

Medien

Ausbreitungsgeschwindigkeit

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

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

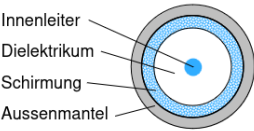
Signal-to-Noise-Ratio SNR

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

Kabel

Koaxial

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



Parasymmetrisch (Twisted Pair)

- + bereits lange im Einsatz
- + bei guter Qualität auch für Breitband geeignet
- mit oder ohne Schild

Shielded Twisted Pair (STP)

Bezeichnet nach ISO 11801: xx/yTP

xx steht für die Gesamtschirmung

- U ungeschirmt
- F Folienschirm
- S Geflechschirm
- SF Folien- & Geflechschirm

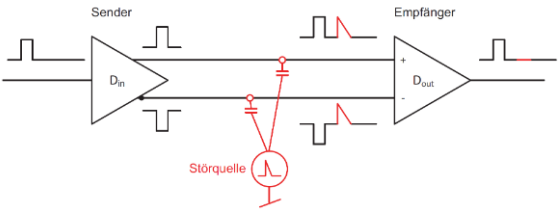
y steht für die Aderpaarschirmung

- U ungeschirmt
- F Folienschirm
- S Geflechschirm

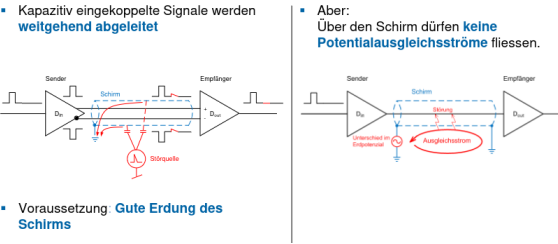
Störungen bei TP

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

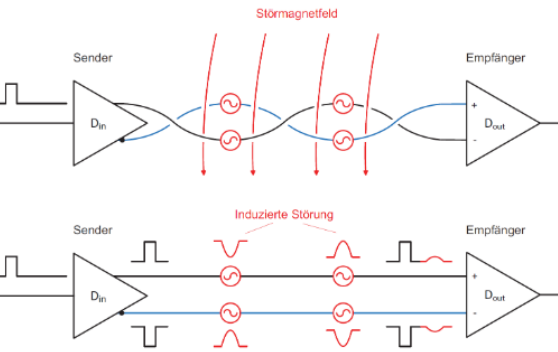
Kapazitive Störungen von benachbarten Leitungen heissen Crosstalk(über-/nebensprechen). Diese Störungen können durch ein invertiertes komplementäres Signal weitgehen aufgehoben werden. Der Empfänger subtrahiert die beiden Signale und eliminiert dadurch Störungen.



Alternativ können kapazitive Störungen mit einem leitenden Schirm abgefangen werden.



Induktive Störungen (durch ein Magnetfeld) können nicht durch ein komplementäres Signal alleine gelöst werden, da die die Störung auf beiden Signalen entgegengesetzt ist. Dies kann über verdrehen der Aderpaare 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 → hohe Datenrate
- + geringe Dämpfung → lange Übertragungsstrecken
- + resistent gegen elektromagnetische Störungen

Zentrum aus Kernglas mit hoher optischer Dichte (Brechungsindex $n_{kern} = 1.5$) umschlossen von Mantelglas mit 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 Zeitpunkt 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) $N_{Bit} = ld(\text{Anzahl Möglichkeiten})$

Zeichen

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

Baudrate

Schrittgeschwindigkeit = Leitungs-Symbole pro 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)

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

Potenzen (in der Kommunikation werden NICHT zweierpotenzen verwendet):

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

Kanalkapazität

Berücksichtigt neben der Bitrate auch Störungen

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

Flowcontrol

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

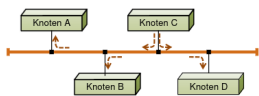
Kann auch implizit vorkommen, in dem der Sender nach jeder Nachricht auf eine Quittung wartet bevor er die nächste schickt

Ethernet

Begriffe

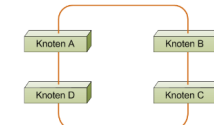
Topologien

Bus



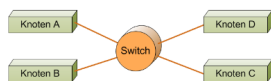
- Alle Stationen
 - sind passiv angeschlossen
 - hören Leitung permanent ab
 - werden aktiv, wenn sie etwas senden wollen
- Keine festgelegte Ausbreitungsrichtung
- Empfänger erkennt anhand einer Adresse, ob die Daten für ihn relevant sind

Ring



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

Stern



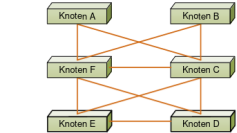
- Jede Station an zentralen Verteiler (Switch/Bridge) angeschlossen
- Verteiler entkoppelt Knoten elektrisch und macht LAN weniger störungsanfällig
- Verteiler sendet Daten, die er von einer Station erhält, an die anderen Knoten weiter

Linie



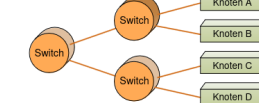
- Punkt-zu-Punkt Verbindungen zwischen benachbarten Knoten
- Alle Stationen müssen
 - Daten empfangen
 - Daten regenerieren
 - falls nötig weiterleiten
- Der Ausfall einer Station führt zur Segmentierung des LAN in zwei Teile

Vermascht (teilweise oder komplett)



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

Baum



- Hierarchische Erweiterung der Sterntopologie
- Intelligenten Switches ermöglichen einen Großteil der Kommunikation „lokal“
 - zwischen A und B bzw. C und D
- Dadurch Verringerung der Last für die einzelnen Switches

Übertragungsarten

Immer nur ein Sender! Anzahl empfänger unterscheidet sich

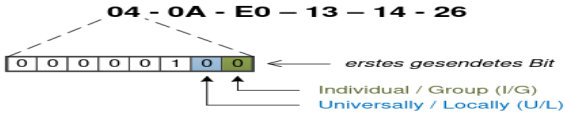
Unicast Genau 1 klar definierter Empfänger, Frame trägt dessen Adresse

Multicast Gruppe von Empfängern, Frame trägt Adresse dieser Gruppe

Broadcast An alle Knoten im LAN, Frame trägt Broadcast-Adresse

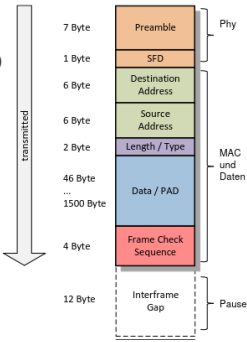
MAC-Adresse

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



Ethernet Frame

- Bit Synchronisation durch Präamble, Bytes & Frames durch Start Frame Delimiter (SFD = 1010'1011)
- Frame-Länge 64 ... 1518 Byte (ohne Präamble und SFD)
- Bytes nacheinander übertragen, pro Byte **LSB** zuerst
- Zahlenwerte (Length/Type/...) höchstwertiges Byte zuerst gesendet (Network Byte Order)
- Length/Type (2 Bytes):
 - Fall 1: Länge von DATA ohne PAD (≤ 1500)
 - Fall 2: Typ von DATA = Protokoll der nächsten Schicht (≥ 1536)
 - Beispiel: 0x0800 für IP
- Data / Padding (46 – 1500 Bytes):
 - Enthält die eigentlichen Datenbytes (Nutzinformation)
 - Bei weniger als 46 Bytes Nutzdaten wird mit Padding (PAD) Bytes aufgefüllt
- Frame Check Sequence, FCS (4 Bytes):
 - IEEE CRC-32 Algorithmus
- Interframe Gap, IFG (12 Bytes):
 - "Zwangspause" zwischen aufeinanderfolgenden Frames
 - Ist **NICHT** Teil des Ethernet Frames



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

$$\text{Sendedauer } T_{\text{frame}} = \frac{N_{\text{bit}} = (\text{FrameSize} + 8) * 8}{\text{Bitrate}}$$

$$\text{Dauer der Leitungsbelegung } T_{\text{leitung}} = \frac{N_{\text{bit}} + 96}{\text{Bitrate}}$$

Network Gear

Kreieren 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").

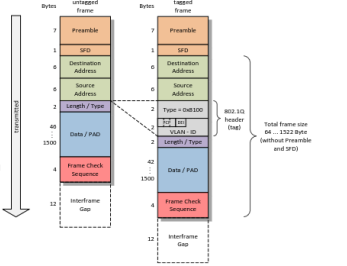
Bei VLAN gibt es 2 verschiedene Arten von Links (Verbindung zwischen Geräten).

Access Links nur einem VLAN zugehörig

Trunk Links oft zwischen Switches, gesendete Frames können mehreren VLANs angehören → 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:

- willkürliche aber eindeutige Root-Bridge wählen
- von Root aus Baum aufbauen
- redundante Pfade sperren

Algorithmus:

1. Initialisierung

- Alle Ports für Nutzdaten blockiert
- Annahme: "Ich bin Root"
- Austausch BPDUs mit Nachbarn

2. Aufbau des Spanning Tree

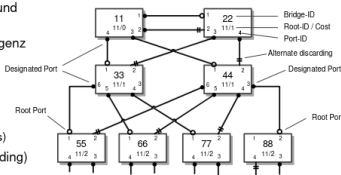
- Aufdatieren der Info zu Root (kleinste ID) und Pfadkosten zu dieser
- Austausch aufdatierter BPDUs bis Konvergenz

3. Setzen der Port Roles

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

BPDUs (Bridge Protocol Data Units) beinhalten:

Root-ID (aus lokaler Sicht):	8 Byte
Root-Cost (aus lokaler Sicht):	2 Byte
Bridge-ID ("Ich"):	8 Byte
Port-ID (Sende-Port):	2 Byte



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).

100BASE-TX

Coderung NRZI + umwandeln von 4 Bits in 5-Bit PCS (4B5B)
Start-of-Stream ähnlich zu 10BASE-T Preamble, bestimmte PCS Zeichen 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 Aderpaare
- 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

Routing-Tabelle

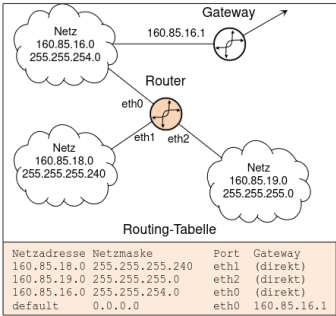
löst: wie Kann ich welches Netz erreichen?

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 Netzmaste sortiert
- Sie wird von oben nach unten durchsucht
- Aus der Zieladresse und Netzmaste 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

⁽¹⁾ Existieren gleichwertige Alternativen, werden zusätzliche Kriterien (z.B. Pfadkosten) verwendet



Classful Routing

Ursprünglich wurden IP Adressen in 5 Routing Klassen eingeteilt (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 Netz
A	1.0.0.0 – 127.255.255.255	127	16'777'214
B	128.0.0.0 – 191.255.255.255	16'384	65'534
C	192.0.0.0 – 223.255.255.255	2'097'152	254
D	224.0.0.0 – 239.255.255.555	Multicast Adressen	
E	240.0.0.0 – 255.255.255.255	Reserviert für zukünftige Nutzung	

Subnetting

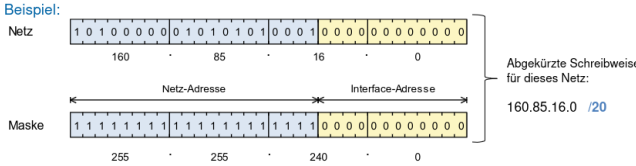
- das Netz in kleinere Subnetze teilen
- funktioniert simplifiziert durch beliebiges erweitern der Netzadresse
- hintereinanderliegende Netze können zusammengefügt werden

198.51.0110 0100	0000 0000	= C-Netz 198.51.100.0 /24
198.51.0110 0101	0000 0000	= C-Netz 198.51.101.0 /24
198.51.0110 0110	0000 0000	= C-Netz 198.51.102.0 /24
198.51.0110 0111	0000 0000	= C-Netz 198.51.103.0 /24
↓		
198.51.0110 01	00.0000 0000	= Subnetzmaske 255.255.252.0 oder /22

Adressierung / IPv4

Adresse eines Host = Netz-Adresse + Interface-Adresse

Subnetzmaske



Netzadresse

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

Broadcast-Adresse

- reserviert, darf NICHT für interfaces verwendet werden
- höchste Adresse im Subnet → alle interface bits 1
- berechnung durch $InterfaceAdresse \vee invertierte Subnetzmaske$

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
A	10.0.0.0	1	255.0.0.0
B	172.16.0.0 – 172.31.0.0	16	255.255.0.0
C	192.168.0.0 – 192.168.255.0	256	255.255.255.0