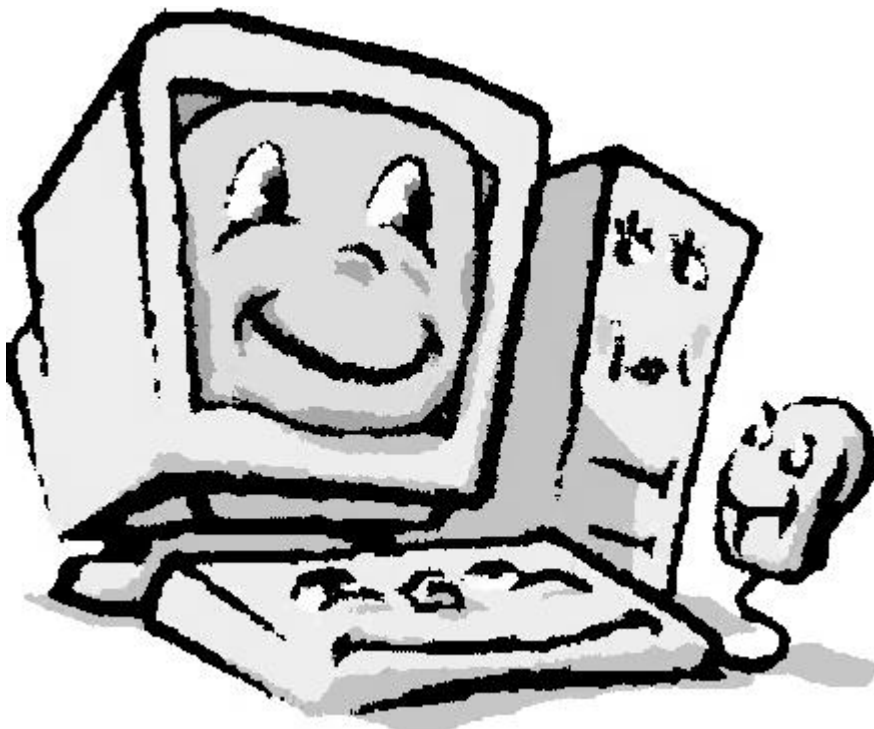


Lernskript RECHNERNETZE

Olaf Thiele { skript@olafthiele.de }

31. Januar 2002



Hallo Leute,
viel Spaß beim Nutzen dieses Skripts.

Ich habe nur folgende Anmerkungen:

- Ich übernehme keine Gewähr für den Inhalt.
- Wenn Ihr einen Fehler findet, mailt mir bitte unter der oben angegebenen Adresse.
- Wenn Ihr ein eigenes Skript schreibt, stellt es auch ins Netz.

Dank an Thomas für die Mithilfe.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	4
1.1	Typen von Verbindungen zum Datenaustausch zwischen Kommunikationseinheiten	4
1.2	Normung / Standards	4
1.3	Schicht	4
1.4	Protokoll	5
2	Bitübertragungsschicht (Physical Layer)	6
2.1	X.21	6
2.2	Signale	6
2.3	Leitungscode	6
2.4	Modulation	6
2.5	Multiplexing	7
2.6	Digitalisierung	7
2.7	Physikalische Medien	9
2.8	V.24 serielle Schnittstelle	9
2.9	DSL	10
3	Sicherungsschicht (Data Link Layer)	11
3.1	Fehlererkennung	12
3.2	Fehlerbehebung	13
3.3	Bit-Stuffing	13
3.4	Acknowledgement und Sequenznummern	13
3.5	Flusskontrolle	14
3.6	HDLC	15
4	Lokale Netze LAN's	15
4.1	MAC Medium Access Control	16
4.2	ALOHA	17
4.3	CSMA/CD "listen before talk"	17
4.4	Token Ring	17
4.5	FDDI Fiber Distributed Data Interface	18
4.6	Diverses	19
5	Weitverkehrsnetze und Routing	20
5.1	Paketvermittlung	20
5.2	Routing	21
5.3	zentralisierte adaptive Verfahren	21
5.4	isolierte adaptive Verfahren	21
5.5	verteilte adaptive Verfahren	22
5.6	Routing im Internet (verteilt adaptiv)	22
5.7	Multicast	23

5.8	Überlastkontrolle	25
5.9	IP internet protocol	26
5.10	Fragmentierung	26
5.11	IPv6	27
5.12	X.25	28
5.13	ATM asynchronus transfer mode	28
6	ISDN	28
6.1	Kanäle	28
6.2	Schichten	29
6.3	Vollduplexübermittlung	29
6.4	Rahmenformat	29
7	Transportschicht	29
7.1	UDP user datagram protocol (Header?)	30
7.2	TCP transmission control protocol	30
8	Anwendungsschicht	32
8.1	SMTP	32
8.2	MIME	32
8.3	FTP	32
8.4	NFS	32
8.5	Telnet	32
8.6	HTTP	33
8.7	Telefon over IP	33
A	Mathematisches	34
B	ISO-OSI vs. TCP-IP	34

1 Einführung

1.1 Typen von Verbindungen zum Datenaustausch zwischen Kommunikationseinheiten

1.1.1 Rechnernetze

Verbindung unabhängiger Rechner mit den Zielen:

- Datenverbund (Zugriff auf entfernte Daten, Datenaustausch)
- Funktionsverbund (Zugriff auf Spezialrechner, z.B. Server)
- Lastverbund (gleichmäßige Lastverteilung)
- Verfügbarkeitsverbund (Fehlertoleranz, schrittweises Wachstum)

1.1.2 Bus, Kanal

Kommunikation von Funktionseinheiten über diese Sammelleitung

Buscontroller verwaltet Zugriff, Busbreite zwischen 8 - 64 Bit

1.1.3 Interkonnektionsnetz in einem Parallelrechner

Kommunikation zwischen Prozessoren, Speicher und I/O, der Zugriff ist oft getaktet

1.1.4 Terminalnetz

Verbindung dummer Clients mit einem zentralen Host der alles verwaltet

1.2 Normung / Standards

planmäßige, durch die interessierten Kreise gemeinschaftlich durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gegenständen zum Nutzen der Allgemeinheit

Vorteile von Standards	Nachteile von Standards
Kompatibilität	Komplexität
gesicherter Funktionsumfang	Unflexibilität
Strukturiertheit	Erstellungsdauer (veraltet)

Der Industrie-Standard wird oft von dem am weitest verbreiteten Produkt bestimmt, welches nicht unbedingt das beste Produkt sein muss, sich aber durchgesetzt hat. Beispiel TCP/IP vs. ISO-OSI

1.3 Schicht

Definition Schicht

Definition Dienst

Definition SAP

Der darüberliegenden Schicht werden Dienste angeboten. Die Schichten sind über Dienstprimitive (service access point = SAP) verknüpft.

Kein SAP ist mit mehreren Instanzen verknüpft, wohl aber eine Instanz an mehrere SAP's.
 Die einzelnen Instanzen kommunizieren als PEERS (kommunizieren SAP oder die Instanzen???).

Vorteile von Schichten	Nachteile von Schichten
Kapselung der Funktionalität	Optimierung schwieriger (Arbeiten auf einer einzigen Kopie)
Reduktion der Komplexität	Dadurch ggf. langsamere Verarbeitung
Austauschbarkeit verschiedener Implementierungen	Weglassen von nicht benötigten Funktionen nicht möglich
Wiederverwendbarkeit	

Eine PDU (protocol data unit) der Schicht N wird in der Schicht N-1 zur SDU (service data unit) und bildet zusammen mit der PCI (protocol control information oder ICI) die PDU der Schicht N-1.

1.3.1 ISO Referenzmodell

Schicht	ISO deutsch	ISO englisch
7	Anwendungsschicht	application layer
6	Darstellungsschicht	presentation layer
5	Kommunikationssteuerungsschicht	session layer
4	Transportschicht	transport layer
3	Vermittlungsschicht	network layer
2	Sicherungsschicht	data link layer
1	Bitübertragungsschicht	physical layer

all people seem to need data processing

1.4 Protokoll

Regeln, die den Austausch zwischen Partnern koordinieren
 legt die zeitliche Abfolge, Art u. Weise der Kommunikation fest

1.4.1 Verbindungsaufbau durch Dienstprimitive

Der Verbindungsaufbau durch Dienstprimitive besteht aus folgenden vier Teilabschnitten:

Request Anfordern einer Dienstleistung von Rechner A

Indication Anzeigen einer Anforderung auf Rechner B oder Ereignisanzeige der Schicht selbst

Response Quittierung der Indication durch Rechner B

Confirmation Quittierung eines Request auf Rechner A

1.4.2 PDU/SDU

sind Format zur Übertragung

2 Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

definiert die **mechanischen, elektrischen, funktionalen und prozeduralen** Eigenschaften.

2.1 X.21

X.21 ist eine CCITT-Norm(1976), die den Datenfluss zwischen Vermittlungsstelle DCE und Endanschluss DTE regelt, also ein normaler Telefonanschluss. Der DTE kann auf den Leitungen Transmit und Control senden und die DCE auf Receive und Indication.

2.2 Signale

Signal = physikalische Repräsentation von Daten

2.2.1 Signalklassen

	zeitkontinuierlich	zeitdiskret
wertkontinuierlich	analoges Telefon	periodische Messungen
wertdiskret	dig. Übertragung mit bel. Signalwechseln	dig. Übertragung mit isochronem Zeitmuster

2.3 Leitungscodes

Name	Eigenschaften	sync.
NRZ-L	1 hoch, 0 unten	
NRZ-M (FDDI)	1 T am Anfang, 0 keine T am Anfang	
NRZ-S	1 keine T am Anfang, 0 T am Anfang	
RZ	1 Impuls am Anfang, 0 nichts	
Manchester (biphase level)	1 T in der Mitte nach unten, 0 T Mitte nach oben	X
biphase mark	immer T am Anfang, 1 T in der Mitte, 0 nichts	X
biphase space	immer T am Anfang, 1 nichts, 0 T in der Mitte	X
differential Manchester-Code	immer T in der Mitte, 1 nichts, 0 T am Anfang	X
delay Modulation	?	
bipolar	1 Impuls in der ersten Intervallhälfte, alternierend	

T steht für Transition

Die mit sync. gekennzeichneten Codes haben zwar im worst case nur die halbe Übertragungsgeschwindigkeit, aber dafür ist die Taktfrequenz ermittelbar.

Bitrate = Anzahl der Bits (binären Nutzdatenwerte), die pro Sekunde übertragen werden.

Baudrate = Anzahl der Rechtecksignale des Leitungscodes pro Sekunde.

2.4 Modulation

digitale Eingabe (oder auch analog) -> analoge Übertragung

Nutzsignal auf hochfrequentes analoges Trägersignal

- AM Amplitudenmodulation

- FM Frequenzmodulation
- PM Phasenmodulation

2.5 Multiplexing

Zusammenfassung von Übertragungskanälen auf dem Übertragungsweg

2.5.1 FDM Frequency Division Multiplexing

Übertragungskanäle in unterschiedlichen Frequenzbereichen

- nicht notwendigerweise gleich gross
- dürfen sich auch überlappen

Bild?

2.5.2 TDM Time Division Multiplexing

mit kleinen Schutzzeiten

nur für Zeitdiskrete Signale

synchron - asynchron (mit Adressen)

bei synchronem kann dem Empfänger eine konstante Bitrate garantiert werden (Overhead des asynchronen)

2.6 Digitalisierung

analog->digital

Vorteile digitaler Übertragung:

- niedrige Fehlerrate (kein durch Verstärker induziertes Rauschen, keine Akkumulation des Rauschens auf langen Strecken)
- TDM leichter
- digitale Schaltungen sind billiger

2.6.1 Abtastung

Zeit wird digitalisiert

Abtasttheorem von Shannon und Raabe (Nyquist-Theorem?):

Abtastfrequenz $f_A = 2 * f_s$ (f_s höchste vorkommende Frequenz) 5Hz = 5 mal pro sec.

2.6.2 Quantisierung

Werte werden digitalisiert

die Werte werden jeweils einem diskreten Wert zugeordnet

2.6.3 Codierung

die quantisierten Werte werden Binärwerten zugeordnet

2.6.4 PCM Pulse Code Modulation

Zusammenfassung von Abtastung, Quantisierung, Codierung

Abtastfrequenz 8kHz höher als Shannon (Filtereinfluss, Kanaltrennung)

Bereich 300Hz - 3400Hz

8 Bit-Kodierung $8000 \frac{\text{Abtastungen}}{\text{Sekunde}} * 8 \text{Bit} = 64 \frac{\text{KBit}}{\text{sec}}$

Quantisierungsrauschen entsteht durch Quantisierungsfehler, diese sind das Produkt einer ungenauen Quantisierung (8 statt 7,5).

ungleichförmige Quantisierung

Grund: Quantisierungsfehler machen sich bei gleichförmiger Quantisierung bei kleinen Signalwerten sehr stark bemerkbar **Quantisierungsrauschen!**; wird erreicht durch Kompressor-Expander; menschliches Gehör ist logarithmisch, d.h. kleine Schwankungen werden stark aufgenommen; es gibt PCM Multiplexing PCM30 etc.

Die logarithmische Umwandlung erfolgt durch einen CODEC (Coder-Decoder).

PCM ist länderabhängig. In Amerika und Japan wird $\mu - law$ verwendet und der Rest der Welt arbeitet mit $A - law$. Daher sind Konverter zwischen beiden Standards notwendig.

Vorteile digitaler Sprachübertragung:

- niedrige Fehlerrate (kein induziertes Rauschen, keine Akkumulation des Rauschens)
- TDM leichter anzuwenden
- niedrigere Kosten
- Möglichkeit der Kompression

Eine Abwandlung von PCM ist **differentielles PCM (DPCM)**, dass die Differenzen zwischen zwei PCM-Werten überträgt. Eine einfache Variante ist die Delta-Modulation.

2.6.5 Delta-Modulation

Änderung des Werts wird benutzt

Nachteile:

- bei großen Signaländerungen “hinkt” die Delta-Kodierung hinterher
- bei einem konstanten Pegel erzeugt die Delta-Kodierung ein Rechtecksignal

2.6.6 Synchron / Asynchron

Vorteile asynchroner Übertragung:

- es wird keine Synchronisierung der Taktgeber benötigt
- der Takt muss nicht über die Leitung übertragen werden

- leicht zu implementieren

Nachteile asynchroner Übertragung:

- die Taktgeber der Endsysteme können stark voneinander abweichen (daher: kleine Rahmengröße, nur bei kleinen Datenraten)
- die Start- und Stopbits stellen einen Mehraufwand dar

2.7 Physikalische Medien

2.7.1 twisted pair

twisted pair - billiger / shielded - teurer

2.7.2 Koax

max. 4 Repeater, $10 \frac{MBit}{sec.}$ (bzw. $16 \frac{MBit}{sec.}$ für Token-Ring), Vielfache 2,5 Meter, max. 500 Meter, teuer, max. 100 Transceiver

2.7.3 Glasfaser

teuer, Monomode ist teuer

Vorteile:

- höhere Bandbreiten sind möglich
- geringere Dämpfung, daher werden weniger Repeater benötigt
- unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störeinflüssen
- dünn, geringes Gewicht
- schwierig abzuhören

Probleme:

- Absorption, das Signal wird abgeschwächt
- Dispersion, das Signal wird verzerrt

2.7.4 Satelliten

Rundspruchnetz; Hinterbandkontrolle (jeder hört mit, daher sofortige Fehlererkennung)

ca. 270 ms Verzögerung

2.8 V.24 serielle Schnittstelle

“Diese Empfehlung bezieht sich auf die als Schnittstellenleitungen bezeichneten Verbindungsleitungen zwischen Datenendeinrichtungen (DEE) und Datenübertragungseinrichtungen (DÜE) zur Übertragung von binären Daten, Steuer- und Schritttaktsignalen. Diese Empfehlung erstreckt sich auch auf beide Seiten getrennter Zwischeneinrichtungen, die zwischen die Einrichtungen dieser beiden Kategorien eingefügt werden können.”

2.9 DSL

Vorteile ADSL:

- deutlich höhere Bandbreiten
- funktioniert über ungeschirmte Kupferleitungen, daher kostengünstig
- Warum asymmetrisch

so hohe Datenraten sind möglich durch:

- Nutzung des Frequenzbereiches 0 - 1,1 MHz, statt bisher 0-3,4kHz
- kombinierte Verwendung von Amplituden- und Phasenmodulation (QAM)

2.9.1 Kabellängenprobleme

Kupfer	weitere
Dämpfung frequenzabhängig	Impulsrauschen
Phasenverschiebung frequenzabhängig	Radiofrequenzen
Übersprechen	weisses Rauschen (thermal noise)

2.9.2 ADSL

Kupferdrähte sind überall vorhanden

Bitratenadaption

nimmt DMT

2.9.3 HDSL

basiert auf 2B1Q ($2 \frac{Bit}{Baud}$) oder CAP

mehrere Zweidrahtleitungen

kein simultaner Telefondienst auf dem Kabel

2.9.4 SDSL

HDSL auf einer Leitung mit ISDN

2.9.5 VDSL

höhere Datenraten, aber niedrigere Kabellängen

experimentell

2.9.6 QAM

QAM vereint Amplitudenmodulation und Phasenmodulation

bei einem QAM mit 4 Datenpunkten und einem 1200Baud-Modem sind $2 * 1200 = 2400 \frac{Bit}{sec}$ möglich

2.9.7 CAP

Benutzung **einer einzigen** Trägerfrequenz für upload bzw. downstream, dafür viele Informationen pro Zeiteinheit
“CAP operates in the time domain, whereas DMT operates in the frequency domain.”

Verbesserung zu QAM: Berechnung durch einen **digitalen** Signalprozessor

Dienst	Frequenz
POTS	300 Hz - 4 kHz
ISDN	300 Hz - 80 kHz
Upstream CAP	94 kHz - 106 kHz
Downstream CAP	120 kHz - 550 kHz

2.9.8 DMT

Die Trägerfrequenz wird in 256 individuelle Sub-Trägerfrequenzen zu jeweils 4kHz unterteilt, daher wenige Informationen pro Zeiteinheit.

DMT benutzt die **automatische Bitratenadaption**. Jeder Kanal wird aufgrund von Tests optimal an die aktuelle Lage (Kabellängendämpfung, Störsignale in bestimmten Frequenzbereichen,...) angepasst.

3 Sicherungsschicht (Data Link Layer)

Aufgaben der Schicht 2:

- Verdeckung von Übertragungsfehlern zwischen direkten Nachbarn
- Flusskontrolle
- bei LAN's auch Medienzugangskontrolle

typische Übertragungsfehler:

- weisses Rauschen
- Signalverzerrung abhängig von der Frequenz
- Übersprechen auf Leitungen
- Impulsstörung (ca. 10 ms, wird durch Vermittlungsstelle verursacht)

3.0.9 Fehlerwahrscheinlichkeit

Die empirischen Fehlerwahrscheinlichkeit für Telefonleitungen beträgt:

$$p(n) = 10^{-4} * n^{0,8}$$

Demnach ist die Fehlerwahrscheinlichkeit bei einer Paketlänge n=1024 ca. 2,5%.

3.1 Fehlererkennung

Codierungstheorie = Zusammenhang zwischen Umfang der Redundanz, Fehlerhäufigkeit, Übertragungsstrecke, Entdeckung und Korrektur eines Fehlers.

Fehlererkennung und Sendewiederholung ist in klassischen, auf Kupferkabel basierenden Netzen effizienter.

3.1.1 Parität

gerade Parität = 0 bei gerader Anzahl von Einsen, sonst 1

ungerade Parität = 1 bei gerader Anzahl von Einsen, sonst 0

Querparität = gerade Parität erweitert eine Bitfolge

Längsparität/Blockparität ähnlich

3.1.2 Hamming-Code

Hamming-Abstand = min. Anzahl der Bitpositionen, in denen sich Codewörter unterscheiden

Fehler erkennen $Abstand \geq e + 1$

Fehler beseitigen $Abstand \geq 2e + 1$

Nachteil: großer Overhead

Beispiel für die Erstellung eines Codes und das Erkennen eines Fehlers:

11011 soll übertragen werden, dafür benötigen wir 4 Paritätsbits an den Stellen 1,2,4,8

Bitposition	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wert			1		1	0	1		1

Nun wird die Summe Modulo-2 der bisherigen Zahlen deren Wert 1 ist in Binärdarstellung gebildet

$$3 = 0011$$

$$5 = 0101$$

$$7 = 0111$$

$$9 = 1001$$

$$Summe = 1000$$

Die Werte werden ihrer Zahl nach eingeordnet:

Bitposition	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wert	0	0	1	0	1	0	1	1	1

Nehmen wir an bei der Übertragung wird das fünfte Bit beschädigt, also kommt Nachricht 001000111 an. Nun wird für alle Bitpositionen an denen eine 1 steht wie oben eine Summe der Binärdarstellungen erstellt.

Diese Summe ergibt 0101 und zeigt damit an, dass an der fünften Stelle ein Übertragungsfehler passiert ist. Dieser Fehler kann nun korrigiert werden. Mit dieser Methode kann immer nur ein einzelner Fehler korrigiert werden.

3.1.3 CRC

Implementation sehr effizient (z.B. HDLC-Chip)

Algorithmus:

hänge g-Bits an
Division modulo 2
subtrahiere Rest

bei CRC-16 werden korrigiert :
alle einfachen, zweifachen Bitfehler
alle Fehler mit ungerader Bitzahl
alle stossweisen Fehler ≤ 16 Bit
99,998% aller längeren stossweisen Fehler

3.2 Fehlerbehebung

Vorteile	Nachteile
Fehler werden sofort behoben	falls Wiederholung, dann großer Overhead
geht auch unidirektional	

3.3 Bit-Stuffing

01111110 - Rahmenbegrenzer; nach 5 Einsen immer eine Null

3.4 Acknowledgement und Sequenznummern

Bestätigungen und Sequenznummern sind Teile von:

- Fehlerbehebung (fehlerhafte und verlorene Blöcke)
- Pufferverwaltung
- Flusskontrolle

3.4.1 timeout

Bei der Datenübertragung können Fehler durch Einführung einer **Zeitschranke** beim Sender. Nach einem timeout wird die Information einfach nochmal übertragen.

Nach der Sendung startet im nächsten Intervall der Timer und wenn er abgelaufen ist, erfolgt im folgenden Intervall die Wiederholung.

3.4.2 Sequenznummern

Wenn das ACK des Empfängers verloren geht, sendet der Sender nach dem timeout erneut. Der Empfänger enthält zweimal dasselbe Paket. Diese zwei Pakete lassen sich nur durch **Sequenznummern** unterscheiden. Mit einem ACK könne auch mehrere Pakete gleichzeitig bestätigt werden.

3.4.3 go back n (mit/ohne Pufferung)

Bei go back n ohne Pufferung werden alle bisher unbestätigten Pakete erneut übertragen. Mit Pufferung werden ebenfalls alle bisher unbestätigten Pakete neu übertragen, bis ein kumulatives ACK des Empfängers ankommt (Pufferung ist kompliziert und wird deshalb kaum eingesetzt).

3.4.4 selective repeat

Jeder Rahmen wird sofort bestätigt und nur die nicht bestätigten werden nach Ablauf eines Timers nochmals übertragen.

3.4.5 passive Fehlerkontrolle

Es werden keine NACK's versandt, sondern nach timeout nochmals gesendet.

Nachteile (keine Unterscheidung zwischen fehlerhaft und fehlend; Zeitverzögerung bis Wiederholung)

3.4.6 aktive Fehlerkontrolle

Zusätzlich zu den timeouts werden NACK's (selective retransmission) versendet, wenn eine Übertragung fehlerhaft ist. In Rechnernetzen werden sowohl aktive als auch passive Verfahren verwendet.

3.5 Flusskontrolle

Rückkopplung, um Überschwemmung des Empfängers zu vermeiden

3.5.1 stop-and-wait

Annahmen: fehlerfreie Übertragung, beschränkte Anzahl an Puffern, unterschiedliche Verarbeitungsgeschwindigkeiten

Verfahren: Benutze ein ACK für eine einfache Flusskontrolle. Es ist nie mehr als ein Rahmen auf dem Weg.

3.5.2 sliding window

Mechanismus:

- Nach dem Verbindungsaufbau besitzt der Sender das Recht, so viele Rahmen zu senden, wie durch die Fenstergröße vorgegeben ist.
- Spätestens dann muss ein ACK eintreffen, sonst wird die Sendung unterbrochen.
- Öffnen des Fensters erfolgt durch Bestätigung erhaltener Rahmen.

Dieselben Sequenznummern werden in den meisten Protokollen sowohl zur Fehlerkontrolle als auch zur Flusssteuerung verwendet!

3.5.3 Korrelation Fenstergröße vs. Puffer

Quelle	Senke	Puffer
langsam	schnell	1
schnell	langsam	1
balanciert	balanciert	$2 \leq w \leq 7$
Satellit		$16 \leq w \leq 127$

Je größer die Verzögerung bei der Übertragung, desto größer muss die Fenstergröße w gewählt werden, desto mehr Puffer werden auf der Empfängerseite benötigt.

3.6 HDLC

High Level Data Link Control

$HDLC \sim LLC2$

Schiebefenster der Größe 3 oder 8 Bit, also ist es entweder 7 oder 127 gross.

benutzt:

- CRC
- bit stuffing
- go back n (in der Regel)
- piggybacked acknowledgements (es wird die Sequenznummer des nächsten erwarteten Pakets übertragen)
- FCS - Berechnung “on the fly”

3.6.1 Konfigurationen

asymmetrische (unbalanced) ähnlich Terminal, normaler Antwortmodus: Sekundärstation darf nur nach polling senden, asynchroner Antwortmodus: gleichberechtigte Partner, dürfen bei freier Leitung senden

symmetrische (balanced) Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, keine Mehrpunktverbindungen

3.6.2 Adressfeld

alt 8 Bit Adressfeld

neu 16 Bit

3.6.3 Rahmentypen

I	information	Datenübermittlung
S	supervisory	Steuerung, Datenfluss
U	unnumbered	steuern Verbindung

4 Lokale Netze LAN's

Ein LAN ist ein Netzwerk für die bitserielle Übertragung von Informationen zwischen **unabhängigen**, untereinander verbundenen Stationen.

Ist in der Regel rechtlich auf den Bereich **innerhalb der Grundstücksgrenzen** begrenzt.

Merkmale:

- hohe Geschwindigkeit 10 - 1000 $\frac{MBit}{sec}$
- kostengünstiger Anschluss

- keine Postregulierungen
- Anschluss unterschiedlicher Geräte (PC, Drucker)
- Übergang auf WAN durch Router (Schicht 3) oder Gateways (Schicht 7)
- kein Routing im LAN

4.0.4 IEE 802

Standard	Zweck
802.1	Introduction to Set of Standards, interface primitives
802.2	LLC
802.3	MAC - CSMA/CD
802.4	MAC - Token Bus
802.5	MAC - Token Ring

4.0.5 Topologien

Punkt zu Punkt vs. Broadcast

Netztopologie	Vorteile	Nachteile
Stern	geringe Anzahl von Links nötig, nur 2 Hops bis zum Zielrechner	Zentralknoten ist single point of failure
Ring	geringe Anzahl von Links nötig, fehlertoleranter, Broadcast bedeutet keinen Mehraufwand	ggf. längere Wege
Baum	geringe Anzahl von Links nötig, hierarchische Form der Sterntopologie, kurze Wege von Wurzel zu Blattknoten	lange Wege von Blattknoten zu entfernten anderen Blattknoten
vollständig vermaschtes Netz	kürzeste Wege, extrem fehlertolerant	sehr hohe (exponentielle) Anzahl von Links
teilweise vermaschtes Netz	Kompromiss zwischen vollständig vermaschten Netz und Stern/Ring	dito
Bus	geringe Anzahl von Links, Broadcast bedeutet keinen Mehraufwand	maximale Größe durch Sendeleistung/ Signaldämpfung vorgegeben

Sonderformen: sternförmiger Ring, Doppelring

bei Netzen: Konnektivität (min Anzahl der Leitungen pro Station) = 2 => max ein Link kann ausfallen

4.1 MAC Medium Access Control

Medienzugangskontrolle regelt den Zugriff einer Station auf das physikalische Medium.

Problem: Sendekollisionen (bei Broadcastmedien mit unabh. Stationen)

- Kollisionsentdeckung (lasse Kollision passieren, entdecke sie, wiederhole die Übertragung)
- Kollisionsvermeidung (verwende zirkulierendes Token)

4.2 ALOHA

MAC-Protokoll

4.2.1 pure ALOHA

willkürliche Übertragung

bei Kollisionen erfolgt nach Warten einer zufälligen Zeitspanne eine Wiederholung

max. Durchsatz (Pakete pro Zeitschlitz) $\frac{1}{2e} \approx 0,18$

Wahrscheinlichkeit für freies Senden e^{-2G}

Datendurchsatz für Paketversuche $G \ S = G * e^{-2G}$

4.2.2 slotted ALOHA

keine willkürliche Übertragung durch Zeitscheiben

delay durch Warten auf Zeitschlitz

max. Durchsatz (Pakete pro Zeitschlitz) $\frac{1}{e} \approx 0,36$

Datendurchsatz für Paketversuche $G \ S = G * e^{-G}$

4.3 CSMA/CD “listen before talk”

Einsatz in Ethernet

Pakete müssen doppelt so lang sein, wie die Leitung

Verzögerungen in Repeatern werden von der Länge des Pakets abgezogen

sehr gute Performance bei geringer Belastung

leicht implementierbar

Wiederholungsstrategien bei belegtem Medium

non-persistent	zufällige Zeitspanne
1-persistent	sofort nach Ende der anderen (p=1)
p-persistent	wartet 1-p Zeitspanne

passiert beim senden eine Kollision, wartet der Sender eine zufällige Zeitspanne

benutzt Manchesterkodierung

Basisband-Bussystem $10 \frac{MBit}{sec}$

Koaxkabel (50Ω, max. 100 Stationen pro Segment, max. 3 Segmente in Reihe)

Zahl der Kollisionen senkt irgendwann den Datendurchsatz

Rahmen max 1,5 kByte

4.4 Token Ring

MAC-Protokoll zur Kollisionsvermeidung

hohe Systemausnutzung

Fehlerbehebung aufwendig

Prioritäten möglich

QoS garantierbar
flexibler Verbund
Tokengröße = 3 Bytes
Rahmen max 4 kByte
doppelter Frame Status

4.4.1 Fehlerkorrektur

- genau ein aktiver Monitor
- jede Station hat einen passiven Monitor
- Monitor sendet management frames

4.4.2 aktiver Monitor

- zirkulierender Rahmen MC=0
- zirkulierendes Token mit hoher Priorität
- verloren gegangenes Token - timeout
- mehrere aktive Monitore (höchste Nummer gewinnt)

benutzt *differential Manchester-Encoding*

ein aktiver Monitor zieht sich zurück, wenn er einen fremden purge-frame oder einen active-monitor-present-frame empfängt

4.5 FDDI Fiber Distributed Data Interface

schneller Token Ring

synchron oder auch asynchron

mit FDDI bis zu $100 \frac{MBit}{sec}$

Gradienten- oder Monomodefaser

räumliche Ausdehnung durch Doppelring 100km

große Anzahl an Stationen 500

Rahmen max 8,9 kByte

4.5.1 Early Token Release

MAC-Protokoll

die Station hängt an ihren Datenrahmen noch ein Freitoken an, weil der Ring deutlich größer ist, ist das überhaupt möglich

4.5.2 Token mit Zeitlimit

Soll-Zeit	Target Token Rotation Time
Ist-Zeit	Target Rotation Time

$$\max. TRT = 2 * TTRT$$

Erweiterung ist die synchrone Übertragung - zeitkritische Anwendungen

Sägezahneffekt:

Stationen senden ihren synchronen Teil und dürfen dann im asynchronen Bereich weitersenden, wenn das zu viele Stationen tun wird die TRT überschritten und der late counter wird gesetzt und diesmal keine asynchronen Daten gesendet.

$$\text{synchron} \neq \text{isochron}$$

Deshalb ungeeignet zur Sprach/Bildübertragung.

4.6 Diverses

4.6.1 Bitkodierung 4B/5B

4 Datenbits in 5 Codebits, 80% Effizienz (Manchester 50%)

NRZ-I max. 3 Bitzeichen ohne Pegelwechsel; Uhren müssen 3 Taktzeichen gleich laufen

4.6.2 Kabel

Kabeltyp	max. Kabellänge	Dämpfung
Multimode (LED)	2 km	11 dB
Monomode (Laser)	50 km	32 dB
SONET	∞	Ringumfang max. 100 km

4.6.3 LAN-Switching

CSMA/CD wird durch Frame-Switch ersetzt

Kollisionserkennung im Hub

Switch mindestens doppelt so schnell wie die Daten

4.6.4 LLC im LAN

Typ 1	Typ 2	Typ 3
unbestätigt	verbindungsorientiert	bestätigt
verbindungslos	wie HDLC	verbindungslos
		Bestätigung pro Datagramm

5 Weitverkehrsnetze und Routing

5.1 Paketvermittlung

Die Vermittlungsschicht bietet den Transportinstanzen Unabhängigkeit von Wegewahl und Vermittlungsentscheidungen, die mit dem Aufbau und Betrieb einer Netzverbindung verbunden sind.

heterogene Teilnetze können verbunden werden \Rightarrow *Internetworking*

5.1.1 virtuelle Verbindungen

nur eine Wegewahl

aller Verkehr über diesen Weg

perfekter Kanal

- Reihenfolgeerhaltung
- Fehlerüberwachung
- Flusskontrolle

Phasen

- Verbindungsaufbau
- Datenübertragung
- Verbindungsabbau

keine Adressierung während der Übertragung

hohe Qualität des ankommenden Paketstroms

Duplikateliminierung

keine Neusortierung/Fehlerüberwachung im Endsystem

Nachteile:

komplex

hoher Overhead bei kurzen Verbindungen

5.1.2 Datagramm

jedes Paket hat volle Adresse

jedesmal neue Wegewahl

primitiver, daher einfacher zu implementieren

geringer Overhead für kurzlebige Verbindungen

flexibler und zuverlässiger

besser geeignet für heterogene Netze

Nachteile:

Adresse muss in jedem Paket stehen

keine Fehlerüberwachung

5.2 Routing

Wegfall der Wegewahl bei Broadcastmedien: Segment eines LAN \Rightarrow Ring oder Bus KEIN Routing
wünschenswerte Eigenschaften eines Algorithmus zur Wegewahl:

- korrekt
- einfach
- robust
- fair
- optimal

Algorithmen für die Leitwegbestimmung

Praxis: Minimierung der Teilstrecken (hops)

statische Verfahren (zentrale Stelle kennt das ganze Netz; multipath routing; Bsp: SNA)

5.2.1 multipath routing

die einzelnen Wege sind nach Wahrscheinlichkeiten gewichtet

5.3 zentralisierte adaptive Verfahren

Routing Control Center (RCC)

Knoten senden an RCC

RCC berechnet den *optimalen* Pfad

Bsp.: TYMNET

ca. 1000 Knoten

Nachteile:

Berechnung ca. jede Minute nötig

RCC ist performance bottleneck

RCC ist single point of failure

keine Netzpartitionierung

Aktualisierung unterschiedlich

evtl. routing loops

5.4 isolierte adaptive Verfahren

kein Austausch zwischen den Knoten

5.4.1 Backward-Learning

```
if not (Quellknoten in Tabelle)
    ADD(Q, Leitung, Z hopcounter)
else if  $z < z_{min}$ 
    UPDATE(Q, L, Z)
```

Problem: der Algorithmus registriert keine Verschlechterungen

Lösung: periodisches Löschen der Tabellen, aber zu oft bedeutet zu viel zu lernen und zu selten bedeutet zu wenig zu lernen.

Außerdem kann es kürzeste Wege geben, die nicht gelernt werden können (Ausweg: zufällig senden oder flooding).

5.4.2 Flooding

```
auf allen Leitungen weitergeben, außer beim Empfänger
hopcounter--, bei 0 wegwerfen
```

große Netzbelastung, nur für Spezialfälle

5.4.3 Delta-Routing

kombiniert isoliert und zentralisiert

mit einer Variablen δ kann man die Macht zwischen RCC und Router verschieben

bei geeigneter Wahl von δ erreicht man eine hohe Leistung

5.5 verteilte adaptive Verfahren

Knoten tauschen mit ihren Nachbarn Informationen aus. Jeder Knoten kennt die Entfernung zu jedem Nachbarn, diese besteht aus Verzögerungszeit und Warteschlangenlänge. Jeder Knoten sendet periodisch seinen Nachbarn eine Liste mit seinen geschätzten Entfernungen zu jedem Ziel. Dieses Verfahren nennt man *distance vector routing*.

5.5.1 hierarchische Leitwegbestimmung

wird ab einer bestimmten Größe notwendig

Knoten werden in Regionen gruppiert

jeder Knoten kennt Details seiner Region und Leitwege zu allen anderen Regionen

Nachteil: Entscheidungen sind nicht immer global optimal

5.6 Routing im Internet (verteilt adaptiv)

Es wird distance vector routing verwendet.

“bad news travels slowly”

5.6.1 RIP Routing Information Protocol

sehr einfach zu implementieren, überall verfügbar

Algorithmus ist recht einfach

Nachteile:

einzigste Orientierung ist der hopcounter

lange Reaktionszeit

5.6.2 routing loops

können durch zufällige Konstellationen passieren

werden nach Ablauf der TTL vom Router gelöscht

deshalb ist Sicherung in TCP notwendig

5.6.3 Counting to Infinity - Problem

Das Counting to Infinity - Problem taucht auf, wenn nach einer Kabelstörung Station A eine Nachricht an B schickt, in der C erreichbar ist, aber B die Verbindung bereits auf infinity gesetzt hat und das noch nicht zu A propagiert hat. Hierdurch entsteht ein Kreislauf, der sich unendlich aufschauelt.

Lösung:

split-horizon A überträgt den Wert infinity an B, wenn der Weg über B läuft

max-Distanz wenn die Distanz einen bestimmten Wert (z.B.15) überschreitet, wird sie auf infinity gesetzt

5.6.4 OSPF Open Shortest Path First

alle Knoten kennen jederzeit die gesamte Netztopologie

Berechnung der optimalen Pfade mit Dijkstra

5.6.5 Unterschiede zu RIP

subnet masks

benutzt Authentifizierung

mehrere Metriken (hopcounter, Kosten, reliability)

Lastverteilung bei gleichen Routen (RIP kennt nur eine beste Route)

unterstützt Prioritäten

kurze Datagramme für bessere performance

5.7 Multicast

ein Sender - mehrere Empfänger

Anforderungen:

max. delay, max. jitter, max error rate -> Vertragsmodell

erfordert:

- Reservierung von Ressourcen
- Formate und Protokolle für Gruppenadressierung
- neue Algorithmen zur Fehlerkorrektur
- dynamic-join-and-leave

Multicast im LAN der Schicht 2 kein Problem, wohl aber im WAN
mehr Intelligenz in der Schicht 3?

Multicast im Internet: Beschränkung nur durch TTL

Routing-Algorithmen für Multicast

Multicast ist empfangenorientiert, für eine Session wird eine Gruppenadresse gewählt und jeder Knoten kann sich entscheiden, ob er diese Gruppe hören will. Typ D Adresse (1110) wird zufällig ausgewählt.

verbindungslos -> best-effort-Prinzip

empfangenorientiert: Der Sender sendet an eine ganze Gruppe. Der Sender kennt die Mitglieder nicht, hat auch keine Kontrolle über sie. Jeder kann dieser Gruppe beitreten. Eine *Beschränkung* ist nur durch eine *hopcounter* möglich.

5.7.1 Flooding

Das Signal wird auf jede außer der Quelleitung weitergegeben. Das Signal wird verworfen, wenn der hopcounter 0 erreicht.

5.7.2 RPB reverse path broadcasting

Es werden nur die Signale weitergegeben, die auf dem kürzesten Weg vom Sender gekommen sind (*unvollständig*).
vollständig: Knoten gibt Signal nur noch an Nachbarn weiter, von denen er weiß, dass er auf ihrem kürzesten Weg zum Sender liegt.

Wann endet die Weitergabe?

5.7.3 TRPB truncated reverse path broadcasting

beschränkt die Auslieferung auf Subnetze, die Gruppenmitglieder enthalten

Protokoll zu Befragung: IGMP

Vorteil: entlastet Blatt-Subnetze

Nachteil: Baum weiterhin verstopft

5.7.4 RPM reverse path multicasting

Baum wird durch sogenannte prune messages zurückgeschnitten

Vorteil: Reduzierung des gesamten Datenverkehrs

Nachteile:

- periodischer Versand an alle Router
- Statusinformationen in jedem Knoten
- für jeden Multicast anderer Baum

5.7.5 Kernbäume

Kernbäume haben den Vorteil, nur einen Baum pro Gruppe zu haben und nicht für jedes Sender/Empfänger-Paar. Jeder Sender sendet zum Baum hin.

5.7.6 IPv6 und Multicast

IGMP wird in ICMP integriert

man kann Prioritäten vergeben (problematisch)

Problem: Multicast QoS

5.8 Überlastkontrolle

Überlast tendiert dazu, sich selbst zu verstärken. Das ist besonders in Datagramm-Netzen kritisch.

5.8.1 Pufferreservierung

Reservierung beim Verbindungsaufbau

verbindungsbezogen

hoher Ressourcenverbrauch

5.8.2 Wegwerfen von Paketen

Ankommende Pakete werden weggeworfen, wenn sie nicht gepuffert werden können.

Sender muss Puffern

benötigt viel Bandbreite

Paket muss $\frac{1}{1-p}$ mal gesendet werden (p = Wahrscheinlichkeit des Wegwerfens eines Paketes)

kleine Optimierung: Pakete wegwerfen, die kleinen hopcounter haben

5.8.3 Isarithmische Überlastung

Begrenzung durch die Vergabe von Permits

Probleme:

- ungleichmäßige Netzauslastung
- endgültiger Verlust nicht zu erkennen
- Multimedia schwierig

5.8.4 Flusskontrolle missbrauchen

Das Innere des Netzes darf nun das sliding-window verändern.

wäre besser in Schicht 4

Wie kürzt man fair?

5.8.5 Choke-Pakete

bei einer Überlastung des Routers sendet er chokes an die Quellen, um den Datenstrom zu verkleinern
choke ist out

5.9 IP internet protocol

Datagramm-Protokoll

Host-zu-Host-Protokoll

große Dienst-Datagramme werden fragmentiert

einfaches Protokoll

5.9.1 Addressierung

Klasse	Anfang	Netz
A	0	1.0.0.0 - 127.255.255.255
B	10	128.0.0.0 - 192.255.255.255
C	110	192.0.0.0 - 223.255.255.255
D	1110	224.0.0.0 - 239.255.255.255

Addressbereich ist zu klein, mögliche Lösungen:

CIDR (classless interdomain routing) mehrere C-Netze werden zu einem Netz zusammengefasst

Subnetting ein B-Netz wird durch subnet masks in mehrere kleinere (örtlich zusammenhängende) Netze aufgespalten

5.9.2 ARP address resolution protocol

Übersetzt Schicht 3 Adressen (IP) in Schicht 2 Adressen (MAC).

Algorithmus:

Router sendet Broadcast

Empfänger sendet ARP-reply

Cache bei Router für künftige Pakete

Verbesserung: der Empfänger speichert das Adresspaar des Senders

Cache wird normalerweise alle 15 Minuten gelöscht.

IPv6 benutzt kein ARP mehr, warum?

5.10 Fragmentierung

Pakete haben in unterschiedlichen Netzen verschiedene Größen (MTU maximum transfer unit).

Im Ethernet ist die MTU 1500 Bytes.

Ein Router auf dem Weg des Pakets fragmentiert das Paket auf kleinere Größen, zusammengesetzt wird das Paket allerdings erst wieder beim Empfänger.

5.11 IPv6

Warum ein neues Protokoll?

Hauptmotivation: knapper Adressraum (kurzfristig CIDR)

Bestandteile sind im einzelnen:

5.11.1 erweiterter Adressraum

128 bit Adressen / Adresshierarchieebenen

Adressaufteilung in 8 Blöcke mit jeweils 4 Hex-Zeichen durch : getrennt

bei 0000 schreibt man einfach ::

automatische Adresskonfiguration

5.11.2 Abbildung von Hierarchien

Hierarchieebenen könne fast beliebig ausgebaut werden

5.11.3 IP-Headerstruktur

ist zwar doppelt so gross, aber minimaler Header, dafür werden viele Daten im Erweiterungsheader übermittelt (Header-Chaining)

5.11.4 Priorisierung

endlich Realisierung von QoS, gut für Echtzeitdaten

5.11.5 Sicherheit

neue Sicherheitsmechanismen

5.11.6 keine Checksumme

IPv6 benutzt keine Checksumme mehr, da einfache Bitfehler sehr selten sind, die Berechnung auf jedem Router teurer ist und TCP, etc. immer noch Checksummen einsetzen.

5.11.7 ICMP (Internet Control Message Protocol)

Fehlernachrichten

Informationsnachrichten

neighbor discovery

router renumbering

Ping, Traceroute(TTL) benutzen ICMP

5.11.8 IPv4-kompatibel

96 mal 0, anschließend IPv4 Adresse

Darstellung ::192.125.80.2

IPv6 zu IPv6 Tunnel

nur in der frühen Übergangsphase

Unterschied zum nächsten Punkt ???????

5.11.9 IPv4-mapped

Kommunikation IPv4 mit IPv6

80-0, 16-1, IPv4 Adresse zeigt an, dass das Ziel nicht IPv6 kann

Übergangsstrategien für ISP's

keine Maßnahmen (IPv6 per Tunnel, keine IPv6 Dienste)

Tunnel-Infrastruktur (Tunnel am Rand, IPv6 Dienste möglich)

5.12 X.25

virtuelle Verbindungen mit logischen Kanalnummern

X.25 ist der wichtigste internationale Standard für paketvermittelte Netze.

Trick: zwei Schicht 3 Verbindungen über eine Schicht 2 Verbindung

5.13 ATM asynchronus transfer mode

schnelle Paketvermittlungstechnik 48 Bytes + 5 Bytes

basiert auf TDM

verbindungsorientiert: virtueller Kanal, virtuelle Pfade, virtuelle Verbindungen

Implementation möglichst in Hardware, daher billig

keine Fehlererkennung oder Flusskontrolle

Verkehrsvertrag

Verkehrsformung durch leaky-bucket

praktisch für die Sprachübertragung, weil ein Paket in 6 ms auf der Leitung ist, im Ethernet 188 ms.

6 ISDN

Integration existierender Telekommunikationsdienste

vollständige Digitalisierung von Endgerät zu Endgerät

verwendet PPP ???????

6.1 Kanäle

$$144 \frac{kbit}{s} (brutto) 192 \frac{kbit}{s} \left\{ \begin{array}{ll} 2 B - Kanäle & 64 \frac{kbit}{s} \\ 1 D - Kanal & 16 \frac{kbit}{s} \end{array} \right.$$

TE - Terminal Equipment (bei der Vermittlungsstation)

NT - Network Termination (beim Empfänger NTBA)

B-Kanal überträgt PCM-codierte Sprache oder digitale Daten

D-Kanal für out of band signalling, d.h.:

- Verbindungsaufbau oder Verbindungsabbau
- Steuerung der B/H-Kanäle
- Vermittlungsdienste

H-Kanäle ($384 \frac{kbit}{s}$, $1920 \frac{kbit}{s}$, $130/155 \frac{Mbit}{s}$)

Die Rufnummer wird intern weitergeleitet und eine Dienstkennung erkennt den gewünschten Dienst.

6.2 Schichten

genauer ?

Schicht 1 ist B/H-Kanäle definiert

Schicht 2/3 sind nur für D-Kanal (Signalisierung)

Koppelnetze sorgen für durchgängige physische Verbindung

6.3 Vollduplexübermittlung

Alternativen zur Vollduplexübermittlung:

1. time division multiplexing genauer ????????????
2. Echokompensation

6.4 Rahmenformat

Rahmenlänge 48 bits

D-Kanal 4 bits pro Rahmen ($16 \frac{kbit}{s}$)

B-Kanal 16 bits pro Rahmen ($64 \frac{kbit}{s}$)

Es werden $4000 \frac{Rahmen}{Sekunde}$ übertragen

Rahmen der Schicht 2 identisch mit HDLC

seit 1993 Euro-ISDN -> Produkte sind jetzt europaweit vermarktbar

7 Transportschicht

Port - abstrakter Kommunikationsendpunkt

ein Dienst pro Port

mehrere gleichzeitige Verbindungen

synchron oder asynchron

jeder Port hat einen Puffer

jeder Port hat eine API

7.1 UDP user datagram protocol (Header?)

unzuverlässig

verbindungslos

Multicast möglich

geringer Ressourcenverbrauch

kein Verbindungsaufbau

einfache Implementierung, daher robust

keine Zustandsdaten im Netz

verwendet Checksumme

keine Reihenfolgeerhaltung

doppelte Pakete können vorkommen

keine Überlast- oder Flusskontrolle

Anwendung: sehr kurze Verbindungen, regelmäßige updates, Multicast, Echtzeitverbindungen

7.2 TCP transmission control protocol

gesicherte Datenübertragung zwischen Endsystemen

serieller Strom von Bytes (bytestrom-orientiert)

verbindungsorientiert (Verbindungsauf- und Abbau)

aufgeteilte Pakete

Duplex (vollduplex)

fensterbasierte Flusskontrolle

Überlastkontrolle (cwnd)

Fehlererkennung und -behebung

einfacher Einsatz (alles ist schon implementiert)

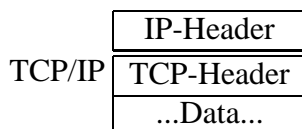
Nachteil:

hohe Ressourcen (Zwischenspeichern, Zustandsinfos, Timer)

Verbindungsaufbau und Verbindungsabbau auch bei kleinen Nachrichten

kein Multicast

7.2.1 detaillierter



Header: source port, destination port, sequence number, header length, window size, checksum

positive acknowledgement or retransmission in TCP

keine Versendung von NACK's

go back n mit Pufferung

nach drei folgenden Pakete gilt ein Paket als verloren

sliding-window mit Größe 16 Bit

Sequenznummern 32 Bit

~ CRC (ähnlich)

piggybacking

out of band data -> Alarmmeldungen

7.2.2 Verbindungsauf- und abbau

three way handshake, weil beide die Sequenznummer des anderen acknowledge müssen

Probleme: Wiederholung, nach timeout wird die Anwendung informiert

Verbindungsabbau

4 Pakete sind notwendig, Verbindungen müssen beidseitig beendet werden

7.2.3 Verbindung

ack ist nächstes erwartetes

delayed acknowledgements meistens nach ~ 200 ms

in dieser Zeit eventuell piggybacked acknowledgements

bei bulk data flow wird jedes zweite Paket bestätigt

7.2.4 Fehlersicherung

unterteilter Bytestrom -> Segment (1 pro Paket)

nach Abflug startet der Timer

keine Bestätigung -> nochmalige Übertragung

Timer passt sich an round trip time an

TCP eine Bestätigung pro Paket

keine NACK's

TCP bringt IP-Pakete in die richtige Reihenfolge

Duplikate werden rausgefiltert

7.2.5 Flusskontrolle

sliding-window (Schiebefenster wird angepasst)

Wenn der Empfänger Fenstergröße 0 übermittelt, setzt der Datentransfer vorübergehend aus. Der Sender versucht mehrmals 0 Daten zu senden, bis es wieder geht.

7.2.6 Überlastkontrolle (congestion control)

schützt langsamen Empfänger vor schnellem Sender

tcp regelt freiwillig herunter

congestion window cwnd

Sender nimmt immer Minimum von Fenster und cwnd

tcp interpretiert Paketverlust als congestion additive increase, multiplicative decrease

letzte round trip time alle Pakete ack, dann cwnd++

wenn RTT Verluste hat, dann cwnd /= 2

das führt zu einer Sägezahnkurve

7.2.7 slow start

cwnd bekommt MSS (max segment time) initialisiert

slow start threshold = 65 353

pro round trip: keine Verluste + $cwnd < ssthres$, dann erhöhe cwnd pro ack (exponentiell)

keine Verluste + $cwnd \geq ssthre$, dann erhöhe um $\frac{1}{cwnd}$ pro ack (linear)

8 Anwendungsschicht

8.1 SMTP

Port 25

nicht wie X.400 von ITU-T mail forwarding in Schicht 7

kein forwarding

Bytestrom, keine Bitströme

Bestätigung jeder Meldung

8.2 MIME

Binär -> ASCII Konvertierung

mehrere verschiedene body parts sind möglich

8.3 FTP

keine Integration in das lokale Dateisystem

2 separate TCP-Verbindungen

Verzeichnisoperationen möglich put/get

8.4 NFS

Fernzugriff auf Dateien im Netz

1984 Anfang

1989 Implementation mit 260 Herstellern

Standard auf UNIX-Rechnern

UDP-Kommunikation

verknüpft durch mount

lock manager regelt den Zugriff durch mehrere Clients

8.5 Telnet

jeder Buchstabe wird durch ein Paket übertragen

8.6 HTTP

einfaches request/response Protokoll

ASCII-Format

zustandsloses Protokoll

TCP-basiert (zuverlässig)

Port 80

Verbindungsaufbau \Rightarrow Request (get,put,post) \Rightarrow Response (Statuscode) \Rightarrow Verbindungsabbau

Verbesserungen:

- eine TCP-Verbindung für mehrere Dateien (ab HTTP 1.1)
- Aufbau mehrerer Verbindungen zur Beschleunigung

8.6.1 URL

http://	www.olafthiele.de	/index.html
http Protokoll	hostname	Dateiname

8.7 Telefon over IP

weniger overhead

mehr Flexibilität

mehr Funktionalität

Ziel: Multimediakommunikation

Telefonnetz	IP-Telefonie
verbindungsorientiert	paketvermittelt
leitungsvermittelt	statistischer Multiplexeffekt (TDM)
aufwendige Vermittlungsanlagen	“einfache“ Router
	geringere Bandbreite durch Audiokompression
	flexible Signalisierung
	intelligente Netzwerkdienste
	skalierbare Dienstgüte
	Nutzung bestehender Datennetze
	Kostenvorteile
	PC-Integration nützlich

8.7.1 QoS quality of service

QoS ist das Hauptproblem

dabei spielen zwei große Faktoren eine Rolle

1. delay - Verzögerung

codec	Netzwerk	Zugriff insgesamt
~30-80 ms	50-140 ms	100-380 ms

2. Paketverlust

dadurch FEC erforderlich. Fehlerkorrektur kostet Bits.

8.7.2 H.323 ITU-Recommendation

8.7.3 Sprachkodierung

Verfahren basieren meistens auf LPC (linear predictive coding)

Modell der Stimme in Zylindern

Unterschiede zwischen synthetischer Sprache und Samples werden kodiert

(A)CELP = (adaptive) code excited linear predictor

Technik	Bitrate	MOS (Qualität)	Delay
PCM	$64 \frac{kbit}{s}$	4,0	< 1 ms
LD-CELP	$16 \frac{kbit}{s}$	3,93	3 ms
ACELP	$5,3 \frac{kbit}{s}$	3,88	100 ms

Potential:

click&call Services

web enabled call center

A Mathematisches

Variablen

$v = \text{Geschwindigkeit} (2 * 10^8 \frac{m}{s})$

$p = \text{Paket (Anzahl der Bits 500)}$

$r = \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit} (10 \frac{MBit}{s})$

Formeln

Länge l eines Bits auf der Leitung $l = \frac{v}{r}$

Länge eines Pakets d auf der Leitung $d = p * \frac{v}{r}$

B ISO-OSI vs. TCP-IP

Das OSI-Modell ist nützlich, Computernetze in ihren Konzepten zu erläutern und zu diskutieren. Implementierungen haben sich nicht durchgesetzt. Umgekehrt für TCP/IP, dafür ist es sehr speziell.

7	Application Layer					Stellt die eigentliche Schnittstelle zwischen en implementierten Anwen- dungen dar. Anwendungsprogramme sind unabhängig von Hardware.
	TELNET	FTP HTTP	SMTP POP3	SNMP	NFS (RPC)	Anwendungsschicht
						Durchführung einer anwendungsspezifischen Formatierung, um die Inter- pretation der Daten auf unterschiedlichen Systemen zu gewährleisten.
6						Darstellungsschicht
						Koordiniert und synchronisiert die Kommunikation zwischen dedizierten Anwendungsprozessen. Vgl. session interrupts und session recoveries.
5						Kommunikationssteuerungsschicht
4	TCP RFC 793		UDP RFC 768			Gewährleistet die zuverlässige, transparente Datenübertragung zwischen Entknoten (End-to-End-Kontrolle). Schnittstellenfunktion für höhere Layer.
	Transport Layer					Transportschicht
3	ARP	RARP	ICMP	BOOTP		Hier erfolgt die Wegewahl, das Routing.Bei mehreren möglichen Wegen, ist die optimale Route zu finden. Bei Ausfällen eine Umleitung.
	IP Network Layer					Vermittlungsschicht
2	Data Link Layer					Implementierung von Sicherheitsmechanismen, bei fehlerhaften Übertra- gungen erfolgt eine entsprechende Recovery. Unterteilung: MAC & LLC
	802.2					Sicherungsschicht
1	802.3	802.5	other	Medium-Access-Protocols		Herstellung einer physikalischen Verbindung. Kontrolle der Hilfsmittel. Störungen werden an die Datensicherungsschicht weitergegeben.
	Physical Layer					Bitübertragungsschicht

Abbildung 1: ISO-OSI vs. TCP-IP