

**Esolution**

Place student sticker here

**Note:**

- During the attendance check a sticker containing a unique code will be put on this exam.
- This code contains a unique number that associates this exam with your registration number.
- This number is printed both next to the code and to the signature field in the attendance check list.

## Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

**Exam:** IN0010 / Hausaufgabe 7  
**Examiner:** Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

**Date:** Monday 15<sup>th</sup> June, 2020  
**Time:** 14:00 – 23:59

### Working instructions

- This exam consists of **6 pages** with a total of **2 problems**.  
Please make sure now that you received a complete copy of the exam.
- The total amount of achievable credits in this exam is 21.5 credits.
- Detaching pages from the exam is prohibited.
- Allowed resources:
  - one **non-programmable pocket calculator**
  - one **analog dictionary** English ↔ native language
- Subproblems marked by \* can be solved without results of previous subproblems.
- **Answers are only accepted if the solution approach is documented.** Give a reason for each answer unless explicitly stated otherwise in the respective subproblem.
- Do not write with red or green colors nor use pencils.
- Physically turn off all electronic devices, put them into your bag and close the bag.

Left room from \_\_\_\_\_ to \_\_\_\_\_ / Early submission at \_\_\_\_\_

## Problem 1 Packet Pair Probing (Klausuraufgabe Endterm 2012) (12 credits)

*Packet Pair Probing* ist ein Verfahren, mit dem sich durch geschickte Ausnutzung von Serialisierungs- und Verzögerungszeiten die Bandbreite eines Linkabschnitts bestimmen lässt. Wir wollen dies anhand des in Abbildung 1.1 dargestellten Beispielnetzwerks nachvollziehen.

Die Knoten 1 und 4 sind mit ihren Routern jeweils über Ethernet mit einer Datenrate von 1 Gbit/s angebunden. Die Verbindung zwischen den Routern 2 und 3 ist jedoch deutlich langsamer. Diese Übertragungsrate  $r_{23}$  soll von 1 und 4 bestimmt werden, indem möglichst wenig Last auf der ohnehin langsamen Verbindung erzeugt wird.

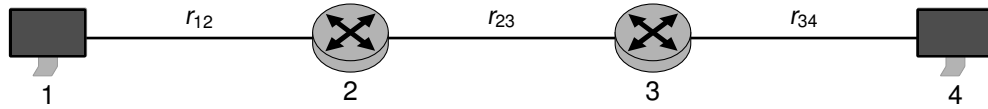


Figure 1.1: Netztopologie

Wir leiten in dieser Aufgabe zunächst allgemein ein Verfahren her, mittels dem Knoten 1 und 4 die gefragte Übertragungsrate bestimmen können. Im Anschluss werten wir das Verfahren für konkrete Zahlenwerte aus und diskutieren mögliche Probleme, die in der Praxis auftreten werden.

- 0 ☐ 1 ☐ a)\* Geben Sie die Serialisierungszeit  $t_s(i, j)$  zwischen zwei benachbarten Knoten  $i$  und  $j$  in Abhängigkeit der Paketgröße  $p$  und der Übertragungsrate  $r_{ij}$  an.

$$t_s(i, j) = \frac{p}{r_{ij}}$$

- 0 ☐ 1 ☐ b)\* Geben Sie die Ausbreitungsverzögerung  $t_p(i, j)$  zwischen zwei benachbarten Knoten  $i$  und  $j$  in Abhängigkeit der Distanz  $d_{ij}$  an.

Mit der relativen Ausbreitungsgeschwindigkeit  $\nu$  (die vom Medium abhängig ist) und der Lichtgeschwindigkeit  $c_0$  ergibt sich:

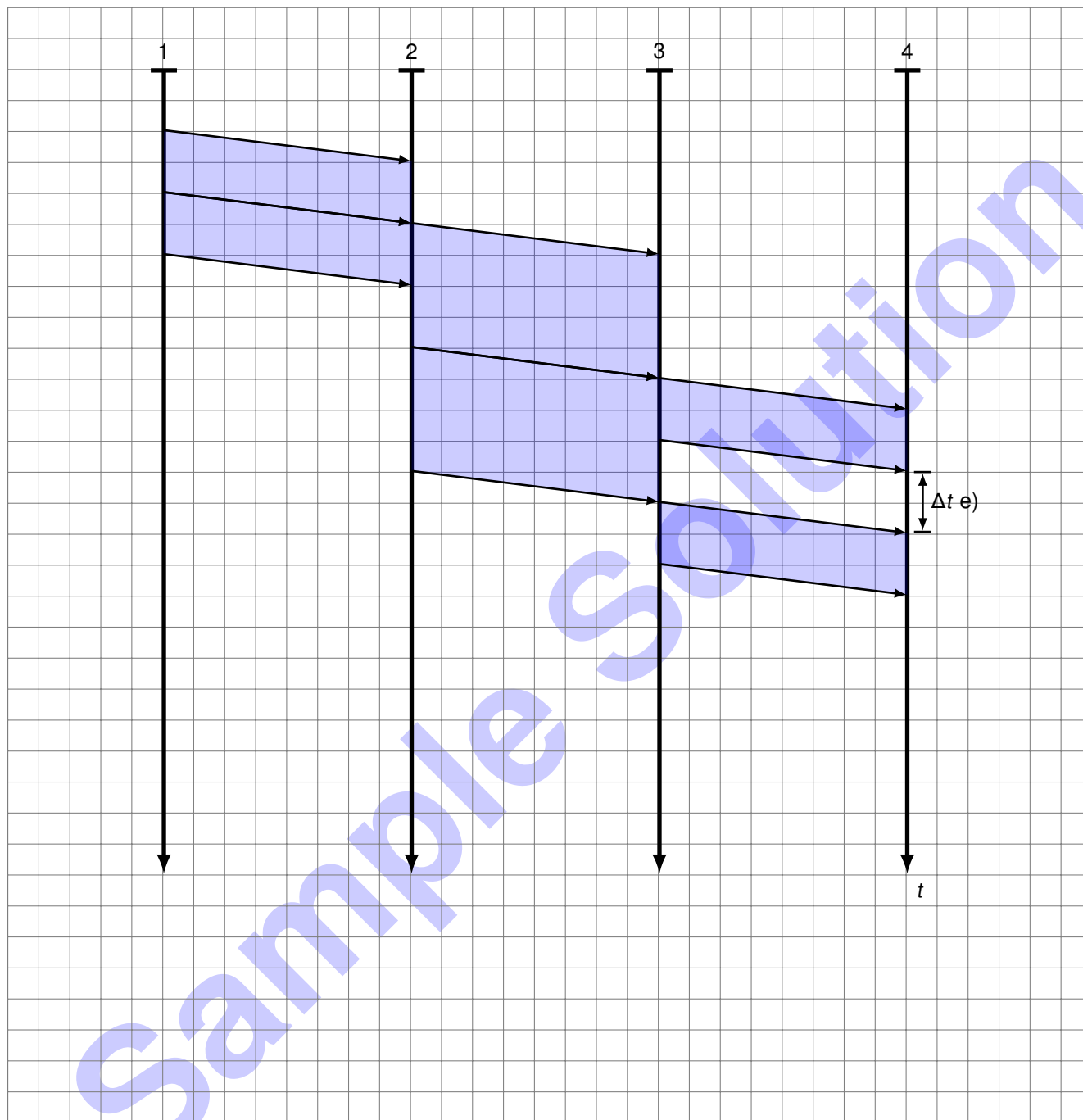
$$t_p(i, j) = \frac{d_{ij}}{\nu c_0}$$

- 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ c)\* Erläutern Sie kurz, wie 1 bei Verwendung von IPv4 die maximale MTU auf dem Pfad nach 4 bestimmen kann.

1 sendet ein Paket mit der  $MTU_{12}$  des lokalen Segments und setzt das DF-Bit (do not fragment) im IP-Header. Sofern  $MTU_{12}$  größer ist als  $MTU_{23}$ , so wird 2 das Paket verwerfen und eine entsprechende ICMP-Nachricht Typ 3 Code 4 (Destination Unreachable Fragmentation Needed, DF Set) an 1 zurücksenden. Diese enthält die maximale  $MTU_{23}$  für dem Abschnitt von 2 nach 3.

1 sende nun unmittelbar nacheinander zwei Pakete der Länge  $p$  an 4. Sie können davon ausgehen, dass sonst kein weiterer Datenverkehr die Übertragung beeinflusst. Die Länge  $p$  sei so gewählt, dass keine Fragmentierung notwendig ist. Eventuelle Verarbeitungszeiten an den Knoten können Sie vernachlässigen.

d) Zeichnen Sie ein Weg-Zeit-Diagramm, welches die Übertragung der beiden Pakete qualitativ richtig darstellt. Berücksichtigen Sie dabei insbesondere  $r_{23} < r_{12} = r_{34}$  wie eingangs erwähnt.



Durch die geringe Übertragungsrate zwischen 2 und 3 entsteht an Knoten 3 eine Sendepause  $\Delta t$  zwischen den beiden weitergeleiteten Paketen. Diese kann von 4 gemessen und zur Bestimmung der Übertragungsrate zwischen 2 und 3 verwendet werden.

e) Markieren Sie  $\Delta t$  in Ihrer Lösung von Teilaufgabe d). Von welchen Größen hängt  $\Delta t$  ab?

Nur von  $r_{23}$ ,  $r_{34}$  und  $p$ , nicht aber von den Ausbreitungsverzögerungen.

0  
1

f) Geben Sie einen Ausdruck für  $\Delta t$  an. Vereinfachen Sie den Ausdruck soweit wie möglich.

$$\Delta t = t_s(2, 3) - t_s(3, 4) = \frac{p}{r_{23}} - \frac{p}{r_{34}} \quad (1)$$

0  
1

g) Geben Sie einen Ausdruck für die gesuchte Datenrate  $r_{23}$  an. Vereinfachen Sie den Ausdruck soweit wie möglich.

Auflösen von (1) nach  $r_{23}$  ergibt:

$$r_{23} = \frac{p}{\Delta t + \frac{p}{r_{34}}} \quad (2)$$

Wiederholte Messungen an 4 ergeben einen Durchschnittswert von  $\overline{\Delta t} = 1,2 \text{ ms}$  bei einer Paketgröße von  $p = 1500 \text{ B}$ .

0  
1

h) Bestimmen Sie  $r_{23}$  als Zahlenwert in Mbit/s.

$$r_{23} = \frac{p}{\overline{\Delta t} + \frac{p}{r_{34}}} \approx 9,99 \text{ Mbit/s} \quad (3)$$

## Problem 2 Drahtthai (9.5 credits)

Gegeben sei der in Abbildung 2.1 dargestellte Hexdump in Network-Byte-Order eines Ethernet-Rahmens, ohne Checksum, welcher im Folgenden analysiert werden soll.

	Ethernet Header															
0x0000	00	16	3e	ff	ff	ff	00	16	3e	6d	cd	0d	08	00	45	00
							Protocol		EtherType						IHL	
0x0010	00	58	9f	47	40	00	40	06	47	33	ac	10	fe	02	ac	10
							Source Address									
0x0020	fe	01	00	16	da	e2	02	5d	78	9a	f2	3d	99	17	80	18
	Destination Address															
0x0030	00	e3	54	70	00	00	01	01	08	0a	b3	13	65	ca	11	82
0x0040	53	20	53	53	48	2d	32	2e	30	2d	74	69	6e	79	73	73
0x0050	68	5f	6e	6f	76	65	72	73	69	6f	6e	20	5a	34	43	53
0x0060	69	31	5a	52	0d	0a										

Figure 2.1: Hexdump eines Ethernet-Rahmens, ohne Checksum, in Network-Byte-Order

**Hinweis:** Zur Lösung der Aufgabe sind Informationen aus dem Cheatsheet notwendig.

0  
1

a)\* Markieren Sie in Abbildung 2.1 Beginn und Ende des Ethernet-Headers.

0  
1

b) Begründen Sie, durch Markieren und Beschreiben relevanter Headerfelder, welches Protokoll auf Schicht 3 verwendet wird.

Der Ethertype gibt den Typ der Layer 2 Payload an. Der hier verwendete Wert 0x0800 steht für IPv4.

c)\* Beschreiben Sie, wie die Länge des Headers auf Schicht 3 bestimmt wird. Markieren und benennen Sie dafür relevante Abschnitte in Abbildung 2.1.

0
1

Die Headerlänge in IPv4 wird durch das Headerfeld IHL angegeben. Dieses befindet sich im unteren Nibble des ersten Bytes des IPv4 Headers und gibt die Länge des Headers in Vielfachen von 4 B an. Die Länge des Headers beträgt also  $5 \cdot 4 \text{ B} = 20 \text{ B}$ .

d)\* Markieren Sie alle Schicht 3 Adressen und benennen Sie diese.

0
1

e) Markieren Sie alle in Schicht 3 enthaltenen Extension Header.

0
1

Die Schicht 3 Payload ist IPv4. IPv4 kennt keine Extension Header sondern nur Optionen. Aus Teilaufgabe c) wissen wir, dass der Header 20 B lang ist, was auch der minimalen Länge des IPv4 Headers entspricht. Folglich ist nichts zu markieren.

f) Benennen und beschreiben Sie die drei kleinsten Headerfelder von Schicht 3. Geben Sie zudem die Größe der beschriebenen Headerfelder an.

0
1

Die drei kleinsten Headerfelder alle eine Größe von 1 bit.

**RES** reserved, reserviert um unter Umständen in Zukunft verwendet werden zu können

**DF** do not fragment, weist den Verarbeitenden an, dass dieses Paket nicht fragmentiert werden darf

**MF** more fragments, informiert, dass — aufgrund einer vorangegangenen Fragmentierung — zu diesem IPv4 Paket weitere Fragmente gehören.

g) Falls es eine L3-SDU gibt, geben Sie ihren Typ an und begründen Sie die Angabe. Andernfalls, legen Sie Ihren Gedankengang dar und erörtern wie es zu dieser Situation kommen konnte.

0
1

Der Wert des IPv4 Headerfelds Protocol ist 0x06. Demnach ist die L3-SDU TCP.

h) Die Bytes 0x0042 und Folgende sind Payload von Schicht 4. Geben Sie die ASCII Darstellung der ersten 7 B der Payload an.

0
1

Die ASCII Darstellung von 0x53 53 48 2d 32 2e 30 ist SSH-2.0.

i) Um welches Protokoll der Anwendungsschicht handelt es sich also vermutlich und wozu wird dieses Protokoll verwendet?

0
1

Es handelt sich um SSH (Version 2.0), das für eine verschlüsselte Konsolensitzung unter Linux/Unix und neuerdings auch unter Windows verwendet wird.

Additional space for solutions—clearly mark the (sub)problem your answers are related to and strike out invalid solutions.

A large grid of graph paper for solutions, with a diagonal watermark reading "Sample Solution". The grid is composed of small squares, and the watermark is written in a large, light blue font across the center of the page.