Klausur zur Vorlesung

Künstliche Intelligenz

Prof. J. Fürnkranz / Dr. G. Grieser
Technische Universität Darmstadt — Sommersemester 2007

Termin: 23. 7. 2007

Name: **Vorname:** **Matrikelnummer:**

Fachrichtung: **Wiederholer:** ☐ ja ☐ nein

☐ Diplom ☐ Master ☐ Bachelor

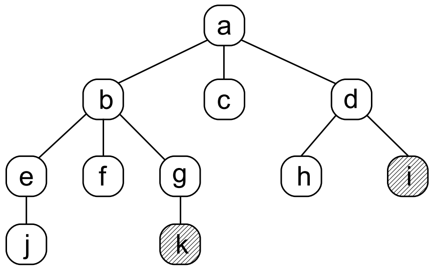
Punkte: (1) ... (2) ... (3) ... (4) ... (5) ... (6) ... **Summe:**

- **Aufgaben:** Diese Klausur enthält auf den folgenden Seiten 6 Aufgaben zu insgesamt 100 Punkten. Jede Aufgabe steht auf einem eigenen Blatt. Kontrollieren Sie *sofort*, ob Sie alle sieben Blätter erhalten haben!
- **Zeiteinteilung:** Die Zeit ist knapp bemessen. Wir empfehlen Ihnen, sich zuerst einen kurzen Überblick über die Aufgabenstellungen zu verschaffen, und dann mit den Aufgaben zu beginnen, die Ihnen am besten liegen.
- **Papier:** Verwenden Sie nur Papier, das Sie von uns ausgeteilt bekommen. Bitte lösen Sie die Aufgaben auf den dafür vorgesehenen Seiten. Falls der Platz nicht ausreicht, vermerken sie dies bitte und setzen die Lösung auf der letzten Seite fort. Brauchen Sie zusätzlich Papier (auch Schmierpaper), bitte melden.
- **Fragen:** Sollten Sie Teile der Aufgabenstellung nicht verstehen, bitte fragen Sie!
- **Abschreiben:** Sollte es sich herausstellen, daß Ihre Lösung und die eines Kommilitonen über das zu erwartende Maß hinaus übereinstimmen, werden beide Arbeiten negativ beurteilt (ganz egal wer von wem in welchem Umfang abgeschrieben hat).
- **Ausweis:** Legen Sie Ihren *Studentenausweis* und *Lichtbildausweis* sichtbar auf Ihren Platz. Füllen Sie das Deckblatt sofort aus!
- **Hilfsmittel:** Zur Lösung der Aufgaben ist ein von Ihnen selbst handschriftlich beschriebenes DIN-A4-Blatt erlaubt. Gedruckte Wörterbücher sind für ausländische Studenten erlaubt, elektronische Hilfsmittel (Taschenrechner, elektronische Wörterbücher, Handy, etc.) sind verboten! Sollten Sie etwas verwenden wollen, was nicht in diese Kategorien fällt, bitte klären Sie das *bevor* Sie zu arbeiten beginnen.
- **Aufräumen:** Sonst darf außer Schreibgerät, Essbarem, von uns ausgeteiltem Papier und eventuell Wörterbüchern nichts auf Ihrem Platz liegen. Taschen bitte unter den Tisch!

Gutes Gelingen!

Aufgabe 1 Suche (20 Punkte)

Betrachten Sie folgenden Suchgraph



wobei i und k die beiden einzigen Lösungen repräsentieren.

Entlang der eingezeichneten Verbindungen entstehen jeweils Kosten von 10, die Kosten zwischen Knoten, die keine direkte oder indirekte Verbindung haben, sind ∞.

1–a Geben Sie die Reihenfolge an, in der die Knoten bis zum Finden einer Lösung besucht werden, für:

- Breitensuche
  $a, b, c, d, e, f, g, h, i$ *(1 Punkt)*
- Tiefensuche
  a, b, e, j, f, g, k *(1 Punkt)*
- Iterierte Tiefensuche, startend bei Tiefe 1 und Erhöhung der Tiefenschranke jeweils um 1
  $a, a, b, c, d, a, b, e, f, g, c, d, h, i$ *(2 Punkte)*

1–b Berechnen Sie die Reihenfolge, in der die Knoten von dem A*-Algorithmus besucht werden, wobei folgende Heuristik verwendet wird:

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
$h(\cdot) =$	3	5	80	35	5	20	10	30	0	0	0

Wenn zwei Knoten die gleiche Bewertung haben, wird derjenige zuerst ausgewählt, der im Alphabet weiter HINTEN kommt.

Geben Sie alle Zwischenschritte an, d.h. welche Knoten jeweils offen sind, deren Werte für $g(n)$, $h(n)$ und $f(n)$ sowie, welcher Knoten jeweils ausgewählt wird bzw. warum die Suche abgebrochen wird.

(5 Punkte)
Begonnen wird mit dem Knoten a, wir erhalten die folgenden Nachfolger:
$b\ [g(b) = 10,\ h(b) = 5,\ f(b) = 15]$
$c\ [g(c) = 10,\ h(c) = 80,\ f(c) = 90]$
$d\ [g(d) = 10,\ h(d) = 35,\ f(d) = 45]$

Als nächstes wählen wir Knoten b aus, damit erhalten wir folgende offenen Knoten:
$c\ [g(c) = 10,\ h(c) = 80,\ f(c) = 90]$
$d\ [g(d) = 10,\ h(d) = 35,\ f(d) = 45]$
$e\ [g(e) = 20,\ h(e) = 5,\ f(e) = 25]$
$f\ [g(f) = 20,\ h(f) = 20,\ f(f) = 40]$
$g\ [g(g) = 20,\ h(g) = 10,\ f(g) = 30]$

Als nächstes wählen wir Knoten e aus, damit erhalten wir folgende offenen Knoten:
$c\ [g(c) = 10,\ h(c) = 80,\ f(c) = 90]$
$d\ [g(d) = 10,\ h(d) = 35,\ f(d) = 45]$
$f\ [g(f) = 20,\ h(f) = 20,\ f(f) = 40]$
$g\ [g(g) = 20,\ h(g) = 10,\ f(g) = 30]$
$j\ [g(j) = 30,\ h(j) = 0,\ f(j) = 30]$

Jetzt ist Gleichstand zwischen g und j, es wird j ausgewählt; somit ergibt sich folgende Openlist:
$c\ [g(c) = 10,\ h(c) = 80,\ f(c) = 90]$
$d\ [g(d) = 10,\ h(d) = 35,\ f(d) = 45]$
$f\ [g(f) = 20,\ h(f) = 20,\ f(f) = 40]$
$g\ [g(g) = 20,\ h(g) = 10,\ f(g) = 30]$

Nun wird g gewählt:
$c\ [g(c) = 10,\ h(c) = 80,\ f(c) = 90]$
$d\ [g(d) = 10,\ h(d) = 35,\ f(d) = 45]$
$f\ [g(f) = 20,\ h(f) = 20,\ f(f) = 40]$
$k\ [g(k) = 30,\ h(k) = 0,\ f(k) = 30]$

Und dann schließlich k:
$c\ [g(c) = 10,\ h(c) = 80,\ f(c) = 90]$
$d\ [g(d) = 10,\ h(d) = 35,\ f(d) = 45]$
$f\ [g(f) = 20,\ h(f) = 20,\ f(f) = 40]$

Da k ein Endknoten ist und alle anderen f-Werte größer als 30 sind, terminiert der Algorithmus.

1–c Ist die mit der Heuristik von 1-b gefundene Lösung optimal? Begründung?

(2 Punkte) Nein, da i eine Lösung mit geringeren Kosten ist.

1–d Welche Werte müßten in der obigen Heuristik mindestens geändert werden, damit sie zulässig (admissible) wird? Auf welche Werte könnten sie gesetzt werden?

(3 Punkte) Nur d muß geändert werden, auf einen Wert ≤ 10.

1–e Ist die obige Heuristik konsistent? Begründung?

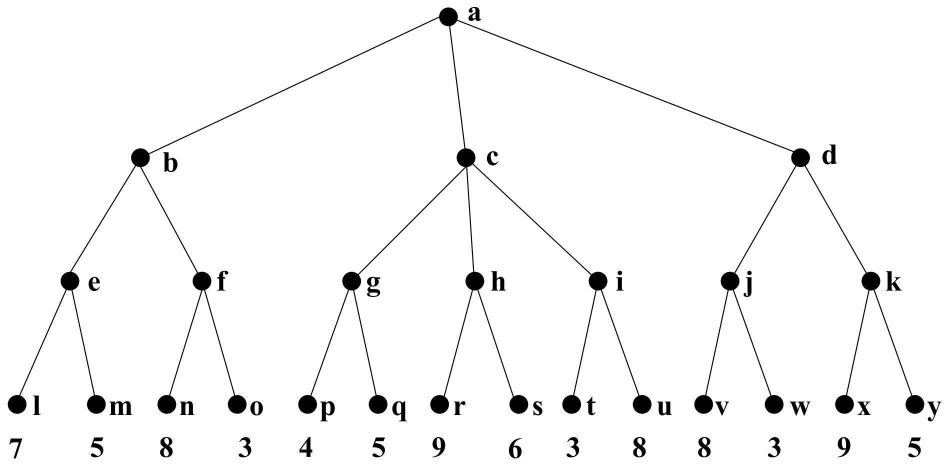
(3 Punkte) Nein, da sie ja nicht admissible ist (und consistent impliziert admissible).

1–f Gilt folgende Aussage: *"Wenn h eine zulässige (admissible) Heuristik ist, dann ist* $h(n) = 0$ *für alle Zielzustände n."*? Begründung?

(3 Punkte) Ja, da ein Zielzustand keine Kosten bis zum Zielzustand hat, und eine zuässige Heuristik diese Kosten unterschätzen muß.

Aufgabe 2 α-β-Suche (18 Punkte)

Gegeben sei der folgende Suchbaum (im Knoten **a** ist MAX am Zug):



2–a Geben Sie den MiniMax-Wert des Wurzelknotens an

(3 Punkte) MiniMax $= 8$.

2–b Führen Sie eine Alpha-Beta Suche durch (die Nachfolger eines Knotens werden, wie in der Vorlesung, von links nach rechts durchsucht). Geben Sie die Knoten an, die bei dieser Suche nicht durchsucht werden, und geben Sie für alle durchsuchten Knoten an, mit welchem Alpha-Beta Fenster sie durchsucht werden.

$$
\begin{array}{rcl}
[-\infty,+\infty] & \rightarrow & a \\
[-\infty,+\infty] & \rightarrow & b \\
[-\infty,+\infty] & \rightarrow & e \\
[-\infty,+\infty] & \rightarrow & l \\
[7,+\infty] & \rightarrow & m \\
[-\infty,7] & \rightarrow & f \\
[-\infty,7] & \rightarrow & n \\
 & \rightarrow & o \textit{ wird geprunt, da } 8(f) > 7(\beta - \textit{cutoff}) \\
[7,+\infty] & \rightarrow & c \\
[7,+\infty] & \rightarrow & g \\
[7,+\infty] & \rightarrow & p \\
[7,+\infty] & \rightarrow & q \\
 & \rightarrow & h,r,s,i,t,u \textit{ werden geprunt, da } 5(c) < 7(\alpha - \textit{cutoff}) \\
[7,+\infty] & \rightarrow & d \\
[7,+\infty] & \rightarrow & j \\
[7,+\infty] & \rightarrow & v \\
[8,+\infty] & \rightarrow & w \\
[7,8] & \rightarrow & k \\
[7,8] & \rightarrow & x \\
 & \rightarrow & y \textit{ wird geprunt, da } 9(x) > 8(\beta - \textit{cutoff})
\end{array}
$$

2–c Geben Sie die Hauptvariante (Principal Variation) an.

(3 Punkte) $a - d - j - v$

2–d Kann es im allgemeinen vorkommen, daß Alpha-Beta alle Knoten durchsuchen muß, die auch Minimax durchsuchen muß? Wovon hängt das ab?

(3 Punkte) Ja, wenn die Knoten in ungünstiger Reihenfolge durchsucht werden.

Aufgabe 3 Planen (18 Punkte)

Betrachten Sie folgende STRIPS-Probleme:

3–a Beschreiben Sie folgendes Planungsproblem: Der Agent befindet sich in einem Haus, die Tür ist zu. Das Ziel ist, außerhalb des Hauses bei geschlossener Tür zu sein. Der Agent kann die Haustür öffnen und schließen sowie durch die Tür aus dem Haus hinaus gehen.

Repräsentieren Sie dieses Planungsproblem in STRIPS (d.h. geben Sie an, welche Fakten Sie zur Beschreibung benutzen, wie die initiale und die Endsituation aussieht sowie die Aktionen).

(8 Punkte)

Fakten: *door_open, door_closed, in_house, outside*

Start-State: *in_house, door_closed*

Goal-State: *outside, door_closed*

Actions:

open_door		***close_door***		***go_out***	
PREC:	*door_closed*	*PREC:*	*door_open*	*PREC:*	*in_house, door_open*
ADD:	*door_open*	*ADD:*	*door_closed*	*ADD:*	*outside*
DEL:	*door_closed*	*DEL:*	*door_open*	*DEL:*	*in_house*

3–b Gegeben sei folgende Weltbeschreibung:

Anfangssituation: f_2

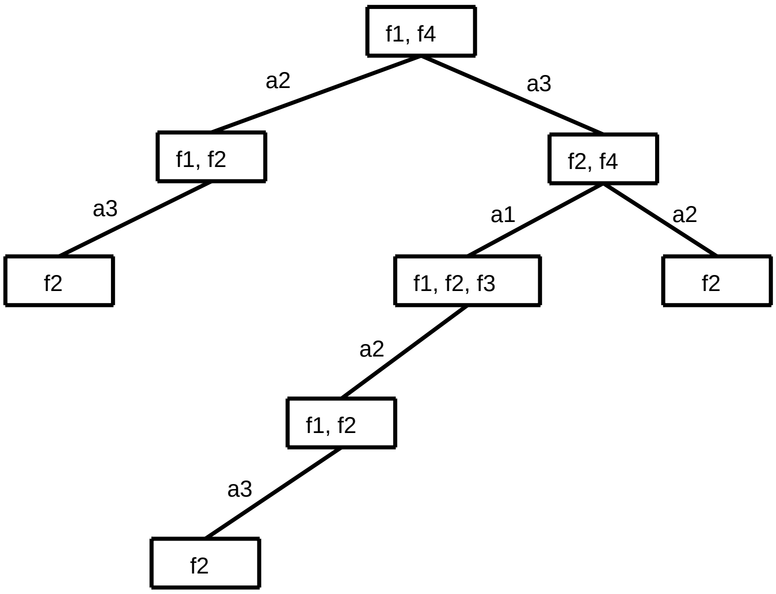
Zielsituation: f_4, f_1

action :	$\underline{a_1}$		action :	$\underline{a_2}$		action :	$\underline{a_3}$	
	preconditions :	f_1, f_3		*preconditions :*	f_2		*preconditions :*	f_2
	add :	f_4		*add :*	f_4, f_3		*add :*	f_1
	delete :	f_1		*delete :*			*delete :*	f_3

Geben Sie den kompletten Suchbaum an (d.h. hören Sie *nicht* nach der erste gefundenen Lösung auf), der beim Rückwärtsplanen entsteht.

Basierend auf diesem Suchbaum, geben Sie alle gefundenen Pläne an, die das Problem lösen.

(10 Punkte)

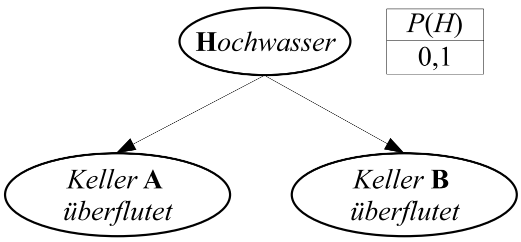


Die gefundenen Pläne sind also:

- a_3, a_2
- a_3, a_2, a_1, a_3
- a_2, a_3

Aufgabe 4 Bayes'sche Netze (18 Punkte)

Die Wahrscheinlichkeiten, daß zwei Keller (A und B) überflutet werden, hängen wie folgt davon ab, ob es Hochwasser gibt oder nicht:



P(H)
0,1

H	*P(A)*
true	0,8
false	0,1

H	*P(B)*
true	0,9
false	0,2

Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit, daß Keller A überflutet wird, jeweils unter den in 4-a und 4-b gegebenen Annahmen. In beiden Fällen muß der Rechengang Ihres Lösungswegs ersichtlich sein.

4–a Keine weiteren Informationen sind bekannt

(4 Punkte)

$$\begin{aligned} P(a) &= P(a|h) \cdot P(h) + P(a|\neg h) \cdot P(\neg h) = \\ &= 0.8 \cdot 0.1 + 0.1 \cdot 0.9 = \boldsymbol{0.17} \end{aligned}$$

4–b Es ist bekannt, daß Keller B bereits überflutet wurde.

(10 Punkte)

$$\begin{aligned} P(A|H,b) &= \alpha \cdot P(A,H,b) = \\ &= \alpha \cdot P(H) \cdot P(A|H) \cdot P(b|H) = \\ &= \alpha \cdot (P(h) \cdot P(A|h) \cdot P(b|h) + P(\neg h) \cdot P(A|\neg h) \cdot P(b|\neg h)) \end{aligned}$$

A = true:

$$\begin{aligned} P(h) \cdot P(a|h) \cdot P(b|h) + P(\neg h) \cdot P(a|\neg h) \cdot P(b|\neg h) &= 0.1 \cdot 0.8 \cdot 0.9 + 0.9 \cdot 0.1 \cdot 0.2 \\ &= 0.9 \cdot 0.1 \cdot (0,8 + 0.2) \\ &= 0.09 \cdot 1 = \boldsymbol{0.09} \end{aligned}$$

A = false:

$$\begin{aligned} P(h) \cdot P(\neg a|h) \cdot P(b|h) + P(\neg h) \cdot P(\neg a|\neg h) \cdot P(b|\neg h) &= 0.1 \cdot 0.2 \cdot 0.9 + 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0.2 \\ &= 0.9 \cdot 0.2 \cdot (0.1 + 0.9) \\ &= 0.18 \cdot 1 = \boldsymbol{0.18} \end{aligned}$$

Normalisierung

$$P(A|H,b) = \alpha \cdot \langle 0.09, 0.18 \rangle = \left\langle \frac{1}{3}, \frac{2}{3} \right\rangle$$

$\Rightarrow P(a|b) = \frac{1}{3}$, *d.h., die Wahrscheinlichkeit, daß Keller A überflutet ist, wenn man weiß, daß Keller B überflutet ist, ist ein Drittel.*

4–c Die beiden in 4-a und 4-b berechneten Wahrscheinlichkeiten sind

☐ unabhängig

☐ bedingt unabhängig

☐ abhängig

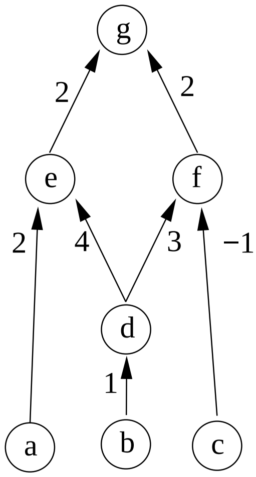
Begründen Sie Ihre Antwort.

(4 Punkte)
$P(a)$ *und* $P(a|b)$ *sind abhängig, da* $P(a) = \sum_B P(a|B) \cdot P(B)$*, d.h. wenn* $P(a|b)$ *wächst/fällt, wächst/fällt auch* $P(a)$.

Aufgabe 5 Neuronale Netze (18 Punkte)

Gegeben sei folgendes Neuronales Netz. Hierbei besitzt jedes Neuron die Aktivierungsfunktion

$$a_i = 2 \cdot in_i = 2 \cdot \sum_j w_{ji} a_j .$$



5–a Berechnen Sie die Ausgabe des Netzes für den Eingabevektor $(a, b, c) = (-1, 1, -1)$. Geben Sie Ihre Zwischenschritte an.

(4 Punkte)

$$\begin{array}{rl} in_d = 1 & a_d = 2 \\ in_e = 2 \cdot -1 + 4 \cdot 2 = 6 & a_e = 12 \\ in_f = 3 \cdot 2 + -1 \cdot -1 = 7 & a_f = 14 \\ in_g = 2 \cdot 12 + 2 \cdot 14 = 53 & a_g = 104 \end{array}$$

5–b Nehmen wir (fälschlicherweise!) an, daß bei Eingabe des Vektors $(1, 1, 1)$ das Netz den Wert 1 berechnen würde, der Zielwert sei jedoch 0. Berechnen Sie den Fehlerwert Δ_i für die Neuronen g, e und d (d.h. Δ_g, Δ_e und Δ_d).

(8 Punkte)

$$g(in_i) = 2 \cdot in_i \Rightarrow g'(in_i) = 2 \quad \forall i$$

$$\begin{aligned} \Delta g &= (0-1) \cdot g'(in_g) = -2 \\ \Delta e &= (w_{eg} \cdot \Delta g) \cdot g'(in_e) = 2 \cdot -2 \cdot 2 = -8 \\ \Delta f &= -8 \ \textit{analog} \\ \Delta d &= (w_{de} \cdot \Delta e + w_{df} \cdot \Delta f) \cdot g'(in_g) = (4 \cdot -8 + 3 \cdot -8) \cdot 2 = -112 \end{aligned}$$

5–c Geben Sie ein Perzeptron mit Schwellwert 0 an, das die logische Funktion $(a \wedge b) \vee c$ implementiert. Hierbei kodieren wir `true` als 1 und `false` als -1.

(6 Punkte)
zum Beispiel:
bias: Gewicht 0.5
a, b: Gewicht 1
c: Gewicht 2

Aufgabe 6 Philosophische Grundlagen (8 Punkte)

Erklären Sie das Chinese Room Argument und eine mögliche Erwiderung Ihrer Wahl.

In einem Raum sitzt jemand, der kein chinesisch versteht. Er kann mit schriftlichen Nachrichten durch einen Briefschlitz mit der Aussenwelt kommunizieren. Jede schriftliche Eingabe wird mit Hilfe eines (englischen) Regelbuchs bearbeitet, das angibt, wie die Zeichen auf der Eingabe in Zeichen auf der Ausgabe transformiert werden sollen. Die Ausgabe wird dann durch den Briefschlitz zurückgegeben.
Das Szenario ist dem Turing-Test nachempfunden. Searle möchte damit zeigen, daß, selbst wenn aus dem Raum perfekte Antworten kommen, d.h. das System den Turing-Test bestehen würe, es klar ist, daß nichts in dem Raum chinesisch versteht, d.h. daß hier keine "Intentionalität" vorhanden sein kann, die seiner Ansicht nach Intelligenz bedingt. Der Turing-Test ist daher, laut Searle, nicht zuläßig.
Dagegen könnte man, z.B., einwenden, daß ja auch in menschlichen Gehirnen kein Einzelteil Verständnis hat, das Gesamtsystem jedoch schon. Analog könnte man das System des Raums + Regelbuch + Person als Einheit betrachten, und sagen, daß dieses Verständnis hat.