

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		12
Kapitel 1	Computernetzwerke und das Internet	21
1.1	Was ist das Internet?	23
1.1.1	Eine technische Beschreibung	23
1.1.2	Eine Dienstbeschreibung	26
1.1.3	Was ist ein Protokoll?	28
1.2	Der Netzwerkrand	31
1.2.1	Client- und Server-Programme	33
1.2.2	Zugangsnetze	34
1.2.3	Trägermedien	41
1.3	Das Innere des Netzwerkes	44
1.3.1	Leitungsvermittlung und Paketvermittlung	44
1.3.2	Wie gelangen Pakete durch paketvermittelte Netzwerke? ...	53
1.3.3	ISP und Internet-Backbones	54
1.4	Verzögerung, Verlust und Durchsatz in paketvermittelten Netzen	56
1.4.1	Überblick über Verzögerung in paketvermittelten Netzen ..	57
1.4.2	Warteschlangenverzögerung und Paketverlust	61
1.4.3	Ende-zu-Ende-Verzögerung	64
1.4.4	Durchsatz in Computernetzwerken	66
1.5	Protokollschichten und ihre Dienstmodelle	69
1.5.1	Schichtenarchitektur	70
1.5.2	Nachrichten, Segmente, Datagramme und Rahmen	76
1.6	Netzwerke unter Beschuss	78
1.7	Geschichte der Computernetzwerke und des Internets	84
1.7.1	Die Entwicklung der Paketvermittlung: 1961–1972	84
1.7.2	Proprietäre Netzwerke und Internetworking: 1972–1980 ...	86
1.7.3	Die Ausbreitung der Netzwerke: 1980–1990	87
1.7.4	Die Internetexplosion: die 1990er	88
1.7.5	Jüngste Entwicklungen	90
Kapitel 2	Anwendungsschicht	109
2.1	Grundlagen der Netzwerkanwendungen	111
2.1.1	Architektur von Netzwerkanwendungen	111
2.1.2	Kommunikation zwischen Prozessen	114
2.1.3	Transportdienste für Anwendungen	116
2.1.4	Vom Internet erbrachte Transportdienste	119
2.1.5	Anwendungsschichtprotokolle	123
2.1.6	In diesem Buch behandelte Netzanwendungen	124
2.2	Das Web und HTTP	125
2.2.1	Überblick über HTTP	125
2.2.2	Nichtpersistente und persistente Verbindungen	127

2.2.3	HTTP-Nachrichtenformat	131
2.2.4	Benutzer-Server-Interaktion: Cookies	135
2.2.5	Webcaching	138
2.2.6	Bedingtes GET	142
2.3	Dateitransfer: FTP	143
2.3.1	FTP-Befehle und -Antworten	145
2.4	E-Mail im Internet	146
2.4.1	SMTP	149
2.4.2	Vergleich mit HTTP	152
2.4.3	Mail-Nachrichtenformate und MIME	152
2.4.4	Mail-Zugriffsprotokolle	155
2.5	DNS – der Verzeichnisdienst des Internets	160
2.5.1	Von DNS erbrachte Dienste	161
2.5.2	Überblick über die Arbeitsweise des DNS	163
2.5.3	Resource Records und DNS-Nachrichten	169
2.6	Peer-to-Peer-Anwendungen	175
2.6.1	Verteilung von Dateien mittels P2P	175
2.6.2	In einer P2P-Community nach Information suchen	182
2.6.3	Fallstudie: P2P-Internettelefonie mit Skype	189
2.7	Socket-Programmierung mit TCP	190
2.7.1	Socket-Programmierung mit TCP	192
2.7.2	Beispiel einer Client-Server-Anwendung in Java	194
2.8	Socket-Programmierung mit UDP	201

Kapitel 3 Transportschicht 225

3.1	Einführung und Transportschichtdienste	227
3.1.1	Beziehung zwischen Transport- und Netzwerkschicht	227
3.1.2	Überblick über die Transportschicht im Internet	230
3.2	Multiplexing und Demultiplexing	232
3.3	Verbindungslose Kommunikation: UDP	239
3.3.1	UDP-Segmentstruktur	243
3.3.2	UDP-Prüfsumme	244
3.4	Grundlagen des zuverlässigen Datentransfers	245
3.4.1	Aufbau eines zuverlässigen Datentransferprotokolls	247
3.4.2	Zuverlässige Datentransferprotokolle mit Pipelining	258
3.4.3	Go-Back-N (GBN)	261
3.4.4	Selective Repeat (SR)	265
3.5	Verbindungsorientierter Transport: TCP	272
3.5.1	Die TCP-Verbindung	272
3.5.2	TCP-Segmentstruktur	275
3.5.3	Schätzen der Rundlaufzeit und Timeouts	280
3.5.4	Zuverlässiger Datentransfer	283
3.5.5	Flusskontrolle	292
3.5.6	TCP-Verbindungsverwaltung	294

3.6	Grundlagen der Überlastkontrolle	301
3.6.1	Ursachen und Kosten von Überlast	302
3.6.2	Ansätze zur Überlastkontrolle	308
3.6.3	Beispiel für netzwerkunterstützte Überlastkontrolle: ATM ABR	309
3.7	TCP-Überlastkontrolle	311
3.7.1	Fairness	320

Kapitel 4 Netzwerkschicht 343

4.1	Einführung	346
4.1.1	Weiterleitung und Routing	346
4.1.2	Dienstmodelle der Netzwerkschicht	350
4.2	Virtuelle Leitungen und Datagrammnetzwerke	352
4.2.1	Netzwerke mit virtuellen Leitungen	353
4.2.2	Datagrammnetzwerke	356
4.2.3	Ursprünge der VC- und Datagrammnetzwerke	359
4.3	Was steckt in einem Router?	360
4.3.1	Eingangsports	361
4.3.2	Das Switching Fabric	364
4.3.3	Ausgangsports	366
4.3.4	Wo findet Queuing statt?	367
4.4	Das Internetprotokoll (IP): Weiterleiten und Adressieren im Internet	371
4.4.1	Datagrammformat	371
4.4.2	IPv4-Adressierung	378
4.4.3	Internet Control Message Protokoll (ICMP)	393
4.4.4	IPv6	396
4.4.5	Ein kurzer Ausflug in die IP-Sicherheit	403
4.5	Routing-Algorithmen	404
4.5.1	Der Link-State-Routing-Algorithmus (LS)	407
4.5.2	Der Distanzvektor-Routing-Algorithmus (DV)	412
4.5.3	Hierarchisches Routing	421
4.6	Routing im Internet	425
4.6.1	Intra-AS-Routing im Internet: RIP	425
4.6.2	Intra-AS-Routing im Internet: OSPF	428
4.6.3	Inter-AS-Routing: BGP	432
4.7	Broadcast- und Multicast-Routing	440
4.7.1	Broadcast-Routing-Algorithmen	440
4.7.2	Multicast	446

Kapitel 5 Die Sicherungsschicht und Lokale Netzwerke 473

5.1	Sicherungsschicht: Einführung und Dienste	475
5.1.1	Von der Sicherungsschicht zur Verfügung gestellte Dienste	476
5.1.2	Wo ist die Sicherungsschicht implementiert?	479

5.2	Fehlererkennung- und Fehlerkorrekturtechniken	481
5.2.1	Paritätsprüfungen	483
5.2.2	Prüfsummenmethoden	485
5.2.3	Cyclic Redundancy Check (CRC)	486
5.3	Protokolle für Mehrfachzugriffe	488
5.3.1	Kanalaufteilungsprotokolle	491
5.3.2	Protokolle mit wahlfreiem Zugriff	492
5.3.3	Protokolle mit abwechselndem Zugriff	500
5.3.4	Lokale Netzwerke (Local Area Networks, LANs)	501
5.4	Adressierung auf der Sicherungsschicht	502
5.4.1	MAC-Adressen	502
5.4.2	Address Resolution Protocol (ARP)	505
5.5	Ethernet	509
5.5.1	Ethernet-Rahmenstruktur	510
5.5.2	CSMA/CD: Das Medienzugriffsprotokoll von Ethernet	515
5.5.3	Ethernet-Technologien	517
5.6	Switches der Sicherungsschicht	520
5.6.1	Weiterleiten und Filtern	521
5.6.2	Eigenständiges Lernen	523
5.6.3	Eigenschaften von Switches der Sicherungsschicht	524
5.6.4	Switches und Router im Vergleich	525
5.7	PPP – das Point-to-Point-Protokoll	527
5.7.1	PPP-Daten-Framing	529
5.8	Link-Virtualisierung – ein Netzwerk als Sicherungsschicht	531
5.8.1	Asynchronous Transfer Mode (ATM)	533
5.8.2	Multiprotocol Label Switching (MPLS)	537

Kapitel 6 Drahtlose und mobile Netzwerke 553

6.1	Einführung	556
6.2	Eigenschaften drahtloser Links und Netzwerke	560
6.2.1	CDMA	563
6.3	WLAN: IEEE 802.11	567
6.3.1	Die 802.11-Architektur	568
6.3.2	Das MAC-Protokoll von IEEE 802.11	572
6.3.3	Der IEEE 802.11-Rahmen	578
6.3.4	Mobilität im selben IP-Subnetz	581
6.3.5	Weiterführende Merkmale von 802.11	582
6.3.6	Bluetooth und WiMAX	584
6.4	Internetzugang über zellulare Mobilfunknetze	588
6.4.1	Ein Überblick über die zellulare Architektur	588
6.4.2	Zellulare Standards und Technologien – ein Streifzug	590
6.5	Grundlagen des Mobilitätsmanagements	595
6.5.1	Adressierung	597
6.5.2	Routing zu einem mobilen Knoten	599
6.6	Mobile IP	605

6.7	Umgang mit Mobilität in zellularen Mobilfunknetzen	608
6.7.1	Das Routing eines Anrufes an einen mobilen Benutzer	610
6.7.2	Handoff bei GSM	612
6.8	Auswirkung von drahtloser Kommunikation und Mobilität auf Protokolle höherer Schichten	615

Kapitel 7 Multimedia-Netzwerke 629

7.1	Multimediale Netzwerkanwendungen	631
7.1.1	Beispiele für Multimedia-Anwendungen	631
7.1.2	Hürden für Multimedia im heutigen Internet	634
7.1.3	Wie sollte das Internet weiterentwickelt werden, um Multimedia besser zu unterstützen?	635
7.1.4	Audio- und Videokompression	637
7.2	Streaming von gespeichertem Audio und Video	641
7.2.1	Zugriff auf Audio und Video über einen Webserver	642
7.2.2	Versand von Multimedia von einem Streamingserver an ein Hilfsprogramm	643
7.2.3	Real-Time Streaming Protocol (RTSP)	645
7.3	Best-Effort-Service optimal nutzen	650
7.3.1	Grenzen eines Best-Effort-Dienstes	650
7.3.2	Jitter beim Audioempfänger beseitigen	653
7.3.3	Ausgleich von Paketverlusten	656
7.3.4	Verteilung von Multimedia-Daten im heutigen Internet: Content-Distribution-Netzwerke	660
7.3.5	Dimensionierung von Best-Effort-Netzwerken, um hohe Dienstgüte zu erreichen	664
7.4	Protokolle für interaktive Echtzeit-Anwendungen	665
7.4.1	RTP	665
7.4.2	RTP Control Protocol (RTCP)	670
7.4.3	SIP	673
7.4.4	H.323	679
7.5	Anbieten von mehreren Dienstklassen	681
7.5.1	Motivierende Szenarien	682
7.5.2	Scheduling- und Überwachungsmechanismen	687
7.5.3	DiffServ	694
7.6	Dienstgütegarantien anbieten	699
7.6.1	Motivierendes Beispiel	700
7.6.2	Ressourcenreservierung, Rufzulassung, Rufaufbau	701
7.6.3	Garantierte Dienstgüte im Internet: Intserv und RSVP	704

Kapitel 8 Sicherheit in Computernetzwerken 721

8.1	Was bedeutet Netzwerksicherheit?	723
8.2	Grundlagen der Kryptografie	725
8.2.1	Kryptografie mit symmetrischen Schlüsseln	728
8.2.2	Public-Key-Verschlüsselung	734

8.3	Nachrichtenintegrität	740
8.3.1	Kryptografische Hash-Funktionen	740
8.3.2	Nachrichtenauthentifizierungs-codes	742
8.3.3	Digitale Unterschriften	744
8.4	Endpunktauthentifizierung	751
8.4.1	Authentifizierungsprotokoll <i>ap1.0</i>	752
8.4.2	Authentifizierungsprotokoll <i>ap2.0</i>	752
8.4.3	Authentifizierungsprotokoll <i>ap3.0</i>	753
8.4.4	Authentifizierungsprotokoll <i>ap3.1</i>	754
8.4.5	Authentifizierungsprotokoll <i>ap4.0</i>	754
8.4.6	Authentifizierungsprotokoll <i>ap5.0</i>	756
8.5	Absichern von E-Mail	759
8.5.1	Sichere E-Mail	760
8.5.2	PGP	764
8.6	Absichern von TCP-Verbindungen: SSL	766
8.6.1	Überblick	767
8.7	Netzwerkschichtsicherheit: IPsec	772
8.7.1	Authentication Header (AH)-Protokoll	773
8.7.2	Encapsulation Security Payload Protocol (ESP)	775
8.7.3	SA- und Schlüsselverwaltung	775
8.8	Absichern von Wireless LAN	776
8.8.1	Wired Equivalent Privacy (WEP)	777
8.8.2	IEEE 802.11i	779
8.9	Operative Sicherheit: Firewalls und Intrusion-Detection-Systeme	781
8.9.1	Firewalls	782
8.9.2	Intrusion-Detection-Systeme	789

Kapitel 9 Netzwerkmanagement 803

9.1	Was bedeutet Netzwerkmanagement?	805
9.2	Die Infrastruktur des Netzwerkmanagements	809
9.3	Das Internet-Standard Management Framework	813
9.3.1	Structure of Management Information: SMI	815
9.3.2	Management Information Base, MIB	819
9.3.3	SNMP-Protokollablauf	821
9.3.4	Sicherheit und Verwaltung	825
9.4	ASN.1	829

Literaturverzeichnis 839

Register 877