



Grundlagen der künstlichen Intelligenz WS 07/08

Albayrak, Fricke (AOT) – Opper, Ruttor (KI)

Klausur

18.04.2008

Name, Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Studiengang: _____

Hinweise:

- Überprüfen Sie bitte, ob Sie alle **18** Seiten der Klausur erhalten haben.
- Bitte versehen Sie vor Bearbeitung der Klausur alle **18** Blätter mit Ihrer Matrikelnummer.
- Bitte nicht mit einem roten oder grünen Stift schreiben.
- Bitte keinen Bleistift, keinen Tintenkiller und kein Tipp-Ex benutzen.
- Die Vorder- und Rückseiten der Klausur dürfen verwendet werden.

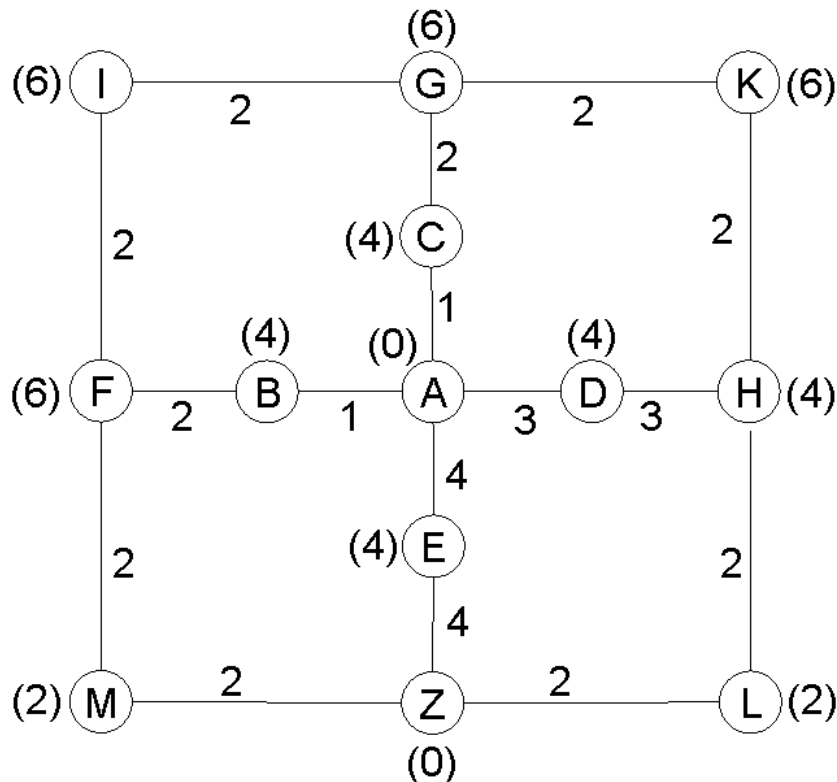
Dieser Teil ist zur Auswertung bestimmt und soll von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Klausur nicht ausgefüllt werden.

Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Aufgabe 6	Aufgabe 7	Summe
11 Punkte	14 Punkte	12 Punkte	13 Punkte	14 Punkte	16 Punkte	20 Punkte	100 Punkte

Matrikelnummer:

Aufgabe 1: (Suche)**(11 Punkte)**

Betrachten Sie folgenden Graphen. An den Kanten stehen die Wegkosten. Gesucht ist ein Weg von A nach Z. Die Zahlen in Klammern an den Knoten sind die Restwegschätzungen (Heuristiken) zum Knoten Z.



Es gelten die folgenden üblichen Annahmen: Die Heuristik ist zulässig. Das Suchverfahren speichert Teilpfade. Ein expandierter Knoten ist der letzte Knoten des Teilpfads, der aus dem Stack bzw. der Queue herausgeholt wird. Das Ziel ist erreicht, wenn Z expandiert wird. Für den Fall, dass der nächste zu expandierende Knoten nicht eindeutig bestimmbar ist, werden die betroffenen Knoten in alphabetischer Reihenfolge expandiert. Zyklen werden vermieden.

1a) Breitensuche (Breadth First Search)**(2 Punkte)**

Geben Sie die Reihenfolge der expandierten Knoten bei einer Breitensuche an.

1b) Tiefensuche (Depth First Search)**(2 Punkte)**

Geben Sie den *Lösungspfad* einer Tiefensuche an.

Punkte

Matrikelnummer:

1d) A*

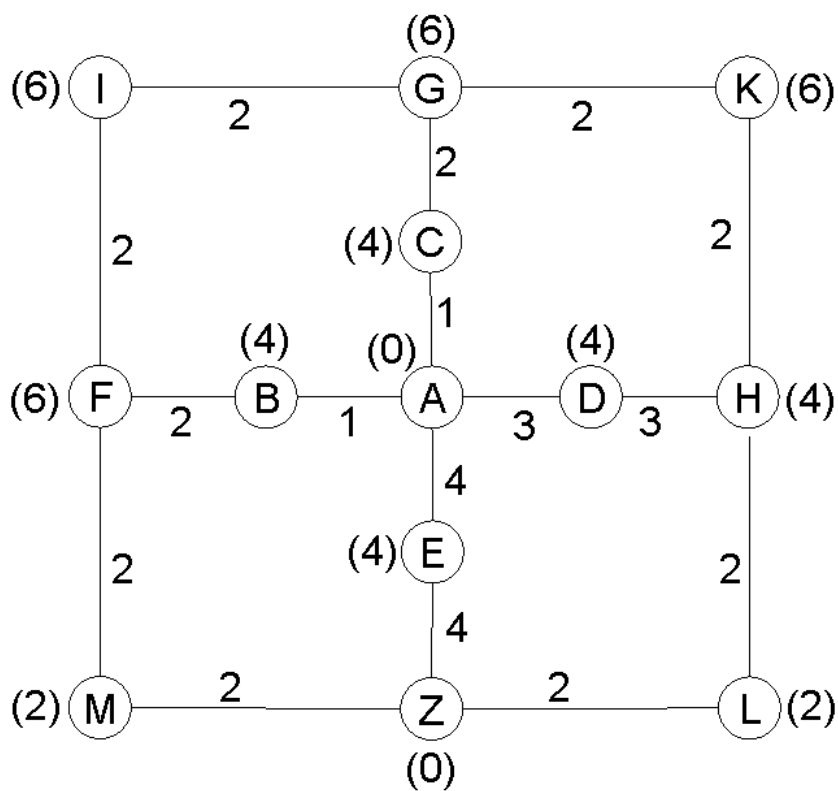
(7 Punkte)

Geben Sie die Reihenfolge der expandierten Knoten bei einer A*-Suche an (die Bewertungen müssen Sie nicht aufschreiben).

Wie lautet der Lösungsweg der A*-Suche?

Wie viele Pfade befinden sich in der Queue, nachdem A* die Lösung gefunden hat?

Hier steht noch einmal der Graph zur Aufgabe1:

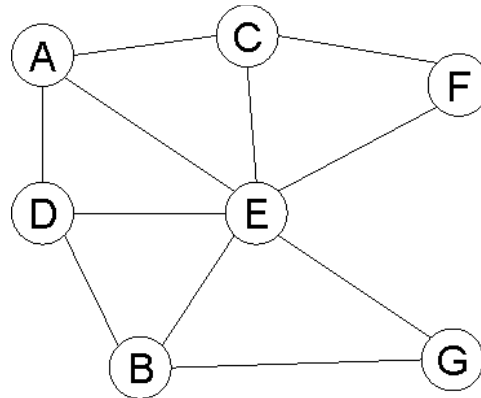


Punkte	
--------	--

Matrikelnummer:

Aufgabe 2: Constraints**(14 Punkte)**

Betrachten Sie folgendes Färbeproblem:



Die Knoten repräsentieren Constraintvariablen, die mit den Farben Rot, Gelb und Blau so zu färben sind, dass benachbarte Variablen jeweils unterschiedliche Farben tragen. Die Kanten zwischen den Knoten stellen also Ungleichheitsconstraints dar. Zusätzlich gilt: E muss blau und A muss gelb gefärbt sein.

Es ergeben sich also die folgenden initialen Wertebereiche für die Variablen:

A	B	C	D	E	F	G
{G}	{R,G,B}	{R,G,B}	{R,G,B}	{B}	{R,G,B}	{R,G,B}

2a) MRV- und MCV-Heuristik**(2 Punkte)**

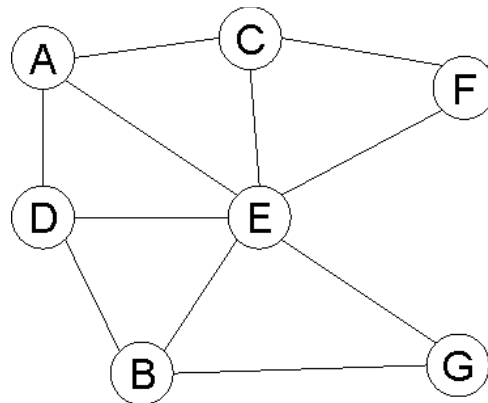
Bestimmen Sie nun die Variablenbelegungsreihenfolge, indem Sie die Heuristik „minimum remaining values“ (MRV) und als Tie-Breaker die „most constrained variable“ (MCV)-Heuristik anwenden. Wenn danach immer noch keine eindeutige Reihenfolge vorliegt, sollen die betroffenen Variablen in alphabetischer Reihenfolge belegt werden.

Tragen Sie hier die Reihenfolge der Variablen ein:

Punkte

Matrikelnummer:

Hier ist das Färbeprobem noch einmal dargestellt:



2b) Backtracking mit Forward Checking

(8 Punkte)

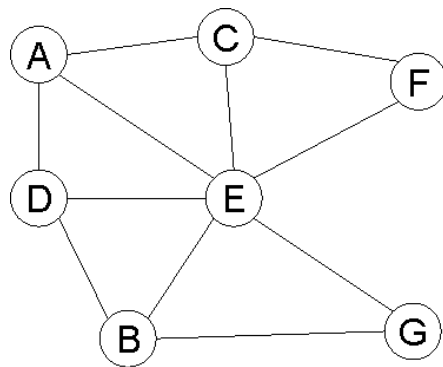
Lösen Sie das Färbeprobem mittels Backtracking und Forward Checking. Belegen Sie dazu die Variablen in der in 2a) berechneten Reihenfolge. (Wenn Sie 2a) nicht gelöst haben, wählen Sie eine beliebige Reihenfolge). Belegen (expandieren) Sie die Werte immer in folgender Reihenfolge: zuerst **B**, danach **R**, zuletzt **G**. Die Variablen A und E haben natürlich nur einstellige Wertebereiche {G} bzw. {B}. Nach jeder Variablenbelegung führen Sie Forward Checking durch. Stoppen Sie bei der ersten Lösung, sofern eine existiert.

Zeichnen Sie hier den Suchbaum und notieren Sie dazu jeweils die durch Forward Checking eingeschränkten Domains:

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

Hier ist das Färbproblem noch einmal dargestellt:



2c) 2-Konsistenz (Arc Consistency)

(4 Punkte)

Überführen Sie das CSP in einen 2-konsistenten Zustand. Führen Sie dazu Constraintpropagierung im initialen Zustand (mit den Wertebereichen wie in 2a) durch. Tragen Sie in der 3. Zeile „Ergebnis“ der Tabelle die Domains der Constraintvariablen nach der Propagierung ein. Die 2. Zeile „Domains“ der Tabelle können Sie dazu verwenden, um ungültige Werte auszustreichen.

Variablen	A	B	C	D	E	F	G
Domains	{G}	{R, G, B}	{R, G, B}	{R, G, B}	{B}	{R, G, B}	{R, G, B}
Ergebnis:							

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

Aufgabe 3: (Planen)**(12 Punkte)****3a) Planoperatoren****(5 Punkte)**

In der Blockswelt haben wir die Prädikate `clear/1`, `on/2` und `ontable/1` und die Operatoren `puttable` (Block von Stapel auf Tisch legen) und `put` in 2 Varianten (Block vom Tisch auf einen Stapel legen und Block von einem Stapel auf einen anderen Stapel legen).

Betrachten Sie nun die folgende Variante der Blockswelt, die die Prädikate `clear/1` und `on/2` nutzt, aber ohne `ontable/1` auskommt. Dabei drückt `on(x,y)` den Sachverhalt "Block x liegt auf y" aus. Hierbei kann y entweder ein anderer Block oder aber der Tisch sein. Die Blocksweltvariante kennt nur einen Operator `move`, der wie folgt definiert ist:

ACT `move (b, x, y)` // bewege b von x nach y

PRE: `on (b, x), clear (b), clear (y)`

ADD: `on (b, y), clear (x)`

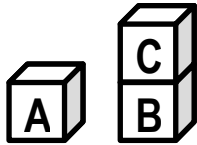
DEL: `clear (y), on (b, x)`

Ist die Blocksweltvariante eine vollständige und korrekte Repräsentation der Blockswelt? Begründen Sie Ihre Antwort.

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:**3b) Relevante und konsistente Aktionen****(5 Punkte)**

In der Blockswelt mit 3 Blöcken A, B und C und den Operatoren $put(x, y)$ (lege Block x auf Block y) und $puttable(x)$ (lege Block x von einem Stapel direkt auf den Tisch) seien Anfangszustand A und Zielzustand Z folgendermaßen definiert:



A: $ontable(B)$, $ontable(A)$, $on(C,A)$, $clear(A)$, $clear(C)$



Z: $on(B,A)$, $on(C,B)$

Welche der nachfolgend aufgeführten Aktionen, angewendet auf den Anfangszustand, sind relevant, welche konsistent? Kreuzen Sie die richtigen Antworten an.

Aktion	relevant?		konsistent?	
$puttable(C)$	ja <input type="radio"/>	nein <input type="radio"/>	ja <input type="radio"/>	nein <input type="radio"/>
$put(A, C)$	ja <input type="radio"/>	nein <input type="radio"/>	ja <input type="radio"/>	nein <input type="radio"/>
$put(C, A)$	ja <input type="radio"/>	nein <input type="radio"/>	ja <input type="radio"/>	nein <input type="radio"/>

3c) Rückwärtsplaner**(2 Punkte)**

Die Aufgabenstellung 3b) soll von einem Rückwärtsplaner (regression planner) gelöst werden.

Beantworten Sie die folgende Frage in ein oder 2 Sätzen: Welche Probleme ergeben sich dabei für einen Rückwärtsplaner?

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

Aufgabe 4: (Prädikatenlogik, Resolution)**(13 Punkte)****4a) Wissensrepräsentation in Prädikatenlogik****(4 Punkte)**

Für den Aufbau einer Wissensbasis über Äpfel stehen Ihnen die folgenden Prädikate mit den dahinter stehenden Bedeutungen zur Verfügung. (In Klammern stehen jeweils englische Übersetzungen.)

$G(x)$: x ist gelb (x is yellow)
$R(x)$: x ist rot (x is red)
$A(x)$: x ist ein Apfel (x is an apple)
$F(x)$: x ist eine Frucht (x is a fruit)
$S(x)$: x schmeckt gut (x is delicious)
$B(x, y)$: x schmeckt besser als y (x is more delicious than y)

Übersetzen Sie nun jeden der folgenden Sätze in jeweils *eine* Formel in Prädikatenlogik unter Verwendung der oben aufgeführten Prädikate G, R, A, F, S und B.

- (1) Ein Apfel ist eine Frucht. (An apple is a fruit)
- (2) Alle gelben Äpfel schmecken gut. (All yellow apples are delicious)
- (3) Nicht alle Früchte sind Äpfel. (Not all fruits are apples)
- (4) Die am besten schmeckende Frucht ist ein Apfel. (The most delicious fruit is an apple)
- (5) Einige rote Früchte schmecken besser als einige gelbe Früchte. (Some red fruits are more delicious than some yellow fruits)

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

4b) Resolution**(9 Punkte)**

Es gelten die 3 folgenden Sätze und ihre prädikatenlogischen Übersetzungen ...

(a) Alle immatrikulierten Studierenden sind fleißig: $\forall x (I(x) \Rightarrow F(x))$ (b) Einige Immatrikulierten studieren: $\exists x (I(x) \wedge S(x))$

(c) Wenn ein Studierender fleißig ist und studiert, wird er das Examen bestehen:

$$\forall x (I(x) \wedge F(x) \wedge S(x) \Rightarrow B(x))$$

... unter Verwendung der folgenden 4 Prädikate:

 $I(x)$: x ist immatrikulierter Studierender; $F(x)$: x ist fleißig; $B(x)$: x besteht das Examen; $S(x)$: x studiert.

Zur Ihrer Erleichterung sind die Sätze (a) bis (c) bereits in konjunktive Normalform gebracht worden. Es ergibt sich folgende Wissensbasis mit 4 Klauseln:

K1: $\{ \neg I(x), F(x) \}$

K2: $\{ I(c) \}$

K3: $\{ S(c) \}$

K4: $\{ \neg I(x), \neg F(x), \neg S(x), B(x) \}$

Jemand stellt nun folgende Behauptung auf:

(d) Mindestens ein Studierender wird das Examen bestehen: $\exists x (I(x) \wedge B(x))$

Beweisen Sie mittels Resolution, dass (d) eine logische Folgerung von (a) bis (c) ist. Gestalten Sie Ihre Schritte nachvollziehbar.

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

Hier steht noch einmal die Wissensbasis in KNF für die Sätze (a) bis (c):

$$\{\neg I(x), F(x)\} \quad \{I(c)\} \quad \{S(c)\} \quad \{\neg I(x), \neg F(x), \neg S(x), B(x)\}$$

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

Aufgabe 5: (Probabilistische Inferenz)

(14 Punkte)

Der Roboter Robby hat gerade *Gefahr* signalisiert (Ereignis G). Sie versuchen nun festzustellen, ob dies ein falscher Alarm ist, der ignoriert werden kann. Ihnen steht folgendes Wissen über Robby zur Verfügung:

- Wenn seine Batterien leer sind (Ereignis B), meldet Robby fälschlicherweise *Gefahr* an einem sicheren Tag (Ereignis S) mit der Wahrscheinlichkeit 75%.
- Leere Batterien führen auch dazu, dass ein Alarm (G) an einem gefährlichen Tag ($\neg S$) nur mit der Wahrscheinlichkeit 75% ausgelöst wird.
- Wenn die Batterien ausreichend geladen sind ($\neg B$), sind Robbys Meldungen absolut zuverlässig.
- Die Batterien wurden in letzter Zeit nicht aufgeladen, so dass sie mit einer Wahrscheinlichkeit von 25% leer sind.

Nehmen Sie außerdem an, dass der Anteil der sicheren Tage 90% beträgt und jeder Tag unabhängig von allen anderen ist.

5a) Bayes-Netz

(2 Punkte)

Zeichnen Sie ein Bayes-Netz, das zu diesem Modell passt und eine Auswertung ohne zusätzliche Informationen erlaubt!

5b) Wahrscheinlichkeitsverteilung

(2 Punkte)

Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass zwischen zwei gefährlichen Tagen eine ununterbrochene Folge von k sicheren Tagen vergeht?

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

5c) Inferenz**(6 Punkte)**

Zeigen Sie, wie die Wahrscheinlichkeit $P(S|G)$, die Sie zur Beurteilung der Situation benötigen, allgemein berechnet werden kann!

5d) Entscheidung**(4 Punkte)**

Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit für einen falschen Alarm? Sollten Sie Robbys Meldung wegen $P(S|G) > P(\neg S|G)$ ignorieren?

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

Aufgabe 6: Naiver Bayes-Klassifikator**(16 Punkte)**

Einer Reihe von Objekten soll eine boolesche Zufallsvariable $Y \in \{w, f\}$ zugeordnet werden. Zur Klassifikation können m verschiedene sichtbare boolesche Merkmale $X_1, X_2, \dots, X_m \in \{w, f\}$ verwendet werden, die bei gegebenem Y bedingt unabhängig voneinander sind.

6a) Wahrscheinlichkeitsverteilung**(2 Punkte)**

In einer Trainingsfolge bestehend aus n Objekten tritt die Klassifikation $Y=w$ k -mal auf. Geben Sie die Likelihood dieser Beobachtung als Funktion von n , k und $P(Y=w)=p$ an!

6b) Schätzung einer Wahrscheinlichkeit**(4 Punkte)**

Welcher Wert des Parameters p maximiert den Logarithmus der Likelihood bei vorgegebener Trainingsfolge?

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

6c) Likelihood der Merkmale

(4 Punkte)

Im Trainingsdatensatz gibt es a_i Beispiele mit $X_i = w$ und $Y = w$, sowie b_i Beispiele mit $X_i = w$ und $Y = f$. Berechnen Sie nun die Likelihood unter Einbeziehung der sichtbaren Merkmale als Funktion der Parameter $P(X_i = w|Y = w) = \alpha_i$ und $P(X_i = w|Y = f) = \beta_i$!

6d) Maximum-Likelihood-Hypothese

(6 Punkte)

Finden Sie durch Ableiten der Log-Likelihood die zu diesen Beobachtungen gehörende Maximum-Likelihood-Hypothese für die Parameter α_i , β_i und p !

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

Aufgabe 7: Hidden-Markov-Modell**(20 Punkte)**

Bei der Spracherkennung werden Wortmodelle eingesetzt, um die Wahrscheinlichkeit von Wortfolgen zu berechnen. Um die Grammatik besser berücksichtigen zu können, wird zwischen einer Folge von Wortarten x_1, x_2, x_3, \dots und der tatsächlich beobachteten Folge von Wörtern y_1, y_2, y_3, \dots unterschieden. Ein solches Modell für einen englischen Satz, der mit einem Subjekt beginnt, ist in den folgenden zwei Tabellen (stark vereinfacht) angegeben:

x_i	x_{i+1}	$P(x_{i+1} x_i)$
Subjekt	Verb	0.8
Subjekt	Hilfsverb	0.2
Verb	Artikel	0.5
Verb	Adverb	0.2
Verb	Satzende	0.3
Hilfsverb	Adjektiv	1.0
Artikel	Nomen	1.0
Adverb	Adverb	0.2
Adverb	Satzende	0.8
Adjektiv	Adverb	0.2
Adjektiv	Satzende	0.8
Nomen	Adverb	0.2
Nomen	Satzende	0.8

x_i	y_i	$P(y_i x_i)$
Subjekt	He	0.5
Subjekt	She	0.5
Verb	is	0.5
Verb	shoots	0.5
Hilfsverb	is	0.8
Hilfsverb	seems	0.2
Artikel	the	1.0
Adjektiv	unwell	0.5
Adjektiv	well	0.5
Adverb	well	0.5
Adverb	badly	0.5
Nomen	duck	0.6
Nomen	well	0.4

7a) Übergangsdiagramm**(2 Punkte)**

Stellen Sie das Modell für die Satzstruktur in einem Übergangsdiagramm graphisch dar! Berücksichtigen Sie dabei nur die Wortarten x_i , aber nicht die Wörter y_i !

Punkte

Matrikelnummer:

7b) Likelihood

(4 Punkte)

Kann in diesem Modell der Satz „He shoots the unwell well badly.“ auftreten?
Begründen Sie!

7c) MAP-Hypothese

(8 Punkte)

Das dritte Wort des aus vier Wörtern bestehenden Satzes „She is ... well.“ wurde nicht erkannt. Wie lautet die wahrscheinlichste Ergänzung? Geben Sie auch an, wie sicher dieses Ergebnis ist!

Punkte	
---------------	--

Matrikelnummer:

7d) Satzlänge

(4 Punkte)

Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit für einen Satz, der aus genau drei Wörtern besteht?

7e) Kombinatorik

(2 Punkte)

Bestimmen Sie die Anzahl der im Modell enthaltenen Sätze, die ein Hilfsverb, aber kein Adverb enthalten!

Punkte	
---------------	--