

Übung 3

Abgabe: 31. Mai 2021

Aufgabe 3.1: Abtasttheorem (1,5 Punkte)

Sie möchten einen PCM384 Stereo-Audio-Stream versenden, der Frequenzen bis 384 kHz enthalten soll. Zur Codierung werden 32 Bit-Integer verwendet. *Berechnen Sie die Datenrate*, die zur Übertragung des Audio-Streams benötigt wird.

Aufgabe 3.2: Code Division Multiplexing (CDM) (1 + 0.5 + 1 = 2.5 Punkte)

In modernen Mobilfunknetzen wird teilweise Code Division Multiplex (CDM) als Mehrfachzugriffsverfahren eingesetzt. Bei CDM wird jedes Datenbit $x \in \{0, 1\}$ zur Übertragung mittels eines Spreizcodes $a = a_0 a_1 \cdots a_{m-1}$ mit $a_i \in \{-1, +1\}$ in eine Signalfolge übersetzt, wobei gilt:

x	gesendete Bitfolge
0	$a = a_0 a_1 \cdots a_{m-1}$
1	$-a = -a_0 - a_1 \cdots - a_{m-1}$

Es gibt also pro Spreizcode genau zwei Codeworte.

Zwei Mobilfunkgeräte kommunizieren über CDM mit einer Basisstation und nutzen dabei die orthogonalen Codes $a = 1, -1, 1, -1$ und $b = 1, -1, -1, 1$. Das erste Gerät sendet die Datenfolge 1, 1, 1 und das zweite die Datenbitfolge 1, 0, 0.

- Bestimmen Sie die *Signalfolgen*, die die Geräte jeweils aussenden.
- Bestimmen Sie ebenfalls die *Signalfolge*, die bei der Basisstation ankommt, wenn beide Geräte gleichzeitig mit dem Senden beginnen. Die Signallaufzeit und die Dämpfung der Übertragungsstrecke können Sie hierbei vernachlässigen.
- Welche *Probleme* ergeben sich bei unterschiedlichen *Laufzeiten* bzw. *Dämpfungen* zwischen beiden Geräten und der Basisstation?

Aufgabe 3.3: Character- und Bit-Stuffing (1 + 1 + 2 = 4 Punkte)

Bei einer Datenübertragung solle Codetransparenz erreicht werden. Dazu soll entweder Character-Stuffing oder Bit-Stuffing eingesetzt werden. Als Flag (bei Bit-Stuffing) bzw. als STX und ETX (bei Character-Stuffing) zur Kennzeichnung von Anfang und Ende eines Blocks werde die Bitfolge 01111110 verwendet. Als DLE bei Character-Stuffing werde die Bitfolge 11100000 verwendet. Die Maskierung des Flags bei Bit-Stuffing erfolgt wie in der Vorlesung dargestellt.

Gegeben sei weiterhin die folgende Zeichencodierung:

- A 01111110
- B 01000111
- C 11000111
- D 11100000

- Geben Sie die *Bitfolge* an, die übertragen wird, wenn die vier Zeichen A B C D als Block unter Verwendung von *Bit-Stuffing* versendet werden sollen.

- b) Geben Sie die *Bitfolge* an, die übertragen wird, wenn die vier Zeichen A B C D als Block unter Verwendung von *Character-Stuffing* versendet werden sollen.
- c) Bit- und Character-Stuffing erzeugen einen Overhead. Dieser bezeichnet die Anzahl der hinzugefügten Bits bzw. Zeichen in Relation zur Anzahl der Bits bzw. Zeichen der zu übertragenden Daten. Welchen *maximalen Overhead* können *Character-Stuffing* und *Bit-Stuffing* wie hier definiert bei Übertragungen mittels der obigen Zeichencodierung jeweils hervorrufen? Begründen Sie Ihre Wahl.

Aufgabe 3.4: Bitfehlerraten (1.5 Punkte)

In der Vorlesung wurde der Begriff der *Bitfehlerrate* eingeführt. Eine Bitfehlerrate von 10^{-2} bedeutet beispielsweise, dass jedes Bit mit einer Wahrscheinlichkeit von einem Prozent fehlerhaft ist. Wenn Fehlererkennung, aber keine Fehlerkorrektur angewendet wird und ein Bit in einem Paket fehlerhaft ist, wird in der Praxis das ganze Paket verworfen.

Wir definieren daher analog zur Bitfehlerrate die *Paketfehlerrate*:

$$\text{Paketfehlerrate (packet error rate, PER)} = \frac{\text{Summe Pakete mit fehlerhaftem Bit}}{\text{Summe übertragene Pakete}}.$$

Nehmen Sie an, dass die Bitfehlerrate bei einer Übertragung bei 10^{-5} liegt und die Bitfehler nicht korreliert sind. Berechnen Sie die *Paketfehlerrate* jeweils für Pakete der Länge 40 Byte und 1500 Byte.

Aufgabe 3.5: Parität (1 + 1 = 2 Punkte)

- a) Zur Sicherung von Blöcken schlägt ein Experte vor, *zwei Parity-Bits* zu verwenden. Das erste Parity-Bit sichert alle Bits an ungeraden Positionen im Block, das zweite Parity-Bit sichert alle Bits an geraden Positionen im Block. *Wie viele Bitfehler* können mit dieser Sicherungstechnik *sicher erkannt* werden? Wie viele *korrigiert*? Begründen Sie Ihre Antwort.
- b) Die Bitfolge 111010001011010110011000101101 soll übertragen werden. Berechnen Sie zu dieser Bitfolge die *Kreuzparität*, also eine kombinierte Längs- und Querparität. Verwenden Sie dazu eine Blockgröße von 6 Bit und *gerade Parität* in beiden Richtungen.

Aufgabe 3.6: CRC und Übertragungsfehler (1.5 + 1 + 1 = 3,5 Punkte)

- a) Berechnen Sie für die Bitsequenz 1010 0011 die *CRC-Prüfsumme* mit dem Generatorpolynom $G(x) = x^4 + x^2 + 1$.
- b) Sie empfangen folgende Bitsequenz, die durch das CRC-Verfahren mit obigem Generatorpolynom gesichert wurde: 0111 1100 0101. *Ist ein Übertragungsfehler aufgetreten*? Begründen Sie Ihre Antwort.
- c) Ein Sender sendet nun die Bitsequenz aus a) mit angehängter CRC-Prüfsumme an einen Empfänger. Kippen Sie *genau 3 Bits* so, dass der Fehler vom Empfänger *nicht* erkannt wird. Die vom Sender angehängte CRC-Prüfsumme sollen Sie dabei nicht verändern. *Begründen Sie*, warum der Empfänger den Fehler nicht erkennt.