Universität Bremen
Arbeitsbereich Nachrichtentechnik
Prof. Dr.-Ing. A. Dekorsy

Schriftliche Prüfung im Fach

Grundlagen der Nachrichtentechnik

Name: ______________________

Vorname: ______________________

Mat.-Nr.: ______________________

BSc. / Dipl.: ______________________

Zeit: 21. September 2017, 10.00 - 12.00 Uhr

Ort: NW 1, H 3

Umfang: 6 Aufgaben

Aufgabe:	1	2	3	4	5	6	**gesamt**
Punkte:	(9)	(7)	(8)	(8)	(9)	(9)	**(50)**
erzielt:							

Hinweise:

- Als Hilfsmittel ist nur ein nicht programmierbarer Taschenrechner erlaubt!
- Zum Bestehen der Klausur müssen von den erreichbaren 50 Punkten mindestens 20 Punkte erreicht werden!
- Bitte schreiben Sie Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer auf *jedes* abgegebene Blatt.

Aufgabe 1 (9 Punkte) (**Kurzfragen**)

Beantworten Sie die folgenden Fragen stichpunktartig. Beachten Sie, dass die Unterpunkte unabhängig voneinander zu lösen sind.

(a) Erläutern Sie den prinzipiellen Unterschied zwischen Quellen- und Kanalcodierung.

(b) Erläutern Sie in Kürze, was man unter einem linearen, zeitinvarianten System (LTI System) vesteht

(c) Durch welche Funktion wird die Impulantwort eines idealen Tiefpasses beschrieben? Warum lässt sich dieses Filter nur näherungsweise praktisch realisieren?

(d) Was versteht man unter Aliasing? Unter welchen Umständen tritt es auf?

(e) Ein bandbegrenztes, zeitkontinuierliches Signal $x(t)$ wird äquidistant mit der Abtastfrequenz f_A abgetastet. Welche Eigenschaft besitzt das Spektrum $X(e^{j\Omega})$ der resultierenden zeitdiskreten Folge?

(f) Geben sie die Impulsantwort $h(t)$ und den Frequenzgang $H(j\omega)$ eines idealen, verzögerungsfreien Übertragungskanals an.

Aufgabe 2 (7 Punkte) (**Modulation**)

Gegeben ist eine 16-QAM-Modulation.

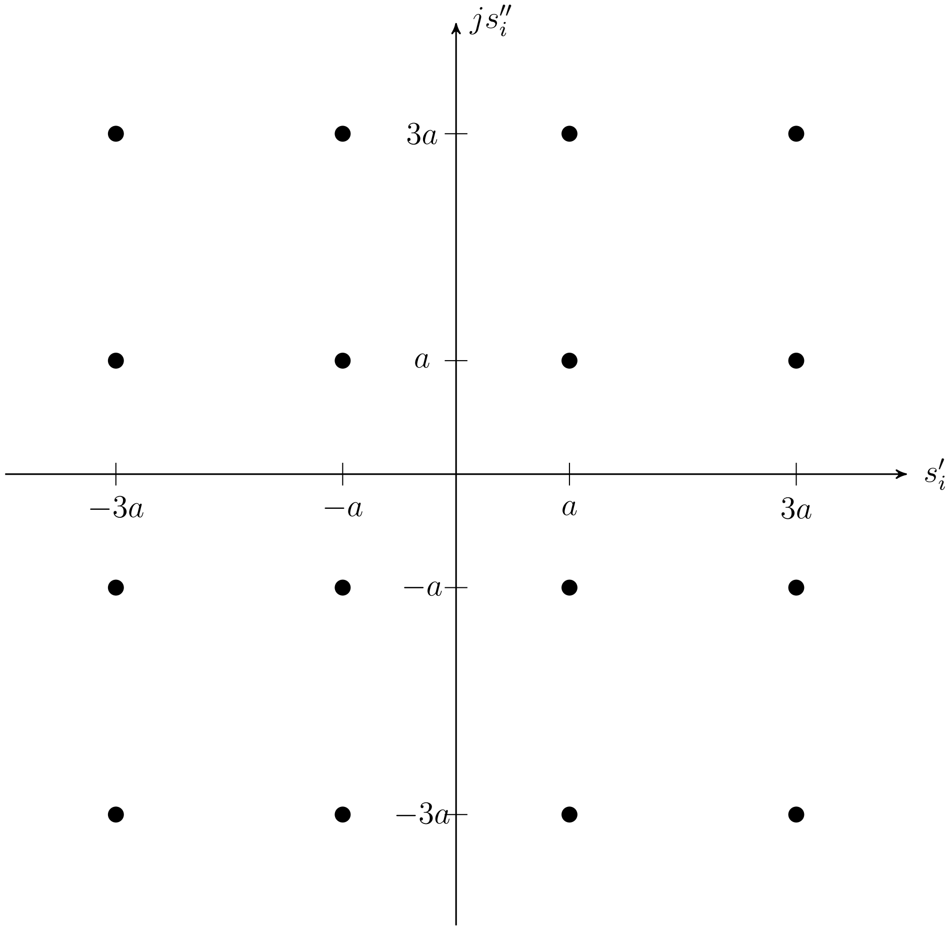

Abbildung 1: 16-QAM-Signalraum

(a) Geben Sie an, wie viele Bits mit einem 16-QAM-Symbol gesendet werden.

(b) Was sind die Vor- und Nachteile einer 16-QAM gegenüber einer BPSK?

(c) Bestimmen Sie den Parameter a, sodass die mittlere Sendeleistung auf $\bar{E}_s = E\{|s_i|^2\} = 1$ normiert ist.

(d) Die modulierten Bits werden nun rechteckförmig umgetastet und über einen AWGN-Kanal mit Rauschleistung $\sigma_n = 10^{-1}$ gesendet. Bestimmen Sie das mittlere Signal zu Rausch-Verhältnis am Empfänger in dB.

Aufgabe 3 (8 Punkte) (**Matched-Filter**)

Gegeben sei ein digitales Übertragungssystem mit dem Sendefilter

$$g_{\mathrm{Tx}}(t) = \begin{cases} 1/T_s & \text{für} \quad T_s/2 < t < T_s/2 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

und dem Empfangsfilter

$$g_{\mathrm{Rx}}(t) = \begin{cases} 2/T_s & \text{für} \quad T_s/4 < t < T_s/4 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

(a) Geben sie die Matched-Filter Bedingung für allgemein komplexwertige Filter an. Ist diese für das gegebene Filterpaar erfüllt?

(b) Skizzieren Sie die Gesamtimpulsantwort $(g_{\mathrm{Tx}} * g_{\mathrm{Rx}})(t)$ des Systems. Achten Sie auf eine vollständige Achsenbeschriftung.

(c) Das Signal-zu-Rauschverhältnis nach dem Empfangsfilter ist allgemein gegeben durch

$$\mathrm{SNR} = \frac{\bar{E}_s}{N_0/2} \cdot \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} g_{\mathrm{Rx}}(\tau)\; g_{\mathrm{Tx}}(-\tau) d\tau \right|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} |g_{\mathrm{Rx}}(\tau)|^2 \, d\tau \int_{-\infty}^{\infty} |g_{\mathrm{Tx}}(\tau)|^2 \, d\tau} .$$

Zeigen Sie, dass die Wahl des Filterpaares nicht optimal im Sinne eines maximalen SNRs ist, das resultierende SNR also geringer ist als das optimale SNR

$$\mathrm{SNR}_{\mathrm{opt}} = \frac{\bar{E}_s}{N_0/2} .$$

Hinweis:
Das Faltungsprodukt beider Filter kann direkt über die Gesamtimpulsantwort aus Aufgabenteil (b) bestimmt werden. Werten Sie dazu die Amplitude der Gesamtimpulsantwort zum Abtastzeitpunkt $iT = 0$ aus.

Aufgabe 4 (8 Punkte) (**Nichtlinearität**)

Das Signal $x(t) = \cos(\omega_0 t)$ wird über einen nichtlinearen Kanal gesendet. Als Ausgangssignal ergibt sich

$$y(t) = x(t) - \frac{1}{3}x^3(t)$$

(a) Berechnen Sie das Ausgangssignal $y(t)$ und stellen sie den Frequenzgang $|X(j\omega)|$ des Eingangssignals und den des Ausgangssignals $|Y(j\omega)|$ graphisch dar.

(b) Berechnen Sie den Klirrfaktor des Übertragunskanals.
(Wenn Aufgabenteil (a) nicht gelöst worden ist, kann für $y(t) = \frac{1}{2}\cos(\omega_0 t) - \frac{1}{2}\cos(3\omega_0 t)$ angenommen werden.)

(c) Erklären Sie, wie in der Realität der Klirrfaktor durch die Rauschklirrmessung bestimmt werden kann.

Hinweise:
(Für die Bearbeitung der Aufgabe sind nicht zwingend alle Hinweise zu benutzen.)

$$\begin{aligned}
X(j\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t}\,dt \\
x(t) &= \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega)e^{j\omega t}\,d\omega \\
\cos^3(\omega_0 t) &= \frac{1}{4}\left(3\cos(\omega_0 t) + \cos(3\omega_0 t)\right) \\
x_1(t)\cdot x_2(t) &\circ\!\!-\!\!\bullet\; X_1(j\omega) * X_2(j\omega) \\
\mathrm{si}(\omega_0 t) &\circ\!\!-\!\!\bullet\; \frac{\pi}{\omega_0}\cdot \mathrm{rect}(\frac{\omega}{2\omega_0}) \\
\mathrm{rect}(\frac{\omega}{2\omega_0}) &= \begin{cases} 1 & \text{für } |\omega| < \omega_0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \\
\Omega &= \omega T_\mathrm{A} = 2\pi f T_\mathrm{A}
\end{aligned}$$

Aufgabe 5 (9 Punkte) (**Bitfehlerwahrscheinlichkeit**)

Gegeben ist ein BPSK Modulation mit $P(d_i = 1) = P(d_i = -1) = 0.5$. Die Symbole werden bei der Übertragung mit Rauschen n einer beliebigen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $p_N(n)$ überlagert.

(a) Geben Sie an, wie sich die Bitfehlerwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Entscheidungsschwelle S berechnen lässt.

Im folgenden sei gleichverteiltes Rauschen im Intervall $n \in [-1.1, 1.1]$ angenommen

(b) Skizzieren Sie die bedingten Verteilungsdichten der beiden Symbole $p_{-1}(x)$ und $p_{+1}(x)$ und markieren Sie den optimalen Schwellwert S.

(c) Berechnen Sie die Bitfehlerwahrscheinlichkeit mit dem optimalen Schwellwert.

(d) Berechnen Sie die Bitfehlerwahrscheinlichkeit für den Schwellwert $S = -0.2$.

Hinweis: Vermeiden Sie die explizite Berechnung von Integralen durch Ausnutzung der einfachen geometrischen Formen

Aufgabe 6 (9 Punkte) (**Codierung**)

Gegeben sei folgende Generatormatrix eines binären, linearen $(n, k, d_{\min})_2$ Blockcodes.

$$\mathbf{G} = [1\,1\,1\,1\,1]$$

(a) Geben Sie die Codewortlänge n und die Informationswortlänge k an. Um was für einen Code handelt es sich?

(b) Geben Sie die zu $\mathbf{G}$ gehörige Prüfmatrix $\mathbf{H}$ an. Welcher Bedingung müssen $\mathbf{G}$ und $\mathbf{H}$ gehorchen, damit $\mathbf{H}$ eine gültige Prüfmatrix darstellt?

(c) Geben Sie die minimale Hamming-Distanz $d_{\min}$ zweier beliebiger Codewörter des Codes, die maximale Anzahl korrigierbarer und die Anzahl der erkennbaren Fehler bei Fehlererkennung an.

(d) Geben Sie alle möglichen Codewörter des durch $\mathbf{G}$ generierten Codes und die dazugehörigen Informationsbits an.