

Ethernet End-to-End

Eine universelle Netzwerktechnologie

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7140-4

ISSN 0948-700X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

**Krzysztof Nowicki
Tadeus Uhl**

**Ethernet End-to-End
Eine universelle Netzwerktechnologie**

Gutachter:

Prof. Dr. rer. nat. Bruno Müller-Clostermann
Universität Duisburg-Essen

Prof. Dr.-Ing. Holger Dahms
Fachhochschule Lübeck

Inhalt

1	Das Konzept für Ethernet End-to-End	1
1.1	Aspekte der Kopplung heterogener Netze	1
1.2	Vorteile homogener Netzwerke	6
1.3	Verwendete Lösungen in Ethernet End-to-End	7
2	Logische Modelle	9
2.1	Bitübertragungsschicht	11
2.2	Sicherungsschicht	13
2.3	Höhere Schichten	13
3	Standard-Ethernet	15
3.1	Adressen im Ethernet	15
3.2	Rahmenstruktur in der MAC-Teilschicht	17
3.3	Das Wettbewerbsprotokoll CSMA/CD	19
3.4	Leistungsanalyse der Netze mit dem Protokoll CSMA/CD	21
3.5	Standards für Netze vom Typ IEEE 802.3	24
4	Schnelle Ethernetnetze	27
4.1	Fast- und Gigabit-Ethernet	27
4.2	10-Gigabit-Ethernet	37
5	Ethernet auf der letzten Meile	49
5.1	Klassifikation von Verbindungen	49
5.2	EPON: Ethernet Passive Optical Networks	52
5.3	Verwendung von Telefonkabeln: 2BASE-TL und 10PASS-TS	56
5.4	Fazit	58
6	Kopplungselemente für Netzwerkverbund	59
6.1	Regeneratoren und Konzentratoren	60
6.2	Bridges und Switche	62
6.3	Switche Layer 2 und 3	71
7	Organisation (Automatik) bei Nutzeranschlüssen an LAN-Kopplungselemente	83
7.1	Automatische Aushandlung	83
7.2	Power over Ethernet	93
7.3	Entdeckungsprotokolle	99

8	Multicast-Transmission im Ethernet	111
8.1	IP-Multicast-Transmission	112
8.2	Steuerungsaufgaben der 2. Schicht	115
9	Mechanismen im IEEE-Konzept	119
9.1	Das Protokoll GARP	120
9.2	Langsame Protokolle	122
9.3	Prioritäten	128
9.4	Flusskontrolle im Ethernet	129
9.5	Algorithmus des umspannenden Baumes	135
10	Virtuelle LANs (VLANs)	141
10.1	Methoden zur Bildung der VLANs	142
10.2	Der Standard IEEE 802.1Q	145
10.3	Das Protokoll GVRP	146
11	Ethernet OAM	149
11.1	OAM-Funktionalität	149
11.2	Empfehlungen 802.1ag und Y.1731	150
11.3	Empfehlungen 802.3ah (Link Layer OAM)	156
11.4	Ethernet Local Management Interface (E-LMI)	158
11.5	Wertung der OAM-Protokolle	160
12	Netzwerksicherheit	161
12.1	Datensicherheit im ISO-OSI-Modell	161
12.2	Das Netzabhören (Sniffing)	163
12.3	Attacken auf Mechanismen der Sicherheitsschicht und Gegenmaßnahmen	173
12.4	Standard IEEE 802.1x	183
12.5	Kryptografische Sicherungsmethoden innerhalb der 2. Schicht	191
13	Ethernet in der Industrie	195
13.1	Ausgewählte Standards für industrielle Umgebung	195
13.2	Anforderungen der Industrie an Ethernet	197
13.3	Determinismus	199
14	Verwendete und ergänzende Referenzen	211
14.1	Bücher	211
14.2	Andere Quellen	212
14.3	Standards	216
15	Abkürzungsverzeichnis	221

Vorwort

Die überwiegende Zahl der Netzwerke sind heute vom Typ IEEE 802.3. Die Begriffe „Ethernet“ und „IEEE 802.3“ werden oft synonym benutzt. Dies ist nicht ganz korrekt, weil es zwischen den beiden Netzlösungen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten erarbeitet worden sind (Ethernet in den 70-er Jahren und IEEE 802.3 in den 80-er Jahren), bestimmte Unterschiede gibt. Sie betreffen vor allem die Rahmenstruktur, die zulässigen Übertragungsgeschwindigkeiten und auch die verschiedenen Realisierungsformen der physikalischen Schicht. Der Standard IEEE 802.3 wurde im Jahre 1983 veröffentlicht. Seitdem wurden mehrere Modifikationen erstellt und veröffentlicht, die durch Buchstaben wie a, b, d, e, i, j, u, y, z, ab, ah, af, usw. gekennzeichnet werden. Diese Modifikationen betreffen zwar den Standard IEEE 802.3, werden jedoch im praktischen Umgang als Modifikationen des Ethernet bezeichnet. Der Grund dafür ist, dass die in der Praxis vorkommenden Netzrealisierungen fast ausschließlich dem Standard IEEE 802.3 entsprechen.

Ethernet ist heutzutage eine ausgereifte Technologie, die ständig weiter entwickelt wird. Die Anzahl der zur Zeit auf der Welt installierten Ethernetports liegt bei ca. 1 Milliarde. Man kann daher mit Fug und Recht behaupten, dass das Ethernet zwar nicht *de jure* aber *de facto* ein Weltstandard ist. Die große Verbreitung dieses Netzes führte dazu, dass die zugehörigen Produkte auf dem Markt sehr preiswert geworden sind. Dies ist für die Praxis von besonderer Bedeutung.

Das Ethernet wurde ursprünglich als LAN (Local Area Network) entwickelt. Heute findet man es auch in MANs (Metropolitan Area Network), in WANs (Wide Area Network) und in den sog. Industrienetzen. Man kann damit sagen, dass diese Technologie nicht nur mit ihrer Funktionalität sondern auch mit ihren Einsatzmöglichkeiten und -beschränkungen dem technischen IT-Personal gut bekannt ist.

Der Erfolg des Ethernet hat noch einen weiteren Grund. Das Netz ist der Übertragung des IP-Verkehrs (Internet Protocol) gut angepasst (variable Rahmenlänge, ständig steigende Übertragungsrate u.a.). Dies wird dazu führen, dass diese Netztechnologie sich noch stärker als bisher für den Datenaustausch im Bereich WAN, im Home-Bereich und auf der sog. letzten Meile immer mehr durchsetzt. Dem Ethernet sind keine Grenzen gesetzt. Immer häufiger spricht man von „Ethernet überall“ (in eng. Ethernet End-to-End (EEE)).

Dieses Buch ist genau diesem Thema EEE gewidmet. Die Leser bekommen einen Überblick über diese neue Technologie, wobei besonders die Übertragungs-, Sicherungs-, und Vermittlungsschicht gemäß dem ISO-OSI-Modell genau betrachtet werden. Bei der Beschreibung der Vermittlung wird sowohl auf die traditionelle LAN Punkt-zu-Mehrpunkt als auch auf die in der letzten Zeit immer öfter auftretende Punkt-zu-Punkt Kommunikation eingegangen. Die Leser finden in diesem Buch eine Vielfalt von Lösungsvorschlägen, die den Einsatz des Ethernet in neuen Gebieten (Home, WANs, Industrienetze) ermöglichen. Auf Probleme wie Adressierungsarten, Routing, Übergänge

zwischen Netzen, QoS (Quality of Service), Skalierbarkeit, Wartung und Sicherheit wird detailliert eingegangen. Zielgruppe sind vor allem die Studierenden der Fachrichtung Informations- und Kommunikationstechnik an Technischen Universitäten und Fachhochschulen aber auch Naturwissenschaftler, Ingenieure, Informatiker und Netzwerktechniker in der Praxis, die ihre Kenntnisse auffrischen und ergänzen wollen.

Technische Universität Gdansk, im Februar 2008
Fachhochschule Flensburg, im Februar 2008

Krzysztof Nowicki
Tadeus Uhl