

Inhaltsverzeichnis

Meinungen zu Bridges, Router usw., zweite Auflage	5
Lob für Bridges, Router usw.:	5
Vorwort	19
Wegweiser zu diesem Buch	20
Danksagungen	21
1 Grundlegende Netzwerkkonzepte	23
1.1 Schichten	23
1.2 Dienstmodelle	29
1.3 Wichtige Eigenschaften eines Netzwerks	32
1.4 Zuverlässige Datenübertragungsprotokolle	36
2 Aspekte der Daten Verbindungsschicht	43
2.1 Generische LANs	43
2.1.1 Was ist ein LAN?	43
2.1.2 Ein Medium abwechselnd nutzen	44
2.2 IEEE-802-LANs	46
2.3 Namen, Adressen und Routen	48
2.4 LAN-Adressen	50
2.5 Multicast- versus Unicast-Adressen	52
2.6 Die Broadcast-Adresse	54
2.7 Multiplexfeld	54
2.8 Bit-Anordnung	59
2.9 LLC (Logical Link Control)	60
2.10 Eigenschaften von 802.3	62
2.11 Eigenschaften von 802.5	65
2.12 Paketansturm	67
2.13 Gründe für Bridges	68
2.14 Punkt-zu-Punkt-Verbindungen	69
3 Transparente Bridges	73
3.1 Die »No-Frills«-Bridge	73
3.2 Die lernende Bridge	76
3.3 Spanning-Tree-Algorithmus	86
3.3.1 Konfigurierungsnachrichten	87
3.3.2 Berechnung der Root-ID und der Kosten zur Root	89

3.3.3	Auswahl eines Spanning-Tree-Ports	91
3.3.4	Ein Beispiel	91
3.4	Verfeinerungen des Spanning-Tree-Algorithmus	92
3.4.1	Fehler	92
3.4.2	Vermeiden temporärer Schleifen	95
3.4.3	Zeitüberschreitungswerte für Station-Cache	97
3.4.4	Netzwerkweite Parameter	101
3.4.5	Port-ID	102
3.4.6	Zuweisen von Portnummern	104
3.4.7	Leistungsaspekte	104
3.4.8	Verbindungsfähigkeit nur in eine Richtung	106
3.4.9	Einstellbare Parameter	107
3.5	Formate der Bridge-Nachrichten	109
3.5.1	Format der Konfigurierungsnachricht	109
3.5.2	Format der Benachrichtigung über Topologieänderungen	111
3.6	Weitere Bridge-Probleme	111
3.6.1	Mehrfach angeschlossene Stationen	112
3.6.2	Konfiguration von Filtern	113
3.6.3	Nicht ganz transparent	116
3.7	Entfernte Bridges	121
4	Quellrouting-Bridges	129
4.1	Reines Quellrouting	130
4.1.1	Der Routing-Header	130
4.1.2	Bridge-Nummern	132
4.1.3	Bridge-Algorithmen	136
4.2	SR-TB-Bridges	138
4.2.1	Von einem TB-Port ankommende Pakete	139
4.2.2	Von einem SR-Port kommende Pakete	140
4.2.3	Schleifen	142
4.3	SRT-Bridges	143
4.4	Endsystem-Algorithmen	144
4.4.1	Wann soll eine Route gesucht werden?	145
4.4.2	Wie findet man eine Route?	147
4.4.3	Routenerkennung durch das Ziel	151
4.4.4	Routenauswahl	152

4.5	Quellrouting versus transparente Bridges	153
4.5.1	Bandbreitenaufwand	153
4.5.2	Erleichterung der Konfigurierung	154
4.5.3	Universalität	154
4.5.4	Kosten und Leistung von Bridges	155
4.6	Ideen zum Verbessern des Quellrouten-Bridging	155
4.6.1	Selbstkonfigurierung mit Quellrouten-Bridging	156
4.6.2	Beheben des exponentiellen Aufwands	158
5	Hubs, Switches, virtuelle LANs und Fast Ethernet	163
5.1	Hubs	163
5.1.1	Der lernende Hub und Sicherheitskriterien	164
5.1.2	Speichern-und-Weiterleiten und Spanning-Tree	166
5.1.3	Kombinieren von Schicht-1- und Schicht-2-Switches	167
5.1.4	Produkte versus Standards, Schicht 1 versus Schicht 2	168
5.2	Schnellere LANs	169
5.3	Virtuelle LANs (VLANs)	171
5.3.1	Warum VLANs?	172
5.3.2	Abbilden von Ports auf VLANs	174
5.3.3	Beispiel: VLAN-Weiterleitung mit separatem Router	175
5.3.4	Beispiel: VLAN-Weiterleitung mit einem Switch als Router	177
5.3.5	Dynamische Bindung von Verbindungen zu VLANs	178
5.3.6	Dynamische VLAN-Bindung, Switch-Switch	180
6	Netzwerkschnittstelle: Dienstmodelle	185
6.1	Was ist die Netzwerkschicht?	185
6.2	Netzwerkdiensttypen	186
6.2.1	Leistungsgarantien	186
6.2.2	Dienstmodell-Wahlmöglichkeiten	187
6.2.3	Hybrid-Schemata	188
6.2.4	Verbindungslos versus verbindungsorientiert	190
7	Verbindungsorientierte Netze: X.25 und ATM	195
7.1	Generisches verbindungsorientiertes Netzwerk	195
7.2	X.25: Zuverlässiger verbindungsorientierter Dienst	198
7.2.1	Der Grundgedanke	198
7.2.2	Virtuelle Verbindungsnummern	200

Inhaltsverzeichnis

7.2.3	Gesprächsaufbau	201
7.2.4	Datenübertragung	202
7.2.5	Flusskontrolle	207
7.2.6	Leistungsmerkmale	209
7.2.7	Gesprächsbeendigung	210
7.2.8	Interrupts	211
7.3	Implementieren von X.25 innerhalb des Netzes	211
7.3.1	Schaltkreis-Methode	211
7.3.2	Zuverlässige Verbindungen über die Datagrammmethode	212
7.3.3	Vergleich	212
7.4	Asynchroner Übertragungsmodus	213
7.4.1	Zellengröße	214
7.4.2	Virtuelle Verbindungen und virtuelle Pfade	214
7.4.3	ATM-Dienstkategorien	218
7.4.4	Format des ATM-Zellenheader	218
7.4.5	Gespräche einrichten und freigeben	219
7.4.6	ATM-Adaptationsschichten	220
8	Generischer verbindungsloser Dienst	225
8.1	Datentransfer	225
8.2	Adressen	226
8.3	Hop-Zähler	226
8.4	Dienstklasse-Information	227
8.4.1	Priorität	228
8.4.2	Bandbreitenreservierung und Dienstgarantien	228
8.4.3	Spezielle Routenberechnung	229
8.5	Netzwerk-Feedback	230
8.6	Fragmentierung und Wiederausammensetzung	230
8.7	MTU-Discovery	233
9	Adressen der Netzwerkschicht	235
9.1	Hierarchische Adressen mit festen Grenzen	236
9.2	Hierarchische Adressen mit flexiblen Grenzen	238
9.3	Besitzen versus Mieten von Adressen	240
9.4	Adresstypen	240
9.5	IP	241

Inhaltsverzeichnis

9.5.1	IP-Adresskonventionen	245
9.5.2	Textdarstellung von IP-Adressen	246
9.6	IPX	247
9.6.1	Geheimhaltungsaspekt und eindeutige IDs	248
9.6.2	Gerüchte über IPX	248
9.6.3	Verwalten von IPX-Adressen	249
9.6.4	Interne IPX-Netzwerknummern	250
9.7	IPX+	252
9.8	IPv6	254
9.8.1	Die Geschichte der IPv6-Versionsnummer	254
9.8.2	Geschriebene Darstellung von IPv6-Adressen	255
9.8.3	Geschriebene Darstellung von IPv6-Präfixen	256
9.8.4	EUI-64	256
9.8.5	EUI-64, wie bei IPv6 benutzt	258
9.8.6	IPv6-Adresskonventionen	259
9.8.7	Übergang von IPv4 zu IPv6	260
9.9	CLNP-Adressen der Netzwerkschicht	261
9.9.1	Selbstkonfigurierung	264
9.9.2	Eingebettete DTE-Adressen	265
9.10	AppleTalk-Adressen der Netzwerkschicht	267
9.11	DECnet-Phasen III und IV	267
9.11.1	Ein kleiner geschichtlicher Überblick	267
9.11.2	DECnet-Phase-IV-Adressen	268
9.11.3	DECnet-Adressen auf Ethernet-Adressen abbilden	268
9.12	NAT/NAPT	270
10	Verbindungslose Datenpaketformate	273
10.1	Teile einer verbindungslosen Netzwerkschicht	273
10.2	Datenpakete	274
10.3	Zusammenfassung der Paketformate für Referenzzwecke	274
10.3.1	IP	275
10.3.2	IPX	276
10.3.3	IPX+	276
10.3.4	AppleTalk	278
10.3.5	IPv6	279
10.3.6	DECnet	280
10.3.7	CLNP	281

Inhaltsverzeichnis

10.4 Technische Aspekte und Vergleiche der Datenpaketformate	283
10.4.1 Zieladresse	283
10.4.2 Quelladresse	283
10.4.3 Ziel- und Quell-Sockets	283
10.4.4 Headerlänge	284
10.4.5 Paketlänge	284
10.4.6 Headerprüfsumme	285
10.4.7 Fragmentierung erlaubt	286
10.4.8 Paketkennung	287
10.4.9 Fragment-Offset	288
10.4.10 Länge vor der Fragmentierung	289
10.4.11 Weitere Fragmente folgen	289
10.4.12 Lebenszeit	290
10.4.13 Version	292
10.4.14 Padding	293
10.4.15 Protokoll	293
10.4.16 Typ	295
10.4.17 Fehlerbericht verlangt	295
10.4.18 Stau-Rückmeldung: Quell-Quench versus DEC-Bit	296
10.4.19 Dienstyp	297
10.4.20 Optionen	301
10.5 Quellrouting	307
10.5.1 Loses versus striktes Quellrouting	308
10.5.2 Überschreiben einer Quellroute mit einer ausgehenden Verbindungsadresse	309
10.5.3 Überschreiben einer Zieladresse mit einem Nächste-Quellroute-Ziel	309
10.5.4 Ein Sicherheitsmangel bei der Quellroutenoption	310
10.6 Das große Geheimnis des IPX-Frame-Formats	311
10.6.1 Die vier Frame-Formate von IPX	313
10.6.2 Arbeiten mit mehreren IPX-Frame-Formaten	313
10.7 Fehlerberichte und andere Netzwerk- Rückmeldungen zum Endknoten	315
10.7.1 CLNP-Fehlernachrichten	315
10.7.2 ICMP: IP-Fehlernachrichten	317
10.7.3 IPv6-Fehlernachrichten	322

11 Neighbor-Greeting und Selbstkonfigurierung	325
11.1 Über Punkt-zu-Punkt-Verbindungen angeschlossene Endknoten	326
11.2 Über LANs angeschlossene Endknoten	327
11.2.1 ES-IS: Die CLNP-Lösung	328
11.2.2 Die IP-Lösung	332
11.2.3 Die IPX-Lösung	340
11.2.4 Die DECnet-Lösung	341
11.2.5 AppleTalk-Lösung	342
11.2.6 Die IPv6-Lösung	344
11.2.7 Überblick und Vergleiche	345
11.2.8 Vergleiche	347
11.3 Über NBMA-Medien angeschlossene Endknoten	348
11.3.1 Verschiedene Lösungen	349
11.3.2 Multicast in der Protokoll-Y-Wolke bereitstellen	350
11.3.3 LAN-Emulation	353
11.3.4 Klassisches IP und ARP über ATM	355
11.3.5 Zusätzliche Hops entfernen	356
11.4 Dienste und Adressen finden	358
11.4.1 Generisches Finden von Diensten	358
11.4.2 Das AppleTalk-Schema	359
11.4.3 SAP für NetWare	361
12 Konzepte für Routingalgorithmen	365
12.1 Entfernungsvektor-Routing	365
12.1.1 Warum nicht Entfernungsvektor?	369
12.2 Verbindungszustands-Routing	375
12.2.1 Nachbarn kennen lernen	375
12.2.2 Konstruieren eines LSP	375
12.2.3 Verbreiten des LSP an alle Router	376
12.2.4 Routen berechnen	387
12.3 Vergleich von Verbindungszustands- und Entfernungsvektor-Routing	388
12.3.1 Speicher	390
12.3.2 Verbrauchte Bandbreite	390
12.3.3 Berechnung	391
12.3.4 Eine Anmerkung zu Berechnungskosten	392

Inhaltsverzeichnis

12.3.5	Robustheit	393
12.3.6	Funktionalität	394
12.3.7	Konvergenzgeschwindigkeit	395
12.4	Lastverteilung	396
12.5	Verbindungskosten	398
12.6	Routingalgorithmen wechseln	401
12.6.1	Beide Algorithmen gleichzeitig benutzen	401
12.6.2	Manuelles knotenweises Umschalten	402
12.6.3	Übersetzung	403
12.7	LANs	404
12.7.1	Das LAN zu einem Knoten machen	404
12.7.2	Verbreitung von Routinginformation	406
12.8	Diensttypen	408
12.8.1	Handlungsanweisungen	408
12.8.2	Mehrere Metriken	408
12.8.3	Richtlinienbasiertes Routing und richtlinienbasierte Einschränkungen	411
12.8.4	Statische Routen	413
12.8.5	Filter	413
12.8.6	Quellrouting	414
12.8.7	Routing-Domain-spezifische Richtlinien	414
12.8.8	Dienstklassenspezifische Richtlinien	416
12.9	Instandsetzen von Partitionen: Schicht-1-Subnetzwerk-Partition	416
13	Schnelle Paketweiterleitung	423
13.1	Zusätzliche Header verwenden	423
13.2	Adresspräfixe suchen	425
13.3	Längste Präfixübereinstimmung mit Trie	427
13.3.1	Einen langen unverzweigten Pfad zusammenfassen	428
13.3.2	Speicheraufwand gegenüber Suchzeit	429
13.3.3	Binärsuche auf Präfixlängen	433
13.3.4	Parallelismus mit spezieller Hardware ausnutzen	435
13.4	Binärsuche	440
13.4.1	Präfixe sortieren	440
13.4.2	Präfixlänge zu mit Einsen aufgefüllten Präfixen hinzufügen	440

13.4.3	Duplizierte aufgefüllte Präfixe loswerden	442
13.4.4	K-fache Suche	442
13.4.5	Einen Suchlauf durchführen	443
14	Reale Routingprotokolle	445
14.1	Ein kurzer historischer Überblick über Intradomain-Routingprotokolle	445
14.2	RIP	447
14.2.1	RIP Version 2	450
14.3	RTMP, IPX-RIP und DECnet	451
14.4	IS-IS, OSPF, NLSP und PNNI	452
14.4.1	Hierarchie	453
14.4.2	Bereichsadressen	459
14.4.3	LANs und designierte Router	462
14.4.4	Zuverlässige Verbreitung von LSPs in LANs	463
14.4.5	Parametersynchronisierung	466
14.4.6	Ziele pro Paket	467
14.4.7	LSP-Datenbanküberlastung	468
14.4.8	Authentifizierung	470
14.4.9	IS-IS-Details	471
14.4.10	OSPF	492
14.4.11	PNNI-Details	509
14.5	Interdomain-Routingprotokolle	511
14.5.1	Statisches Routing	513
14.5.2	EGP	514
14.5.3	BGP	522
15	WAN-Multicast	539
15.1	Einführung	539
15.1.1	Schicht-2-Multicast	539
15.1.2	Gründe für Schicht-3-Multicast	540
15.1.3	Zu bedenkende Dimensionen	541
15.1.4	Mehrfach-Hop-Multicast (anders als bei IP)	542
15.2	Multicast bei IP	543
15.2.1	Zentralisiertes gegen dezentralisiertes Multicast	544
15.2.2	Kämen wir ohne Schicht-3-Multicast aus?	546
15.2.3	Abbilden von NL-Multicast auf DL-Multicast	546

15.2.4	IGMP-Protokoll	548
15.2.5	IGMP-Snooping	550
15.2.6	Reverse-Path-Forwarding	551
15.2.7	DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol)	551
15.2.8	Multicast-OSPF	554
15.2.9	CBT	556
15.2.10	PIM-DM	558
15.2.11	PIM-SM	559
15.2.12	BGMP/MASC	561
15.2.13	MSDP	562
15.2.14	Multicast vereinfachen	563
16	Sabotagesicheres Routing	575
16.1	Das Problem	576
16.2	Alles, was Sie über Kryptografie wissen müssen	576
16.3	Überblick über die Methode	578
16.3.1	Robustes Fluten	579
16.3.2	Robustes Routing	580
16.4	Ausführliche Beschreibung der Methode	581
16.4.1	Robustes Fluten im Detail	581
16.4.2	Robustes Datenrouting	585
16.4.3	Zusätzliche dynamische Datenbank	586
16.5	Zusammenfassung	588
16.6	Weiterführende Literatur	589
17	Router, Bridges oder Switches: Ist das die Frage?	591
17.1	Switches	591
17.2	Bridges versus Router	591
17.3	Erweiterungen zu Bridges	595
17.3.1	Mehr als den Spanning-Tree benutzen	595
17.3.2	Fragmentierende Bridges	595
17.3.3	IGMP-Snooping	596
17.4	Erweiterungen zu Routern	596
17.4.1	Schnellere Router	596
17.4.2	Multiprotokoll-Router	597
17.4.3	Einzelprotokoll-Backbone	598
17.4.4	Brouter	600

18 Protokoll-Design – Folklore	601
18.1 Einfachheit versus Flexibilität versus Optimalität	601
18.2 Das Problem kennen, das Sie zu lösen versuchen	603
18.3 Mehraufwand und Skalierung	604
18.4 Arbeiten jenseits der Kapazität	605
18.5 Kompakt-IDs versus Objektkennungen	606
18.6 Optimierung für den häufigsten oder wichtigsten Fall	606
18.7 Weiterleitungskompatibilität	608
18.7.1 Genügend große Felder	608
18.7.2 Unabhängigkeit von Schichten	609
18.7.3 Reservierte Felder	610
18.7.4 Einfaches Versionsnummernfeld	610
18.7.5 Aufgeteiltes Versionsnummernfeld	611
18.7.6 Optionen	612
18.8 Migration: Routingalgorithmen und Adressierung	613
18.9 Parameter	615
18.9.1 Parameter vermeiden	615
18.9.2 Setzen zulässiger Parameter	616
18.10 Multiprotokoll-Operationen möglich machen	619
18.11 Schicht-3- versus Schicht-2-Protokolle	621
18.12 Robustheit	621
18.13 Determinismus versus Stabilität	623
18.14 Leistungseinschränkungen, um Korrektheit zu erreichen	624
18.15 Schlusswort	625
Glossar	627
Stichwortverzeichnis	643