Medien

Ausbreitungsgeschwindigkeit

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum: $c_0 = 299'792'458\frac{m}{s}$ Faustregel in Medien: $200'000\frac{km}{s} = 20\frac{cm}{s}$

Signaldämpfung

Angegeben in Dezibel; auch: Insertion Loss, Attenuation

Dämpfung $A = 10 * \log(P_1/P_2) = 20 * \log(U_1/U_2)$

Höhere Frequenz → mehr Dämpfung

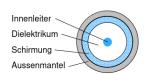
Halbierung der Leistung entspricht ca. 3dB

Signal-to-Noise-Ratio SNR ---

 $SNR = 10 * log(P_{Signal}/P_{Noise})dB$

Kabel Koaxial

- + besser als twisted pair für hohe Frequenzen + relativ unempfindlich gegen elektromagn
- + relativ unempfindlich gegen elektromagn. Störungen
- mechanisch heikel (knicken/quetschen)



Parasymmetrisch (Twisted Pair) -

- $+ \ \ \mathsf{bereits} \ \mathsf{lange} \ \mathsf{im} \ \mathsf{Einsatz}$
- + bei guter Qualität auch für Breitband geignet
- mit oder ohne Schild

Shielded Twisted Pair (STP)

Bezeichnet nach ISO 11801: xx/yTP

xx steht für die Gesamtschirmung

Colone for the Copanicolininan

 ${\sf U} \ \ {\sf ungeschirmt}$

F Folienschirm

S Geflechtschirm

SF Folien- & Geflechtschirm

y steht für die Aderpaarschirmung

U ungeschirmt

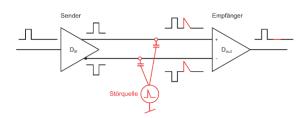
F Folienschirm

S Geflechtschirm

Störungen bei TP ----

Kapazitive/Induktive Störungen treten bei TP öfter als bei Koax oder Glasfaser auf.

Kapazitive Störungen von benachbarten Leitungen heissen Crosstalk(über-/nebensprechen). Diese Störungen können durch ein invertiertes komplementäres Signal weitgehen aufgehoben werden. Der Empfänger subtrahiert die beiden Signale und eliminiert dadurch Störungen.



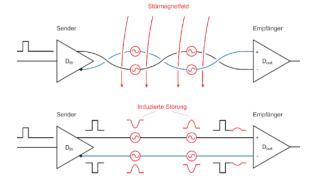
Alternativ können kapazitive Störungen mit einem leitenden Schirm abgefangen werden.

 Kapazitiv eingekoppelte Signale werden weltgehend abgeleitet

Über den Schirm dürfen kelne Potentialausgleichsströme fliessen.

Voraussetzung: Gute Erdung des

Induktive Störungen (durch ein Magnetfeld) können nicht durch ein komplementäres Signal alleine gelöst werden, da die die Störung auf beiden Signalen entgegengesetz ist. Dies kann über verdrillen der Adernpaare gelöst werden, benachbarte Schleifen heben sich so immer auf.



Kategorien

- Cat 1..4 Billigkabel für analoge Sprachübertragung (< 1Mb/s)
- Cat 5 bis 100 MHz, z.B. 100Mb/s oder 1 Gb/s Ethernet bis 100m
- Cat 6 250 MHz, 1 Gb/s Ethernet und 10 Gb/s Ethernet bis 55m
- Cat 7 600 MHz, z.B. für 10 Gb/s Ethernet bis 100m

Lichtwellenleiter

- + hohe Bandbreite \rightarrow hohe Datenrate
- + geringe Dämpfung \rightarrow lange übertragungsstrecken
- + resistentt gegen elektromagnetische Störungen

Zentrum aus Kernglas mit hoher optischer Dichte (Brechungsindex $n_{kern}=1.5$) umschlossen von Mantelglas mir geringer optischer Dichte (Brechungsindex $n_{mantel}=1.48$). Dadurch werden Lichtstrahlen im Kern totalreflektiert($\beta>90^\circ$) und keine Energie durch Absorption verloren

Multimode -

- + dicker Kern (mehrere Wege/Modes für das Licht)
- hohe Dispersion(Signalverschmierung auf langen Wegen)
 - Kann reduziert werden durch Einsatz von Gradientenfaser (übergang zwischen Kern und Mantel)

Singlemode -

- + keine Dispersion
- + hohe Datenraten auf hohe Distanzen
- dünner Kern, nur eine Grundmode

Physical Layer

Begriffe

(Leitungs-)Symbol

Zu einem gewissen Zeitpunk übertragenes physikalisches Signal das mit einer bestimmten Symbolrate seinen Wert verändert.

nicht wie in INCO "eine von N möglichen Nachrichten"

Informationsgehalt/Bit -

Informationsgehalt (von Symbol/Nachricht) $N_{Bit}=ld({\sf Anzahl\ M\"{o}glichkeiten})$

Zeichen -----

Einheit der übetragenen Daten, z.B. ein ASCII Zeichen

Baudrate ---

 ${\sf Schrittgeschwindigkeit} = {\sf Leitungs\text{-}Symbole} \ {\sf pro} \ {\sf Sekunde}$

Maximale Baudrate f_s ist doppelte Bandbreite B (Hz) gemäss Nyquist:

$$f_s = 2B$$

Durchsatz/Bit-/Datenübertragungsrate ---

übertragung von Information pro Zeit

Maximale Bitrate (Hartley's Gesetz)

 $R \leq 2B * ld(\#unterscheidbare Signalzustände)$

Potenzen (in der Kommunikation werden NICHT zweierpotenzen verwendet):

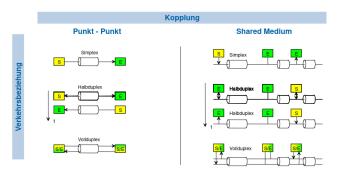
- kBit = 10^3 Bit \rightarrow kbps = 10^3 bps
- MBit = 10^6 Bit \rightarrow Mbps = 10^6 bps
- GBit = 10^9 Bit \rightarrow Gbps = 10^9 bps

Kanalkapazität ----

Berücksichtigt neben der Bitrate auch Störungen

$$C_s[Bit/s] = B * ld(1 * \frac{S}{N})$$

Verkehrsbeziehung und Kopplung -



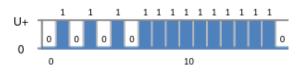
Leitungscodes

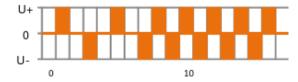
Anforderungen

- · Takt sollte im Signal enthalten sein (Taktrückgewinnung)
- effiziente Bandbreitennutzung
- möglichst gleichspannungsfrei (um Sender & Empfänger mit z.B. Transformatoren galvanisch trennen zu können)

3-wertiger AMI (Alternate Mark Inversion) -

Wechsel +/- bei jeder 1 sonst 0 $\rightarrow +/-$ gleichen sich aus somit Gleichspannungsfrei





DV I/13

Anwendung bei $10~\mathrm{Mbit/s}$ Ethernet via Single Pair bis $1.2\mathrm{km}$

- 4 Bit werden zu 3 ternären Symbolen
- DC/Gleichspannungs Offset wird bei Codierung berücksichtigt

Manchester-Code -

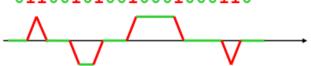
Einsatz bei 10BASE-T

Einfache Codierung: 1 werden als steigende Flanke, 0 als fallende Flanke übertragen. Signalwechsel bei jedem Bit ightarrow einfache Taktrückgewinnung

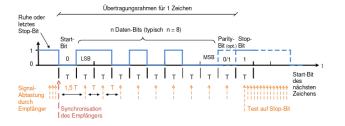
NRZI (Non Return to Zero Inverted) -

Einsatz bei 100BASE-TX(mit zusätzlicher 4 zu 5 bit codierung)

011001010010001000110



RS232



Data Link Layer

Aufgaben:

- fehlerfreie Verbindung direkt verbundener Systeme
- Framing, Nutzdaten erkennen und ent-/verpacken
- Fluss-Steuerung (Flow Control), langsamer Empfänger kannen schnellen Sender bremsen
- Adressierung der Teilnehmer (falls mehrere)
- Medium Zugriff (Media Access) wer darf wann senden

Framing

Asynchron

- ullet keine Daten o nichts wird übertragen (Ruhezustand)
- Start-Bit zu Beginn eines Frames
- Aufbau (meistens): Header + Datenblock + Fehlererkennung

Synchron

- Frames werden permanent gesendet, falls keine daten wird ein Flag gesendet (Bit Stuffing stellt sicher dass das Flag nicht als Nutzdaten vorkommt)
- Aufbau: wie Asynchron aber links & rechts durch Start-/End-Flag begrenzt

Bit-/Framefehlerwarscheinlichkeit ----

auch BER (Bit Error Ratio), NICHT Bitfehlerrate das wären Bitfehler pro Zeit

Für gleichverteilte Fehler, ohne doppelte die sich aufheben; Wahrscheinlichkeit, dass ein Frame mit länge $N \geq 1$ Bitfehler hat

$$FER = P_{FehlerFrame} = 1 - (1 - p_{FehlerBit})^N$$

für $p_{FehlerBit} \ll 1$ gilt näherungsweise $FER \approx N * p_{FehlerBit}$

Andere:

FER Frame Error Ratio, fehlerhaft empfangene Frames
RER Residual Error Ratio, unentdeckete fehlerhaft empfange Frames

Frame-Länge ---

Trade-Offs von Frame länge

- + hohe Netto-Bitrate wegen Gutem Header/Nutzdaten Verhältnis
- grössere Framefehlerwarscheinlichkeit
- mehr Datenverlust bei einem Fehler
- höhere Wahrscheinlichkeit für unentdeckten Fehler

Fehlererkennung

Hamming-Distanz ---

die minimale Anzahl Bits in denen sich zwei beliebige Codewörter eines Codes unterscheiden

Hamming-Distanz h herlaubt die Erkennung von h-1 Fehlern

Parity

Even Anzahl 1 inkl. Parity-Bit ist gerade

Odd Anzahl 1 inkl. Parity-Bit ist ungerade

Längs & Quer über mehrere Bytes für jede Spalte / Zeile Parity sowie eine gesamt parity

Prüfsumme -----

über ein speziell Konstruiertes Polynom wird eine Prüfsumme generiert z.B. CRC

Fehlerkorrektur

Backward Error Correction -

Rückfrage des Empfängers nach dem letzen Packet bei Fehler

- Rückkanal benötigt
- Warten auf Quittung
- Warten auf Timeout (abhilfe durch negative Bestätigung)

Forward Error Correction (FEC) -----

BER reduzieren durch fehlerkorrigierende Codes

Anstatt verwerfen bei Fehler, schätzen der wahrscheinlichsten gesendeten Nachricht.

Regeln für Hamming-Distanz h

- Anzahl der korrigierbaren Bitfehler k ist die abgerundete Hälfte der fehlerbehafteten Zwischencodes $k \leq (h-1)/2$
- Ein Code der genau in der Mitte liegt wird als Fehlerhaft erkennt, kann aber nicht korrigiert werden.
- $\qquad \text{Allgemein: } k+e=(h-1) \text{ mit } k \leq (h-1)/2$

Medienzugriff

Master-Slave

+ keine Konflikte weil master alles koordiniert

- single point of failure

Token Sendeberechtigung wird in einer fixen Reihenfolge weitergereicht

- + deterministisch
- Aufwändig

 $\textbf{Zeitsteuerung} \ \ \mathsf{Analog} \ \ \mathsf{zu} \ \ \mathsf{Taktfahrplan} \ \ \mathsf{für} \ \ \mathsf{Z\"{u}ge}$

- + Optimierung möglich
- konflikte bei unplanbarem Verkehr

CSMA (Carrier Sense Multiple Access) Alle "master", senden wenn sie niemand sonst hören
- Konflikte möglich falls 2+ gleichzeitig entscheiden zu senden

CSMA/CD Collision Detection, abbrechen und später nochmals versuchen

CSMA/CR Collision Resolution, Hardware unterstütze Arbitrierung

Flowcontrol

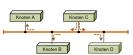
Erlaubt Empfänger den Sender temporär zu stoppen Verwendung bei Speichermangel/langsamer Verarbeitung oder Überlast im Netzwerk

Kann auch implizit vorkommen, in dem der Sender nach ieder Nachricht auf eine Quittung wartet bevor er die nächste schickt

Ethernet

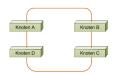
Begriffe

Topologien



- Alle Stationer
- · sind passiv angeschlossen
- · horchen Leitung permanent ab
- werden aktiv wenn sie etwas senden wollen
- · Keine festgelegte Ausbreitungsrichtung
- Empfänger erkennt anhand einer Adresse, ob die Daten für ihn relevant sind

Ring



- Benötigt Verfahren zur Verhinderung von endlosem Kreisverkehr
- Gewisse Redundanz: beim Ausfall einer Station kann immer noch jede Station erreicht werden

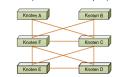
Linie



- Punkt-zu-Punkt Verbindungen zwischen benachbarten Knoten
- Alle Stationen m

 üssen
- Daten empfangen
- Daten regenerieren
- falls nötig weiterleiten
- Der Ausfall einer Station führt zur Segmentierung des LAN in zwei Teile

Vermascht (teilweise oder komplett)



- · Weitere Erhöhung der Redundanz:
- Ausfall einer oder eventuell auch mehrerer Stationen oder Verbindungen kann toleriert
- · Zusätzliche Kosten und Aufwand, um mehrfache Lieferung von Daten zu verhindern



- Jede Station an zentralen Verteiler (Switch/Bridge) angeschlossen
- Verteiler entkoppelt Knoten elektrisch und macht LAN weniger störungsanfällig
- Verteiler sendet Daten, die er von einer Station erhält, an die anderen Knoten weiter

- Hierarchische Erweiterung der Sterntopologie
- Intelligenten Switches ermöglichen einen Grossteil der Kommunikation "lokal" · zwischen A und B bzw. C und D
- Dadurch Verringerung der Last f
 ür die einzelnen Switches

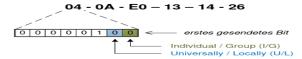
Übertragungsarten

Immer nur ein Sender! Anzahl empfänger unterscheidet sich

Unicast Genau 1 klar definierter Empfänger. Frame trägt dessen Adresse Multicast Gruppe von Empfängern, Frame trägt Adresse dieser Gruppe Broadcast An alle Knoten im LAN, Frame trägt Broadcast-Adresse

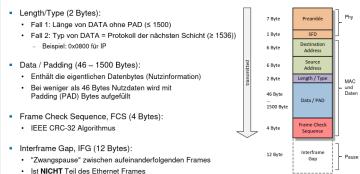
MAC-Adresse

Erste drei Byte Hersteller + Individual/Group & Universally/Locally bits, die letzen drei Bytes Laufnummer durch Hersteller



Ethernet Frame

- Bit Synchronisation durch Präamble, Bytes & Frames durch Start Frame Delimiter (SFD
- Frame-Länge 64 .. 1518 Byte (ohne Präable und SFD)
- Bytes nacheinander übertagen, pro Byte LSB zuerst
- Zahlenwerte (Length/Type/...) höchstwertiges Byte zuerst gesendet (Network Byte Order)



Die FCS wird mit IEEE CRC-32 berechnet. Die Hamming-Distanz ist Abhängig von der Frame-Länge: 6 bis 226, danach 5 bis 2974 (Ethernet Limit = 1518)

Kennzahlen zu Ethernet -

Overhead 18 Bytes aus DA, SA, L/T, FCS Frame-Size 64 bis 1518 Bytes Sendedauer $T_{frame} = \frac{\acute{N}_{bit} = ({\sf FrameSize} + 8)*8}{2}$ Dauer der Leitungsbelegung $T_{leitung} = \frac{N_{bit} + 96}{R_{bests}}$

Network Gear

Kreiren eine Broadcast Domain / LAN, Endgeräte merken davon nichts (transparent) sondern sprechen aus ihrer sicht direkt den Empfänger an.

Repeater/Hubs verstärkt Signal von einem Port und leitet sie weiter auf allen anderen Bridge/Switch lernt Adressen, leitet Daten weiter an die richtigen ports (Filtering Database)

VLAN (802.1Q)

Repräsentiert eigene, virtuelle Broadcastdomain.

Auf einem Switch kann jedem Port nur eine VLAN-ID gegeben werden, da die Zuordnung erst am Switch selbst passiert (muss konfiguriert werden, "managed switch").

Bei VLAN gibt es 2 verschiedene Arten von Links (Verbindung zwischen Geräten).

Access Links nur einem VLAN zugehörig

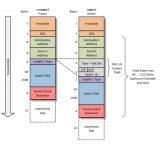
Trunk Links oft zwischen Switches, gesendete Frames können mehreren VLANs angehören \rightarrow Frames müssen vom Switch getagged werden

Erweiterung des Ethernet Headers durch einen VLAN-Tag

- Der Type 0x8100 bedeutet, dass das Frame «getagged» ist
- Ein 12 Bit Identifier (VLAN-ID, VID) besagt, welchem VLAN das Frame angehört
- Die 3 Bit des Priority Code Point (PCP) erlauben, das Frame mit einer Priorität zu versenden
- · Mit dem Drop Eligibility Indicator (DEI) werden Frames markiert, die bei Überlastsituationen zuerst verworfen werden sollen

Die maximalen Nutzdatenlänge bleibt erhalten der Ethernet Frame wird 4 Bytes länger

VLANs können transparent eingesetzt werden



PCP: höhere Prio kann tiefere überholen in der Bridge

(Rapid) Spanning Tree

Ziel: Alle Segmente in einer loop-freien Topologie verbinden Idee:

- 1. willkürliche aber eindeutige Root-Bridge wählen
- 2. von Root aus Baum aufbauen
- 3. redundante Pfade sperren

Algorithmus:

Initialisierung

- Alle Ports f
 ür Nutzdaten blockiert
- Annahme: "Ich bin Boot"
- Austausch BPDUs mit Nachbarn
- Aufbau des Spanning Tree
 - Aufdatieren der Info zu Root (kleinste ID) und Pfadkosten zu dieser
- Austausch aufdatierter BPDUs bis Konvergenz

Setzen der Port Roles

- · Freigeben for Nutzdaten von
- Root-Ports (Empfang der «besten» BPDU) Designated-Ports (Gegenstück zu Root-Ports)
- · Alle anderen Ports bleiben blockiert (Discarding)



BPDUs (Bridge Protocol Data Units) beinhalten:

8 Byte

2 Byte

2 Byte

Root-ID (aus lokaler Sicht):

Bridge-ID ("Ich"):

Port-ID (Sende-Port):

Root-Cost (aus lokaler Sicht):

Das normale STP konvergiert & reagiert sehr langsam, die Rapid Variante RSTP ist vom Grundkonzept identisch aber reagiert schneller auf Topologieänderungen (~500ms)

Evolution von Ethernet

Bezeichnung(802.3): [Bitrate in Mbit/s] BASE/BROAD-[Art/Codierung] Bemerkung: früher statt Art/Codierung die max. Segmentlänge in 100m

Beispiele von relevanten in diesem Rahmen

■ 10 Mb/s: 10Base-T

100 Mb/s: 100Base-TX

■ 1000 Mb/s: 1000Base-T

Codierungsarten: T. TX. T1 Twisted Pair

SR. DR. LR optisch C Twinax

K Backplane

Autonegotiation ---

Für Rückwärtskompatibilität, damit Sender & Empfänger wissen was möglich ist. Umgesetzt mittels Fast Link Pulses FLP (seit 100BASE-TX) zwischen den regulären Normal Link Pulses NLP(10BASE-T).

M. Maggi 31. Mai 2023 Seite 3 von 4

100BASE-TX

Coderium NRZI + umwandeln von 4 Bits in 5-Bit PCS (4B5B)

 $\textbf{Start-of-Stream} \ \ \text{\"{a}hnlich} \ \ \text{zu} \ \ 10 \\ \text{BASE-T} \ \ \text{Preamble, bestimmte} \ \ \text{PCS} \ \ \text{Zeichen} \ \ \text{J/K}$

End-of-Stream markiert Ende des Frame, bestimmte PCS Zeichen T/R

IDLE NEU: die Leitung wird ununterbrochen mit IDLE gefüllt falls keine Nutzdaten, PCS Zeichen I

1000BASE-T -

- 5-wertiger Leitungscode PAM-5
- Vollduplex: Alle 4 Aderpaare in beide Richtungen dank Gabelschaltung
- Next-Page bei FLP

10GBASE-T ---

- 16-wertiger Leitungscode PAM-16
- Effizientere Verteilung der Bits auf Adernpaare
- forward error correction
- neuer Stecker ab CAT7: GG45

IP (Network Layer)

Router/Gateway

Verbinden verschiedene Netze mit potentiell unterschiedlichen Technologien

Lösen 2 Aufgaben:

Routing Aufbau und Update von Routingtabellen Forwarding Weiterleiten der Pakete anhand Routingtabellen

Tolwarding Weiterleiten der Fakete annand Nouthigtaber

Routing-Tabelle

löst: wie Kann ich welches Netz erreichen?

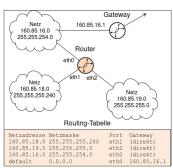
Bei hierarchischem Routing (Router wissen welche Netze an anderen Router sind forwarden entsprechend) kommen oft auch aggregierte Routen vor.

Wenn so z.B. 130.0.0.0/25 und 130.0.128.0/25 beide via den selben Router erreichbar sind wird diese Route aggregiert und als 130.0.0.0/24 zusammengefasst.

Beispiel

- Die Routing-Tabelle sei nach der Länge der Netzmaske sortiert
- Sie wird von oben nach unten durchsucht
- Aus der Zieladresse und Netzmaske wird eine Zielnetzadresse bestimmt
- Verglichen werden nur die Netzadressen
- Der erste Eintrag, der "passt", wird für die Weiterleitung verwendet ⁽¹⁾
- Der default-Eintrag am Schluss (falls vorhanden) passt immer





Classful Routing -

Ursprünglich wurden IP Adressen in 5 Routing Klassen eingetelt (Classful Routing). Die ersten vier Adressbits erlauben eine Bestimmung der Klasse. Wird nicht mehr gemacht weil oftmals Adressraum verschwendet wird.

Klasse	Adressbereich	Anzahl Netze Interfaces pro Net			
Α	1.0.0.0 - 127.255.255.255	127	16`777`214		
В	128.0.0.0 - 191.255.255.255	16`384	65`534		
С	192.0.0.0 - 223.255.255.255	2,092,125 52			
D	224.0.0.0 - 239.255.255.555	Multicas	Multicast Adressen		
E	240.0.0.0 - 255.255.255.255	Reserviert für zukünftige Nutzung			

Subnetting -

- das Netz in kleinere Subnetze teilen
- funktioniert simplifiziert durch beliebiges erweitern der Netzadresse
- hintereinanderliegende Netze können zusammengefügt werden

			= C-Netz 198.51.100.0 /24					
198.51. 0110 0101	.0000	0000	= C-Netz 198.51.101.0 /24					
			= C-Netz 198.51.102.0 /24					
198.51. 0110 0111	.0000	0000	= C-Netz 198.51.103.0 /24					
4	i							
198.51. 0110 01 00.0000 0000 = Subnetzmaske 255.255.252.0 oder /22								

Adressierung / IPv4

 $\mathsf{Adresse}\ \mathsf{eines}\ \mathsf{Host} = \mathsf{Netz}\text{-}\mathsf{Adresse}\ +\ \mathsf{Interface}\text{-}\mathsf{Adresse}$

Subnetzmaske



Netzadresse

- reserviert, darf NICHT für interfaces verwendet werden
- \bullet tiefste Adresse im Subnet \rightarrow alle interface bits 0
- ullet berechnung durch $InterfaceAdresse \wedge Subnetzmaske$

Broadcast-Adresse

- reserviert, darf NICHT für interfaces verwendet werden
- ullet höchste Adresse im Subnet ightarrow alle interface bits 1
- $\bullet \ \ \mathsf{berechnung} \ \mathsf{durch} \ InterfaceAdresse \lor invertierte \ Subnetz maske$

Private Adressen

Die 172.0.0.0/8 Adressen sind reserviert für Loopback und verlassen den Host nicht. Sie werden an ein emuliertes Loopback-Gerät geschickt dass direkt returned (kein Interface nötig).

Klasse	Netzadresse(n)	Anzahl Netze	Subnetzmaske
Α	10.0.0.0	1	255.0.0.0
В	172.16.0.0 - 172.31.0.0	16	255.255.0.0
С	192.168.0.0 - 192.168.255.0	256	255.255.255.0