

SADRŽAJ

PREDGOVOR	9
1. UVOD	11
1.1 Komponente računarskih mreža	11
1.2 Podela računarskih mreža	13
1.2.1 Komutirane i difuzne mreže	13
1.2.2 Podela računarskih mreža prema području pokrivanja	15
1.2.2.1 Personalne mreže	16
1.2.2.2 Lokalne računarske mreže	16
1.2.2.3 Gradske mreže	17
1.2.2.4 Mreže širokog područja	17
1.2.2.5 Interkonekcija mreža širokog područja	19
1.3 Topologije računarskih mreža	19
1.4 Komunikacione arhitekture i protokoli	21
1.4.1 OSI referentni model	23
1.4.1.1 Koncept sloja i međuslojne komunikacije	23
1.4.1.2 OSI slojevi	25
1.4.1.3 Konektivni i nekonektivni komunikacioni servisi	27
1.4.1.4 Servisne primitive	28
1.4.1.5 Jedinice podataka	29
1.4.2 TCP/IP model	31
1.5 Standardizacija u oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija ..	33
1.5.1 Učesnici na tržištu telekomunikacija	33
1.5.2 Organizacije za standarde	34
1.6 Pitanja i zadaci	38

2. MEDIJUMI PRENOSA	39
2.1 Žični medijumi prenosa.....	39
2.1.1 Upredena parica.....	40
2.1.2 Koaksijalni vod.....	43
2.1.3 Optičko vlakno.....	45
2.2 Bežični prenos.....	50
2.2.1 Radio-frekvencijski spektar.....	50
2.2.2 Karakteristike propagacije i primena RF opsega u telekomunikacijama.....	53
2.2.3 Antene.....	54
2.2.4 Omnidirekionalne radio veze.....	56
2.2.5 Zemaljske mikrotalasne veze.....	57
2.2.6 Satelitske veze.....	59
2.2.7 Primena infracrvenih talasa u telekomunikacijama.....	62
2.3 Pitanja i zadaci.....	62
3. KONTROLA LINKA ZA PODATKE	65
3.1. Koncept okvira.....	65
3.2 Kontrola protoka.....	66
3.2.1 Procedura "stani i čekaj".....	67
3.2.2 Klizni prozori.....	69
3.3 Kontrola grešaka.....	73
3.3.1 Princip detekcije grešaka.....	73
3.3.2 Detekcija grešaka proverom parnosti.....	75
3.3.3 Detekcija grešaka pomoću CRC tehnike.....	78
3.3.3.1 Realizacija CRC pomoću aritmetike po modulu 2.....	78
3.3.3.2 Realizacija CRC pomoću polinoma.....	81
3.3.3.3 Realizacija CRC korišćenjem digitalnih logičkih kola.....	82
3.3.4 ARQ tehnike ispravljanja grešaka.....	84
3.3.4.1 ARQ tehnika "stani i čekaj".....	84
3.3.4.2 ARQ tehnika "vrati se N".....	85
3.3.4.3 ARQ tehnika selektivnog ponavljanja.....	86
3.3.4.4 Prenos potvrde u sklopu informacionog okvira.....	87
3.3.5 FEC tehnike.....	88
3.4 DLL protokoli.....	89
3.4.1 Karakter orijentisani protokoli.....	89
3.4.2 Bit orijentisan protokol HDLC.....	92
3.4.2.1 Konfiguracije HDLC stanica i režimi rada protokola.....	92
3.4.2.2 Struktura HDLC okvira.....	93
3.4.2.3 Operacije HDLC protokola.....	95
3.4.2.4 Realizacija transparentnog prenosa podataka umetanjem bitova.....	101

3.4.2.5	Protokoli zasnovani na HDLC.....	102
3.4.3	Bajt orijentisan protokol PPP.....	103
3.4.3.1	Format okvira i faze PPP.....	103
3.4.3.2	Protokol za kontrolu linka.....	105
3.4.3.3	Realizacija transparentnog prenosa podataka umetanjem bajtova.....	107
3.5	Pitanja i zadaci.....	108
4.	LOKALNE RAČUNARSKE MREŽE.....	111
4.1	Osnovna svojstva lokalnih računarskih mreža.....	111
4.2	Protokoli u lokalnim računarskim mrežama.....	112
4.2.1	Protokoli za kontrolu pristupa medijumu prenosa.....	113
4.2.1.1	ALOHA i CSMA.....	113
4.2.1.2	CSMA/CD.....	115
4.2.1.3	CSMA/CA.....	118
4.2.1.4	Token Ring.....	119
4.2.1.5	MAC adrese.....	120
4.2.2	Protokoli za kontrolu logičkog linka.....	122
4.3	Karakteristike Ethernet tehnologije.....	123
4.3.1	Ethernet standardi.....	124
4.3.2	Format Ethernet okvira.....	125
4.3.3	Ethernet i Fast Ethernet.....	126
4.3.4	Ripiteri i habovi.....	129
4.3.5	Bridževi.....	130
4.3.6	Komutirani Ethernet.....	131
4.3.7	Gigabit Ethernet.....	133
4.3.8	10 Gigabit Ethernet.....	135
4.3.9	STP i RSTP.....	137
4.3.10	Virtuelni LAN.....	139
4.4	Bežični LAN.....	140
4.4.1	Komponente i arhitektura bežičnog LAN-a.....	141
4.4.2	Pregled IEEE 802.11 standarda.....	142
4.4.3	MAC podsloj u standardima IEEE 802.11.....	144
4.4.4	IEEE 802.11 servisi.....	146
4.5	Pitanja i zadaci.....	147
5.	OSNOVI ARHITEKTURE INTERNETA I INTERNET PROTOKOL.....	149
5.1	Kratak istorijat Interneta.....	149
5.2	Osnovi arhitekture Interneta.....	151
5.2.1	Autonomni sistemi.....	152
5.2.2	Provajderi Internet servisa.....	153

5.2.3	Provajderi sadržaja i OTT provajderi.....	154
5.3	Analiza topologije mreže.....	155
5.4	Internet protokol.....	159
5.4.1	IPv4.....	159
5.4.1.1	Format IPv4 datagrama.....	160
5.4.1.2	Principi adresiranja u IPv4.....	161
5.4.1.3	ICMP.....	164
5.4.1.4	Rezolucija adresa.....	164
5.4.2	Prevođenje mrežnih adresa.....	166
5.4.3	IPSec.....	167
5.4.4	IPv6.....	169
5.4.4.1	Format IPv6 datagrama.....	169
5.4.4.2	Principi adresiranja u IPv6.....	170
5.4.4.3	Migracija od IPv4 ka IPv6.....	172
5.5	Mobilni IP.....	172
5.6	Kvalitet servisa.....	175
5.6.1	Definicije kvaliteta servisa.....	176
5.6.2	Parametri kvaliteta servisa i mere performansi.....	178
5.6.3	Klasa servisa i nivo servisa.....	179
5.6.4	Osnovi arhitekture diferenciranih servisa.....	180
5.7	Pitanja i zadaci.....	182
6.	RUTIRANJE U INTERNETU.....	185
6.1	Proces rutiranja.....	185
6.2	Algoritmi rutiranja.....	187
6.2.1	Rutiranje po najkraćoj putanji.....	188
6.2.2	Plavljenje.....	190
6.2.3	Rutiranje zasnovano na stanju linka.....	191
6.2.4	DV rutiranje.....	194
6.2.5	Konvergencija rutiranja.....	198
6.2.6	Hijerarhijsko rutiranje.....	199
6.3	Multicast rutiranje.....	199
6.3.1	Multicast adrese.....	200
6.3.2	Upravljanje grupom.....	201
6.3.3	Rutiranje multicast podataka.....	203
6.4	Protokoli rutiranja u Internetu.....	205
6.4.1	OSPF.....	207
6.4.2	RIP.....	209
6.4.3	BGP.....	211
6.5	Osnovi multiprotokolske komutacije labela.....	218
6.6	Pitanja i zadaci.....	221

7. TRANSPORTNI SLOJ	225
7.1 TCP	225
7.1.1 Multipleksiranje	226
7.1.2 Osnovne operacije protokola.....	227
7.1.3 Format TCP segmenta	229
7.1.4 Uspostavljanje TCP veze	231
7.1.5 Raskid TCP veze	233
7.1.6 Predstavljanje operacija TCP pomoću protokol automata	235
7.1.7 TCP tajmeri	240
7.1.8 Kontrola zagušenja.....	243
7.1.9 Opcije TCP.....	246
7.1.10 Verzije TCP.....	246
7.1.11 TCP u bežičnim mrežama	247
7.2 UDP	251
7.3 RTP i RTCP.....	254
7.4 Pitanja i zadaci.....	257
8. APLIKACIONI SLOJ	259
8.1 Sistem imena domena	259
8.1.1 DNS prostor sa imenima	260
8.1.2 Zapis resursa	262
8.1.3 DNS serveri.....	265
8.2 Telnet i SSH	268
8.3 Elektronska pošta.....	269
8.3.1 Struktura poruke.....	269
8.3.2 Arhitektura i protokoli sistema elektronske pošte	275
8.3.3 Webmail	277
8.4 FTP	278
8.5 WWW.....	282
8.5.1 Arhitektura Weba	283
8.5.2 Uniformni identifikator resursa i uniformni lokator resursa.....	285
8.5.3 "Kolačići"	287
8.5.4 Web dokumenti	288
8.5.5 HTTP.....	292
8.6 Pitanja i zadaci.....	295
9. NADZOR I UPRAVLJANJE RAČUNARSKIM MREŽAMA.....	297
9.1 TMN	297
9.1.1 Fizička arhitektura.....	298
9.1.2 Funkcije upravljanja.....	299

9.1.2.1	Upravljanje otkazima	300
9.1.2.2	Upravljanje konfiguracijom	301
9.1.2.3	Upravljanje tarifiranjem	302
9.1.2.4	Upravljanje performansama	302
9.1.2.5	Upravljanje zaštitom	303
9.1.3	Slojevitost arhitekture	304
9.1.4	Značaj TMN koncepta	305
9.2	SNMP i MIB	306
9.2.1	Baza upravljačkih informacija i struktura upravljačke informacije	307
9.2.2	Struktura poruka i operacije SNMP protokola.....	310
9.3	Evolucija sistema za nadzor i upravljanje	312
9.4	Pitanja i zadaci.....	315
LITERATURA.....		317
PRILOG I: OSNOVNI SKUP ASCII KARAKTERA.....		325
PRILOG II: TCP I UDP PORTOVI.....		329
SPISAK SKRAĆENICA		331
REČNIK POJMOVA		337
REGISTAR		345
BELEŠKA O AUTORU		349

PREDGOVOR

Ovaj udžbenik razmatra osnove računarskih mreža u aspektima arhitektura, tehnologija i protokola. Namenjen je studentima osnovnih studija Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu, koji prate nastavu iz predmeta Računarske mreže, na modulu Telekomunikacioni saobraćaj i mreže. Knjiga može da koristi informatičarima, inženjerima i stručnjacima drugih profila, koji se bave problematikom računarskih mreža. Podrazumeva se da čitalac poseduje elementarno predznanje iz osnova telekomunikacija i informatike.

Materija izložena u udžbeniku organizovana je u devet poglavlja.

Prvo poglavlje je uvodno. Prvi deo je posvećen mrežnom hardveru, a sadrži opis fizičkih komponenta računarskih mreža, prikaz podele računarskih mreža i opis karakterističnih mrežnih topologija. Drugi deo je posvećen mrežnom softveru, a sadrži pregled slojevitih komunikacionih arhitektura i protokola. Na kraju uvoda je ukazano na ulogu standardizacije u oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija.

Drugo poglavlje sadrži pregled osobina medijuma prenosa sa vođenim elektromagnetskim talasima (žične veze) i sa nevođenim elektromagnetskim talasima (bežični prenos) i njihove primene u računarskim mrežama.

Treće poglavlje razmatra funkcije kontrole linka za podatke i odgovarajuće protokole. Razmatranjima su obuhvaćeni algoritmi za kontrolu protoka i kontrolu grešaka nastalih u prenosu po fizičkom linku koji povezuje dva mrežna čvora. Pregled protokola obuhvata karakter orijentisane, bit orijentisane i bajt orijentisane protokole.

Četvrto poglavlje posvećeno je lokalnim računarskim mrežama. Posle opisa osnovnih, opštih svojstava, razmatrani su protokoli za kontrolu pristupa medijumu i za kontrolu logičkog linka. Zatim je detaljno opisana Ethernet tehnologija: standardi, formati okvira, karakteristike mreža sa različitim protocima, tehnološka realizacija i ekstenzije. Na kraju poglavlja razmatrane su bežične lokalne računarske mreže.

U petom poglavlju izloženi su osnovi arhitekture Interneta i operacije Internet protokola (IP). Opisane su topološke osobine globalnog Interneta i metodi za analizu topologije mreže. Sledi prikaz karakteristika Internet protokola (IPv4,

IPSec i IPv6), a zatim i mobilnog IP, koji omogućuje transparentno rutiranje IP paketa ka i od mobilnih čvorova u Internetu. Na kraju poglavlja je ukratko razmatrana problematika kvaliteta servisa u Internetu.

U šestom poglavlju razmatrano je rutiranje u Internetu. Prvo su objašnjeni elementi procesa rutiranja, funkcije rutera i njihova savremena realizacija u formi svičeva. Sledi prikaz najvažnijih algoritama rutiranja, a zatim i opis protokola za unicast rutiranje u Internetu. Na kraju poglavlja su izloženi osnovni principi multiprotokolske komutacije labela.

Sedmo poglavlje sadrži prikaz funkcija i protokola transportnog sloja. Detaljno su opisana dva najrasprostranjenija transportna protokola u Internetu, konektivni TCP i nekonektivni UDP. Zatim je opisan transportni protokol za rad u realnom vremenu (RTP), koji predstavlja interfejs između vremenski kritičnih aplikacija i UDP protokola.

Osmo poglavlje posvećeno je aplikacionom sloju i aplikacionim protokolima Interneta. Prvo je predstavljen sistem imena domena. Zatim su opisani bazični aplikacioni protokoli Interneta: Telnet, sistem elektronske pošte, protokol za prenos fajlova i WWW.

Deveto poglavlje sadrži prikaz opštih principa o nadzoru i upravljanju telekomunikacionim mrežama (TMN), a zatim razmatra SNMP kao široko rasprostranjenu arhitekturu upravljanja u današnjem Internetu. Na kraju poglavlja je opisana evolucija arhitektura i alata za implementaciju sistema za nadzor i upravljanje.

Svako poglavlje sadrži određeni broj rešenih problema (ukupno 50 primera). Na kraju svakog poglavlja dat je spisak pitanja i zadataka za proveru znanja i samostalan rad (ukupno 220 pitanja i zadataka).

Na kraju knjige dati su spisak literature, prilozi, spisak skraćenica, rečnik pojmova i registar.

Knjiga čini celinu sa udžbenikom "Savremene IP mreže: arhitekture, tehnologije i protokoli", autora Mirjane Stojanović i Vladanke Acimović-Raspopović (Beograd, Akademska misao, 2012), namenjenim za master akademske studije, na modulu Telekomunikacioni saobraćaj i mreže, Saobraćajnog fakulteta.

Autor izražava veliku zahvalnost recenzentima, prof. dr Miodragu Bakmazu i prof. dr Valentini Radojičić, na podsticaju, savetima i sugestijama, kojima su umnogome doprineli poboljšanju sadržaja i načina prezentacije materijala izloženog u udžbeniku.

Beograd, oktobar 2016.