Computernetze 1
Übung 2

Johannes Morgenroth
morgenro@ibr.cs.tu-bs.de

Institut für Betriebssysteme und Rechnerverbund
Technische Universität Braunschweig

30. Mai 2009

Wichtige Themen der 1. Übung

Definition und Berechnung von

- Datenrate
- Kapazität
- Ausbreitungs- und Übertragungsverzögerung

Aufbau, Eigenschaften und Vergleich der Netz-Topologien

- Bus
- Ring
- Vollständige Vermaschung
- Stern

Überblick

Aufgabe 1: Kommunikationsarten

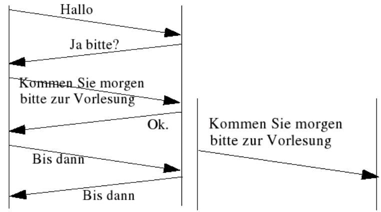
Geben Sie Beispiele für die folgenden Kommunikationsarten wenn alle Netzkomponenten Menschen sind.

a) Semi-Duplex/Simplex Kommunikation.
b) Verbindungsorientierte/verbindungslose Kommunikation.
c) Protokoll.
d) Flusskontrolle.
e) Staukontrolle.

1a) Semi-Duplex/Simplex

- Semi-Duplex: gesittetes Gespräch (nur einer redet :-)
- Simplex: Vorlesung

1b) Verbindungsorientiert/Verbindungslos



1c) Protokoll

- Gemeinsame Sprache / Formulierungen
  - Buchstaben
  - Wörter
  - Sätze (Regeln für den Satzbau!)
  - Auf eine Frage folgt eine Antwort.
  - Semantik

1d) Flusskontrolle

- Wenn der Zuhörer in einem Gespräch “Nicht so schnell!” sagt

1e) Staukontrolle

Szenario: Zwei Personen können nicht direkt miteinander sprechen (z.B. zu große Entfernung) und bedienen sich einer dritten Person. Staukontrolle in dieser Situation ist, wenn der Übermittler "Nicht so schnell!" sagt.

Aufgabe 2: Bitraten

a) Berechnen Sie die max. Bitrate für ein binäres Signal in einem rauschfreien Kanal mit 4kHz Bandbreite.

b) Berechnen Sie die max. Bitrate für ein vierstufiges Signal in einem rauschfreien Kanal mit 6kHz Bandbreite.

c) Berechnen Sie die max. Bitrate für ein vierstufiges Signal in einem Kanal mit S/N-Ratio von 20dB und 3kHz Bandbreite.

d) Welches S/N-Ratio wird mindestens benötigt, um eine Bitrate von 1 Mbps auf einem 50kHz-Kanal anbieten zu können?

Wiederholung: Logarithmus

- $\log_b r = ???$
- In Worten: "Welchen Exponenten muss ich an b dranschreiben, damit r rauskommt?"
- Beispiel:
  - $\log_{10} 100 = 2$
  - $\log_{10} 1000 = 3$
- Taschenrechner: Viele Taschenrechner können nur zur Basis 10 (Taste "log") und zur Basis e (Taste "ln") rechnen.
- Umrechnen der Basis: $\log_b r = \frac{\log_a r}{\log_a b}$

S/N-Ratio und Dezibel

Das **Signal/Rausch-Verhältnis** wird oft mit Dezibel angegeben:

$SNR = \frac{Signalleistung}{Rauschleistung}$ bzw. $SNR(dB) = 10\log_{10}(\frac{Signalleistung}{Rauschleistung})$

Beispiel:

$SNR(dB)$	SNR
10	10
20	100
30	1000

Aufgabe 2

a) Berechnen Sie die max. Bitrate für ein Binäres Signal in einem rauschfreien Kanal mit 4kHz Bandbreite.

Nyquists Theorem:
max. Bitrate $= 2H\log_2 V$ bps

H: Bandbreite
V: Anzahl Stufen

$\Rightarrow 2 \cdot 4000 \cdot \log_2 2\text{bps}$
$= 2 \cdot 4000 \cdot 1\text{bps} = 8000$ bps

Aufgabe 2

b) Berechnen Sie die max. Bitrate für ein vierstufiges Signal in einem rauschfreien Kanal mit 6kHz Bandbreite.

Nyquists Theorem:
max. Bitrate $= 2H\log_2 V$ bps

H: Bandbreite
V: Anzahl Stufen

$\Rightarrow 2 \cdot 6000 \cdot \log_2 4$ bps
$= 12000 \cdot 2\text{bps} = 24000$ bps

Aufgabe 2

c) Berechnen Sie die max. Bitrate für ein vierstufiges Signal in einem Kanal mit S/N-Ratio von 20dB und 3kHz Bandbreite.

Shannons Theorem:
max. Bitrate $= H\log_2(1 + S/N) bps$

$3000 \cdot \log_2(1 + 100) bps =$

$3000 \cdot \frac{\log_{10} 101}{\log_{10} 2} bps \approx 3000 * 6,66 bps \approx 20000 bps$

Aufgabe 2

d) Welches S/N-Ratio wird mindestens benötigt, um eine Bitrate von 1 Mbps auf einem 50kHz-Kanal anbieten zu können?

Shannons Theorem:
max. Bitrate $= H \log_2(1 + S/N) bps$

$50000 \cdot \log_2(1+x) = 1000000$

$\Leftrightarrow \log_2(1+x) = 20$

$\Leftrightarrow 2^{\log_2(1+x)} = 2^{20}$

$\Leftrightarrow 1 + x = 1048576$

$\Rightarrow x = 1048575 \approx 60,2dB$

Aufgabe 3: Bitstopfen

3a) Geben Sie die Kodierung für die Bitfolge

1110 1010 0111 1111 1000 1111 0010 1001 1111 1111 1110 0101 1010

an, wenn ein Bitstopfen nach fünf aufeinander folgenden Einsen verwendet wird

⇒1110 1010 0111 11**0**1 1100 0111 1001 0100 1111 1**0**11 111**0** 1100 1011 010

Bitstopfen

3b) Bei welchen Protokollen wird das Bitstopfen verwendet und warum ist dies nötig?

Bitstopfen wird bei *bitorientierten* Protokollen verwendet. Es dient dazu, dass *protokollspezifische* Bitsequenzen (z.B. Flag zur Trennung von Rahmen) nicht im Datenfeld als solche erkannt werden.

Bitstopfen wird auch zur Synchronisierung eingesetzt, z.B. beim Controller Area Network (CAN).

(Manchmal auch "Bit-Füllen" genannt. Englisch: "Bit Stuffing")

Aufgabe 4: Hamming-Distanz

Gegeben sei der folgende Code (d.h. eine komplette Liste aller gültigen Codewörter) zur Übertragung von vier verschiedenen Zeichen (A-D):

A	00000
B	10011
C	00110
D	10010

a) Was ist die Hamming-Distanz des Codes?

b) Was ist die Hamming-Distanz des Codes wenn für D die Codewörter 01010 bzw. 11010 verwendet werden?

c) Warum ist die Hamming-Distanz eines Codes definiert als das Minimum der Hamming-Distanz zwischen je zwei gültigen Codewörtern?

Hamming-Distanz

4a) Was ist die Hamming-Distanz des Codes?

4b) Was ist die Hamming-Distanz des Codes wenn für D die Codewörter 01010 bzw. 11010 verwendet werden?

A	00000
B	10011
C	00110
D	10010
D’	01010
D”	11010

	A	B	C	D	D’	D”
A	X					
B	-	X				
C	-	-	X			

Hamming-Distanz

4a) Was ist die Hamming-Distanz des Codes?

4b) Was ist die Hamming-Distanz des Codes wenn für D die Codewörter 01010 bzw. 11010 verwendet werden?

A	00000
B	10011
C	00110
D	10010
D’	01010
D”	11010

	A	B	C	D	D’	D”
A	X	3	2	2		
B	-	X	3	1		
C	-	-	X	2		

Hamming-Distanz ist das Minimum aller Distanzen, also 1

Hamming-Distanz

4a) Was ist die Hamming-Distanz des Codes?

4b) Was ist die Hamming-Distanz des Codes wenn für D die Codewörter 01010 bzw. 11010 verwendet werden?

A	00000
B	10011
C	00110
D	10010
D'	01010
D''	11010

	A	B	C	D	D'	D''
A	X	3	2	2	2	
B	-	X	3	1	3	
C	-	-	X	2	2	

Hamming-Distanz ist das Minimum aller Distanzen, also 1

Hamming-Distanz

4a) Was ist die Hamming-Distanz des Codes?

4b) Was ist die Hamming-Distanz des Codes wenn für D die Codewörter 01010 bzw. 11010 verwendet werden?

A	00000
B	10011
C	00110
D	10010
D'	01010
D''	11010

	A	B	C	D	D'	D''
A	X	3	2	2	2	3
B	-	X	3	1	3	2
C	-	-	X	2	2	3

Hamming-Distanz ist das Minimum aller Distanzen, also 1 (bzw. D':2, D'':2)

Hamming-Distanz

4c) Warum ist die Hamming-Distanz eines Codes definiert als das Minimum der Hamming-Distanz zwischen je zwei gültigen Codewörtern?

Bei einem ein-Bitfehler kann das übertragene, fehlerhafte Wort noch eindeutig zum richtigen ursprünglichen Codewort zugeordnet werden (Fehlerbehebung, nicht nur Fehlererkennung).

Beim obigen Code geht das nicht mehr, da für die Distanz gelten muss:

$d >= 2f+1$

Zur Behebung von Ein-Bitfehler ($f=1$) muss also $d >= 3$ sein.
Gegenbeispiel: 0100 -> 0000 oder 0100 -> 0110...

Hamming-Distanz: Beispiel Fehlerbehebung

Anderer Code:
000000
111000
010110
111111

Beispiel mit Ein-Bit-Fehler:
010000

⇒ eindeutig zuzuordnen zu _____?

Hamming-Distanz: Beispiel Fehlerbehebung

Anderer Code:
000000
111000
010110
111111

Beispiel mit Ein-Bit-Fehler:
010000

$\Rightarrow$ eindeutig zuzuordnen zu 000000

Aufgabe 5: Cyclic Redundancy Check - zyklische Redundanzprüfung

Die Nachricht 111001101 soll zur Übertragung mit einem CRC versehen werden. Das Generatorpolynom sei $G(x) = x^5 + x^3 + x + 1$.

a) Geben Sie die vom Sender verschickte Nachricht an.

b) Führen Sie die Polynomdivision zur Fehlerüberprüfung auf der Seite des Empfängers aus:
- für den Fall einer fehlerfreien Übertragung.
- für den Fall, dass das 10. Bit der vom Sender übertragenen Nachricht verfälscht wird.

CRC

Generatorpolynom: $G(x) = x^5 + x^3 + x + 1$

$grad(G(x)) = 5 \Rightarrow 5\ Redundanzbits$

Nutzdaten: $N(x) = 111001101$

entspricht $x^8 + x^7 + x^6 + x^3 + x^2 + 1$

"Polynomdivision": $\frac{N(x) \cdot x^5}{G(x)}$

5a) Versendete Nachricht

```
 Nutzdaten5Rbit Genpol                Rest (gesucht)
 1110011010000 0:101011=110........   R ...
-101011
  100101
- 101011
    11100
-       0
    111001
-   101011
       ...
```


5a) Versendete Nachricht

Berechnung erfolgt nach XOR-Schema (exklusives ODER):

	$A = 0$	$A = 1$
$B = 0$	0	1
$B = 1$	1	0

- Beide gleich $\longrightarrow$ 0
- Beide unterschiedlich $\longrightarrow$ 1

Berechnung:

```
111001
101011
------
 10010
```


5a) Versendete Nachricht

```
 11100110100000:101011=110...   R 1010
-101011
  100101
- 101011
    11100
-       0
    111001
-   101011
     100100
-    101011
       11110
-          0
       111100
-      101011
        101110
-       101011
          1010 (Rest)
```

⇒versendete Nachricht: 11100110**1**01010

5b) Fehlerfreie Übertragung

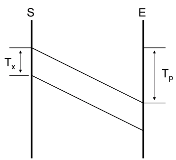
```
 11100110101010:101011=110...
-101011
  100101
- 101011
    11100
-       0
    111001
-   101011
     100100
-    101011
       11111
-          0
       111110
-      101011
        101011
-       101011
            00
-            0
             0
```

Verfälschtes Bit an Stelle 10

```
 11100110111010:101011=110...   R 10000
-101011
  100101
- 101011
   11100
-      0
    111001
-   101011
     100101
-    101011
      11101
-         0
      111010
-     101011
       100011
-      101011
        10000
-           0
        10000
```

Rest ungleich Null, also Fehler erkannt (aber nicht korrigiert!)

Verzögerungen



- T_p: **Ausbreitungsverzögerung** (propagation delay): Abstand von Sender und Empfänger geteilt durch die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Mediums
- T_x : **Übertragungsverzögerung** (transmission delay): Anzahl der übertragenen Bits geteilt durch die auf dem Medium realisierte Bitrate

Aufgabe 6: Verzögerungen

Signale breiten sich im luftleeren Raum mit Lichtgeschwindigkeit (ungefähr $3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$) aus. In elektrischen Leitern (verdrillte Kupferkabel, Koaxialkabel) erreicht man Ausbreitungsgeschwindigkeiten von ungefähr $2 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$. Bestimmen Sie die Ausbreitungsverzögerung und die Übertragungsverzögerung für die Übertragung eines 1000 Bit Blocks über

a) 50 m verdrilltes Kupferkabel mit einer Bitrate von 10 kbps,
b) 5 km Koaxialkabel mit einer Bitrate von 1 Mbps,
c) 50000 km luftleeren Raum mit einer Bitrate von 10 Mbps.

Interpretieren Sie die Ergebnisse anhand des Verhältnisses zwischen Ausbreitungsverzögerung und Übertragungsverzögerung ($a = \frac{T_p}{T_x}$).

Verzögerungen

6a) 50 m verdrilltes Kupferkabel mit einer Bitrate von 10 kbps

$$T_p = \frac{50m}{2 \cdot 10^8 \frac{m}{s}} = \frac{5 \cdot 10^1 m \cdot s}{2 \cdot 10^8 m} = 2,5 \cdot 10^{-7} s$$

$$T_x = \frac{1000 bit}{10000 \frac{bit}{s}} = \frac{1}{10 \frac{1}{s}} = 0,1 s$$

Verzögerungen

6b) 5 km Koaxialkabel mit einer Bitrate von 1 Mbps

$$T_p = \frac{5km}{2 \cdot 10^8 \frac{m}{s}} = \frac{5 \cdot 10^3 m \cdot s}{2 \cdot 10^8 m} = 2,5 \cdot 10^{-5} s$$

$$T_x = \frac{1000 bit}{1000000 \frac{bit}{s}} = \frac{1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^6 \frac{1}{s}} = 1 \cdot 10^{-3} s$$

Verzögerungen

6c) 50000 km luftleeren Raum mit einer Bitrate von 10 Mbps

$$T_p = \frac{50000km}{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}} = \frac{5 \cdot 10^7 m \cdot s}{3 \cdot 10^8 m} = \frac{1}{6} s$$

$$T_x = \frac{1000 bit}{10000000 \frac{bit}{s}} = \frac{1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^7 \frac{1}{s}} = 1 \cdot 10^{-4} s$$

Verzögerungen - Verhältnis

Interpretieren Sie die Ergebnisse anhand des Verhältnisses zwischen Ausbreitungsverzögerung und Übertragungsverzögerung ($a = \frac{T_p}{T_x}$).

6a) $a = \frac{T_p}{T_x} = \frac{2,5 \cdot 10^{-7} s}{1 \cdot 10^{-1} s} = 2,5 \cdot 10^{-6}$

6b) $a = \frac{T_p}{T_x} = \frac{2,5 \cdot 10^{-5} s}{1 \cdot 10^{-3} s} = 2,5 \cdot 10^{-2}$

6c) $a = \frac{T_p}{T_x} = \frac{\frac{1}{6} s}{1 \cdot 10^{-4} s} = \frac{1}{6} \cdot 10^4$

Verzögerungen - Verhältnis

Mit dem Verhältnis $a = \frac{T_p}{T_x}$ lässt sich z.B. die Eignung verschiedener Verbindungsalternativen beurteilen.

Gesamtverzögerung $= T_p + T_x$

- $a > 1 \Rightarrow$ hohe Ausbreitungsverzögerung ($T_p > T_x$)
- $a < 1 \Rightarrow$ hohe Übertragungsverzögerung ($T_x > T_p$)

Aufgabe 7: Kanalauslastung

Zwei Stationen sind über einen Satellitenkanal mit einer Übertragungsrate von 1 Mbit/s ($= 10^6$ Bit/s) verbunden. Der geostationäre Satellit ist jeweils 36.000 km von beiden Stationen entfernt, die Signalausbreitungsgeschwindigkeit entspricht der Lichtgeschwindigkeit (300.000 km/s). Eine Station sendet Datenpakete der Größe 1.500 Bit an die zweite Station, die nur Acknowledgement-Pakete der Größe 50 Bit zurücksendet.

Kanalauslastung

7a) Welche Kanalauslastung kann mit einem Stop-and-Wait-Flusskontrollprotokoll erreicht werden?

7b) Welche Kanalauslastung kann mit einem Sliding-Window-Flusskontrollprotokoll mit einer Fenstergröße von 20 Paketen erreicht werden?

7c) Wie groß muss das Fenster mindestens sein, damit die Kanalauslastung 100% beträgt?

Stop-and-Wait

7a) Welche Kanalauslastung kann mit einem Stop-and-Wait-Flusskontrollprotokoll erreicht werden?

Entfernung: $2 \cdot 36000 km = 72000 km$
Laufzeit: $\frac{72000 km}{300000 km/s} = 240 ms$

Bei 1 Mbit/s ist der Kanal bei der Übertragung von 1500 Bit für 1,5 ms belegt, im Falle eines 50 Bit Frames für 50 us.

Damit benötigt das Senden insgesamt:
240ms + 1,5ms + 240ms + 50us = 481,55ms

Davon wird der Kanal 1,55 Millisekunden belegt, also beträgt die Kanalauslastung: $\frac{1{,}55 ms}{481{,}55 ms} \approx 0,32\%$

Sliding-Window

7b) Welche Kanalauslastung kann mit einem Sliding-Window-Flusskontrollprotokoll mit einer Fenstergröße von 20 Paketen erreicht werden?

Annahme: Es wird ein ACK versendet pro Paket (auch wenn nicht auf die Ankunft gewartet wird, bis ein weiteres Paket aus dem erlaubten Fenster versendet wird).

$$\frac{20 \cdot 1{,}55ms}{480ms + 20 \cdot 1{,}5ms} \approx 6,1\%$$

Anmerkung: Für den Nenner der obigen Formel wird nur die Belegung des Hin-Kanals berücksichtigt
(deswegen nur 1,5ms, nicht 1,55ms)

Sliding-Window

Alternative Berechnung
Vereinfachte Formel aus der Vorlesung (die eine grobe Annäherung ist, weil sie die Übertragungszeit von nur einem Paket berücksichtigt):

$$U = \frac{kT_{it}}{T_{it} + 2T_{ip}} = \frac{20 \cdot 1{,}55ms}{1{,}55ms + 2 \cdot 240ms} \approx 6,4\%$$

Sliding-Window

7c) Wie groß muss das Fenster mindestens sein, damit die Kanalauslastung 100% beträgt?

$$\frac{x \cdot 1{,}55ms}{1{,}55ms + 2 \cdot 240ms} = 1 \Leftrightarrow x = \frac{480ms + 1{,}55ms}{1{,}55ms} \approx 310,1$$

$\Rightarrow$100% Kanalauslastung ab einer Fenstergröße von 311.