

Nachrichtenübertragung

(Vorlesung I + II und Rechenübung I + II)

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Sikora -

Name:

Vorname:

Matr.Nr:

- Diplom
- E-Technik
- HF
- Bach./Master
- Techn. Inf.
- SF
- Magister
- KW
- VF
- Erasmus
- EF

Teilnahme am Bonusprogramm (MC-Test)?

Ja

Nein

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	BP	Σ
Max. Punktezahl	10	10	10	10	10	10	10	10	X	80
Erreichte Punktezahl										

Hinweise:

1. Die Fragen zur Rechenübung sind fettgedruckt und mit einem Stern (*) gekennzeichnet!
2. Schreiben Sie die Lösungen jeweils direkt auf den freien Platz unterhalb der Aufgabenstellung.
3. Die Rückseiten können bei Bedarf zusätzlich beschrieben werden. Nummerierungen in diesem Fall nicht vergessen.
4. Sollte auch der Platz auf der Rückseite nicht ausreichen, bitte **kein eigenes Papier verwenden**. Die Klausuraufsicht teilt auf Anfrage **zusätzlich leere Blätter** aus.
5. Taschenrechner sind als Hilfsmittel **n i c h t** erlaubt!
6. Es sind **keine Unterlagen** zur Lösung dieser Klausur zugelassen!
7. Bearbeitungszeit: **150 min**.
8. Bitte **keinen Bleistift** verwenden!

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 1
--	---	----------

Inhaltsverzeichnis

1	Nachrichtenkanäle	3
2	Störungen und Störreduktion	7
3	Analoge Modulation - AM	10
4	Frequenzmodulation und PAM	13
5	PAM/PCM	17
6	Binäre Basisbandübertragung	20
7	Binäre und mehrwertige Modulation	23
8	Entzerrung eines Datensignals	26

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 2
---	---	----------

1 Nachrichtenkanäle**10 Punkte**

Amplitudenverzerrungen

1.1 Gehen Sie von einem Nachrichtenkanal mit cosinusförmiger Welligkeit im Amplitudengang und mit einem linearen Phasengang aus! 2 P

a) Geben Sie die dazugehörige Übertragungsfunktion $H(j\omega)$ und die Impulsantwort $h(t)$ an! 1 P

$$H(j\omega) = [1 + a \cos(\alpha\omega)] e^{-j\omega t_0} \quad (1)$$

$$h(t) = \delta(t - t_0) + \frac{a}{2} [\delta(t - t_0 + \alpha) + \delta(t - t_0 - \alpha)] \quad (2)$$

$$(3)$$

b) Geben Sie weiterhin den Zusammenhang zwischen einem Eingangssignal $u(t)$ und dem Ausgangssignal $y(t)$ dieses Kanals an! Benennen Sie das Phänomen, welches im Ergebnis des Ausgangssignals erkennbar wird! 1 P

$$y(t) = u(t) * h(t) = u(t - t_0) + \frac{a}{2} [u(t - t_0 + \alpha) + u(t - t_0 - \alpha)] \quad (4)$$

Interpretation: Neben einer zeitverzögerten Variante des Eingangssignals, ist im Ausgangssignal auch ein symmetrisches Echopaar des Eingangssignals enthalten.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006</p>	<p>Blatt: 3</p>
--	--	-----------------

- 1.2 Liegt beim Auftreten eines ungerade-symmetrischen Echopaars als Ausgangssignal eines Nachrichtenkanals eine Amplitudenverzerrung vor? Wenn nicht, woraus resultiert dieses Echopaar? 1 P

Nein, unsymmetrische Echopaare werden durch Phasenverzerrungen hervorgerufen.

- 1.3 Skizziere den prinzipiellen Verlauf des Amplituden- und Phasenganges eines idealen Bandpasskanals! 1 P

siehe Skript NÜ I, S. 113, Bild 4.12

Beschränkungen von Nachrichtenkanälen

- 1.4 Nennen und erläutern Sie drei Beschränkungen die bei der Übertragung von Nachrichten über Nachrichtenkanäle auftreten! 1,5 P

- Begrenzte Bandbreite aus physikalischen Gründen (oder auch durch gesetzliche Beschränkung)*
- Begrenzte Sendeleistung wg. technischer Beschränkung im Sender, möglicher Übersteuerung oder Begrenzung von Einkopplungseffekten*
- Störungen durch Rausch-, Echo- und Impulsstörungen oder Mehrwegeempfang*

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 4
---	---	----------

Funkausbreitung bei Richtfunk und Satellitenfunk

- 1.5 Um wie viel dB vergrößert sich das Freiraumdämpfungsmaß bei Verdoppelung der Entfernung zwischen Sender und Empfänger? 0,5 P

Das Freiraumdämpfungsmaß vergrößert sich um 6,02 dB bei Verdoppelung der Entfernung zwischen Sender und Empfänger.

- 1.6 Nennen Sie jeweils einen Vor- und Nachteil von geostationären Satelliten gegenüber LEO-Satelliten (LEO = low earth orbit)? 1 P

Vorteil: z.b. geringere Anzahl an Satelliten notwendig, Nachteil: hohe Sendeleistung (nicht geeignet für Mobilfunk)

Mobilfunkkanäle

- 1.7 Welche Auswirkung hat der Mehrwege-Empfang und der Dopplereffekt auf einen Übertragungskanal für Mobilfunk? 1 P

Kanal ist zeitabhängig frequenzselektiv, so dass sich in Abhängigkeit von der Zeit die Frequenzlage sowie und die Dämpfung der Schwundeinbrüche ändert.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006</p>	<p>Blatt: 5</p>
---	---	-----------------

Digitale Kanalmodelle

1.8 Für die Modellierung eines Übertragungskanals der die verschiedene Bitfehlerwahrscheinlichkeiten $p_{\text{Bit,G}}$ und $p_{\text{Bit,B}}$ einnehmen kann, wurden durch Messungen ermittelt, dass die Wahrscheinlichkeit für den Übergang zwischen dem guten (G) in den schlechtem (B) Kanalzustand 8 % beträgt und die Rückkehr vom Zustand B in den Zustand G mit 32 % wahrscheinlich ist. 2 P

a) Skizzieren Sie das Zustandsmodell und beschriften Sie es vollständig! 1 P
siehe Skript NÜ I, Bild 4.33 auf S. 140 mit Gilbert-Elliot-Kanalmodell

b) Mit welcher Wahrscheinlichkeit befindet sich das Kanalmodell im guten Zustand? 1 P

$$P(B) = \frac{8}{40} = \frac{1}{5} = 20\%, P(B) = \frac{32}{40} = \frac{4}{5} = 80\%$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 6
---	---	----------

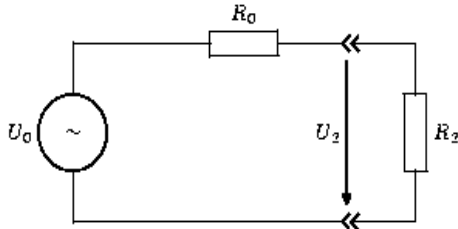
2 Störungen und Störreduktion

10 Punkte

Leitungsanpassung

2.1 Gegeben sei das folgende Ersatzschaltbild:

1 P

a) Wie groß muss R_2 gewählt werden, damit Leitungsanpassung vorliegt?

0,5 P

$$R_2 = R_0$$

b) Wie groß ist in diesem Fall die Reflexionsdämpfung?

0,5 P

$$\alpha_{\text{Reflex}} = 0$$

2.2 Welche Eigenschaften besitzt weißes Rauschen?

1 P

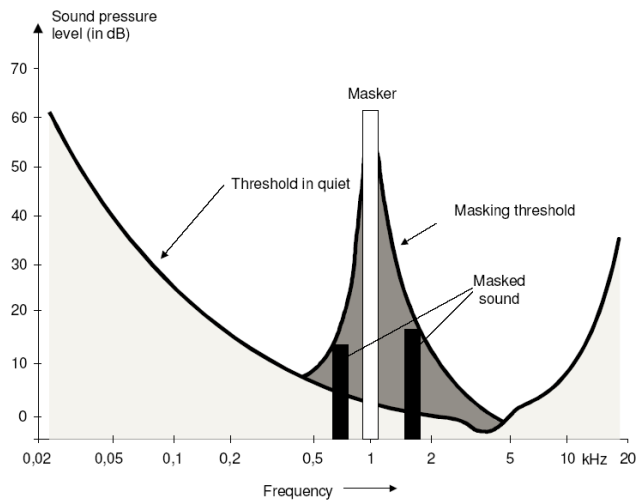
- *konstantes LDS*
- *unendliche Bandbreite*
- *mittelwertfrei*

Psychoakustische Maskierungen

2.3 Zeichnen Sie **qualitativ** die Ruhehörschwelle, die Maskierungsschwelle, den Maskierer und zwei maskierte Töne bei der Maskierung im Frequenzbereich in einem Koordinatensystem ein (y-Koordinate: Lautstärke, x-Koordinate: Frequenz) und beschriften Sie diese vollständig!

2 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 7
---	---	----------



2.4 Erläutern Sie in eigenen Worten, was die psychoakustische Maskierung im Zeitbereich ist! 0,5 P

siehe Skript

Fehlerverschleierung in Bildsignalen

2.5 Nennen Sie zwei mögliche Störungsarten bei der Übertragung von Bildern über einen **analogen** Übertragungskanal und geben Sie jeweils deren Wirkung bei den empfangenen Bildern an! 2 P

- *Rauschstörungen: verrauschtes (krisseliges) Bild*
- *Bandbegrenzungen: Unschärfe im Bild*
- *Mehrwegeempfang: Geisterbilder*

2.6 In digitalen Systemen entstehen typische Fehler durch Bitfehler bei der Übertragung. Welche Möglichkeit der Fehlerverschleierung kennen Sie, wenn der Ort eines fehlerhaften Pixels bekannt ist? 0,5 P

Helligkeitsanpassung durch benachbarte Pixel

Echos

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006</p>	<p>Blatt: 8</p>
---	--	-----------------

2.7 Mit einem Echo bezeichnet man in der Nachrichtenübertragung eine zeitlich verzögerte Wiederholung eines gerade gesendeten Signals. 2 P

a) Nennen Sie zwei Möglichkeiten, wie Echos entstehen können! 1 P

- *durch Reflexion an fehlangepassten Leitungsabschnitten*
- *durch Reflexion an Gabelschaltungen bei Zweidraht-Vierdraht-Weiterverkehrsverbindungen*
- *durch die Akustik eines Wiedergaberaums*

b) Wie lassen sich die Einflüsse von Echoerscheinungen verringern? (Nennen Sie zwei Möglichkeiten) 1 P

- *Laufzeiten verringern*
- *Leitungsanpassung verbessern*
- *Echosperren*
- *Echokompensation*

Nebensprechen und Impulsnebensprechen

2.8 Was versteht man in der Nachrichtentechnik unter Nebensprechen und Impulsnebensprechen? 1 P

- *Nebensprechen: gegenseitige Beeinflussung benachbarter Übertragungskanäle (Nahnebensprechen, Fernnebensprechen)*
- *Impulsnebensprechen: Überlappung benachbarter Sendeimpulse (=> Datenverzerrung)*

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 9
--	---	----------

3 Analoge Modulation - AM**10 Punkte**

Amplitudenmodulation

- 3.1 Geben Sie die allgemeine Form des Trägersignals bei der analogen Modulation an und beschreiben Sie, welcher Teil dieses Signals für die Amplitudenmodulation (AM) gesteuert wird! 1 P

$$c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \phi_c)$$

$$AM: A_c = A_c[u(t)]$$

- 3.2 Gegeben sei folgendes Signal $u(t) = \frac{1}{2} + \cos(2\pi f_u t)$ mit $f_u = 6\text{kHz}$. 8 P

- a) Zeichnen Sie das Spektrum des zweiseitenbandmodulierten Signals, wenn die Trägerfrequenz $f_c = 20\text{kHz}$ beträgt! Benennen Sie die Achsen vollständig! 2 P

$$\text{Hinweis: } a \cos(\omega_0 t) \leftrightarrow a\pi(\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0))$$

- jeweils einen Deltapeak mit Wichtung $\frac{\pi}{2}$ bei $\omega = \pm 2\pi f_c$

- jeweils einen Deltapeak mit Wichtung $\frac{\pi}{2}$ bei $\omega = \pm 2\pi(f_c - f_u)$ und $\omega = \pm 2\pi(f_c + f_u)$

- b) Der Tiefpass zur synchronen Demodulation sei im Übergangsbereich nicht ideal. Geben Sie an, in welchem Frequenzbereich f_{g1} bis f_{g2} sich dieser Übergangsbereich befinden darf, wenn die Demodulation ohne Frequenzversatz stattfindet! 1 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 10
---	---	-----------

- c) Der Frequenzversatz betrage nun genau 3 kHz. Zeichnen Sie das Spektrum des demodulierten Signals $u_{d,TP}(t)$ nach idealer TP-Filterung mit $f_g = 10\text{kHz}$! 1 P
- d) Skizzieren sie das Signal $u_{d,TP}(t)$ auch im Zeitbereich zwischen $0\text{ms} \leq t \leq 0,33\text{ms}$! 2 P
- e) Um Frequenzversatz zu umgehen, werde nun eine AM mit Träger zur Übertragung verwandt. Zeichnen Sie das Blockschaltbild einer solchen Modulation! 0,5 P
- f) Welche Art von Demodulation kann nun verwendet werden? Zeichnen Sie auch hierfür ein Blockschaltbild! 1 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 11
---	---	-----------

g) Wie hoch muss die Amplitude des Trägers A_c für diese Art der Übertragung mindestens sein? 0,5 P

3.3 Die Zweiseitenbandmodulation stellt nur einen Sonderfall der Amplitudenmodulation dar. Welche Modulationsart bildet den allgemeinsten Fall der AM und warum? 1 P

Hinweis: Es geht hier nicht um den Träger.

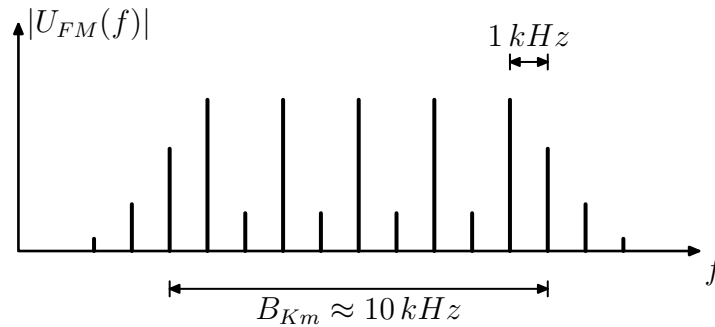
Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 12
---	---	-----------

4 Frequenzmodulation und PAM

10 Punkte

Frequenzmodulation (FM)

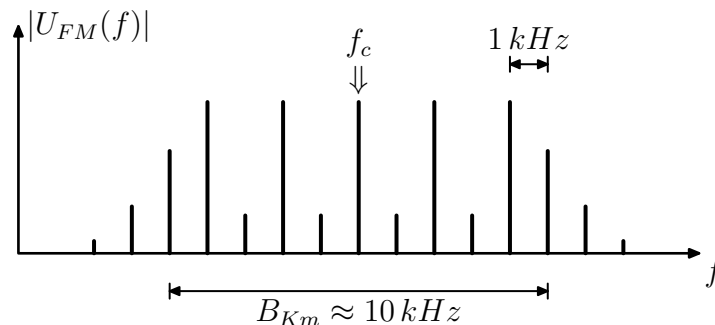
- 4.1 In der unteren Abbildung ist das FM-Spektrum einer Eintonmodulation mit $u(t) = \cos(\omega_u \cdot t)$ gegeben. 3 P



Dieses Spektrum ergibt sich mathematisch zu

$$U_{FM}(j\omega) = \pi \cdot \sum_{-\infty}^{\infty} J_k(\beta) \cdot [\delta(\omega - \omega_c - k \cdot \omega_u) + \delta(\omega + \omega_c + k \cdot \omega_u)] .$$

- a) Markieren Sie in der obigen Abbildung die Modulationsfrequenz f_c ! 0,5 P



- b) Machen Sie nach der Carson-Regel eine Abschätzung für β ! 2 P

Der Abstand der Linien entspricht $f_u = \frac{\omega_u}{2\pi}$ und damit der Basisbandbreite B_Q . Aus der Carson-Regel $B_{K_m} \approx 2B_Q \cdot (1 + \beta)$ folgt $\beta \approx \frac{B_{K_m}}{2B_Q} - 1$ wonach sich $\beta \approx \frac{10 \text{ kHz}}{2 \cdot 1 \text{ kHz}} - 1 = 4$ ergibt.

- c) Handelt es sich um eine Schmalband- oder eine Breitband-FM? Begründen Sie! 0,5 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006</p>	<p>Blatt: 13</p>
---	---	------------------

Breitband-FM da $\beta \approx 4$ und somit größer 1 ist. Das kann auch direkt aus der Form des Spektrums geschlossen werden.

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 14
---	---	-----------

Pulsamplitudenmodulation (PAM)

- 4.2 Ein Sinussignal $u(t)$ mit $f_u = 5\text{kHz}$ werde mit PAM mittels überlappender Sendeimpulse über einen Kanal übertragen. Auf der Empfängerseite findet ausschließlich eine Nachabtastung des Signals statt. 7 P
- a) Welchen zeitlichen Abstand dürfen die Maximalwerte der Impulse höchstens haben, damit das Signal überhaupt ideal rekonstruiert werden kann? 0,5 P
- $T = 0,1\text{ms}$
- b) Welche minimale Kanalbandbreite muss ein Kanal zur Übertragung dieses abgetasteten Signals mindestens haben, damit das Signal verzerrungsfrei übertragen werden kann? 0,5 P
- $B_K = f_u = 5\text{kHz}$
- c) Welcher Sendeimpuls findet in diesem Fall Verwendung? Zeichnen sie diesen Impuls im Bereich $-0,2\text{ms} \leq t \leq 0,2\text{ms}$! 1,5 P
- Si-Sendeimpuls mit Nullstellen bei -2ms , -1ms , 1ms , 2ms , Maximum bei $t=0$
- d) Welche allgemeine Bedingung muss erfüllt sein, damit eine ideale Rekonstruktion bei überlappenden Sendeimpulsen möglich ist? Nennen Sie diese und formulieren Sie sie im Zeit- und Frequenzbereich! 1 P
- 1. Nyquistbedingung, siehe Skript Kapitel 7.1

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006</p>	<p>Blatt: 15</p>
---	--	------------------

- e) Erklären Sie aufgrund der Formulierung im Frequenzbereich, welche Abweichung vom schmalbandigsten Impuls (Aufgabe 4.2.c) im Frequenzbereich möglich sind! 1 P
- Die sich überlappenden Teile des sich bei $k\omega_T$ wiederholenden Spektrums müssen sich zu einer Konstanten addieren.
- Anteile, die bei Frequenzen $\omega_T/2 + f_r$ ($0 \leq f_r \leq \omega_T/2$) dazukommen, müssen bei den Frequenzen $\omega_T/2 - f_r$ subtrahiert werden.
- Jede Addition einer um $\pm\omega_T/2$ ungerade symmetrischen Funktion zur idealen Rechteckfunktion (si-Impuls) erfüllt weiterhin die erste Nyquistbedingung.
- f) Nennen Sie jeweils einen Vor- und Nachteil für die Verwendung eines Sendepulses mit solchen Abweichungen! 1 P
- Vorteil 1: Schnelleres Abflachen der Nebenkeulen im Zeitbereich, daher bessere Näherung durch endlich ausgedehnte Impulse möglich, einfacherer Realisierung
- Vorteil 2: Es können mehr Nulldurchgänge auftreten als notwendig - erleichtert Synchronisation
- Nachteil: Es wird mehr Bandbreite benötigt (bis zur doppelten)
- g) Das Sinussignal $u(t)$ werde nun mittels raised-cosine-Sendeimpulsen übertragen. Zeichnen Sie das Betragsspektrum dieses Impulses bei minimaler Abtastrate f_T aus Aufgabe 4.2.a! (Beschriften sie die Frequenzachse genau!) 1 P
- h) Wie groß ist die minimal benötigte Kanalbandbreite B_K in diesem Fall? 0,5 P
- $B_K = f_T = 2f_u$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 16
---	---	-----------

5 PAM/PCM*10 Punkte**

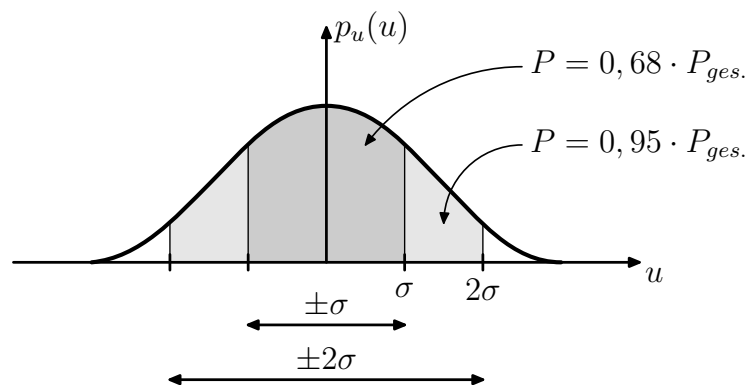
Pulsamplitudenmodulation (Spiegelungs-Effekte)

- *5.1** In einem Westernfilm (25 Bilder pro Sekunde) scheinen die Räder (10 Speichen, $4/\pi$ Meter Durchmesser) einer sich beschleunigenden Postkutsche zu einem bestimmten Zeitpunkt still zu stehen. Wie groß ist mindestens die Geschwindigkeit der Kutsche (Angabe in km/h)? **2,5 P**

$$v = 36 \text{ km/h}$$

Pulsocodemodulation (Quantisierung)

- *5.2** Gegeben sei ein gaussverteiltes mittelwertfreies Nachrichtensignal $u(t)$ mit einer Bandbreite von $B_q = 20 \text{ kHz}$, einer Standardabweichung von $\sigma_u = 2 \text{ V}$ und der folgenden Amplitudendichteverteilung: **7,5 P**



- a) Bestimmen Sie die maximale Aussteuerungsgrenze u_{\max} des Quantisierers, wenn die Wahrscheinlichkeit der Überlast des Quantisierers kleiner als 0,004 sein soll! **2,5 P**

s. Rechenübung

$$u_{\max} > 2,88 \cdot \sigma_u = 5,76 \text{ V}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 17
---	---	-----------

- b) Es werde nun ein Quantisierer mit $u_{\max} = 5 \text{ V}$ verwendet. Bestimmen Sie die Überlastungswahrscheinlichkeit! 1,5 P

s. Rechenübung

$$P(\text{Überlast})|_{\frac{u_{\max}}{\sigma_u}=2,5} = 2 \cdot [1 - 0,9938] = 0,0124$$

- c) Berechnen Sie den Signal-Rausch-Abstand (SNR) bei einem Quantisierungsrauschen von $P_q = 0,5 \text{ V}^2$ und $u_{\max} = 5 \text{ V}$! 1,5 P

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= 10 \log \left(\frac{P_u}{P_q} \right) = 10 \log \left(\frac{u_{\max}^2/2,5^2}{0,5 \text{ V}^2} \right) \\ &= 10 \log \left(\frac{4 \text{ V}^2}{0,5 \text{ V}^2} \right) = 10 \log (2^3) \\ &= 30 \log (2) = 9,03 \text{ dB} \end{aligned}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 18
---	---	-----------

- d) Berechnen Sie die Anzahl der Bits m des Quantisierers, wenn ein minimaler SNR von 14 dB gefordert wird! 2 P

$$\begin{aligned}\text{SNR} &= 10 \log \left(\frac{P_u}{P_q} \right) = 10 \log \left(\frac{\sigma_u^2}{\Delta^2/12} \right) \\ &= 10 \log \left(\frac{\sigma_u^2}{4u_{\max}^2/M \cdot 12} \right) = 10 \log \left(\frac{4 V^2}{100 V^2/2^{2m} \cdot 12} \right) \\ &= 20m \log(2) + 10 \log(12/25) = 6,02m - 3,2 > 14 \text{ dB} \Rightarrow m = 3\end{aligned}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 19
---	---	-----------

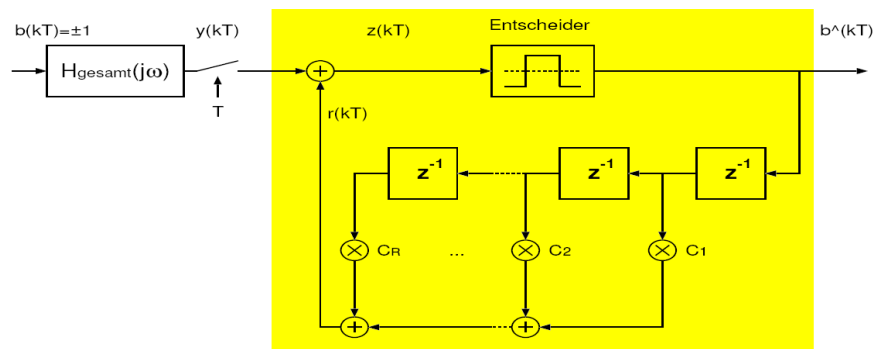
6 Binäre Basisbandübertragung

10 Punkte

Rekursive Entzerrung

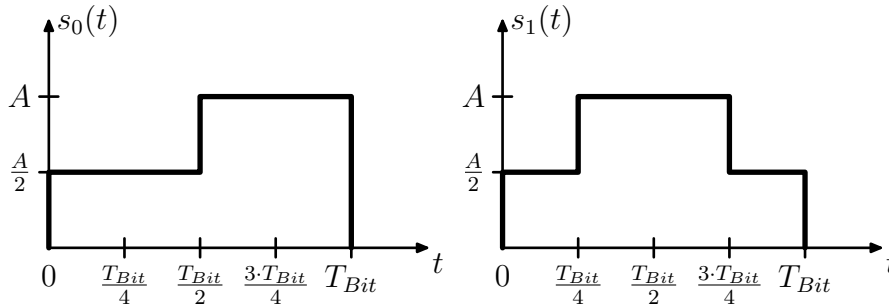
Das wirkungsvollste Verfahren zur Kompensation von Nachläufern ist eine Entzerrung mit quantisierter Rückkopplung.

- 6.1 Skizzieren Sie die Struktur solch eines rekursiven Entzerrers und erläutern Sie den Vorgang dieser Entzerrung anhand der Eingangsbitfolge $y(kT) = \{0, 0, 1, 0.6, -0.2, 0, 0, \dots\}$! 3 P

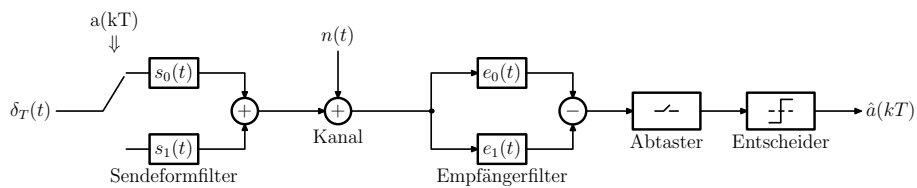


<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006</p>	<p>Blatt: 20</p>
---	---	------------------

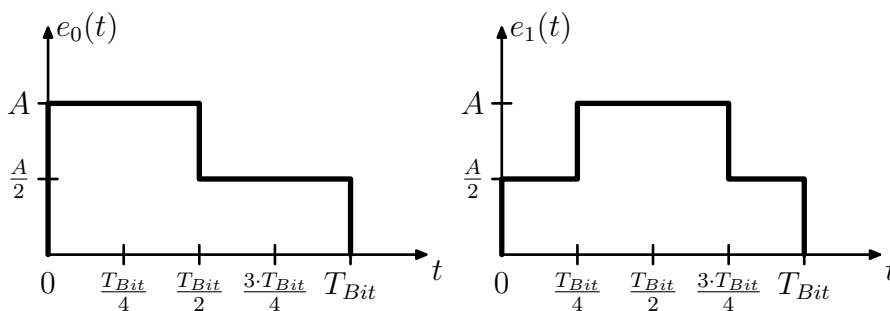
Gegeben sei eine bipolare Basisbandübertragungstrecke mit optimaler Empfängerstruktur (SAF). Auf dem Kanal soll das Signal eine additive gaußverteilte Rauschstörung erfahren, so dass das resultierende Kanal-SNR $\frac{E_B}{N_0} = 2$ ist. Die Sendeimpulse $s_0(t)$ und $s_1(t)$ sind unten dargestellt.



6.2 Zeichnen Sie das Blockschaltbild dieser Übertragungstrecke und benennen Sie die einzelnen Blöcke! 2 P



6.3 Skizzieren Sie die Impulsantworten der optimalen Empfangsfilter $e_0(t)$ und $e_1(t)$! 1 P



6.4 Zeigen Sie *allgemein*, dass bei Abwesenheit von Kanalstörungen und Verwendung von optimal signalangepassten Empfängerstrukturen der Abtastwert beim Entscheider zum optimalen Abtastzeitpunkt die Bitenergie E_B ist! 2 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 21
---	---	-----------

Gefragt ist $s_{0/1}(t) * e_{0/1}(t)$ zum Zeitpunkt $t = T_{\text{Bit}}$. Mit $e_{0/1}(t) = s_{0/1}(T_{\text{Bit}} - t)$ folgt

$$\begin{aligned} s_{0/1}(t) * s_{0/1}(T - t) &= \int_{-\infty}^{\infty} s_{0/1}(\tau) \cdot s_{0/1}(T_{\text{Bit}} - (t - \tau)) \, d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} s_{0/1}(\tau) \cdot s_{0/1}(\tau + T_{\text{Bit}} - t) \, d\tau \end{aligned}$$

was mit $t = T_{\text{Bit}}$ zu

$$\begin{aligned} &= \int_{-\infty}^{\infty} s_{0/1}(\tau) \cdot s_{0/1}(\tau) \, d\tau \\ &= E_B \end{aligned}$$

wird.

- 6.5 Wie sieht das optimale Sendesignal $s_{1,\text{opt}}(t)$ zu dem oben skizzierten $s_0(t)$ aus? Begründen Sie kurz Ihre Wahl! 1,5 P

Die zu minimierende Bitfehlerwahrscheinlichkeit berechnet sich zu

$$p_{\text{Bit}} = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc} \left(\frac{E_B}{2N_0} (1 - \rho_{01}) \right)$$

und wird minimal wenn ρ_{01} minimal mit $\rho_{01} = -1$ wird. Somit ist im optimalen Fall $s_1(t) = -s_0(t)$.

- 6.6 Mit welcher alternativen Empfangsstruktur kann das Ergebnis eines SAF noch erzeugt werden? 0,5 P

Mit Hilfe eines Korrelationsempfängers.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006</p>	<p>Blatt: 22</p>
---	---	------------------

7 Binäre und mehrwertige Modulation**10 Punkte**

- 7.1 Ein digitales Audiosignal soll mit 64 kBit/s über einen bandbegrenzten HF-Kanal übertragen werden. Zur Übertragung werde ein binäres Modulationsverfahren eingesetzt. Um die zeitliche Ausdehnung der Sendepulse zu reduzieren werden raised-cosine (\cos^2)-Sendefilter im Basisband verwendet. Welche Bandbreite muss der Kanal mindestens haben und wie groß ist dann die Kanalausnutzung?

$r = 1$ (wg. raised-cosine-Sendefilter)

$$B_{\text{K}_m} \approx R_{\text{Bit}}(1 + r) = 2 \cdot 64 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$$

$$\text{Kanalausnutzung: } \max \left\{ \frac{R_{\text{Bit}}}{B_{\text{K}_m}} \right\} = 0,5 \frac{\text{Bit/s}}{\text{Hz}}$$

- 7.2 Amplituden- und Phasenumtastung (ASK/PSK) 1,5 P
- a) Erläutern Sie die Funktionsweise der ASK und PSK! 1 P
- b) Die BPSK kann auch mit Hilfe eines simplen ASK-Modulators durchgeführt werden. Welche Eigenschaft müssen die Basisbandimpulse dafür aufweisen? 0,5 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 23
---	---	-----------

- 7.3 Frequenzumtastung - FSK 3 P
- a) Geben Sie die allgemeine Gleichung für die Sendeimpulse $s_{m0}(t)$ und $s_{m1}(t)$ an! 1 P
- b) Zeichnen Sie das FSK-modulierte Signal der binären Folge "1001100" unter der Annahme, dass ein einzelner Oszillator (continuous phase FSK) zur Modulation verwendet wurde! 1 P
- c) Was wird unter einer kohärenten Demodulation verstanden? 0,5 P

d) Worauf bezieht sich bei der orthogonalen FSK die Eigenschaft der Orthogonalität? 0,5 P

7.4 Mehrwertige Modulation 3,5 P

a) Zeichnen Sie die Signalraumdarstellung für eine 4-PSK mit einem Phasenoffset von $\pi/4$ und für die 16-QAM! 1,5 P

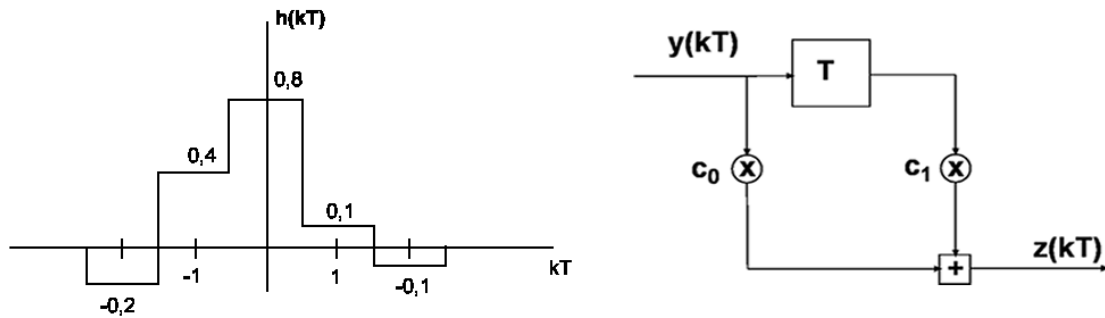
b) Erläutern Sie die Bedeutung des Graycodes für mehrwertige Modulationsverfahren! Gehen Sie hierbei auf eventuelle Auswirkungen auf die Bitfehlerwahrscheinlichkeit ein! 1 P

c) Vergleichen Sie qualitativ die 16-QAM und die 16-PSK bezüglich ihrer Fehlerrobustheit bei gleichem Kanal-SNR! Treffen Sie weiterhin eine Aussage darüber, wie die erforderliche mittlere Leistung für die Verfahren der M -wertigen ASK, PSK, FSK und QAM in Abhängigkeit von M zunimmt. 1 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006</p>	<p>Blatt: 25</p>
--	--	------------------

8 Entzerrung eines Datensignals*10 Punkte**

Gegeben seien die folgende Impulsantwort eines Übertragungskanal und das folgende Entzerrungsfilter:



***8.1 Berechnen Sie die Datenverzerrung des Kanals!**

0,5 P

$$D = \frac{0,2 + 0,4 + 0,8 + 0,1 + 0,1}{0,8} = 1$$

***8.2 Über den Kanal soll die Bitfolge $b(kT) = 1,0,1,0,1,0, \dots$ übertragen werden. Skizzieren Sie das Empfangssignal $y(kT) = \sum_n b(nT) \cdot h[(k-n)T]$ für $-2 \leq k \leq 6$!**

1,5 P

s. Rechenübung

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006</p>	<p>Blatt: 26</p>
---	---	------------------

***8.3 Berechnen Sie die Filterkoeffizienten, so dass ...** **2 P**

a) ... ein Vorläufer kompensiert wird! **1 P**

s. Rechenübung

$$c_0 = -\frac{2}{3}, c_1 = \frac{4}{3}$$

b) ... ein Nachläufer kompensiert wird! **1 P**

s. Rechenübung

$$c_0 = \frac{4}{3}, c_1 = -\frac{1}{6}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 27
---	---	-----------

***8.4 Berechnen Sie die Ausgangssignale des Entzerrers ($z(-2T)$ bis $z(3T)$) für den Fall, dass ... 3 P**

a) ... ein Vorläufer kompensiert wird! 1,5 P

$$\begin{aligned}z(-2T) &= \frac{2}{15} \\z(-T) &= -\frac{8}{15} \\z(0) &= 0 \\z(T) &= 1 \\z(2T) &= \frac{1}{5} \\z(3T) &= -\frac{2}{15}\end{aligned}$$

b) ... ein Nachläufer kompensiert wird! 1,5 P

$$\begin{aligned}z(-2T) &= -\frac{4}{15} \\z(-T) &= \frac{17}{30} \\z(0) &= 1 \\z(T) &= 0 \\z(2T) &= -\frac{3}{20} \\z(3T) &= \frac{1}{60}\end{aligned}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 28
---	---	-----------

- *8.5 Berechnen Sie die Datenverzerrung für beide Fälle (Vor- bzw. Nachläuferkompensation) und erläutern Sie kurz, ob sich die Entzerrung überhaupt gelohnt hat! 1 P**

D=1 (jeweils) ⇒ Eher nicht, da verstärkt weiter entfernt liegende Vor- bzw. Nachläufer auftreten ...

- *8.6 Skizzieren Sie die Ausgangssignale des Entzerrers für beide Fälle ($y(kT) = h(kT)$)! 2 P**

siehe Rechenübung

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 18.10.2006	Blatt: 29
---	---	-----------