

Hauptdiplomklausur Informatik Februar 2004: Rechnernetze

Name: Vorname:

Matrikel-Nr.: Semester: Fach:

Hinweise:

1. Bitte füllen Sie sofort den Kopf des Deckblattes aus.
2. Unterschreiben Sie die Klausur auf der letzten Seite.
3. Überprüfen Sie bitte Ihr Klausurexemplar auf Vollständigkeit (**18** Seiten).
4. Tragen Sie die Lösungen – soweit möglich – direkt in die Klausur ein.
5. Zugelassene Hilfsmittel: nicht programmierbarer Taschenrechner
6. Bearbeitungszeit: 100 Minuten.

Aufgabe	max. Punktzahl	Punkte
1	12	
2	19	
3	25	
4	15	
5	8	
6	11	
7	10	
Summe	100	

Aufgabe 1: Kurzfragen [3+3+1+2+1+2=12 Punkte]

(a) [3 Punkte] Einführung

Ordnen Sie die im Internet verwendeten Netzwerkschichten den Schichten des ISO/OSI-Referenzmodells zu und geben Sie jeweils ein Beispielprotokoll an.

	ISO / OSI	Internet
7	Anwendung	
6	Präsentation	
5	Sitzung	
4	Transport	
3	Vermittlung	
2	Sicherung	
1	Bitübertragung	

Musterlösung:

	ISO / OSI	Internet
7	Anwendung	SMTP, FTP, telnet, http, ...
6	Präsentation	
5	Sitzung	
4	Transport	TCP, UDP
3	Vermittlung	IP
2	Sicherung	HDLC, PPP
1	Bitübertragung	ADSL

(b) [3 Punkte] Wireless LAN

- (i) [2 Punkte] Um den Kanalzugriff bei Wireless LAN zu regeln, verwenden die Protokolle des 802.11-Standards verschiedene "interframe spaces". Nennen Sie drei verschiedene und ordnen Sie diese ihrer Zeitdauer nach. (Bitte keine Abkürzungen)

Musterlösung:

Short interframe space < PCF interframe space < DCF interframe space < Extended interframe space

- (ii) [1 Punkt] Welches Phänomen, das bei drahtlosen Funknetzwerken auftritt, wird von der DFWMAC-DCF mit RTS/CTS gelöst? (Keine Erklärung notwendig, nennen ist ausreichend.)

Musterlösung:

1. *gelöst: Hidden Terminal Problem (1P)*
2. *nicht gelöst: Hidden Station Problem (1P)*

- (c) [1 Punkt] Welchen zentralen Vorteil haben statische Verfahren zur Leitwegebestimmung gegenüber dynamischen Verfahren?

Musterlösung:

keine Leitwegebestimmung im laufenden betrieb notwendig

- (d) [2 Punkte] Nehmen Sie Stellung zu folgender Aussage: Beim OSPF-Verfahren kann das "Count-to-Infinity"-Problem auftreten, wenn eine Verbindung ausfällt. Begründen Sie kurz.

Musterlösung:

"Count-to-Infinity" tritt nur bei Distanzvektor-Verfahren auf. Bei OSPF ist allen Knoten die ganze Topologie bekannt, so dass die Auswirkungen eines Verbindungsausfalls auf die gesamte Topologie sofort fuer alle Knoten erkennbar sind.

- (e) [1 Punkt] Was ist die Aufgabe der Transportschicht?

Musterlösung:

Die Aufgabe der Transportschicht ist es den darüberliegenden Schichten eine zuverlässige Ende-zu-Ende Verbindung bereitzustellen, unabhängig vom zu Grunde liegenden Netzwerk

- (f) [2 Punkte] Nennen Sie die Elemente des UDP-Headers (nicht des IP-Headers). Reihenfolge oder Anzahl der Bits der jeweiligen Felder sind nicht gefordert!

Musterlösung:

- *Absender-Port*
- *Empfänger-Port*
- *Paket-Länge*
- *Prüfsumme*

Aufgabe 2: Bitübertragungsschicht [8+6+5=19 Punkte]

(a) [8 Punkte] Leitungscodes

(i) [2 Punkte] Welche Eigenschaften haben Biphas-Codes?

Musterlösung:

- *mindestens ein Signalwechsel pro Bitintervall*
- *höchstens zwei Signalwechsel pro Bitintervall*

(ii) [3 Punkte] Welche Vorteile ergeben sich daraus?

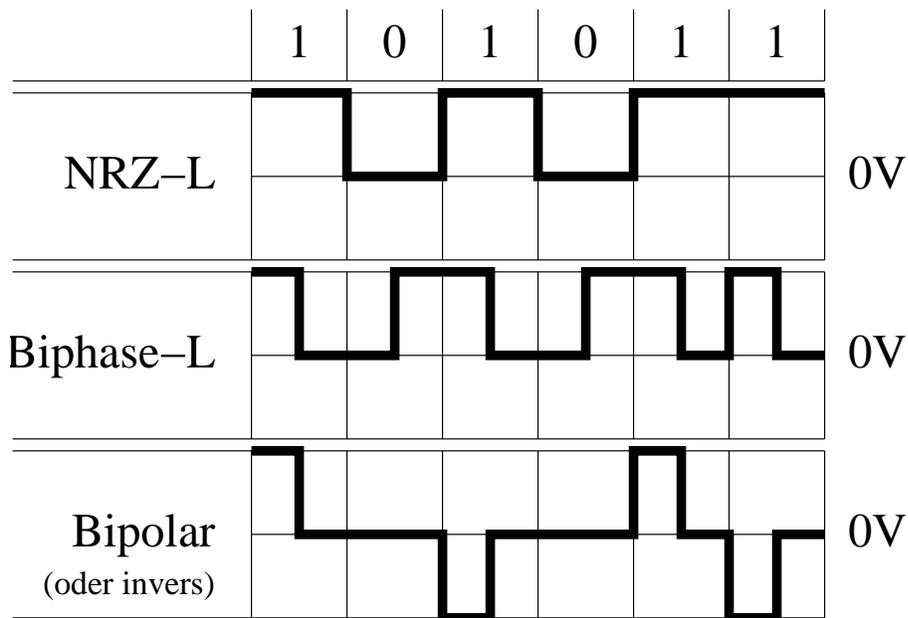
Musterlösung:

- *Leichte Synchronisierung dank Signalwechsel*
- *Keine Gleichstromkomponente*
- *Einfache Fehlererkennung bei fehlendem Signalwechsel*

(iii) [3 Punkte] Im folgenden soll die Bitfolge 101011 mit den angegebenen Verfahren kodiert werden. Zeichnen Sie den Verlauf der resultierenden Signale in die Tabelle ein! Die mittlere Linie in der Grafik liege jeweils bei 0 Volt.

	1	0	1	0	1	1	
NRZ-L							0V
Biphase-L							0V
Bipolar							0V

Musterlösung:



(b) [6 Punkte] Multiplexing

(i) [3 Punkte] Was ist Multiplexing? Erklären Sie den Begriff und geben Sie zwei Beispiele!

Musterlösung:

Multiplexing ist eine Technik, durch die man mehrere Übertragungen über das gleiche Medium parallel durchführen kann. Beispiele sind:

- *Zeitmultiplexing*
- *Frequenzmultiplexing*
- *Raummultiplexing*

(ii) [3 Punkte] Welche Vorteile bringt asynchrones Multiplexing gegenüber synchronem Multiplexing?

Welche Vorkehrung muss beim asynchronen Multiplexing zusätzlich getroffen werden?

Musterlösung:

- *Bessere, da flexiblere Ausnutzung des Mediums.*
- *Fehlende strikte Kanaltrennung macht Adressierung der einzelnen Pakete erforderlich.*

(c) [5 Punkte] ADSL

- (i) [3 Punkte] Beschreiben Sie die Funktionsweise von ADSL! Gehen Sie dabei davon aus, dass für die Übertragung das DMT-Verfahren genutzt wird.

Musterlösung:

Beim DMT-Verfahren ist das Frequenzband bis 1104 kHz aufgeteilt in 256 Kanäle, die jeweils eine Breite von 4,3125 kHz besitzen. 224 dieser Kanäle werden für die Datenübertragung genutzt, 32 davon für den Upstream, 192 für den Downstream. Ein Kanal besitzt eine maximale Übertragungskapazität von 4 kBit/s, so dass sich für den Upstream 128 kBit/s und für den Downstream 768 kBit/s ergeben. Daher spricht man von asymmetrischer Datenübertragung. Die Daten werden auf die verschiedenen Trägerfrequenzen aufmoduliert, wobei die Bitraten der einzelnen Kanäle je nach Länge und Qualität der Übertragungstrecke dynamisch adaptiert werden.

- (ii) [2 Punkte] Warum kann man mit ADSL über eine Leitung gleichzeitig telefonieren und Daten übertragen?

Musterlösung:

Durch Frequenzmultiplexing. ISDN verwendet die Frequenzen bis 138 kHz, ADSL den Frequenzraum zwischen 138 kHz und 1104 kHz. Dabei wird unterteilt in Upstream von 138 kHz bis 276 kHz und Downstream von 276 kHz bis 1104 kHz. Ein Splitter (Frequenzfilter) trennt die beiden Dienste voneinander.

Aufgabe 3: Sicherungsschicht [3+10+12=25 Punkte]

(a) [3 Punkte] Warm-Up

Nennen und erklären Sie kurz die Aufgaben der Sicherungsschicht.

Musterlösung:

je ein halber Punkt für nennen und erklären (mindestens halber Satz mit d.h.)

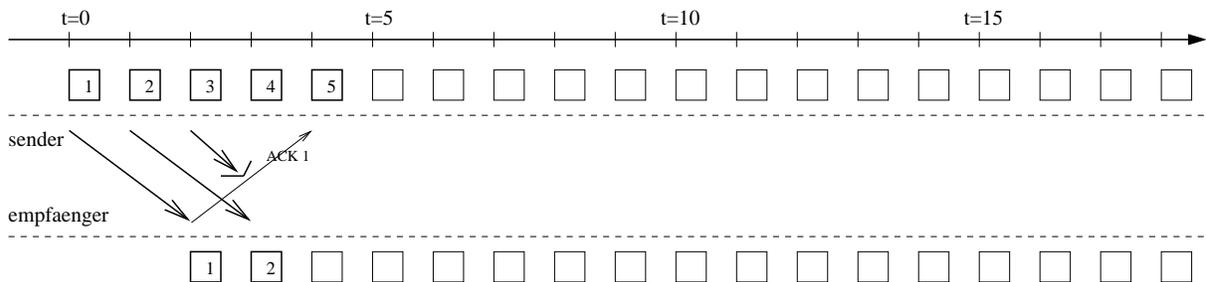
- Verdeckung von Übertragungsfehlern zwischen direkt benachbarten Partnern (Erkennung und Behebung)
- Flusskontrolle
- Bei LANs zusätzlich: Medienzugangskontrolle zum gemeinsamen Medium

(b) [10 Punkte] Fehlersicherung

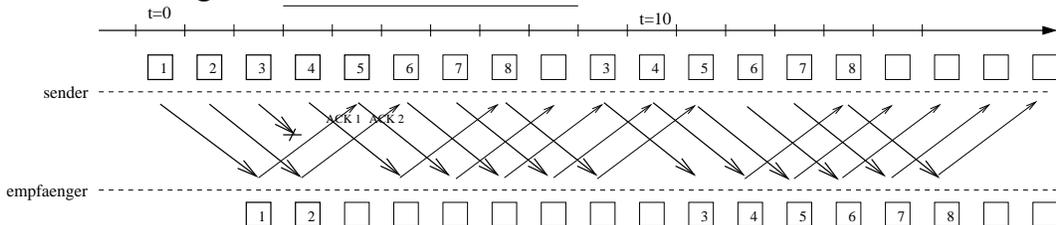
Die Abbildungen zeigen den Anfang einer Übertragung. Auf der Netzwerkschicht sollen 8 Pakete übertragen werden. Das Timeout-Intervall umfasst 6 Zeiteinheiten (der Sender startet den Timer jeweils nach Absenden des Pakets; alle Pakete werden nur am Anfang eines Zeitintervalles versendet). Außerdem sei die Verbindung zuverlässig (außer zu dem Zeitpunkt, an dem Paket 3 verloren geht) und die Flusskontrollfenstergröße ist zu vernachlässigen. Setzen Sie für Selective Repeat ein NACK ein.

Tragen Sie für die drei folgenden Varianten (i) - (iii) den Paketfluss in die Skizzen ein. Zu welchem Zeitindex ist die von der Netzwerkschicht empfangene Sendung vollständig und kann an die Vermittlungsschicht weitergegeben werden?

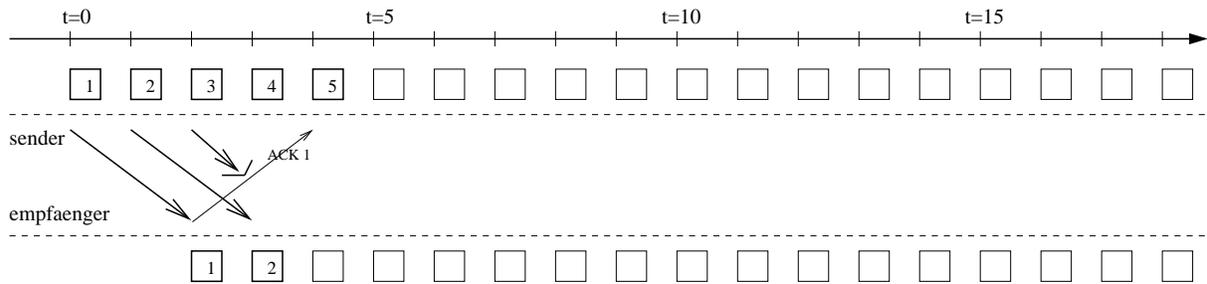
(i) [3 Punkte] Go-Back-N ohne Pufferung?



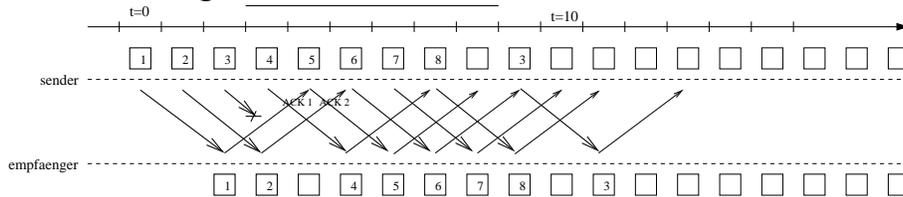
Musterlösung:



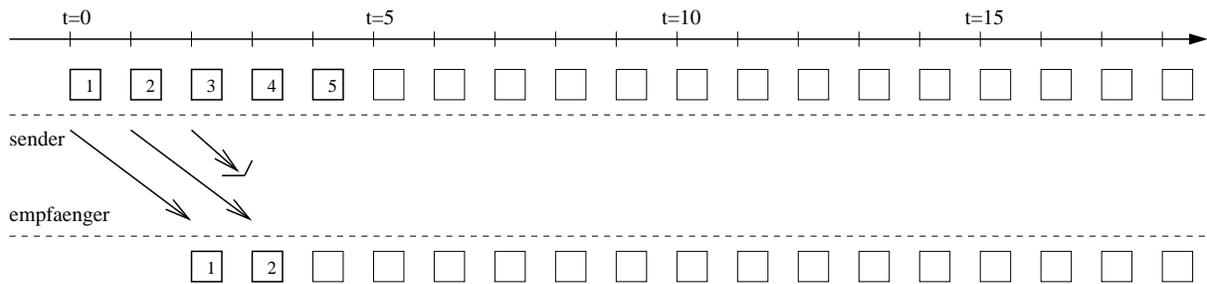
(ii) [3 Punkte] Go-Back-N mit Pufferung?



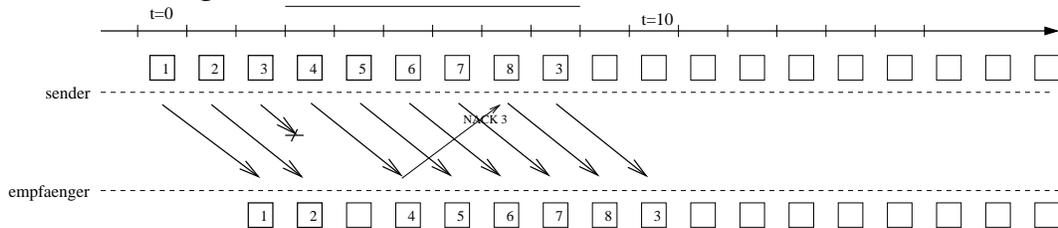
Musterlösung:



(iii) [3 Punkte] Selective Repeat mit NACK?



Musterlösung:



(iv) [1 Punkt]

Wie groß muss der Erneut-Sende-Timeout beim obigen Beispiel mindestens sein und warum?

Musterlösung:

4, sonst würde auch wenn alles glattgeht, Paket 1 doppelt gesendet.

(c) [12 Punkte] Flusskontrolle

- (i) [1 Punkt] Erklären Sie die Aufgabe der Flusskontrolle.

Musterlösung:

Flusskontrolle dient dazu, einen schnellen Sender daran zu hindern, einen langsamen Empfänger (in Bezug auf Verarbeitungsleistung) zu überschwemmen. Kann zusammen mit Fehlersicherung verwendet werden.

- (ii) [8 Punkte] Stop-And-Wait Protokoll

Wir betrachten ein Netzwerk mit einem Sender und einem Empfänger. Das "gesprochene" Protokoll ist Stop-and-Wait. Leiten sie eine Formel für die effektive Datenrate r_{eff} in Abhängigkeit der Rahmengröße x [Bit], der Entfernung s [m], der Bitrate r [Bit/s] und der Ausbreitungsgeschwindigkeit v [m/s] her. Die Größe der ACKs sind zu vernachlässigen.

Begründen sie jeden Schritt der Herleitung.

Musterlösung:

siehe auch Übungsblatt 5:

gesucht: effektive Datenrate r_{eff} bei Rahmengröße x

$$r_{eff} = \frac{x}{t_x}$$
$$t_x = \frac{x}{r} + \frac{s}{v} + \frac{s}{v} = \frac{x}{r} + 2\frac{s}{v}$$
$$\Rightarrow r_{eff} = \frac{x}{\frac{x}{r} + 2\frac{s}{v}}$$

Punkte: Ansatz r_{eff} (1 Punkt) mit Erklärung. Ansatz t_x mit Erklärung (4 Punkte). Geschlossene Form (1 Punkt).

Nun sei $s = 5 \cdot 10^3$ [m], $r = 1 \cdot 10^6$ [Bit/s] und $v = 5 \cdot 10^7$ [m/s]. Bei welcher Rahmengröße x hat die Konfiguration eine Effizienz von mindestens 50%?

Musterlösung:

Effizienz von mindestens 50% heißt $r_{eff} \geq r/2$.

$$\begin{aligned} r_{eff} &\geq \frac{1 \cdot 10^6}{2} \\ \Leftrightarrow \frac{x}{\frac{x}{r} + 2\frac{x}{v}} &\geq 5 \cdot 10^5 \\ \Leftrightarrow \frac{x}{\frac{x}{1 \cdot 10^6} + 2\frac{5 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^7}} &\geq 5 \cdot 10^5 \\ \Leftrightarrow x &\geq 5 \cdot 10^5 \left(\frac{x}{1 \cdot 10^6} + \frac{2}{10^4} \right) \\ \Leftrightarrow x &\geq \frac{x}{2} + 100 \\ \Leftrightarrow x &\geq 200 \end{aligned}$$

- (iii) [3 Punkte] Warum verwendet man zwischen einem Sender-Empfänger-Paar, das über eine Leitung mit hoher Bandbreite und hohem Delay kommuniziert, kein "Stop-and-Wait"-Protokoll? Was verwendet man stattdessen? (Wie heißt das Protokoll und wie funktioniert es?)

Musterlösung:

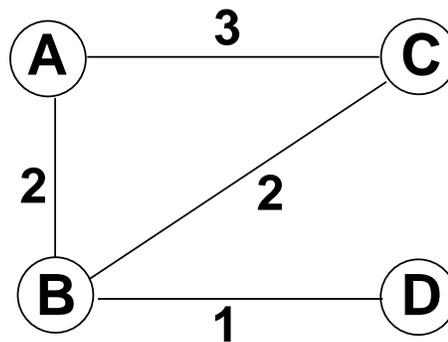
Flusskontrolle dient dazu, einen schnellen Sender daran zu hindern, einen langsamen Empfängern (in Bezug auf Verarbeitungsleistung) zu überschwemmen.

Aufgabe 4: Routing [5+4+3+3=15 Punkte]

Gegeben sei ein Datagramm-Netzwerk, in dem die n Router Pakete nach dem OSPF-Verfahren weiterleiten. Zur Leitwegbestimmung berechnet jeder Router s zunächst die Spannbäume der kürzesten Pfade und speichert jeden Baum in einer Matrix B_s ab:

$$B_s(i, j) = \begin{cases} 1 & j \text{ ist Elternknoten von } i \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Das in der folgenden Abbildung dargestellte Netzwerk dient in der Aufgabe als Beispiel.



- (a) [5 Punkte] Zeichnen Sie zunächst alle Spannbäume für das obige Beispiel-Netzwerk und bestimmen Sie dann die Matrix B_C für den Knoten C.

Musterlösung:

- je 1 punkt fuer jeden richtigen baum
- 1 punkte fuer b_c
- baeume (child - parent):
 - sender a: b - a, c - a, d - b
 - sender b: a - b, c - b, d - b
 - sender c: a - c, b - c, d - b
 - sender d: b - d, a - b, c - b

B_C	A	B	C	D
A	0	0	1	0
B	0	0	1	0
C	0	0	0	0
D	0	1	0	0

•

- (b) [4 Punkte] Im nächsten Schritt soll für jeden Router s eine Routing-Matrix R_s bestimmt werden, die dem Router s angibt, an welchen Knoten k er ein Paket weiterleiten muss, das von i nach j unterwegs ist.

Dabei soll gelten (1) $R_s(i, j) = 0$ für alle Pfade von i nach j , die s nicht enthalten und (2) $R_s(i, j) = 0$ für $s = j$.

Geben Sie R_B für den Knoten B im obigen Beispiel-Netz an!

Musterlösung:

R_B	A	B	C	D
A	0	0	0	D
B	A	0	C	D
C	0	0	0	D
D	A	B	0	0

- (c) [3 Punkte] Geben Sie die Funktion $parent(i, j)$ in Pseudo-Code an, die den Elternknoten von j im Spannbaum B_i bestimmt.

Welcher Knoten ergibt sich für $parent(C, D)$ im obigen Beispielnetz?

Musterlösung:

- 2.5 punkte fuer code
- 0.5 punkt fuer $parent(C, D) = B$

```

parent(i, j)
  for (k = 1; k <= n; ++k)
    if (B_i(j, k) != 0) return k
return 0

```

- (d) [3 Punkte] Geben Sie eine Funktion $path(i, j)$ in Pseudo-Code an, die den Pfad vom Knoten i nach j mit Hilfe der Funktion $parent(i, j)$ bestimmt.

Geben Sie das Ergebnis für $path(C, D)$ an.

Musterlösung:

- 2.5 punkte fuer code
- 0.5 punkt fuer $path(C, D) = C - B - D$

```
path(i,j)
  print j
  while (j != i)
    j = parent(j,i)
  print j
```

Aufgabe 5: Überlastkontrolle in der Vermittlungsschicht [2+3+3=8 Punkte]

- (a) [2 Punkte] Wieso benötigt man eine Überlastkontrolle (Congestion Control) in der Vermittlungsschicht? Wäre die Flusskontrolle zwischen Endsystemen auf der Transportschicht nicht ausreichend?

Musterlösung:

- *ueberlast bedeutet ein router empfaengt mehr pakete als er handhaben kann (router zu langsam, ausgangsleitung zu langsam)*
- *flusskontrolle nicht ausreichend wegen gemeinsam verwendeter engpass-leitungen*

- (b) [3 Punkte] Erklären Sie kurz das Prinzip der Überlastkontrolle im Internet (Protokollfunktionen müssen nicht im Detail angegeben werden!). Nennen Sie je einen Vor- und Nachteil dieses Prinzips!

Musterlösung:

- *router verwerfen pakete, die nicht verarbeitet werden koennen, begrenzte queues, drop-tail*
- *kein cc in udp, cc in tcp (anpassung der send rate)*
- *vorteil: fuer den router einfach, nachteil: uebertragungswiederholungen erhoehen netzlast zusaetzlich*

- (c) [3 Punkte] Auf dem Pfad zwischen einem Sender s und einem Empfänger e gebe es genau einen Engpass-Router, der Pakete mit einer Wahrscheinlichkeit von $p = 0.1$ verwirft. s sendet 10 Pakete mit einer Übertragungszeit von jeweils $t = 100$ ms.

Wie lange dauert es im Durchschnitt, bis e alle Pakete empfangen hat, wenn eine eventuell erforderliche Übertragungswiederholung zur Zeit t nach dem Sendezeitpunkt des verworfenen Pakets durchgeführt wird?

Kommentieren Sie Ihre Vorgehensweise!

Musterlösung:

- *ein paket geht mit wkt p verloren -> reihe mit anzahl uebertragungen aufstellen -> erwartungswert $1/(1-p)$*
- $10 * 100 / 0.9 = 1111.11$ ms

Aufgabe 6: Transportschicht [4+1+6=11 Punkte]

Ein Gaststudent im 650 km entfernten Nizza möchte sich Professor Effelsbergs Rechnernetze-Vorlesung in Mannheim nicht entgehen lassen. Daher lädt er sich jede Woche über HTTP (das ja bekanntlich TCP einsetzt) die 100 MB grosse Vorlesung herunter. Dies geschieht über eine Leitung mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 10^7 Bit/s. Die maximale Paketgrösse betrage 1500 Byte.

- (a) [4 Punkte] Erklären Sie, wie in TCP Verbindungsaufbau und Verbindungsabbau erfolgen. (Bedienen sie sich ggf. der Hilfe eines Diagramms.)

Musterlösung:

Verbindungsaufbau:

- *Three-Way-Handshake*
- *Erstes Paket beantragt Aufbau in die eine Richtung*
- *Zweites Paket bestätigt erstes und beantragt Aufbau in die Rückrichtung.*
- *Drittes Paket bestätigt Verbindungsaufbau in Rückrichtung*

Verbindungsabbau:

- *2 Mal Half-Close (4 Pakete)*
- *Jede Richtung wird einzeln beendet, durch Paket und Bestätigung*

- (b) [1 Punkt] Das Datenfeld für die Fenstergröße der Flusskontrolle im TCP-Header habe 16 Bits. Wieviele Daten kann ein Sender maximal senden, ohne ein ACK erhalten zu haben?

Musterlösung:

2^{16} Byte

- (c) [6 Punkte] Wie groß darf die gesamte Paketbearbeitungszeit in weiterleitenden Routern maximal sein, damit bei der Übertragung noch die maximale Bandbreite erreicht werden kann? Die verwendeten Leitungen seien frei von anderem Verkehr, und jedes Paket wird sofort einzeln bestätigt.

Gegeben seien die folgenden Parameter: Signal-Ausbreitungsgeschwindigkeit: 200.000 km/s, 1KByte = 1000 Byte, TCP-Überlastkontrollmechanismen, die Grösse des MAC-Headers sowie die Bearbeitungszeit auf dem Zielrechner in Mannheim sind zu vernachlässigen.

Zur Erinnerung:

- Entfernung Mannheim - Nizza beträgt 650 km
- Die Leitung kann 10^7 Bit/s übertragen
- Die maximale Paketgröße ist 1500 Byte

Musterlösung:

$$b_{max} = \frac{max_send}{RTT}$$

$$max_send = 2^{16} \cdot 8Bit$$

$$RTT = dur_{data} + dur_{ACK} + 2 \cdot dur_{signal} + delay = \frac{1500 \cdot 8}{10^7} + \frac{40 \cdot 8}{10^7} + 2 \cdot \frac{650}{200000} + delays$$

$$delay = 0.0446968s$$

$$delay = 0,0447288s \quad (1)$$

Aufgabe 7: TCP-Überlastkontrolle [3+7=10 Punkte]

- (a) [3 Punkte] Welches Ereignis in der Netzwerkschicht benutzt TCP als Indiz dafür, dass das Netzwerk überlastet ist? Durch welche beiden Mechanismen stellt TCP diese Überlast fest?

Musterlösung:

- *Paketverlust*
- *Triple Duplicate ACK*
- *Timeout*

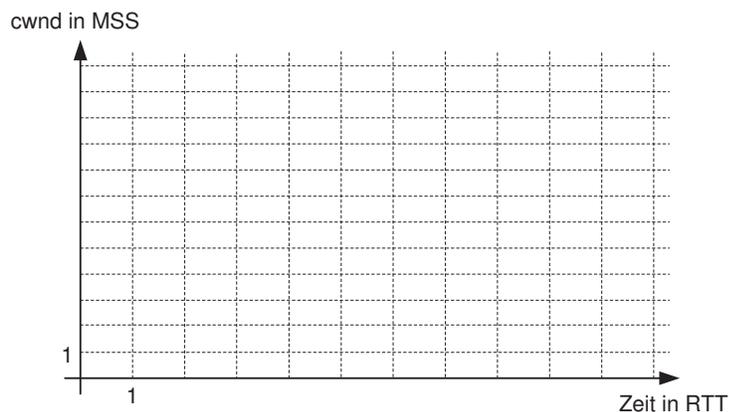
- (b) [7 Punkte] Sie haben die folgenden Informationen über den Sender eines TCP-Datenstroms:

- bei $t = 0$ ist $cwnd = 1$ und $ssthresh$ (slow start threshold) = 8
- der festgesetzte Timeout beträgt $2 \cdot RTT$
- die RTT sei während der gesamten Übertragung konstant
- Pakete werden einzeln bestätigt, es gibt keine *delayed acknowledgements*

Nun beginnt die Übertragung:

- zu Beginn erhält der Sender 24 ACKs
- dann erfolgt ein Timeout
- danach erhält er noch einmal 7 ACKs

Die Zeit, die der Sender benötigt um ein Paket auf die Leitung zu geben, sei vernachlässigbar gering. Tragen Sie zu jedem vollen Vielfachen der RTT die Grösse des $cwnd$ in das untenstehende Diagramm ein.



Musterlösung:

