

Schriftliche Prüfung im Fach Mensch-Maschine-Kommunikation 1 Probeklausur

Datum: Heute Nachname: _____
Beginn: Irgendwann Vorname: _____
Dauer: 100 Minuten Matr.-Nr.: _____
Raum: Arbeitszimmer ☐ Wahlfach ☐ DHP ☐ DVP
Platz-Nr.: _____ Unterschrift: _____

Wichtige Hinweise:

- ➔ Dies ist eine Probeklausur, sie ist umfangreicher als die Abschlussklausur, die Aufgaben entsprechen im Etwa Prüfungsniveau.
 - ➔ Bitte überprüfen Sie zunächst, ob Ihre Prüfungsunterlagen vollständig sind: Die Prüfung besteht aus **14 Seiten**. Die letzten drei Blätter sind für Nebenrechnungen vorgesehen.
 - ➔ Füllen Sie dann die obenstehenden Felder leserlich aus und unterschreiben Sie.
 - ➔ Bitte legen Sie Ihren Studentenausweis sowie einen Lichtbildausweis bereit.
 - ➔ Zugelassen zur Abschlussprüfung sind Schreibutensilien, ein nicht programmierbarer Taschenrechner und maximal zwei doppelseitig beschriebene DIN-A4 Blätter. Andere Hilfsmittel sind nicht zugelassen.
 - ➔ Teilaufgaben, zu deren Lösung Ergebnisse aus vorangegangenen Aufgaben nicht unbedingt benötigt werden, sind mit einem Stern (*) gekennzeichnet (ohne Gewähr).
 - ➔ Eigenes Papier darf (auch für Skizzen) nicht benutzt werden. Falls der vorgegebene Platz nicht ausreichen sollte, können Sie Zusatzblätter mit Lehrstuhlstempel erhalten (gilt nicht für diese Probeklausur).
 - ➔ Zum Erreichen der Bestnote müssen nicht alle Fragen korrekt beantwortet werden.
-

Bewertung (vom Prüfer auszufüllen):

Aufgabe	1	2	3	4	5
erreichte Punktzahl					

Aufgabe	6	7	8	Summe	Note
erreichte Punktzahl					

Aufgabe 1: Hidden Markov Modelle (34 Punkte)

Sie betreiben ein automatisches Spracherkennungssystem, das ganze Wörter aus einem Wörterbuch mit 1000 Einträgen mit Hilfe von diskreten Hidden Markov Modellen erkennt. Als mögliche Beobachtungen werden *Silben* verwendet.

~~*a) Nennen Sie einen Grund für den Einsatz automatischer Spracherkennungssysteme.~~

*b) Wie viele Hidden Markov Modelle werden zur Erkennung in Ihrem System benötigt? Bitte begründen Sie Ihre Antwort.

*c) Welchen Vorteil bieten HMMs in einem Spracherkennungssystem?

Im Folgenden werde das HMM des Wortes „Ho-kus-po-kus“ betrachtet. Es ist charakterisiert durch $\lambda = (\vec{e}, \mathbf{A}, \mathbf{B})$ mit

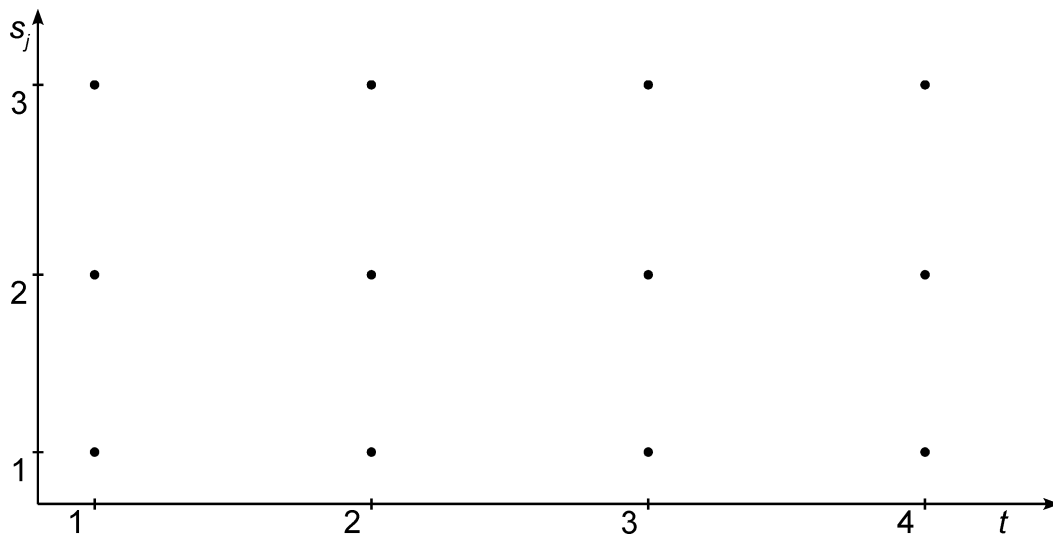
$$\mathbf{B} = \mathbf{e} = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.7 & 0.0 \\ 0 & 0.7 & 0.3 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.1 & 0.0 \\ 0 & 0.8 & 0.5 \\ 0.6 & 0.1 & 0.5 \end{bmatrix}, \quad \vec{v} = \begin{pmatrix} \text{'Ho'} \\ \text{'kus'} \\ \text{'po'} \end{pmatrix},$$

wobei der Vektor \vec{v} die möglichen Beobachtungen beschreibt.

*d) Wie heißen die für die Sprachverarbeitung typischen HMMs? Wie äußert sich dies in der \mathbf{A} -Matrix? Handelt es sich bei dem obenstehenden HMM um ein solches? Bitte begründen Sie Ihre Antwort.

*e) Zeichnen Sie das Zustandsübergangsdiagramm des HMMs zusammen mit seiner Struktur

- f) Tragen Sie alle möglichen Pfade der Beobachtung $\vec{O} = \{'Ho', 'kus', 'po', 'kus'\}$ in das untenstehende Trellis-Diagramm ein. Bitte beachten Sie, dass $q_T = 3$ gilt. Wie viele gültige Pfade gibt es?



- g) Berechnen Sie die Gesamtwahrscheinlichkeit für die Beobachtung $\vec{O} = \{'Ho', 'kus', 'po', 'kus'\}$, d. h. $p(\vec{O}|\lambda)$. Verwenden Sie dazu bitte den aus der Übung bekannten *Vorwärts-Algorithmus*.

- h) Bestimmen Sie mit Hilfe des *Viterbi-Algorithmus* den Pfad (die Zustandsfolge), der mit größter Wahrscheinlichkeit $\hat{p}(\vec{O}|\lambda)$ zu der Beobachtung $\vec{O} = \{'Ho', 'kus', 'po', 'kus'\}$ führt. Bitte machen Sie ihr Vorgehen im obigen Trellis-Diagramm deutlich. Welchen Wert nimmt $\hat{p}(\vec{O}|\lambda)$ an?

- *i) Wie nennt man ein HMM mit vollbesetzter **A**-Matrix (d. h. die Matrix **A** enthält keine ‚Nullen‘)?

Aufgabe 2: Suchverfahren (29 Punkte)

Die Klassifizierung mit Hidden-Markov-Modellen (errechnen der Produktionswahrscheinlichkeit $p(\mathbf{o}|\lambda)$) kann auch als Suchproblem aufgefasst werden. Dabei entsprechen den Knoten des Suchbaums die Knoten im Trellisdiagramm, d. h. $(s_i; o_t)$. Ein Knoten besitzt so viele Nachfolger, wie Zustände von ihm aus erreicht werden können. Die Kosten, mit denen die Knoten erreicht werden, errechnen sich in Abhängigkeit zu den Vorgängerknoten zu $g(n) = -\log_{10}(a_{ij} \cdot b_j(o_{t+1}))$ (negierte Log-Likelihoods). Der Startknoten START enthält als mögliche Nachfolger diejenigen Knoten (s_i, o_1) , in denen die erste Beobachtung gemacht werden kann. Die Kosten zu diesen Knoten errechnet sich zu $g(n) = -\log_{10}(e_i \cdot b_i(o_1))$.

Im Folgenden ist das (einfache) HMM mit den Parametern

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.7 \\ 0 & 0.2 & 0.8 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.3 \\ 0.9 & 0.8 & 0.7 \end{bmatrix}, \mathbf{e} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{v}_1 = \begin{bmatrix} \text{'M'} \\ \text{'K'} \end{bmatrix}$$

gegeben, sowie die Beobachtung $\mathbf{o} = \text{'M'}, \text{'M'}, \text{'K'}$. Es gilt $q_T = 3$. Somit hat Startknoten 'START' einen Nachfolger, nämlich den Knoten $(s_1; o_1 = \text{'M'})$.

- *a) Berechnen Sie die Kosten, mit denen der Knoten $(s_1; o_1 = \text{'M'})$ erreicht wird. (Zur Kontrolle: $g(n) = 1$.)
- *b) Erstellen Sie einen vollständigen Suchbaum für die HMM-Klassifizierungsaufgabe. Verwenden Sie dazu das nebenstehende Diagramm. (Hinweis: Bestimmen sie für jeden Knoten im Baum alle Nachfolger und die Kosten, um Sie zu erreichen. Überlegen Sie, welche Knoten die Zielknoten beschreiben). Errechnen Sie daraus $p(\mathbf{o}|\lambda)$.

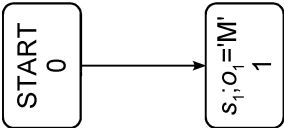
Im Folgenden sind sie auf der Suche nach einem Pfad durch den Suchbaum, um die Beobachtung \mathbf{o} zu machen.

- c) Markieren Sie in ihrem Suchbaum die Knoten, die bei der *Breitensuche* durchsucht werden (z. B. durch Markierung mit einem 'B'), sowie der Knoten beim Anwenden der *Tiefensuche* (z. B. mit einem 'T'). Wie viele Schritte werden benötigt, um zu einem Zielknoten zu gelangen? Welche Wahrscheinlichkeiten ergeben sich jeweils, die Beobachtung \mathbf{o} auf diesem Wege zu machen?

Sie sind mit den Lösungen der Breiten- und Tiefensuche nicht zufrieden. Deswegen wollen Sie denjenigen Pfad finden, der mit Sicherheit die geringsten Kosten für die Beobachtung **o** liefert.

*d) Welchem Pfad im *Trellisdiagramm* würde der Suchpfad mit geringsten Kosten entsprechen und wie würde er dort gefunden werden?

e) Mit welchem heuristischen Suchverfahren können Sie im Suchbaum den Pfad mit den geringsten Kosten ermitteln. Wie müssen sie die heuristische Funktion $h(n)$ wählen? Wenden Sie den Such-Algorithmus an und geben Sie die Kosten des günstigsten Pfades an. Welche Pfadwahrscheinlichkeit ergibt sich?



Name
Kosten

Aufgabe 3: Prädikatenlogik (15 Punkte)

Sie lesen folgende Geschichte:

„Im Haus von Erbtante Frida (F) leben außer Frida selbst nur der Butler (B) und der Hausfreund Karl (K).“
Den Rest der traurigen Geschichte kann mit den folgenden wahren Formeln dargestellt werden:

$$(\forall x)(\forall y)\{\text{ermordet}(x, y) \Rightarrow \text{hasst}(x, y) \cdot (\neg \text{reicher}(x, y))\} \quad (2)$$

$$(\forall x)\{\text{hasst}(F, x) \Rightarrow (\neg \text{hasst}(K, x))\} \quad (3)$$

$$(\forall x)\{\neg(x \Rightarrow B) \Rightarrow \text{hasst}(F, x)\} \quad (4)$$

$$(\forall x)\{\neg \text{reicher}(x, F) \Rightarrow \text{hasst}(B, x)\} \quad (5)$$

$$(\forall x)\{\text{hasst}(F, x) \Rightarrow \text{hasst}(B, x)\} \quad (6)$$

$$\neg(\exists x)(\forall y)\{\text{hasst}(x, y)\} \quad (7)$$

$$(\exists z)\{\text{ermordet}(z, F)\} \quad (8)$$

Es gilt, dass *ermordet*, *hasst* und *reicher* zweistellige Prädikate, *F*, *B* und *K* Konstanten sind. Desweiteren seien $x, y, z \in \{F, B, K\}$.

- *a) Aus Gleichung 8 entnehmen Sie, dass die arme Tante Frida ermordet worden ist. Erzählen Sie auch den Rest der Geschichte in natürlicher Sprache.

Für die nachfolgenden Aufgaben ist wieder die Prädikatenlogik-Schreibweise zu verwenden.

- *b) Was folgt aus Gleichung 3 und Gleichung 4 für $x = F$ bzw. $x = K$ für Karl (zwei Folgerungen).

(9)

- c) Aus 2 und 9 folgt demnach (mit $y = F$)

(10)

Karl kann also bereits entlastet werden.

- *d) Welche zwei Folgerungen können Sie aus Gleichung 4 und Gleichung 6 für $x = F$ bzw. $x = K$ in Bezug auf den Buttler ziehen?

(11)

- e) Wenden Sie die Aussagen aus Gleichung 11 auf Gleichung 7 für alle Personen (F, K, B) an.

(12)

- f) Welche überraschende Wendung ergibt sich aus Gleichung 5 und Gleichung 12?

(13)

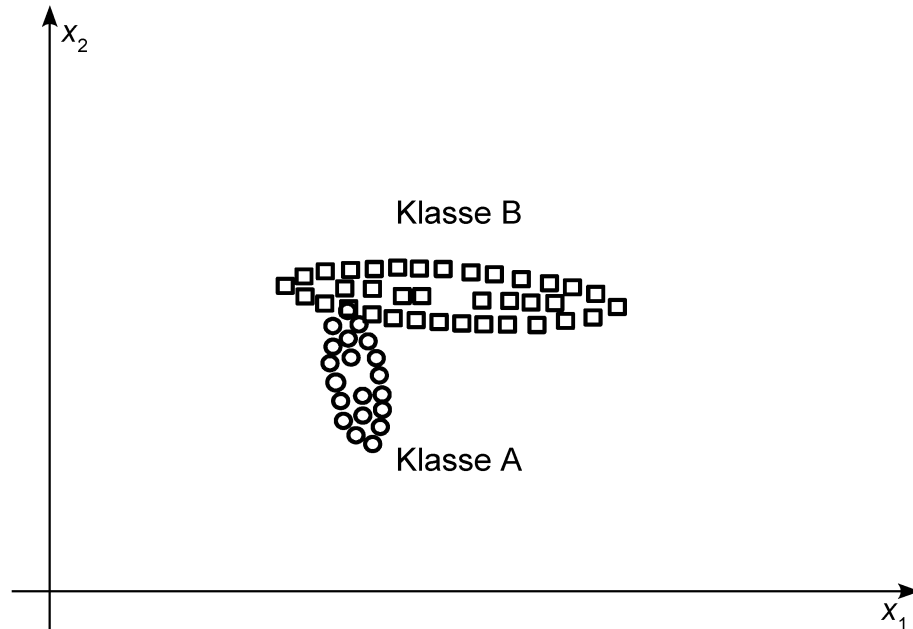
- g) Prüfen Sie, ob der Buttler als Mörder in Frage kommt, indem Sie Gleichung 2 und Gleichung 13 auflösen.

(14)

- h) Was ist demnach in Tante Fridas Haus geschehen?

Aufgabe 4: Abstandsklassifikation (12 Punkte)

- *a) Gegeben ist ein zweidimensionaler Merkmalsraum (siehe Abb. unten), der Merkmalsvektoren aus den Klassen 1 und 2 enthält, welche als Kreise bzw. Quadrate dargestellt sind. Die Klassen 1 und 2 sollen mit Hilfe des *Mahalanobis-Klassifikators* getrennt werden.



- a1) Zeichnen Sie in die Abbildung qualitativ die Klassenmittelpunkte \mathbf{m}_1 und \mathbf{m}_2 als ausgefüllten Kreis bzw. ausgefülltes Quadrat ein.
- a2) Skizzieren Sie qualitativ zu jedem der Klassenmittelpunkte \mathbf{m}_1 und \mathbf{m}_2 jeweils drei Kurven konstanten Mahalanobis-Abstands.
- a3) Konstruieren Sie qualitativ aus diesen Kurven die Trennfunktion zur Trennung der Klassen A und B. Um welche Art Kurve handelt es sich?
- *b) Ist der Mahalanobis-Abstandsklassifikator linear. Bitte begründen Sie Ihre Antwort
- *c) Welchen weiteren Abstandsklassifikator kennen Sie? Ist er linear?

Aufgabe 5: Grammatikalische Zerlegung (17 Punkte)

Stellen Sie den folgenden Satz mit Hilfe eines Zerlegungsbaumes grafisch dar. Bei Mehrdeutigkeit wählen Sie die *semantisch* richtige Lösung und geben das nötige Wissen an. Unterstrichene Ausdrücke müssen nicht weiter zerlegt werden. (Hinweis: Farben sind Attribute (*ATR*) und gehören zu dem Nomen in der jeweiligen Phrase.)

*a) „Das rote Auto überholt das gelbe Auto mit einer weißen Türe.“

*b) „Das rote Auto überholt das gelbe Auto mit Vollgas.“

Betrachten Sie die folgenden fünf Sätze.

1. Das rote Auto überholt das gelbe Auto obwohl es stärker war.
2. Das rote Auto überholt das gelbe Auto obwohl es dunkel war.
3. Das rote Auto überholt das gelbe Auto obwohl es glatt war.
4. Das rote Auto überholt das gelbe Auto obwohl es neblig war.
5. Das rote Auto überholt das gelbe Auto obwohl es verboten war.

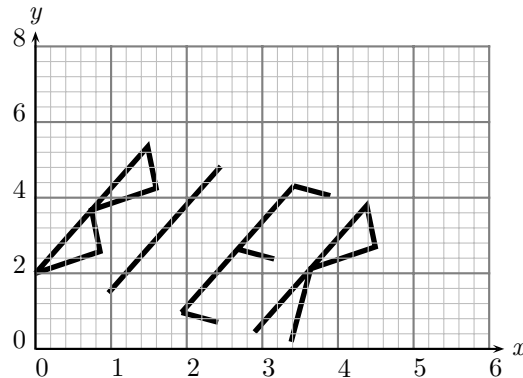
*c) Beurteilen Sie die Sätze hinsichtlich ihrer syntaktischen Struktur.

*d) Wodurch stellen sich die semantischen Unterschiede ein? Worauf bezieht sich das Wort „es“ jeweils und weswegen gelingt Ihnen die eindeutige Zuordnung?

Aufgabe 6: Handschrifterkennung (19 Punkte)

- *a) Zeichnen Sie in untenstehendes Diagramm ein, welche Abtastpunkte unbedingt notwendig sind um das Wort *BIER* rekonstruieren zu können. Geben sie die Anzahl für jeden Buchstaben einzeln an.

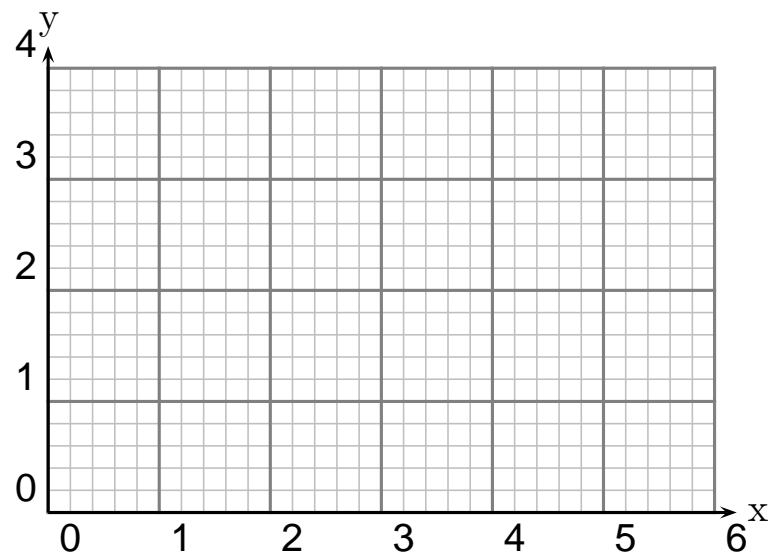
Buchstabe	Anzahl
B	
I	
E	
R	



- *b) Sind die Koordinateninformationen zu den einzelnen Stützstellen aus Aufgabe a) ausreichend für eine online Handschrifterkennung? Begründen Sie ihre Antwort.
- c) Welche Vorverarbeitungsschritte müssen für den obigen Schriftzug nach der Abtastung angewendet werden, um die bestmögliche Erkennungsleistung zu erzielen? Achten Sie auf die korrekte Reihenfolge!
- *d) Gegeben seien folgende Abtastpunkte eines Schriftzuges:

	1	2	3	4	5	6	7	8
x:	1,0	1,3	1,2	2,1	2,0	2,0	2,6	3,2
y:	0,5	1,4	3,0	1,3	2,4	3,5	2,3	2,0

Zeichnen Sie die Punkte in das untenstehende Koordinatensystem ein und verbinden Sie sie in Reihenfolge. Bestimmen Sie dann die Regressionsgerade $y = mx + b$, die von allen Punkten den geringsten Abstand hat und zeichnen Sie diese auch in das Koordinatensystem ein. Welche Steigung besitzt diese Gerade? Welchem Zeilenneigungswinkel α entspricht dies?



- e) Ist die Bestimmung der Zeilenneigung nach Teilaufgabe b) geeignet, um bei dem gegebenen Buchstaben die Zeilenneigung zu korrigieren? Bitte begründen Sie Ihre Antwort.

Aufgabe 7: ~~Sehen und Hören~~ (20 Punkte)

- *a) Charakterisieren Sie ~~Licht~~ und Schallwellen hinsichtlich ihrer Wellennatur und Ausbreitungsrichtung.
- *b) Nennen Sie zwei psychoakustische ~~und drei psychooptische~~ Messgrößen.
- *c) ~~Charakterisieren Sie Tag, Dämmerlicht bzw. Nachtsehen bezüglich Farbempfindung und aktivem Rezeptortyp~~
- *d) Welche Effekte werden bei der verlustbehafteten Komprimierung von Audiodaten ausgenutzt?
- *e) In welche drei Bereiche gliedert sich das Ohr? Welches Medium wird jeweils in den Bereichen zum Schalltransport verwendet? Nennen Sie zu jedem Bereich einen Bestandteil.
- *f) Erläutern Sie kurz die Verarbeitung von Schall im Innenohr.

