Willkommen bei Kommunikations- und Netztechnik!

-

Von Kupferkabel, Glasfaser und Mikrowelle
über Telefon, Ethernet und TCP
zu E-Mail, Webserver und REST.

-

Heute: **Bitübertragung**.

-

Vorstellungsrunde

- Firma
- Erfahrungen (Privat, Beruflich, . . .)

Sie sind Experten

- Seit 1 Jahr Spezialgebiet in der Arbeitsgruppe
- Zeit zum Weitergeben
- Beispiel aus Netztechnik 2018: Operational Transformation

Organisatorisches

- Klausurrelevanz:
  - Letzte Vorlesung

Praktisch für LaTeX

- Unicode Symbole: https://git.neo-layout.org/neo/neo-layout/src/branch/master/latex/Standard-LaTeX
- Komplexe Symbole: http://detexify.kirelabs.org/classify.html
- Schaut, ob es hier in den Folien schon Lösungen gibt.

Schichtmodell (diesmal niedrig zu hoch)

- Bitübertragungsschicht
- Fehlerkorrektur Sicherungsschicht
- Wege zum Ziel Vermittlungsschicht
- Näherungsweise verlässlicher Übertragungsweg Transportschicht
- Email etc. Anwendungsschicht

Größenkategorien

- PAN BT
- LAN Ethernet, Infrarot
- WAN VPN
- Internet

Nur sinnvoll abgrenzbare.

Entwurfsaspekte Schichten

Zuverlässigkeit

- Fehlererkennung (detection)
- Fehlerbehebung (correction)
- Garantien für Routing (Paket, Verbindung)

Resourcenzuteilung

- Multiplexing
- Flusskontrolle (Ziel)
- Netzüberlast (Congestion)
- Dienstgüte (Latenz, Bandbreite)

Weiterentwicklung

- Adressierung / Namensgebung
- Internetworking
- Skalierbarkeit

Sicherheit

- Vertraulichkeit
- Authentifizierung
- Integrität

Basisoperationen Socket

- Listen, Connect, Accpet, Receive, Send, Disconnect

Dienst vs. Protokoll

Fragen

Einsatzgebiete Netztechnik

Welche kritische Infrastruktur wäre bei einer Verwundbarkeit von Netztechnik zuerst betroffen? FÜr wie viele besteht dann Gefahr für Leib und Leben?

2023-10-16: Cisco Router 0-day with maximum severity already exploited for four weeks.

Ziele Theorie

- Nyquist kennen und anwenden
- Shannon kennen und anwenden
- Kennen und Erklären der Begriffe: duplex, simplex etc.

Echte Signale sind nie scharf

Idealisiert:

```
 1   0   1   1   0   1   1   1   0   1

  _____     _____     __        _
_|     |__|     |__|  |_____|
```

- Kapazitäten verzögern den Anstieg: Kondensator
- Induktivitäten verursachen Schwingungen: Spule
- Verluste dämpfen: Wärme/Innere Reibung

Signale aus Wellen.

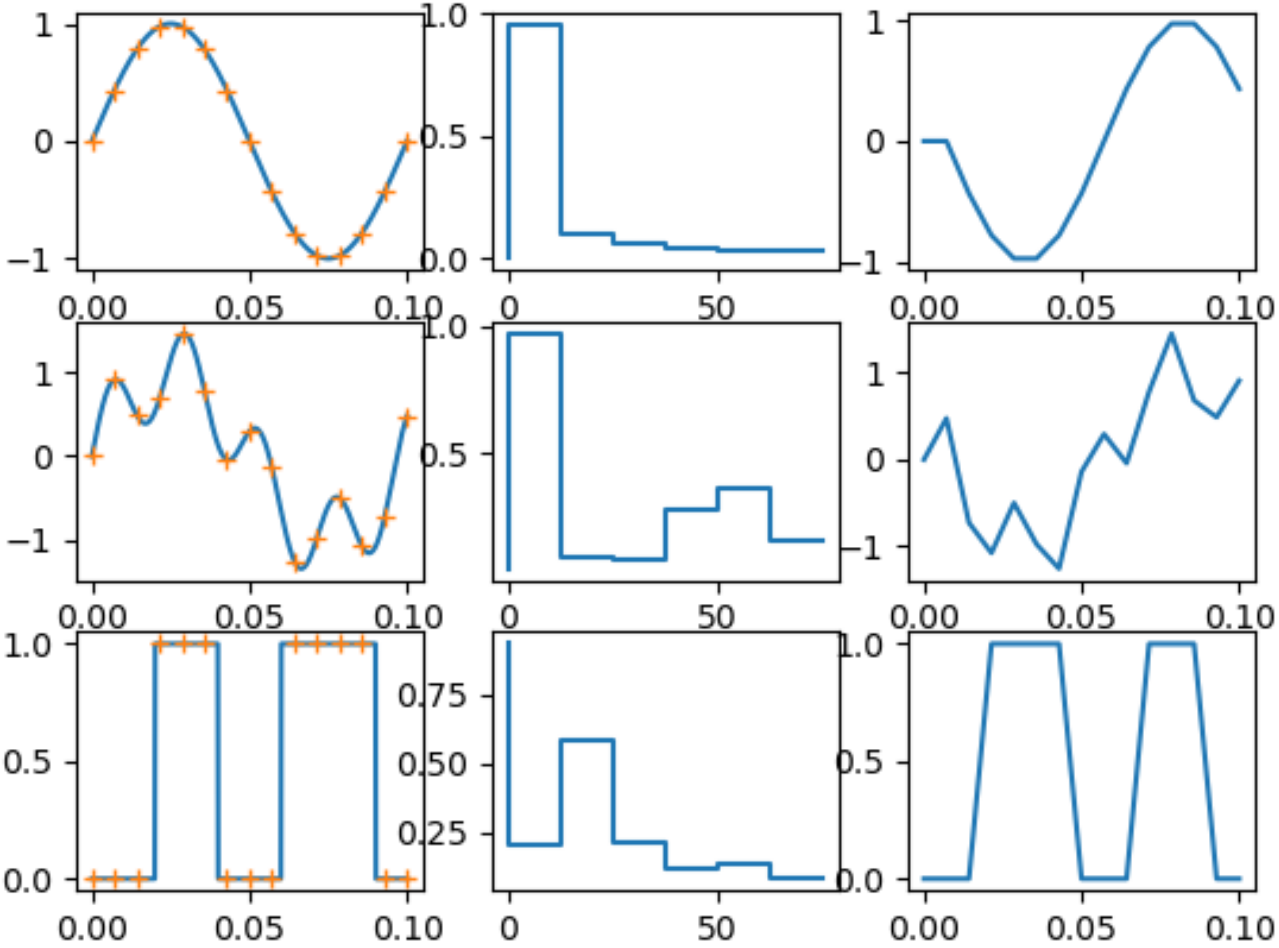
Fourier Analyse

- eine periodische Funktion $g(t)$ mit der Periode T kann aus einer Summe von Sinus- und Cosinusfunktionen konstruiert werden

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

- $f = \frac{1}{T}$ ist die fundamentale Frequenz
- a_n und b_n sind die Sinus- bzw. Cosinusamplituden der nten Harmonie
- c ist eine Konstante
- https://www.youtube.com/watch?v=spUNpyF58BY

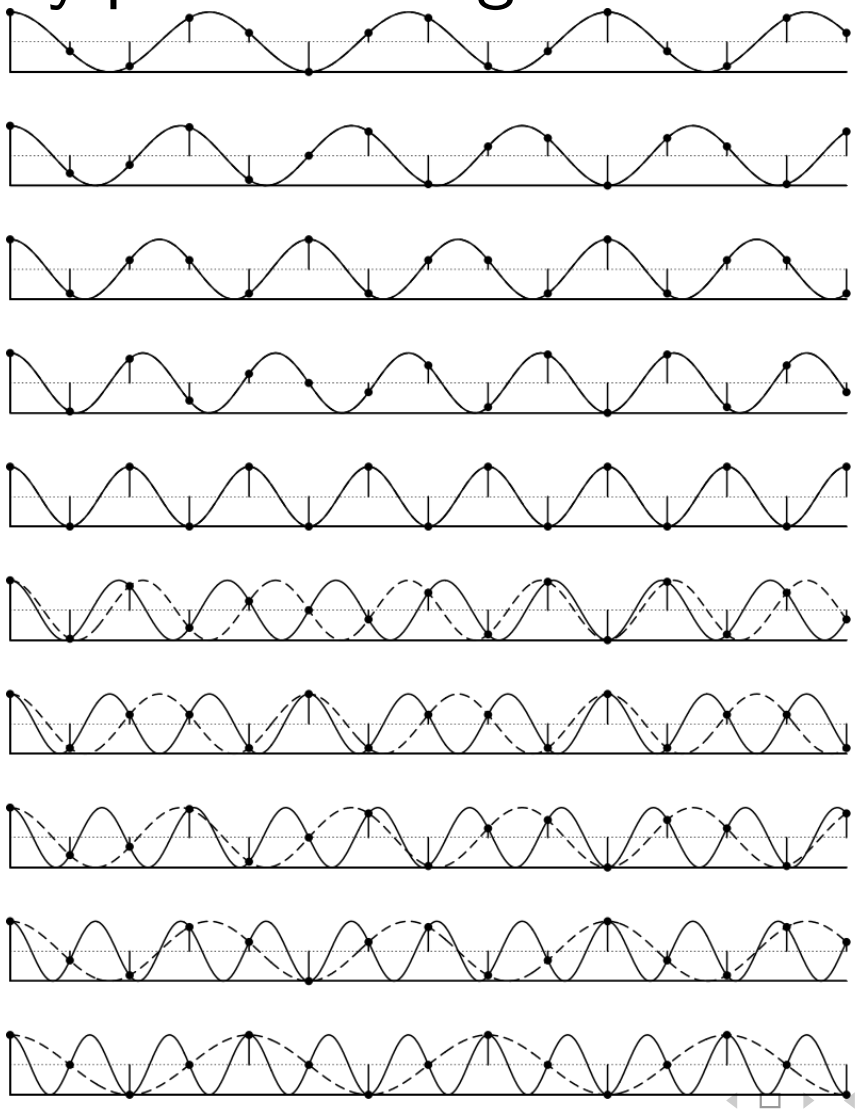
Fourier Analyse Beispiele



Fourier Analyse

- mehrere Harmonien werden benötigt, um Signal korrekt abzubilden
- der Frequenzbereich, der nicht zu stark gedämpft wird wird als Bandbreite bezeichnet
- nicht zu stark: meist der Bereich bis zu der Frequenz bei der noch die Hälfte ankommt
- Ziel: nur so viel Bandbreite verwenden, wie benötigt wird um Signal zuverlässig wiederherzustellen

Fourier-Grenze: Nyquist Aliasing



Bandbreite != Bandbreite

- analoge Bandbreite: Frequenzbereich in Hz
- digitale Bandbreite: maximale Datenrate in bit/s

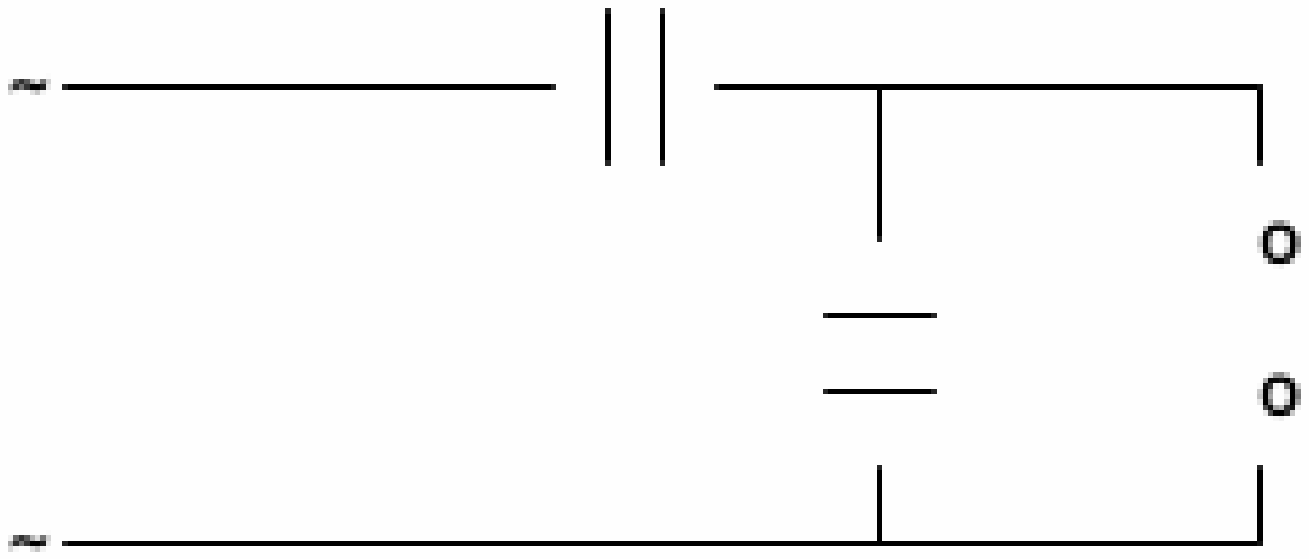
Beispiel: Radio, Sender bei 106,3 MHz, analoge Bandbreite: Halber Abstand zu nächsten Sendern.

Bandbreite konkret

Grundkonzept: Durch einen Kondensator fließt nur Strom, während er lädt.

- Kondensator zwischen Eingängen als Tiefpass filtert hohe Frequenzen raus
- Kondensator in einem Eingang als Hochpass filtert niedrige Frequenzen raus

Bandpass: Schaltung



https://de.wikipedia.org/wiki/Tiefpass

Nyquist-Shannon-Abtasttheorem

- Ein Signal mit der Bandbreite B kann rekonstruiert werden, wenn die Abtastrate mindestens $2B$ beträgt

$$\text{maximum data rate bit/s} = 2B log_2 V$$

- B: Bandbreite in Hz
- V: Anzahl der Level (2 bei binary)

Unterabtastung für Bandpass: https://de.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Shannon-Abtasttheorem#Unterabtastung

Nyquist: Übung 1

Berechne die maximale Datenrate für ein binäres Signal (V=2) mit einer analogen Bandbreite B von 3 kHz.

$$\text{maximum data rate} = 2B log_2 V$$

Nyquist: Übung 1

Berechne die maximale Datenrate für ein binäres Signal (V=2) mit einer analogen Bandbreite B von 3 kHz.

$$\text{maximum data rate} = 2B\log_2 V$$

6000 bit/s Was ist die maximale Datenrate bei einer bestimmten Bandbreite?

Wieso ist das eine Trickfrage?

Erweiterung um SNR (Shannon)

- SNR (Signal-Noise-Ratio) Signal-Rausch-Abstand
  - in dB angegeben
- maximum number of bits/sec $= Blog_2(1 + S/N)$
- SNR nach $\frac{S}{N}$: SNR $= 10 \log_{10}(\frac{S}{N})$
- SNR zur Bewertung der Qualität einer Leitung
- Nutzsignal S muss sich von Rauschen N genug abheben
- sehr große Zahlen –> Verwendung von dB
- ergibt die theoretische maximale Datenübertragungsrate
  - praktisch geringer da overhead durch modulation etc.

Shannon: Übung 2

Berechne die maximal Bitrate für ADSL (Bandbreite 1 MHz, SNR 40 dB).

- maximum number of bits/sec $= B log_2(1 + S/N)$
- SNR nach $\frac{S}{N}$: SNR $= 10 \log_{10}(\frac{S}{N})$

Shannon: Übung 2

Berechne die maximal Bitrate für ADSL (Bandbreite 1 MHz, SNR 40 dB).

- maximum number of bits/sec $= Blog_2(1 + S/N)$
- SNR nach $\frac{S}{N}$: SNR $= 10 \log_{10}(\frac{S}{N})$

$\sim$ 13 Mbps

Shannon: Übung 2 Bandbreiten

SNR	S/N
10	10
20	100
30	1000
...	...

- $40dB = 10\log_{10}(x)$
- $4dB = \log_{10}(x)$
- $10^4 = x = 10000 = \frac{S}{N}$
- Bitrate $= 1000\text{MHz}\log_2(10001) \approx 13Mbps$

Full-duplex & Co

- Simplex (simplex): Übertragung in eine Richtung
  - Rundfunk
- Halbduplex (half duplex): Abwechselnde Übertragung in beide Richtungen
  - CB Funk
- Vollduplex (full duplex): Gleichzeitige Übertragung in beide Richtungen
  - 1000BASE-T
- Dual-Simplex (dual simplex): ähnlich Vollduplex, aber getrennte Sende- und Empfangsleitungen
  - PCIE, 100BASE-TX

Zusammenfassung Theorie

- Nyquist: Maximale Datenrate aus Bandbreite und Levelzahl V:

$$\text{maximum data rate} = 2Blog_2V$$

- Shannon: Datenrate mit Rauschen:
  maximum number of bits/sec $= Blog_2(1 + S/N)$
  SNR nach $\frac{S}{N}$: SNR $= 10\log_{10}(\frac{S}{N})$
- SNR (Signal-Noise-Ratio) Signal-Rausch-Abstand
  - in dB angegeben
- Simplex: Signale in eine Richtung
- Halbduplex: Abwechselnde Übertragung
- Vollduplex: Signale in beide Richtungen
- Dual-Simplex: Zwei Simplex-Verbindungen

Übertragungsmedien

Die Physikalische Grundlage des Signaltransports.

Ziele Übertragungsmedien

- Unterteilung der Übertragungsmedien kennen
- Kennen der Eigenschaften einiger Übertragungsmedien

Sammlung von Übertragungsmedien

- LKW voller Festplatten
- Kupferkabel
- LWL (Lichtwellenleiter)
- Elektromagnetisch
- Infrarot
- Laser
- Schall

LKW: hohe Datenübertragungsrate, aber schlechte Latenz.

Kategorisierung

- Kabelgebundene Medien
  - Strom
    - TP (Twisted Pair)
    - Koaxialkabel
    - Stromkabel
  - LWL (Lichtwellenleiter)
- Kabellose Medien
  - Elektromagnetisch (zB: Mikrowelle)
  - Infrarot (IR)
  - Sichtbares Licht (VIS, zB: Laser)

Twisted Pair

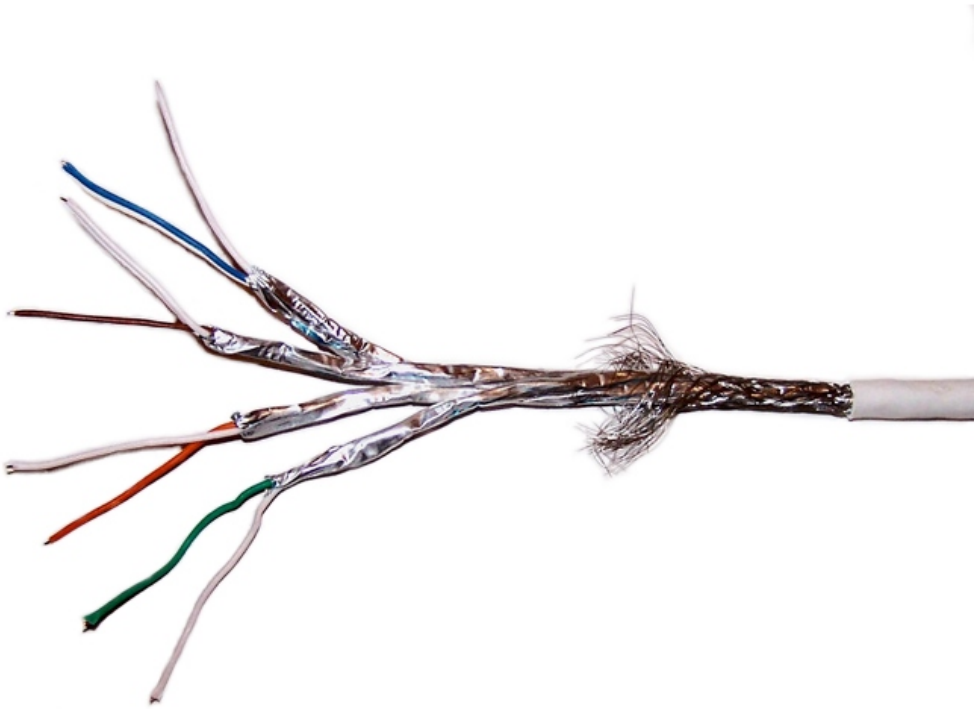


Abbildung: S-FTP Cat 7 Wikipedia public domain S-FTP_CAT_7.jpg

S screened, Geflechtschirm, Gesamtschirmung

F foiled, Folienschirm, Aderpaarschirmung

TP Twisted Pair

Twisted Pair Beschreibung

- 2 ineinander gedrehte Adern
- Signal als Potential zwischen den 2 Adern
- mehrere Kilometer ohne Verstärkung möglich
- wird in Kategorien Cat 3 usw. unterteilt
- LAN Standards verwenden nicht immer alle Adern
- Durch die Verdrillung gleichen sich die Wellen der einzelnen Adern aus
- Rauschen beeinträchtigt beide Adern gleich
  –> Potential wird kaum verzerrt
- 100 Mbps 2/4 Paaren, ein Paar für jede Richtung

Twisted Pair Kategorien

Cat	Typ	Bandbreite	Anwendung
Cat 3	UTP	16 MHz	10Base-T, Telefon
Cat 5e	UTP	100 MHz	1000Base-T
Cat 6A	STP	500 MHz	10GBase-T

Koaxialkabel

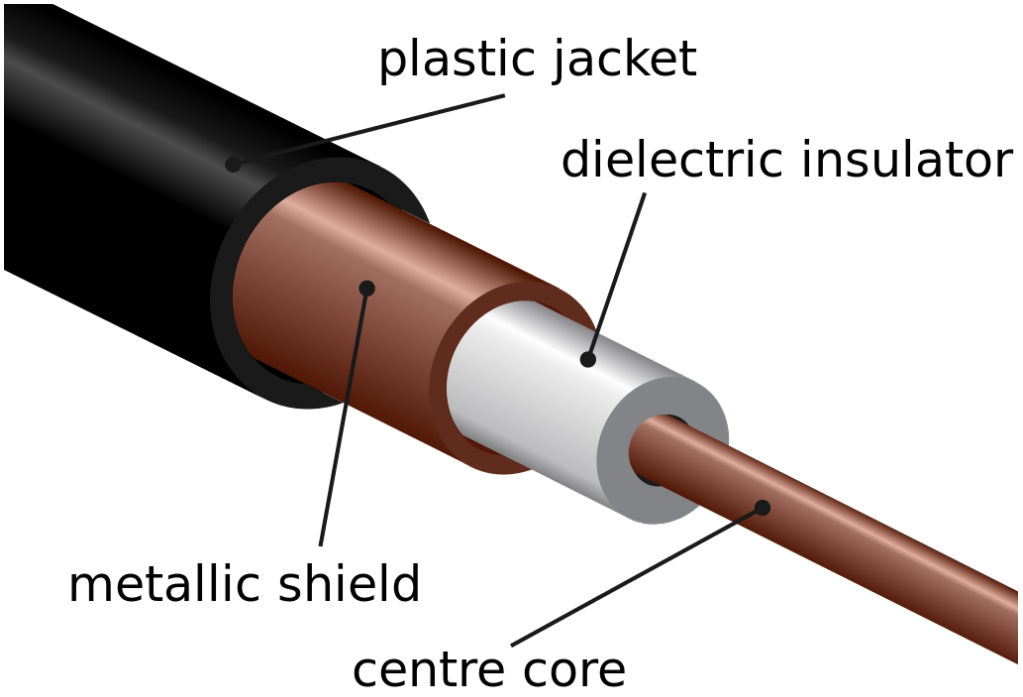


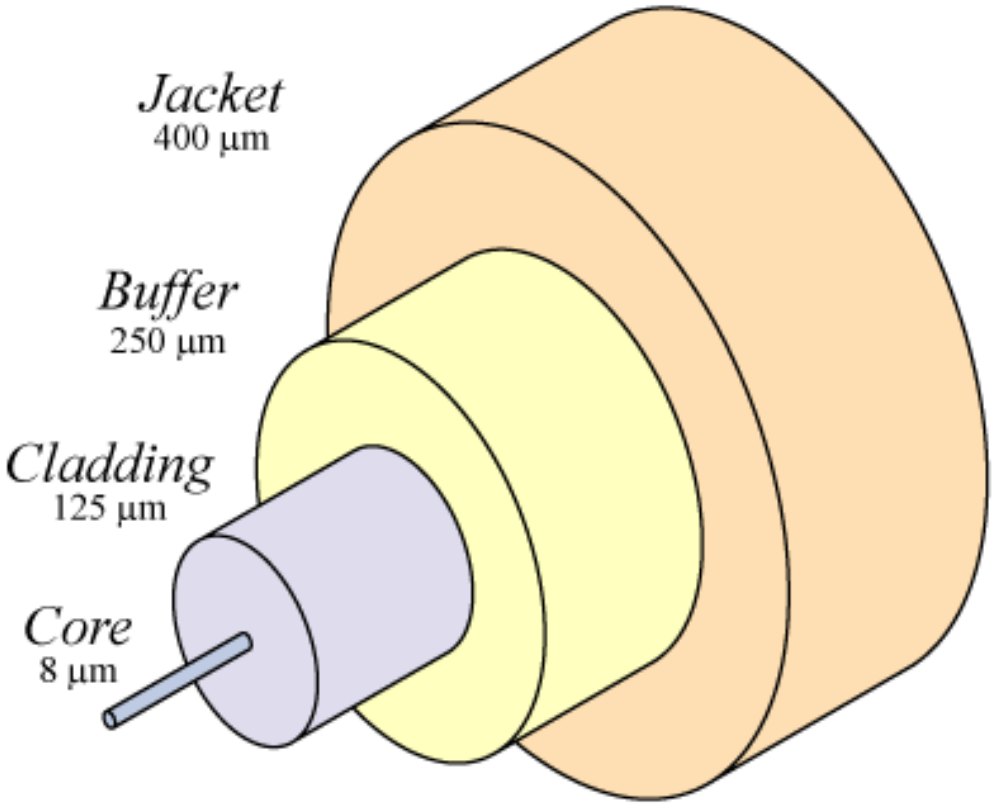
Abbildung: Koaxialkabel, Tkgd2007 2008, cc by, Coaxial_cable_cutaway.svg

- bessere Abschirmung
- größere Bandbreite (mehrere GHz)
- Anwendung: Kabelfernsehen/Inet

Stromkabel

- eigentlich nicht für Datenübertragung gedacht (nicht für hohe Frequenzen optimiert)
- Problem: unterschiedliche Kabel in verschiedenen Häusern
- Induktive und Kapazitive Lasten erzeugen Rauschen
- schlechte Schirmung
- 100 Mbps
- Erfahrung im Bekanntenkreis: teils suboptimal

LWL (Lichtwellenleiter)



- Core aus Glas
- Cladding aus Glas mit niedrigerem Brechungsindex
- Mantel aus Plastik

Abbildung: Singlemode_fibre_structure.png
cc by-sa DrBob, Wikipedia

LWL

- Multimode: Totalreflexion am Rand
  - transportiert Licht verschiedener Wellenlängen
  - Core: 50 Mikrometer
- Singlemode: Licht kann sich nur in einer Linie ausbreiten
  - teuer
  - große Distanzen
  - 100 Gbps über 100 km ohne Verstärkung
  - Core: 8-10 Mikrometer

Verbindungen von LWL

- Stecker
  - 10-20% Verlust
- Splicen
  - mechanisch: 10% Verlust
  - verschmelzen: auch hier Dämpfung

LED vs. Laser

Kategorie	LED	Laser
Datenrate	niedrig	hoch
Typ	Multimode	beides
Distanz	kurz	lang
Lebenszeit	hoch	kurz
Temperaturempfindlichkeit	gering	groß
Kosten	niedrig	teuer

Vergleich mit Kupfer

- höhere Bandbreiten möglich
- niedrigere Dämpfung
- weniger Störanfällig
- dünn und leicht
- benötigt weniger Platz in Schächten
- Kupfer kann verkauft werden

Kabellose Übertragung

Modulation von Amplitude, Frequenz oder Phase übertragen

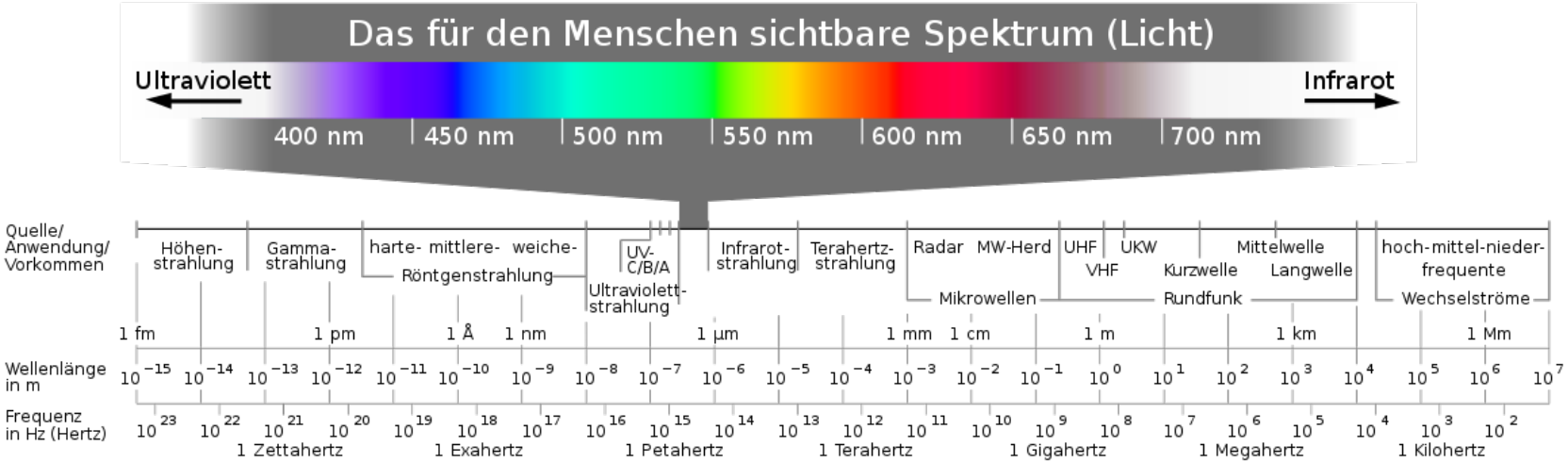


Abbildung: Electromagnetic_spectrum_-de_c.svg, Horst Frank / Phrood / Anony, cc by-sa

Radio Spectrum Nutzung

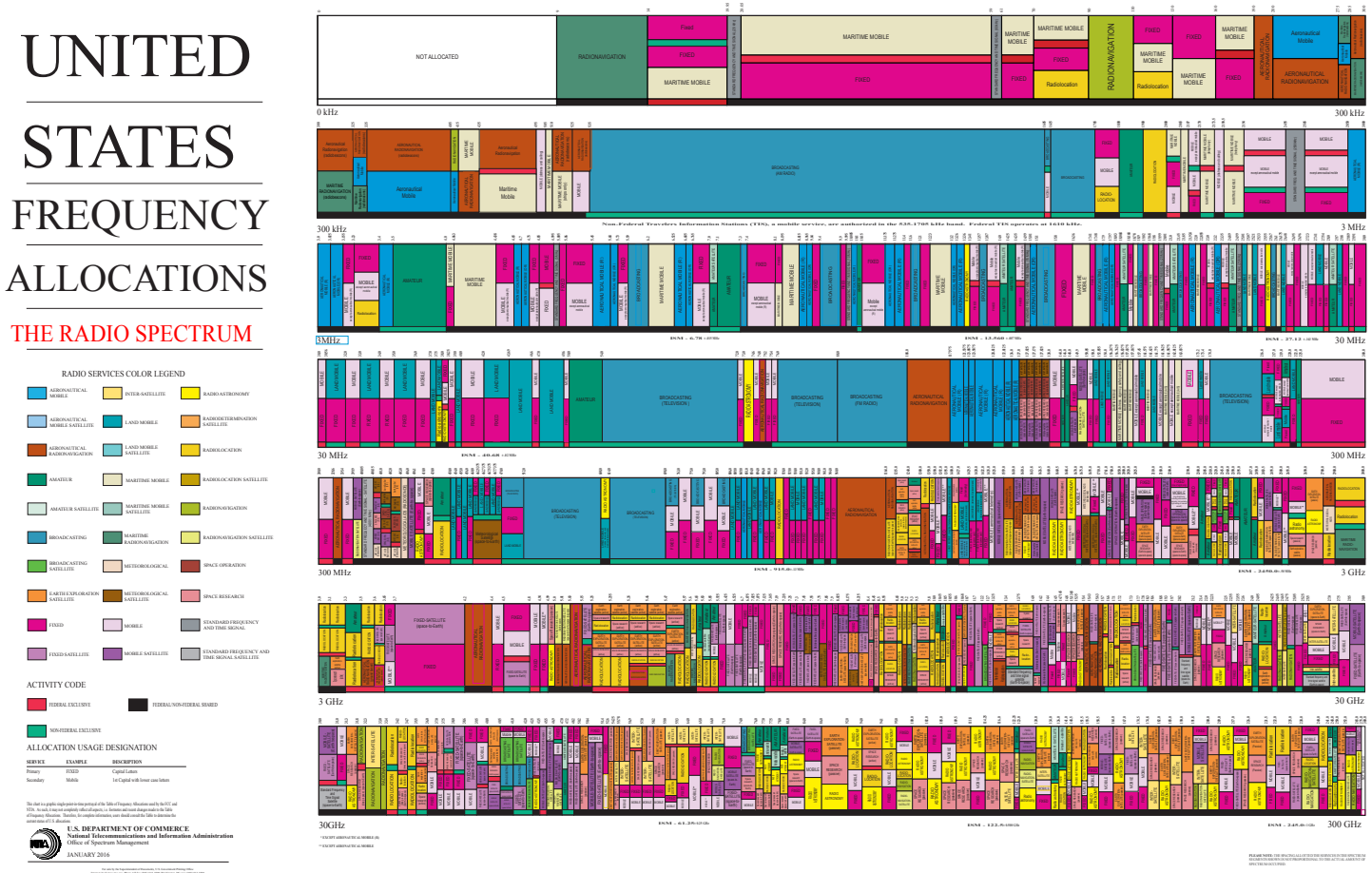


Abbildung: United_States_Frequency_Allocations_Chart_2016_-_The_Radio_Spectrum.pdf, public domain

Radio Spectrum, ISM+

ISM (Industrial, Scientific, Medical)

- verwendung des Spektrums ist staatlich geregelt
- eine Bereiche sind für die allgemeine Verwendung freigegeben
  - in diesen Bereichen wird jeweils die maximale Sendeleistung reguliert
  - maximale Sendeleistung wird auf Länderebene reguliert

Tiefer einsteigen: 35c3: Die verborgene Seite des Mobilfunks

Zusammenfassung Übertragungsmedien

Unterteilung:

- Kabelgebunden vs. Kabellos
- Träger: Strom vs. Licht vs. Schall vs. . . .

Eigenschaften:

- Twisted Pair: Verdrillte Adern bringen Rauschresistenz
- Koaxialkabel: Gute Abschirmung, große Bandbreite
- Stromkabel: Nicht für hohe Frequenzen optimiert und starkes Rauschen
- Lichtwellenleiter (LWL, „Glasfaser“): Große Reichweite durch geringe Dämpfung.
  - Singlemode: 100 Gbps über 100 km ohne Verstärkung, aber teuer

Digitale Modulation

Umwandlung eines digitalen Signals in ein Analoges.

Ziele Digitale Modulation

- Leitungscodes: Kennen der Begriffe Bandbreitenbedarf, Taktrückgewinnung und Gleichstromfreiheit
- Digitale Modulation: Kennen und Anwenden einiger Methoden zur digitalen Modulation

Grundlagen

- Baseband (Basisband): Signal verwendet Frequenzen von 0 Hz bis zu einem Maximum
- Passband (Durchlassband): Signal verwendet Frequenzbereich um die Trägerfrequenz herum
- mehrere Bewertungskriterien für Leitungscodes

Kriterien

- Bandbreitenbedarf
  - Schrittrate: Anzahl der Signalwechsel pro Sekunde
    - kann größer als Datenübertragungsrate sein
    - bestimmt benötigte Bandbreite
  - –> Leitungscodes sollten geringe Schrittrate erzeugen
- Taktrückgewinnung
  - kann aus dem Signal der verwendete Takt zurückgewonnen werden
  - ansonsten werden sehr genaue (teure) Uhren benötigt
- Gleichstromfreiheit
  - im Mittel sollten 0V auf der Leitung liegen

NRZ Non Return To Zero

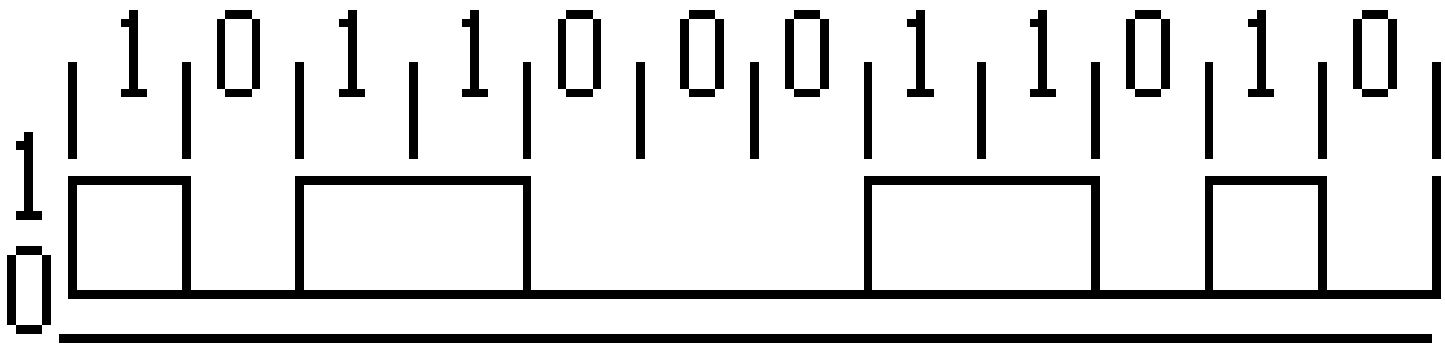


Abbildung: Vlad Alexa (mancini), commons.wikimedia.org/wiki/File:Nrz-lb.gif, cc by-sa

- 2 Pegel (entspricht 1 bzw. 0)
- Bandbreitenbedarf: halbe Schrittrate
- Gleichstromfreiheit: schlecht
- Taktrückgewinnung: schlecht bei langen 0 oder 1 Folgen

NRZ Non Return To Zero, ff

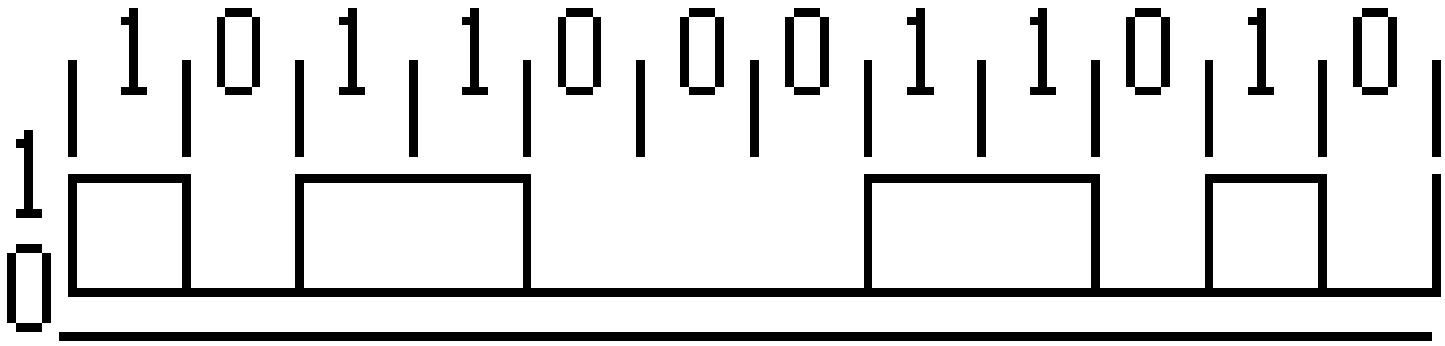


Abbildung: Vlad Alexa (mancini),
commons.wikimedia.org/wiki/File:Nrz-lb.gif, cc by-sa

- Separate Leitung für den Takt ist teuer
- bessere Lösung: Integrierung des Takts in das Signal
  - XOR Datensignal mit Taktsignal
  - –> Manchester

Manchester

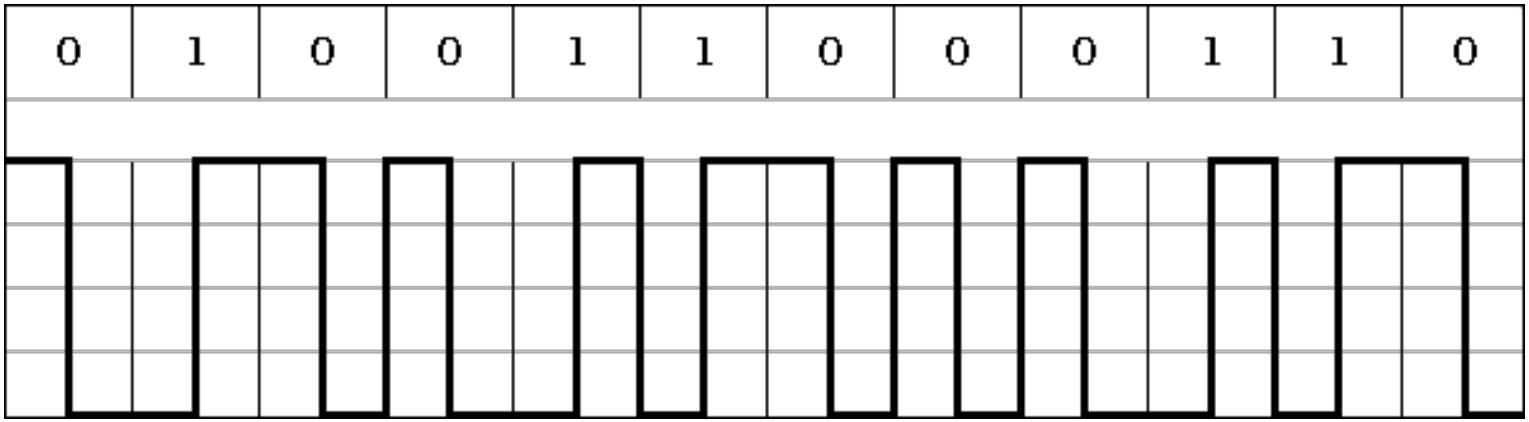


Abbildung: custode, commons.wikimedia.org/wiki/File:Manchester-code.png, public domain

- Richtung der Flanke ergibt Symbol
  - 0: low-to-high
  - 1: high-to-low
- verwendet im klassischen Ethernet
- Bandbreitenbedarf: Schrittrate

NRZI Non Return To Zero Inverted: NRZ-M

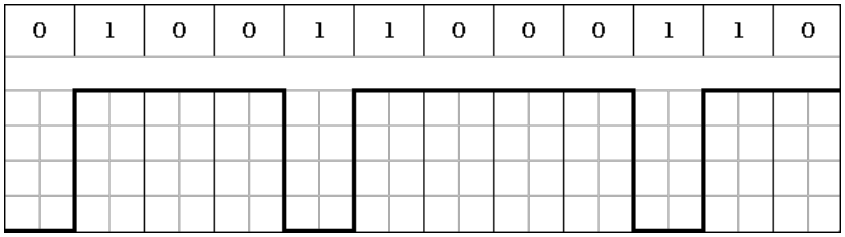


Abbildung: commons.wikimedia.org/wiki/File:NRZI-code.png, Public Domain, Custode.

- Flanke: 1
- keine Flanke: 0
- Bandbreitenbedarf: halbe Schrittrate
- Taktrückgewinnung: nicht bei langen Folgen von 0
- Gleichstromfreiheit: schlecht
- Lösung für Taktrückgewinnung
- lange 0 Folgen einfach verbieten

NRZI Non Return To Zero Inverted: NRZ-S

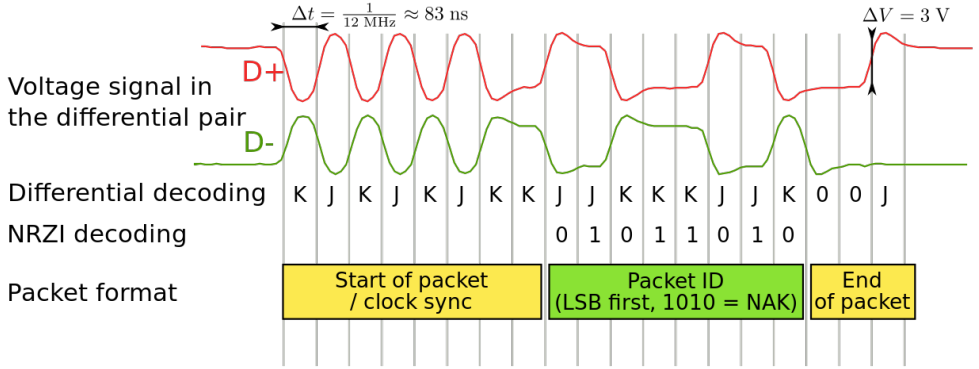


Abbildung: Example of a Negative Acknowledge packet transmitted by USB 1.1 full-speed device when there is no more data to read. It consists of the following fields: clock synchronization byte, type of packet, and end of packet. Data packets would have more information between the type of packet and end of packet. USB_signal_example.svg Petteri Aimonen, CC0

- Flanke: 0
- keine Flanke: 1
- von USB verwendet

Einwurf: Blockcodierungen I

- 4B/5B: 4 Bit Nutzdaten werden in 5 Bit dargestellt
  - –> 25% Overhead
  - Bitmuster mit mehr als 3 aufeinanderfolgenden 0en werden nicht verwendet
- andere wie 8B/10B (gute Gleichstromfreiheit)

4B	5B	4B	5B
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

AMI Alternate Mark Inversion

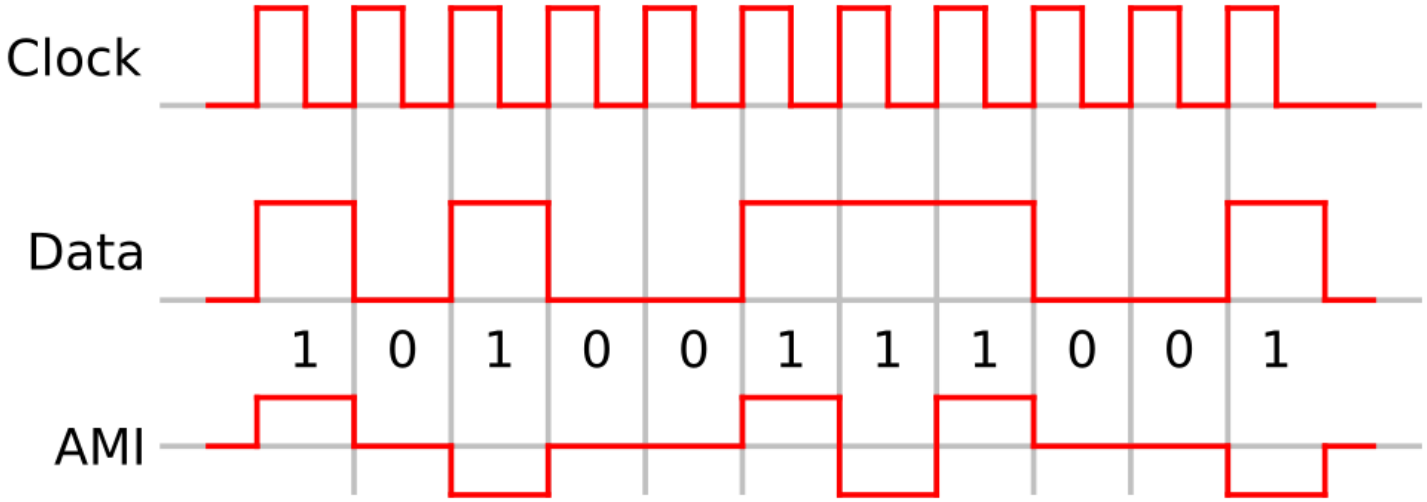


Abbildung: Keenan Tims, commons.wikimedia.org/wiki/File:Ami_encoding.svg, public domain

- verwendet 3 Pegel (-, 0, +)
- 0: verwendet 0 Pegel
- 1: abwechselnd + und -

- Bandbreitenbedarf: halbe Schrittrate
- Gleichstromfreiheit: gut
- Taktrückgewinnung: schlecht

Einwurf: Durchlassband (Passband) I

- niedrige Frequenzen im Funk benötigen große Antennen
- mehrere Signale können in einem Kabel übertragen werden
- Basisbandsignal [0, B] wird auf Intervall [S, S+B] gemappt
- Modulation von:
  - Amplitude (ASK, Amplitude Shift Keying)
  - Frequenz (FSK, Frequency Shift Keying)
  - Phase (PSK, Phase Shift Keying)
- bei PSK können mehrere Winkel verwendet werden
- Modulationen können kombiniert werden
  - aber nicht F und P: hängen zusammen

Übung 3

Übermittele das Byte AF_{16} 4B/5B codiert mit NRZI.

- $AF_{16} = 10101111_2$
- $1010_{4B} = 10110_{5B}$ und $1111_{4B} = 11101_{5B}$

```
 1   0   1   1   0   1   1   1   0   1

  _____     _____     __        _
_|     |__|     |__|  |_____|
```

Zusammenfassung Modulation

- Bandbreitenbedarf: Anzahl der nötigen Signalwechsel pro Bit
- Taktrückgewinnung: Takt des Signals aus dem Signal selbst
- Gleichstromfreiheit: Im Mittel kein Strom auf dem Kabel
- NRZ Non Return To Zero: 2 Pegel, gleich dem Bitwert (0 oder 1)
- Manchester: Wechsel bei jedem Schritt, Richtung des Wechsels ist Signal.
- NRZI Non Return To Zero Inverted: Pegelwechsel bei 1. Lange Null-Folgen verbieten.
- AMI: 1 Wechselt zwischen 1 und -1. 0 ist 0.

Multiplexing

- mehrere Signale auf einer Leitung
- Analogie: Mehrere Personenpaare unterhalten sich gleichzeitig

Ziele Multiplexing

- Kennen einiger Multiplexing Methoden
- Anwenden von CDMA

FDM (Frequency Division Multiplexing)

- Verfügbares Spektrum wird in Bereiche unterteilt
- jeder Nutzer hat exklusive Nutzung des Bereichs
- Bsp: analoges Radio
- Personen sprechen in unterschiedlichen Stimmlagen
- Guardbands

TDM (Time Division Multiplexing)

- jeder Nutzer hat für kurze Zeit exklusive Nutzung des gesamten Mediums
- Nutzer wechseln sich round-robin ab
- Bsp: Teile von ISDN
- Personen sprechen abwechselnd
- Guardtimes

CDMA (Code Division Multiple Access) I

- jede Bitzeit wird weiter in m Intervalle unterteilt (chips)
- m ist oft 64 oder 128, im Beispiel: 8
- jedes Signal hat eine eigenen m-stelligen Bitcode (chip sequence)
  - Bsp: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)
- um eine 1 zu übertragen wird die chip seq übertragen
- für eine 0 die invertierte chip seq
- Benötigte Bandbreite steigt um Faktor m
- alle zu übertragenden Signale werden addiert und über das Medium übertragen

CDMA (Code Division Multiple Access) II

- der Empfänger kann mit Kenntnis der chip seqs das Signal decodieren
- Personen sprechen in unterschiedlichen Sprachen

CDMA Struktur

- S ist die chip seq von Signal S
- $\overline{S}$ ist die invertierte chip seq von Signal S
- alle chip seq sind paarweise orthogonal
  - –> $S \bullet T = 0$ mit $S \bullet T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} S_i T_i$
- um diese Sequenzen zu erzeugen werden Walsh Codes verwendet
- $S \bullet S = 1$ und $S \bullet \overline{S} = -1$
- $S \bullet T = 0$ impliziert $S \bullet \overline{T} = 0$

CDMA Beispiel

- $A = (-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)$
- $B = (-1, -1, +1, -1, +1, +1, +1, -1)$
- $\overline{B} = (+1, +1, -1, +1, -1, -1, -1, +1)$
- A sendet 1 und B sendet 0

CDMA Beispiel

- $A = (-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)$
- $B = (-1, -1, +1, -1, +1, +1, +1, -1)$
- $\overline{B} = (+1, +1, -1, +1, -1, -1, -1, +1)$
- A sendet 1 und B sendet 0

Anwendung

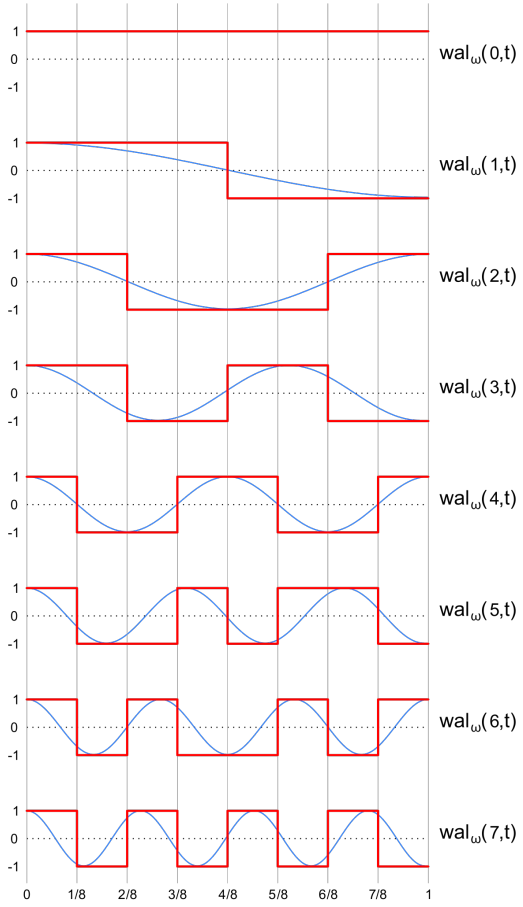
- $S = A + \overline{B} = (0, 0, -2, +2, 0, -2, 0, +2)$
- $S \bullet A = \frac{0+0+2+2+0+2+0+2}{8} = 1$
- $S \bullet B = \frac{0+0-2-2+0-2+0-2}{8} = -1$

Ergebnis von S ▪ X

- 1: Signal X überträgt 1
- -1: Signal X überträgt 0
- 0: Signal X nicht beteiligt

Vereinfachung hier: Synchrone Übermittlung.

Walsh-Kaczmarz-Funktionen



commons.wikimedia.org/wiki/File:Walsh-18-Fourier.svg

Zusammenfassung:

- FDM: Nach Frequenzbereichen aufteilen, z.B. Farbe oder Tonhöhe
- TDM: Nach Zeitscheiben aufteilen: Nacheinander senden.
- CDMA: Auf allen gemeinsamen Frequenzen senden, mit Walsch-Code codieren und extrahieren. $S \bullet A =$ Bitwert.

Zusammenfassung

- Nyquist + Shannon: Mögliche Datenrate bei Frequenz-Bandbreite.
- Medien: Kabelgebunden vs. Kabellos. Twisted Pair, Koaxialkabel, Lichtwellenleiter, Kabellos. ISM Spektrum.
- Digitale Modulation
  - Kriterien: Bandbreitenbedarf, Taktrückgewinnung, Gleichstromfreiheit.
  - Methoden: NRZ, Manchester, NRZI, AMI
- Multiplexing: FDM, TDM, CDMA
  - CDMA: Orthogonale Codierung auf mehreren Frequenzen, Multiplikation mit Code gibt Bitwert.

Verweise I

Buch: Tanenbaum and Wetherall (2012).

Tanenbaum, A. S. and Wetherall, D. J. (2012). *Computernetzwerke* -. Pearson, München, 5 edition.

Klausurfragensammlung

Feedback

https://cryptpad.digitalcourage.de/poll/#/2/poll/edit/kNqSsf+Hp7B0VXXOtB3I6qiu/

Netztechnik Übungsblatt 1 I

Bearbeitung: Gruppen bis zu 3 Personen. Nächstes Mal besprechen.

Aufgabe 1

Berechne die maximale Datenrate für das Telefonnetz (300 - 3400Hz) bei der Übertragung von Bits.
Wie verändert sich die Datenrate bei einer SNR von 20dB?

Aufgabe 2

Netztechnik Übungsblatt 1 II

- $A = (-1 - 1 - 1 + 1 + 1 - 1 + 1 + 1)$
- $C = (-1 + 1 - 1 + 1 + 1 + 1 - 1 - 1)$
- $D = (-1 + 1 - 1 - 1 - 1 - 1 + 1 - 1)$
- $S = (0, -2, 0, +2, +2, 0, 0, +2)$

Gegeben sind die chip sequences für die Kanäle A, C und D und das Signal auf der Leitung S. Berechne aus S welche Information die einzelnen Kanäle übertragen.

Aufgabe 3

Zeichne für die Bitfolge 10100110 den Signalverlauf für NRZ, NRZ-I und AMI.

Aufgabe 4

Wie wird das Byte $0D_{16}$ in 4B/5B encodiert?

Viel Erfolg bei den Übungen!