

## Hauptdiplomklausur Informatik März 2001: Multimedia-Technik

Name: ..... Vorname: .....

Matrikel-Nr.: ..... Semester: ..... Fach: .....

*Hinweise:*

1. Bitte füllen Sie sofort den Kopf des Deckblattes aus.
2. Überprüfen Sie bitte Ihr Klausurexemplar auf Vollständigkeit (**17** Seiten).
3. Tragen Sie die Lösungen – soweit möglich – direkt in die Klausur ein.
4. Zugelassene Hilfsmittel: nicht programmierbarer Taschenrechner
5. Bearbeitungszeit: 100 Minuten.

Aufgabe	max. Punktzahl	Punkte
1	6	
2	12	
3	17	
4	7	
5	13	
6	11	
7	17	
8	17	
Summe	100	

## Aufgabe 1: Grundlagen [1+3+2=6 Punkte]

- (a) [1 Punkt] Warum werden Daten in der Informationstechnologie komprimiert?

*Um Speicher- und Übertragungskapazität zu sparen.*

- (b) [3 Punkte] Wie groß ist das unkomprimierte Datenvolumen von:

- 1 Seite Text?
- farbiges Standbild von  $512 \times 512$  Pixeln?
- Audio (pro Sek.)?
- Video (pro Sek.)?

Geben Sie die Ihren Berechnungen zugrunde liegenden Maßeinheiten und Auflösungen an.

- *Text: 1 Seite mit 80 Zeichen/Zeile und 64 Zeilen/Seite und 1 Byte/Zeichen ergibt  $80 \times 64 \times 1 \times 8 = 40$  **kbit/Seite***
- *Standbild: 24 Bit/Pixel,  $512 \times 512$  Pixel/Bild ergibt  $512 \times 512 \times 24 = 8$  **MBit/Bild***
- *Audio: CD-Qualität, Abtastrate 44,1 KHz, 16 Bit pro Abtastwert ergibt  $44,1 \times 16 = 706$  **kBit/s Stereo: 1,412 Mbit/s***
- *Video: Vollbild mit  $1024 \times 1024$  Pixel/Bild, 24 Bit/Pixel, 30 Bilder/s ergibt  $1024 \times 1024 \times 24 \times 30 = 720$  **Mbit/s. Realistischer:  $360 \times 240$  Pixel/Bild,  $360 \times 240 \times 24 \times 30 = 60$  **Mbit/s*****

- (c) [2 Punkte] Es gibt verlustfreie und verlustbehaftete Kompressionsverfahren. Beschreiben Sie kurz beide Verfahren. Welche Kompressionsraten können bei diesen üblicherweise erzielt werden?

- *verlustfrei*
  - *Das Original kann perfekt wiedergewonnen werden*
  - *Kompressionsraten von 2:1 bis ca. 50:1 möglich*
  - *(Beispiel: Huffman-Kodierung)*
- *verlustbehaftet*
  - *Es gibt einen Unterschied zwischen Originalobjekt und dekodiertem Objekt*
  - *Höhere Kompressionsraten als bei der verlustfreien Kompression möglich (über 100:1; typisch: 50:1)*
  - *(Physiologische und wahrnehmungspsychologische Eigenschaften des Auges und des Ohres werden ausgenutzt)*

## Aufgabe 2: Huffman und arithmetische Codierung [4+1+5+2=12 Punkte]

- (a) [4 Punkte] Beschreiben Sie den Algorithmus zur Erzeugung des Huffman-Baumes verbal.
- *Bestimme die Auftrittshäufigkeiten der Zeichen und schreibe sie an die Blattknoten eines aufzubauenden Binärbaums an.*
  - *Nimm die bisher unerledigten zwei Knoten mit den geringsten Häufigkeiten und berechne deren Summe.*
  - *Erzeuge einen Elternknoten für diese beiden und beschrifte ihn mit der Summe. Markiere die Verzweigung zum linken Sohn mit 0, die zum rechten Sohn mit 1.*
  - *Markiere die beiden bearbeiteten Knoten als erledigt. Wenn es nur noch einen nicht erledigten Knoten gibt, sind wir fertig. Sonst weiter mit Schritt 2.*
- (b) [1 Punkt] Was kann man über die Optimalität des Huffman-Codes sagen und warum?

*Ist optimal, denn die Länge einer kodierten Zeichenfolge ist gleich der gewichteten äußeren Pfadlänge des Huffman-Baumes.*

- (c) [5 Punkte] Zeichnen Sie einen Huffman-Baum unter Annahme, dass die Häufigkeiten der Zeichen den Wahrscheinlichkeiten in folgender Tabelle entsprechen. Kodieren Sie anschließend das Wort *PREEMPTIVE* mit Huffman.

<b>Zeichen</b>	<b>Wahrscheinlichkeit</b>
<b>E</b>	44%
<b>I</b>	5%
<b>M</b>	8%
<b>P</b>	20%
<b>R</b>	6%
<b>T</b>	10%
<b>V</b>	7%

*Baum: Knoten (Wahrscheinlichkeit)*

..... *IRTVMPE(100)*  
..... *IRTVMPE(56)*..... *E(44)*  
..... *IRT(21)*..... *VMP(35)*..... *E(44)*  
..... *IRT(21)*..... *VM(15)*... *P(20)* . *E(44)*  
.. *IR(11)*... *T(10)*... *VM(15)*... *P(20)* . *E(44)*  
.. *IR(11)*... *T(10)* . *V(7)* . *M(8)* . *P(20)* . *E(44)*  
*I(5)* . *R(6)* . *T(10)* . *V(7)* . *M(8)* . *P(20)* . *E(44)*

(d) [2 Punkte] Welche Probleme bezüglich Präzision, Fehleranfälligkeit und Effizienz können bei der arithmetischen Kodierung auftreten?

- *Präzision der Gleitkommadarstellung in der Maschine ungenau, so dass „overflow“ oder „underflow“ vorkommen kann*
- *Die Dekodierung erst möglich nach vollständigem Erhalt der (Teil-)Nachricht, die viele Nachkommastellen haben kann.*
- *Sehr fehleranfällig: ein Bitfehler zerstört die ganze (Teil-)Nachricht.*
- *Exakte Wahrscheinlichkeiten sind oft nicht erhältlich, so dass die maximale theoretische Code-Effizienz praktisch nicht erreicht werden kann.*

### Aufgabe 3: Audiokompression und –analyse [2+5+4+6=17 Punkte]

- (a) [2 Punkte] Gegeben sei die leicht vereinfachte Formel für die 2D–DCT–Kodierung von  $n \times n$  Blöcken für Standbilder.  $C(u, v)$  bezeichnet die Amplitude der Frequenz  $(u, v)$ ,  $f(x, y)$  bezeichnet den Grauwert an der Stelle  $(x, y)$ . Vereinfachen Sie die Transformation so, dass sie sich zur Kodierung von  $n$  Audiosamples eignet.

$$C(u, v) = \sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{n-1} f(x, y) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{n}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{n}\right)$$

$$C(u) = \sum_{x=0}^{n-1} f(x) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1) \cdot u \cdot \pi}{n}\right)$$

- (b) [5 Punkte] Mit Hilfe eines Equalizers ist es möglich, gezielt einzelne Frequenzbänder eines Audiosignales zu verstärken oder abzusenken. Sie sollen einen Software–Equalizer bauen. Um Zeit zu sparen, erweitern Sie die vereinfachte Gleichung aus der vorherigen Aufgabe. Erläutern Sie wie die Erweiterung funktioniert und warum sie so simpel aussehen kann.

$$C_{neu}(u) = \alpha_u \cdot C_{alt}(u)$$

Die DC Transformation bildet ein Signal mittels einer linearen Basistransformation verlustfrei in den „Frequenzraum“ ab.

Dabei wird das Signal als eine Linearkombination von  $n$  cosinus–Schwingungen  $C(u)$  dargestellt.

Für kleine Werte von  $u$  beschreibt  $C(u)$  anschaulich gesprochen die Stärke der Präsenz der entsprechend tiefen Schwingung im Signal, für hohe Werte liefert  $C(u)$  die Stärke der entsprechend höheren Schwingung.

Durch Multiplikation der Koeffizienten mit einem Faktor  $\alpha$  wird die entsprechende Schwingung erhöht (für  $\alpha > 1$ ) oder abgesenkt ( $\alpha > 0$  und  $\alpha < 1$ ).

Natürlich ist die Information dann erst in den Koeffizienten enthalten und wird erst bei der Rücktransformation hörbar.

- (c) [4 Punkte] Zeigen Sie:

Bei der eindimensionalen DCT, die die Grauwertfunktion  $f$  auf die Frequenzfunktion  $C$  abbildet, handelt es sich um eine *lineare Abbildung*.

$$C_f(u) = \sum_{x=0}^{n-1} f(x) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{n}\right)$$

(1) Zeige:  $C_0(u) = \mathbf{0}(u)$

$$f = \mathbf{0} \Rightarrow C_0(u) = \sum_{x=0}^{n-1} \mathbf{0} \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{n}\right) = \mathbf{0}(u)$$

(2) Zeige:  $C_{\lambda \cdot f}(u) = \lambda C_f(u)$

$$C_{\lambda \cdot f}(u) = \sum_{x=0}^{n-1} \lambda \cdot f(x) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{n}\right) = \lambda \cdot \sum_{x=0}^{n-1} f(x) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{n}\right) = \lambda C_f(u)$$

(3) Zeige:  $C_{f+g}(u) = C_f(u) + C_g(u)$

$$\begin{aligned} C_{f+g}(u) &= \sum_{x=0}^{n-1} (f+g)(x) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{n}\right) = \sum_{x=0}^{n-1} (f(x) + g(x)) \cdot \cos(\dots) = \\ &= \sum_{x=0}^{n-1} (f(x) \cdot \cos(\dots) + g(x) \cdot \cos(\dots)) = \\ &= \sum_{x=0}^{n-1} (f(x) \cdot \cos(\dots)) + \sum_{x=0}^{n-1} (g(x) \cdot \cos(\dots)) = C_f(u) + C_g(u) \end{aligned}$$

*Kriterien für lineare Abbildung*

- (d) [6 Punkte] Statt ein Audiosignal in DCT-Koeffizienten zu zerlegen, könnte man auch ein Polynom verwenden. Beschreiben Sie verbal und formelfrei, wie und warum eine solche Approximation funktionieren könnte. Was bewirkt die Veränderung des Grades des Polynomes?

*Mittels der Taylorzerlegung kann jede stetig differenzierbare Funktion in einer Umgebung beliebig genau angenähert werden, wenn man den Grad des Polynoms anpassen kann.*

**oder**

*Soll ein Polynom die Werte einer Funktion an  $n$  Stützstellen annehmen, so ist dies immer möglich, wenn das Polynom vom Grad  $(n-1)$  ist.*

**oder**

*Mit dem aus Numerik bekannten HORNER-Schema kann ein Polynom  $n$ -ten Grades auf einfache Weise  $(n+1)$  Punkte interpolieren.*

**oder**

*Für ein Polynom  $n$ -ten Grades kann durch die aus der Numerik bekannte Gauss-Elimination ein Polynom  $n$ -ten Grades ermittelt werden, welches  $(n+1)$  Punkte interpoliert.*

**oder**

*Mit Hilfe eine Minimierung der Fehlerquadrate kann für jeden bel. Grad eines Polynoms die best mögliche Approximation gefunden werden.*

*Statt DCT-Koeffizienten zu speichern, können ebenso die Koeffizienten eines Polynomes gespeichert werden.*

*Da ein Polynom vom Grad  $(n-1)$  genau  $n$  Werte interpolieren kann, ist die Darstellung eines Signales als Polynom verlustfrei.*

*Vielleicht ist es aber auch möglich ein Signal mit weniger als  $n$  Koeffizienten bereits ausreichend genau zu approximieren*

## Aufgabe 4: Quantisierungstechniken [2+2+3=7 Punkte]

- (a) [2 Punkte] Was versteht man unter Quantisierungsrauschen und wie entsteht es?

*Bei der Abtastung von analogen Signalen müssen zu bestimmten Zeiten Werte (meist Spannungen) gemessen und in digitale Werte umgesetzt werden (Stichwort PCM-Kodierung reicht hier auch).*

*Da digitale Werte aufgrund ihrer festgelegten Bitlänge nur eine endliche Genauigkeit besitzen, müssen die gemessenen Werte dem nächstliegenden digitalen Werte zugeordnet werden. Dadurch entsteht ein Quantisierungsfehler, der dem Signal Rauschen hinzugefügt.*

- (b) [2 Punkte] Mit zunehmender Quantisierung wird ein glattes Signal „eckiger“. Aus Sicht der Signalanalyse bestehen diese Ecken aus einer Vielzahl von Frequenzen, die im ursprünglichen Signal nicht vorhanden waren. Erläutern Sie kurz ein Verfahren, wie man zumindest bei der Digital–Analog–Wandlung diesen Effekt vermindern kann.

*1. Möglichkeit: Zwischen den Abtastpunkten paßt man das Signal den bekannten Abtastwerten nicht sprunghaft an, sondern interpoliert in eine geeigneten Weise - z. B. linear oder durch eine Spline-Interpolation.*

*2. Möglichkeit: Man löst das Signal in feinere Intervalle auf. Durch das Theorem von Shannon ist die max. mögliche Frequenz bekannt, die originär im abgetasteten Signal enthalten war. Alle Frequenzen oberhalb dieser höchsten Frequenz können dann herausgefiltert werden.*

- (c) [3 Punkte] Aus der Vorlesung kennen Sie die ungleichförmige Quantisierung.

- (i) [1 Punkt] Wie funktioniert diese?

- (ii) [2 Punkte] Es sei angenommen, dass weder die Bittiefe der Samples noch die Abtastfrequenz verändert werden. Kann sich bei ungleichförmiger Quantisierung die subjektiv wahrgenommene Qualität der Audiocodierung gegenüber der gleichförmigen Quantisierung verbessern? Begründen Sie Ihre Antwort.

*(a) Die Zuweisung der abgetasteten Werte erfolgt hier nicht linear, sondern logarithmisch.*

*b) Ja, denn leise Signale werden genauer übertragen als laute.*

*Die Verbesserung der Qualität ist subjektiv insofern, als der Mensch einen absoluten Fehler in leisen Tönen genauer wahrnehmen kann, als in lauten Tönen.*

## Aufgabe 5: Transformations–basierte Standbild–Kompression

**[2+6+1+4=13 Punkte]**

- (a) [2 Punkte] Was bedeutet die Transformation eines Signals (hier: Standbild) in den Frequenzraum? Warum setzt man diese Verfahren gerne ein?

*Basiswechsel; bessere Modellierung der menschlichen Wahrnehmung.*

- (b) [6 Punkte] JPEG

- (i) [2 Punkte] Ein schwarz/weiß–Bild der Größe  $256 \times 256$  Pixel soll mit JPEG komprimiert werden. Welche Verarbeitungsschritte werden dabei ausgeführt? Erläutern Sie jeden Schritt (kurz!).

- *Bildaufbereitung*
- *Diskrete Cosinus-Transformation (DCT)*
- *Quantisierung*
- *Entropie-Kodierung*

- (ii) [2 Punkte] Wie geht man vor, wenn man nun ein Farbbild mit JPEG codieren möchte? Welches Farbmodell wird verwendet, und wie ist die Genauigkeit?

*YUV Farbmodell. Standard erlaubt mehrere Arten des Subsamplings.*

- (iii) [2 Punkte] Was für verschiedene Modi zur Darstellung eines JPEG–Bildes, bei dem der Decoder noch nicht alle Daten vollständig vorliegen hat, gibt es? Erläutern Sie sie kurz.

*Sequentiell und Progressiv.*

- (c) [1 Punkt] Was ist ein Wavelet anschaulich gesprochen? Wie kommt es zu der Namensgebung?

*Kleine Welle. Integriert sich zu 0.*

- (d) [4 Punkte] Fraktale Methoden

- (i) [3 Punkte] Erläutern Sie das Grundprinzip der Fraktalen Bildkompression.

*Prinzip der Selbstähnlichkeit.*

- (ii) [1 Punkt] Wie wird sich die Fraktale Kompression auf Encoding– und Decoding–Zeiten auswirken (keine absoluten Zahlen, sondern eine qualitative Angabe)?

*Encoding sehr langsam; Decoding sehr schnell.*

## Aufgabe 6: Analyse von Bildsequenzen [1+4+3+3=11 Punkte]

- (a) [1 Punkt] Ein Farbbild soll mit Hilfe eines Histogramms analysiert werden. Welche Information des Bildes wird durch das zugehörige Histogramm abgebildet?

*Anzahl der Farbwerte im Bild (statistische Information). Üblicherweise werden ähnliche Farben zusammengefasst, d.h. das Histogramm gibt Information über die Anzahl der Pixel in einem Bild an, die zu einem Farbbereich gehören. Die Position der einzelnen Farbwerte im Bild bleibt beim Histogramm unberücksichtigt.*

- (b) [4 Punkte] Gegeben sind die Histogramme  $H_1(r, g, b)$  und  $H_2(r, g, b)$  zweier RGB-Farbbilder. Wie kann die Ähnlichkeit dieser Bilder mit Hilfe ihrer Histogramme bestimmt werden (Text und Formel)? Welche Probleme treten dabei auf?

*2 Bilder können als ähnlich gelten, falls die Differenz ihrer Farbhistogramme einen Schwellwert nicht überschreitet. So können Farbhistogramme beispielsweise verwendet werden, um harte Schnitte in Videos zu erkennen.*

*Berechnung der Differenz zweier Farbhistogramme:*

$$\text{Differenz} = \sum_{r,g,b} \text{ABS}[H_1(r, g, b) - H_2(r, g, b)]$$

*Falls Differenz < Threshold dann gelten beide Bilder als ähnlich.*

*Probleme: Die Erkennungsrate von harten Schnitten mit Farbhistogrammen liegt in typischen Videos zwischen 90% und 98%. Sie versagt immer dann, wenn sich die Farbwerte zwischen zwei Bildern plötzlich ändern, ohne dass ein Schnitt im Video vorliegt.*

- *Einschalten des Lichts in einem Raum*
- *Explosionen*
- *gerissene Schwenks*
- *Blitzlicht*
- *große, sich schnell bewegende Objekte*

- (c) [3 Punkte] Welche Idee steckt hinter dem Gradienten als Kantendetektor für Standbilder? Welchen Einfluß hat der Threshold?

*Idee: Ableitung macht Aussage über eine „Änderung in diese Richtung“. Threshold bestimmt das Aussehen der Binärmatrix.*

- (d) [3 Punkte] Wie kann die Kantenerkennung benutzt werden, um Schnitte in Bildsequenzen zu erkennen?

*Beobachtung der Änderung der Kanten in einem Bild, d.h. falls in einem neuen Frame viele Kanten hinzukommen, bzw. verschwinden.*

*Durch Kamerabewegungen ändert sich die Position der Kante, daher Dilatation (Verbreiterung der Kante).*

*Idee: Edge change ratio.*

## **Aufgabe 7: Kommunikationsunterstützung [2+2+2+3+8=17 Punkte]**

- (a) [2 Punkte] Das Senden von Paketen durch das Netz kann mit Hilfe einer *virtuellen Verbindung* oder durch *Datagramme* erfolgen. Erläutern Sie beide Verfahren stichpunktartig.

*Virtuelle Verbindung: Beim Aufbau der Verbindung wird der Weg ausgewählt, d. h. eine einmalige Wegewahlentscheidung. Alle Daten nehmen denselben Weg. Reservierung von Bandbreite möglich, evtl. wird Verbindungswunsch abgelehnt. Expliziter Verbindungsaufbau, Verbindungsabbau. Komplexe Router.*

*Datagramm: Für jedes Datagramm wird in jedem Knoten eine Wegewahlentscheidung getroffen (jeweils neu und unabhängig vom vorherigen Datagramm). Die Zieladresse bestimmt, welche ausgehende Leitung gewählt wird. Bandbreite kann nicht garantiert werden. Kein expliziter Verbindungsaufbau, Verbindungsabbau. Wenig Router-Intelligenz.*

- (b) [2 Punkte] Was versteht man unter Delay–Jitter? Nennen Sie 3 weitere Dienstgütemerkmale und erläutern Sie diese kurz.

1. *Delay Jitter. Delay Jitter gibt die Varianz der Verzögerung an. Die Verzögerung entspricht dabei der Zeit, die ein Paket benötigt, um von der Quelle zum Ziel zu gelangen.*
2. *Delay. Der Delay (Verzögerung) entspricht der Zeit, die ein Paket benötigt, um von der Quelle zum Ziel zu gelangen. Er wird zum einen durch die physikalische Übertragungszeit auf dem Medium zum anderen durch die Verarbeitungsgeschwindigkeit und die Auslastung der Zwischenknoten (Router) verursacht.*
3. *Loss-Rate. Die Loss-Rate gibt an, wieviele Pakete pro Zeitintervall verloren gehen. Die Loss-Rate wird durch physikalische Übertragungsfehler (z. B. Bitfehler, wenn ein Bit umkippt) und durch Überlastung der Router (Verwerfen von Paketen, Paketverluste) ausgelöst. Der QoS Parameter Loss-Rate gibt die maximale Anzahl von Paketen an, die eine Anwendung bereit ist, hinzunehmen. Es gibt drei Reaktionsmöglichkeiten auf Paketverluste:*
  - *Ignorieren. Verlorene Pakete werden nicht erneut gesendet. Diese Methode ist typisch für Videoübertragungen, da kleine Bildfehler nicht wahrgenommen werden.*
  - *Anzeigen. Die Netzwerkschicht informiert die Anwendung zumindest über Verluste.*
  - *Korrigieren. Die Netzwerkschicht sorgt für eine sichere Übertragung. Verlorene Pakete werden erneut gesendet. Dieses Verhalten ist beispielsweise notwendig bei Whiteboardoperationen.*

4. Throughput. Der Durchsatz gibt die maximale Langzeitdatenrate an. Er wird hauptsächlich durch die Leistungsfähigkeit der physikalischen Übertragungswege beeinflusst. Der QoS Parameter Throughput gibt an, welche Datenrate eine Anwendung benötigt.

(c) [2 Punkte] Sie wollen Forward–Error–Correction (FEC) verwenden, um Multimediadaten zu übertragen. Welchen Einfluß hat FEC auf Ihre Dienstgütemerkmale?

- *Delay Jitter: geringer, da Übertragungswiederholung selten stattfinden (wegen Fehlerbehebung ist Dekodierung dennoch möglich)*
- *Delay: geringfügig größer wegen Codierung, Decodierung und zusätzlicher Daten*
- *Durchsatz: geringer wegen Redundanz*
- *Loss Rate: keinen Einfluss (es geht der gleiche prozentuale Anteil der Daten verloren)*

(d) [3 Punkte] Warum sind bei einer Videokonferenz andere Dienstgütemerkmale relevant als bei der Übertragung eines auf einem Videoserver abgelegten Spielfilms? Begründen Sie Ihre Antwort.

*Videoserver -> Puffer -> hohes Delay,  
Videokonferenz -> Dialog -> geringes Delay  
Videoserver -> grosses Delay Jitter möglich,  
Videokonferenz -> nur geringes Delay Jitter möglich*

*Folgende QoS-Parameter haben bei einem Videoserver und einer Videokonferenz ähnliche Bedeutung:*

*Loss rate und Durchsatz, wobei bei einem Spielfilm, für den ein Kunde Geld bezahlen muss, ein bessere Qualität erwartet wird.*

*Videoserver:*

*Bei einem Video kann ein großer Puffer vorgeladen werden. Das Delay (Verzögerung bis zum Abspielen des Films) ist für den Benutzer üblicherweise nicht relevant. Ein relativ großes Delay Jitter kann durch den Puffer noch ausgeglichen werden. Das Video kann auch beliebig nah beim Kunden gecached werden.*

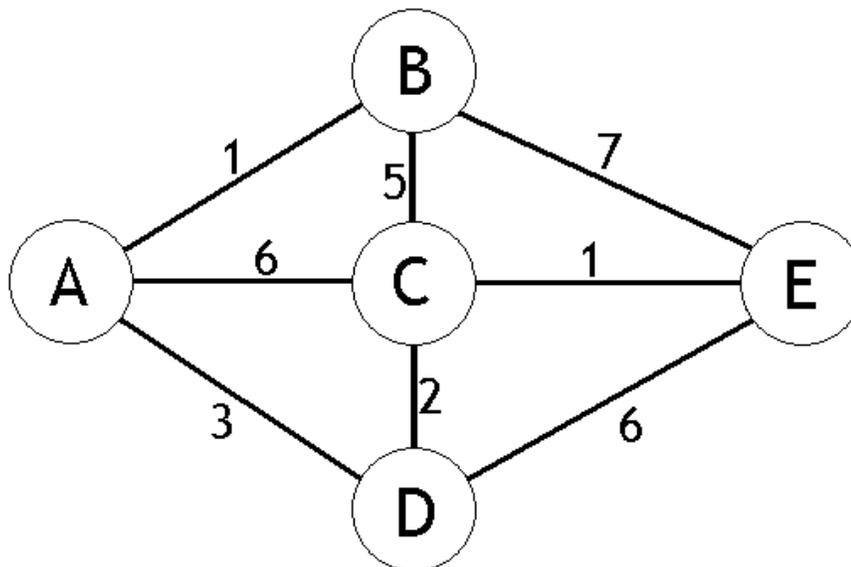
*Videokonferenz:*

*Delay ist sehr relevant (da Dialog). Delay Jitter ist relevant, da ein Ausgleich durch einen Puffer nicht möglich ist.*

(e) [8 Punkte] In dem in der folgenden Abbildung dargestellten Netz kennt jeder Knoten die gesamte Topologie des Netzes. Der kürzeste Pfad zwischen 2 Knoten soll mit Hilfe des *Algorithmus von Dijkstra* berechnet werden. Bestimmen Sie den kürzesten Pfad von Knoten A nach E. Tragen Sie dabei für jede Änderung der Menge  $S$  folgende Werte in die Tabelle ein:

- Menge  $S$  ist die Menge der Knoten, für die der kürzeste Weg bereits bekannt ist.
- kürzeste Distanz  $d(i)$  vom Knoten  $i \in \{A, \dots, E\}$  zum Startknoten A.
- aktueller Elternknoten  $P(i)$   $i \in \{B, \dots, E\}$ , d. h. derjenige Knoten, über den der aktuelle Knoten  $i$  erreicht wurde.

Beachten Sie, dass die Tabelle ggf. nicht vollständig gefüllt wird.



Schritt	Initialisierung	1	2	3	4	5	6
<b>S</b>	A						
<b>d(A)</b>	0						
<b>P(A)</b>	-						
<b>d(B)</b>	$\infty$						
<b>P(B)</b>	-						
<b>d(C)</b>	$\infty$						
<b>P(C)</b>	-						
<b>d(D)</b>	$\infty$						
<b>P(D)</b>	-						
<b>d(E)</b>	$\infty$						
<b>P(E)</b>	-						

*Idee:*

(1) beginne mit A, setze Menge S der besuchten Knoten auf leere Menge.

(2) wiederhole, bis  $E \in S$ :

(2a) füge den noch nicht besuchten Knoten dem Netz zu, der zum Ausgangsknoten den minimalen Abstand hat (vgl. Tabelle).

(3) der Pfad wird durch Rückwärtsgehen von E aus ermittelt:

$P(E) = C, P(C) = D, P(D) = A$ , also Pfad = ADCE mit Kosten 6.

Schritt	Start	1	2	3	4	5	6
S	A	AB	ABD	ABDC	ABDCE		
$d(A)$	0	0	0	0	0		
$P(A)$	-	-	-	-	-		
$d(B)$	$\infty$	1	1	1	1		
$P(B)$	-	A	A	A	A		
$d(C)$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	5	5		
$P(C)$	-	-	-	D	D		
$d(D)$	$\infty$	$\infty$	3	3	3		
$P(D)$	-	-	A	A	A		
$d(E)$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	6		
$P(E)$	-	-	-	-	C		

## Aufgabe 8: Multicast [1+1+5+2+6+2=17 Punkte]

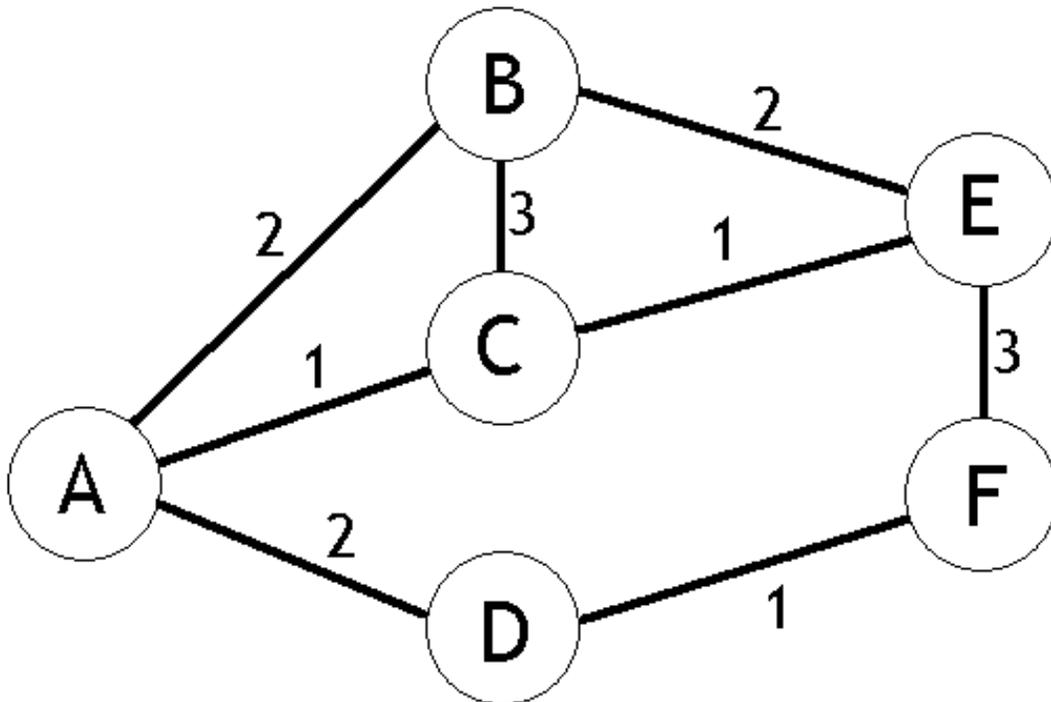
- (a) [1 Punkt] Was versteht man unter dem Begriff Multicast?

Ein Sender überträgt einen Datenstrom an mehrere Empfänger. Der Sender dupliziert keine Pakete. Netz- oder Medium (Broadcast in LANs) sorgen für Duplizierung.

- (b) [1 Punkt] Wie wird beim Routing mit dem Flooding-Algorithmus verhindert, dass die Pakete unendlich häufig dupliziert werden?

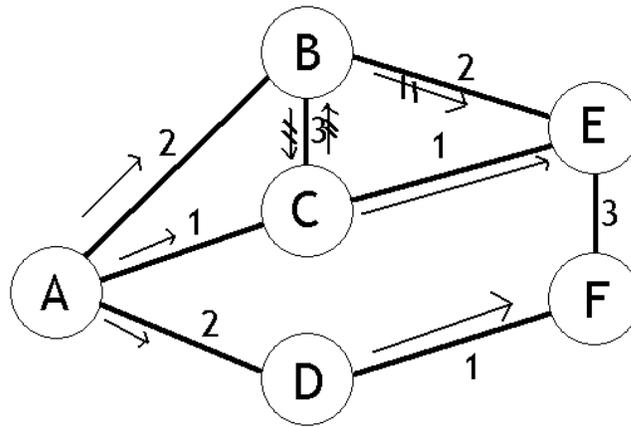
Mit dem Hop Counter. Die maximale Distanz im Netz ist bekannt (Initialisierung des Counter). Nach jedem Hop wird der Counter dekrementiert. Bei 0 wird das Paket verworfen.

- (c) [5 Punkte] In der folgenden Abbildung ist ein Netz dargestellt, in dem der Sender A Pakete mit Hilfe des unvollständigen Reverse Path Broadcasting Algorithmus (Reverse Path Forwarding) überträgt. Die Zahlen geben die Entfernung zwischen zwei angrenzenden Knoten an. Tragen Sie den Weg eines gesendeten Paketes mit Pfeilen parallel zu den Verbindungen zweier benachbarter Knoten ein. Wie viele überflüssige Pakete werden gesendet?



Geg:

- jeder Knoten kennt kürzesten Pfad zum Sender aus Routing Tabelle (Reverse Path)



- jeder Knoten kennt die maximale Distanz im Netz => Initialisierung der Hop Counter mit 2

Idee: Knoten sendet ein Paket nur dann weiter, wenn es auf dem kürzesten Pfad angekommen ist (und natürlich, falls Hop Counter noch nicht abgelaufen ist). Es werden 3 überflüssige Pakete gesendet (vgl. Abb.). (falls Initialisierung mit Hop Counter nicht beachtet wurde, werden 6 überflüssige Pakete gesendet).

- (d) [2 Punkte] Mit welcher zusätzlichen Information kann die Anzahl der zu übertragenden Pakete weiter reduziert werden? Erläutern Sie die Vorgehensweise kurz.

Erklärung zum vollst. RPB oder

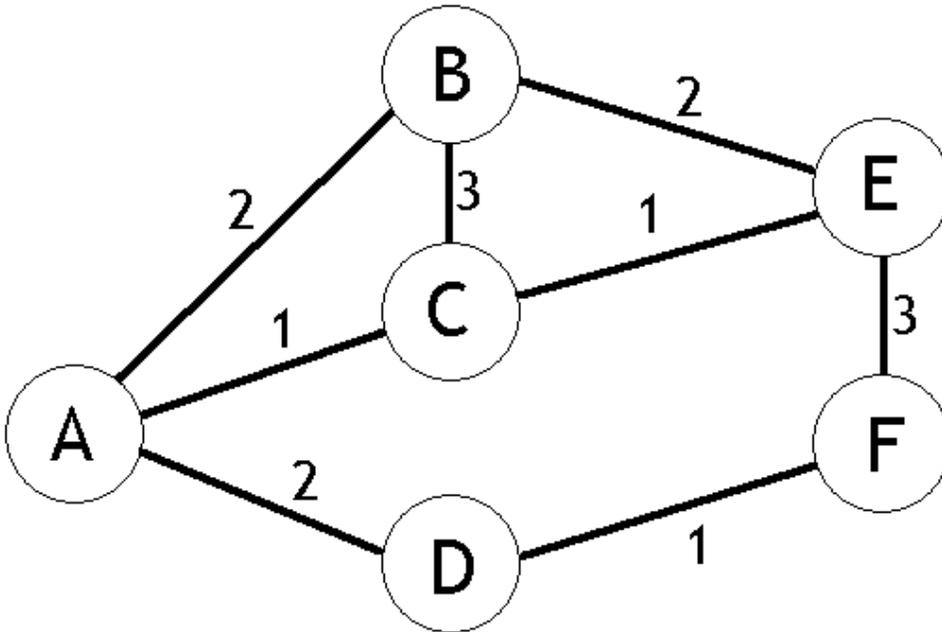
TRPB (bzw. RPM) mit Erklärung der zusätzlich benötigten Information

Jeder Knoten teilt seinen Nachbarn den eigenen kürzesten Pfad vom Sender mit (vollständiger RPB).

Alternative: Pakete werden nicht in LANs geroutet, falls kein Bedarf (TRPB). Zusätzliche Information: Router weiss, dass im LAN kein Rechner an der Verbindung teilnehmen möchte (naja ...). RPM (vgl. nächste Aufgabe).

- (e) [6 Punkte] Die Übertragung der Daten vom Sender A soll nun mittels *Reverse Path Multicasting* erfolgen. Nur Rechner in den LANs, die an den Routern B und D hängen, nehmen an der Multicast-Verbindung teil. Zeichnen Sie in die Abbildung den Datenstrom im Anfangszustand der Multicastverbindung ein. Welche zusätzlichen Pakete werden im Zeitablauf von den

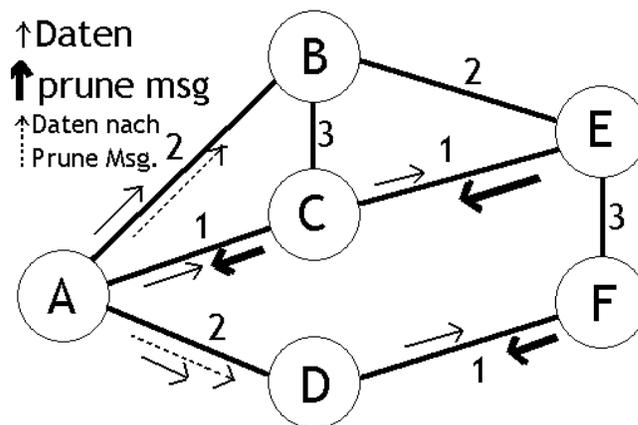
Routern C, E, und F generiert, die beim *vollständigen Reverse Path Broadcasting* Algorithmus nicht auftreten? Benennen Sie diese Pakete und tragen Sie sie in die Abbildung ein.



Begriff: Prune Msg,

zusätzlich generierte Pakete:  $F \rightarrow D$  (1P),  $E \rightarrow C \rightarrow A$

In der Datenphase wird der Routingbaum zurückgeschnitten, so dass nur noch benötigte Pakete weitergeleitet werden. Prune messages (diese werden von C, E und F generiert) wandern von den Blättern zur Wurzel und teilen mit, dass es weiter unten im Baum keine Empfänger gibt. Die Datenpakete werden nach Ablauf eines Timers wieder in den zurückgeschnittenen Baum geleitet.



(f) [2 Punkte] Welche Vorteile und Nachteile bietet Reverse Path Multicasting im Vergleich zum Truncated Reverse Path Broadcasting?

*Vorteile von RPM gegenüber TRPB:*

- +: weniger Daten im Vergleich zum Truncated Reverse Path Broadcasting (Netzbelastung geringer bei nur wenig Teilnehmern)*
- +: Entlastung auch im Netz, nicht nur in den Blatt LANs*
- : periodischer Versand der Daten an alle Router weiterhin notwendig*
- : Statusinfos in jedem Knoten über jede Gruppe und jeden Nutzer*
- : tritt neuer Teilnehmer hinzu, muss dieser bis zum erneuten periodischen Versand an die gesamte Gruppe warten (Join dauert länger). Alternativ muss eine Anmeldeverfahren an eine Multicastgruppe möglich sein, die auch die Router mit einbezieht.*
- : pro Paar (Sender, Gruppe) muss ein eigener Multicast-Baum aufgebaut werden (bessere Alternative z.B. Core Based Trees).*