

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 L^AT_EX

- 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.

Dienst vs. Protokoll

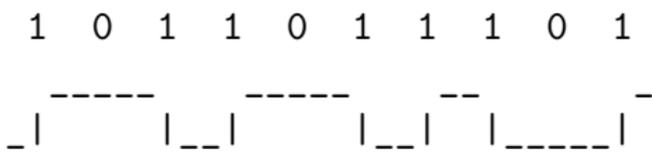
Fragen

Ziele Theorie

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

Echte Signale sind nie scharf

Idealisiert:



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

Signale aus Wellen.

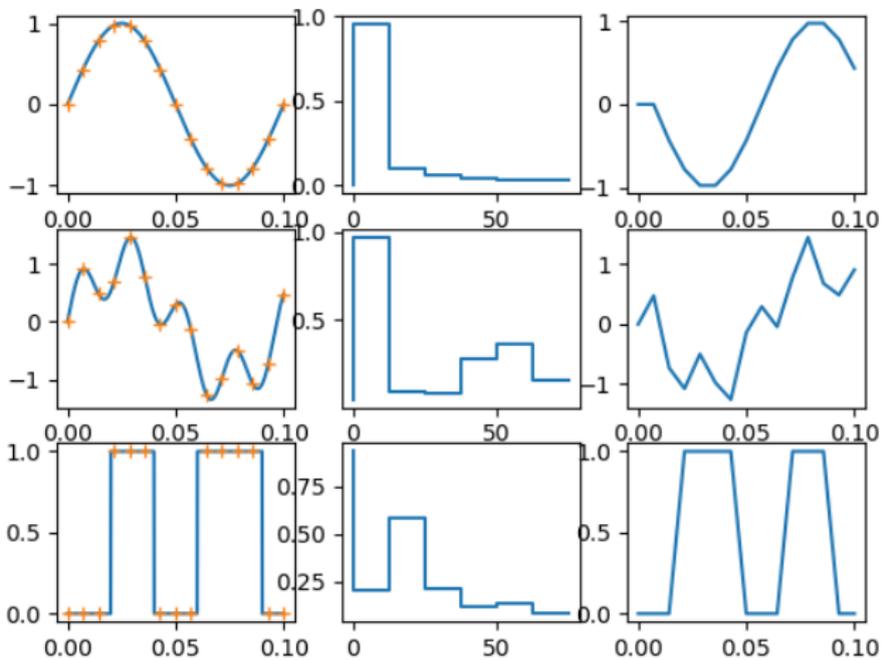
Fourier Analyse

- 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>

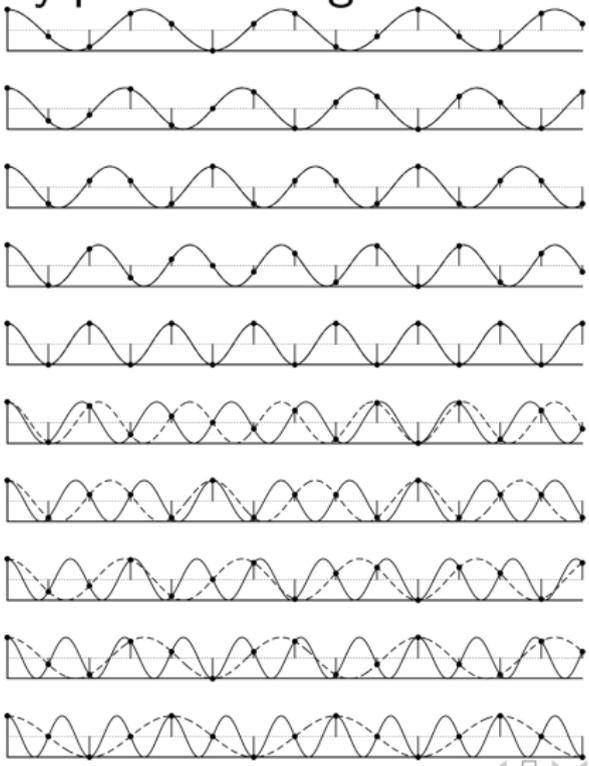
Fourier Analyse Beispiele



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 \neq Bandbreite

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

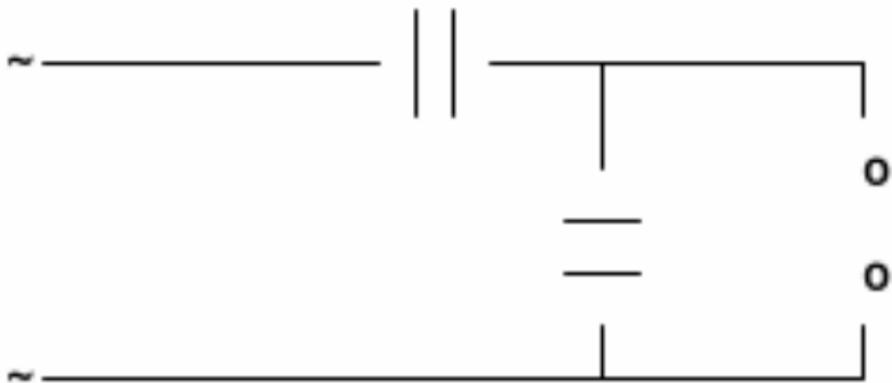
Beispiel: Radio, Sender bei 106,3 MHz, analoge Bandbreite: Halber Abstand zu nächsten Sendern.

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>

Arne Babenhauserheide und Carlo Götz

Die Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

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.

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

Die Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

└ Theorie

└ Nyquist: Übung 1

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 = $B \log_2(1 + S/N)$
- SNR nach $\frac{S}{N}$: $\text{SNR} = 10 \log_{10}\left(\frac{S}{N}\right)$
- SNR zur Bewertung der Qualität einer Leitung
- Nutzsinal S muss sich von Rauschen N genug abheben
- sehr große Zahlen \rightarrow 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 $\frac{S}{N}$: $SNR = 10 \log_{10}\left(\frac{S}{N}\right)$

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 $\frac{S}{N}$: $\text{SNR} = 10 \log_{10}\left(\frac{S}{N}\right)$

~ 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 = $1\text{MHz} \log_2(10001) \approx 13\text{Mbps}$

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

Übertragungsmedien

Die Physikalische Grundlage des Signaltransports.

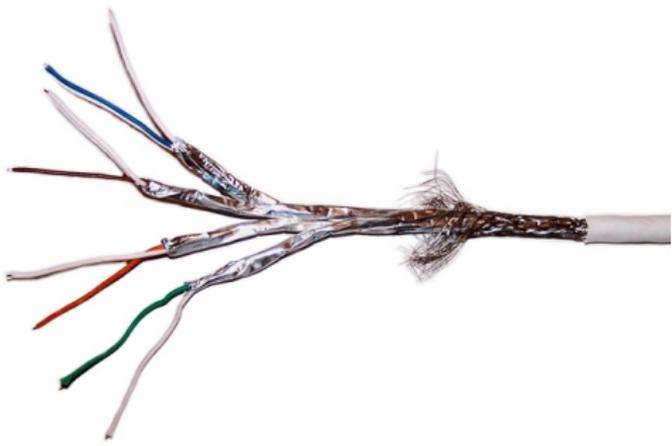
Ziele Übertragungsmedien

- Unterteilung der Übertragungsmedien kennen
- Kennen der Eigenschaften einiger Übertragungsmedien

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



- S** screened, Geflechschirm, Gesamtschirmung
- F** foiled, Folienschirm, Aderpaarschirmung
- TP** Twisted Pair

Abbildung: S-FTP Cat 7 Wikipedia public domain [S-FTP_CAT_7.jpg](#)

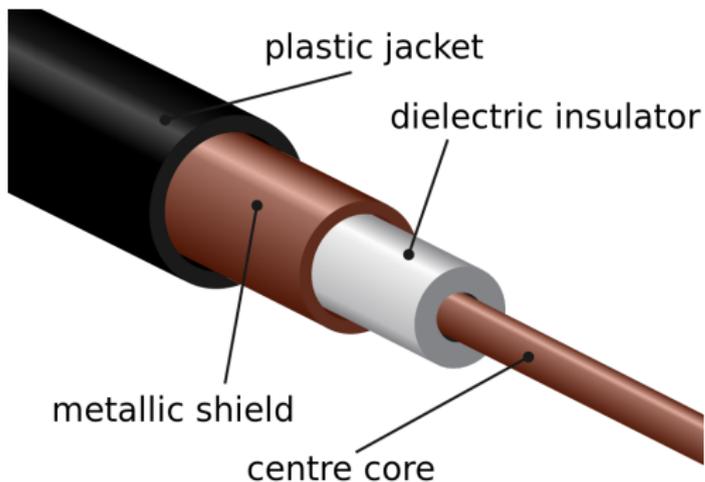
Twisted Pair Beschreibung

- 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



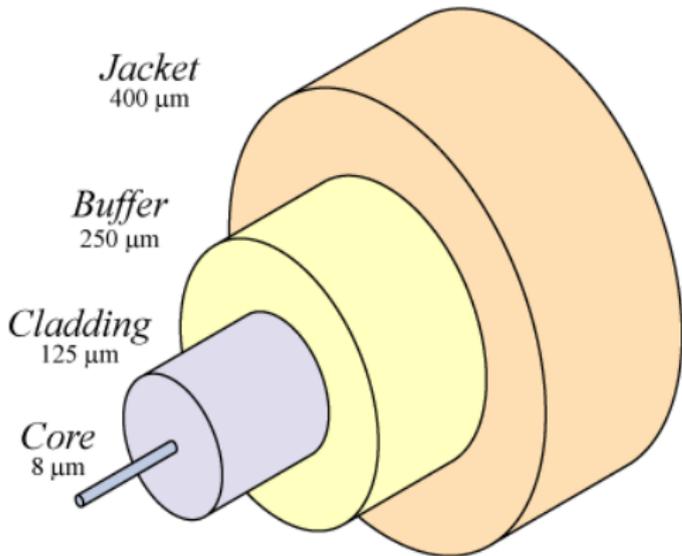
- bessere Abschirmung
- größere Bandbreite (mehrere GHz)
- Anwendung: Kabelfernsehen/Inet

Abbildung: Koaxialkabel, Tkgd2007 2008, cc by, [Coaxial_cable_cutaway.svg](#)

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

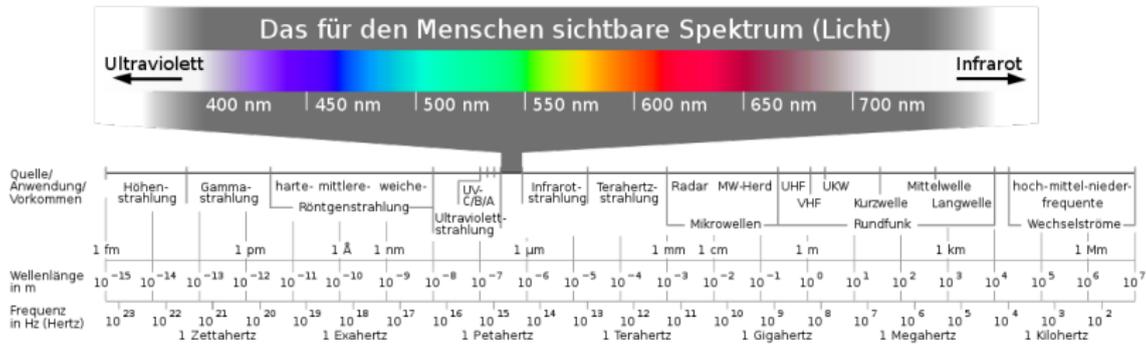


Abbildung: [Electromagnetic_spectrum_-de_c.svg](#), Horst Frank / Phrood / Anony, cc by-sa

Radio Spectrum, ISM+

UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS THE RADIO SPECTRUM

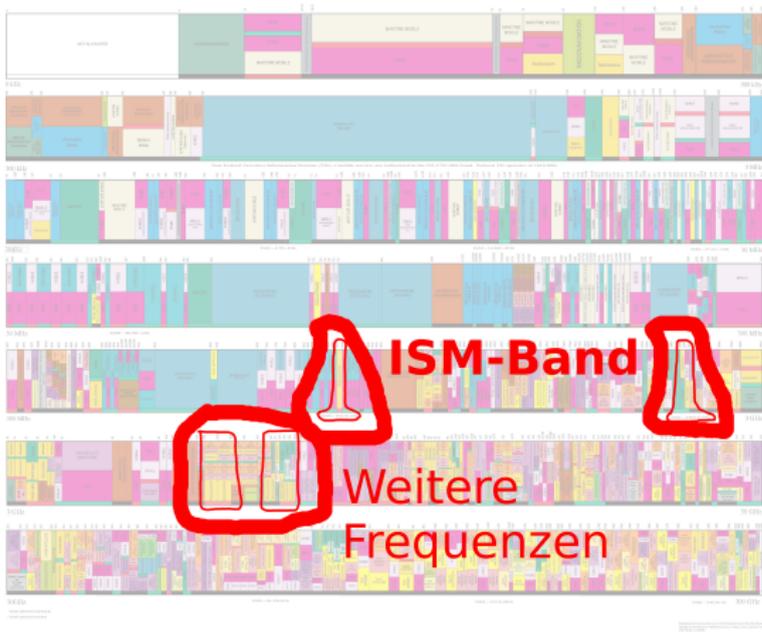
LEGEND

Blue	Commercial	Yellow	Government
Green	Mobile	Purple	Other
Orange

ACTIVITY CODES

Red	...	Black	...
-----	-----	-------	-----

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
NATIONAL TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION ADMINISTRATION



ISM-Band

Weitere Frequenzen

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

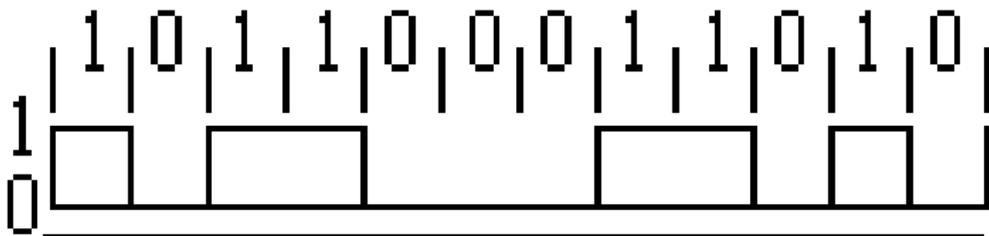


Abbildung: Vlad Alexa (mancini),
commons.wikimedia.org/wiki/File:Nrz-lb.gif, cc by-sa

- 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

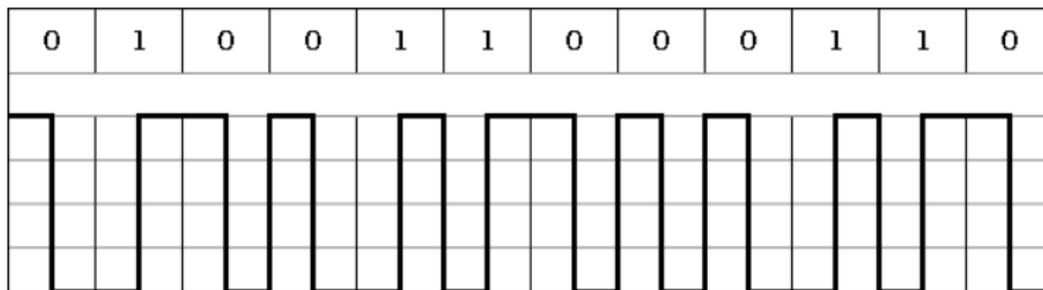


Abbildung: custode,
commons.wikimedia.org/wiki/File:Manchester-code.png, public domain

- 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

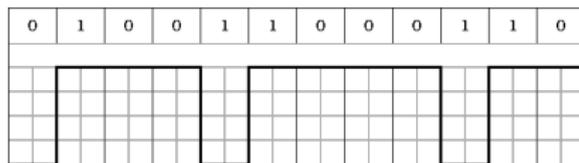


Abbildung:

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

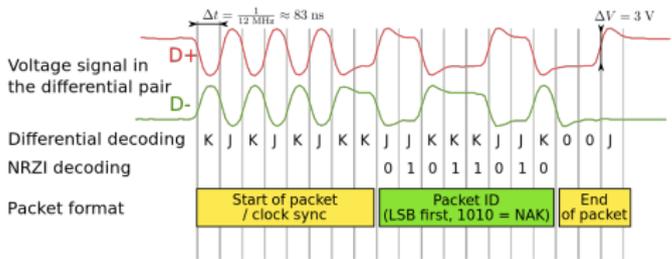


Abbildung: Example of a Negative Acknowledge packet transmitted by USB 1.1 full-speed device when there is no more data to read. It consists of the following fields: clock synchronization byte, type of packet, and end of packet. Data packets would have more information between the type of packet and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

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

AMI Alternate Mark Inversion

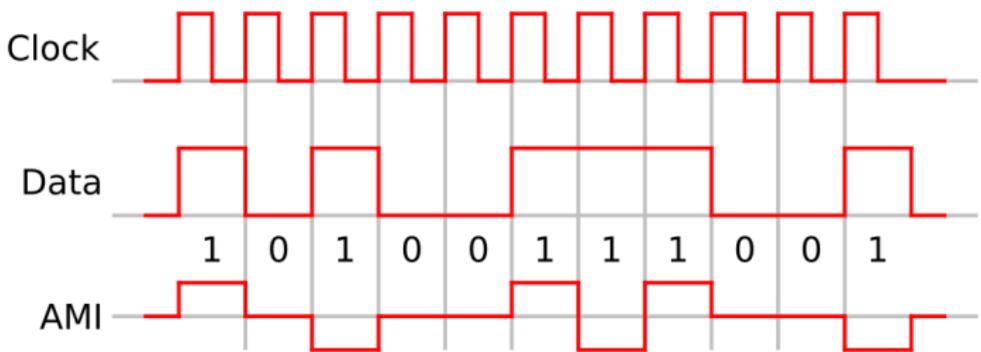


Abbildung: Keenan Tims, commons.wikimedia.org/wiki/File:Ami_encoding.svg, public domain

- verwendet 3 Pegel (-, 0, +)
- 0: verwendet 0 Pegel
- 1: abwechselnd + und -
- Bandbreitenbedarf: halbe Schrittrate
- Gleichstromfreiheit: gut
- Taktrückgewinnung: schlecht

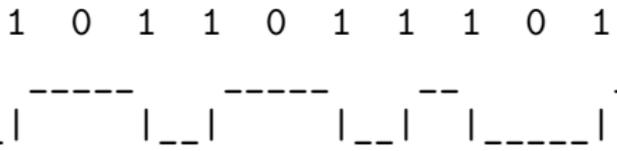
Einwurf: Durchlassband (Passband) I

- 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 $1111_{4B} = 11101_{5B}$



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) 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
- \bar{S} ist die invertierte chip seq von Signal S
- alle chip seq sind paarweise orthogonal
 - $\rightarrow S \bullet T = 0$ 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 $S \bullet \bar{S} = -1$
- $S \bullet T = 0$ impliziert $S \bullet \bar{T} = 0$

CDMA Beispiel

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

CDMA Beispiel

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

Anwendung

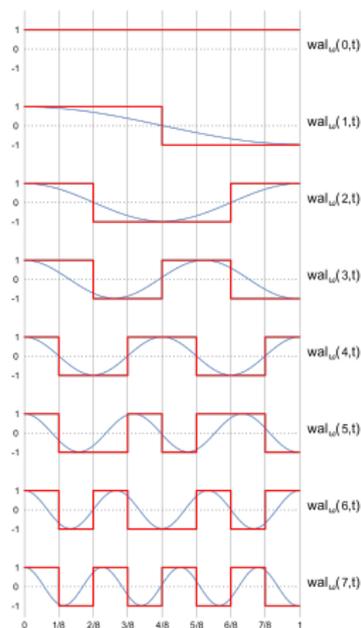
- $S = A + \bar{B} = (0, 0, -2, +2, 0, -2, 0, +2)$
- $S \bullet A = \frac{0+0+2+2+0+2+0+2}{8} = 1$
- $S \bullet B = \frac{0+0-2-2+0-2+0-2}{8} = -1$

Ergebnis von $S \cdot X$

- 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 Walsh-Code codieren und extrahieren. $S \bullet A = \text{Bitwert}$.

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+Hp7B0VXX0tB3I6qiu/>

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

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

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.

Netztechnik Übungsblatt 1 II

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!

