

Willkommen bei Kommunikations- und Netztechnik!

Vorstellungsrunde

Die Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

Arne Babenhausen und Carlo Götz

19. Oktober 2020

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

Heute: Bitübertragung



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

Sie sind Experten

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

Organisatorisches

- Projekt als Prüfungsleistung leider nicht möglich.
 - Vorschlag: wahlweise Projekt statt Übungen
- Klausurrelevanz:
 - Letzte Vorlesung
- Anrede

Übungen bzw. Projekt

- Übungen
 - mindestens 50% für Prüfungszulassung
 - Abgabe per Mail
 - Abgabe: vor der letzten Vorlesung
- Projekt
 - Bsp. Umfang: Programm zur Umwandlung von Bitfolgen in Pegel/Zeit Diagramm
 - Abgabe: vor der letzten Vorlesung
 - source, mit Buildanleitung (sollte auf Linux laufen)

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>

Schichtmodell

- 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-correction
 - Routing
- Ressourcen
 - Multiplexing
 - Flusskontrolle
 - Congestion
- Weiterentwicklung
 - Adressierung
 - Skalierbarkeit
- Sicherheit
 - Vertraulichkeit
 - Authentifizierung
 - Integrität

Basisoperationen Socket

- Listen, Connect, Accept, Receive, Send, Disconnect

Dienst vs. Protokoll

Fragen

Einsatzgebiete Netztechnik

Umgekehrt: Was machen Sie noch ohne Netztechnik?

Standardisierungsgremien

- ITO
 - ISU
 - IETF
 - IEEE
- RFC sind unverbindlich

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

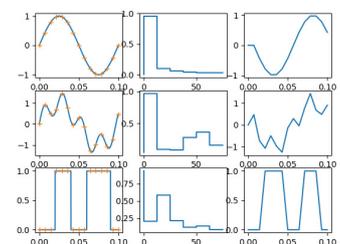
- Kapazitäten verzögern den Anstieg: Kondensator
- Induktivitäten verursachen Schwingungen: Spule
- Verluste dämpfen: Wärme/Innere Reibung

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=spUjpyF58BY>

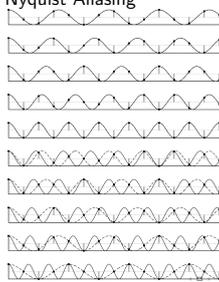
Fourier Analyse Beispiele



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

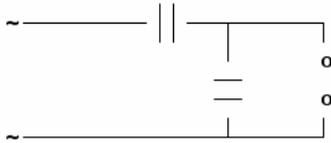
- analoge Bandbreite: Frequenzbereich in Hz
 - digitale Bandbreite: maximale Datenrate in bit/s
- Beispiel: Radio, Sender bei 106,3 MHz, analoge Bandbreite: Halber Abstand zu nächsten Sendern.

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



Nyquist-Shannon-Abtasttheorem

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

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

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

Unterabstärkung für Bandpass: <https://de.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Shannon-Abtasttheorem#Unterabstärkung>

Nyquist: Übung 1

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

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

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

Die Bitübertragungsschicht (Physical Layer) Theorie

Nyquist: Übung 1

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 $\frac{S}{N}$: $\text{SNR} = 10 \log_{10}(\frac{S}{N})$
- 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 maximale Bitrate für ADSL (Bandbreite 1 MHz, SNR 40 dB).

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

Shannon: Übung 2

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

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

≈ 13 Mbps

Shannon: Übung 2 Bandbreiten

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

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

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
 - 100BASE-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 :

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

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

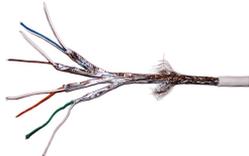
- LKW voller Festplatten
- Kupferkabel
- LWL (Lichtwellenleiter)
- Elektromagnetisch
- Infrarot
- Laser
- Schall

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



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

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

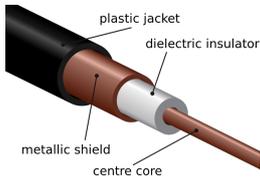
Twisted Pair Beschreibung

- 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 Verdrehung 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



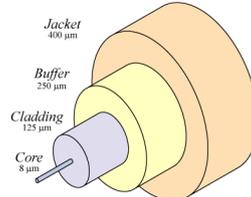
- bessere Abschirmung
- größere Bandbreite (mehrere GHz)
- Anwendung: Kabelfernsehen/Inet

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: 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

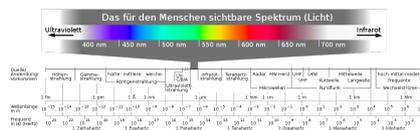


Abbildung: Electromagnetic_spectrum_de_c.svg, Horst Frank / Phrood / Anony, cc by-sa

Radio Spectrum Nutzung

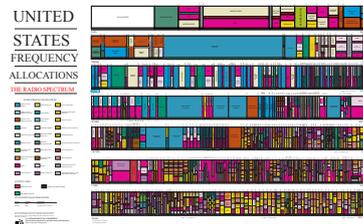


Abbildung: United_States_Frequency_Allocations_Chart_2016_The_Radio_Spectrum.pdf, public domain

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: Verdrehte 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

- Leitungscode: 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 Leitungscode

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

NRZI Non Return To Zero Inverted

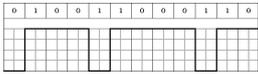


Abbildung: Example of a Negative Acknowledge packet transmitted by USB 1.1 full-speed device when there is no more data to read. It consists of the following fields: clock synchronization byte, type of packet, and end of packet. Data packets would have more information between the type of packet and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

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 auch mehrere Winkel zur Verschiebung verwendet werden
- Modulationen können kombiniert werden, um mehr Informationen zu übertragen

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.

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**

CDMA (Code Division Multiple Access) II

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

NRZ Non Return To Zero

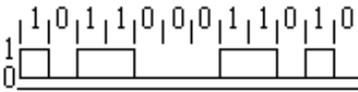


Abbildung: Vlad Alexa (mancini), <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nrz-lb.gif>, cc by-sa

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

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 Blockcodierungen wie 8B/10B (gute Gleichstromfreiheit) etc. werden verwendet

4B	5B	4B	5B
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010

Einwurf: Durchlassband (Passband) II

- aber nicht F und P, da diese zusammenhängen

Multiplexing

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

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
 - -> $S \cdot T = 0$ mit $S \cdot T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i$
- um diese Sequenzen zu erzeugen werden Walsh Codes verwendet
- $S \cdot S = 1$ und $S \cdot \bar{S} = -1$
- $S \cdot T = 0$ impliziert $S \cdot \bar{T} = 0$

Manchester

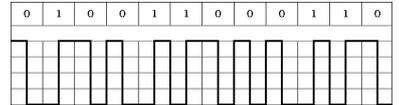


Abbildung: custode, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Manchester-code.png>, public domain

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

AMI Alternate Mark Inversion

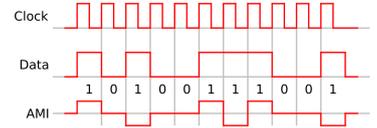


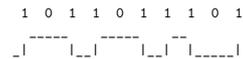
Abbildung: Keenan Tims, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ami_encoding.svg, public domain

- verwendet 3 Pegel (-, 0, +)
- 0: verwendet 0 Pegel

Übung 3

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

- $AF_{16} = 10101111_2$
- $1010_4B = 10110_5B$ und $1111_4B = 11101_5B$



Ziele Multiplexing

- Kennen einiger Multiplexing Methoden
- Anwenden von CDMA

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 -stellige 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 Beispiel

- $A = (-1, -1, -1, +1, +1, -1, -1, +1, +1)$
- $B = (-1, -1, +1, -1, -1, +1, +1, +1, -1)$
- $\bar{B} = (+1, +1, -1, +1, -1, -1, -1, +1)$
- 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 $S \bullet X$

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

Vereinfachung hier: Synchrone Übermittlung.

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.

Feedback

<https://cryptpad.digitalcourage.de/poll/#/2/poll/edit/kNqSsf+Hp7B0VXX0tB3I6qiu/>

Verweise I

Buch: Tanenbaum and Wetherall (2012).

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

Klausurfragensammlung

Netztechnik Übungsblatt 1

Bearbeitung: Gruppen bis zu 3 Personen. Abgabe mit Matrikelnummer der beteiligten Personen per E-Mail

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 übertrafen.