Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Fakultät für Informatik
Technische Universität München

Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

IN0010, SoSe 2019

Übungsblatt 10

8. Juli – 12. Juli 2019

Hinweis: Mit * gekennzeichnete Teilaufgaben sind ohne Lösung vorhergehender Teilaufgaben lösbar.

Aufgabe 1 Schiebefensterprotokolle

Wir betrachten ein Sliding-Window-Verfahren, dessen Sende- und Empfangsfenster $w_s = w_r = 2$ beträgt. Der Sequenznummernraum sei $\mathcal{S} = \{0, 1\}$. Die Fehlerbehandlung erfolge analog zu Go-Back-N. Abbildung 1 zeigt eine Datenübertragung, wobei die Blitze für durch Störungen verlorengegangene Segmente stehen. Die beiden ersten ACKs erreichen also nicht den Sender.

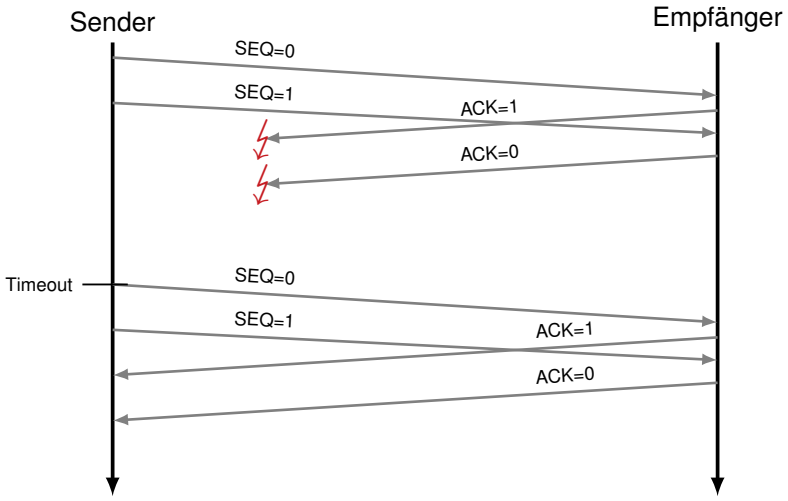


Abbildung 1: Modifiziertes Alternating-Bit-Protocol

a)* Welches Problem tritt in dem Beispiel bei der Übertragung auf? Pakete sind angekommen, Ack sind aber verloren gegangen.

b) Passen Sie $\mathcal{S}$ an, so dass das Verfahren korrekt funktionieren kann.

Im Folgenden betrachten wir die beiden Verfahren Go-Back-N und Selective Repeat. Die Sequenznummern $s \in \mathcal{S}$ haben eine Länge von 4 bit. Beantworten Sie die folgenden Fragen **sowohl für Go-Back-N als auch Selective Repeat.**

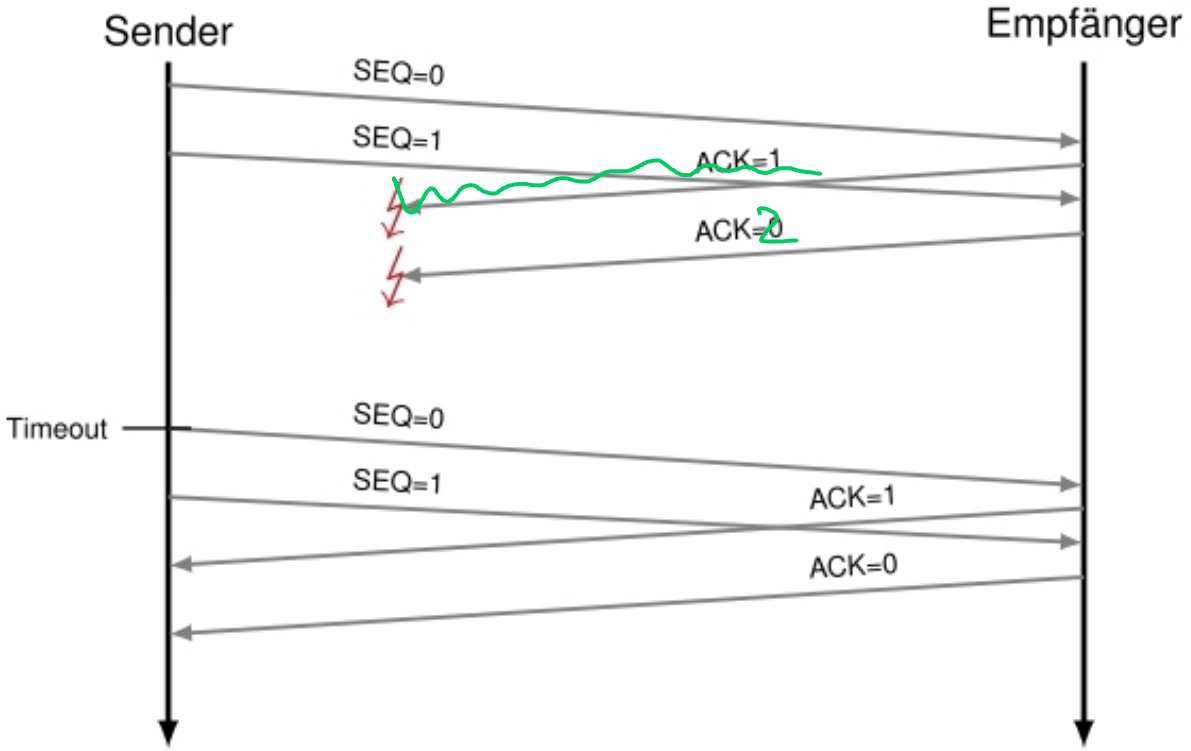
c)* Wie viele unbestätigte Segmente darf der Sender jeweils senden, um eine gesicherte Verbindung zu realisieren? Begründen Sie Ihre Antwort anhand von Beispielen. (Hinweis: Denken Sie an in möglichst ungünstigen Momenten verlorene Bestätigungen)

d)* Begründen Sie, welche oberen und unteren Grenzen für das Empfangsfenster des Empfängers bei den beiden Verfahren jeweils sinnvoll sind.

e)* Für eine praktische Implementierung benötigt der Empfänger einen Empfangspuffer. Wie groß sollte dieser bei den beiden Verfahren jeweils gewählt werden?

Prof. Dr.-Ing. Georg Carle carle@tum.de
Dr.-Ing. Stephan Günther, Henning Stubbe grnvs@net.in.tum.de

b)



c) GO Back-N

$w_S \leq N - 1 = 4 - 1 = 3$

Selective Repeat

$w_S \leq \left\lfloor \frac{4}{2} \right\rfloor = 2$

d) $w_r = 1$ Reicht in diesem Fall aus

w_r sollte größer sein als 1 da es sonst nicht besser ist als Go back N

e) Hierbei ist keiner Abhängig

Sollte der Puffer mindestens $w_S - 1$ groß sein.

Aufgabe 2 Fluss- und Staukontrolle bei TCP

Das im Internet am weitesten verbreitete Transportprotokoll ist TCP. Dieses implementiert Mechanismen zur Fluss- und Staukontrolle.

a)* Diskutieren Sie die Unterschiede zwischen Fluss- und Staukontrolle. Welche Ziele werden mit dem jeweiligen Mechanismus verfolgt?

b) Ordnen Sie die folgenden Begriffe jeweils der TCP-Fluss- bzw. Staukontrolle zu:

- Slow-Start
- Empfangsfenster
- Congestion-Avoidance
- Multiplicative-Decrease

Zur Analyse der mit TCP erzielbaren Datenrate betrachten wir den Verlauf einer zusammenhängenden Datenübertragung, bei der die Slow-Start-Phase bereits abgeschlossen ist. TCP befinde sich also in der Congestion-Avoidance-Phase. Wir bezeichnen die einzelnen Fenster wie folgt:

- Sendefenster W_s, $|W_s| = w_s$
- Empfangsfenster W_r, $|W_r| = w_r$
- Staukontrollfenster W_c, $|W_c| = w_c$

Wir gehen davon aus, dass das Empfangsfenster beliebig groß ist, so dass das Sendefenster allein durch das Staukontrollfenster bestimmt wird, d. h. $W_s = W_c$. Es treten keinerlei Verluste auf, solange das Sendefenster kleiner als ein Maximalwert x ist, also $w_s < x$.

Wird ein vollständiges Sendefenster bestätigt, so vergrößert sich das aktuell genutzte Fenster um genau 1 MSS. Hat das Sendefenster den Wert x erreicht, so geht genau eines der versendeten TCP-Segmente verloren. Den Verlust erkennt der Sender durch mehrfachen Erhalt derselben ACK-Nummer. Daraufhin halbiert der Sender das Staukontrollfenster, bleibt aber nach wie vor in der Congestion-Avoidance-Phase, d. h. es findet kein erneuter Slow-Start statt. Diese Vorgehensweise entspricht einer vereinfachten Variante von TCP-Reno (vgl. Vorlesung).

Als konkrete Zahlenwerte nehmen wir an, dass die maximale TCP-Segmentgröße (MSS) 1460 B und die RTT 200 ms beträgt. Die Serialisierungszeit von Segmenten sei gegenüber der Ausbreitungsverzögerung vernachlässigbar klein. Segmentverlust trete ab einer Sendefenstergröße von $w_s \geq x = 16\,\text{MSS}$ auf.

c)* Erstellen Sie ein Schaubild, in dem die aktuelle Größe des Sendefenster w_s gemessen in MSS über der Zeitachse t gemessen in RTT aufgetragen ist. In Ihrem Diagramm soll zum Zeitpunkt $t_0 = 0\,\text{s}$ gerade die Sendefenstergröße halbiert worden sein, also $w_s = x/2$ gelten. Zeichnen Sie das Diagramm im Zeitintervall $t = \{0, \ldots, 27\}$.

d)* Wieviel Zeit vergeht, bis nach einem Segmentverlust das Staukontrollfenster infolge eines weiteren Segmentverlusts wieder reduziert wird?

e)* Bestimmen Sie allgemein die durchschnittliche Verlustrate θ. Hinweis: Da das Verhalten von TCP in diesem idealisierten Modell periodisch ist, reicht es aus, lediglich eine Periode zu betrachten. Setzen Sie die Gesamtzahl übertragener Segmente in Relation zur Anzahl verlorener Segmente (Angabe als gekürzter Bruch ist ausreichend).

f) Bestimmen Sie mit Hilfe der Ergebnisse aus den Teilaufgaben (c) und (e) die in der betrachteten TCP-Übertragungsphase durchschnittlich erzielbare Übertragungsrate in kB/s.
Hinweis: Verwenden Sie den exakten Wert (Bruch) aus Teilaufgabe e).

g)* Bis zu welcher Übertragungsrate könnten Sie mit UDP maximal über den Kanal senden, ohne einen Stau zu erzeugen? Berücksichtigen Sie, dass der UDP-Header 12 B kleiner als der TCP-Header ohne Optionen ist.

Aufgabe 3 TCP und Long Fat Networks (Hausaufgabe)

In dieser Aufgabe betrachten wir sog. *Long Fat Networks*. Darunter versteht man Verbindungen, welche zwar eine hohe Übertragungsrate aber insbesondere auch eine hohe Verzögerung aufweisen. Beispiele dafür sind u. a. Satellitenverbindungen in Folge der hohen Ausbreitungsverzögerungen. Wir wollen insbesondere die Auswirkungen auf die TCP-Staukontrolle untersuchen.

a)* Bei TCP wird das Sendefenster in Abhängigkeit des Empfangsfensters sowie des Staukontrollfensters gewählt. Wie lautet der genaue Zusammenhang?

Zwei Nutzer seien nun über einen geostationären Satelliten an das Internet mit hoher Übertragungsrate angebunden. Die RTT zwischen beiden Nutzern betrage 800 ms, die Übertragungsrate sei $r = 24\,\text{Mbit/s}$.

b)* Wie groß muss das Sendefenster (gemessen in Byte) gewählt werden, damit kontinuierlich gesendet werden kann?

c)* Warum ist die Situation in Teilaufgabe b) ein Problem für die TCP-Flusskontrolle?

d)* Lesen Sie Sektion 2 von RFC 1323 (`http://www.ietf.org/rfc/rfc1323.txt`, siehe Anhang). Beschreiben Sie die Lösung für das Problem aus Teilaufgabe c).

e) Bestimmen Sie den minimalen Wert für das `shift.cnt`-Feld der TCP-Window-Scaling-Option.

f) Geben Sie den Header des ersten TCP-SYN-Pakets an, welches die Verbindung aufbaut. Verwenden Sie dazu die konkreten Zahlenwerte aus der Angabe. Ein TCP-Header ist zur Erinnerung nochmals in Abbildung 2 dargestellt. Dort finden sich auch zwei Vordrucke zur Lösung.

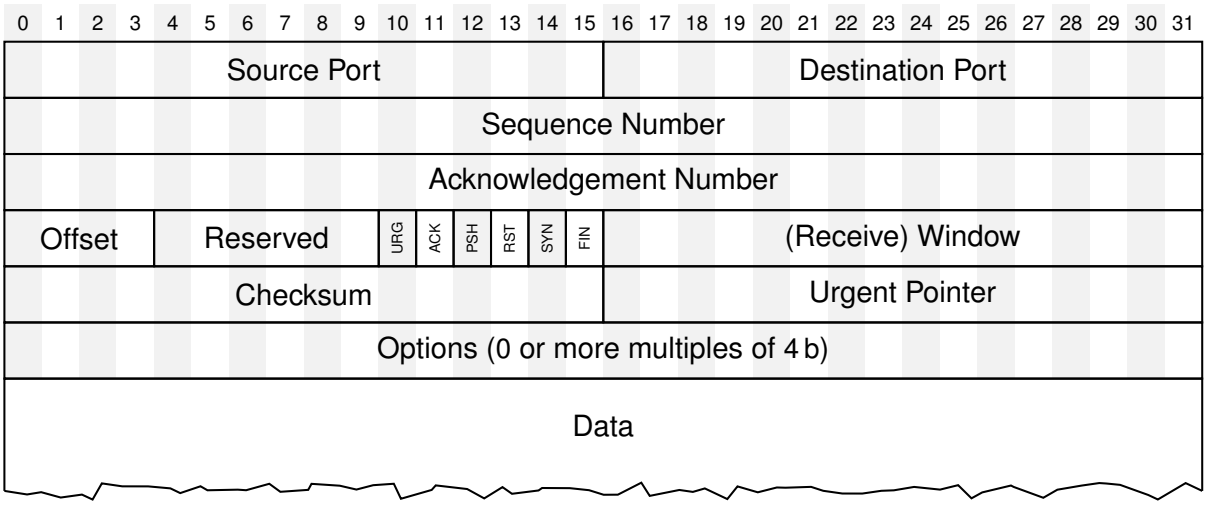
Hinweis: Es ist nicht notwendig, den Header binär auszufüllen. Machen Sie aber bitte deutlich, ob es sich um hexadezimale, dezimale oder binäre Darstellung der Zahlen handelt.

Angenommen die Größe des Staukontrollfensters betrage derzeit die Hälfte des in Teilaufgabe b) berechneten Werts. Die MSS betrage 1200 B und die TCP-Verbindung befinde sich derzeit in der Congestion-Avoidance-Phase.

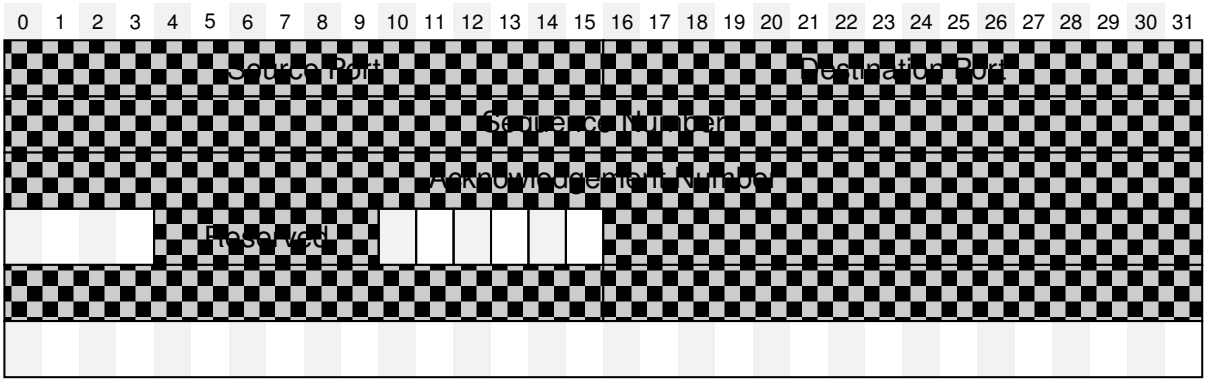
g) Wie lange dauert es, bis das Fenster die Leitung komplett ausnutzen kann?

Hinweis: Das Staukontrollfenster wird durch TCP-Window-Scaling nicht beeinflusst.

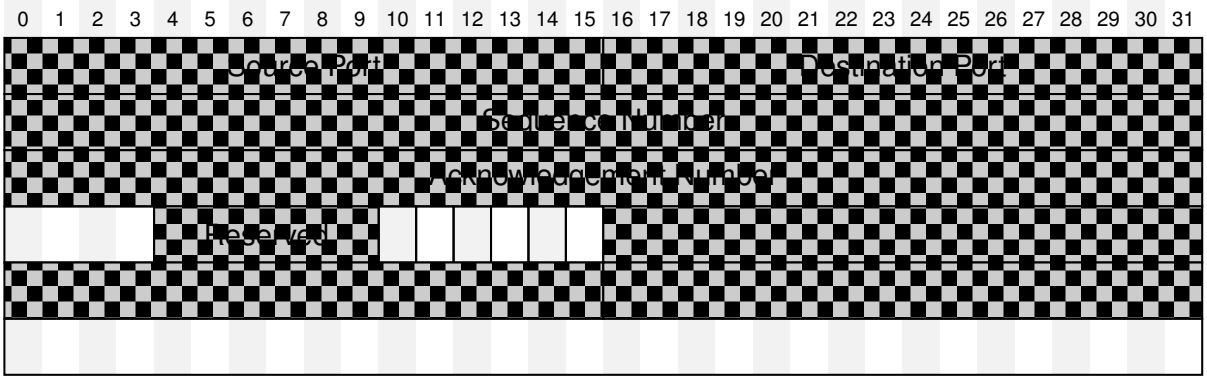
h) Ergibt sich aus dem Ergebnis von Teilaufgabe g) ein Problem?



(a) TCP-Header



(b) Vordruck



(c) Noch ein Vordruck, falls man sich vermalt hat

Abbildung 2: TCP-Header und Vordrucke zur Lösung von Aufgabe 3

2. TCP WINDOW SCALE OPTION

2.1 Introduction

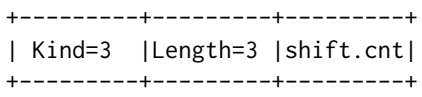
The window scale extension expands the definition of the TCP window to 32 bits and then uses a scale factor to carry this 32- bit value in the 16-bit Window field of the TCP header (SEG.WND in RFC-793). The scale factor is carried in a new TCP option, Window Scale. This option is sent only in a SYN segment (a segment with the SYN bit on), hence the window scale is fixed in each direction when a connection is opened. (Another design choice would be to specify the window scale in every TCP segment. It would be incorrect to send a window scale option only when the scale factor changed, since a TCP option in an acknowledgement segment will not be delivered reliably (unless the ACK happens to be piggy-backed on data in the other direction). Fixing the scale when the connection is opened has the advantage of lower overhead but the disadvantage that the scale factor cannot be changed during the connection.)

The maximum receive window, and therefore the scale factor, is determined by the maximum receive buffer space. In a typical modern implementation, this maximum buffer space is set by default but can be overridden by a user program before a TCP connection is opened. This determines the scale factor, and therefore no new user interface is needed for window scaling.

2.2 Window Scale Option

The three-byte Window Scale option may be sent in a SYN segment by a TCP. It has two purposes: (1) indicate that the TCP is prepared to do both send and receive window scaling, and (2) communicate a scale factor to be applied to its receive window. Thus, a TCP that is prepared to scale windows should send the option, even if its own scale factor is 1. The scale factor is limited to a power of two and encoded logarithmically, so it may be implemented by binary shift operations.

TCP Window Scale Option (WSopt):
Kind: 3 Length: 3 bytes



This option is an offer, not a promise; both sides must send Window Scale options in their SYN segments to enable window scaling in either direction. If window scaling is enabled, then the TCP that sent this option will right-shift its true receive-window values by 'shift.cnt' bits for transmission in SEG.WND. The value 'shift.cnt' may be zero (offering to scale, while applying a scale factor of 1 to the receive window).

This option may be sent in an initial <SYN> segment (i.e., a segment with the SYN bit on and the ACK bit off). It may also be sent in a <SYN,ACK> segment, but only if a Window Scale op- tion was received in the initial <SYN> segment. A Window Scale option in a segment without a SYN bit should be ignored.

The Window field in a SYN (i.e., a <SYN> or <SYN,ACK>) segment itself is never scaled.