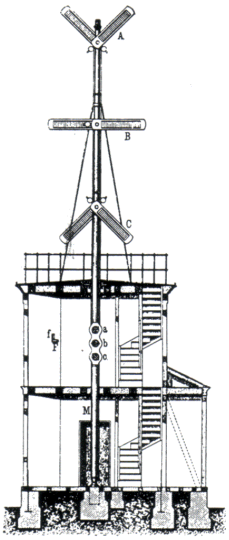
Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Fakultät für Informatik
Technische Universität München

# Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme (IN0010)

**Übungsblatt 6**

**24. Mai – 28. Mai 2021**

## Aufgabe 1 Optischer Telegraf (Klausuraufgabe Midterm 2014)



In dieser Aufgabe betrachten wir optische Telegrafen. Der Abstand zwischen je zwei benachbarten Telegrafenstationen beträgt 15 km. Der Mast einer solchen Station (siehe nebenstehende Abbildung) hat links und rechts jeweils drei Flügel, wovon jeder wiederum vier verschiedene Positionen (|, ╲, — und ╱) einnehmen kann.
Ein *Symbol* ist die Konfiguration aller Flügel.
Für das Einstellen eines Symbols werden 10 s benötigt. Das Ablesen beim Empfänger erfolgt parallel und benötigt daher keine zusätzliche Zeit.

a)* Wie viele bit können mit jedem Symbol übertragen werden?

b) Bestimmen Sie die erzielte Datenrate in B/s.

c)* Die zur Verfügung stehende (Brutto-)Datenrate wird üblicherweise nicht vollständig für Nutzdaten aufgewendet. Nennen Sie zwei weitere, sinnvolle Aufgaben, die bei gängigen Systemen einen Teil der Datenrate in Anspruch nehmen.

Es soll nun eine Nachricht der Länge 72 B übertragen werden.

d) Berechnen Sie benötigte Serialisierungszeit für diese Nachricht.

e)* Berechnen Sie die Ausbreitungsverzögerung dieser Nachricht zwischen zwei Stationen. Die Verringerung der Lichtgeschwindigkeit durch die Luft kann hierbei vernachlässigt werden.

Wir betrachten nun eine Kette von ingesamt 4 Telegrafenstationen, welche jeweils 15 km voneinander entfernt sind. Diese Nachricht der Länge 72 B soll nun mittels Paketvermittlung übertragen werden. Das auf Schicht 2 genutzte Protokoll kann hierbei nur Rahmen bis zu einer Größe von einschließlich 36 B übertragen.

f)* In wie viele Pakete muss die Nachricht aufgeteilt werden, wenn jedem Paket ein Header von 4 B hinzugefügt werden muss?

g) Berechnen Sie die Dauer einer vollständig paketbasierten Übertragung der Nachricht über die gesamte Telegrafenkette hinweg. Gehen Sie davon aus, dass die Übermittlungen immer erfolgreich sind und somit keine Bestätigungen benötigt werden.

h) Um wieviel weicht die Dauer bei einer durchgängigen Nachrichtenvermittlung ab? Gehen Sie davon aus, dass bei der Nachrichtenvermittlung kein Header verwendet wird.

## Aufgabe 2 Packet Pair Probing (Klausuraufgabe Endterm 2012)

*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 2.1 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.

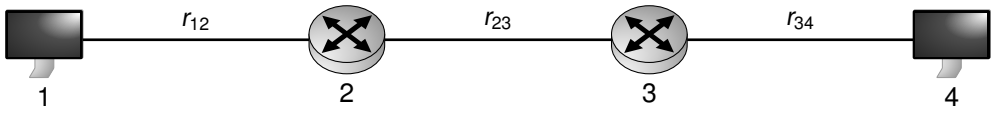



Abbildung 2.1: Netztopologie

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.

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.

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

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

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?

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

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

Wiederholte Messungen an 4 ergeben einen Durchschnittswert von $\overline{\Delta t} = 1.2\,\text{ms}$ bei einer Paketgröße von $p = 1500\,\text{B}$.

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