

Name

Vorname

Studiengang (Hauptfach)

Fachrichtung (Nebenfach)

Matrikelnummer

Unterschrift der Kandidatin/des Kandidaten

.....
Note

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Fakultät für Informatik

- Midterm-Klausur
- Final-Klausur

- Semestralklausur
- Diplom-Vorprüfung
- Bachelor-Prüfung
-

- Einwilligung zur Notenbekanntgabe
per E-Mail / Internet

Prüfungsfach: Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

Datum: 20.06.2013

Hörsaal:

Reihe:

Platz:

	I	II
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Σ		
----------	--	--

Nur von der Aufsicht auszufüllen:

Hörsaal verlassen von : bis :

Vorzeitig abgegeben um :

Besondere Bemerkungen:



Midterm-Klausur

Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

Prof. Dr.-Ing. Georg Carle
Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
Fakultät für Informatik
Technische Universität München

Donnerstag, 20.06.2013
19:30 – 20:15 Uhr

- Diese Klausur umfasst **8 Seiten** und insgesamt **3 Aufgaben**. Bitte kontrollieren Sie jetzt, dass Sie eine vollständige Angabe erhalten haben.
- Schreiben Sie bitte in die Kopfzeile **jeder Seite** Namen und Matrikelnummer.
- Schreiben Sie weder mit roter / grüner Farbe noch mit Bleistift.
- Die Gesamtzahl der Punkte beträgt 15.
- Als Hilfsmittel sind **ein beidseitig handschriftlich beschriebenes DIN A4-Blatt** sowie **ein nicht-programmierbarer Taschenrechner** zugelassen. Bitte entfernen Sie alle anderen Unterlagen von Ihrem Tisch und schalten Sie Ihre Mobiltelefone aus.
- Mit * gekennzeichnete Aufgaben sind ohne Kenntnis der Ergebnisse vorhergehender Teilaufgaben lösbar.
- **Es werden nur solche Ergebnisse gewertet, bei denen ein Lösungsweg erkennbar ist.** Textaufgaben sind **grundsätzlich zu begründen**, falls es in der jeweiligen Teilaufgabe nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.

Aufgabe 1 Voyager (5 Punkte)

Im Jahr 1977 wurden im Abstand von etwas mehr als einem Monat die beiden Raumsonden Voyager 1 & 2 gestartet (siehe Abbildung 1.1a). Diese sollten erstmals die äußeren Planeten unseres Sonnensystems erkunden. Beide Sonden passierten 1979 Jupiter und etwa 18 Monate später Saturn. Voyager 1 befindet sich seitdem auf einem Kurs aus unserem Sonnensystem heraus und steht derzeit an der Grenze zu interstellarem Raum¹. Voyager 2 hingegen passierte noch die beiden entlegenen Gasriesen Uranus und Neptun und befindet sich seither ebenfalls auf einem Kurs, der aus dem Sonnensystem heraus führt.

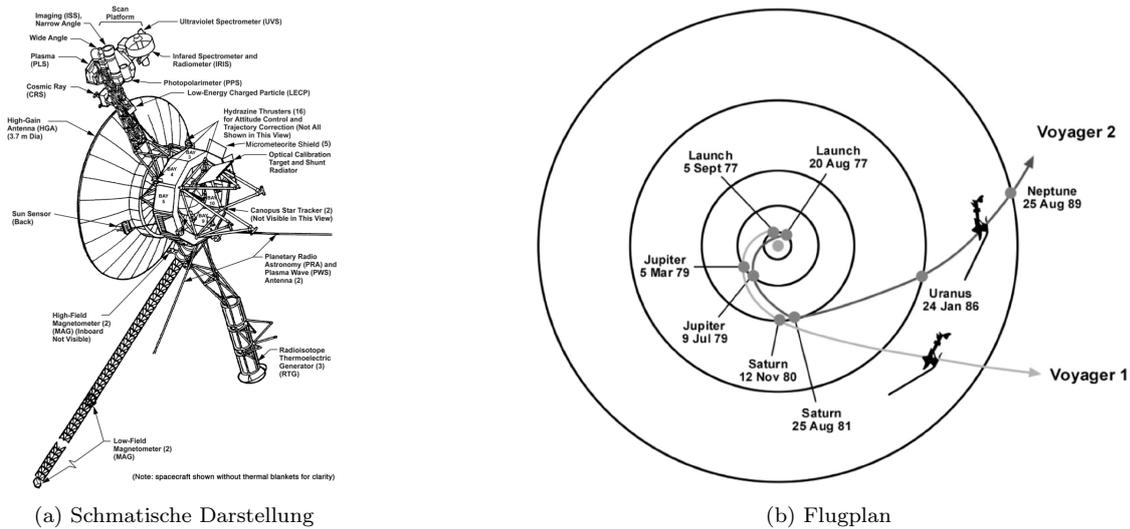


Abbildung 1.1: Schematische Darstellung (a) und Flugplan (b) der Raumsonden Voyager 1 & 2

Am 12. Juni 2013 befanden sich die beiden Sonden in einem Abstand² von etwa 18 502 189 000 km (Voyager 1) bzw. 15 136 706 000 km (Voyager 2) zur der Erde. Im Folgenden wollen wir einige der Herausforderungen – damals wie heute – bzgl. der Kommunikation mit den beiden Raumsonden untersuchen.

a)* Bestimmen Sie die Zeit zwischen dem Absenden eines Signals auf Voyager 1 bis dieses auf der Erde eintrifft.

$$t_p = \frac{d}{v_c} \approx \frac{18\,502\,189\,000\,000\text{ m}}{3 \cdot 10^8\text{ m/s}} \approx 61\,674\text{ s} \approx 17\text{ h} \checkmark$$

¹Es ist derzeit nicht vollständig geklärt, ob Voyager 1 bereits die sog. Heliosphäre verlassen hat und sich damit in interstellarem Raum befindet.

²<http://voyager.jpl.nasa.gov/where/index.html>

Daten wurden Manchester-kodiert, wobei lediglich zwei Signalstufen zum Einsatz kamen. Abbildung 1.2 zeigt exemplarisch einen kurzen Ausschnitt eines solchen Signals, welches Voyager 1 zur Erde gesendet hat.

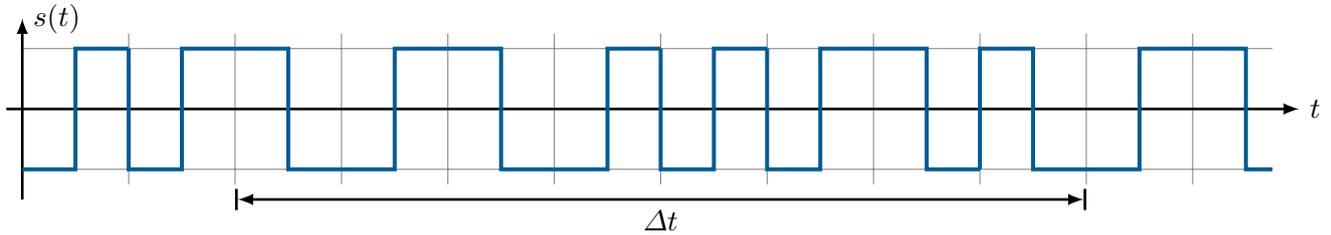
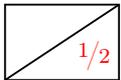


Abbildung 1.2: Manchester-kodiertes Basisbandsignal von Voyager 1



b)* Geben Sie die übertragene Bitfolge im Zeitbereich Δt an.

Hinweis: Es gibt zwei gültige Lösungen.

1010 0011 oder 0101 1100 ✓

Die zur Erde übertragenen Farbaufnahmen hatten eine Auflösung von 800×800 Pixel bei 24 bit pro Pixel. Die Aufnahmen wurden dann über einen 360 kHz breiten Downlink im Bereich von 2295 MHz zur Erde zurückgesendet.



c)* Bestimmen Sie die Größe einer einzelnen Aufnahme in MB.

$$L = 800 \cdot 800 \cdot 24 \text{ bit} = 1.92 \text{ MB} \checkmark$$

Um die Bitfehlerrate auf ein erträgliches Niveau zu senken, wurde als Kanalkodierung der sog. *Golay-Code* genutzt. Dieser bildet einen Block von 12 bit Nutzdaten auf ein 24 bit langes Codewort ab. Dafür können innerhalb eines solchen Codeworts 3 beliebige Bitfehler korrigiert werden.



d)* Geben Sie die Coderate des Golay-Codes an.

$$R = \frac{12}{24} = \frac{1}{2} \checkmark$$

e)* Geben Sie allgemein die Wahrscheinlichkeit $p_{e,block}$ für einen fehlerhaft übertragenen Block an.

Hinweise: Sie können vereinfachend annehmen, dass Bitfehler unabhängig voneinander und gleichverteilt mit Wahrscheinlichkeit p auftreten.



$$p_{e,block} = 1 - \sum_{i=0}^3 \binom{24}{i} p^i (1-p)^{24-i} \quad \checkmark$$

Durch die Nutzung des Golay-Codes konnten Bilder von Saturn bei einer Nutzdatenrate von 29 kbit/s bei einer durchschnittlichen Bitfehlerrate von $5 \cdot 10^{-3}$ übertragen werden.

f) Bestimmen Sie die notwendige Zeit, um ein einzelnes Bild in Richtung Erde zu senden.



$$t_s = \frac{L}{r} = \frac{1.92 \text{ MB}}{29 \text{ kbit/s}} \approx 8.8 \text{ min} \quad \checkmark$$

g)* Begründen Sie, weswegen die Übertragung **komprimierter** Aufnahmen nicht ohne weitere Modifikationen möglich war.



Die Bilder werden komprimiert übertragen, wodurch ein einzelner Bitfehler mehrere Pixel betrifft – was bei der gegebenen Bitfehlerrate nicht mehr akzeptabel wäre. \checkmark

h)* Bestimmen Sie das notwendige SNR an der Bodenstation in dB, so dass die oben gegebene Datenrate mit einem 360 kHz breiten Bandpasssignal erreicht werden kann.



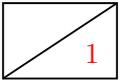
$$\begin{aligned} B &= \frac{1}{2} \cdot 360 \text{ kHz} \\ r &\stackrel{!}{=} B \log_2(1 + \text{SNR}) \\ \Rightarrow \text{SNR} &= 10^{r/B} - 1 \approx 0.1181 \quad \checkmark \approx -9.28 \text{ dB} \quad \checkmark \end{aligned}$$



Aufgabe 2 Slotted ALOHA (6 Punkte)

In dieser Aufgabe betrachten wir einen Übertragungskanal, der mit dem Mehrfachzugriffsverfahren Slotted ALOHA betrieben wird. Wir nehmen an, dass alle Stationen unabhängig voneinander mit gleicher Sendewahrscheinlichkeit p senden. Desweiteren sind alle Nachrichten von konstanter Größe (Sendedauer T pro Nachricht). Wir nehmen weiter an, dass die Anzahl der teilnehmenden Stationen N ausreichend groß und die Sendewahrscheinlichkeit p klein genug ist, sodass die Poisson-Verteilung als Näherung für die Binominal-Verteilung verwendet werden kann. Die Wahrscheinlichkeitsdichte der Poisson-Verteilung lautet

$$\Pr[X = k] = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}. \quad (1)$$



a)* Bei einer Messung über einen ausreichend großen Zeitraum ergibt sich, dass der Übertragungskanal 10% der Zeit nicht genutzt wird. Bestimmen Sie die Paketrate als Zahlenwert.

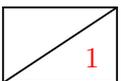
$$\begin{aligned} \Pr[X = k] &= \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \\ \Pr[X = 0] &= \frac{\lambda^0 e^{-\lambda}}{0!} = 0.1 \quad \checkmark \\ 0.1 &\stackrel{!}{=} e^{-\lambda} \\ \lambda &= 2.30 \quad \checkmark \end{aligned}$$

Für den Rest der Aufgabe nehmen wir an, dass das Netzwerk aus insgesamt 50 Stationen besteht.



b) Bestimmen Sie nun die Sendewahrscheinlichkeit p der Stationen als Zahlenwert.

$$\begin{aligned} \lambda &= Np \\ p &= \frac{\lambda}{N} = 0.046 = 4.6\% \quad \checkmark \end{aligned}$$



c) Bestimmen Sie nun die Wahrscheinlichkeit p_K als Zahlenwert, dass eine Kollision auftritt.

$$\begin{aligned} p_K &= 1 - \Pr[X = 0] - \Pr[X = 1] \quad \checkmark \\ &= 1 - 0.10 - 0.23 \\ &\approx 0.67 \quad \checkmark \end{aligned}$$

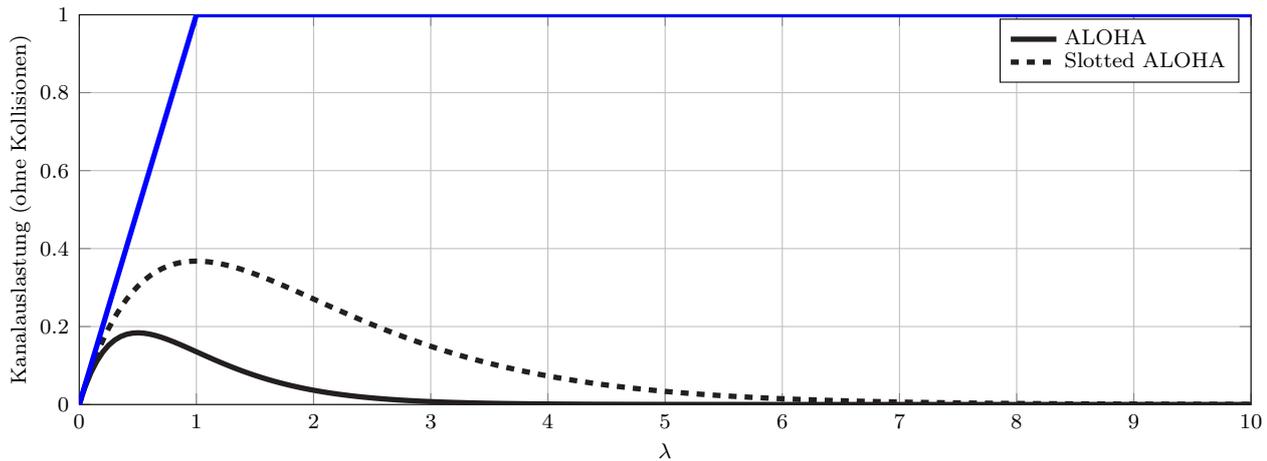


Abbildung 2.1: Kanalauslastung mit ALOHA bzw. Slotted ALOHA

Wir betrachten nun Abbildung 2.1, welche den Zusammenhang zwischen Kanalauslastung und Anzahl sendebereiter Stationen bei ALOHA und Slotted ALOHA verdeutlicht.

d)* Begründen Sie, warum der Durchsatz bei Slotted ALOHA höher ist.



Bei Slotted ALOHA treten weniger Kollisionen auf ✓, da Knoten nur zu bestimmten Zeitpunkten zu senden beginnen. Das Intervall, innerhalb dem sich zwei Übertragungen überlappen können ist daher nur noch halb so gross. ✓

e)* Zeichnen Sie in Abbildung 2.1 die Auslastungskurve eines **idealen** Mehrfachzugriffverfahrens ein.

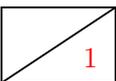


f) Geben Sie eine kurze Begründung für Ihre Lösung von Teilaufgabe e) an.



Die Kanalnutzung steigt linear mit der Anzahl sendebereiter Stationen und verharrt bei 1, falls mehr als eine Station im Schnitt sendebereit ist. ✓

g)* Welche Probleme können beim Einsatz von Slotted ALOHA auftreten, wenn die Zeitschlitze im Vergleich zur Nachrichtenlänge sehr groß gewählt werden?

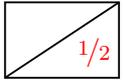


Durch zu große Zeitschlitze im Vergleich zur Nachrichtenlänge entsteht ein hoher "Verschnitt". Die Slots sind nur zu einem geringen Anteil belegt, in der verbleibenden Zeit können keine Übertragungen stattfinden. Dies kann den Durchsatz vermindern. ✓



Aufgabe 3 Kurzaufgaben (4 Punkte)

Die folgenden Kurzaufgaben sind **jeweils unabhängig voneinander**. Stichpunktartige Antworten sind ausreichend!



a)* Was bedeutet Halbduplex im Bereich der Nachrichtenübertragung?

Auf dem Übertragungskanal können Nachrichten zwar in beide Richtungen übertragen werden, aber nie zur selben Zeit. ✓



b)* Erläutern Sie kurz das Prinzip des Frequenzmultiplexings.

Um einen Kanal effizient von mehreren Teilnehmern benutzbar zu machen, wird der Kanal in unterschiedliche Frequenzbänder (spektrale Zerlegung) aufgeteilt und diese Frequenzbänder an Kommunikationspartner zugewiesen. ✓



c)* Nennen Sie **zwei** Header-Felder und den/die entsprechenden Header, die ein Router beim Weiterleiten von Paketen modifizieren **muss**.

Sende-Mac Adresse des Ethernetheader ✓, Quell-Mac Adresse des Ethernetheader ✓, TTL des IP Headers ✓

Wird ein Paket durch den Router fragmentiert:

Das Flag More-Fragments im IP Header ✓, Das Fragment Offset im IP Header ✓

(Die letzten beiden Punkte benötigen die Anmerkung, dass der Router selbst fragmentiert)



d)* Wieviele TCP-Verbindungen kann ein Client zu ein und demselben Server höchstens gleichzeitig geöffnet halten, falls Client und Server jeweils lediglich über eine IP-Adresse verfügen?

Da die Portnummer ein 16 bit langes Feld ist, ist die maximale Anzahl von Verbindungen pro IP-Adresse auf $2^{16} = 65536$ beschränkt. ✓

(Angenommen, dass der Server auf mehreren Ports eingehende Verbindungen erwartet, erhöht sich die Gesamtzahl der Verbindungen auf 2^{32} .)



e)* Erläutern Sie kurz den Unterschied zwischen Switch und Hub.

Hubs sind lediglich Verstärker, Switches treffen Weiterleitungsentscheidungen auf Basis von MAC-Adressen. ✓

Zusätzlicher Platz für Lösungen – bitte markieren Sie deutlich die Zugehörigkeit zur jeweiligen Aufgabe und streichen Sie ungültige Lösungen!

