

# Theorieübungen zur Vorlesung Rechnernetze

## Paketübertragung

Prof. Dr. Dirk Staehle

Die Abgabe erfolgt durch Hochladen der Lösung in Moodle und exemplarisches Vorrechnen in der Laborübung.

### **Bearbeitung in Zweier-Teams**

**Team-Mitglied 1:**

**Team-Mitglied 2:**

## 1 Ende-zu-Ende-Verzögerung

Betrachten Sie eine Übertragungsstrecke mit 3 Links, die durch folgende Übertragungsraten, Entfernungen und Ausbreitungsgeschwindigkeiten gekennzeichnet sind:

	Übertragungsrate	Physikalische Länge	Physikalische Ausbreitungsgeschwindigkeit
Link 1	60 Mbps	15 m	300 000 km/s
Link 2	25 Mbps	250 m	200 000 km/s
Link 3	20 Gbps	10 km	250 000 km/s

An allen Routern, die die Links verbinden, steht ausreichend Speicherkapazität zur Verfügung, so dass es nicht zu Paketverlusten kommt.

- Bestimmen Sie die Ausbreitungsverzögerung und die Übertragungsverzögerung der 3 Links für Pakete der Größe 1500 Byte.

Lösung:

Variablen:

- physikalische Länge:  $d$
- Ausbreitungsgeschwindigkeit:  $v$
- Paketgröße:  $L$
- Linkkapazität:  $C$

Ausbreitungsverzögerung:  $t_{prop} = \frac{d}{v}$

Übertragungsverzögerung:  $t_{tx} = \frac{L}{C}$

	C [Gbps]	l [km]	v [km/s]	$t_{prop}$ [μs]	$t_x$ [μs]
Link 1	0,06	0,015	300000,00	0,0500	200,00
Link 2	0,025	0,25	200000,00	1,2500	480,00
Link 3	20,00	10,00	250000,00	40,0000	0,60

- Bestimmen Sie die Ende-zu-Ende-Verzögerung für die Übertragung eines Pakets über die 3 Links in der Reihenfolge Link 1-Link 2-Link 3. Hängt die Ende-zu-Ende-Verzögerung von der Reihenfolge der Links ab?

Lösung:

Ende-zu-Ende-Verzögerung:  $t_{E2E} = \sum_{k=1}^K t_{prop,k} + t_{tx,k}$

Die Ende-zu-Ende-Verzögerung hängt nicht von der Reihenfolge der durchlaufenen Links ab.

	$t_{\text{prop}} [\mu\text{s}]$	$t_x [\mu\text{s}]$	$t_{\text{E2E}} [\mu\text{s}]$
Link 1	0,05	200,00	200,05
Link 2	1,25	480,00	481,25
Link 3	40,00	0,60	40,60
E2E	41,30	680,60	721,90

3. Betrachten Sie nun einen Packet-Burst aus 20 Paketen, d.h. 20 Pakete werden direkt hintereinander übertragen werden. Was ist die Gesamtübertragungsdauer für diesen Packet-Burst, wenn die Links in der Reihenfolge Link 1-Link 2-Link 3 übertragen werden? Hängt in diesem Fall die Gesamtübertragungsdauer von der Reihenfolge der Links ab?

Lösung:

Gesamtübertragungsdauer:  $t_{\text{E2E}}(n) = t_{\text{E2E}}(1) + (n - 1) \cdot \max_k t_{tx,k}$

Gesamtübertragungsdauer für 20 Pakete:

$$t_{\text{E2E}}(20) = t_{\text{E2E}}(1) + 17 \cdot t_{tx,2} = 9,8419 \text{ ms}$$

Auch für einen Packet-Burst hängt die Gesamtübertragungsdauer nicht von der Reihenfolge der Links ab.

## 2 Durchsatz und Paketverlust (Standard-Klausuraufgabe)

Gegeben sei die in Abbildung 1 dargestellte Übertragungsstrecke von einer Quelle Q zu einem Ziel Z, die über vier Router  $R_1$  bis  $R_4$  verläuft. Die Link-Kapazitäten sowie die Ausbreitungsverzögerungen der fünf Links sind in der Abbildung angegeben. Jedes Paket enthält 600 Bytes.

Hinweis: Geben Sie alle zeitlichen Ergebnisse in Millisekunden an.

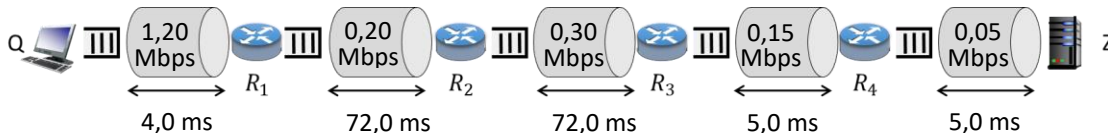


Abbildung 1: Übertragungsstrecke

- 1) Bestimmen Sie die Ende-zu-Ende Übertragungsdauer für ein Paket.

Hinweis: Die Übertragungsverzögerung beträgt 4,0 ms für einen 1,20 Mbps Link.

$$t_{tx} = [4,0, 24,0, 16,0, 32,0, 96,0], T_{e2e} = 330,00 \text{ ms}$$

- 2) Die Quelle versendet Pakete mit einem Abstand von 8,00 ms.

- a) Bestimmen Sie für jeden Link den prozentualen Anteil der ankommenden Pakete, die langfristig verloren gehen.

$$\text{Datenrate: } 4800 \text{ b} / 8 \text{ ms} = 0,60 \text{ Mbps}$$

Paketverlustrate (bezogen auf ankommende Pakete:

$$[0,00\%, 66,67\%, 0,00\%, 25,00\%, 66,67\%]$$

- b) Bestimmen Sie die physikalische Länge und die Anzahl gleichzeitiger Pakete für den Link zwischen  $R_1$  und  $R_2$ , wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit 200000 km/s beträgt.

$$\text{physikalische Länge: } l = 200 \text{ km/ms} \cdot 72 \text{ ms} = 14400 \text{ km}$$

$$\text{Anzahl Pakete auf Bus: } 72 \text{ ms} / 24 \text{ ms} = 3 \text{ Pakete}$$

- c) Skizzieren Sie die physikalische Ausdehnung der Pakete (physikalische Länge und Abstand) für die Links zwischen  $R_1$  und  $R_2$  sowie  $R_2$  und  $R_3$ . Die Linie entspricht der physikalischen Länge der Links.

Der Link  $R_1$ - $R_2$  ist voll ausgelastet, die drei Pakete werden „back-to-back“ ohne Lücke übertragen. Es passen 3 Pakete auf den Link.

Der Link  $R_2$ - $R_3$  ist nur zu 2/3 ausgelastet. Die Paketübertragungsdauer beträgt 16 ms, es trifft aber nur alle 24 ms ein Paket ein. Zwischen den Paketen gibt es eine Lücke von 8 ms oder eine halbe Paketlänge. Da auch alle 24 ms ein Paket übertragen wird, passen 3 Pakete plus Lücken auf den Bus.



- 3) Die Quelle Q versendet Pakete zu den folgenden Zeitpunkten: 0,0 ms(900,0 B); 2,0 ms(600,0 B); 3,0 ms(900,0 B); 4,0 ms(900,0 B); 5,0 ms(900,0 B); 7,0 ms(1200,0 B); 9,0 ms(900,0 B); 24,0 ms(1200,0 B); 26,0 ms(1200,0 B); 27,0 ms(1200,0 B)

Bestimmen Sie mit Hilfe einer Ereignistabelle, welche Pakete zwischen Quelle Q und Router R<sub>1</sub> verloren gehen, wenn der Aufgangs-Puffer von Q zu R<sub>1</sub> 3000 Bytes aufnehmen kann.

### Übertragungsverzögerungen:

Größe [B]	600	900	1200
Übertragungsverzögerung [ms]	4	6	8

### Ereignisliste:

Zeit	Ereignis	Paketgröße/ Übertragungs- verzögerung	Blo- ckiert	Puffer [Zeit]	Puffer [Bytes]	Übertragungs- ende
0	A	900/6	No	0	0	6
2	A	600/4	No	[4]	600	
3	A	900/6	No	[6, 4]	900,600	
4	A	900/6	No	[6, 6, 4]	900,900,600	
5	A	900/6	Yes	[6, 6, 4]	900,900,600	
6	D			[6, 6]	900,900	10
7	A	1200/8	No	[8, 6, 6]	1200,900,900	
9	A	900/6	Yes	[8, 6, 6]	1200,900,900	
10	D			[8, 6]	1200,900	16
16	D			[8]	1200	22
22	D			[]	[]	30
24	A	1200/8	No	[8]	1200	
26	A	1200/8	No	[8, 8]	1200,1200	
27	A	1200/8	Yes	[8, 8]	1200, 1200	