

VO Datenkommunikation 389.153

Norbert Görtz, Alois Goiser, Franz Hlawatsch, Christoph Mecklenbräuer, Gerald Matz, Markus Rupp, Tanja Zseby, Philipp Svoboda



März 2019

Inhalt

Ziele der Lehrveranstaltung

Organisation

- Vorlesungen

- Unterlagen

- Prüfungen

Inhalt der Vorlesung

Institut

Einführung

- Digitale Signale

- Digitale Modulation

- Übertragung

- Empfang

- Verbesserungen

- Methoden

Ziele der Lehrveranstaltung

- ▶ Vermittlung grundlegender Konzepte der digitalen Nachrichtentechnik und der Digitalen Signalverarbeitung
- ▶ Basis für weiterführende LVAs in Signalverarbeitung, Telekommunikation und Informationstheorie
- ▶ Darstellung orientiert sich an Anwendungen aus der Praxis
- ▶ Schwerpunkt liegt auf der Vermittlung spezieller mathematischer Methoden am Anwendungsbeispiel
- ▶ Grundlagen für moderne Forschung z.B. in den Bereichen "Mobilkommunikation", "Internet of Things", "Big Data", "Data Science", "Digitale Signalverarbeitung", "Network Security", "Cyber-Physical Systems", "Industrie 4.0"

Vorlesungen

- ▶ Vorlesung: Montag und Dienstag, Raum EI7, 10:15–11:00
- ▶ Vortragende sind die Professorin und die Professoren des Institutes für Telekommunikation E389
- ▶ Jede(r) Vortragende behandelt eines der Themen inkl. der erforderlichen mathematischen Methoden
- ▶ Keine eigenen Übungen, aber Übungsanteile sind Bestandteil der Vorlesungen
- ▶ Für die Organisation der Vorlesungen und Prüfungen ist Dr. Svoboda zuständig:

`philipp.svoboda@tuwien.ac.at`

Unterlagen

- ▶ Vorlesungstext ist das Buch von M. Bossert und S. Bossert: Mathematik der digitalen Medien, VDE-Verlag, 2010, ISBN: 978-3-8007-3137-4; ca. 30 Euro
- ▶ Buch kann auch in der TU Bibliothek ausgeliehen werden
- ▶ Einige alte Klausuren werden auf der Web-Seite der Vorlesung veröffentlicht (auch in TISS verlinkt):
<https://www.nt.tuwien.ac.at/teaching/summer-term/389-153/>
- ▶ Prüfungsrelevant ist der komplette Stoff, der in den Vorlesungen vorgetragen wurde; dieser Stoff kann über den Inhalt des Buches hinausgehen
- ▶ Je nach DozentIn werden auch Folien zugänglich gemacht; bei anderen ist eine Mitschrift der Vorlesung erforderlich.
- ▶ **Besuch der Vorlesung ist dringend empfohlen!**

Prüfungen

- ▶ Prüfungsmodus: *Eine* schriftliche Prüfung über den gesamten Stoff
- ▶ 6 Prüfungen pro Jahr
- ▶ Kommunikation von Details zur Vorlesung sowie zu Prüfungen (Sitzplatzverteilung etc.) erfolgt über TISS-EMail: bitte LVA 389.153 unbedingt abonnieren!
- ▶ Zur Teilnahme an Prüfungen ist Anmeldung über TISS zwingend erforderlich – Information zur Anmeldung per TISS-EMail
- ▶ Prüfungstermine: siehe TISS-Eintrag für diese Vorlesung
- ▶ Angeratener Prüfungstermin: 25.06.2019

Inhalt der Vorlesung

Termine im SS2019 und Themen (= Kapitel im Buch):

4/5.3.	Einführung	N. Görtz
11/12/18/19.3.	Navigationssystem	A. Goiser
25/26.3. & 1/2.4.	Handy	C. Mecklenbräuker
8/9.4	CD-Player	F. Hlawatsch
15/16/22/23.4.	–	(Osterferien)
29/30.4. & 6/7.5.	CD-Player	F. Hlawatsch
13/14/20/21.5.	MP3-Player	N. Görtz
27/28.5. & 3/4.6.	Internet	T. Zseby
10/11.6.	–	(Pfingsten)
17/18/24/25.6.	DVD	G. Matz

Vorlesungsfrei: 15.4.–27.4., 1.5., 30.5., 31.5., 10.–11.6., 20.6.

Vorlesung: Montag und Dienstag, Raum EI7, 10:15–11:00

Angeratener Prüfungstermin: 25.06.2019

Institut für Telekommunikation E389



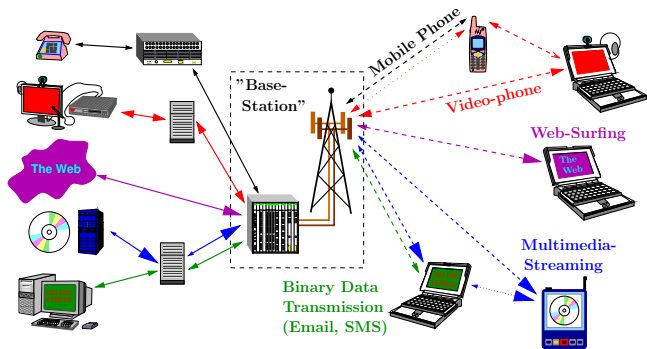
<https://www.nt.tuwien.ac.at>

Einführung

- ▶ Typische Problemstellungen der Datenkommunikation anhand des Beispiels “Sprachübertragung im Mobilfunk”
- ▶ Grundlagen zur Digitalisierung, Quellencodierung, Modulation und Übertragung
- ▶ Ziel ist
 - ▶ die Diskussion allgemeiner Methoden am Beispiel
 - ▶ nicht die Vermittlung bestmöglicher konkreter Verfahren für die gestörte Übertragung von Sprachsignalen

Einführung

Mobilfunk



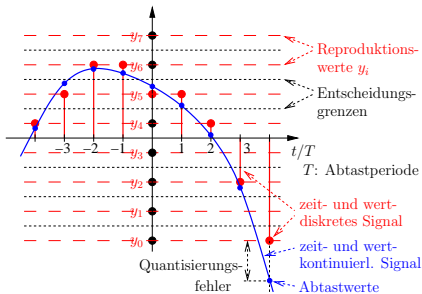
- ▶ Viele Benutzer, verschiedene Anwendungen & Qualitätskriterien
- ▶ Sehr wichtig (immer noch): mobiles Telefonieren

Digitale Signale: Beispiel Sprache

- ▶ Mikrophon am Mobiltelefon: nimmt Schallwellen auf und setzt sie um in eine elektrische Spannung
- ▶ Umwandlung in **digitales Signal**:
 - ▶ **zeitdiskret**: Mikrophon-Signal wird in regelmäßigen zeitlichen Abständen abgetastet
 - ▶ **wertdiskret**: jeder Abtastwert wird durch *eine* von endlich vielen Stufen aus einer Tabelle dargestellt: "Quantisierung"
 - ▶ Originalsignal kann später aus quantisierten Abtastwerten (fast) wiederhergestellt werden.
- ▶ Weshalb Umwandlung in ein digitales Signal?
 - ▶ digitales Signal: Folge von Zahlen, d.h. leicht speicherbar!
 - ▶ Mit Zahlen kann man rechnen, z.B. "Algorithmen" für Quellencodierung, Fehlerkorrektur, Entstörung
 - ▶ Realisierung: z.B. jedes "Handy" enthält einen sehr leistungsfähigen hochspezialisierten Computer!

Digitale Signale: Wert- und Zeitdiskretisierung

- ▶ Quantisierungsfehler
- ▶ Viele Stufen: kleiner Fehler aber hohe Bitrate R
- ▶ 3 Bits $\Rightarrow 2^3 = 8$ Stufen, y_i
- ▶ Gespeichert oder zum Empfänger übertragen wird die Bit-Codierung der Stufennummer i



Reproduktionswerte	y_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
Bit-Codierung	000	001	010	011	100	101	110	111

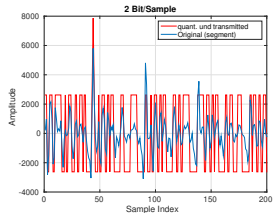
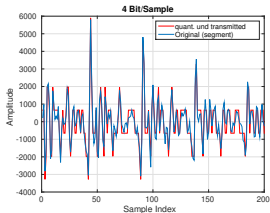
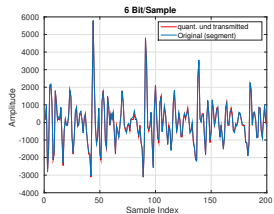
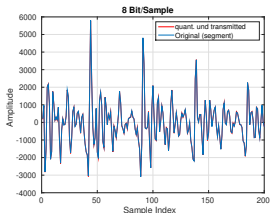
Quellencodierung – siehe auch DVD-Teil der Vorlesung:

- ▶ Wie kann man Reproduktionswerte y_i so wählen, dass bei geringer Stufenzahl (and damit kleiner Bitrate) die Qualität hoch ist?
- ▶ Gleiche Anzahl von Bits für jeden Reproduktionswert?
- ▶ Wie muss die Bit-Codierung gewählt werden? Wieviele gibt es?

Beispiel eines digitalisierten Sprachsignals

Audio-Demo 1

Quantisierung mit 8, 6, 4, 2 Bit pro Abtastwert

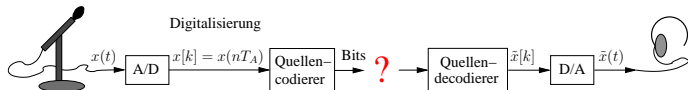


Beispiel eines digitalisierten Sprachsignals

... Audio-Demo 1

Quantisierung mit 8, 6, 4, 2 Bit pro Abtastwert

- ▶ Ab etwa 8 Bit pro Abtastwert ist die Qualität "ganz ok"
 - ▶ $T_A = 125\mu s$, d.h. die Bitrate $R = \frac{8 \text{ Bit}}{125\mu s} = 64 \text{ kBit/s}$
 - ▶ Mobilfunk: Bitrate etwa 1..2 Bits pro Abtastwert, d.h. 8...16 kBit/s
 - ▶ Praxis: kompliziertere Codierverfahren, welche die Signaleigenschaften ausnutzen und gleichzeitig viele Werte gemeinsam codieren.
- ⇒ Auch bei kleiner Bitrate von z.B. 12 kBit/s: sehr gute Qualität, wie wir sie alle vom "Handy" kennen.



Digitale Modulation

Reproduktionswerte	y_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
Bit-Codierung	000	001	010	011	100	101	110	111

Beispiel: wenn der Wert y_5 übertragen werden soll, dann schicken wir die Bitfolge "101" in den Modulator und von dort in den "Übertragungskanal".

Was macht der Modulator?

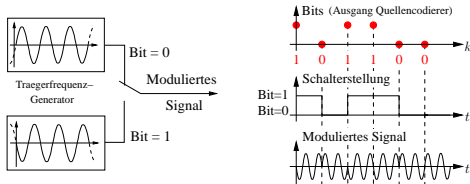
- ▶ Bit-Werte "0" und "1" müssen zwei verschiedenen physikalisch existierenden Signalen zugeordnet werden
- ▶ Signale brauchen Energie, damit sie sich im Raum ausbreiten können.
- ▶ Trägerfrequenz wählen, die an das Ausbreitungsmedium angepasst ist:
 - ▶ Luft, Vakuum: 100 kHz...60 GHz (Radiowellen); Licht: THz
 - ▶ Wasser: bis zu ca. 50 kHz (Schallwellen), je nach Distanz
- ▶ Radiowellen: in Wasser (Salzwasser!) innerhalb weniger Zentimeter stark gedämpft \Rightarrow Datenübertragung über lange Strecken unmöglich
- ▶ Niederfrequente Schallwellen (bei 2kHz: Dämpfung 0.2dB/km) reichen unter Wasser einige 100km weit (Kommunikation von Walen)
- ▶ In der Luft reichen Schallwellen nur einige 100m weit – Radiowellen u.U. tausende von Kilometern

Digitale Modulation

Modulator verändert (hochfrequente) **Trägerschwingung**, abhängig von den Bits, die das niederfrequente Nutzsignal beschreiben (z.B. Sprache):

- ▶ verschiedene Frequenzen des Trägers (Frequenzmodulation)
- ▶ verschiedene "Phasenlagen" des Trägers (Phasenmodulation)
- ▶ verschiedene Amplituden des Trägers (Amplitudenmodulation)
- ▶ Kombinationen der drei Möglichkeiten

Beispiel "Binäre Phasenumtastung": je nach Bit-Wert wird hin und hergeschaltet zwischen zwei 180° -phasenverschobenen Sinus-Trägern.



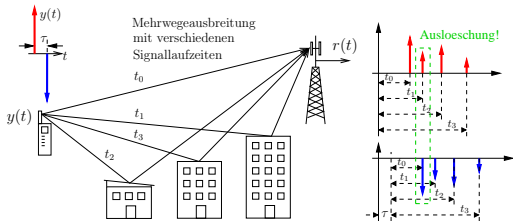
Empfänger:

⇒ Referenzträger

⇒ Ähnlichkeit mit einem der beiden Träger bestimmt Bit-Entscheidung

Übertragung

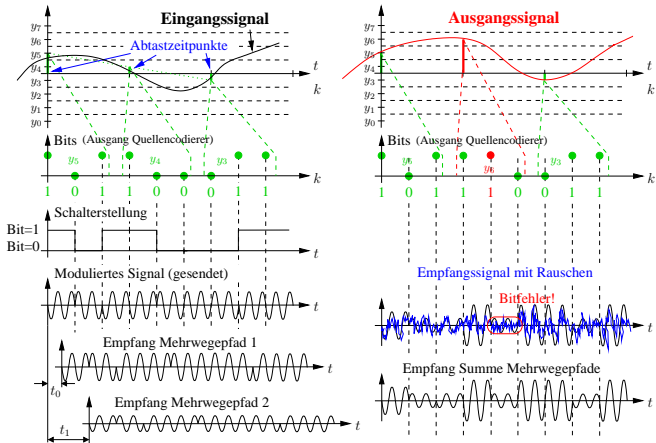
- ▶ Sendesignal-Leistung wird bei der Ausbreitung im Raum gedämpft
- ▶ Störungen wirken auf das Signal ein:
 - ▶ Signale **anderer Benutzer**, aber auch Störungen durch Geräte wie Bohrmaschinen, Staubsauger
 - ▶ **Rauschen** am Empfänger (Antenne, elektrische Schaltungen)
 - ▶ **Eigene Signale**: durch **Mehrwegeausbreitung** mehrfach zeitversetzt empfangen \Rightarrow Signalauslöschung / "Fading"



Fading: häufig im Mobilfunk

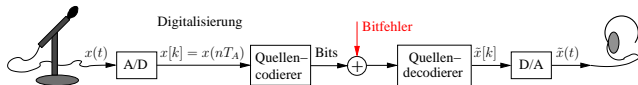
Vorteil: Telefonieren auch ohne Sichtverbindung zur Basisstation

Digitalisierung, Übertragung und Empfang



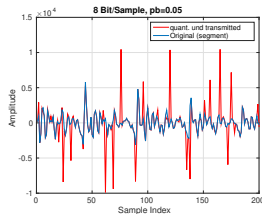
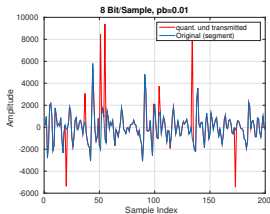
Digitalisierung, Übertragung und Empfang

Sprachübertragung auf gestörten Kanälen



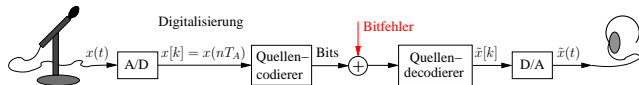
Audio-Demo 2: Quantisierung mit 8 Bit pro Wert

Bitfehlerwahrscheinlichkeiten: 10^{-4} , 10^{-3} , 10^{-2} , $5 \cdot 10^{-2}$, 10^{-1}



Digitalisierung, Übertragung und Empfang

Sprachübertragung auf gestörten Kanälen



... Audio-Demo 2

Quantisierung mit 8 Bit pro Wert

Bitfehlerwahrscheinlichkeiten: 10^{-4} , 10^{-3} , 10^{-2} , $5 \cdot 10^{-2}$, 10^{-1}

Ergebnis:

- ▶ Qualität unter 8 Bit pro Abtastwert nicht gut genug
- ▶ Bei mehr als ca. 1% Bitfehlerwahrscheinlichkeit ist die Sprachqualität nicht mehr akzeptabel

Probleme: Bitrate um Faktor 8...10 zu hoch und Fehlerwahrscheinlichkeit bis zu 10% auf normalen Mobilfunkkanälen

Verbesserungen

- ▶ **Quellencodierung** zur Verringerung der Bitrate
- ▶ **Kanalcodierung** (mit Hilfe zusätzlicher Bits) zur Korrektur von Bitfehlern
- ▶ **Signalverarbeitung zur Qualitätsverbesserung:**
z.B. Reduzierung von Störsignalen
- ▶ Systeme mit **mehreren Empfangs- und Sendeantennen**
- ▶ **Kooperation** von Benutzern im System
- ▶ **Ausnutzung der Kanaleigenschaften:** man sendet dann Daten zu einem Benutzer, wenn der Kanal zufällig gerade "gut" ist.
- ▶ Design effizienter **Antennen und Schaltungen** für die Hochfrequenzseite der Sender und Empfänger
- ▶ Übertragung im Internet:
 - ▶ Finden geeigneter Übertragungswege: "**Routing**"
 - ▶ **Sicherung** gegen Bitfehler, Paketverluste, Abhören

Methoden der Nachrichtentechnik

Grundlagen der Nachrichtentechnik / Telekommunikation:

- ▶ **Informationstheorie (IT)**
- ▶ Digitale Signal-Verarbeitung (DSV) / Digital Signal Processing

IT und **DSV** benötigen angewandte Mathematik: Algebra, Analysis, Wahrscheinlichkeitsrechnung & Statistik, Optimierungsverfahren, ...

DSV ist ein extrem breites Gebiet, angewandt in vielen technischen Wissenschaften; es geht um konkrete Verfahren / Algorithmen:

- ▶ Bakk-Grundlagenvorlesung "Signale und Systeme 2" im 4. Semester sowie zwei Pflichtfächer im Masterstudium "Telecommunications"; mehrere Spezialvorlesungen im Vertiefungspflicht- und Wahlbereich im Masterstudium

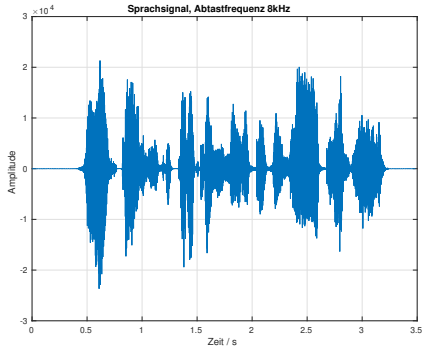
Informationstheorie: Grenzen der Leistungsfähigkeit von Quellencodierung und Fehlerkorrektur, unabhängig von konkreten Verfahren:

- ▶ Bestandteil der Bakk-Grundlagenvorlesung "Telekommunikation" im 6. Semester; im Masterstudium "Telecommunications" gibt es eine eigene Informationstheorie-Vorlesung und mehrere angewandte Spezialvorlesungen (Kanalcodierung, Quellencodierung)

Methoden der Nachrichtentechnik

Quellencodierung: Details in DVD-Vorlesung

- ▶ Beispiel: Quantisierung des Quellensignals "Sprache"

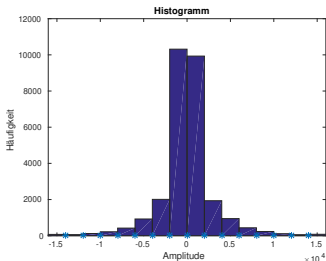


Methoden der Nachrichtentechnik

Quellencodierung / Quantisierung eines Sprachsignals

- ▶ Bekannt: Sprachsignal liegt vor als Folge von "signed" 16-Bit Abtastwerten im Bereich $-32768 \dots 32767$; Abtastfrequenz 8kHz.
- ▶ Bestimmung eines Histogramms (Amplitudenverteilung): **Statistik!**
⇒ Festlegung von Intervallen und Zählen wieviele Abtastwerte in die einzelnen Intervalle fallen. Hier: Wahl von 16 Intervallen:

-32768 ... -14000 ... -12000 ... -10000 ... -8000 ... -6000 ... -4000 ... -2000...
... 0 ... 2000 ... 4000 ... 6000 ... 8000 ... 10000 ... 12000 ... 14000 ... 32767

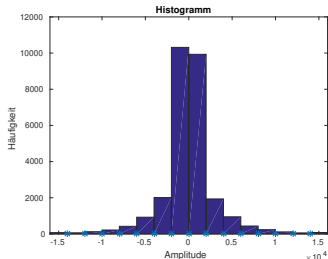
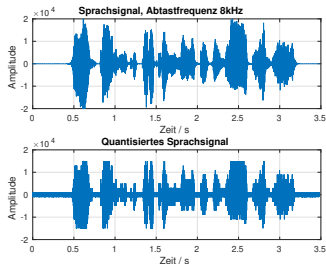


- ▶ Für die Quantisierung: Mitten der Intervalle (außer an den Rändern).
- ▶ $N = 16$ Reproduktionswerte $y_i, i = 1, \dots, N$ – Übertragung mit 4 Bits, denn $2^4 = 16$:

-15000, -13000, -11000, -9000, -7000,
-5000, -3000, -1000, 1000, 3000, 5000,
7000, 9000, 11000, 13000, 15000

Methoden der Nachrichtentechnik

Quellencodierung / Quantisierung eines Sprachsignals



Audio-Demo 3

- ▶ Rauschen im quantisierten Signal: Ursache?
- ▶ Bitrate ist 4 Bit pro Abtastwert. Jeder Abtastwert im Abstand von $125\mu\text{s}$ (8kHz) genommen: Bitrate $4\text{Bit}/125\mu\text{s} = 32\text{kBit/s}$
- ▶ Mit Quellencodierung kann man die Bitrate weiter reduzieren

Methoden der Nachrichtentechnik

Quellencodierung: Ausnutzung ungleicher Index-Wahrscheinlichkeiten

- ▶ Im Histogramm erkennt man unmittelbar, dass nicht alle der 16 Reproduktionswerte gleich oft benutzt werden.
- ▶ Dies kann man durch die **Auftrittswahrscheinlichkeiten** der 4-Bit-Indizes ausdrücken, die jedes Interval beschreiben.
- ▶ Die Wahrscheinlichkeit eines Reproduktionswertes kann man experimentell ermitteln (eigentlich annähern), indem man die Häufigkeit des Auftretens (aus dem Histogramm) durch die Gesamtzahl der Abtastwerte dividiert.
- ▶ Die Wahrscheinlichkeiten lauten in diesem Fall:

Index i	1	2	3	4	5	6	7	8
Repro-wert y_i	-15000	-13000	-11000	-9000	-7000	-5000	-3000	-1000
W'keit p_i	.0026	.0022	.0044	.0078	.0151	.0333	.0721	.3691
Index	9	10	11	12	13	14	15	16
Repro-wert y_i	1000	3000	5000	7000	9000	11000	13000	15000
W'keit p_i	.3573	.0694	.0339	.0157	.0084	.0040	.0020	.0028

- ▶ Indizes 8,9 sind um mehr als Faktor 100 häufiger als Indizes 1,16!

Methoden der Nachrichtentechnik

Quellencodierung: Ausnutzung ungleicher Index-Wahrscheinlichkeiten

- ▶ Ausnutzung unterschiedlicher Index-Wahrscheinlichkeiten: verschieden lange Bit-Sequenzen zur Übertragung verwenden: häufige Indizes bekommen kurze, seltene Indizes lange Bitmuster (ähnlich dem Morse-Alphabet).
- ▶ Was kann man maximal gewinnen? ⇒ **Informationstheorie!**
- ▶ **Entropie** der Indizes gibt den Informationsgehalt der Index-Quelle an.
- ▶ Definition der Entropie (für diskrete Quellen):

$$H(I) = - \sum_{i=1}^N p_i \cdot \log_2(p_i) \stackrel{\text{hier}}{=} 2.378 \frac{\text{bit}}{\text{Abtastwert}}$$

- ▶ Wenn man die $N = 16$ Indizes $i = 1, 2, \dots, 16$ jeweils durch 4 Bits darstellt, dann braucht man also

$$\Delta R = \log_2(N) - H(I) = 4 - 2.378 = 1.622 \frac{\text{bit}}{\text{Abtastwert}}$$

“zuviel” im Vergleich zur theoretischen Grenze der Entropy.

Methoden der Nachrichtentechnik

Quellencodierung: ungleiche Index-W'keiten

- ▶ Informationstheorie
 - ▶ garantiert, dass es ein Codiervfahren gibt, mit dem man diese 1.622 bit pro Abtastwert sparen kann ...
 - ▶ ... sagt aber nicht mit welchem Verfahren das möglich ist!
- ▶ Ein konkretes Verfahren: Huffman-Coding (Details: DVD-Vorlesung).
- ▶ Huffman-Code für die Quelle mit Entropie $H(I) = 2.378$ bit/Wert:

Repro-wert y_j	W'keit p_j	Index i	Feste Rate 4 Bit/Wert	Huffman-Code mittl. Länge: 2.437 Bit/Wert	Codelänge ℓ_j in Bit
-15000	0.0026	1	'0 0 0 0'	'0 1 1 0 0 0 0 0 1'	9
-13000	0.0022	2	'0 0 0 1'	'0 1 1 0 0 1 0 0 0'	9
-11000	0.0044	3	'0 0 1 0'	'0 1 1 0 0 0 0 1'	8
-9000	0.0078	4	'0 0 1 1'	'0 1 1 0 0 1 1'	7
-7000	0.0151	5	'0 1 0 0'	'0 1 1 1 1 1'	6
-5000	0.0333	6	'0 1 0 1'	'0 1 1 1 0'	5
-3000	0.0721	7	'0 1 1 0'	'0 1 0 0'	4
-1000	0.3691	8	'0 1 1 1'	'1'	1
1000	0.3573	9	'1 0 0 0'	'0 0'	2
3000	0.0694	10	'1 0 0 1'	'0 1 0 1'	4
5000	0.0339	11	'1 0 1 0'	'0 1 1 0 1'	5
7000	0.0157	12	'1 0 1 1'	'0 1 1 1 1 0'	6
9000	0.0084	13	'1 1 0 0'	'0 1 1 0 0 0 1'	7
11000	0.0040	14	'1 1 0 1'	'0 1 1 0 0 1 0 1'	8
13000	0.0020	15	'1 1 1 0'	'0 1 1 0 0 1 0 0 1'	9
15000	0.0028	16	'1 1 1 1'	'0 1 1 0 0 0 0 0 0'	9

Methoden der Nachrichtentechnik

Quellencodierung: ungleiche Index-W'keiten

- ▶ Beispiel: Codierung einer Sequenz von 5 Abtastwerten:

Reproduktionswerte	y_8	y_9	y_4	y_8	y_5
Codierung: feste Rate:	'0 1 1 1'	'1 0 0 0'	'0 0 1 1'	'0 1 1 1'	'0 1 0 0'
Huffman Code	'1'	'0 0'	'0 1 1 0 0 1 1'	'1'	'0 1 1 1 1 1 1'

- ▶ Annahme: *Ein* Bitfehler tritt auf bei der Übertragung (rot markiert).
- ▶ Bei fester Rate pro Abtastwert:

Codierung feste Rate:	'0 1 1 1'	'1 0 0 1'	'0 0 1 1'	'0 1 1 1'	'0 1 0 0'
Decodiert:	y_8	y_{10}	y_4	y_8	y_5

Es wird durch *einen* Bit-Fehler der Index exakt *eines* Abtastwertes gestört und inkorrekt decodiert.

- ▶ Huffman-Codierung: Decodierung erfolgt "kommafrei" durch lesen des Bitstroms von links nach rechts; wenn Symbol-Ende in Huffman-Tabelle erreicht, start mit neuem Symbol.

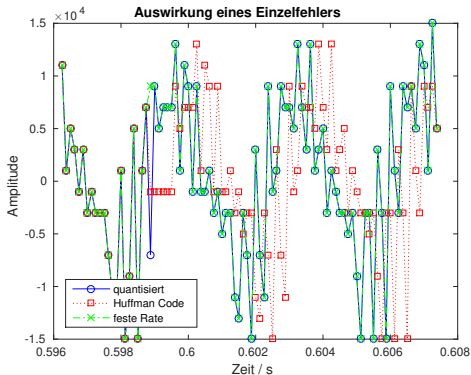
Huffman Code	'1'	'0 1 0 1'	'1'	'0 0'	'1'	'1'	'1'	'0 1 1 1 1 1'
Decodiert:	y_8	y_{10}	y_8	y_9	y_8	y_8	y_8	y_5

⇒ falsche und (hier) zusätzliche oder zu wenige Ausgangs-Symbole; "irgendwann" Resynchronisierung (siehe letztes Symbol y_5).

Methoden der Nachrichtentechnik

Quellencodierung: ungleiche Index-W'keiten

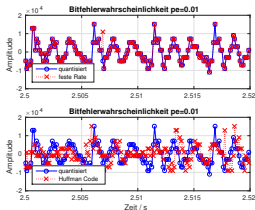
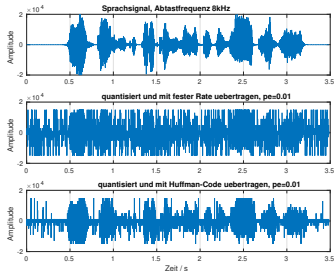
Auswirkung eines einzelnen Bit-Fehlers bei der Übertragung:



Methoden der Nachrichtentechnik

Quellencodierung: ungleiche Index-W'keiten

- ▶ Übertragung der Bits bei fester Rate (4Bit/Wert) und mit dem Huffman-Code (mittlere Codelänge 2.437 Bit/Wert)
- ▶ Bitfehlerwahrscheinlichkeit $p_e = 0.01$
- ▶ Darstellung der decodierten Signale: **Audio-Demo 4**



- ▶ 28000 Abtastwerte; Pixelanzahl für Bild horizontal ca. 600, d.h. ca. 50 Abtastwerte durch *eine* Pixelbreite dargestellt: visuelle Darstellung u.U. täuschend bei der Beurteilung der Signalqualität.
- ▶ zufällige Phasenverschiebungen und kleine Störungen bei Huffman Coding "sieht" man nicht

Zusammenfassung

Themenliste der Vorlesung Datenkommunikation:

- ▶ Quellencodierung und Informationstheorie:
Details in der Vorlesung "DVD"
- ▶ Digitale Signalverarbeitung:
Details in der Vorlesung "MP3-Player"
- ▶ Fehlerkorrektur / Kanalcodierung:
Details in den Vorlesungen "Handy" und "CD-Player"
- ▶ Wahrscheinlichkeitsrechnung, Statistik:
Details in der Vorlesung "Navigationssystem"
- ▶ Internet, Mehrfachzugriff, Routing, Kryptographie, Verschlüsselung:
Details in der Vorlesung "Internet"