

Andrew S. Tanenbaum
David J. Wetherall

Számítógép- hálózatok

Harmadik, bővített, átdolgozott kiadás

Panem Könyvek®

A mű eredeti címe: Computer Networks. Fifth Edition.

Authorized translation from the English language edition, entitled COMPUTER NETWORKS, 5th Edition, 0132126958 by TANENBAUM, ANDREW S.; WETHERALL, DAVID J., published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall,

Copyright © 2011 Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall

Hungarian Language Edition Copyright © Panem Könyvek*, Taramix Kft., 2013

A kiadásért felel a Taramix Kft. ügyvezetője, Budapest, 2013

ISBN 978-963-545-529-4

Lektorálta: Dr. Harangozó József

Fordította: Borbényi Judit, Hatwágner F. Miklós, Hollósi Gergely László,

Horváth Dániel, Schulcz Róbert, Varga Gábor

panem@panem.hu

www.panem.hu

Minden jog fenntartva. Jelen könyvet, illetve annak részeit tilos reprodukálni, adatrögzítő-rendszerben tárolni, bármilyen formában vagy eszközzel – elektronikus úton vagy más módon – közölni a kiadók engedélye nélkül.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Tartalomjegyzék

Előszó	15
1. Bevezetés	19
1.1. A számítógép-hálózatok használata	20
1.1.1. Üzleti alkalmazások	21
1.1.2. Otthoni alkalmazások	24
1.1.3. Mozgó felhasználók	28
1.1.4. Társadalmi vonatkozások	32
1.2. Hálózati hardver	35
1.2.1. Személyi hálózatok	37
1.2.2. Lokális hálózatok	38
1.2.3. Nagyvárosi hálózatok	41
1.2.4. Nagy kiterjedésű hálózatok	43
1.2.5. Összekapcsolt hálózatok	46
1.3. Hálózati szoftver	48
1.3.1. Protokollhierarchiák	48
1.3.2. A rétegek tervezési kérdései	52
1.3.3. Összeköttetés-alapú és összeköttetés nélküli szolgáltatások	54
1.3.4. Szolgáltatási primitívek	57
1.3.5. A szolgáltatások kapcsolata a protokollokkal	59
1.4. Hivatkozási modellek	60
1.4.1. Az OSI hivatkozási modell	60
1.4.2. A TCP/IP hivatkozási modell	64
1.4.3. A könyvben használt modell	67
1.4.4. Az OSI és a TCP/IP hivatkozási modell összehasonlítása	68
1.4.5. Az OSI hivatkozási modell és protokolljainak bírálata	70
1.4.6. A TCP/IP hivatkozási modell bírálata	73
1.5. Hálózati példák	73
1.5.1. Az internet	74
1.5.2. Harmadik generációs mobiltelefon-hálózatok	84
1.5.3. Vezeték nélküli LAN-ok: 802.11	89

1.5.4.	Az RFID és a szenzorhálózatok	93
1.6.	A hálózatok szabványosítása	95
1.6.1.	Ki kicsoda a hírtávközlés világában?	97
1.6.2.	Ki kicsoda a nemzetközi szabványok világában?	98
1.6.3.	Ki kicsoda az internetszabványok világában?	100
1.7.	Mértékegységek	102
1.8.	Röviden a továbbiakról	103
1.9.	Összefoglalás	105
1.10.	Feladatok	106
2.	A fizikai réteg	111
2.1.	Az adatátvitel elméleti alapjai	111
2.1.1.	Fourier-analízis	112
2.1.2.	Sávkorlátozott jelek	112
2.1.3.	A csatorna maximális adatsebessége	116
2.2.	Vezetékes átviteli közegek	117
2.2.1.	Mágneses hordozó	117
2.2.2.	Sodrott érpár	118
2.2.3.	Koaxiális kábel	120
2.2.4.	Erősáramú vezetékek	120
2.2.5.	Üvegszálak	121
2.3.	Vezeték nélküli adatátvitel	127
2.3.1.	Az elektromágneses spektrum	127
2.3.2.	Rádiófrekvenciás átvitel	131
2.3.3.	Mikrohullámú átvitel	132
2.3.4.	Infravörös átvitel	136
2.3.5.	Látható fényhullámú átvitel	136
2.4.	Kommunikációs műholdak	138
2.4.1.	Geostacionárius műholdak	139
2.4.2.	Közepes röppályás műholdak	143
2.4.3.	Alacsony röppályás műholdak	143
2.4.4.	A műholdak és az üvegszál összehasonlítása	146
2.5.	Digitális moduláció és multiplexelés	147
2.5.1.	Alapsávú átvitel	148
2.5.2.	Áteresztő sávú átvitel	152
2.5.3.	Frekvenciaosztásos multiplexelés	155
2.5.4.	Időosztásos multiplexelés	157
2.5.5.	Kódosztásos multiplexelés	158
2.6.	A nyilvános kapcsolt telefonhálózat	161
2.6.1.	A távbeszélőrendszer felépítése	161
2.6.2.	Távközlési politika	164
2.6.3.	Az előfizetői hurok: modemek, ADSL és üvegszál	166
2.6.4.	Trönkök és multiplexelés	174
2.6.5.	Kapcsolási módok	183

2.7.	A mobiltelefon-rendszer	187
2.7.1.	Első generációs (1G) mobiltelefonok: analóg beszédátvitel	189
2.7.2.	Második generációs (2G) mobiltelefonok: digitális beszédátvitel	192
2.7.3.	Harmadik generációs (3G) mobiltelefonok: digitális beszéd- és adatátvitel	197
2.8.	Kábeltelevízió	201
2.8.1.	Közösségi antennás televízió	202
2.8.2.	Internet a kábelhálózaton	203
2.8.3.	A spektrum kiosztása	204
2.8.4.	Kábelmodemek	205
2.8.5.	A kábeles és az ADSL-összeköttetések összehasonlítása	208
2.9.	Összefoglalás	209
2.10.	Feladatok	210
3.	Az adatkapcsolati réteg	217
3.1.	Az adatkapcsolati réteg tervezési szempontjai	217
3.1.1.	A hálózati rétegnek nyújtott szolgáltatások	218
3.1.2.	Keretezés	220
3.1.3.	Hibakezelés	224
3.1.4.	Forgalomszabályozás	225
3.2.	Hibajelzés és hibajavítás	226
3.2.1.	Hibajavító kódok	227
3.2.2.	Hibajelző kódok	233
3.3.	Elemi adatkapcsolati protokollok	238
3.3.1.	Egy utópikus szimplex protokoll	243
3.3.2.	Szimplex megáll-és-vár protokoll hibamentes csatornához	244
3.3.3.	Szimplex megáll-és-vár protokoll zajos csatornához	245
3.4.	Csúszóablakos protokollok	250
3.4.1.	Egybites csúszóablakos protokoll	252
3.4.2.	Az n visszalépést alkalmazó protokoll	255
3.4.3.	Szelektív ismétlést alkalmazó protokoll	261
3.5.	Példák adatkapcsolati protokollokra	267
3.5.1.	Csomagok küldése SONET-en keresztül	267
3.5.2.	ADSL – aszimmetrikus digitális előfizetői szakasz	271
3.6.	Összefoglalás	273
3.7.	Feladatok	274
4.	A közeg-hozzáférési alréteg	279
4.1.	A csatornakiosztás problémája	280
4.1.1.	Statikus csatornakiosztás	280
4.1.2.	Dinamikus csatornakiosztás	282
4.2.	Többszörös hozzáférésű protokollok	284
4.2.1.	ALOHA	284
4.2.2.	Vivőjel-érzékeléses többszörös hozzáférésű protokollok	288

4.2.3.	Ütközésmentes protokollok	292
4.2.4.	Korlátozott versenyes protokollok	296
4.2.5.	Vezeték nélküli LAN-protokollok	299
4.3.	Ethernet	302
4.3.1.	A klasszikus Ethernet fizikai rétege	303
4.3.2.	A klasszikus Ethernet MAC-alréteg protokollja	305
4.3.3.	Az Ethernet teljesítőképessége	308
4.3.4.	Kapcsolt Ethernet	310
4.3.5.	Gyors Ethernet	313
4.3.6.	Gigabites Ethernet	315
4.3.7.	10 gigabites Ethernet	319
4.3.8.	Visszatekintés az Ethernetre	320
4.4.	Vezeték nélküli LAN-ok	322
4.4.1.	A 802.11 felépítése és protokollkészlete	322
4.4.2.	A 802.11 fizikai rétege	324
4.4.3.	A 802.11 MAC-alrétegének protokollja	326
4.4.4.	A 802.11 keretszerkezete	332
4.4.5.	Szolgáltatások	334
4.5.	Széles sávú vezeték nélküli hálózatok	336
4.5.1.	A 802.16 összehasonlítása a 802.11-gyel és a 3G-vel	336
4.5.2.	A 802.16 felépítése és protokollkészlete	337
4.5.3.	A 802.16 fizikai rétege	339
4.5.4.	A 802.16 MAC-alrétegének protokollja	341
4.5.5.	A 802.16 keretszerkezete	342
4.6.	BLUETOOTH	343
4.6.1.	A Bluetooth felépítése	344
4.6.2.	Bluetooth-alkalmazások	345
4.6.3.	A Bluetooth protokollkészlete	346
4.6.4.	A Bluetooth rádiós rétege	347
4.6.5.	A Bluetooth kapcsolati rétegei	348
4.6.6.	A Bluetooth keretszerkezete	349
4.7.	RFID	350
4.7.1.	Az EPC Gen 2 felépítése	351
4.7.2.	Az EPC Gen 2 fizikai rétege	352
4.7.3.	Az EPC Gen 2 címkeazonosító rétege	353
4.7.4.	A címkeazonosítási üzenet formátumai	354
4.8.	Kapcsolás az adatkapcsolati rétegben	355
4.8.1.	Hidak használata	356
4.8.2.	Helyi hálózatok összekapcsolása	357
4.8.3.	Feszítőfás hidak	360
4.8.4.	Ismétlők, elosztók, hidak, kapcsolók, útválasztók és átjárók	363
4.8.5.	Virtuális LAN-ok	366
4.9.	Összefoglalás	372
4.10.	Feladatok	374

5.	A hálózati réteg	379
5.1.	A hálózati réteg tervezési kérdései	379
5.1.1.	Tárol-és-továbbít típusú csomagkapcsolás	379
5.1.2.	A szállítási rétegnek nyújtott szolgáltatások	380
5.1.3.	Összeköttetés nélküli szolgáltatás megvalósítása	381
5.1.4.	Összeköttetés-alapú szolgáltatás megvalósítása	383
5.1.5.	A virtualisáramkör- és a datagramalapú hálózatok összehasonlítása	385
5.2.	Útválasztó algoritmusok	386
5.2.1.	Az optimalitási elv	388
5.2.2.	Legrövidebb útvonal alapján történő útválasztás	389
5.2.3.	Elárasztás	393
5.2.4.	Távolságvektor-alapú útválasztás	394
5.2.5.	Kapcsolatállapot-alapú útválasztás	397
5.2.6.	Hierarchikus útválasztás	402
5.2.7.	Adatszóró útválasztás	404
5.2.8.	Többsküldéses útválasztás	406
5.2.9.	Bárkinek küldéses (anycast) útválasztás	409
5.2.10.	Útválasztás mozgó hosztokhoz	410
5.2.11.	Útválasztás ad hoc hálózatokban	412
5.3.	Torlódáskezelési algoritmusok	416
5.3.1.	A torlódáskezelés alapelvei	418
5.3.2.	Forgalomalapú útválasztás	419
5.3.3.	Belépés-ellenőrzés	420
5.3.4.	Forgalomlefojtás	422
5.3.5.	Terhelés eltávolítása	426
5.4.	A szolgáltatás minősége	428
5.4.1.	Alkalmazási követelmények	429
5.4.2.	Forgalomformálás	430
5.4.3.	Csomagütemezés	435
5.4.4.	Belépés-ellenőrzés	438
5.4.5.	Integrált szolgáltatások	442
5.4.6.	Differenciált szolgáltatások	445
5.5.	Hálózatok összekapcsolása	448
5.5.1.	Miben különböznek a hálózatok?	449
5.5.2.	Hogyan lehet összekapcsolni a hálózatokat?	450
5.5.3.	Alagút típusú átvitel	453
5.5.4.	Útválasztás összekapcsolt hálózatokban	455
5.5.5.	Csomag darabokra tördelése	456
5.6.	Hálózati réteg az interneten	460
5.6.1.	Az IP-protokoll 4-es változata	462
5.6.2.	IP-címek	466
5.6.3.	Az internetprotokoll 6-os verziója	478
5.6.4.	Az internet vezérlőprotokolljai	488
5.6.5.	Címkekapcsolás és MPLS	493

5.6.6.	OSPF – a belső átjáró protokoll	496
5.6.7.	BGP – a külső átjáró protokoll	501
5.6.8.	Többesküldés az interneten	507
5.6.9.	Mobil IP	508
5.7.	Összefoglalás	511
5.8.	Feladatok	512
6.	A szállítási réteg	519
6.1.	A szállítási szolgáltatás	519
6.1.1.	A felső rétegeknek nyújtott szolgáltatás	519
6.1.2.	Szállítási szolgáltatási primitívek	521
6.1.3.	Berkeley-csatlakozók	525
6.1.4.	Csatlakozóprogramozási példa: egy internetes állományszerver	527
6.2.	A szállítási protokollok elemei	531
6.2.1.	Címzés	532
6.2.2.	Összeköttetés létesítése	535
6.2.3.	Összeköttetés bontása	541
6.2.4.	Hibakezelés és forgalomszabályozás	545
6.2.5.	Nyalábolás	550
6.2.6.	Összeomlás utáni helyreállítás	551
6.3.	Torlódáskezelés	553
6.3.1.	A szükséges sávszélesség lefoglalása	554
6.3.2.	A küldési sebesség szabályozása	558
6.3.3.	Torlódáskezelés vezeték nélküli hálózatokban	562
6.4.	Az internet szállítási protokolljai: az UDP	564
6.4.1.	Az UDP bemutatása	565
6.4.2.	Távoli eljáráshívás	567
6.4.3.	Valós idejű szállítási protokollok	569
6.5.	Az internet szállítási protokolljai: a TCP	575
6.5.1.	A TCP bemutatása	576
6.5.2.	A TCP szolgáltatási modellje	577
6.5.3.	A TCP-protokoll	579
6.5.4.	A TCP-szegmens fejrésze	580
6.5.5.	TCP-összeköttetés létesítése	583
6.5.6.	TCP-összeköttetés lebontása	585
6.5.7.	A TCP összeköttetés-kezelésének modellje	585
6.5.8.	A TCP-csúszóablak	588
6.5.9.	A TCP időzítéskezelése	591
6.5.10.	A TCP torlódáskezelése	594
6.5.11.	A TCP jövője	604
6.6.	Teljesítőképesség	605
6.6.1.	A számítógép-hálózatok teljesítőképességének problémái	606
6.6.2.	A hálózati teljesítőképesség mérése	607
6.6.3.	Hoszt tervezése gyors hálózatokhoz	610

6.6.4.	Gyors szegmensfeldolgozás	613
6.6.5.	Fejrésztömörítés	616
6.6.6.	Protokollok elefánthálózatokra	618
6.7.	Késleltetéstűró hálózatok	622
6.7.1.	A DTN felépítése	623
6.7.2.	A kötegleprotokoll	626
6.8.	Összefoglalás	628
6.9.	Feladatok	629
7.	Az alkalmazási réteg	635
7.1.	DNS – a körzetnévkezelő rendszer	635
7.1.1.	A DNS-névtér	636
7.1.2.	Erőforrás-nyilvántartás	639
7.1.3.	Névszerverek	643
7.2.	Elektronikus levél	647
7.2.1.	Architektúra és szolgáltatások	648
7.2.2.	A felhasználói ügynök	650
7.2.3.	Üzenetformátumok	654
7.2.4.	Üzenettovábbítás	662
7.2.5.	Végső kézbesítés	667
7.3.	A világháló	670
7.3.1.	A web felépítésének áttekintése	671
7.3.2.	Statikus weboldalak	687
7.3.3.	Dinamikus weboldalak és webalkalmazások	696
7.3.4.	HTTP – a hipertext-átviteli protokoll	708
7.3.5.	A mobilweb	718
7.3.6.	Webes keresés	721
7.4.	Hang és mozgókép folyamatos átvitelle	723
7.4.1.	Digitális hang	725
7.4.2.	Digitális mozgókép	730
7.4.3.	Tárolt média folyamatos átvitelle	738
7.4.4.	Élő média folyamatos továbbítása	746
7.4.5.	Valós idejű konferenciahívás	750
7.5.	Tartalomszállítás	760
7.5.1.	Tartalom és internetes forgalom	761
7.5.2.	Szerverfarmok és webhelyettesek	764
7.5.3.	Tartalomszállító hálózatok	769
7.5.4.	Egyenrangú társak hálózata	774
7.6.	Összefoglalás	783
7.7.	Feladatok	785

B.	Hálózati biztonság	791
8.1.	Kriptográfia	794
8.1.1.	Bevezetés a kriptográfiába	795
8.1.2.	Helyettesítő titkosítók	797
8.1.3.	Keverő kódolók	799
8.1.4.	Egyszer használatos bitminta	800
8.1.5.	Két alapvető kriptográfiai elv	805
8.2.	Szimmetrikus kulcsú algoritmusok	807
8.2.1.	DES – az adattitkosító szabvány	808
8.2.2.	AES – a fejlett titkosító szabvány	811
8.2.3.	Titkosítási módok	815
8.2.4.	Egyéb kódolók	820
8.2.5.	Kriptoanalízis	821
8.3.	Nyilvános kulcsú algoritmusok	822
8.3.1.	RSA	823
8.3.2.	Más nyilvános kulcsú eljárások	825
8.4.	Digitális aláírások	826
8.4.1.	Szimmetrikus kulcsú aláírások	826
8.4.2.	Nyilvános kulcsú aláírások	827
8.4.3.	Üzenetpecsétetek	829
8.4.4.	A születésnap-támadás	833
8.5.	A nyilvános kulcsok kezelése	835
8.5.1.	Tanúsítványok	836
8.5.2.	X.509	837
8.5.3.	Nyilvános kulcs infrastruktúrák	839
8.6.	A kommunikáció biztonsága	842
8.6.1.	IPsec	842
8.6.2.	Tűzfalak	846
8.6.3.	Virtuális magánhálózatok	850
8.6.4.	Vezeték nélküli biztonság	851
8.7.	Hitelességvizsgáló protokollok	856
8.7.1.	Osztott titkos kulcson alapuló hitelességvizsgálat	857
8.7.2.	Osztott kulcs létesítése: a Diffie–Hellman-kulcscsere	861
8.7.3.	Hitelességvizsgáló kulcselosztó központ alkalmazásával	863
8.7.4.	Hitelességvizsgáló Kerberos alkalmazásával	866
8.7.5.	Hitelességvizsgáló nyilvános kulcsú titkosítással	868
8.8.	Az elektronikus levelek biztonsága	869
8.8.1.	PGP – elég jól biztosított személyiségi jog	870
8.8.2.	S/MIME	874
8.9.	A web biztonsága	874
8.9.1.	Fenyegetések	875
8.9.2.	Biztonságos névkezelés	875
8.9.3.	SSL – a biztonságos csatlakozóréteg	881
8.9.4.	A hordozható kódok biztonsága	885

8.10.	Társadalmi kérdések	888
8.10.1.	A személyiségi jogok védelme	889
8.10.2.	Szólásszabadság	892
8.10.3.	A szerzői jogok	896
8.11.	Összefoglalás	898
8.12.	Feladatok	900
9.	Ajánlott olvasmányok és irodalomjegyzék	909
9.1.	Javaslatok a továbbolvasáshoz	909
9.1.1.	Bevezetés és általános művek	910
9.1.2.	A fizikai réteg	911
9.1.3.	Az adatkapcsolati réteg	912
9.1.4.	A közeg-hozzáférési alréteg	912
9.1.5.	A hálózati réteg	912
9.1.6.	A szállítási réteg	914
9.1.7.	Az alkalmazási réteg	914
9.1.8.	Hálózati biztonság	915
9.2.	Irodalomjegyzék	916
Tárgymutató	933