



Hinweise zur Personalisierung:

- Ihre Prüfung wird bei der Anwesenheitskontrolle durch Aufkleben eines Codes personalisiert.
- Dieser enthält lediglich eine fortlaufende Nummer, welche auch auf der Anwesenheitsliste neben dem Unterschriftenfeld vermerkt ist.
- Diese wird als Pseudonym verwendet, um eine eindeutige Zuordnung Ihrer Prüfung zu ermöglichen.

Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

Klausur: IN0010 / Midterm
Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

Datum: Freitag, 10. Juni 2022
Uhrzeit: 18:15 – 19:00

Bearbeitungshinweise

- Diese Klausur umfasst **8 Seiten** mit insgesamt **4 Aufgaben** sowie eine Formelsammlung (Cheatsheet). Bitte kontrollieren Sie jetzt, dass Sie eine vollständige Angabe erhalten haben.
- Die Gesamtpunktzahl in dieser Klausur beträgt 45 Punkte.
- Das Heraustrennen von Seiten aus der Prüfung ist untersagt.
- Als Hilfsmittel sind zugelassen:
 - ein **nicht-programmierbarer Taschenrechner**
 - ein **analoges Wörterbuch** Deutsch ↔ Muttersprache **ohne Anmerkungen**
 - der mit dieser Klausur verteilte Cheatsheet
- Mit * gekennzeichnete Teilaufgaben sind ohne Kenntnis der Ergebnisse vorheriger Teilaufgaben lösbar.
- **Es werden nur solche Ergebnisse gewertet, bei denen der Lösungsweg erkennbar ist.** Auch Textaufgaben sind **grundsätzlich zu begründen**, sofern es in der jeweiligen Teilaufgabe nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.
- Schreiben Sie weder mit roter/grüner Farbe noch mit Bleistift.
- Schalten Sie alle mitgeführten elektronischen Geräte vollständig aus, verstauen Sie diese in Ihrer Tasche und verschließen Sie diese.

Hörsaal verlassen von _____ bis _____ / Vorzeitige Abgabe um _____

Aufgabe 1 Multiple Choice (13 Punkte)

Die folgenden Aufgaben sind Multiple Choice / Multiple Answer, d. h. es ist jeweils mind. eine Antwortoption korrekt. Teilaufgaben mit nur einer richtigen Antwort werden mit 1 Punkt bewertet, wenn richtig. Teilaufgaben mit mehr als einer richtigen Antwort werden mit 1 Punkt pro richtigem und -1 Punkt pro falschem Kreuz bewertet. Fehlende Kreuze haben keine Auswirkung. Die minimale Punktzahl pro Teilaufgabe beträgt 0 Punkte.

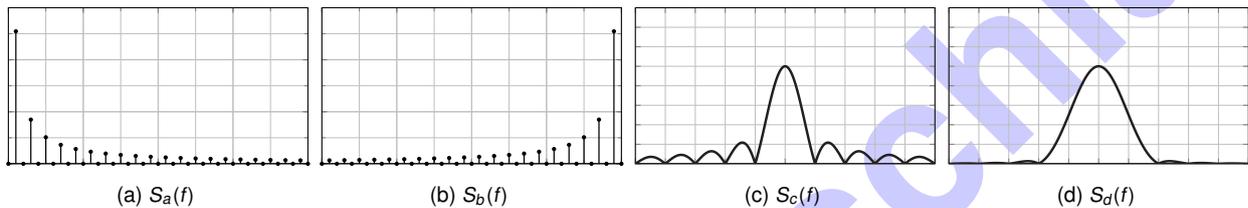
Kreuzen Sie richtige Antworten an

Kreuze können durch vollständiges Ausfüllen gestrichen werden

Gestrichene Antworten können durch nebenstehende Markierung erneut angekreuzt werden

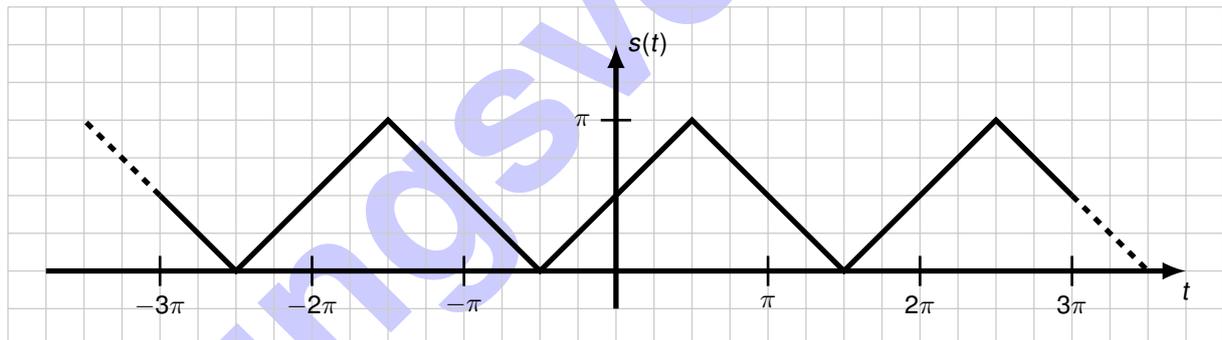


a)* Gegeben seien der Rechtecksimpuls $s_1(t)$ sowie der \cos^2 -Impuls $s_2(t)$ aus der Vorlesung. Die untenstehende Abbildung zeigt vier verschiedene Spektren. Welche Aussagen sind zutreffend?



- | | | | |
|---|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> $s_1(t) \leftrightarrow S_a(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_1(t) \leftrightarrow S_d(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_1(t) \leftrightarrow S_b(f)$ | <input checked="" type="checkbox"/> $s_1(t) \leftrightarrow S_c(f)$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> $s_2(t) \leftrightarrow S_d(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_2(t) \leftrightarrow S_c(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_2(t) \leftrightarrow S_b(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_2(t) \leftrightarrow S_a(f)$ |

b)* Gegeben sei das untenstehende Zeitgleichung, das als Fourierreihe entwickelt werden soll.



Welche Aussagen über die Fourierkoeffizienten sind zutreffend?

- | | | | | | |
|--|--|---|---|------------------------------------|------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> $a_0 \neq 0$ | <input checked="" type="checkbox"/> $b_k \neq 0$ | <input type="checkbox"/> $a_{k>0} \neq 0$ | <input checked="" type="checkbox"/> $a_{k>0} = 0$ | <input type="checkbox"/> $b_k = 0$ | <input type="checkbox"/> $a_0 = 0$ |
|--|--|---|---|------------------------------------|------------------------------------|

c)* Gegeben sei ein Basisbandsignal mit 16 unterscheidbaren Symbolen sowie ein Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 1 MHz sowie ein SNR von 7. Bestimmen Sie die erzielbare Datenrate.

- | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 5 Mbit/s | <input checked="" type="checkbox"/> 3 Mbit/s | <input type="checkbox"/> 7 Mbit/s | <input type="checkbox"/> 4 Mbit/s | <input type="checkbox"/> 8 Mbit/s | <input type="checkbox"/> 6 Mbit/s |
|-----------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|

d)* Markieren Sie alle Codewörter, die von dem Codewort 0011 eine Hammingdistanz von drei oder mehr haben.

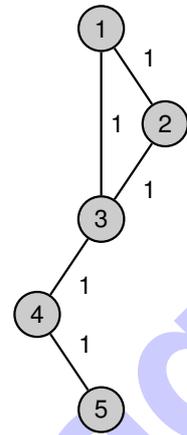
- | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> 1111 | <input type="checkbox"/> 0001 | <input type="checkbox"/> 0000 | <input checked="" type="checkbox"/> 1110 | <input type="checkbox"/> 1001 | <input checked="" type="checkbox"/> 1100 |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|--|

e)* Ein wertkontinuierliches Signal soll im Intervall $I = [-3; 3]$ quantisiert werden, so dass der Quantisierungsfehler innerhalb von I höchstens 0,4 beträgt. Wie viele Quantisierungsstufen sind dafür mindestens erforderlich?

- | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 8 | <input type="checkbox"/> 10 | <input type="checkbox"/> 12 | <input type="checkbox"/> mehr | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 4 |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|

f)* Kreuzen Sie die Matrix an, die für nebenstehendes Netzwerk nach Vorlesung die Adjazenzmatrix darstellt.

$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$
 $\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$
 $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$



g)* Gegeben sei die Distanzmatrix D für nebenstehendes Netzwerk. Für welches minimale n gilt $D^n = D^{n+1}$?

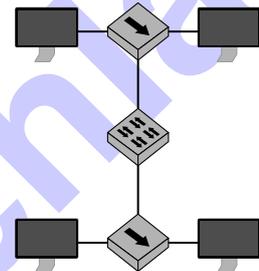
- $n = 5$ $n = 4$ $n = 2$ $n = 7$
 $n = 1$ $n = 6$ $n = 0$ $n = 3$

h)* Aus wie vielen Broadcast-Domänen besteht das nebenstehende Netzwerk?

- 4 3 2 1 6 5

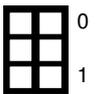
i)* Aus wie vielen Kollisions-Domänen besteht das nebenstehende Netzwerk?

- 5 6 1 3 2 4



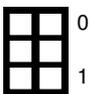
Aufgabe 2 Kurzaufgaben (5 Punkte)

a)* Weswegen werden bei IEEE 802.11 (WLAN) zumeist drei MAC-Adressen, bei IEEE 802.3 (Ethernet) aber nur zwei MAC-Adressen verwendet?



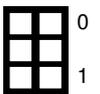
Weil der AP für WLAN-Clients nicht transparent ist, d. h. er muss als Zwischenstation zwischen Sender und Empfänger explizit adressiert werden. Switches hingegen sind transparent.

b)* Beschreiben Sie kurz den wesentlichen Unterschied zwischen CSMA/CD und CSMA/CA.



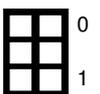
CSMA/CA randomisiert den Medienzugriff auch bei freiem Medium (festes Contention Window mit optionalem Backoff Intervall), während CSMA/CD dies erst nach einer aufgetretenen Kollision tut. Alternativ: Weil CSMA/CA Kollisionen nicht sicher erkennen kann, werden Bestätigung auf Schicht 2 erwartet. Bei CSMA/CD hingegen gilt ein Rahmen als erfolgreich übertragen, wenn während des Sendens keine Kollision erkannt wurde.

c)* Beschreiben Sie kurz den wesentlichen Unterschied zwischen einem Hub und einem Switch.



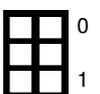
Switches leiten Rahmen über den Port weiter, an dem der Empfänger angeschlossen ist (sofern Eintrag in der Switching Tabelle vorhanden ist). Hubs leiten Rahmen an alle Ports weiter außer dem, über den der Rahmen empfangen wurde.

d)* Was versteht man unter Quellenkodierung?



Das Entfernen ungewollter Redundanz aus den zu sendenden Daten. (Verlustfreie Kompression)

e)* Was versteht man unter Kanalkodierung?



Gezieltes Hinzufügen von Redundanz zur späteren Erkennung und Korrektur von Übertragungsfehlern.

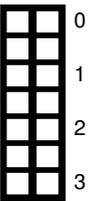
Bei der Übertragung trete nun der Fehler $e(x) = x^{11}$ auf.

e)* Zeigen Sie, dass der Fehler erkannt wird.

Der Bitfehler betrifft das höchstwertige Bit der übertragenen Nachricht. Beim Empfänger kommt demnach an: 00010011 0000

```
00010011 0000 : 10100
  10100  ||||
  00111  00||
    101  00||
    010  000|
     10  100|
     00  1000
```

Der Rest ist $1000 \neq 0000$. Demzufolge wurde der Fehler erkannt.



f)* Welche Arten von Fehlern können nicht erkannt werden?

Alle Vielfachen des Reduktionspolynoms.



Aufgabe 4 Krönende Übertragung (16 Punkte)

Am 2. Juni 1953 wurde Elizabeth II. offiziell zur Queen von England gekrönt. Da diese auch das Staatsoberhaupt Kanadas ist, wurde in der sogenannten *Operation Pony Express* versucht, Filmaufnahmen dieser Krönung mit möglichst wenig Latenz auch in Kanada zu übertragen.¹

Im Zuge von *Operation Pony Express* der britischen und kanadischen Rundfunkanstalten BBC und CBC wurde die Krönung in mehreren Teilen abgefilmt. So konnte jeder abgeschlossene Teil bereits während der Zeremonie schnellentwickelt, per Hubschrauber zum Londoner Flughafen und von dort per Flugzeug nach Montreal, Kanada geflogen werden. Damit konnten die Bewohner Kanadas die Krönung noch am selben Tag im TV sehen, ein für die damalige Zeit einzigartiges Ereignis.

Die Luftlinie zwischen London und Montreal beträgt 5200 km. Wir nehmen an, dass der gesamte Film eine Dauer von 6 h hat und gleichmäßig in 6 Teile aufgeteilt wurde. Auch wenn dieser Film natürlich analog als Filmrolle versandt wurde, nehmen wir zum Vergleich eine durchschnittliche Videodatenrate von 3000 kbit/s für den Film an.



a)* t_0 sei die Spieldauer eines Teils des Films. Bestimmen Sie t_0 .

$$t_0 = \frac{6 \text{ h}}{6} = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$



b) Wie viele Daten in Byte enthält ein Teil des Films?

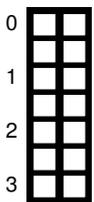
$$L_{\text{teil}} = 3000 \text{ kbit/s} \cdot 3600 \text{ s} = 10,8 \text{ Gbit} = 1,35 \text{ GB}$$



c) Wie viele Daten enthält der gesamte Film?

$$L_{\text{ges}} = L_{\text{teil}} \cdot 6 = 1,35 \text{ GB} \cdot 6 = 8,1 \text{ GB}$$

Für die nachfolgenden Aufgaben nehmen wir an, dass es nach dem Filmen eines Teils 15 min dauert, bis der entsprechende Teil per Helikopter zum Flughafen gebracht ist und dort ins Flugzeug verladen wurde. Genauso viel Zeit nimmt das Entladen sowie der Weitertransport in Montreal zum TV-Studio in Anspruch. Das Flugzeug fliegt mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 500 km/h.



d)* Wie viel Zeit vergeht, bis ein Teil des Filmes am TV-Studio in Montreal angekommen ist, nachdem er vollständig abgedreht wurde?

$$\begin{aligned} t_{S_{\text{film}}} &= t_{dS_{\text{film}}} = 15 \text{ min} = 0,25 \text{ h} \\ t_{p_{\text{film}}} &= 5200 \text{ km} / 500 \text{ km/h} = 10,4 \text{ h} \\ t_{d_{\text{film}}} &= t_{S_{\text{film}}} + t_{p_{\text{film}}} + t_{dS_{\text{film}}} = 10,9 \text{ h} \\ (\text{alternativ: } t_{d_{\text{film}}} &= t_{S_{\text{film}}} + t_{p_{\text{film}}} + t_{dS_{\text{film}}} + t_{\text{weitertransport}_{\text{film}}} = 11,15 \text{ h}) \end{aligned}$$

¹<https://www.cbc.ca/player/play/1565030407>

e) Wie viel Zeit vergeht von Beginn der Zeremonie bis zum Eintreffen des ersten Teils des Film im TV-Studio in Montreal?



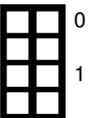
$$t_{\text{latenz}} = t_0 + t_{d_{\text{film}}} = 11,9 \text{ h}$$

f) Wie viel Zeit vergeht von Beginn der Zeremonie bis zum Eintreffen des letzten Teils des Films im TV-Studio in Montreal?



$$t_{\text{ges}} = 6 \text{ h} + t_{d_{\text{film}}} = 16,9 \text{ h}$$

g) Mit welcher Datenrate (in kbit/s) findet die Übertragung des gesamten Films demnach statt?



$$r_{\text{stream}} = \frac{L_{\text{ges}}}{t_{\text{ges}}} = \frac{8,1 \text{ GB}}{16,9 \text{ h}} = \frac{64,8 \text{ Gbit}}{60\,840 \text{ s}} \approx 1065,09 \text{ kbit/s}$$

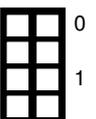
In heutiger Zeit werden Ereignisse rein digital gefilmt. Ein Livestream ist oftmals über das Internet direkt möglich. Wir wollen nun den Streaming Ansatz mit der analogen Übertragung vergleichen. Dazu nehmen wir an, dass es eine direkte physikalische Glasfaserverbindung zwischen London und Montreal gibt. Die Datenrate betrage 200 Mbit/s bei einer Gesamtrahmenlänge von 1518 B. Als Übermittlungsprotokoll wird UDP auf IP auf Ethernet benutzt. Die entsprechenden Header sind zusammen 46 B lang.

h)* Wieviel Byte Filmdaten kann ein Rahmen maximal enthalten?



$$S_{\text{filmdaten}} = S_{\text{rahmen}} - S_{\text{header}} = 1518 \text{ B} - 46 \text{ B} = 1472 \text{ B}$$

i) Auf wieviele Rahmen muss der gesamte Film demnach aufgeteilt werden?



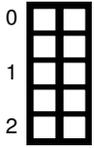
$$\lceil \frac{L_{\text{ges}}}{S_{\text{filmdaten}}} \rceil = \lceil \frac{8,1 \text{ GB}}{1472 \text{ B}} \rceil = 5502718$$

Wir nehmen an, dass keine Verarbeitungszeit benötigt wird und aufgenommene Bilder sofort versendet werden können.

j)* Geben Sie die Serialisierungszeit $t_{s_{\text{stream}}}$ für einen Rahmen an.

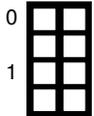


$$t_{s_{\text{stream}}} = \frac{S_{\text{rahmen}}}{r} = \frac{1518 \text{ B}}{200 \text{ Mbit/s}} = 60,72 \mu\text{s} (\approx 0,06 \text{ ms})$$



k) Geben Sie die Übertragungszeit $t_{d_{stream}}$ für einen Rahmen an.

$$t_{p_{stream}} = \frac{d}{v_{c0}} = \frac{5200 \text{ km}}{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 0,026 \text{ s}$$
$$t_{d_{stream}} = t_{s_{stream}} + t_{p_{stream}} \approx 26 \text{ ms} + 0,06 \text{ ms} \approx 26,06 \text{ ms}$$



l) Wie viel schneller hätten die Bewohner Kanadas die Übertragungszeremonie per Livestreaming sehen können? Geben das Ergebnis in Sekunden an.

Der Film wird ja "gepipelined". Die Latenz ist demnach die Verzögerung des jeweils ersten Teils/Pakets.

$$t_{latenz_{stream}} = t_{d_{stream}}$$
$$t_{latenz_{film}} - t_{latenz_{stream}} = t_0 + t_{d_{film}} - t_{d_{stream}} \approx 42\,839,97 \text{ s}$$

Zusätzlicher Platz für Lösungen. Markieren Sie deutlich die Zuordnung zur jeweiligen Teilaufgabe. Vergessen Sie nicht, ungültige Lösungen zu streichen.

