Aufgabe 1: Signalübertragung

20 Punkte

1. Warum erfordert die unverzerrte Übertragung eines binären, isochronen, periodischen Signals s(t) mit der Periode T_0 einen Übertragungsweg unendlicher Bandbreite? (2P)

s(t) lässt sich als unendliche Fourier-Reihe darstellen, d.h. der Übertragungsweg muss in der Lage sein, sin-/cos-Signale beliebig hoher Frequenz zu übertragen.

2. Skizzieren Sie das Spektrum von s(t) sowie das Spektrum eines Rechteckimpulses. (2P)

s(t) hat ein diskretes Linienspektrum (Abb. 2.5), ein Rechteckimpuls ein kontinuierliches Spektrum (Abb. 2.6).

3. Ein Rechteckimpuls werde über einen Übertragungsweg endlicher Bandbreite übertragen; skizzieren Sie das am Ausgang des Übertragungsweges empfangene Signal. (2P)

siehe Abb. 2.7

4. Was versteht man unter der Bandbreiteausnutzung eines Übertragungsverfahrens? (2P)

das Verhältnis von Schrittgeschwindigkeit des Signals zur Bandbreite des Übertragungsweges (siehe auch (2.22))

5. Beschreiben Sie kurz das Prinzip und die Vorteile von Partial-Response-Verfahren. (2P)

siehe Kurs, Seiten 21 unten - 23

6. Übertragung analoger Signale mit Hilfe digitaler Signale

   a. Wie lautet Shannons Abtasttheorem? (3P)

siehe Kurs, Seite 41

   b. Skizzieren Sie kurz die einzelnen Schritte der Codierung, Übertragung und Decodierung bei der Übertragung analoger Signale mit Hilfe digitaler Signale.(3P)

siehe Kurs, Seite 42

   c. Warum lässt sich in der Regel das analoge Signal aus dem übertragenen digitalen Signal nicht wiedergewinnen? (2P)

weil die Abtastwerte gerundet werden

   d. Was versteht man unter Delta-Modulation? Welche Folgen hat eine zu geringe Abtastfrequenz? (2P)

siehe Kurs, Seiten 43/44

Aufgabe 2: Codierung

40 Punkte

1. Zyklische Blocksicherung
   a. Beschreiben Sie das Verfahren der zyklischen Blocksicherung (4P)

siehe Kurs Seite 100/101

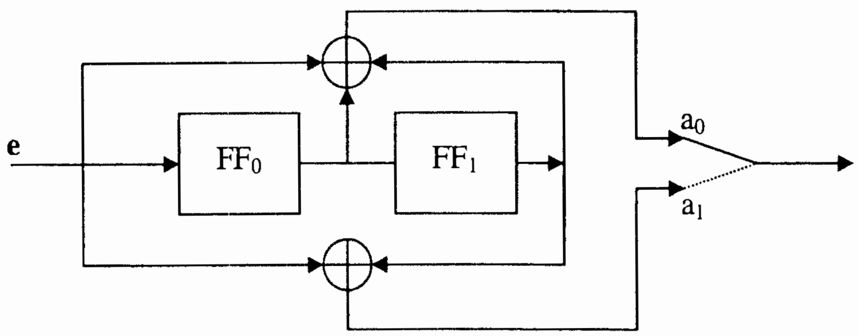
   b. Welche Fehlermuster können unter welchen Voraussetzungen an das Generatorpolynom mit Sicherheit erkannt werden (bitte begründen!)? (4P)

Bei Verwendung eines Generatorpolynoms vom Grad k mit $g_0 = 0$ wird ein Fehlerbündel bis zur Länge k innerhalb der Koeffizienten eines Codepolynoms sicher erkannt.
Begründung: Ein fehlerhaft übertragenes Codepolynom C'(x) lässt sich in der Form darstellen $C'(x) = C(x) + x^a F(x)$. Besitzt F(x) einen Grad kleiner k, ist C'(x) mit Sicherheit nicht durch das Generatorpolynom teilbar, d.h. der Fehler wird erkannt.

   c. Zeigen Sie, dass wenn das Generatorpolynom den Faktor (x+1) enthält, eine beliebige ungerade Anzahl von Bitfehlern erkannt werden kann.
   Hinweis: Betrachten Sie die Summe modulo 2 aller Koeffizienten eines Polynoms $(1+x)\cdot p(x)$. (4P)

Ein Fehler kann nur dann nicht erkannt werden, wenn sich F(x) durch (x+1) dividieren lässt, d.h. wenn gilt $F(x) = (1+x)\cdot p(x)$. Jeder Koeffizient von p(x) tritt in der Summe über alle Koeffizienten von F(x) aber doppelt auf, d.h die Summe modulo 2 über alle Koeffizienten von F(x) verschwindet, d.h. F(x) lässt sich nur dann durch (1+x) dividieren, wenn eine ***gerade*** *Anzahl seiner Koeffizienten nicht verschwindet.*

2. Faltungscodes
   Im Weiteren werde der folgende Faltungscodierer mit zweistelligem Schieberegister und zwei binären Addierern betrachtet



   a. Erläutern Sie kurz das Prinzip eines Faltungscodierers (2P)

siehe Seite 102 unten

   b. Zeichnen Sie zu obigem Faltungscodierer ein Zustandsdiagramm (5P)

siehe Abb. 3.27

c. Zeichnen Sie zu obigem Faltungscodierer ein Spalierdiagramm (3P)

siehe Abb. 3.28

d. Decodieren Sie mit Hilfe des Verfahrens von Viterbi die folgenden empfangenen Codewörter, ausgehend vom Zustand S_0 (Schieberegister hat den Wert 00):

- 11 10 00 01 10 (3P)

Dieses Codewort ist zulässig, wie man Zustandsdiagramm oder Spalierdiagramm leicht entnimmt. Die ursprüngliche Zeichenfolge vor ihrer Codierung lautet 1 0 1 1 1

- 01 00 01 00 00 (4P)

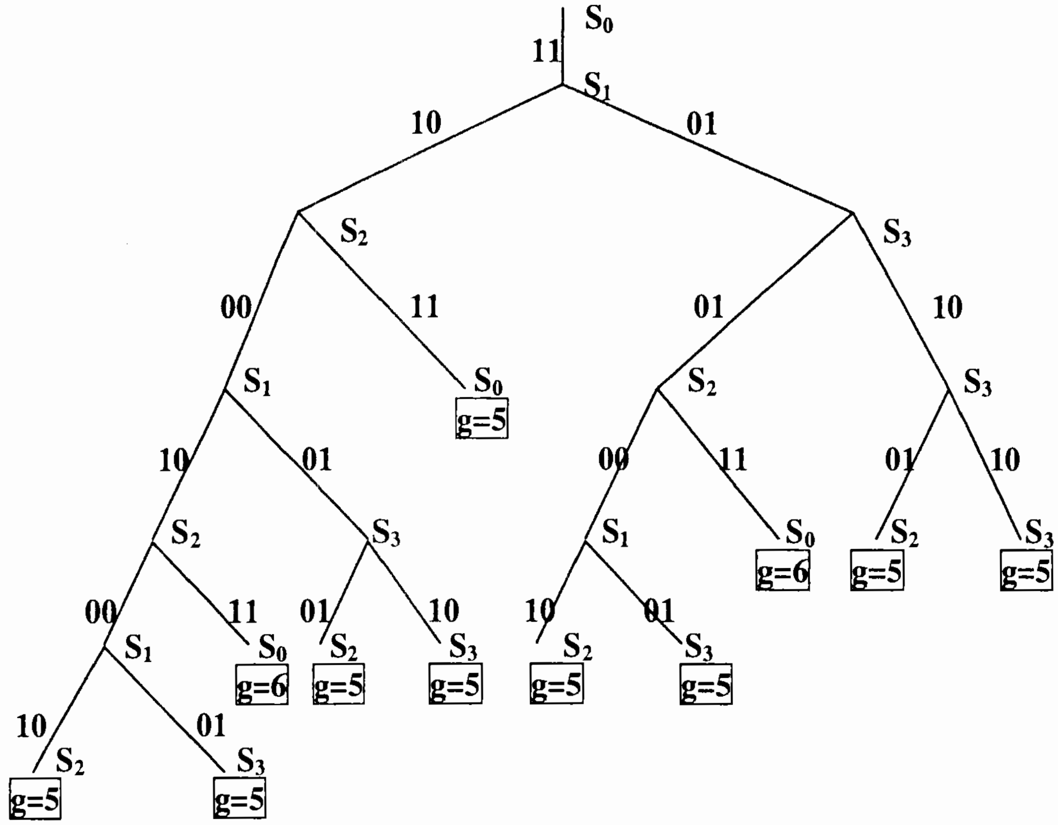
siehe KE2, Übungsaufgabe 3.3.a.). Die ursprüngliche Zeichenfolge vor Codierung und fehlerhafter Übertragung lautete 0 0 0 0 0

- 00 01 00 11 00 (4P)

siehe KE2, Übungsaufgabe 3.3.b). Zum übertragenen fehlerhaften Codewort existieren drei zulässige Codewörter mit der Hammingdistanz 2, eine Fehlerkorrektur kann deshalb nicht erfolgen.

e. Die minimale Hammingdistanz aller Codewörter eines Faltungscodes ergibt sich aus dem minimalen Gewicht aller Fundamentalwege: Das Gewicht eines Codeworts ist die Anzahl seiner 1en, ein Fundamentalweg ist ein Codewort, das im Zustand S_0 startet und endet, ohne diesen zwischendurch zu berühren. Bestimmen Sie das minimale Gewicht des vorliegenden Faltungscodes (verfolgen Sie systematisch alle in S_0 startenden Codewoerter, z.Bsp. anhand eines binären Codewoerterbaums). (7P)

Lösungsvorschlag:



Das minimale Gewicht und damit die Hammingdistanz des Faltungscodes ergibt sich somit zu $g = 5$

Aufgabe 3: Datenübertragung

25 Punkte

Eine sendende Station sendet einer empfangenden Station über einen gestörten Kanal Rahmen, die jeweils Nutzbits und Zusatzbits für Kontrollzwecke enthalten. Im Rahmen dieser Aufgabe soll untersucht werden, wie groß die **Anzahl der Nutzbits n_N** zu wählen ist, damit die mittlere Zeit zur Übertragung eines Nutzbits minimiert wird.

Vorausgesetzt werde,

- dass Quittungen immer korrekt und fehlerfrei übertragen werden,
- dass die Verarbeitungszeiten von Rahmen und Quittungen, sowie die Zeiten zur Übertragung von Quittungen, nicht jedoch die Signallaufzeiten von Rahmen und Quittungen, vernachlässigt werden können.

Es seien fest vorgegeben:

- Anzahl der Zusatzbits n_Z
- Übertragungsgeschwindigkeit v_u (und damit die Bitübertragungszeit t_b)
- Signalausbreitungsgeschwindigkeit v_a
- Bitfehlerwahrscheinlichkeit p_b
- Entfernung der Stationen L

1. Bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit, dass ein Rahmen fehlerhaft übertragen wird (Rahmenfehlerwahrscheinlichkeit p_r) in Abhängigkeit von p_b. (Tipp: Bestimmen Sie hierzu die Wahrscheinlichkeit, dass ein Rahmen *korrekt* übertragen wird!). (3P)
2. Wie oft muss ein Rahmen im Mittel übertragen werden, bis er den Empfänger schließlich korrekt erreicht? Welche Zeit t_g vergeht bis dahin? (3P)
3. Bestimmen Sie die effektive Übertragungszeit eines Nutzbits

$$t_{eff} = t_g/n_N.$$

und berechnen Sie (durch Differenzieren von t_{eff}) die optimale Anzahl von Nutzbits n_{Nopt} in Abhängigkeit von n_Z, v_u, v_a, p_b und L. (15P)

4. Bestimmen Sie n_{Nopt} für $n_Z = 48$, $v_u = 10\text{Mbit/sec.}$, $v_a = 2\cdot 10^8\text{m/sec}$, $L = 1\text{km}$, $p_b = 10^{-4}$. (4P)

Hinweise: $\sum_{i=1}^{\infty} i\cdot x^{i-1} = \frac{1}{(1-x)^2}$; $\frac{d}{dx}a^x = \ln(a)\cdot a^x$;

$$\ln(1-x) = -(x + \frac{x^2}{2} + ...)$$

Analog zum Kurs (Seiten 136/137) ergibt sich

$$t_{eff} = \frac{t_g}{n_N} = \frac{(n_N + n_Z)t_b + 2t_a}{(1-p_b)^{(n_N + n_Z)} \cdot n_N}$$

mit den Abkürzungen

$\alpha = n_Z \cdot t_b + 2t_a$ *und* $\beta = 1 - p_b$ *ergibt sich*

$$\frac{d}{dn_N} t_{eff} = 0 \Leftrightarrow \beta^{(n_N + n_Z)} (t_b \cdot n_N - (n_N \cdot t_b + \alpha)(1 + n_N \bullet \ln \beta)) = 0$$

$$\Leftrightarrow n_N^2 t_b \ln \beta + n_N \alpha \ln \beta + \alpha = 0$$

$$\Rightarrow n_{Nopt} = -\frac{\alpha}{2t_b} + \sqrt{(\frac{\alpha}{2t_b})^2 - \frac{\alpha}{t_b \ln \beta}} \approx -\frac{\alpha}{2t_b} + \sqrt{(\frac{\alpha}{2t_b})^2 + \frac{\alpha}{t_b p_b}}$$

$$\alpha = 148_{10} - 7 und \frac{\alpha}{2t_b} = 74 \Rightarrow n_{Nopt} = 1.145$$

Aufgabe 4: Verfahren dezentraler Wegauswahl

15 Punkte

1. Beschreiben Sie das Verfahren von Bellmann-Ford (Ford-Fulkerson-Algorithmus). (5P).
2. Skizzieren Sie eine Situation, in der das Verfahren von Bellmann-Ford versagt. (5P)
3. Wie unterscheidet sich das Verfahren der Wegauswahl mit Zustandsvektoren vom Bellmann-Ford-Verfahren? (5P)

siehe Kurs, Seiten 287 - 290