

SADRŽAJ

PREDGOVOR

1 UVOD

1

- 1.1 UPOTREBA RAČUNARSKIH MREŽA 2
 - 1.1.1 Poslovne mreže 3
 - 1.1.2 Kućne mreže 5
 - 1.1.3 Pokretni korisnici 9
 - 1.1.4 Društveni aspekti 12
- 1.2 MREŽNI HARDVER 14
 - 1.2.1 Lokalne mreže 16
 - 1.2.2 Gradske mreže 17
 - 1.2.3 Regionalne mreže 18
 - 1.2.4 Bežične mreže 20
 - 1.2.5 Kućne mreže 23
 - 1.2.6 Kombinovane mreže 25
- 1.3 MREŽNI SOFTVER 26
 - 1.3.1 Hijerarhije protokola 26
 - 1.3.2 Problematika projektovanja slojeva 30
 - 1.3.3 Usluge sa uspostavljanjem direktne veze i bez nje 31
 - 1.3.4 Osnovne operacije za definisanje usluge 33
 - 1.3.5 Odnos između usluga i protokola 35

1.4 REFERENTNI MODELI	36
1.4.1 Referentni model OSI	36
1.4.2 Referentni model TCP/IP	40
1.4.3 Poređenje referentnih modela OSI i TCP/IP	42
1.4.4 Kritika modela OSI i njegovih protokola	44
1.4.5 Kritika referentnog modela TCP/IP	46
1.5 PRIMERI MREŽA	47
1.5.1 Internet	48
1.5.2 Mreže sa uspostavljanjem direktne veze: X.25, štafetni prenos okvira i ATM	57
1.5.3 Ethernet	63
1.5.4 Bežični LAN: 802.11	65
1.6 STANDARDIZOVANJE MREŽA	68
1.6.1 Ko je ko u svetu telekomunikacija	68
1.6.2 Ko je ko u svetu međunarodnih standarda	71
1.6.3 Ko je ko u svetu standarda za Internet	73
1.7 METRIČKE JEDINICE	74
1.8 PREGLED OSTATKA KNJIGE	75
1.9 SAŽETAK	76

2 FIZIČKI SLOJ

81

2.1 TEORIJSKE OSNOVE PRENOSA PODATAKA	81
2.1.1 Furijeova analiza	82
2.1.2 Signali ograničeni propusnim opsegom	82
2.1.3 Najveća brzina prenosa kroz kanal	85
2.2 FIZIČKI MEDIJUMI ZA PRENOS PODATAKA	86
2.2.1 Magnetni medijumi	86
2.2.2 Upredena parica	87
2.2.3 Koaksijalni kabl	88
2.2.4 Optičko vlakno	89
2.3 BEŽIČNI PRENOS PODATAKA	95
2.3.1 Elektromagnetni spektar	96
2.3.2 Prenos podataka radio-talasima	98
2.3.3 Prenos podataka mikrotalasima	100
2.3.4 Infracrveni i milimetarski talasi	102
2.3.5 Prenos podataka vidljivom svetlošću	103

2.4 KOMUNIKACIONI SATELITI	104
2.4.1 Sateliti s geostacionarnom orbitom	105
2.4.2 Zemljini sateliti srednje orbite	109
2.4.3 Zemljini sateliti niske orbite	109
2.4.4 Poređenje satelitskih i optičkih veza	112
2.5 JAVNA KOMUTIRANA TELEFONSKA MREŽA	113
2.5.1 Struktura telefonskog sistema	114
2.5.2 Politika telefonije	116
2.5.3 Lokalne veze: modemi, ADSL i bežične linije	118
2.5.4 Vodovi i multipleksiranje	131
2.5.5 Komutiranje	141
2.6 SISTEM MOBILNE TELEFONIJE	146
2.6.1 Mobilna telefonija prve generacije: analogni prenos glasa	147
2.6.2 Mobilna telefonija druge generacije: digitalni prenos glasa	151
2.6.3 Mobilna telefonija treće generacije: digitalni prenos glasa i podataka	160
2.7 KABLOVSKA TELEVIZIJA	162
2.7.1 TV sa zajedničkom antenom	163
2.7.2 Kablovski Internet	163
2.7.3 Dodeljivanje frekvencija	165
2.7.4 Kablovski modemi	166
2.7.5 Poređenje ADSL linije i kablovske mreže	169
2.8 SAŽETAK	170

3 SLOJ VEZE PODATAKA

177

3.1 PROJEKTOVANJE SLOJA VEZE PODATAKA	178
3.1.1 Usluge koje se obezbeđuju za mrežni sloj	178
3.1.2 Uokvirivanje	181
3.1.3 Kontrola grešaka	185
3.1.4 Upravljanje tokom podataka	185
3.2 OTKRIVANJE I ISPRAVLJANJE GREŠAKA	186
3.2.1 Kodovi za ispravljanje grešaka	187
3.2.2 Kodovi za otkrivanje grešaka	189
3.3 OSNOVNI PROTOKOLI SLOJA VEZE PODATAKA	193
3.3.1 Protokol za neograničen jednosmeran prenos podataka	197
3.3.2 Jednosmerni protokol „stani i čekaj“	198
3.3.3 Protokol za jednosmerno slanje podataka bučnim kanalom	200

- 3.4 PROTOKOLI KLIZNIH PROZORA 204
 - 3.4.1 Jednobitni protokol kliznih prozora 206
 - 3.4.2 Protokol tipa „vrati se N“ 209
 - 3.4.3 Protokol sa selektivnim ponavljanjem 215
- 3.5 PROVERA RADA PROTOKOLA 220
 - 3.5.1 Modeli mašine konačnih stanja 220
 - 3.5.2 Modeli mreže Petri 223
- 3.6 PRIMERI PROTOKOLA SLOJA VEZE 225
 - 3.6.1 HDLC – protokol za upravljanje povezivanjem podataka na visokom nivou 226
 - 3.6.2 Sloj veze podataka na Internetu 229
- 3.7 SAŽETAK 233

4 PODSLOJ ZA UPRAVLJANJE PRISTUPOM MEDIJUMIMA

239

- 4.1 PROBLEM DODELJIVANJA KANALA 240
 - 4.1.1 Statičko dodeljivanje kanala u lokalnim i gradskim mrežama 240
 - 4.1.2 Dinamičko dodeljivanje kanala u lokalnim i gradskim mrežama 241
- 4.2 PROTOKOLI ZA VIŠEKORISNIČKI PRISTUP 243
 - 4.2.1 ALOHA 243
 - 4.2.2 Protokoli za višekorisnički pristup uz osluškivanje saobraćaja na nosiocu podataka 247
 - 4.2.3 Protokoli u kojima nema sukobljavanja 250
 - 4.2.4 Protokoli sa ograničenom konkurencijom 253
 - 4.2.5 Protokol za višekorisnički pristup uz podelu talasne dužine 256
 - 4.2.6 Protokoli za bežične lokalne mreže 259
- 4.3 ETHERNET 262
 - 4.3.1 Kabliranje Etherneta 262
 - 4.3.2 Mančester kodiranje 265
 - 4.3.3 Protokol MAC podsloja za Ethernet 266
 - 4.3.4 Algoritam binarnog eksponencijalnog odustajanja 269
 - 4.3.5 Performanse Etherneta 270
 - 4.3.6 Komutirani Ethernet 272
 - 4.3.7 Brzi Ethernet 273
 - 4.3.8 Gigabitni Ethernet 276
 - 4.3.9 IEEE 802.2: upravljanje logičkom vezom 280
 - 4.3.10 Retrospektiva Etherneta 281

4.4 BEŽIČNE LOKALNE MREŽE	282
4.4.1 Skup protokola mreže 802.11	282
4.4.2 Fizički sloj mreže 802.11	283
4.4.3 Protokol MAC podsloja mreže 802.11	285
4.4.4 Struktura okvira u mreži 802.11	289
4.4.5 Usluge	290
4.5 ŠIROKOPOJASNI BEŽIČNI PRENOS	292
4.5.1 Poređenje mreža 802.11 i 802.16	293
4.5.2 Skup protokola mreže 802.16	294
4.5.3 Fizički sloj mreže 802.16	295
4.5.4 Protokol MAC podsloja mreže 802.16	297
4.5.5 Struktura okvira u mreži 802.16	298
4.6 BLUETOOTH	299
4.6.1 Arhitektura Bluetootha	300
4.6.2 Primene sistema Bluetooth	301
4.6.3 Skup Bluetooth protokola	302
4.6.4 Radio-sloj sistema Bluetooth	303
4.6.5 Osnovni sloj sistema Bluetooth	304
4.6.6 Sloj L2CAP sistema Bluetooth	305
4.6.7 Struktura Bluetooth okvira	305
4.7 KOMUTIRANJE U SLOJU VEZE	306
4.7.1 Mostovi između mreža 802.x i 802.y	308
4.7.2 Međusobno povezivanje lokalnih mreža	310
4.7.3 Mostovi u razgranatom stablu	312
4.7.4 Daljinski mostovi	314
4.7.5 Repetitori, razvodnici, mostovi, skretnice, usmerivači, mrežni prolazi	314
4.7.6 Virtuelne lokalne mreže	317
4.8 SAŽETAK	324

5 MREŽNI SLOJ

331

5.1 PROJEKTOVANJE MREŽNOG SLOJA	331
5.1.1 Komutiranje paketa tehnikom „čuvaj i prosledi“	332
5.1.2 Usluge koje se obezbeđuju transportnom sloju	332
5.1.3 Realizacija usluge bez uspostavljanja direktne veze	333
5.1.4 Realizacija usluge sa uspostavljanjem direktne veze	335
5.1.5 Poređenje podmreža s virtuelnim kolima i datagramskih podmreža	336

5.2 ALGORITMI ZA USMERAVANJE	337
5.2.1 Princip optimalnosti	339
5.2.2 Usmeravanje najkraćom putanjom	340
5.2.3 Plavljenje	342
5.2.4 Usmeravanje zasnovano na vektoru razdaljine	344
5.2.5 Usmeravanje zasnovano na stanju veze	347
5.2.6 Hijerarhijsko usmeravanje	353
5.2.7 Realizovanje neusmerenog emitovanja	354
5.2.8 Višesmerno usmeravanje	356
5.2.9 Usmeravanje za pokretne računare	358
5.2.10 Usmeravanje u ad hoc mrežama	361
5.2.11 Pretraživanje čvorova u mrežama ravnopravnih računara	366
5.3 ALGORITMI ZA UPRAVLJANJE ZAGUŠENJEM	370
5.3.1 Opšti principi kontrole zagušenja	372
5.3.2 Pravila sprečavanja zagušenja	373
5.3.3 Kontrola zagušenja u podmrežama s virtuelnim kolima	375
5.3.4 Kontrola zagušenja u datagramskim podmrežama	376
5.3.5 Odbacivanje paketa	379
5.3.6 Kontrola neravnomernosti pristizanja paketa	380
5.4 KVALITET USLUGA	381
5.4.1 Zahtevi	382
5.4.2 Tehnike za postizanje dobrog kvaliteta usluga	383
5.4.3 Integrisane usluge	393
5.4.4 Diferencirane usluge	396
5.4.5 Komutiranje paketa na osnovu oznaka i MPLS	399
5.5 KOMBINOVANJE RAZLIČITIH MREŽA	401
5.5.1 Razlike između mreža	403
5.5.2 Načini međusobnog povezivanja mreža	404
5.5.3 Nadovezana virtuelna kola	405
5.5.4 Međumrežni rad bez uspostavljanja direktne veze	406
5.5.5 Upotreba tunela	408
5.5.6 Usmeravanje kroz kombinovanu mrežu	409
5.5.7 Fragmentiranje	410
5.6 MREŽNI SLOJ NA INTERNETU	413
5.6.1 Protokol IP	415
5.6.2 IP adrese	419
5.6.3 Protokoli za upravljanje na Internetu	430
5.6.4 OSPF – unutrašnji protokol za mrežni prolaz	436
5.6.5 BGP – spoljni protokol za mrežni prolaz	440

- 5.6.6 Višesmerno emitovanje na Internetu 442
- 5.6.7 IP komuniciranje s pokretnim računarima 443
- 5.6.8 IPv6 445
- 5.7 SAŽETAK 454

6 TRANSPORTNI SLOJ 461

- 6.1 USLUGA PRENOSA 461
 - 6.1.1 Usluge koje se obezbeđuju za više slojeve 461
 - 6.1.2 Osnovne operacije u uslugama prenosa 463
 - 6.1.3 Berkli utičnice 466
 - 6.1.4 Primer programiranja utičnica: server datoteka na Internetu 467
- 6.2 ELEMENTI TRANSPORTNIH PROTOKOLA 472
 - 6.2.1 Adresiranje 473
 - 6.2.2 Uspostavljanje veze 476
 - 6.2.3 Raskidanje veze 480
 - 6.2.4 Kontrola toka i privremeno skladištenje 484
 - 6.2.5 Multipleksiranje 488
 - 6.2.6 Oporavljanje posle pada sistema 489
- 6.3 JEDNOSTAVAN TRANSPORTNI PROTOKOL 491
 - 6.3.1 Osnovne operacije korišćene u primeru 491
 - 6.3.2 Transportna jedinica iz primera 493
 - 6.3.3 Transportni protokol kao mašina konačnih stanja 500
- 6.4 TRANSPORTNI PROTOKOLI ZA INTERNET: UDP 503
 - 6.4.1 Uvod u protokol UDP 503
 - 6.4.2 Daljinsko pozivanje procedure 505
 - 6.4.3 Protokol za prenos u realnom vremenu 507
- 6.5 TRANSPORTNI PROTOKOLI ZA INTERNET: TCP 510
 - 6.5.1 Predstavljanje protokola TCP 510
 - 6.5.2 Model TCP usluge 511
 - 6.5.3 Protokol TCP 513
 - 6.5.4 Zaglavlje TCP segmenta 514
 - 6.5.5 Uspostavljanje TCP veze 517
 - 6.5.6 Raskidanje TCP veze 518
 - 6.5.7 Modelovanje rada sa TCP vezom 519
 - 6.5.8 Pravila TCP prenosa 521
 - 6.5.9 TCP kontrola zagušenja 524
 - 6.5.10 Upravljanje tajmerima u protokolu TCP 527
 - 6.5.11 Bežični TCP i UDP protokoli 530
 - 6.5.12 Transakcioni TCP protokol 532

- 6.6 PERFORMANSE 534
 - 6.6.1 Problemi s performansama u računarskim mrežama 534
 - 6.6.2 Merenje performansi mreže 537
 - 6.6.3 Projektovanje sistema za postizanje boljih performansi 539
 - 6.6.4 Brza obrada TPDU blokova 542
 - 6.6.5 Protokoli za gigabitne mreže 546
- 6.7 SAŽETAK 549

7 SLOJ APLIKACIJA

555

- 7.1 DNS – SISTEM IMENOVANJA DOMENA 555
 - 7.1.1 Imenski DNS prostor 556
 - 7.1.2 Zapisi resursa 559
 - 7.1.3 Serveri imena 562
- 7.2 ELEKTRONSKA POŠTA 564
 - 7.2.1 Arhitektura i usluge 565
 - 7.2.2 Korisnički agent 567
 - 7.2.3 Formati poruka 570
 - 7.2.4 Prenos poruka 577
 - 7.2.5 Konačna isporuka 580
- 7.3 WEB – GLOBALNA RAČUNARSKA MREŽA 585
 - 7.3.1 Pregled arhitekture Weba 586
 - 7.3.2 Statični Web dokumenti 602
 - 7.3.3 Dinamični Web dokumenti 615
 - 7.3.4 HTTP – protokol za prenos hiperteksta 623
 - 7.3.5 Poboljšanje performansi 628
 - 7.3.6 Bežični Web 634
- 7.4 MULTIMEDIJA 645
 - 7.4.1 Uvod u digitalni audio 645
 - 7.4.2 Komprimovanje zvuka 647
 - 7.4.3 Audio koji se reprodukuje u realnom vremenu 650
 - 7.4.4 Internet radio 654
 - 7.4.5 Govor preko Interneta 656
 - 7.4.6 Uvod u video 663
 - 7.4.7 Komprimovanje video zapisa 666
 - 7.4.8 Video na zahtev 674
 - 7.4.9 Mbone – višesmerna okosnica 681
- 7.5 SAŽETAK 684

8 BEZBEDNOST NA MREŽI**691**

- 8.1 KRIPTOGRAFIJA 694
 - 8.1.1 Uvod u kriptografiju 694
 - 8.1.2 Supstitucione šifre 697
 - 8.1.3 Transpozicione šifre 698
 - 8.1.4 Jednokratna zaštita 699
 - 8.1.5 Dva fundamentalna principa kriptografije 704
- 8.2 ALGORITMI ZA ŠIFROVANJE SIMETRIČNIM KLJUČEM 705
 - 8.2.1 DES – standard za šifrovanje podataka 707
 - 8.2.2 AES – napredni standard za šifrovanje 710
 - 8.2.3 Režimi šifrovanja 713
 - 8.2.4 Ostale šifre 718
 - 8.2.5 Kriptoanaliza 718
- 8.3 ALGORITMI ZA ŠIFROVANJE JAVNIM KLJUČEM 719
 - 8.3.1 RSA 720
 - 8.3.2 Ostali algoritmi za šifrovanje javnim ključem 722
- 8.4 DIGITALNI POTPISI 722
 - 8.4.1 Potpisivanje simetričnim ključem 723
 - 8.4.2 Potpisivanje javnim ključem 724
 - 8.4.3 Sažeci poruka 726
 - 8.4.4 Rođendanski napad 729
- 8.5 RAD S JAVNIM KLJUČEVIMA 731
 - 8.5.1 Sertifikati 732
 - 8.5.2 X.509 733
 - 8.5.3 Infrastrukture za sertifikiranje javnih ključeva 734
- 8.6 BEZBEDNOST KOMUNICIRANJA 737
 - 8.6.1 IPsec 738
 - 8.6.2 Zaštitne barijere 742
 - 8.6.3 Virtuelne privatne mreže 744
 - 8.6.4 Bezbednost bežičnih mreža 746
- 8.7 PROTOKOLI ZA PROVERU IDENTITETA 750
 - 8.7.1 Provera identiteta zasnovana na deljenom tajnom ključu 751
 - 8.7.2 Uspostavljanje deljenog ključa: Difi-Helmanova razmena ključa 755
 - 8.7.3 Provera identiteta pomoću centra za distribuiranje ključeva 757
 - 8.7.4 Provera identiteta pomoću Kerberos 760
 - 8.7.5 Provera identiteta pomoću šifrovanja javnim ključem 762

8.8 BEZBEDNOST E-POŠTE	763
8.8.1 PGP – prilično dobra privatnost	763
8.8.2 PEM – pošta s poboljšanom privatnošću	767
8.8.3 S/MIME	768
8.9 BEZBEDNOST WEBA	768
8.9.1 Ugrožavanje Weba	769
8.9.2 Bezbedno imenovanje	770
8.9.3 SSL – sloj bezbednih utičnica	776
8.9.4 Bezbednost pokretnog koda	779
8.10 DRUŠTVENI ASPEKTI	782
8.10.1 Privatnost	782
8.10.2 Sloboda izražavanja	785
8.10.3 Autorska prava	788
8.11 SAŽETAK	790
9 DODATNO ŠTIVO I KORIŠĆENA LITERATURA	797
9.1 PREDLOZI ZA DALJE ČITANJE	797
9.1.1 Uvod i opšte teme	798
9.1.2 Fizički sloj	799
9.1.3 Sloj veze podataka	801
9.1.4 Podsloj za upravljanje pristupom medijumima	802
9.1.5 Mrežni sloj	803
9.1.6 Transportni sloj	805
9.1.7 Sloj aplikacija	806
9.1.8 Bezbednost na mreži	807
9.2 ABECEDNI SPISAK KORIŠĆENE LITERATURE	809

SPISAK TERMINA KORIŠĆENIH U KNJIZI	829
---	------------

INDEKS	841
---------------	------------