

Rechnernetze und verteilte Systeme

Theorie 1

Fachgruppe Telekommunikationsnetze (TKN)

27. Februar 2024

Einleitung

Die folgenden Aufgaben werden gemeinsam im Tutorium bearbeitet. In der Veranstaltung Rechnernetze wird die SI-Notation verwendet. Beispiele für Präfixe: m = 10^{-3} , k = 10^3 , M = 10^6 , ki = 2^{10} , Mi = 2^{20} . „B“ bezeichnet Bytes, „bit“ Bits.

Übung 1 *Verzögerung in Kommunikationsnetzen*

Eine wesentliche Eigenschaft von Kommunikationsnetzen ist, dass Daten verzögert übertragen werden. Die Verzögerung eines Datenpakets setzt sich aus verschiedenen Teilen zusammen. Erläutern Sie kurz die folgenden Begriffe:

1. Propagation Delay (Ausbreitungsverzögerung)
2. Transmission Delay (Übertragungsverzögerung)
3. Processing Delay (Verarbeitungsverzögerung)
4. Queueing Delay (Warteschlangenverzögerung)

Lösung

1. Durch die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit von Signalen (maximal die Vakuumlichtgeschwindigkeit, in der Praxis meist nur $200\,000\text{ km s}^{-1}$) kommt ein Signal nicht sofort nach dem Absenden am Empfänger an, sondern wird abhängig von der Länge des Weges verzögert. Die Ausbreitungsverzögerung gibt an, wie lange der gleiche Teil des Signals/der Nachricht (z.B. Beginn des ersten Bits) vom Sender zum Empfänger benötigt. Sie ist nur abhängig von der Länge des Weges und der Ausbreitungsgeschwindigkeit ($T_p = d/v$).
2. Die einzelnen Bits einer Nachricht werden i.d.R. seriell, d.h. nacheinander übertragen. Jedes Bit wird dabei durch ein physikalisches Signal einer gewissen zeitlichen Länge repräsentiert (z.B. Spannungsverlauf). Aus physika-

lischen Gründen kann die Länge dieses Signals nicht beliebig klein gewählt werden. Ein Übertragungskanal kann daher nur eine begrenzte Anzahl an Datenbits pro Zeiteinheit übertragen; wie viele wird durch die Übertragungsrate angegeben. Die Übertragungsverzögerung ist nun die Zeit, die benötigt wird, alle Bits eines Pakets auf die Übertragungsleitung zu schicken. Sie ist nur abhängig von der Länge des Pakets und der Übertragungsrate ($T_t = l/R$). Sie ist insbesondere *nicht* von der Länge der Leitung abhängig.

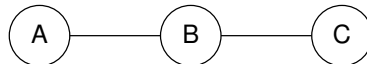
3. Der Sender braucht ggf. Zeit ein Paket zusammenzubauen, der Empfänger um es zu interpretieren und eine passende Antwort zu generieren.
4. Es kann immer nur ein Paket gesendet werden. Sollen mehrere Pakete verschickt werden, so muss dies nacheinander geschehen. Zu diesem Zweck werden die Pakete z.B. in eine Warteschlange eingereiht und nacheinander abgearbeitet. Die Zeit, die die Pakete in der Warteschlange verbringen, nennt man Queuing Delay.

Übung 2

[subtitle=**Linientopologie**]

Eine Nachricht mit einer Nutzdatenlänge von $p = 10\,000$ bit soll von A über B nach C verschickt werden (siehe Abbildung 1). Jede der beiden Verbindungen hat eine Datenrate von $r = 100\text{ kbit s}^{-1}$ und eine Verzögerung von $d = 10\text{ ms}$. Es treten keine weiteren Verzögerungen auf. Zum Versenden muss jedes Paket mit einem Header von $h = 100$ bit versehen werden.

Abbildung 1: Einfache Linientopologie.



1. Wie lange benötigt die Nachricht vom Beginn des Versendens bei A bis sie komplett bei C angekommen ist, wenn sie in einem Paket geschickt wird?
2. Wie lange benötigt die Nachricht vom Beginn des Versendens bei A bis sie komplett bei C angekommen ist, wenn sie in 5 Paketen geschickt wird?
3. Stellen Sie bitte die *symbolische* Formel für die Gesamtverzögerung $T(n)$ in Abhängigkeit von der Anzahl der Pakete n und mit den Parametern p , h , r und d auf (keine Zahlenwerte!).
4. Begründen Sie, warum es *nicht* sinnvoll ist, die Nachricht in sehr viele Pakete aufzuteilen!

5. In wie viele Pakete sollte man die Nachricht im Allgemeinen (symbolisch rechnen) aufteilen, damit die Gesamtverzögerung minimal wird? Welche Paketanzahl ergibt sich daraus für die oben angegebene Nutzdaten- und Header-Länge?

Lösung

1. $T = 2d + 2\frac{p+h}{r} = 222 \text{ ms}$
2. $s = h + p/5 = 2100 \text{ bit}$, $T = 2d + 6\frac{s}{r} = 146 \text{ ms}$
3. $T(n) = 2d + (n+1)\frac{h+p/n}{r}$
4. Zur eigentlichen Payload kommt pro Paket noch der Header hinzu.
5. $T'(n) = \frac{1}{r}(h - \frac{p}{n^2})$ Nach gleichsetzen mit 0 ergibt sich: $n = \sqrt{\frac{p}{h}} = 10$

Übung 3 Iperf

Im Internet gibt es Server, die einen kostenlosen Service zur Durchsatzmessung anbieten¹.

1. Wählen Sie einen der Server aus und schätzen Sie zunächst Round-trip-Time anhand des angegebenen Standorts ab. Gehen Sie dabei davon aus, dass sich die Signale durchschnittlich mit $200\,000 \text{ km s}^{-1}$ ausbreiten.
2. Verwenden Sie nun das Kommandozeilenprogramm `ping` um die Round-Trip-Time (RTT) zwischen Ihrem Rechner und dem gewählten Server zu messen. Versuchen Sie die Unterschiede zu Ihrer Schätzung zu erklären.
3. Verwenden Sie das Kommando `iperf3 -c [HOSTNAME]` um mit dem `iperf3` Programm den Durchsatz von ihrem Rechner zu dem oben gewählten Server über Streaming-Sockets zu messen.
4. Berechnen Sie, wie viele Daten bei einer Streaming-Socket-Verbindung zwischen ihrem Rechner und dem oben genannten Server durchschnittlich zu jeder Zeit unterwegs sind.
5. Wo sind diese Daten gespeichert?

Lösung

1. Beispiel: `iperf.he.net`
Entfernung Freemont - Berlin = ca. 9100 km
 $2 \cdot \frac{9100 \text{ km}}{200\,000 \text{ km s}^{-1}} = 0.091 \text{ s} = 91 \text{ ms RTT}$

¹<https://iperf.fr/iperf-servers.php>

2. RTT TU ca.: 150 ms

Mögliche Antworten zur Differenz:

- Pakete nehmen vermutlich nicht den direkten Weg
- Pakete werden auf dem Weg (vor allem über den Atlantik) gequeued

3. Durchsatz TU ca.: 123 Mbit s^{-1}

4. $d * r = 123 \text{ Mbit s}^{-1} * \frac{0.150 \text{ s}}{2} = 9.225 \text{ kbit}$

5. Diese Daten sind gerade unterwegs, also entweder gespeichert:

- auf der Leitung
- oder in einer Warteschlange im Router

Übung 4 *Bandwidth-Delay-Product*

Nehmen Sie an, zwei Hosts, A und B, sind 20 000 km voneinander entfernt und werden durch eine direkte Verbindung mit Datenrate $r = 2 \text{ Mbit s}^{-1}$ verbunden. Angenommen, die Ausbreitungsgeschwindigkeit über den Link sei $200\,000 \text{ km s}^{-1}$.

1. Betrachten Sie die Übertragung einer Datei von 800 kbit von Host A zu Host B. Angenommen, die Datei wird kontinuierlich als eine große Nachricht gesendet. Was ist die maximale Anzahl von bits, die zu einem bestimmten Zeitpunkt jeweils unterwegs sind?
2. Welche Bedeutung hat der in Teilaufg. 1 berechnete Wert?
3. Leiten Sie einen allgemeinen Ausdruck für die Breite eines bits in Bezug auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit, die Übertragungsrate r und die Länge der Verbindung m her.

Lösung

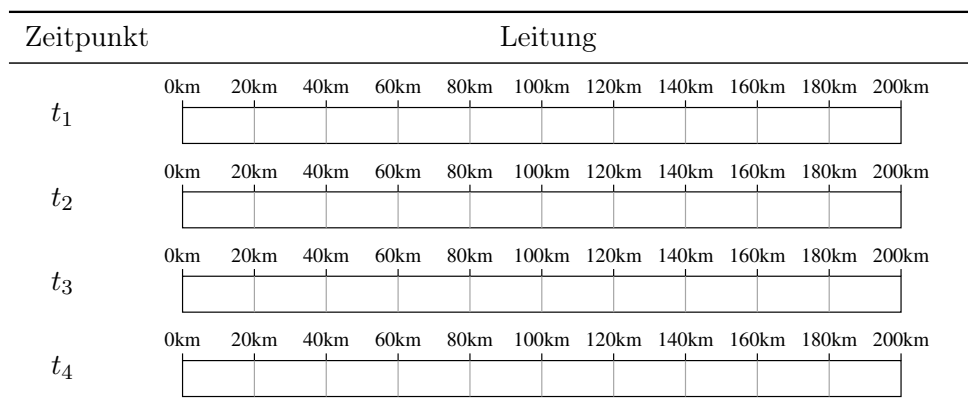
1. Ein bit benötigt $d = \frac{l}{v} = 0.1 \text{ s}$ um empfangen zu werden. Während dieser Zeit werden $a = r \cdot d = 200 \text{ kbit}$ gesendet. Dies ist die Lösung, da die Nachricht entsprechend groß ist ($n_{\text{in-flight}} = \min(n, a)$).
2. Die Anzahl der bits die unterwegs sind, also die versandt, aber noch nicht empfangen wurden. Dieser Wert, das *bandwidth-delay product*, hat eine besondere Bedeutung für das Protokolldesign, da er die Datenmenge bemisst, die von Übertragungsfehlern betroffen sein können. Je nach Anwendung ist die Betrachtung einer, oder beider Übertragungsrichtungen angemessener. Teilweise wird daher das bandwidth-delay product mit der Round-Trip Time (RTT), statt der Ausbreitungsverzögerung, berechnet.

3. Allgemein: $w = v/r$ (w = Bitbreite, v = Ausbreitungsgeschwindigkeit, r = Bandbreite) (Ergebnis in Aufgabe: 100 m)

Übung 5 *Paket Übertragung*

Zwei Rechner seien durch eine Leitung von 200 km Länge miteinander verbunden. Vom Sender sollen Pakete mit einer Größe von 10 000 bit bei einer Übertragungsrate von 100 Mbit s^{-1} übertragen werden. Processing und Queueing Delay seien vernachlässigbar klein. Zum Zeitpunkt $t_0 = 0 \mu\text{s}$ wird damit begonnen, ein einzelnes Paket zu senden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale beträgt $v = 200\,000 \text{ km s}^{-1}$.

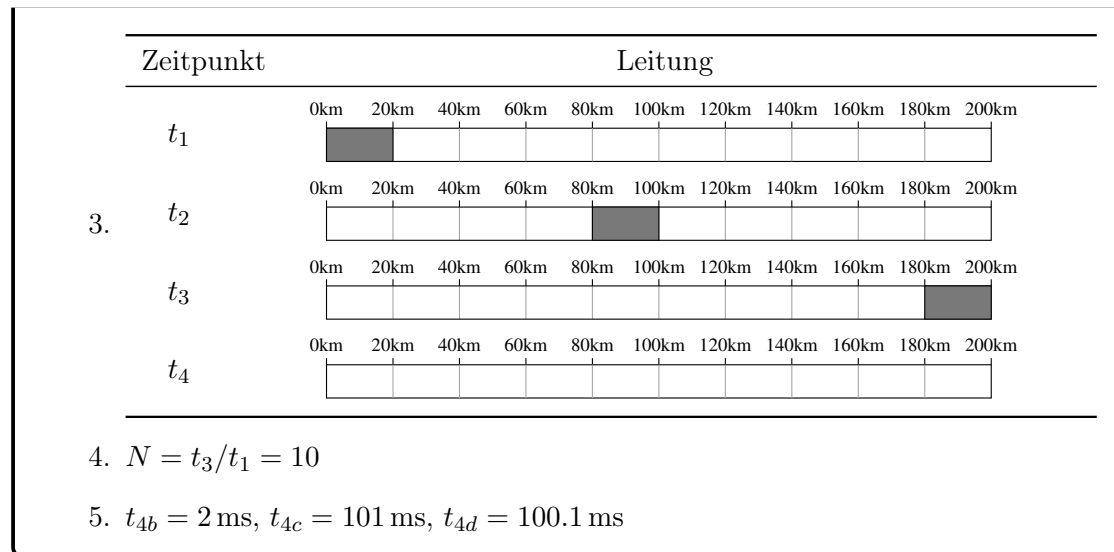
1. Wann beendet der Sender die Übertragung dieses Pakets (t_1)?
2. Wann kommt das erste Bit am Empfänger an (t_3), wann das letzte (t_4)?
3. Zeichnen Sie in die Diagramme die Position des Paketes zu denen von Ihnen berechneten Zeitpunkten sowie zum Zeitpunkt $t_2 = 500 \mu\text{s}$ ein, indem Sie den Bereich vom ersten bis zum letzten Bit des Pakets schraffieren.



4. Wie viele vollständige Pakete können sich gleichzeitig auf dem Übertragungskanal befinden?
5. Wann käme das letzte Bit am Empfänger an, wenn die Übertragungsrate 10 Mbit s^{-1} beträgt? Was ergibt sich für eine Leitungslänge von 20 000 km und Übertragungsraten von 10 Mbit s^{-1} und 100 Mbit s^{-1} ?

Lösung

1. $t_1 = 10\,000 \text{ bit} / 100 \text{ Mbit s}^{-1} = 100 \mu\text{s}$
2. $t_3 = 200 \text{ km} / 200\,000 \text{ km s}^{-1} = 1000 \mu\text{s}$, $t_4 = t_1 + t_3 = 1100 \mu\text{s}$



Übung 6 Netcat

Das Programm `netcat` (kurz `nc`) ist ein einfaches Netzwerkprogramm, das eine Verbindung zu einem entfernten Server aufbaut und die Eingabe von `stdin` über das Netzwerk an den entfernten Server sendet. Das Programm kann auch als Server fungieren, wobei auf eingehende Verbindungen gewartet wird und alle empfangenen Daten nach `stdout` geschrieben werden. Netcat ist deshalb gut geeignet, um die eigene Implementierung von einfachen Netzwerkprotokollen zu testen. Probieren Sie deshalb die folgenden Anwendungsbeispiele aus:

Benutzen Sie das `nc` Kommandozeilen-Programm und rufen Sie eine Webseite auf der Konsole ab. Beispiel:

```

1 | echo -n -e "GET / HTTP/1.1\r\n\
2 | Host: whatismyip.akamai.com\r\n\
3 | Connection: close\r\n\r\n" | nc whatismyip.akamai.com 80

```

Lösung

```

1 | HTTP/1.1 200 OK
2 | Content-Type: text/html
3 | Content-Length: 13
4 | Expires: Mon, 27 Feb 2023 17:05:11 GMT
5 | Cache-Control: max-age=0, no-cache, no-store
6 | Pragma: no-cache
7 | Date: Mon, 27 Feb 2023 17:05:11 GMT
8 | Connection: close
9 |
10 | 130.149.49.68

```

Übung 7 *Whireshark*

Mit dem Programm Wireshark kann man den Netzwerkverkehr auf einem Rechner aufnehmen, filtern, und darstellen. In dieser Aufgabe verwenden wir Wireshark, um uns im Detail anzuschauen welche Pakete bei einer HTTP Anfrage generiert und ausgetauscht werden.

Öffnen Sie dazu Wireshark und nehmen Sie den Netzwerkverkehr Ihres Standardinterfaces auf, führen Sie den Request aus Aufg. 6 erneut durch, und stoppen Sie die Aufnahme. Beantworten Sie die folgenden Fragen:

1. Welche Protokolle werden zusätzlich zu HTTP verwendet um den Aufruf durchzuführen?
2. Wieviele Pakete wurden insgesamt ausgetauscht?
3. Die HTTP Anfrage wird an eine bestimmte IP versandt. Wie geschieht das Auflösen von Hostnamen des Ziels zur IP?

Hinweise: Die Aufnahme enthält auch sämtlichen anderen Netzwerkverkehr zur Zeit der Aufnahme. Sie können die Anzeige über den Displayfilter einschränken, beispielsweise auf bestimmte Protokolle (z.B.: HTTP, oder Eigenschaften der Protokolle (z.B.: `http.host`). Übertragungen auf höheren Protokollebenen beinhalten häufig weitere Pakete auf unteren Ebenen. Sie können auf solche Übertragungen über einen *Conversation Filter* im Kontextmenü eines Paketes filtern.

Lösung

1. HTTP, TCP, IP, Ethernet (ggfls. IEEE 802.11) zur Übertragung. ARP und DNS zum Auflösen der Adressen.
2. Typischerweise 10, kann aber auch abweichen.
3. Per DNS.