

## Kommunikation und Datenhaltung Sommersemester 2009

### 1. K-Übungsblatt

#### Aufgabe 1: Paritätsbit, Digital-Analog-Wandlung

Ausgehend von einem analogen Signal wurden digitale Stichproben aufgezeichnet (siehe Tabelle 1). Das »Most Significant Bit« (MSB) befindet sich in der Tabelle links.

Stichproben- nummer	MSB							Paritätsbit	Digitaler Wert	Amplitude
1	0	0	0	0	1	1	0	1	6	0.30
2	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0.10
3	0	0	1	0	0	1	0	1	18	0.90
4	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0.20
5	0	0	0	1	1	1	0	0	14	0.70
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.00
7	0	0	0	1	1	0	0	1	12	0.60
8	0	0	1	0	0	0	0	0	16	0.80
9	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0.20
10	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0.10

Tabelle 1: Stichproben

(a) Fügen Sie in der Tabelle 1 die Paritätsbits ein, so dass eine ungerade Bitparität entsteht.

Siehe Tabelle 1. In jeder Zeile muss mit dem eingefügten Paritätsbit eine ungerade Anzahl von Einsen vorhanden sein.

(b) Rekonstruieren Sie das analoge Signal anhand der gegebenen Gleichung

$$A = \frac{D \cdot 5}{100},$$

wobei  $A$  der Wert des analogen Signals und  $D$  der Wert der digital übermittelten Stichprobe ist. Stellen Sie das Signal als grafische Funktion dar.

Der digitale Wert und die Amplitude sind in Tabelle 1 eingetragen. Abbildung 1 zeigt die grafische Rekonstruktion des analogen Signals.

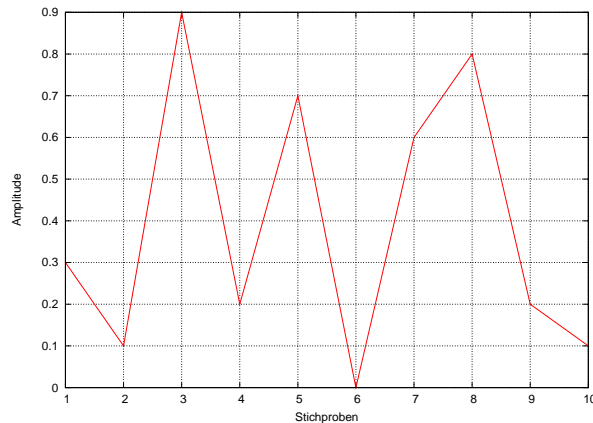


Abbildung 1: Rekonstruiertes analoges Signal

- (c) Welche Arten von Fehlern lassen sich mit den Paritätsbits erkennen?

Mit einem zusätzlichen Paritätsbit kann man eine *ungerade* Anzahl von Bitfehlern innerhalb eines Zeichens erkennen.

## Aufgabe 2: Übertragungsverfahren und Umformung

Zwei Rechner sind über ein gemeinsames physikalisches Medium verbunden. Ein Rechner möchte die Bitfolge »1011001« an den anderen übertragen.

- (a) Bei der Basisbandübertragung muss ein primäres Signal an die Mediencharakteristik angepasst werden. In der Vorlesung wurde die *Manchesterkodierung* als ein mögliches einfaches Verfahren angegeben. Eine »1« wird hierbei durch einen Signalübergang vom hohen zum niedrigen Pegel in der Intervallmitte dargestellt und eine »0« durch einen entsprechenden Übergang vom niedrigen zum hohen Pegel. Damit können pro Bitintervall bis zu zwei Signalwechsel auftreten. Ferner wurden in der Vorlesung drei weitere Modulationsverfahren betrachtet: die Amplituden-, Frequenz- und Phasenmodulation.

Skizzieren Sie die Übertragung der obigen Bitfolge mittels des Manchesterverfahrens, bzw. der Amplituden-, Frequenz- und Phasenmodulation.

Der Verlauf der Übertragungsverfahren ist in Abbildung 2 dargestellt.

## Aufgabe 3: Kanalkapazität

Die zugesicherte Bandbreite eines analogen CCITT-Fernsprechkanaals erstreckt sich von 300 Hz bis 3.400 Hz und der Signal-Rausch-Abstand (*Signal-Noise-Ratio*) des Kanals soll 42 dB betragen.

- (a) Wie hoch ist die maximal mögliche Schrittgeschwindigkeit (in baud)?

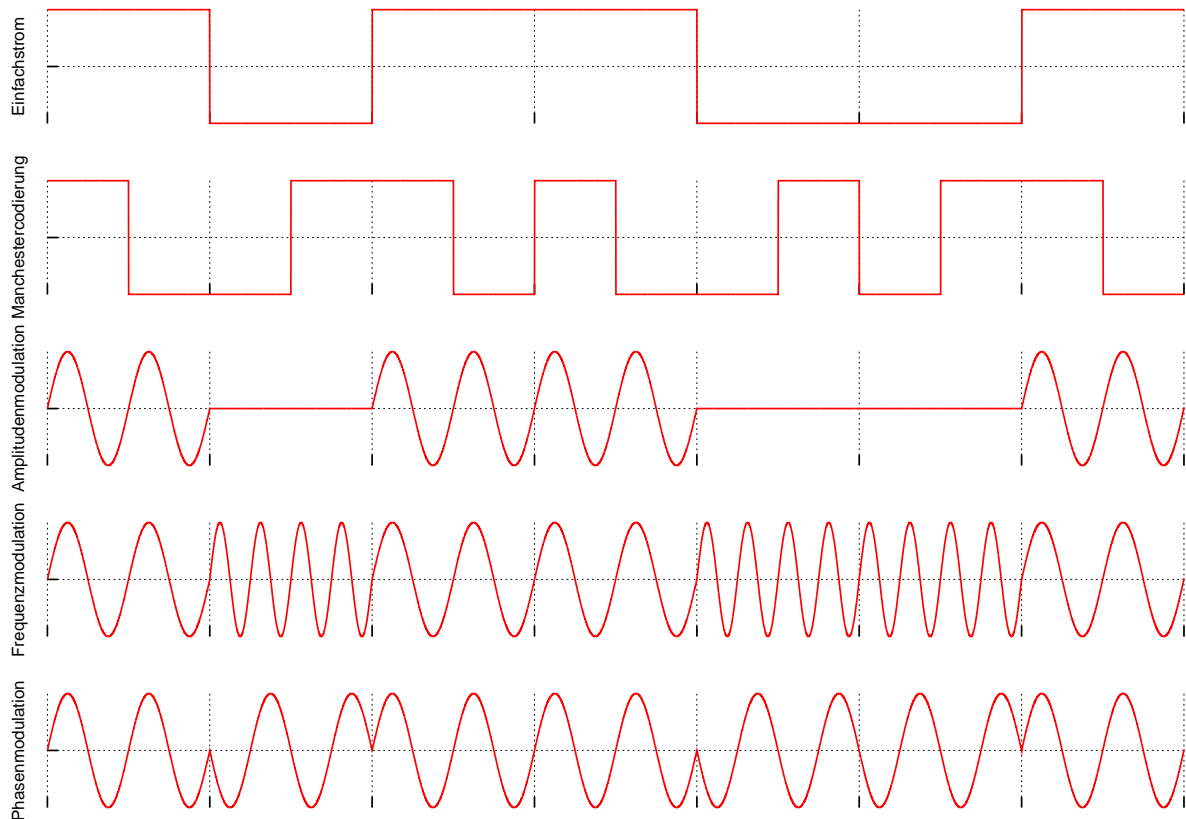


Abbildung 2: Übertragungsverfahren

Die maximal mögliche Schrittgeschwindigkeit errechnet sich abhängig von der verfügbaren Bandbreite nach Nyquist folgendermaßen:

$$\text{Bandbreite: } B = 3.400 \text{ Hz} - 300 \text{ Hz} = 3.100 \text{ Hz}$$

$$\text{Maximale Schrittgeschw.: } s_{max} = B \cdot 2 = 3.100 \text{ Hz} \cdot 2 = 6.200 \text{ baud}$$

- (b) Welche maximale Datenrate (in bit/s) lässt sich über einen solchen Kanal realisieren?

Bei einem idealen Kanal ohne Rauschen wäre eine beliebige Datenrate realisierbar. Der angegebene Signal-Rausch-Abstand beschränkt die Datenrate laut Nyquist jedoch wie folgt:

$$C = B \cdot \text{ld}(1 + S/R)$$

$$\text{SNR} = 42 \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10}(S/R)$$

$$S/R = 10^{4,2}$$

$$C = 3.100 \text{ Hz} \cdot \text{ld}(1 + 10^{4,2})$$

$$C \approx 43.252 \text{ bit/s}$$

- (c) Ein Modem, welches diesen Fernsprechkanal nutzt, muss das Eingabesignal in mehrere Signalstufen umformen. Wieviele Signalstufen sind zur Ausnutzung der maximalen Datenrate mindestens notwendig?

Die maximale Schrittgeschwindigkeit beträgt 6.200 baud und es sollen 43 kbit/s übertragen werden. Daraus ergibt sich folgende Gleichung:

$M = \text{Anzahl der Signalstufen}$

$$s_{max} \cdot \text{ld}(M) = B \cdot \text{ld}(1 + S/R)$$

$$6.200 \text{ baud} \cdot \text{ld}(M) = 3.100 \text{ Hz} \cdot \text{ld}(1 + 10^{4,2})$$

$$M \approx 125,89$$

Für die gewünschte Datenrate sind daher mindestens 126 Signalstufen erforderlich.

- (d) Wie hoch müsste der Signal-Rausch-Abstand sein, um eine Datenrate von 2 Mbit/s zu realisieren?

$$C = B \cdot \text{ld}(1 + S/R)$$

$$2 \text{ Mbit/s} = 3.100 \text{ Hz} \cdot \text{ld}(1 + S/R)$$

$$S/R \approx 2^{645}$$

$$\text{SNR} = 10 \cdot \log_{10}(S/R) = 10 \cdot \log_{10}(2^{645}) = 1942$$

Bemerkung: Ein so hoher Signal-Rausch-Abstand ist in öffentlichen Telefonnetzen nicht realisierbar.

- (e) Wie viele Standard-Fernsprechkanäle könnten Sie gleichzeitig über das physikalische Medium transportieren, falls dieses eine Übertragungsrate von 2,048 Mbit/s bieten würde? Welche Technik würden Sie hierbei verwenden, um die »quasi gleichzeitige« Nutzung zu ermöglichen?

Es empfiehlt sich der Einsatz des *Zeitmultiplex-Verfahrens*. Hierbei wird das Medium den einzelnen Fernsprechkanälen im schnellen Wechsel nacheinander zur Verfügung gestellt. Bei einer Übertragungsgeschwindigkeit von 2,048 Mbit/s können theoretisch (bei Vernachlässigung von Steuerinformationen) 32 Telefongespräche gleichzeitig betrieben werden ( $32 \cdot 64 \text{ kbit/s} = 2.048 \text{ kbit/s}$ ). Beim sogenannten PCM30-System besteht der entsprechende Rahmen aus 32 Zeitabschnitten, die jeweils 8 bit aufnehmen können. Zwei dieser Abschnitte werden für Steuerinformationen genutzt.

- (f) Die ITU Recommendation G.992.1 beschreibt ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) Transceiver über Twisted Pair Kabel (ein Transceiver ist ein Sende-Empfangsgerät) und sieht dabei die Nutzung des Frequenzbandes bis 1 MHz vor. Die Frequenzbänder spalten sich bei gleichzeitiger Nutzung von ISDN folgendermaßen auf:

0 – 130 kHz ISDN

138 – 276 kHz DSL Upstream aufgeteilt in 32 Kanäle à 4,3125 kHz

276 – 1104 kHz DSL Downstream aufgeteilt in 192 Kanäle à 4,3125 kHz

Wie hoch ist die maximale Datenrate, bei Annahme eines gleichverteilten Signal-Rausch-Abstandes von 42 dB?

Die maximale Datenrate berechnet sich wie oben mit  $C = B \cdot \text{ld}(S/R)$

$$C = (1104 \text{ kHz} - 138 \text{ kHz}) \cdot \text{ld}(1 + 10^{4,2}) \text{ oder}$$

$$C = (4,3125 \text{ kHz} \cdot \lg(1 + 10^{4,2})) \cdot (32 + 192)$$

$$C = 13,477 \text{ Mbit/s} = 1,925 \text{ Mbit/s (Upstream zur Vermittlungsstelle)} + 11,552 \text{ Mbit/s (downstream von der Vermittlungsstelle zum Teilnehmer)}$$

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Signal-Rausch-Abstand frequenzabhängig ist. Daher wird jeder Kanal vom DSL-Modem ausgemessen und die Datenrate bzw. das Modulationsverfahren entsprechend angepasst. Die ADSL-Übertragung ist nur auf Kurzstrecken (wenige km) einsetzbar und dient daher nur zur Verbindung des Endteilnehmers mit der Vermittlungsstelle (bzw. dem Straßenverteilerkasten). Dort werden die Signale zurückgewandelt und dann andere Übertragungsverfahren genutzt.

## Aufgabe 4: Leitungskapazität, Sende- und Laufzeiten

Hinweise zu den folgenden Aufgabenteilen: Tera =  $10^{12}$  (Abkürzung T), Giga =  $10^9$  (Abkürzung G), Mega =  $10^6$  (Abkürzung M), Kilo =  $10^3$  (Abkürzung k); die Ausbreitungsgeschwindigkeit betrage 200 000 km/s.

- (a) Wenn sich auf einer von ihnen betriebenen Übertragungsstrecke bei einer Datenrate von 1,25 Tbit pro Sekunde zu jeder Zeit 12,125 Gbyte auf dem Medium zwischen Sender und Empfänger befinden, wie weit sind Sender und Empfänger dann voneinander entfernt? Wie lautet die Bezeichnung für die angegebene Datenmenge, die sich gleichzeitig auf dem Medium befinden kann?

Die sich gleichzeitig auf dem Medium befindende Datenmenge wird auch als *Bandbreiten-Verzögerungs-Produkt* bezeichnet.

Für die Berechnung der Mediumslänge gibt es verschiedene Rechenwege. Folgender sei beispielhaft dargestellt:

Die benötigte Zeit, um 12,125 Gbyte bei einer Datenrate von 1,25 Tbit/s auf das Medium zu legen, beträgt:

$$\begin{aligned} \text{Zeit} &= \text{Datenvolumen} / \text{Übertragungsrate} \\ &= 12,125 \text{ Gbyte} / 1,25 \text{ Tbit/s} \\ &= (12,125 \text{ Gbyte} / 156,25 \text{ Gbyte}) \text{ s} \\ &= 0,0776 \text{ s} \end{aligned}$$

In dieser Zeit legen die Signale folgende Strecke zurück:

$$\begin{aligned} \text{Länge} &= \text{Geschwindigkeit} \cdot \text{Zeit} \\ &= (200\,000 \text{ km/s}) \cdot 0,0776 \text{ s} \\ &= 15\,520 \text{ km} \end{aligned}$$

- (b) Geben Sie für das Medium aus Teilaufgabe (a) die gesamte Übertragungsdauer von 3 Tbyte Daten an (vom Beginn des Sendens auf der Senderseite bis zum vollständigen Empfang auf der Empfängerseite; vernachlässigen Sie sonstige Bearbeitungszeiten). Aus welchen beiden Hauptkomponenten setzt sich diese Gesamt-Übertragungsdauer zusammen und wie groß sind diese? Welche dieser Komponenten würde sich ändern, wenn Sender und Empfänger weiter voneinander entfernt wären, bzw. wenn die Datenrate verändert würde?

Die Gesamtübertragungsdauer  $T_{\text{Gesamt}}$  setzt sich aus folgenden beiden Hauptkomponenten zusammen:

- (1) Sendezeit  $T_S$ : Benötigte Zeit, um die Daten auf das Medium zu legen.

$$\begin{aligned} T_S &= \text{Datenmenge/Datenrate} \\ &= 3 \text{ Tbyte}/1,25 \text{ Tbit/s} \\ &= 24 \text{ Tbit}/1,25 \text{ Tbit/s} \\ &= 19,2 \text{ s} \end{aligned}$$

Die Sendezeit würde sich ändern, wenn die Datenrate verändert würde.

- (2) Ausbreitungsverzögerung  $T_A$ : Laufzeit der Signale über das Medium vom Sender zum Empfänger.

$$\begin{aligned} T_A &= \text{Länge des Mediums} / \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit} \\ &= 15\,520 \text{ km}/200\,000 \text{ km/s} \\ &= 0,0776 \text{ s} \end{aligned}$$

Die Ausbreitungsverzögerung würde sich ändern, wenn Sender und Empfänger weiter voneinander entfernt wären.

$$T_{\text{Gesamt}} = T_S + T_A = 19,2776 \text{ s}$$

- (c) Gesetzt den Fall, Sie transportieren Daten zwischen dem Sender und Empfänger aus Teilaufgabe (a) mit der Eisenbahn. Diese lege eine Strecke mit durchschnittlich 90 km/h zurück. Wie viele CDs (jeweils 700 MByte fassend) müssten Sie in den Zug laden, um die gleiche Datenrate wie das angegebene Medium zu erzielen (hier darf die Ausbreitungsverzögerung des Vergleichsmediums vernachlässigt werden).

Der Eisenbahntransport muss eine Datenrate von 1,25 Tbit/s erreichen. Die Eisenbahn benötigt bei 90 km/h für die 15 520 km Strecke eine Zeit von 172,44 Stunden.

In dieser Zeit muss sie die gleiche Menge Daten transportieren, die das Vergleichsmedium aus Aufgabenteil (a) in dieser Zeit transportiert hätte:

$$1,25 \text{ Tbit/s} \cdot 172,44 \text{ h} = 1,25 \text{ Tbit/s} \cdot 620\,784 \text{ s} = 775\,980 \text{ Tbit} = 96\,998 \text{ Tbyte}$$

Gesucht ist schließlich noch die Anzahl von CDs mit jeweils 700 MByte, die eine solche Datenmenge speichern können:

$$\text{Anzahl CDs} = 96\,998 \text{ Tbyte}/700 \text{ MByte} = 96\,998 \text{ Tbyte}/0,0007 = 138\,568\,571$$

Es müssen somit über 138 Millionen CDs in den Zug geladen werden.

## Aufgabe 5: Fehlererkennende Codes

Um Übertragungsfehler erkennen zu können, werden mit den Daten noch redundante Informationen gesendet. Eine Möglichkeit hierfür ist die Prüfsumme (*Frame Check Sequence, FCS*), eine durch Polynomdivision ermittelte Bitfolge fester Länge.

- (a) Zu übertragen seien die Daten 1001101001 (10 Bits). Als Prüfsumme soll das Polynom  $x^5 + x^3 + x^2 + 1$  dienen. Berechnen Sie daraus die Prüfsumme und geben Sie die tatsächlich übertragenen Daten an.

G egeben sind also:

Daten  $M$  = 1001101001 (10 Bits)

Generatorpolynom  $G = 101101$  (6 Bits)

Die Prüfsumme ist zu berechnen (5 Bits)

$M$  wird mit  $2^5$  multipliziert (entspricht dem Anhängen von 5 Nullen, gemäß  $\text{Grad}(G) = 5$ )  $\rightarrow 100110100100000$

Das Produkt wird nun durch  $G$  geteilt (Polynomdivision). Diese Polynomdivision wird dadurch realisiert, dass zum einen nicht subtrahiert, sondern eine einfache XOR-Verknüpfung durchgeführt wird. Zum anderen wird die XOR-Verknüpfung immer durchgeführt, wenn die beiden Zahlenketten (mit führender 1) gleich lang sind, d. h. die obere Zahl braucht vom Zahlenwert her *nicht* größer zu sein, als die untere.

```

100110100100000 / 101101 = 1010001111
101101
-----
0101110
101101
-----
00011010
101101
-----
110010
101101
-----
111110
101101
-----
100110
101101
-----
01011

```

Die letzten 5 Bits des Rests bilden die Prüfsumme. Übertragen wird somit  $M$  mit den angehängten Nullen und der darauf aufaddierten Prüfsumme, also 100110100101011.

- (b) Belegen Sie Ihr Ergebnis aus Teilaufgabe (a), indem Sie zum einen den Empfang der korrekt gesendeten Dateneinheit überprüfen und zum anderen einen Fehlerfall untersuchen.

Der Empfänger prüft durch erneute Polynomdivision auf Fehlerfreiheit. Diese ist äußerst wahrscheinlich, wenn die Division ohne Rest aufgeht. Am Beispiel wäre dies wie folgt:

```

100110100101011 / 101101 = 1010001111
101101
-----
010111
 101101
-----
000110101
  101101
-----
 110000
  101101
-----
  11011
   101101
-----
    101101
    101101
-----
      000000

```

In einem Fehlerfall (in diesem Beispiel ist das 11. Bit »gekippt«) würde folgendes passieren:

```

      ↓
100110100111011 / 101101 = 1010001111
101101
-----
010111
 101101
-----
000110111
  101101
-----
 110100
  101101
-----
  110011
   101101
-----
    111101
    101101
-----
      10000

```

Die Polynomdivision ergibt einen Rest (10000) und signalisiert somit einen Fehler.

- (c) Geben Sie schematisch eine Implementierung in Hardware für den Mechanismus aus Teilaufgabe (a) an und stellen Sie die entsprechende Verschaltung der Schieberegister für das angegebene Polynom dar.

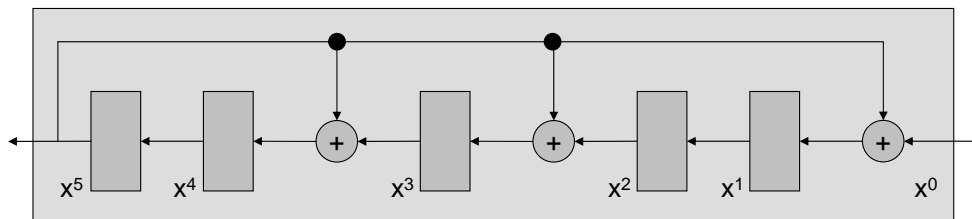


Abbildung 3: Aufbau Schieberegister

- (d) Demonstrieren Sie die Berechnung der Prüfsumme durch Ihr Schieberegister aus Teilaufgabe (c) für die in (a) angegebenen Daten.

Das Schieberegister werde hier mit Nullen initialisiert. Von rechts werden in das Schieberegister die Daten  $M$  mit den angehängten Nullen »geschoben«. Bei jedem Taktschritt (Taktschaltung nicht dargestellt) werden die Bits ein Register nach links weitergeschoben. Sobald an  $x^5$  eine Eins erscheint, wird diese an die XOR-Gatter rückgekoppelt und verändert gegebenenfalls die nach links zu schiebenden Bits.

Nachfolgende Tabelle zeigt den schrittweisen Ablauf des Vorgangs, bis die zu berechnende Prüfsumme (vergleiche Teilaufgabe (a)) im Register verbleibt.

## Aufgabe 6: Sequenznummern, Flusskontrolle

- (a) Simulieren Sie den Sliding-Window-Algorithmus für das Punkt-zu-Punkt-Medium aus Aufgabenteil 4 (a). Jede Dateneinheit führe Daten im Umfang von 1 kByte mit sich (vernachlässigen Sie an dieser Stelle jegliche Verwaltungsdaten in den Dateneinheiten, Rechenregeln wie in Aufgabe 4). Die maximale Lebenszeit einer Dateneinheit sei gleich der einfachen Laufzeit zwischen Sender und Empfänger, eine Sendewiederholung wird nach maximal 0,5 Sekunden durchgeführt und der Empfänger quittiert Dateneinheiten ebenfalls nach spätestens 0,5 Sekunden.

Wie viele Bits brauchen Sie mindestens für die Länge der Sequenznummer?

Hinweis: Geben Sie den Dateneinheiten Sequenznummern, nicht den einzelnen Bytes der Nutzdaten.

Zuerst wird die Dateneinheit-Rate  $D$  berechnet:  $D = \text{Dateneinheiten} / \text{Zeit}$ . Für die Übertragung der 1,25 Tbit (pro Sekunde) werden bei einer Dateneinheitgröße von 1 kByte genau 156 250 000 Dateneinheiten (pro Sekunde) benötigt. Dies ergibt sich direkt aus der Umrechnung von 1,25 Tbit in kByte.

$x^5$	$x^4$	$x^3$	$x^2$	$x^1$	<b>Eingang</b>
0	0	0	0	0	1001101001 <b>00000</b>
0	0	0	0	1	00110100100000
0	0	0	1	0	0110100100000
0	0	1	0	0	110100100000
0	1	0	0	1	10100100000
1	0	0	1	1	0100100000
0	1	0	1	1	100100000
1	0	1	1	1	00100000
0	0	0	1	1	0100000
0	0	1	1	0	100000
0	1	1	0	1	00000
1	1	0	1	0	0000
1	1	0	0	1	000
1	1	1	1	1	00
1	0	0	1	1	0
0	1	0	1	1	← <b>Prüfsumme</b>

Tabelle 2: Ablauf Prüfsummenberechnung mit Schieberegister

Mit diesem  $D$ , der gegebenen maximalen Lebenszeit einer Dateneinheit ( $Tl$ ) von 0,0776 s, der max. Sendewiederholungsrate  $Tw = 0,5$  s und der Empfängerantwortzeit  $Tq$  von 0,5 s sind alle Variablen für die in der Vorlesung gegebene Ungleichung für Sequenznummern gegeben:

$$\text{Untere Schranke: } 2^n \text{ Dateneinheiten} \geq (2 \cdot Tl + Tw + Tq) \cdot D$$

$$2^n \text{ Dateneinheiten} \geq 1,1552 \text{ s} \cdot 156\,250\,000 \text{ Dateneinheiten / s}$$

$$2^n \geq 180\,500\,000$$

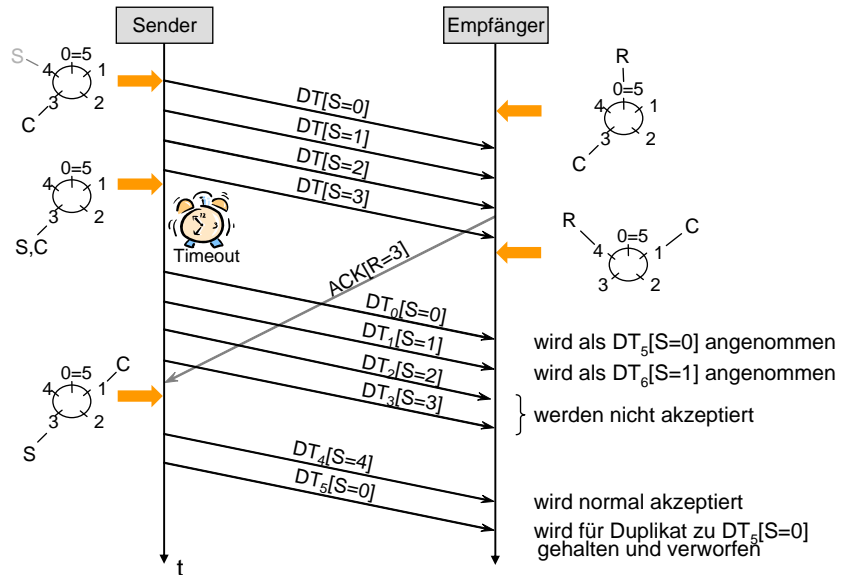
$n$  ergibt sich durch Bildung des Logarithmus ( $n = \text{ld}(180\,500\,000)$ ) zu ungefähr 27,4. Es werden also mindestens 28 Bit für die Sequenznummer benötigt.

- (b) Sie möchten den Sliding-Window-Algorithmus (mit Go-Back-N-Verfahren) mit Sendekredit 4 und maximal 5 Sequenznummern ausführen. Die  $N$ -te Dateneinheit<sup>1</sup>  $DT_N[S = i]$  enthält folglich  $i = N \bmod 5$  in ihrem Sequenznummernfeld. Führen Sie ein Beispiel auf, bei dem der Algorithmus ein »unerwünschtes« Ergebnis liefert, d. h. ein Szenario, bei dem der Empfänger die fünfte Dateneinheit ( $DT_5[S = 0]$ ) erwartet, aber die nullte Dateneinheit mittels  $DT_0[S = 0]$  (die die gleiche Sequenznummer hat) entgegennimmt. Zeichnen Sie hierfür ein Weg-Zeit-Diagramm.

Hinweis:  $S$  = Sendesequenznummer, wie in der Vorlesung. Es treten keine Reihenfolgevertauschungen auf.

<sup>1</sup>beginnend mit Dateneinheit 0

Das Szenario ist in Abbildung 4 dargestellt. Es sei angenommen, dass die Bestätigung  $ACK[R = 3]$  des Empfängers so spät ankommt, dass der Sender von einem Verlust ausgeht und nach einem Timeout alle Dateneinheiten wiederholt. Da der Empfänger jetzt schon die Dateneinheiten 3 bis 6 erwartet, akzeptiert er die wiederholte Dateneinheit  $[S = 0]$  als die erwartete fünfte, da die Sequenznummern identisch sind ( $5 \bmod 5 = 0$ ). Ebenso wird  $DT_1[S=1]$  als vermeintlich sechste Dateneinheit akzeptiert.



S: Sende-Sequenznummer (der zuletzt gesendeten Dateneinheit)  
R: Nächste erwartete Sendesequenznummer = Quittierung bis Empfangs-Sequenznummer R-1  
C: Oberer Fensterrand (maximal erlaubte Sequenznummer)

Abbildung 4: Weg-Zeit-Diagramm

Der Empfänger geht dabei davon aus, dass die fünfte und sechste Dateneinheit offenbar vor der noch ausstehenden  $[S = 4]$  empfangen wurde. (Der Hinweistext der Aufgabe bezieht sich nur auf das tatsächliche Szenario, nicht auf die Fähigkeit des Empfängers, auch ungeordnete Dateneinheiten verarbeiten zu können.)

Die ebenfalls wiederholten Dateneinheiten  $[S = 2]$  und  $[S = 3]$  werden nicht akzeptiert, da das Fenster gerade nur für die vierte bis zur sechsten Dateneinheit gültig ist.

Nachdem mittlerweile die verspätete Bestätigung  $ACK[R = 3]$  beim Sender eingetroffen ist, hält dieser die Übertragung von  $[S = 0]$  bis  $[S = 2]$  für bestätigt und schickt die nächsten Dateneinheiten auf die Reise.  $[S = 4]$  wird vom Empfänger sofort akzeptiert, während  $DT_5[S = 0]$  als Duplikat von der schon fälschlicherweise für  $DT_5[S = 0]$  gehaltenen Dateneinheit  $DT_0[S = 0]$  erkannt und verworfen wird.

Nach diesem Szenario hat der Empfänger also die Reihenfolge 0,1,2,3,4,0,1 als gültig akzeptiert und wird danach ohne Fehlermeldung die nächsten Dateneinheiten vom Sender 6,7,8, usw. entgegennehmen. In diesem Beispiel ist der Sequenznummernraum also offensichtlich zu klein gewählt.

## Aufgabe 7: ARQ-Verfahren, Auslastung, Leistungsbewertung

Zwei Kommunikationspartner tauschen über ein Übertragungsmedium miteinander Daten aus. Die Datenrate des Mediums betrage 6 Mbit/s und die Ausbreitungsverzögerung zwischen den Teilnehmern betrage 20 Millisekunden.

Die Datenübertragung soll durch den Einsatz von ARQ-Verfahren gesichert werden.

Hinweise: Verarbeitungszeiten sollen vernachlässigt werden. Es gelten die in Aufgabe 4 genannten Rechenhinweise. Es treten, soweit nicht anders erwähnt, keine Übertragungsfehler auf.

- (a) Wozu dienen ARQ-Verfahren und welche Diensteigenschaften können mit ihrer Hilfe erreicht werden?

Die Abkürzung ARQ steht für *Automatic Repeat Request* – solche Verfahren dienen der automatischen Wiederholung von verlorengegangenen oder beschädigten Dateneinheiten.

Mit ihrer Hilfe kann ein zuverlässiger Dienst bereitgestellt werden.

- (b) Es soll eine Datenmenge von 2 MByte mit Hilfe des Stop-and-Wait-Verfahrens übertragen werden. Die maximale Größe einer Dateneinheit betrage 750 Byte. Wie lange dauert die gesamte Datenübertragung, von Beginn bis zum Zeitpunkt an dem der Sender sicher davon ausgehen kann, dass die Übertragung korrekt abgeschlossen wurde?

Die Übertragung einer Dateneinheit von 750 Byte = 6000 bit benötigt im gegebenen Szenario die aus  $T_S$  und  $T_A$  zusammengesetzte Gesamtzeit (vergleiche Aufgabe 4 (c)):

$$T_S = 6000 \text{ bit} / 6 \text{ Mbit/s} = 0,001 \text{ s}$$

$$T_A = 0,02 \text{ s (gegeben)}$$

$$T_{\text{Übertragung 750 Byte-Dateneinheit}} = T_S + T_A = 0,021 \text{ s}$$

Im Stop-and-Wait-Verfahren muss jede solchermaßen übertragene Dateneinheit bestätigt werden, bevor die Übertragung als abgeschlossen gilt. Ohne Verarbeitungsdauer und unter der Annahme, dass die Quittungen vernachlässigbar klein sind, benötigt die Bestätigung genau einmal die Ausbreitungsverzögerung, bis sie vom Empfänger zurück beim Sender ist.

Hieraus folgt für die Dauer einer bestätigten Übertragung einer 750 Byte großen Dateneinheit:

$$T_{\text{bestätigte Übertragung von 750 Byte}} = T_S + 2 \cdot T_A = 0,041 \text{ s}$$

Bei einer maximalen Größe einer Dateneinheit von 750 Byte, werden für die Übertragung von 2 MByte genau  $2 \text{ MByte} / 750 \text{ Byte} = 2667$  Dateneinheiten benötigt.

Die Übertragung von 2 MByte benötigt entsprechend  $2667 \cdot 0,041 \text{ s} = 109,347$  Sekunden.

- (c) Welche Auslastung des Mediums wird in Teilaufgabe (b) erreicht?

Als Auslastung  $U$  wurde in der Vorlesung das Verhältnis von tatsächlicher zu möglicher Nutzung definiert.

Tatsächlich wurden in Teilaufgabe (b) in 109,347 Sekunden 2 MByte übertragen.

Bei einer Übertragungsrate von 6 Mbit/s wäre es in 109,347 Sekunden jedoch möglich gewesen, *etwa* 656 Mbit = 82 MByte zu übertragen.

$$U = 2 \text{ MByte} / 82 \text{ MByte} = 0,0244 (\approx 2,4\%)$$

Alternativer Rechenweg über die Formel für  $U$  aus der Vorlesung:  $U = \frac{T_S}{T_S + 2T_A}$

$$U = 0,001 \text{ s} / (0,001 \text{ s} + 2 \cdot 0,02 \text{ s}) = 0,0244 (\approx 2,4\%)$$

- (d) Auf welchem Wege wird beim Go-back-N-Verfahren versucht, die Übertragung zu beschleunigen?

Der Sender kann mehrere Dateneinheiten senden, bevor er auf zurückkommende Quittungen warten muss.

- (e) Berechnen Sie die Auslastung, die im gegebenen Beispiel aus Teilaufgabe (b) unter Verwendung des Go-back-N-Verfahrens erreicht wird, bei einer statischen Fenstergröße von 3 000 Byte und alternativ einer Größe von 120 000 Byte. Erläutern Sie den Einfluss der Fenstergröße.

Wie in der Vorlesung müssen hierbei zwei mögliche Fälle unterschieden werden: Das Fenster kann groß genug sein, so dass der Sender stetig senden kann, oder es kann ihn dabei einschränken, so dass er zwischendurch doch auf Quittungen warten muss.

In diesem Zusammenhang spielt der Parameter  $a$  eine Rolle, der in der Vorlesung definiert wurde:

$$a = \text{Ausbreitungsverzögerung} / \text{Sendezeit} = T_A / T_S$$

Im gegebenen Szenario beträgt somit  $a = 0,02 \text{ s} / 0,001 \text{ s} = 20$

**Fall 1:** Fenstergröße  $W = 3000 \text{ Byte} / (750 \text{ Byte} / \text{Dateneinheit}) = 4$  Dateneinheiten

$$\text{In diesem Fall gilt: } W < 2a + 1 \rightarrow 4 < 41$$

Das bedeutet, der Sender muss nach Aufbrauchen des Fensters von 4 Dateneinheiten erst auf das Eintreffen einer Quittung warten, bevor er weitersenden darf.

In diesem Fall beträgt die Auslastung (siehe Vorlesung)  $U = \frac{W}{2a+1} = 4/41 = 0,0976 (\approx 9,7\%)$ .

**Fall 2:** Fenstergröße  $W = 120\,000 \text{ Byte} / (750 \text{ Byte} / \text{Dateneinheit}) = 160$  Dateneinheiten

$$\text{In diesem Fall gilt: } W \geq 2a + 1 \rightarrow 160 \geq 41$$

Die Auslastung beträgt in diesem Fall definitionsgemäß 1 bzw. 100%, da der Sender kontinuierlich senden kann, weil die Quittungen schnell genug eintreffen, bevor er sein Fenster aufgebraucht hat.

- (f) Welche Auslastung erreicht das Szenario mit Stop-and-Wait aus Teilaufgabe (b), falls bei der Übertragung von Dateneinheiten eine Verlustwahrscheinlichkeit von 10% besteht und wie sieht die Situation bei 30% Verlustwahrscheinlichkeit aus?

Hier wird die in der Vorlesung hergeleitete Formel für die Leistungsfähigkeit von Stop-and-Wait im Fehlerfall eingesetzt:

Auslastung  $U = \frac{1-p}{1+2a}$  mit  $p$  als Verlustwahrscheinlichkeit.

Für  $p = 10\%$  ergibt sich  $U = 0,9/41 = 0,02195$  ( $\approx 2,2\%$ ).

Für  $p = 30\%$  ergibt sich  $U = 0,7/41 = 0,01707$  ( $\approx 1,7\%$ ).

- (g) Beschreiben Sie kurz, wodurch sich das Verfahren *Selective Reject* von *Go-back-N* unterscheidet.

Der Empfänger kann negative Quittungen senden, wenn er einen Fehler erkennt und den Sender damit veranlassen, nur genau die verlorene/beschädigte Dateneinheit zu wiederholen.