

SAĐRŽAJ

PREDGOVOR XVII

1 UVOD 1

1.1 UPOTREBA RAČUNARSKIH MREŽA 3

- 1.1.1 Poslovne mreže 3
- 1.1.2 Kućne mreže 6
- 1.1.3 Pokretni korisnici 10
- 1.1.4 Društveni aspekti 14

1.2 MREŽNI HARDVER 17

- 1.2.1 Lične mreže 18
- 1.2.2 Lokalne mreže 19
- 1.2.3 Gradske mreže 23
- 1.2.4 Regionalne mreže 23
- 1.2.5 Kombinovane mreže 27

1.3 MREŽNI SOFTVER 29

- 1.3.1 Hijerarhije protokola 29
- 1.3.2 Problematika projektovanja slojeva 33
- 1.3.3 Usluge sa uspostavljanjem direktne veze i bez nje 35
- 1.3.4 Osnovne operacije za definisanje usluge 37
- 1.3.5 Odnos između usluga i protokola 39

1.4 REFERENTNI MODELI 40

- 1.4.1 Referentni model OSI 40
- 1.4.2 Referentni model TCP/IP 44
- 1.4.3 Model korišćen u knjizi 46
- 1.4.4 Poređenje referentnih modela OSI i TCP/IP 47
- 1.4.5 Kritika modela OSI i njegovih protokola 49
- 1.4.6 Kritika referentnog modela TCP/IP 51

1.5 PRIMERI MREŽA 52

1.5.1 Internet 52

1.5.2 Mreže mobilne telefonije treće generacije 62

1.5.3 Bežični LAN: 802.11 67

1.5.4 RFID i senzorske mreže 70

1.6 STANDARDIZOVANJE MREŽA 73

1.6.1 Ko je ko u svetu telekomunikacija 74

1.6.2 Ko je ko u svetu međunarodnih standarda 75

1.6.3 Ko je ko u svetu standarda za internet 77

1.7 METRIČKE JEDINICE 79**1.8 PREGLED OSTATKA KNJIGE 80****1.9 SAŽETAK 81****2 FIZIČKI SLOJ 87****2.1 TEORIJSKE OSNOVE PRENOSA PODATAKA 88**

2.1.1 Furijeova analiza 88

2.1.2 Signali ograničeni propusnim opsegom 89

2.1.3 Najveća brzina prenosa kroz kanal 91

2.2 FIZIČKI MEDIJUMI ZA PRENOS PODATAKA 93

2.2.1 Magnetni medijumi 93

2.2.2 Upredene parice 94

2.2.3 Koaksijalni kabl 95

2.2.4 Elektroenergetski vodovi 96

2.2.5 Optičko vlakno 97

2.3 BEŽIČNI PRENOS PODATAKA 102

2.3.1 Elektromagnetni spektar 103

2.3.2 Prenos podataka radio-talasima 106

2.3.3 Prenos podataka mikrotalasima 107

2.3.4 Infracrveni prenos 111

2.3.5 Prenos podataka vidljivom svetlošću 111

2.4 KOMUNIKACIONI SATELITI 113

2.4.1 Sateliti s geostacionarnom orbitom 114

2.4.2 Zemljini sateliti srednje orbite 118

2.4.3 Zemljini sateliti niske orbite 118

2.4.4 Poređenje satelitskih i optičkih veza 120

2.5 DIGITALNA MODULACIJA I MULTIPLEKSIRANJE 122

- 2.5.1 Prenos u osnovnom opsegu 122
- 2.5.2 Prenos u transponovanom području 127
- 2.5.3 Multipleksiranje podelom frekvencije 129
- 2.5.4 Multipleksiranje podelom vremena 131
- 2.5.5 Multipleksiranje podelom koda
(CDMA – kodirani višestruki pristup) 132

2.6 JAVNA KOMUTIRANA TELEFONSKA MREŽA 135

- 2.6.1 Struktura telefonskog sistema 136
- 2.6.2 Politika telefonije 138
- 2.6.3 Lokalne linije: modemi, ADSL i optički kablovi 140
- 2.6.4 Vodovi i multipleksiranje 148
- 2.6.5 Komutiranje 156

2.7 SISTEM MOBILNE TELEFONIJE 160

- 2.7.1 Mobilna telefonija prve generacije (1G):
analogni prenos glasa 161
- 2.7.2 Mobilna telefonija druge generacije (2G): digitalni prenos
glasa 165
- 2.7.3 Mobilna telefonija treće generacije: digitalni prenos glasa
i podataka 169

2.8 KABLOVSKA TELEVIZIJA 174

- 2.8.1 TV sa zajedničkom antenom 174
- 2.8.2 Kablovski Internet 175
- 2.8.3 Dodeljivanje frekvencija 176
- 2.8.4 Kablovski modemi 177
- 2.8.5 Poređenje ADSL linije i kablovske mreže 180

2.9 SAŽETAK 181**3 SLOJ VEZE PODATAKA 187****3.1 PROJEKTOVANJE SLOJA VEZE PODATAKA 188**

- 3.1.1 Usluge koje se obezbeđuju za mrežni sloj 188
- 3.1.2 Uokvirivanje 190
- 3.1.3 Kontrola grešaka 194
- 3.1.4 Upravljanje tokom podataka 195

3.2 OTKRIVANJE I ISPRAVLJANJE GREŠAKA 196

- 3.2.1 Kodovi za ispravljanje grešaka 198
- 3.2.2 Kodovi za otkrivanje grešaka 203

3.3 OSNOVNI PROTOKOLI SLOJA VEZE PODATAKA	209
3.3.1 Utopijski protokol za jednosmeran prenos podataka	213
3.3.2 Jednosmerni protokol „stani i čekaj“ za kanal bez grešaka	215
3.3.3 Protokol „stani i čekaj“ za jednosmerno slanje podataka bučnim kanalom	216
3.4 PROTOKOLI KLIZNIH PROZORA	219
3.4.1 Jednobitni protokol kliznih prozora	222
3.4.2 Protokol tipa „vрати se N“	224
3.4.3 Protokol sa selektivnim ponavljanjem	231
3.5 PRIMERI PROTOKOLA SLOJA VEZE	237
3.5.1 Prenos paketa pomoću SONET-a	237
3.5.2 Asimetrične digitalne pretplatničke linije (ADSL)	241
3.6 SAŽETAK	243

4 PODSLOJ ZA UPRAVLJANJE PRISTUPOM MEDIJUMIMA 249

4.1 PROBLEM DODELJIVANJA KANALA	250
4.1.1 Statičko dodeljivanje kanala	250
4.1.2 Pretpostavke za dinamičko dodeljivanje kanala	252
4.2 PROTOKOLI ZA VIŠEKORISNIČKI PRISTUP	253
4.2.1 ALOHA	254
4.2.2 Protokoli za višekorisnički pristup uz osluškivanje saobraćaja na nosiocu podataka	258
4.2.3 Protokoli u kojima se izbegava sukobljavanje	261
4.2.4 Protokoli sa ograničenom konkurencijom	265
4.2.5 Protokoli za bežične lokalne mreže	269
4.3 ETHERNET	272
4.3.1 Fizički sloj klasičnog Etherneta	272
4.3.2 Protokol MAC podsloja klasičnog Etherneta	274
4.3.3 Performanse Etherneta	277
4.3.4 Komutirani Ethernet	279
4.3.5 Brzi Ethernet	282
4.3.6 Gigabitni Ethernet	284
4.3.7 10-gigabitni Ethernet	288
4.3.8 Retrospektiva Etherneta	289

4.4	BEŽIČNE LOKALNE MREŽE	290
4.4.1	Arhitektura i skup protokola mreže 802.11	290
4.4.2	Fizički sloj mreže 802.11	292
4.4.3	Protokol MAC podsloja mreže 802.11	294
4.4.4	Struktura okvira u mreži 802.11	301
4.4.5	Usluge	302
4.5	ŠIROKOPOJASNI BEŽIČNI PRENOS	304
4.5.1	Poređenje mreža 802.16 sa 802.11 i 3G	305
4.5.2	Arhitektura i skup protokola mreže 802.16	306
4.5.3	Fizički sloj mreže 802.16	307
4.5.4	Protokol MAC podsloja mreže 802.16	309
4.5.5	Struktura okvira u mreži 802.16	310
4.6	BLUETOOTH	311
4.6.1	Arhitektura Bluetootha	312
4.6.2	Bluetooth aplikacije	313
4.6.3	Skup Bluetooth protokola	314
4.6.4	Radio-sloj sistema Bluetooth	315
4.6.5	Slojevi Bluetooth veze	315
4.6.6	Struktura Bluetooth okvira	317
4.7	RFID	318
4.7.1	Arhitektura EPC Gen 2	319
4.7.2	Fizički sloj EPC Gen 2	320
4.7.3	Sloj za identifikaciju čipa u EPC Gen 2	320
4.7.4	Formati poruka za identifikaciju čipova	322
4.8	KOMUTIRANJE U SLOJU VEZE	323
4.8.1	Upotreba mostova	323
4.8.2	Mostovi koji uče	325
4.8.3	Mostovi u razgranatom stablu	328
4.8.4	Repetitori, razvodnici, mostovi, skretnice, usmerivači, mrežni prolazi	331
4.8.5	Virtuelne lokalne mreže	333
4.9	SAŽETAK	339

5 MREŽNI SLOJ 345

5.1 PROJEKTOVANJE MREŽNOG SLOJA 345

- 5.1.1 Komutiranje paketa tehnikom „sačuvaj i prosledi“ 346
- 5.1.2 Usluge koje se pružaju transportnom sloju 346
- 5.1.3 Realizovanje usluge bez uspostavljanja direktne veze 348
- 5.1.4 Realizovanje usluge sa uspostavljanjem direktne veze 349
- 5.1.5 Poređenje mreža s virtuelnim kolima i datagramskih mreža 350

5.2 ALGORITMI ZA USMERAVANJE 352

- 5.2.1 Princip optimalnosti 354
- 5.2.2 Usmeravanje najkraćom putanjom 355
- 5.2.3 Plavljenje 357
- 5.2.4 Usmeravanje zasnovano na vektoru razdaljine 359
- 5.2.5 Usmeravanje zasnovano na tekućem stanju linija 363
- 5.2.6 Hijerarhijsko usmeravanje 368
- 5.2.7 Neciljano usmeravanje 369
- 5.2.8 Višeciljno usmeravanje 372
- 5.2.9 Blizinsko usmeravanje 375
- 5.2.10 Usmeravanje za pokretne računare 375
- 5.2.11 Usmeravanje u ad hoc mrežama 378

5.3 ALGORITMI ZA UPRAVLJANJE ZAGUŠENJEM 382

- 5.3.1 Rešenja za upravljanje zagušenjem 384
- 5.3.2 Usmeravanje na osnovu saobraćaja 385
- 5.3.3 Kontrola pristupa mreži 386
- 5.3.4 Prigušivanje saobraćaja 388
- 5.3.5 Odbacivanje opterećenja 392

5.4 KVALITET USLUGA 393

- 5.4.1 Zahtevi aplikacija 394
- 5.4.2 Ujednačavanje saobraćaja 396
- 5.4.3 Vremensko raspoređivanje paketa 401
- 5.4.4 Kontrola pristupa mreži 404
- 5.4.5 Integrisane usluge 408
- 5.4.6 Diferencirane usluge 410

5.5 POVEZIVANJE RAZLIČITIH MREŽA 414

- 5.5.1 Razlike između mreža 415
- 5.5.2 Načini međusobnog povezivanja mreža 416
- 5.5.3 Tunelovanje 419
- 5.5.4 Usmeravanje u kombinovanoj mreži 420
- 5.5.5 Fragmentiranje paketa 421

5.6 MREŽNI SLOJ NA INTERNETU	425
5.6.1 Protokol IP, verzija 4	427
5.6.2 IP adrese	431
5.6.3 Protokol IP, verzija 6	444
5.6.4 Upravljački Internet protokoli	453
5.6.5 Komutiranje paketa na osnovu oznaka i MPLS	458
5.6.6 OSPF – unutrašnji protokol za prolaženje	462
5.6.7 BGP – spoljni protokol za prolaženje granica	467
5.6.8 Višesmerno emitovanje na Internetu	472
5.6.9 IP komuniciranje s pokretnim računarima	473
5.7 SAŽETAK	476

6 TRANSPORTNI SLOJ 483

6.1 TRANSPORTNE USLUGE	483
6.1.1 Usluge koje se pružaju višim slojevima	484
6.1.2 Osnovne operacije transportnih usluga	485
6.1.3 Berkli utičnice	488
6.1.4 Primer programiranja utičnica: server za datoteke na Internetu	491
6.2 ELEMENTI TRANSPORTNIH PROTOKOLA	495
6.2.1 Adresiranje	496
6.2.2 Uspostavljanje veze	498
6.2.3 Raskidanje veze	504
6.2.4 Kontrola grešaka i upravljanje tokom podataka	508
6.2.5 Multipleksiranje	513
6.2.6 Oporavljanje posle pada sistema	514
6.3 UPRAVLJANJE ZAGUŠENJEM	516
6.3.1 Poželjna raspodela propusnog opsega	517
6.3.2 Regulisanje brzine slanja	521
6.3.3 Problemi u bežičnim mrežama	525
6.4 TRANSPORTNI PROTOKOLI ZA INTERNET: UDP	527
6.4.1 Uvod u protokol UDP	527
6.4.2 Daljinsko pozivanje procedura	529
6.4.3 Transportni protokoli za prenošenje podataka u realnom vremenu	532
6.5 TRANSPORTNI PROTOKOLI ZA INTERNET: TCP	538
6.5.1 Uvod u protokol TCP	538
6.5.2 TCP-ov model usluga	539
6.5.3 Protokol TCP	542
6.5.4 Zaglavlje TCP segmenta	543

6.5.5	Uspostavljanje TCP veze	546
6.5.6	Raskidanje TCP veze	548
6.5.7	Model upravljanja TCP vezom	548
6.5.8	TCP-ov klizni prozor	551
6.5.9	Upravljanje tajmerima u protokolu TCP	554
6.5.10	TCP upravljanje zagušenjem	557
6.5.11	Budućnost TCP-a	567
6.6	PERFORMANSE	568
6.6.1	Problemi performansi u računarskim mrežama	569
6.6.2	Merenje performansi mreže	570
6.6.3	Projektovanje računara za brze mreže	572
6.6.4	Brza obrada segmenata	575
6.6.5	Komprimovanje zaglavlja	579
6.6.6	Protokoli za duge debele mreže	580
6.7	MREŽE OTPORNE NA KAŠNJENJE	585
6.7.1	DTN arhitektura	586
6.7.2	Protokol Bundle	588
6.8	SAŽETAK	591

7 SLOJ APLIKACIJA 597

7.1	DNS – SISTEM IMENOVANJA DOMENA	597
7.1.1	DNS-ov imenski prostor	598
7.1.2	Zapisi resursa domena	602
7.1.3	Serveri za imena	605
7.2	ELEKTRONSKA POŠTA	609
7.2.1	Arhitektura i usluge	610
7.2.2	Korisnički agent	611
7.2.3	Formati poruka	616
7.2.4	Prenošenje poruka	623
7.2.5	Konačna isporuka	628
7.3	VEB – GLOBALNA RAČUNARSKA MREŽA	631
7.3.1	Pregled arhitekture veba	632
7.3.2	Statičke veb stranice	647
7.3.3	Dinamičke veb stranice i veb aplikacije	657
7.3.4	HTTP – protokol za prenošenje hiperteksta	668
7.3.5	Veb za mobilne uređaje	677
7.3.6	Pretraživanje veba	679

7.4 AUDIO I VIDEO SADRŽAJ U OBLIKU TOKOVA	681
7.4.1 Uvod u digitalni audio	683
7.4.2 Digitalni video	688
7.4.3 Reprodukovanje snimljenog multimedijskog sadržaja u realnom vremenu	696
7.4.4 Reprodukovanje multimedijskog sadržaja koji se emituje neprekidno	705
7.4.5 Video-konferencije u realnom vremenu	709
7.5 ISPORUKA SADRŽAJA	719
7.5.1 Sadržaj i saobraćaj na Internetu	720
7.5.2 Farme servera i veb posrednici	723
7.5.3 Mreže za isporuku sadržaja	727
7.5.4 Mreže ravnopravnih članova (P2P)	732
7.6 SAŽETAK	742

8 BEZBEDNOST U MREŽI 747

8.1 KRIPTOGRAFIJA	750
8.1.1 Uvod u kriptografiju	751
8.1.2 Supstitucione šifre	753
8.1.3 Transpozicione šifre	754
8.1.4 Jednokratni zapisi	756
8.1.5 Dva fundamentalna principa kriptografije	760
8.2 ALGORITMI ZA ŠIFROVANJE SIMETRIČNIM KLJUČEM	762
8.2.1 DES – standard za šifrovanje podataka	764
8.2.2 AES – napredni standard za šifrovanje	767
8.2.3 Režimi šifrovanja	770
8.2.4 Ostali algoritmi za šifrovanje	775
8.2.5 Kriptoanaliza	775
8.3 ALGORITMI ZA ŠIFROVANJE JAVNIM KLJUČEM	776
8.3.1 RSA	777
8.3.2 Ostali algoritmi za šifrovanje javnim ključem	779
8.4 DIGITALNI POTPISI	780
8.4.1 Potpisivanje simetričnim ključem	780
8.4.2 Potpisivanje javnim ključem	781
8.4.3 Sažeci poruka	783
8.4.4 Rodendanski napad	786
8.5 UPRAVLJANJE JAVNIM KLJUČEVIMA	789
8.5.1 Sertifikati	789
8.5.2 X.509	791
8.5.3 Infrastrukture za sertifikovanje javnih ključeva	792

8.6 BEZBEDNO KOMUNICIRANJE	796
8.6.1 IPsec	796
8.6.2 Zaštitne barijere	800
8.6.3 Virtuelne privatne mreže	803
8.6.4 Bezbednost u bežičnim mrežama	805
8.7 PROTOKOLI ZA PROVERU IDENTITETA	810
8.7.1 Provera identiteta pomoću deljenog tajnog ključa	811
8.7.2 Uspostavljanje deljenog ključa: Difi-Helmanova razmena ključa	815
8.7.3 Provera identiteta pomoću centra za distribuiranje ključeva	817
8.7.4 Provera identiteta pomoću Kerberos	820
8.7.5 Provera identiteta pomoću javnih ključeva	822
8.8 ZAŠTITA E-POŠTE	823
8.8.1 PGP – prilično dobra privatnost	823
8.8.2 S/MIME	827
8.9 BEZBEDNOST NA VEBU	828
8.9.1 Bezbednosne pretnje na vebu	828
8.9.2 Bezbedno imenovanje	829
8.9.3 SSL – sloj bezbednih utičnica	834
8.9.4 Bezbednost pokretnog koda	837
8.10 DRUŠTVENI ASPEKTI	841
8.10.1 Privatnost	841
8.10.2 Sloboda izražavanja	844
8.10.3 Autorska prava	847
8.11 SAŽETAK	850

9 DODATNA LITERATURA I BIBLIOGRAFIJA 857

9.1 PREDLOZI ZA DALJE ČITANJE	857
9.1.1 Uvod i opšte teme	858
9.1.2 Fizički sloj	859
9.1.3 Sloj veze podataka	860
9.1.4 Podsloj za upravljanje pristupom medijumu	860
9.1.5 Mrežni sloj	860
9.1.6 Transportni sloj	862
9.1.7 Sloj aplikacija	862
9.1.8 Bezbednost u mreži	863
9.2 BIBLIOGRAFIJA	864
SPISAK TERMINA KORIŠĆENIH U KNJIZI	883
INDEKS	893