktičnost omogućili su široku primenu u raznim mrežnim okruženjima.

Za razliku od OSI modela, TCP/IP model je nastao direktno iz konkretnih protokola, a ne kao teorijski okvir (Fall, 2012). Njegova arhitektura iako ima pet sloja, prikazani na slici 1.9, ali se razmatraju kao četiri jer sloj podataka u TCP/IP modelu više se posmatra kao interfejs između mrežnog sloja i fizičkog prenosa podataka, čineći ga fleksibilnim, ali manje formalnim od OSI pristupa (Gajin, 2023).





Slika 1.9 Slojevi TCP/IP modela

Sloj pristupa mreži obezbeđuje prenos podataka između uređaja na istom mrežnom segmentu, što čini njegovu funkcionalnost. Ovaj sloj obuhvata protokole i hardverske specifikacije potrebne za povezivanje uređaja na fizičkom nivou. Na primer, protokoli poput Ethernet-a i DSL-a spadaju u ovaj sloj.

Mrežni sloj je ključni sloj za međusobno povezivanje različitih mreža. Osnovni protokol je IP (Internet Protocol), koji definiše adresiranje i rutiranje paketa. ICMP (Internet Control Message Protocol) omogućava dijagnostiku i izveštavanje o greškama. Funkcioniše kao poštanski system gde paketi putuju kroz mrežu, potencijalno različitim rutama, ali stižu na pravo odredište zahvaljujući adresama.

Transportni sloj pruža end-to-end komunikaciju između aplikacija. Postoje dva glavna protokola:

TCP (Transmission Control Protocol) je pouzdan protokol koji garantuje redosled i integritet prenosa. Koristi se za aplikacije koje zahtevaju tačnost, poput prenosa fajlova ili e-pošte. UDP (User Datagram Protocol) je nepouzdan protokol koji omogućava brz prenos podataka bez dodatnog opterećenja kontrolom grešaka i idealan za aplikacije poput strimovanja videa ili igranja igara.

Aplikacioni sloj obuhvata sve protokole potrebne za direktnu komunikaciju korisničkih aplikacija, kao što su HTTP (za web), FTP (za prenos fajlova), i SMTP (za elektronsku poštu). Funkcije sesije i prezentacije uključene su unutar aplikacija, umesto da budu posebni slojevi kao u OSI modelu.

TCP/IP model, uprkos svojoj praktičnoj primeni i ogromnom uticaju, nije bez nedostataka kao što su: nedostatak formalizma, loša generalizacija, nepotpuna struktura slojeva, zastareli protokoli, ad-hoc pristup razvoju i ograničenja u inženjerskom dizajnu.

Za razliku od OSI modela, **TCP/IP ne pravi jasnu razliku između servisa, interfejsa i protokola**. Ovo otežava razvoj novih protokola, jer nedostatak specifikacije smanjuje mogućnost nadogradnje i interoperabilnosti.

TCP/IP model je dizajniran isključivo za TCP/IP protokole, što ga čini neprilagodljivim za opisivanje drugih tehnologija. Na primer, pokušaj da se njime objasni Bluetooth ili neki drugi moderni protokol često je besmislen.

Link sloj ne funkcioniše kao pravi sloj, već više kao interfejs između mrežnog sloja i fizičkog prenosa podataka. TCP/IP model ne razdvaja fizički sloj od sloja veze podataka, čime se zanemaruje razlika između električnih signala i logičkog prenosa okvira.

Neki TCP/IP protokoli, poput TELNET-a, dizajnirani su za uslove i tehnologije od pre nekoliko decenija. Iako su zastareli, njihova duboka ukorenjenost u infrastrukturi čini ih teškim za zamenu modernijim alternativama.

Mnogi TCP/IP protokoli razvijeni su brzo, često od strane malih timova ili pojedinaca. Ovaj pristup, iako efikasan na kratke staze, rezultirao je rešenjima koja nisu uvek optimalna za dugoročnu upotrebu.

TCP/IP model, za razliku od OSI-a, nije zamišljen kao vodič za razvoj novih mrežnih arhitektura. To znači da njegova struktura nije naročito korisna za projekte koji nisu direktno povezani s internetom. **TCP/IP model je dizajniran na osnovu stvarnih potreba i problema mreža**, zbog čega je praktičniji i jednostavniji za implementaciju.

OSI model je bolji za teorijsko razumevanje, s jasnim razdvajanjem slojeva i funkcionalnosti. Međutim, zbog svoje složenosti i loše vremenske implementacije, ostao je uglavnom edukativni alat. TCP/IP model je fokusiran na praktične aplikacije, prilagođen realnim uslovima. Međutim, nedostatak formalizma i ad-hoc razvoj ostavljaju prostor za tehničke i inženjerske kritike. Za razliku od OSI modela, on ne pravi razliku između servisa, interfejsa i protokola, ali to ne ugrožava njegovu efikasnost. U tabeli 1.3 je dat uporedni pregled ova dva modela.

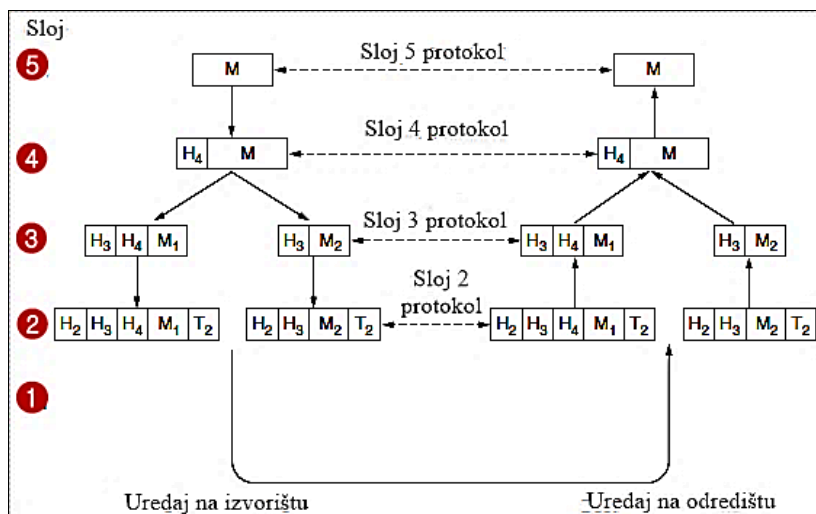
Tabela 1.3 Uporedni pregled OSI i TCP/IP modela

Karakteristika	OSI model	TCP/IP model
Broj slojeva	7	4
Pristup razvoju	Model → protokoli	Protokoli → model
Primena	Teorijski okvir	Praktična primena
Fokus	Strukturalna modularnost	Efikasnost i interoperabilnost

OSI model pruža detaljniju hijerarhiju sa sedam slojeva, dok TCP/IP model kombinuje funkcionalnosti, nudeći jednostavniju, ali manje modularnu strukturu. OSI se ističe jasnoćom definicije servisa, protokola i interfejsa, dok TCP/IP daje fleksibilnost u implementaciji zahvaljujući svom pragmatičnom pristupu. Složenost OSI modela i težak proces implementacije doveli su do ograničene praktične primene, uprkos njegovoj obrazovnoj vrednosti, dok su jednostavnost TCP/IP model i njegova široka prihvaćenost prednost, međutim nedostatak formalne strukture može otežati razumevanje i proširenje. Oba modela su ključna za razumevanje mreža, ali ni jedan nije savršen. Idealno rešenje bi moglo kombinovati teorijski formalizam OSI-a sa praktičnom primenljivošću TCP/IP-a.

1.5.3 Enkapsulacija podataka i vrste usluga

Kako bi se smanjila složenost dizajna, većina mreža je organizovana kao niz slojeva, pri čemu svaki sloj gradi svoju funkcionalnost na osnovu sloja ispod njega. Svaki sloj nudi specifične usluge sloju iznad, dok detalji implementacije ostaju sakriveni. Ovo je poznato kao **informaciono sakrivanje** ili **enkapsulacija podataka**. Pravila i konvencije za komunikaciju između entiteta na istom sloju na različitim uređajima nazivaju se protokolima. Na primer, sloj transporta može koristiti TCP protokol za pouzdanu komunikaciju između uređaja. Između svakog para slojeva nalaze se jasno definisani interfejsi koji specificiraju dostupne operacije i usluge. Dobro definisani interfejsi omogućavaju zamenu jednog sloja bez uticaja na ostatak sistema.



Slika 1.10 Enkapsulacija podataka

U petoslojnoj arhitekturi, aplikacija generiše podatke u najgornjem sloju, koji se zatim enkapsuliraju i prenose slojevima ispod (Hong, 2006). Na krajnjem odredištu, proces se obrće: svaki sloj uklanja svoj zaglavlje dok podaci ne stignu do aplikacije. Ovaj proces osigurava logičku, "horizontalnu" komunikaciju između istih slojeva na različitim uređajima, dok se stvarna komunikacija odvija "vertikalno" između slojeva na istom uređaju, što je prikazano na slici 1.10.



Slika 1.11 Dizajnerski izazovi u slojevima mrežnog softvera

Dizajn slojeva mrežnog softvera uključuje rešavanje ključnih problema (slika 1.11). Mreže su sastavljene od nepouzdatih komponenti, pa je potrebno osigurati pouzdanost prenosa podataka. Ovo se postiže detekcijom i ispravljanjem grešaka, kao i rutiranjem koje pronalazi optimalne puteve u slučaju kvara.

Mreže moraju ostati efikasne čak i kada se poveća broj korisnika ili uređaja. Dizajni koji omogućavaju skalabilnost često koriste mehanizme kao što su hijerarhijska adresiranja i segmentacija mreže.

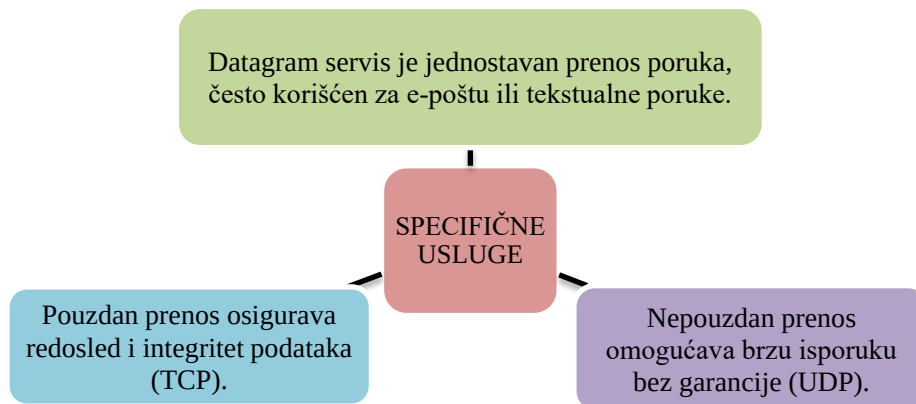
Deljenje mrežnih resursa, poput propusnog opsega, mora biti dinamično kako bi se optimizovala upotreba. Ovo uključuje **kontrolu toka** (sprečavanje preopterećenja spore strane) i upravljanje **zagušenjem** kada mreža postane prezasićena.

Zaštita mreže od pretnji poput prisluškivanja, lažnog predstavljanja i neovlašćenih promena podataka je ključna. Mehanizmi za poverljivost, autentifikaciju i integritet podataka oslanjaju se na kriptografiju. Slojevi mreža mogu pružati dve osnovne vrste usluga:

Servis zasnovan na konekcijama (Connection-Oriented) - slično telefonskom sistemu, zahteva uspostavljanje veze pre razmene podataka.

Pouzdan je i pogodan za aplikacije poput prenosa fajlova, gde je redosled i integritet podataka ključan.

Servis bez konekcija (Connectionless) - ovaj servis funkcioniše poput poštanskog sistema, gde svaki paket nosi adresu odredišta i nezavisno se rutira. Ovo je korisno za aplikacije poput strimovanja video sadržaja, gde su kašnjenja neprihvatljiva.



Slika 1.12 Specifične usluge

Specifične usluge slojeva su prikazane na slici 1.12.

1.5.4 Povezivanje teorije sa praktičnom primenom

Teorijski mrežni modeli kao što su OSI i TCP/IP pružaju okvir za razumevanje kako mreže funkcionišu, ali prava primena ovih modela u stvarnim mrežama zahteva prilagođavanje različitim tehnologijama i potrebama.

U kontekstu bežičnih mreža, IoT-a i cloud infrastrukture, ovi modeli služe kao temelj za razvoj mrežnih sistema koji omogućavaju efikasnu, skalabilnu i sigurnu komunikaciju.

Bežične mreže, kao što su Wi-Fi i LTE, koriste OSI i TCP/IP modele za omogućavanje komunikacije između uređaja u fizičkom prostoru bez potrebe za kablovima. U fizičkom sloju (OSI model), bežični protokoli definišu kako se podaci šalju putem radio talasa, dok mrežni sloj (OSI) koristi IP protokol za adresiranje i rutiranje podataka kroz bežičnu mrežu. Transportni sloj (TCP/IP) osigurava pouzdanost prenosa podataka, posebno u uslovima sa visokim interferencijama, što je česta pojava u bežičnim mrežama. Na primer, Wi-Fi koristi TCP za obezbeđivanje pouzdane komunikacije između uređaja, dok UDP može biti korišćen za aplikacije koje zahtevaju brzinu, poput strimovanja videa.

Internet of Things (IoT) uređaji, kao što su pametni senzori, uređaji za praćenje i automatizaciju, zavise od mrežnih modela za razmenu podataka. IoT

uređaji obično koriste TCP/IP model za komunikaciju putem interneta ili lokalnih mreža. U IoT mrežama, uređaji mogu komunicirati koristeći IPv6 za adresiranje, omogućavajući ogromnu skalabilnost u mrežama sa milionima uređaja. U mrežnom sloju (OSI), IP protokol omogućava adresiranje i rutiranje podataka između uređaja, dok transportni sloj obezbeđuje pouzdano i efikasno prenošenje podataka za kritične aplikacije, kao što je praćenje zdravlja u realnom vremenu. IoT mreže često koriste specijalizovane protokole kao što su MQTT ili CoAP, koji se oslanjaju na TCP/IP model za efikasnu i pouzdanu razmenu podataka.

Cloud infrastruktura, koja omogućava skladištenje podataka i pokretanje aplikacija putem interneta, koristi TCP/IP model kao osnovu za međusobno povezivanje servera i korisnika. U mrežnom sloju (OSI), IP protokol omogućava povezivanje različitih servera i data centara širom sveta, dok transportni sloj osigurava pouzdanu komunikaciju između korisničkih uređaja i cloud servera. Enkapsulacija podataka omogućava efikasnu razmenu informacija između različitih slojeva infrastrukture, dok cloud aplikacije koriste API-je za interakciju sa korisnicima. Cloud infrastruktura koristi protokole kao što su HTTP i HTTPS na aplikacionom sloju (OSI) za omogućavanje sigurnog pristupa podacima i uslugama. Takođe, u cloud okruženju, mrežni slojevi moraju biti dizajnirani za visoku dostupnost i skalabilnost, što znači da se koriste napredne tehnike kao što su load balancing i virtualne privatne mreže (VPN), što je omogućeno kroz fleksibilnost TCP/IP modela.

REZIME

Prvo poglavlje pruža temeljno razumevanje osnovnih pojmova, istorijskog razvoja i značaja računarskih mreža u savremenom društvu. U njemu se objašnjavaju ključni koncepti poput čvorova, mrežnih interfejsa, protokola i komunikacionih medija, koji čine osnovu mrežne infrastrukture. Kroz pregled istorije mreža, od ARPAnet-a do savremenog Interneta, studenti se upoznaju sa evolucijom tehnologija koje danas omogućavaju globalnu povezanost.

Poglavlje takođe istražuje prednosti mrežne komunikacije, uključujući deljenje resursa, unapređenje timskog rada i olakšanu razmenu informacija. Detaljno su obrađeni tipovi mreža, poput LAN, WAN i WLAN, kao i različite mrežne topologije koje omogućavaju efikasnu organizaciju i pouzdanost sistema. Uvode se osnovni elementi mrežne arhitekture, poput entiteta, sistema i protokola, koji integrišu hardverske i softverske komponente u funkcionalnu celinu, pružajući osnovu za dalje izučavanje složenijih mrežnih modela i tehnologija. Osnovni elementi mrežne arhitekture predstavljaju temelj za razumevanje kako se podaci prenose, kako uređaji komuniciraju i kako mrežni

protokoli omogućavaju ovu komunikaciju. Mrežni modeli su ključni za razumevanje dizajna i implementacije računarskih mreža. Razvijeni su kako bi omogućili efikasnu komunikaciju među uređajima u mrežama, koristeći slojevitú arhitekturu koja pruža fleksibilnost, pouzdanost i skalabilnost. Dva najpoznatija mrežna modela su OSI model i TCP/IP model.

OSI model razvio je ISO kao univerzalni okvir za standardizaciju mrežnih protokola. Sastoji se od sedam slojeva, od kojih svaki ima specifičnu funkciju. Fizički sloj se bavi prenosom bitova preko fizičkog medija, dok sloj veze obezbeđuje pouzdan prenos podataka između direktno povezanih čvorova. Mrežni sloj omogućava adresiranje i rutiranje podataka, dok transportni sloj osigurava pouzdanu komunikaciju između krajnjih tačaka. Sloj sesije upravlja sesijama između aplikacija, prezentacioni sloj konvertuje podatke u odgovarajući format, a aplikacioni sloj omogućava korisnicima pristup mreži putem različitih aplikacija.

Iako je OSI model veoma koristan za edukaciju, njegova složenost i kasna standardizacija doprineli su njegovoj ograničenoj praktičnoj primeni. TCP/IP model, razvijen u okviru ARPANET projekta, sastoji se od četiri sloja (ili pet, ako se računa sloj pristupa mreži) i predstavlja osnovu za internet. Njegova fleksibilnost i efikasnost omogućili su njegovu široku primenu, iako mu se često zamera nedostatak formalne strukture i prilagodljivosti za druge tehnologije.

Poglavlje takođe analizira proces enkapsulacije podataka, kojim se podaci pakuju kroz različite slojeve radi pouzdane i sigurne komunikacije. Kroz kritički osvrt na oba modela, studentima se omogućava dublje razumevanje njihovih prednosti i ograničenja, kao i primena u savremenim mrežnim sistemima, uključujući bežične mreže, IoT i cloud infrastrukturu.

PITANJA ZA PROVERU ZNANJA

1. Šta su računarske mreže i koji su njihovi osnovni elementi?
2. Koje su prednosti mrežne komunikacije u savremenom društvu?
3. Objasnite razliku između čvorova i komunikacionih medija u mreži.
4. Šta su mrežni protokoli i koja je njihova uloga u komunikaciji između uređaja?
5. Koje su glavne karakteristike lokalnih (LAN) i širokopojsnih mreža (WAN)?
6. Navedi i objasni osnovne mrežne topologije. Koje su prednosti i mane svake od njih?
7. Ukratko opišite istorijat razvoja računarskih mreža, uključujući ARPAnet i uvođenje TCP/IP protokola.

8. Koja je razlika između fizičkih i logičkih struktura u mrežnoj arhitekturi?
9. Šta su entiteti i sistemi u mrežnoj arhitekturi?
10. Objasnite ulogu protokola u mrežnoj komunikaciji i navedite osnovne funkcije protokola.
11. Šta su mrežni interfejsi i koja je njihova funkcija u računarskim mrežama?
12. Objasnite koncept enkapsulacije podataka u mrežnoj komunikaciji.
13. Koja je razlika između bežičnih i kablovskih komunikacionih medija? Navedite primere.
14. Šta je mrežna topologija i zašto je važna za dizajn mreže?
15. Kako se definiše pojam protokolske jedinice podataka (PDU) i koje vrste PDU poznajemo?
16. Navedi i opiši razlike između LAN, MAN i WAN mreža.
17. Kako istorijat razvoja računarskih mreža pomaže u razumevanju savremenih tehnologija?
18. Koji su ključni izazovi u razvoju mrežnih arhitektura i kako su oni rešavani kroz istoriju?
19. Objasnite ulogu standardizacije u mrežnim komunikacijama i navedite neke od ključnih standarda.
20. Na koji način mrežna arhitektura integriše hardverske i softverske komponente u funkcionalnu celinu?
21. Koja je osnovna svrha mrežnih modela u računarskim mrežama?
22. Koji su glavni razlozi za uvođenje standardizovanih mrežnih modela?
23. Koji slojevi čine OSI model i koja je funkcija svakog sloja?
24. Kako slojevi OSI modela komuniciraju međusobno prilikom prenosa podataka?
25. Koja je uloga transportnog sloja u OSI modelu?
26. Kako fizički sloj utiče na pouzdanost komunikacije?
27. Koje protokole možemo pronaći u mrežnom sloju OSI modela?
28. Koje su glavne razlike između OSI i TCP/IP modela?
29. Kako su slojevi TCP/IP modela organizovani u odnosu na OSI model?
30. Koji sloj u TCP/IP modelu je odgovoran za uspostavljanje i održavanje veze između dva računara?
31. Koja je funkcija aplikativnog sloja u TCP/IP modelu?
32. Šta je enkapsulacija podataka i kako funkcioniše u mrežnim modelima?
33. Kako se podaci enkapsuliraju i dekapuliraju prilikom prenosa kroz mrežu?
34. Zašto je TCP/IP model dominantniji u praksi u odnosu na OSI model?

35. Na koji način se mrežni modeli koriste u bežičnim mrežama i IoT tehnologijama?

PROBLEMI I PITANJA ZA DISKUSIJU

1. Definicija i razumevanje računarskih mreža

Različiti stručnjaci imaju različita shvatanja šta tačno predstavlja "računarska mreža". Softverski inženjeri je vide kao sistem za prenos podataka između servera i aplikacija, dok elektroinženjeri ističu fizičke komponente poput kablova i antena. Menadžment pak smatra da je mreža sve što omogućava automatizaciju i povezivanje usluga u gradu.

Pitanja za diskusiju: Kako precizno definisati računarske mreže s obzirom na njihovu široku primenu i stalni tehnološki napredak? Na koji način različite definicije mreža mogu uticati na razumevanje i dizajn mrežnih sistema?

2. Istorijski razvoj mreža i njegov uticaj na današnje sisteme

Razvojem računarske mreže kroz decenije postojali su ključni trenutci i tehnologije koje su omogućile evoluciju od prvih eksperimenata sa ARPANET-om do savremenog interneta koji povezuje milijarde ljudi i uređaja širom sveta.

Pitanja za diskusiju: Kako su rani modeli računarskih mreža (npr. ARPANET) oblikovali današnje mreže? Koji su ključni momenti u razvoju mreža koji su omogućili globalnu povezanost kakvu danas poznajemo?

3. Povezivanje uređaja i tipovi mreža

U savremenom digitalnom okruženju, organizacije i pojedinci zavise od različitih tipova mreža (LAN, MAN, WAN, PAN) za komunikaciju, skladištenje i obradu podataka. Dodatno, odabir topologije (zvezda, magistrala, prsten, mreža) direktno utiče na performanse mreže, njenu efikasnost i otpornost na kvarove.

Pitanja za diskusiju: Koji su glavni izazovi u implementaciji različitih tipova mreža (LAN, MAN, WAN, PAN)? Kako odabir topologije utiče na performanse i pouzdanost mreže?

4. Efikasnost slojevitih modela u savremenim mrežama

Razvojem novih tehnologija i protokola, kao što su QUIC i HTTP/3, dolazi do sve veće integracije slojeva. Ovo može dovesti do pitanja: da li je slojeviti pristup još uvek najefikasniji način za dizajn mreža?

Pitanja za diskusiju: Da li slojevitost uvodi nepotrebne složenosti u savremene mreže? Kako bi se mogla pojednostaviti arhitektura bez gubitka interoperabilnosti?

5. Interoperabilnost između različitih protokola

U velikim mrežama često se susrećemo sa uređajima koji koriste različite protokole (npr. IPv4 i IPv6). Ovo može izazvati probleme u komunikaciji.

Pitanje za diskusiju: Koji sloj bi trebalo da preuzme odgovornost za rešavanje problema interoperabilnosti, i kako bi to moglo biti implementirano?

6. Rešavanje problema u slojevitoj arhitekturi

IT tim u kompaniji ne može da identifikuje tačan uzrok problema u mreži jer nije jasno na kojem sloju dolazi do greške.

Pitanje za diskusiju: Kako bi se mogao unaprediti proces dijagnostike problema u slojevitoj arhitekturi? Da li su alati za analizu mreže dovoljno precizni za ovakve situacije?

7. Uloga slojeva u budućim mrežama

Sa razvojem tehnologija poput 5G i IoT, granice između aplikacionog, mrežnog i fizičkog sloja postaju sve manje jasne.

Pitanje za diskusiju: Da li bi u budućnosti trebalo redefinisati uloge slojeva ili možda u potpunosti napustiti slojeviti pristup?

8. Kompromis između fleksibilnosti i performansi

Slojeviti modeli omogućavaju fleksibilnost u razvoju i održavanju mreža, ali uvode dodatnu složenost i potencijalno smanjuju performanse.

Pitanje za diskusiju: Kako pronaći balans između fleksibilnosti i performansi u dizajnu mrežnih arhitektura?

LITERATURA

1. Pleskonjić, D., et al. SIGURNOST računarskih mreža, Beograd: Viša elektrotehnička škola, 2006 (Arandelovac : Grafopak). - XIV, str. 317-322. ISBN 86-85081-16-5
2. Wikipedia. (2024). Istorija računarskih mreža. Dostupno: https://sr.wikipedia.org/wiki/Ra%C4%8Dunarska_mre%C5%BEa
3. Urošević, Z. Uvod u računarske telekomunikacije i mreže: transportni deo, Tehnički fakultet 2004, ISBN: 868174593X, 9788681745939
4. Božović, M., & Živković, S. (2016). Teamwork and efficient communication as the elements of the system for emergency management. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, 381-395. <https://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUWorkLivEnvProt/article/viewFile/1302/1063>
5. Randelović, M. et al. IKT U NASTAVI KROZ DIGITALNI DIJALOG - PAMETNO I BEZBEDNO, Informacione tehnologije, obrazovanje i preduzetništvo, zbornik radova ITOP19, Univerzitet u Kragujevcu, FTN u Čačku, 06. i 07. april 2019, Čačak 1-12. ISBN 978-86-7776-233-9, <https://www.ftn.kg.ac.rs/konferencije/ITOP19/Zbornik%20radova%20ITOP19.pdf>

6. Veinović, M. & Jevremović, A. UVOD U RAČUNARSKE MREŽE, UNIVERZITET SINGIDUNUM, FAKULTET ZA POSLOVNU INFORMATIKU, Beograd, 2007. <https://muricmilorad.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/11/uvod-u-racunarske-mreze.pdf>
7. Wikipedia. (2024). Leonard Klajnrok. https://sh.wikipedia.org/wiki/Leonard_Kleinrock
8. Licklider, J.C.R. Man-Computer Symbiosis, IRE Transactions on Human Factors in Electronics, volume HFE-1, pages 4-11, March 1960
9. Britanica. (2024). Rej Tomlinson. <https://www.britannica.com/biography/Ray-Tomlinson>
10. Šunjevarić, M., i dr. (2013). Integracija digitalne radio-difuzne mreže mobilne televizije i ćelijske mreže treće generacije, VOJNOTEHNIČKI GLASNIK/MILITARY TECHNICAL COURIER, LXI(1), pp. 21–45. DOI: [10.5937/vojtehg61-1647](https://doi.org/10.5937/vojtehg61-1647)
11. Wikipedia. (2024). Vinton Serf. https://en.wikipedia.org/wiki/Vint_Cerf
12. Wikipedia. (2024). Robert Kan. https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Kahn
13. Kumar, A., Manjunath, D. and Kuri, J. (2008). Wireless Networking, A volume in The Morgan Kaufmann Series in Networking. ISBN: 978-0-12-374254-4, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374254-4.X5001-7>
14. Gong, D., Qi, L., Li, L. Lifelike evolution of CSnet and Bitnet: Birth to death, Conference: Seventh International Conference on Natural Computation, ICNC 2011, Shanghai, China, 26-28 July, 2011. [10.1109/ICNC.2011.6022261](https://doi.org/10.1109/ICNC.2011.6022261)
15. Naukakrozprice. (2019). Kako je nastao WWW. <https://naukakrozprice.rs>
16. Marinković, Z., Mitić, M., Dončov, N. FiWi I LiFi ŠIROKOPOJASNE MREŽE ZA PRISTUP, XXXV Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2017, Beograd, 5. i 6. decembar 2017. <https://postel.sf.bg.ac.rs/simpozijumi/POSTEL2017>
17. Stojanović, Z. (2015). Arhitektura, protokoli i servisi interneta. UREDNIK: Stanković, N., RECENZENTI: Žigić, H., Petrović, M. and Dedić, V., IZDAVAČ: EVROPSKI UNIVERZITET BRČKO DISTRIKTA. ISBN 978-99976-605-9-6 <http://www.evropskiuniverzitet-brcko.com/>
18. Walklin, S. (2017). Leaf-spine architecture for OTN switching. Conference: 2017 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC). DOI: [10.1109/ICCNC.2017.7876108](https://doi.org/10.1109/ICCNC.2017.7876108)
19. Tanenbaum, A. S. & Wetherall, D. J. (2010). Computer networks, 5. izdanje. ISBN-13: 978-0-13-212695-3 (alk. paper) ISBN-10: 0-13-212695-8

20. Fall, K.R. & Stevens, W.R. (2012). TCP/IP Illustrated, Vol. 1, The Protocols, 2th Edition, Addison-Wesley Professional. ISBN-13: 978-0-321-33631-6
21. Gajin, S. (2023). Osnovi računarskih mreža, Akademska misao. ISBN: 978-86-7466-974-7
22. Hong, J. H., Gusak, O., Sohraby, K. & Oliver, N. (2006). Performance Analysis of Packet Encapsulation and Aggregation, *14th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation*, Monterey, CA, USA, pp. 137-146, doi: [10.1109/MASCOTS.2006.38](https://doi.org/10.1109/MASCOTS.2006.38).