



Rechnernetze II

SoSe 2020

Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 24. April 2020



Rechnernetze II

SoSe 2020

2 Schnelles Ethernet



Inhalt

- ➔ 100 Mb/s
- ➔ 1 Gb/s
- ➔ 10 Gb/s

- ➔ Tanenbaum, Kap. 4.3.7-4.3.8
- ➔ Kurose, Ross, Kap. 5.5



Zur Erinnerung: Klassisches Ethernet (IEEE 802.3)

- ➔ Gemeinsam genutztes Medium mit CSMA/CD
 - ➔ (logische) Bus-Topologie
 - ➔ maximale Leitungs- und minimale Paketlänge wegen Kollisionserkennung
- ➔ Leitungscodierung: Manchester-Code
 - ➔ erfordert 10 MHz Bandbreite für 10 Mb/s
- ➔ Varianten (Kabeltypen):
 - ➔ 10Base5, 10Base2: Koaxialkabel als gemeinsamer Bus
 - ➔ 10BaseT: UTP Kat. 3 Kabel (Telefonleitung, max. 16 MHz)
 - ➔ nur in Verbindung mit Hubs / Switches
 - ➔ 2 Adernpaare für Duplex-Betrieb, max. 100 m Länge

Anmerkungen zu Folie 65:

Die Kabelkategorien von Twisted-Pair-Kabeln geben i.W. die Grenzfrequenz der jeweiligen Kabel an:

- ➔ Kat. 3: 16 MHz
- ➔ Kat. 5: 100 MHz
- ➔ Kat. 6: 250 MHz
- ➔ Kat. 6a: 500 MHz
- ➔ Kat. 7: 600 MHz
- ➔ Kat. 7a: 1000 MHz
- ➔ Kat. 8: 2000 MHz

65-1

2.1 Neuere Ethernet-Standards



100 MBit/s Ethernet (IEEE 802.3u)

- ➔ Ziel: keine wesentlichen Änderungen am Standard
 - ➔ Kompatibilität zu existierender Soft- und Hardware (Kabel)
- ➔ Rahmenformat, Schnittstellen (LLC) etc. unverändert
- ➔ Bitzeit auf 10 ns verkürzt
- ➔ Busverkabelung nicht mehr unterstützt
 - ➔ max. Kabellänge zu gering
 - ➔ Sternverkabelung hat sich schon bei 10 Mb/s durchgesetzt
- ➔ Verbindung nur über Hubs und/oder Switches
- ➔ Viele Varianten für verschiedene Kabelarten



100BASE-T4

- ➔ Kann mit UTP Kat. 3 Kabeln arbeiten (Telefonkabel, max. 100m)
- ➔ Maßnahmen zur Erhöhung der Übertragungsrate:
 - andere Leitungscodierung: 8B6T statt Manchester
 - 8 Bits werden auf 6 Trits (ternäre Zeichen) abgebildet
 - Übertragung mit 3 Spannungspegeln
 - Verwendung aller 4 Adernpaare
 - 1 Paar zum Hub, 1 vom Hub, 2 umschaltbar
- ➔ Somit: max. 3 Adernpaare für eine Richtung
 - 3 Trits ($\hat{=}$ 4 Bits) pro Abtastung, 100 Mb/s bei 25 MBaud
- ➔ Zusätzlich 33 Mb/s Rückkanal (für Kollisionserkennung)



100BASE-T2

- ➔ 100BASE-T4 belegt alle Adernpaare
 - Nachteil bei Nutzung vorhandener Telefonkabel
- ➔ Daher: 100BASE-T2 (IEEE 802.3xy) später ergänzt
- ➔ Kommt mit 2 Paaren eines UTP Kat. 3 Kabels aus
- ➔ PAM 5x5 Codierung:
 - 4 Bit werden in zwei fünfwertige Signale codiert
 - Übertragung mit 5 Spannungspegeln auf jeder Leitung
 - ergibt 100 Mb/s bei 25 MBaud (halb- und vollduplex)
 - im Vollduplex-Modus: Echokompensation (*echo cancellation*)
- ➔ 100BASE-T2 hat sich (wie 100BASE-T4) nicht durchgesetzt

Anmerkungen zu Folie 68:

Im Vollduplex-Modus legen beide Stationen gleichzeitig ihr Signal auf dasselbe Kabel. Jede Station sieht daher auf dem Kabel die Überlagerung (d.h. Summe) des eigenen und des empfangenen Signals. Da das eigene Signal aber bekannt ist, kann es vom Summensignal wieder subtrahiert werden. Dieses Verfahren heißt Echokompensation (*echo cancellation*).

68-1

2.1 Neuere Ethernet-Standards ...



100BASE-TX

- ➔ Benötigt UTP Kat. 5 Kabel (100 MHz, max. 100 m)
 - ➔ je ein Adernpaar pro Richtung (vollduplex)
- ➔ 4B5B Leitungscodierung statt Manchester
 - ➔ ergibt 125 MHz Abtastrate (125 MBaud)

100BASE-FX

- ➔ Arbeitet mit Multimode-Glasfaser, max. 2 km
- ➔ Sonst wie 100BASE-TX

100 Mb/s Ethernet: Besonderheiten und Gemeinsamkeiten

- ➔ Verwendung „ungültiger“ Leitungscodes für Steuerzwecke
 - ➔ u.a. Markierung der Frame-Grenzen
- ➔ Maximale Netzgröße bei Verwendung von Hubs nur ca. 200 m
 - ➔ auch bei 100BASE-FX nur max. 272 m (Kollisionen!)
- ➔ *Autonegotiation*
 - ➔ Geschwindigkeit (10 Mb/s, 100 Mb/s) und Duplexmodus können ausgehandelt werden (Bitübertragungsschicht)
 - ➔ Ethernet-Karten senden im Leerlauf *Link Pulses* zur Prüfung der Leitung
 - ➔ Konfigurierungsinformation wird in diese Pulse encodiert

Anmerkungen zu Folie 70:

Beim klassischen (10 Mb/s) Ethernet wird alle $16ms$ ein Puls von $100ns$ Länge auf die Leitung gegeben, falls keine Übertragung stattfindet (*Normal Link Pulse*). Dadurch können die Netzwerkkarten erkennen, ob ein Kabel angeschlossen ist, an dessen anderem Ende sich auch eine Ethernetkarte befindet.

Bei den schnelleren Ethernet-Standards ersetzt man diesen Link-Puls durch ein $2ms$ langes Bündel von 17-33 Pulsen (*Fast Link Pulses*). Die 17 „ungeraden“ Pulse stellen ein Taktsignal dar; jeweils in der Mitte zwischen ihnen kann ein weiterer Puls liegen (entspricht einem 1-Bit) oder nicht (entspricht einem 0-Bit). Somit kann ein 16-Bit Wort übertragen werden, das u.a. die Geschwindigkeit der Netzwerkkarte und die Betriebsart (voll- oder halbduplex) der sendenden Netzwerkkarte spezifiziert.

Wenn eine Fast-Ethernet-Karte mit einer 10Mb/s-Karte verbunden wird, erkennt die 10Mb/s-Karte zunächst einen Link-Fehler (da die *Fast Link Pulses* nicht der ursprünglichen Spezifikation der Link-Pulse entsprechen). Die Fast-Ethernet-Karte erkennt aber anhand der *Normal Link Pulses*, daß das Gegenüber eine alte Karte ist und schaltet dann auf 10Mb/s-Betrieb (und normale Link-Pulse) um.



1 Gb/s Ethernet (IEEE 802.3z)

- ➔ Ziel: Kompatibilität mit vorhandenen Standards
- ➔ Zwei Betriebsmodi für Netze mit Switches bzw. Hubs
- ➔ Vollduplex-Betrieb mit Switches
 - ➔ kein CSMA/CD nötig, da keine Kollisionen
 - ➔ Kabellänge nur durch Signalqualität beschränkt
- ➔ Halbduplex-Betrieb mit Hubs
 - ➔ Problem: Behandlung von Kollisionen
 - ➔ 64 Byte min. Framelänge \Rightarrow max. Netzgröße 25 m!?
 - ➔ Lösung: Hardware stellt Framelänge \geq 512 Byte sicher
 - ➔ *Carrier Extension*: Auffüllen des Frames
 - ➔ *Frame Bursting*: Zusammenfassen mehrerer Frames



1 Gb/s Ethernet: Varianten

- ➔ Glasfaser:
 - ➔ 1000BASE-SX: Multimode-Faser, 550 m
 - ➔ 1000BASE-LX: Mono- oder Multimode-Faser, max. 5000 m
 - ➔ 8B10B Codierung: jedes Byte wird mit 10 Bit codiert
 - ➔ max. 4 gleiche Bits nacheinander (Taktsynchronisation)
 - ➔ max. 6 Einsen / Nullen pro Wort (Gleichstromanteil)
- ➔ 1000BASE-CX: geschirmtes Twisted-Pair Kabel (STP), 25 m
- ➔ 1000BASE-T: UTP Kat. 5, 100 m
 - ➔ alle 4 Adernpaare genutzt
 - ➔ 2 Bit pro Zeichen (PAM 5, 5 Spannungspegel), 125 MBaud
 - ➔ Echokompensation für Vollduplex-Betrieb
 - ➔ keine Leitungscodierung (\Rightarrow komplexe Taktsynchronisation)

Anmerkungen zu Folie 72:

Die Taktsynchronisation basiert darauf, daß nur eine der beiden Stationen (Master) einen freilaufenden Sendetakt benutzt, während die andere (Slave) mit dem rückgewonnenen Empfangstakt senden muß. Der Master erhält dadurch Information über die relative Phasenlage der beiden Takte, was eine Synchronisation ermöglicht.

72-1

2.1 Neuere Ethernet-Standards ...



10 Gb/s Ethernet (IEEE 802.3ae, ak, an, ap, aq)

- ➔ Nur noch Vollduplex-Betrieb mit Switches
- ➔ Sehr viele Varianten:
 - ➔ Glasfaser: 10GBASE-SR, 10GBASE-LR, 10GBASE-LRM, ...
 - ➔ SONET-Interoperabilität (OC-192): 10GBASE-SW, ...
 - ➔ Backplane (z.B. Blade-Server): 10GBASE-KX4, 10GBASE-KR
- ➔ 10GBASE-T: UTP Kat. 6a, 100m (mit Kat. 6: 50m)
 - ➔ Kat. 6a Kabel: bis 500 MHz
 - ➔ alle 4 Adernpaare genutzt
 - ➔ PAM16-Modulation mit 16 Spannungspegeln
 - ➔ 3 Bit pro Zeichen (1 Bit Redundanz), 833 MBaud/s
 - ➔ Echokompensation, keine Leitungscodierung

Flußkontrolle

- ➔ Wegen hoher Datenrate: neue Ethernet-Standards unterstützen einfache Flußkontrolle
- ➔ Empfänger sendet PAUSE-Frame an Sender
 - ➔ gekennzeichnet durch speziellen Typ / Zieladresse
 - ➔ 16-Bit Parameter gibt Länge der Pause an (in Einheiten von 512 Bitzeiten)
 - ➔ Sender stellt für diese Zeit die Übertragung ein
- ➔ Möglich nur im Vollduplex-Modus

Anmerkungen zu Folie 74:

Der PAUSE-Frame wird an die spezielle Multicast-Adresse 01:80:C2:00:00:01 gesendet, die für diesen Zweck reserviert ist. Er darf nicht von Switches weitergeleitet werden.

Da PAUSE-Frames nur bei Vollduplex- (also Punkt-zu-Punkt-) Verbindungen gesendet werden können, ist der Empfänger immer eindeutig. Die Verwendung einer festen Adresse erspart dabei den Stationen, daß sie die MAC-Adresse ihres Gegenübers kennen müssen.



Fast Ethernet: Fazit

- ➔ Ziel: Kompatibilität
 - ➔ Software, Verkabelung
- ➔ Verschiedene Realisierungen auf Bitübertragungsebene
- ➔ Heute vorherrschend:
 - ➔ 100BASE-TX, 1000BASE-T/SX/LX
 - ➔ 10 Gb/s vorwiegend im Core-Bereich
- ➔ 40 und 100 Gb/s Ethernet Standard (2010):
 - ➔ Glasfaser, Backplane, Kupferkabel (twinax, 4/10 Bit parallel)
 - ➔ 40 Gb/s auch über Cat. 8 Kabel (max. 30m)
- ➔ 200 und 400 Gb/s Ethernet Standard (2017)
 - ➔ Glasfaser

2.2 Zusammenfassung / Wiederholung



- ➔ Ziel: Kompatibilität mit Software / Verkabelung
- ➔ Geschwindigkeitserhöhung durch
 - ➔ andere Übertragungsmedien (höhere Grenzfrequenz)
 - ➔ Nutzung mehrerer Adernpaare (parallele Übertragung)
 - ➔ effizientere Codierungen
 - ➔ mehr Bits pro Abtastung
- ➔ Wegen Kollisionen: nur noch Verwendung von Switches
 - ➔ ab 10 Gb/s kein CSMA/CD mehr