

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Lehrstuhl für Rechnernetze und Telematik

SS 2007

Seminararbeit

High Speed LANs
Datenübertragung via Kabel im Ethernet

Sven Bürklin

4. Dezember 2007

Betreut durch Prof. Dr. Christan Schindelhauer

Abstract

Seit es Computer gibt besteht der Bedarf danach einfach und unkompliziert Daten zwischen mehreren Computern auszutauschen. Da im Laufe der Zeit die Daten immer größer wurden, musste sich auch das Medium dafür weiterentwickeln. Während es in den Anfängen genügte ein paar KBytes auszutauschen verlangt man heute, dass einige 100 MByte/sek übertragen werden können. Hierbei spielt vor allem die Wahl des richtigen Mediums eine große Rolle, ebenso die Abschirmung gegenüber Störungen von aussen.

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	3
2	Entstehung des Ethernets	3
3	802.3	3
3.1	Medium Access Control	3
3.1.1	CSMA/CD	3
3.1.2	MAC Frame	5
3.2	10 Mbit/s Ethernet	6
3.2.1	10Base5/10Base2	6
3.2.2	10Base-T	7
3.2.3	Manchester Codierung	7
3.3	100 Mbit/s Ethernet	7
3.3.1	100Base-X	7
3.3.2	100Base-T4	7
3.3.3	4B/5B-NRZI	8
3.3.4	MLT-3	9
3.3.5	Full-Duplex	9
3.3.6	Gemischte Netze	10
3.4	1000 Mbit/s Ethernet	10
3.5	10 Gigabit/s Ethernet	11
4	Zukunft des Ethernets	12

1 Motivation

1980 wurde von der IEEE¹ eine Arbeitsgruppe damit beauftragt sich mit Standards in Lokalen Netzwerken(LAN) zu befassen. Dieses Projekt bekam die Nummer 802, ein weit verbreiteter Glaube ist, dass es mit dem ersten Treffen im Februar 1980 zusammenhängt, jedoch war es nur die nächste freie Projektnummer. Ziel war es Standards für Netzwerke zu entwickeln. Die Arbeitsgruppe 802.3 befasst sich bis heute mit den Standards für das Ethernet. Der Name Ethernet kommt vom Englischen Ether für Äther, der anfangs für das Ausbreitungsmedium von Funkwellen gehalten wurde. Die einzelnen Entwürfe für Standards wurden mit Buchstaben gekennzeichnet, während sich einige durchsetzen verschwand andere aus unterschiedlichen Gründen schnell wieder, heute ist man schon bei 802.3ba. Die wichtigsten Kriterien für die Datenübertragung, sind die Qualität des Mediums und, neben dem kompatiblen Standard den Sender und Empfänger haben, auch dass sie die selben Protokolle verwenden. Störungen von aussen beeinflussen die Qualität der Übertragungen stark, dies lässt sich bei geringen Datendurchsatz noch einfach raus filtern, bei höherem Datendurchsatz muss man jedoch das Medium vor diesen Einflüssen schützen. Ebenso muss geklärt werden, wer senden und wer empfangen darf.

2 Entstehung des Ethernets

Bereits 1976 wurde von Dr. Robert M. Metcalfe (Xerox Palo Alto Research Center) [2] ein Verfahren zur Datenübertragung mithilfe von Funkwellen vorgestellt. Damit war das Ethernet geboren welches bis jetzt einige Konkurrenten wie Token Ring oder ATM überstanden hat und wohl auch noch die nächsten Jahre der führende Standard für die Datenübertragung bleibt.

3 802.3

3.1 Medium Access Control

3.1.1 CSMA/CD

CSMA/CD ist eine Weiterentwicklung von CSMA(Carrier sense multiple Access) mit dem Zusatz einer Kollisionserkennung(eng. Collision detection) Die Regeln für CSMA/CD sind nach [3] wie folgt:

¹Institute of Electrical and Electronics Engineers

1. Wenn das Medium frei ist sende, ansonsten weiter mit Schritt 2
2. Wenn jemand anderes sendet warte solange bis das Medium frei ist, dann sende
3. Wenn eine Kollision während einer Übertragung bemerkt wird sende ein Jamming Signal damit alle Sender/Empfänger wissen, dass es eine Kollision gegeben hat und die Übertragung beenden
4. Nach der Übertragung des Jamming Signals warte eine zufällige Zeitspanne und dann versuche erneut zu übertragen(beginne wieder bei 1.)

Eine Kollision liegt nach dem IEEE-Standard bei einer Bus-topologie dann vor wenn ein Empfänger eine höhere Spannung empfängt als er selbst senden kann. Jedoch nimmt nach den Gesetzen der Physik die Spannung mit höherem Widerstand² ab, dies kann dazu führen das trotz einer Kollision zweier Sender die Spannung nicht über das Maximum kommt, aus diesem Grund ist die maximale Länge für ein Coaxial Kabel nach [3] für 10Base2 185m und für 10Base5 500m(mit Repatern mehr³).

Bei der Stern-topologie ist es einfacher, sollte ein Hub gleichzeitig mehrere Aktivitäts-Signale empfangen sendet es automatisch ein spezielles Signal an alle. Dieses CPS⁴ wird solange gesendet bis kein Aktivitäts-Signal mehr an einem der Ports ankommt. Dieses Signal wird von jedem Empfänger als Auftreten einer Kollision interpretiert und das Senden sofort beendet bis die Leitung wieder frei ist.

Sollte ein Sender 10mal hintereinander versuchen seine Daten erneut zu übertragen(4.) und keinen Erfolg haben, versucht er es noch 6 mal mit der doppelten, zufälligen Wartezeit. Hat er nach den insgesamt 16 Versuchen noch immer keinen Erfolg, bricht er das Senden ab und meldet den Fehler.

CSMA/CD funktioniert in kleinen Netzen sehr gut, aber ab einer bestimmten Größe häufen sich die Kollisionen zwangsläufig und es kommt immer öfter vor, dass ein Sender nach den 16 erfolglosen Versuchen die Übertragung abbricht. Früher hat man große Netze mittels Router geteilt, dies war jedoch sehr kostenintensiv da die Router installiert und administriert werden mussten. Um 1990 kam dann das erste Switch auf den Markt, der Vorteil war, dass sie einfach in ein Netz integriert werden konnten und nicht eingestellt werden mussten. Durch Aufteilen von großen Netzen in kleinere mithilfe von Switches konnte man das Problem kostengünstig lösen. Switches werden oft auch als *intelligente* Hubs bezeichnet, sie merken sich die MAC-Adresse jedes Ports und teilen die Pakete mit bekanntem Ziel an die entsprechenden Ports, unbekannte Ziele werden an alle Ports ausser dem Absenderport geschickt. Damit sind Switches auf der Sicherungsschicht des

²also einem längeren Übertragungsweg

³siehe Abschnitt 3.2.1

⁴Collision Presence Signal

ISO/OSI-Modells. Der große Vorteil ist das eigentlich keine Kollisionen mehr auftreten da Daten gepuffert werden können. Auch ist es möglich, Ports zu bündeln und so höhere Übertragungsraten zu erreichen.

3.1.2 MAC Frame

Der MAC Frame ist das, nach dem im 802.3 Standard festgelegten Protokoll, Format für Übertragungen im Ethernet.

Es besteht aus 70-1524 Byte und unterteilt sich in folgenden Feldern:

- **Präambel:** Die Präambel besteht aus einer 7 Byte langen alternierenden Folgen von 0en und 1en(im Normalfall 10101...1010)⁵. Sie diente früher dazu das der Sender die Bitabstände korrekt synchronisieren konnte, moderne Netze mit Switches nutzen synchrone eingeschwungene Verbindungen und machen die Präambel eigentlich überflüssig⁶
- **Start Frame delimiter (SFD):** Die Sequenz 0101011 gibt an, dass die Präambel zu Ende ist und der Rest des eigentlichen Frames beginnt
- **Ziel-Adresse:**Gibt an, für welchen Empfänger das Frame gedacht ist(diese MAC-Adresse kann auch eine Multicast-⁷ oder Broadcast-Adresse⁸ sein)
- **Sender-Adresse:**Die Adresse des Senders des Frames
- **Länge/Type:**Die 2 Byte geben die Länge des Datenfelds in Byte an oder den Ethernet Type, je nachdem ob das Frame auf dem IEEE 802.3 Standard oder einem früheren Ethernet-Standard beruht
- **Datenfeld:**das Datenfeld hat zwischen 0 und 1500 Byte und enthält die eigentlichen Informationen die das Frame übertragen soll
- **PAD:** Hier werden Bytes dem Frame hinzugefügt falls es nicht groß genug für eine sichere Kollisionserkennung ist
- **Frame Check Sequence(FCS):**Eine 32bit CRC-Prüfsumme, welche auf allen Feldern basiert bis auf die Präambel, dem SFD und dem FCS selbst

⁵durch Hubs kann ein teil des Präambel verloren gehen weshalb sie so groß gewählt wurde

⁶aus Kompatibilitätsgründen wird sie aber weiterhin verwendet

⁷an mehrere Empfänger

⁸an alle im Netzwerk

3.2 10 Mbit/s Ethernet

Beim 10 Mbit/s Ethernet gibt es 2 unterschiedliche Techniken

1. **Bus-Topologie**: hier sind alle Rechner über einen Bus miteinander verbunden, ein großer Nachteil ist, dass bei einer Störung das gesamte Netz ausfällt, Vorteil ist, dass je nach Verteilung der Rechner im Raum weniger Kabel benötigt wird.
2. **Stern-Topologie**: hier sind alle Rechner über ein Hub (oder Switch) miteinander verbunden, Vorteil ist, dass bei einer Störung nur der betreffende Rechner vom Netz getrennt wird, Nachteil ist, dass jeder Rechner mit dem Hub verbunden sein muss.

Die Bus-Topologie wird nur bei Koaxial Kabeln verwendet.

Für die Kennzeichnung der verschiedenen Übertragungsarten hat das IEEE nach [3] folgende Notation vorgeschrieben:

<Datenrate in Mbit/s><Übertragungs Methode><max. länge in hundert Metern>

Anmerkung:

statt <max. länge in hundert Metern> wird, entgegen der ursprünglichen Notation, für **Twisted Pair** Kabel <T> und für Glasfaser(eng. optical fiber) Kabel <F> geschrieben

3.2.1 10Base5/10Base2

Spezifiziert nach [3] den Gebrauch von 50Ω Koaxial Kabel und die Manchester Codierung. Bei 10Base5 kann ein Segment⁹ maximal 500m lang sein, diese Distanz lässt sich mithilfe von Repeatern erhöhen. Der Repeater befindet sich beim ISO/OSI-Modell auf der Bitübertragungsschicht, er trennt die Segmente nicht, sondern verstärkt nur das Signal. Zwischen 2 Stationen sind maximal 4 Repeater erlaubt, womit sich die effektive Distanz auf 2,5km(0,9km bei 10Base2) vergrößert. 10Base2 ist ähnlich 10base5, nur nutzt es dünnere Kabel für die Übertragung womit die Kosten sinken(aber auch die maximale Reichweite).

⁹ein Kabelabschnitt

3.2.2 10Base-T

Spezifiziert die Datenübertragung mithilfe von Unshielded Twisted Pair Kabeln¹⁰. Aufgrund der schlechten Übertragungsqualität von Unshielded Twisted Pair Kabeln ist die maximale Länge auf 100m beschränkt. Für längere Strecken werden Glasfaserkabel verwendet(10BaseF), die eine Länge von 500m(mit Repeatern 2km) haben können. Beide Übertragungsarten nutzen die Manchester Codierung

3.2.3 Manchester Codierung

Bei der Manchester Codierung wird parallel zum Datensignal ein Taktsignal übertragen, aus den zu übertragenden Daten und dem Taktsignal wird dann das Datensignal erzeugt. Dank des Taktsignals ist das Datensignal selbst synchronisierend. Die Daten werden nicht wie normal mit max Spannung=1 und keine Spannung=0 übertragen, sondern anhand der Flanken des Signals, eine fallende Flanke ist dabei eine logische null, eine steigende Flanke eine logische 1. Ein großer Vorteil ist die Selbstsynchronisation und die recht einfache Fehlererkennung(da spätestens nach 1 Takt das Signal sich ändern muss erkennt man einfache Störungen schnell). Ein großer Nachteil ist das man für die Datenübertragung die doppelte Bandbreite braucht da das Taktsignal parallel übertragen werden muss.

3.3 100 Mbit/s Ethernet

3.3.1 100Base-X

100Base-X beschreibt die Übertragung mit 100 Mbit/s über eine einzelne Verbindung und 2 verschiedene physikalische Medien. Einmal für Twisted Pair¹¹, welches Kategorie 5 STP¹² oder UTP¹³ Kabel und das MTL-3 Signal Schema benutzt, und für Glasfaser-Kabel¹⁴ welches ein 4B/5B Schema zur Übertragung nutzt.

3.3.2 100Base-T4

Um auch mit den qualitativ schlechten Kategorie 3 Kabeln 100 Mbit/s zu erreichen, werden alle 4 Adernpaare genutzt. Dieser Standard wurde ausserhalb der USA kaum

¹⁰Nicht abgeschirmte Kabel wo die Adernpaare jeweils verdreht(twisted) sind

¹¹100Base-TX

¹²Shielded Twisted Pair

¹³Unshielded Twisted Pair

¹⁴100Base-FX

verwendet. Da heutzutage kaum noch Kategorie 3 Kabel verkauft werden, nutzt man für 100MBit/s 100Base-TX und Kategorie 5 Kabel

3.3.3 4B/5B-NRZI

Würde man beim 100 Mbit/s Ethernet eine Manchester Codierung verwenden bräuchte man ein 200 MBaud-Kabel, dies wäre technisch aufwendig und teuer. Statt dessen verwendet man eine effektivere 4bit auf 5bit Codierung an, da die Effektivität so 80% statt den 50% beträgt benötigt man nur ein 125 MBaud-Kabel. Das Kodierungs-Schema ist nach [3] wie folgt:

Data Input (4 Bits)	Code Group (5 Bits)	Interpretation
0000	11110	Data 0
0001	01001	Data 1
0010	10100	Data 2
0011	10101	Data 3
0100	01010	Data 4
0101	01011	Data 5
0110	01110	Data 6
0111	01111	Data 7
1000	10010	Data 8
1001	10011	Data 9
1010	10110	Data A
1011	10111	Data B
1100	11010	Data C
1101	11011	Data D
1110	11100	Data E
1111	11101	Data F
	11111	Idle
	11000	Start der Daten, erster Teil
	10001	Start der Daten, zweiter Teil
	01101	Ende der Daten, erster Teil
	00111	Ende der Daten, zweiter Teil
	00100	Übertragungsfehler
	andere	Ungültige Codes

Zwischen zwei Übertragungen zeigt die konstante Übertragung einer 1 an ,dass das Medium bereit ist(Idle).

1100010001 gibt an, dass eine Datenübertragung beginnt, 0110100111 gibt das Ende einer Datenübertragung an.

00100 zeigt einen Übertragungsfehler an.¹⁵

3.3.4 MLT-3

4B/5B-NRZI¹⁶ ist für Glasfaserkabel effektiv, jedoch nicht für Twisted Pair-Kabel, da aufgrund der hohen Signalenergie nicht erwünschte elektrische Störungen auftreten können nutzt man hier MLT-3. Nach [3] werden folgende Schritte ausgeführt:

1. **NRZI zu NRZ Konvertierung.** Das 4B/5B-NRZI Signal wird zurückkonvertiert zu NRZ
2. **Scrambling.** Der Bit-Strom wird verschlüsselt um ein einheitlicheres Spektrum für den nächsten Schritt zu haben
3. **Encoder.** Der verschlüsselte Datenstrom wird jetzt kodiert mit einem Verfahren das MLT-3 genannt wird
4. **Driver.** Das kodierte Signal wird übermittelt

Bei MLT-3 gibt es für jede binäre 1 3 Zustände, positive Spannung (+V), negative Spannung (-V) und keine Spannung (0V). Nach [3] sind die encoding Regeln wie folgt:

1. Wenn das nächste Eingabe-Bit 0 ist, dann ist der Ausgabewert der selbe wie der vorherige
2. Wenn das nächste Eingabe-Bit 1 ist, dann ist der Ausgabewert wie folgt:
 - a. Wenn der vorherige Ausgabewert +V oder -V war, dann ist der neue Ausgabewert 0
 - b. Wenn der vorherige Ausgabewert 0 war dann ist der neue Ausgabewert das Gegenteil des letzten Ausgabewertes der nicht 0 war

3.3.5 Full-Duplex

Eigentlich läuft das Ethernet im half-duplex Modus, eine Station kann entweder senden oder empfangen aber nicht beides gleichzeitig. Wenn das gesamte Netz aber im full-duplex

¹⁵wird normalerweise genutzt damit Repeater empfangene Fehler weiterleiten

¹⁶nonreturn to zero inverted

Modus läuft kann jede Station gleichzeitig senden und empfangen und die theoretische Geschwindigkeit liegt bei 200 Mbit/s. Dazu sind aber ein paar Sachen nötig:

1. Jede angebundene Station muss full-duplex können
2. Es wird ein Switch benötigt, welches auch full-duplex kann

Die Vorteile sind, dass neben der höheren Geschwindigkeit praktisch keine Kollisionen mehr vorkommen, CSMA/CD wird also nicht länger benötigt. Dennoch wird der MAC-Frame beibehalten und alle Stationen benutzen weiterhin CSMA/CD, auch wenn keine Kollisionen mehr auftreten können.

3.3.6 Gemischte Netze

Da 100 MBit/s mit 10 MBit/s kompatibel ist, kann man gemischte Netze einsetzen. Dazu sind spezielle Hubs oder Switchs nötig, welche intern in ein 10 MBit/s und ein 100 MBit/s Hub/Switch aufgeteilt sind, welche mittels einer Bridge verbunden sind. Dadurch ist es möglich, dass mehrere Stationen mit z.B. einem Server jeweils mit 10 Mbit/s kommunizieren können und insgesamt maximal 100 Mbit/s erreichbar sind. So kann die Geschwindigkeit in Netzen, welches häufig auf einzelne Server zugreift, optimiert werden, ebenso kann über ein Router eine schnelle gemeinsame Verbindung mit dem WAN hergestellt werden.

3.4 1000 Mbit/s Ethernet

Das 1000 Mbit/s Ethernet wird oft auch Gigabit Ethernet genannt. Während das Gigabit Ethernet neue Übertragungsmedien und auch andere Signalcodierungen verwendet, ist es dennoch kompatibel zu 10 Mbit/s und 100Mbit/s Ethernet. Dies ist vor allem dem Zustand zu verdanken, dass im Gigabit Ethernet weiterhin das CSMA/CD-Protokoll verwendet wird und das selbe Ethernet Format wie bei den Vorgängern. Als Medium setzt das Gigabit Ethernet auf Glasfaserkabel und Twisted Pair Kabel. Nach [3] sind das Folgende:

- **1000Base-SX** Diese Glasfaserkabel-Option mit kurzen Wellenlängen kann mit 62,5 μm Multimode¹⁷ Kabeln 275m lang sein, mit 50 μm Multimode Kabeln bis zu 550m. Die Wellenlänge liegt im Bereich von 770 bis 860 nm.
- **1000Base-LX** Diese Glasfaserkabel-Option mit langen Wellenlängen kann mit 62,5 μm und 50 μm Multimode Kabeln bis zu 550m lang sein, mit einem 10 μm Multi-

¹⁷es werden mehrere Lichtwellen übertragen

mode Kabeln sogar bis zu 5km. Die Wellenlänge liegt im Bereich von 1270 bis 1355 nm.

- **1000Base-CX** Dieses Option ist für kurze Distanzen, bis maximal 25m mit speziellen STP-Kabeln, gedacht
- **1000Base-T** Hier werden alle 4 Adernpaare eines Kategorie 5 UTP-Kabels genutzt, die maximale Länge beträgt 100m

Nach [1] gibt es auch noch folgende Medien:

- **1000Base-LX/LH** Wird auch als 1000Base-LH bezeichnet, dieses Singelmode-Glasfaserkabel¹⁸ hat eine maximale Länge von 10km und die Wellenlänge liegt bei 1310 nm.
- **1000Base-ZX** Auch hier kommt ein Singelmode-Glasfaserkabel zum Einsatz, die maximale Distanz beträgt 70km¹⁹, die Wellenlänge liegt bei 1550 nm

Für alle Medien wird zur Signal Kodierung 8B/10B genutzt, das Verfahren ist ähnlich aufgebaut wie das 4B/5B²⁰, nur dass Übertragungsfehler noch besser erkannt werden. Bei 4B/5B werden nur 50% für Daten genutzt, bei 8B/10B sind es hingegen nur 25%.

3.5 10 Gigabit/s Ethernet

Da in den letzten Jahren der Datentransfer sowohl im Internet als auch im intranet ständig gewachsen ist, vorallem durch die Umstellung von 56kbit/s Modems zu DSL, reichte das Gigabit Ethernet nicht mehr aus. 2006 wurden die Standards für das 10 Gigabit/s Ethernet verabschiedet, es ist zu allen anderen Standards kompatibel (behält CSMA/CD und den MAC-Frame bei). Der große Vorteil ist, dass für ISPs²¹ High Speed Verbindungen zu niedrigen Kosten zu bekommen sind. So kann man auch größere Netze kostengünstig realisieren.

Folgende Medien sind nach [3] definiert:

- **10GBase-S** S steht für short. Es wird ein Multimode Glasfaserkabel mit einer Wellenlänge von 850nm und einer maximalen Länge von 300m genutzt.
- **10GBase-LL** steht für large. Es wird ein Singlemode Glasfaserkabel mit einer Wellenlänge von 1310nm und einer maximalen Länge von 10km genutzt.

¹⁸Es wird nur 1 Lichtsignal übertragen, dadurch sind größere Distanzen möglich

¹⁹mit dispersionsoptimierten Kabeln bis zu 100km

²⁰siehe 3.3.3

²¹Internet Service Provider

- **10GBase-EE** steht für extended. Es wird ein Singlemode Glasfaserkabel mit einer Wellenlänge von 1550nm und einer maximalen Länge von 40km genutzt.

4 Zukunft des Ethernets

Das Ethernet hat sich in den letzten 25 Jahren gegen andere Standards erfolgreich durchgesetzt. Ein Grund dafür ist, dass alle Ethernet-Standards abwärtskompatibel sind und auch gemischt betrieben werden können, ebenso wurde bei neuen Standards versucht übergangsweise die alte Verkabelung weiter zu nutzen. Um das Ethernet zu verdrängen müsste wohl ein Standard kommen, der auf der Verkabelung des Ethernets aufbaut, zum Ethernet kompatibel ist, und dieses dann schrittweise verdrängt. Da sich das Ethernet aber auch ständig weiterentwickelt, dürfte es noch einige Zeit dauern bis ein andere Standard sich durchsetzt.

Literatur

- [1] Wikipedia: The Free Enzyklopedia. <http://de.wikipedia.org>, 2007-12-01.
- [2] Ethernet. <http://www.tcp-ip-info.de>, 2003-02-02, 2007.
- [3] Willian Stallings. *Data and Computer Communications*. Prentice Hall International, 7th edition, September 2004.