Datennetztechnologien für Next Generation Networks

Kristof Obermann • Martin Horneffer

Datennetztechnologien für Next Generation Networks

Ethernet, IP, MPLS und andere

2., aktualisierte und verbesserte Auflage

Mit 145 Abbildungen und 23 Tabellen

Prof. Dr.-Ing. Kristof Obermann
Technische Hochschule Mittelhessen
Gießen, Deutschland

Dr. rer. nat. Martin Horneffer
Münster, Deutschland

ISBN 978-3-8348-1384-8
DOI 10.1007/978-3-8348-2098-3

ISBN 978-3-8348-2098-3 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2009, 2013

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.
www.springer-vieweg.de

Für Sabine, Paul, Inge und Horst

Vorwort

Warum ein weiteres Buch über Datennetztechnologien? Telekommunikationsnetze befinden sich zurzeit in einer Umbruchphase. Die Leitungsvermittlung, die kurz nach Erfindung des Telefons seit Ende des 19. Jahrhunderts bis heute das alleinige Vermittlungsprinzip des weltweiten Telefonnetzes ist, ist vom Aussterben bedroht. Die Paketvermittlung, die erst vor etwa fünf Jahrzehnten speziell für die Datenkommunikation entwickelt wurde, ist derzeit dabei, der Leitungsvermittlung den Rang abzulaufen.

Hintergrund für diese Entwicklung ist zum einen der rasante Anstieg des weltweiten Internetverkehrs, der jährlich um etwa 30 bis 100 % wächst. Bereits heute gibt es weltweit etwa 2,1 Milliarden Internet-Nutzer. Das Internet spielt eine wichtige Rolle und ist aus unserem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Der Internet-basierte Datenverkehr ist in vielen Ländern bereits deutlich größer als der Sprachverkehr. In einigen Jahren wird der Sprachverkehr nur noch ein Bruchteil des Datenverkehrs ausmachen.

Eine Sache hat sich aber seit Erfindung des Telefons nicht geändert. Immer noch ist es schwierig – wenn nicht sogar unmöglich – das Potential einer neuen Technologie oder eines neuen Dienstes richtig einzuschätzen. Bereits als das Telefon erfunden wurde, haben die meisten Telegrafie-Firmen darin kein Potential als Kommunikationsmedium gesehen. Und wer hätte vorausgesehen, dass Dienste wie E-Mail, World Wide Web, SMS, Internet-Tauschbörsen, Online-Gaming oder Web2.0 einmal derart erfolgreich sein werden?

Die Internet-Technologie ist nicht nur extrem erfolgreich, sondern auch extrem vielseitig. So können einerseits vorhandene Dienste wie Telefonie, Radio oder Fernsehen heute auch über das Internet angeboten werden (Voice-over-IP, Webradio, IPTV). Andererseits können aber neue, innovative Dienste schnell und mit geringem Aufwand realisiert werden. Letzteres ist aufgrund der Schwierigkeit, den Erfolg und die weitere Entwicklung von Diensten vorhersagen zu können, ein großer Vorteil.

Aus diesen Gründen haben alle größeren Netzbetreiber bereits Migrationsprojekte gestartet, um die Leitungsvermittlung durch eine IP-basierte Paketvermittlung abzulösen. Daher werden paketvermittelnde Technologien, insbesondere IP, Ethernet und MPLS in künftigen Telekommunikationsnetzen eine große Rolle spielen. Aber wie funktionieren diese Technologien eigentlich?

Auf diese Frage soll das vorliegende Buch eine Antwort geben. Es gibt bereits viele Bücher über Datennetztechnologien. Die Entwicklung dieses Gebietes ist allerdings sehr dynamisch. Viele neue Technologien werden entwickelt, und andere verlieren an Bedeutung oder verschwinden vollständig. Der Fokus dieses Buches liegt zum einen auf einer verständlichen Beschreibung bereits etablierter Datennetztechnologien (z. B. PPP/HDLC, Ethernet, IPv4) und zum anderen auf der Berücksichtigung von ganz aktuellen Entwicklungen wie 40/100 Gigabit Ethernet, Carrier Grade Ethernet, IPv6, GMPLS und ASON, die in anderen Büchern noch nicht adressiert wurden. Dadurch soll ein umfassender Überblick über alle aus heutiger Sicht wichtigen Datennetztechnologien gegeben werden und die Funktionalitäten dieser Technologien verständlich erläutert werden. Die Technologien werden – wenn immer möglich – anhand von Beispielen illustriert. Wichtig ist dabei auch eine Darstellung des Stands der Technik sowie der Standardisierung. Besonderer Wert wurde stets auf den Praxisbezug gelegt. So gibt es

einige Technologien, die zwar sehr intensiv diskutiert werden, die aber zumindest derzeit und vermutlich auch künftig in Produktionsnetzen keine große Rolle spielen werden. Der Bezug zur Praxis ist insbesondere dadurch gegeben, dass beide Autoren auf umfangreiche Erfahrungen aus ihrer Tätigkeit bei verschiedenen größeren Netzbetreibern zurückgreifen können.

Profitieren werden von diesem Buch Leser, die sich inhaltlich mit zukunftssträchtigen Datennetztechnologien beschäftigen wollen (oder müssen), und für die ein echtes Verständnis dieser Technologien erforderlich ist. Dies sind Mitarbeiter insbesondere von technischen Bereichen, aber auch Entscheidungsträger bei Netzbetreibern, Systemherstellern, Komponentenherstellern und Consulting-Unternehmen sowie Studenten der Nachrichtentechnik und Informatik.

Für die hervorragende Unterstützung der Arbeiten zu diesem Buch möchten sich die Autoren recht herzlich bedanken bei: Harald Orlamünder, Fritz-Joachim Westphal, Clemens Epple, Gert Grammel und Oliver Böhmer. Des Weiteren gilt Martin Rausche und der Firma Juniper Networks sowie Klaus Martini und der Firma Cisco Systems spezieller Dank für die Architekturzeichnungen aktueller Hochleistungsrouter und die Erlaubnis des Abdrucks in diesem Buch.

Oberursel,
im Januar 2009

Kristof Obermann

Vorwort zur 2. Auflage

Die Autoren freuen sich sehr über die große Resonanz des vorliegenden Buches, so dass nunmehr bereits nach drei Jahren die 2. Auflage erscheint. Wie schon im Vorwort zur 1. Auflage erwähnt, so handelt es sich bei Datennetztechnologien um ein sehr dynamisches Gebiet. Daher wurden in der 2. Auflage folgende Themengebiete aktualisiert:

- Die Einleitung
- Die Abschnitte: Synchroner Digitale Hierarchie (SDH), Wavelength Division Multiplexing (WDM) und Optical Transport Hierarchy (OTH). Während die SDH-Technik mittlerweile von vielen Herstellerfirmen abgekündigt wird, hat es viele wichtige Neuerungen bei der OTH gegeben.
- 40/100 Gigabit Ethernet
- Carrier Grade Ethernet
- IPv6
- Optische Control Plane

Für die sehr gute Unterstützung bei der Überarbeitung des vorliegenden Buches möchten sich die Autoren herzlich bei Gert Grammel, Ralf Peter Braun, Matthias Fricke, Holger Zuleger, Gert Döring und Oliver Böhmer bedanken.

Oberursel,
im November 2012

Kristof Obermann

Inhalt

Vorwort	VII
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	7
2.1 Telekommunikationsnetze	7
2.1.1 Anforderungen an Telekommunikationsnetze	8
2.1.2 Grundbegriffe und Klassifizierung	9
2.1.3 Beschreibung von Telekommunikationsnetzen	15
2.2 ISO-OSI Referenzmodell	17
2.3 Hierarchische Netze	23
2.4 Dimensionierung von Telekommunikationsnetzen	27
2.5 Physical Layer	29
2.5.1 Plesiochrone Digitale Hierarchie	30
2.5.2 Synchrone Digitale Hierarchie	32
2.5.3 Wavelength Division Multiplexing	34
2.5.4 Optical Transport Networks	37
2.6 Standardisierungsgremien	39
2.7 Historische Entwicklung	42
3 Data Link Layer	45
3.1 High Level Data Link Control	45
3.2 Point-to-Point Protocol	48
3.2.1 Funktionalitäten	48
3.2.2 Spezielle Anwendungen	51
3.2.2.1 PPP Multilink Protocol	51
3.2.2.2 Tunneling	52
3.2.2.3 PPP over Ethernet	53
3.2.2.4 Packet-over Sonet	55
3.3 Ethernet	57
3.3.1 Einführung	57
3.3.2 CSMA/CD und 10 Mbit/s Ethernet	60
3.3.2.1 CSMA/CD	60
3.3.2.2 Ethernet-Rahmen	62
3.3.2.3 PHY Layer	66
3.3.3 Fast Ethernet	68
3.3.4 Gigabit Ethernet	70
3.3.5 10 Gigabit Ethernet	73
3.3.6 40/100 Gigabit Ethernet	75
3.3.7 Link Aggregation	78
3.3.8 LAN-Kopplungen	79
3.3.8.1 Repeater/Hub	79
3.3.8.2 Bridge/Switch	79
3.3.8.3 Router	87

3.3.9	Weitere Leistungsmerkmale	88
3.3.9.1	Virtuelle LANs und Quality-of-Service	88
3.3.9.2	ARP/RARP	91
3.3.9.3	Ethernet in the First Mile	93
3.3.9.4	Power over Ethernet	94
3.3.9.5	Backplane Ethernet	95
3.3.9.6	Frame Format Extension	95
3.3.9.7	Residential Ethernet	95
3.3.10	Carrier Grade Ethernet	95
3.3.10.1	Standardisierte Services	96
3.3.10.2	Skalierbarkeit	100
3.3.10.3	Zuverlässigkeit	108
3.3.10.4	Quality-of-Service	108
3.3.10.5	Service Management	108
3.3.10.6	Zusammenfassung und Bewertung	110
3.4	Resilient Packet Ring	112
3.5	Generic Framing Procedure	116
4	Network Layer	123
4.1	Einführung	123
4.2	IPv4	124
4.2.1	IPv4 Header	125
4.2.2	IPv4 Adressen	131
4.2.2.1	Subnetting und Supernetting	133
4.2.2.2	Private und öffentliche IP-Adressen	134
4.2.2.3	Network Address Translation und Port Address Translation	135
4.2.3	Internet Control Message Protocol	137
4.2.3.1	Ping	139
4.2.3.2	Traceroute	140
4.3	IPv6	140
4.3.1	IPv6-Header	141
4.3.1.1	IPv6 Extension-Header	143
4.3.1.2	Paketgrößen und Fragmentierung	144
4.3.2	IPv6-Adressen	145
4.3.2.1	Schreibweise von IPv6-Adressen	146
4.3.2.2	Strukturierung des Adressraums	146
4.3.2.3	Spezielle IPv6-Adressen	149
4.3.2.4	Interface-Adressen	149
4.3.2.5	Offene Probleme der Adressierung bei IPv6	150
4.3.3	ICMPv6	151
4.3.3.1	Neighbor Discovery	153
4.3.3.2	IPv6 Stateless Address Autoconfiguration	154
4.4	Routing innerhalb eines Autonomen Systems	155
4.4.1	Forwarding	156
4.4.2	Routing	165
4.4.2.1	Distance Vector Routing Protokolle	167
4.4.2.2	Link State Routing Protokolle	173
4.4.3	Router Architekturen	199

4.4.4	Internes Traffic Engineering	202
4.4.4.1	Erfassung der Verkehrsmatrix	202
4.4.4.2	Optimierung des Routings	203
4.5	Routing zwischen Autonomen Systemen	204
4.5.1	Beziehungen zwischen Autonomen Systemen	205
4.5.2	Externes Traffic-Engineering	206
4.6	Quality of Service und DiffServ	208
5	Shim Layer	211
5.1	Grundlagen	213
5.2	MPLS-Forwarding mit IP-Routing	220
5.3	MPLS mit explizitem Routing	221
5.3.1	IS-IS TE	224
5.3.2	Path Calculation and Setup	225
5.3.3	Lenken von Verkehr in einen TE Tunnel	226
5.4	MPLS-Services	226
5.4.1	Public IP	228
5.4.2	Layer 3 VPN	229
5.4.3	Layer 2 und Layer 1 VPN	231
5.4.3.1	Pseudo Wire Emulation Edge-to-Edge	231
5.4.3.2	Virtual Private LAN Services	236
5.4.4	MPLS als Service von MPLS	239
5.4.5	IPv6 über MPLS	241
5.5	MPLS-FRR	242
5.5.1	Link Protection	243
5.5.2	Node Protecion	244
5.6	Optische Control Plane	247
5.6.1	GMPLS	249
5.6.2	ASON	257
5.6.3	Stand der Technik und Bewertung	260
6	Anhang	262
6.1	Literaturverzeichnis	262
6.2	Abkürzungen	266
	Sachwortverzeichnis	275