Technische Universität Berlin
Fakultät IV - Elektrotechnik und Informatik

Künstliche Intelligenz: Grundlagen und Anwendungen

WS 2010/2011

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

Schriftlicher Test - Teilklausur 1

11.12.2010

Name, Vorname:____

Matrikelnummer:____

Studiengang:____

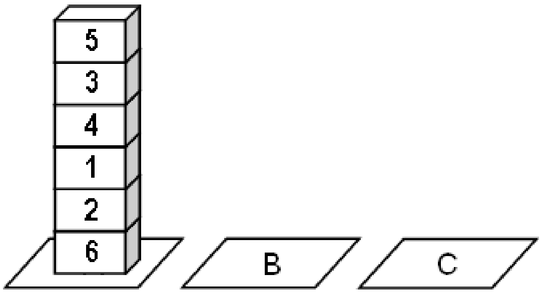
Hinweise:
- Überprüfen Sie bitte, ob Sie alle **14** Seiten der Klausur erhalten haben.
- Bitte versehen Sie vor Bearbeitung der Klausur alle Seiten mit Ihrer Matrikelnummer.
- Bitte nicht mit einem roten oder grünen Stift schreiben.
- Bitte keinen Bleistift, Tintenkiller und auch kein Tipp-Ex benutzen.
- Vorder- und Rückseiten der Klausur und die leere Seite 13 dürfen verwendet werden.
- Den Anhang (Seite 14) dürfen Sie abtrennen. Sie müssen ihn nicht abgeben.

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

Aufgabe 1 20 Punkte	**Aufgabe 2** 15 Punkte	**Aufgabe 3** 10 Punkte	**Aufgabe 4** 5 Punkte	**Aufgabe 5** 20 Punkte	**Aufgabe 6** 30 Punkte	**Summe** 100

Aufgabe 1 – Suchproblem (20 Punkte)

Auf drei Plätzen (A, B, C) können Sie Kisten stapeln. Auf jeden Platz passt maximal ein Stapel beliebiger Höhe. Betrachten Sie die in der Abbildung dargestellte Situation: Auf Platz A steht ein Stapel mit 6 Kisten in der Reihenfolge von oben nach unten: 5, 3, 4, 1, 2, 6. Ihre Aufgabe ist es, den Stapel aufsteigend zu sortieren, sodass Kiste 1 oben und Kiste 6 unten liegt. Dabei ist es egal, auf welchem Platz der sortierte Stapel steht. Als einziges Hilfsmittel haben Sie einen Roboter, der die obersten 1 oder 2 Kisten eines Stapels auf einen anderen Platz oder Stapel legen kann. Als weitere Randbedingung setzen wir uniforme Aktionskosten voraus.



a) (10 Punkte)

Formulieren die Aufgabe als Suchproblem. Wählen Sie eine Problemformulierung, die hinreichend präzise für eine Implementierung ist (Datenstrukturen oder formale Notation). Hinweis: Bei guter Repräsentation sind Aufgabe 1b) und c) mit wenig Aufwand lösbar.

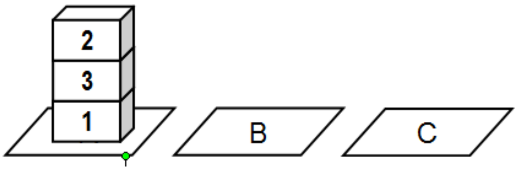
b) (2 Punkte)

Welche Folgezustände sind vom Anfangszustand erreichbar? Zeichnen Sie den Suchbaum bis zur Tiefe=1.

c) (8 Punkte)

Führen Sie eine A*-Suche für das unten links dargestellte Problem mit 3 Kisten durch. Verwenden Sie dazu Ihre Suchproblembeschreibung aus a) mit folgender Heuristik:

h(x) = B + S – 1, wobei
B: Anzahl aufeinander liegenden Blockpaare in nicht in korrekter Reihenfolge (oberer Block ≠ unterer Block – 1)
S: Anzahl der nicht leeren Stapel.



Im dargestellten Problem errechnet sich h(x0) wie folgt: 3 liegt nicht korrekt auf 1 (aber 2 liegt korrekt auf 3), und es existiert nur ein Stapel, also ist h(x0)=1+1-1=1.

Schreiben Sie in jeder Iteration, jeweils vor einer Knotenexpandierung, die „*sortierte Liste*" auf. Beachten Sie die uniformen Aktionskosten. Beenden Sie Ihre Simulation nach der 2. Iteration.

Iteration 0:

Iteration 1:

Iteration 2:

Aufgabe 2 – Constraints (15 Punkte)

Betrachten Sie folgendes Zuordnungsproblem: Eine n x n Matrix ist mit n unterschiedlichen Symbolen so zu füllen, dass jedes Symbol exakt einmal in jeder Spalte und einmal in jeder Zeile vorkommt. Eine mögliche Lösung für das 3x3 Problem zeigt die neben stehende Abbildung.

1	2	3
3	1	2
2	3	1

Als CSP kann das n-dimensionale Zuordnungsproblem folgendermaßen definiert werden:

$\mathbf{M(i,j)} \in \mathbf{\{1, \dots, n\}}$ $(i,j \in \{1, \dots, n\})$	n^2 Matrix-Feldvariablen
$\forall i,j,k \in \{1, \dots, n\}$ mit $j \neq k$: $\mathbf{M(i,j) \neq M(i,k)}$	Ungleichheitsconstraints zwischen allen Feldern derselben Spalte
$\forall i,j,k \in \{1, \dots, n\}$ mit $j \neq k$: $\mathbf{M(j,i) \neq M(k,i)}$	Ungleichheitsconstraints zwischen allen Feldern derselben Reihe

Betrachten Sie nun das folgende 4 x 4 Zuordnungsproblem mit 3 vorgegebenen Belegungen M(1,4)=1, M(1,3)=2 und M(4,2)=3. In die noch nicht belegten Felder sind unten links die initialen Wertebereiche eingetragen.

4	1	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
3	2	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
2	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	3
1	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
	1	2	3	4

4	1			
3	2			
2				3
1				
	1	2	3	4

4	1			
3	2			
2				3
1				
	1	2	3	4

a) (7 Punkte)

Überführen Sie das abgebildete 4 x 4 Zuordnungsproblem in einen 2-konsistenten Zustand, indem Sie alle nicht konsistenten Werte in der Abbildung oben links durchstreichen. (Falls Sie sich verschreiben, können Sie die rechts daneben stehenden Abbildungen verwenden und dort die konsistenten Werte eintragen.)

b) (2 Punkte)

Nutzen Sie nun geeignete Heuristik(en), um im 2-konsistenten Zustand die nächste zu belegende Variable zu bestimmen. Begründen Sie Ihre Wahl.

c) (6 Punkte)

Belegen Sie die gemäß b) bestimmte Variable mit dem kleinst möglichen Wert und führen Sie eine Propagierung mittels Forward Checking durch. Notieren Sie die veränderten Wertebereiche der betroffenen Variablen.

Aufgabe 3 – Prädikatenlogik (10 Punkte)

Formulieren Sie folgende Sätze in Prädikatenlogik. (je 2 Punkte)
Verwenden Sie sinnvolle Prädikate im Hinblick auf eine möglichst „offene", erweiterbare Modellierung. Erklären Sie die prädikatenlogischen Symbole, falls Sie Abkürzungen verwenden.

a) Es gibt exakt 2 Aufgabenblätter.

b) Kein Aufgabenblatt ist unlösbar.

c) Jeder Studierende, der alle Aufgabenblätter löst, bekommt einen Schein.

d) Jeder Studierende gibt mindestens zwei Aufgabenblätter ab.

e) Es gibt keinen Studierenden, der allen Kommilitonen die Lösung verrät.

Aufgabe 4 – Resolventen bilden (5 Punkte)

Bilden Sie alle möglichen Resolventen der beiden Klauseln K1 und K2. Geben Sie dabei die Substitutionen mit an.
Hinweis: Sie brauchen keine frischen Variablen einzuführen.

$K1 = \{ \neg P(x,1,f(x)),\ \neg Q(x,x),\ \neg R(x,x) \}$
$K2 = \{ P(y,z,f(z)),\ Q(y,f(y)),\ R(1,y) \}$

Aufgabe 5 – Maschinelles Beweisen (20 Punkte)

Die folgenden 7 Sätze beschreiben einen Sachverhalt, …

1. Alle Gegenstände, die schwer sind, gehen im Wasser unter.
2. Alles aus Metall ist schwer.
3. Alles was rostet ist aus Metall.
4. Alles was die gleiche Farbe hat wie etwas das rostet, rostet ebenfalls.
5. Dieser Anker ist ein Gegenstand.
6. Dieser Anker hat die gleiche Farbe wie diese Schraube.
7. Diese Schraube rostet.

… der in Prädikatenlogik (mit Konstanten {A1,S1}, Variablen {x,y} und Prädikaten {G, M, S, R, GU, GF}) folgendermaßen repräsentiert wird:

1. $\forall x\ G(x) \land S(x) \rightarrow GU(x)$
2. $\forall x\ M(x) \rightarrow S(x)$
3. $\forall x\ R(x) \rightarrow M(x)$
4. $\forall x\ \forall y\ R(x) \land GF(x, y) \rightarrow R(y)$
5. $G(A1)$
6. $GF(S1, A1)$
7. $R(S1)$

Sie sollen nun die folgende Frage zu beantworten: …

8. Geht dieser Anker im Wasser unter?

… die in Prädikatenlogik folgendermaßen repräsentiert wird:

8. $GU(A1)$

a) (2 Punkte)

Beschreiben Sie die Schritte, die Sie durchführen müssen, um die Frage 8 mittels eines Widerspruchsbeweises zu beantworten.

b) Führen Sie den Widerspruchsbeweis (18 Punkte)
Bemerkung: Wenn Sie aufgrund eines Fehlers nicht zur Lösung gelangen, dann sollten Sie zumindest demonstrieren, dass Sie die entsprechenden Schritte und Techniken verstanden haben.

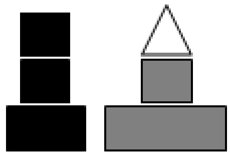
Aufgabe 6 – Planung (30 Punkte)

In der folgenden Variante der Blockswelt sollen Sie Häuser bauen. Dazu stehen Ihnen in mehrere *Bausteine* in unterschiedlichen Varianten zur Verfügung: *Blöcke* in unterschiedlichen Größen und Farben sowie *Dächer* in unterschiedlichen Größen (Farben sind für Dächer unwichtig). *Blöcke* sind stapelbar, mit folgenden 2 Einschränkungen:

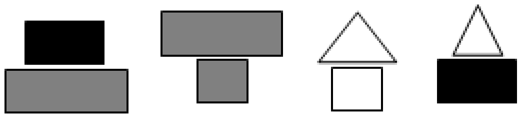
(1) Auf einen *Block* darf ein anderer *Block* gelegt werden, wenn er dieselbe Farbe hat, und
(2) wenn der obere Block gleich groß oder kleiner ist als der untere *Block*.

Für *Dächer* gelten folgende Einschränkungen:
(3) Ein *Dach* darf nur auf einen *Block* derselben Größe gelegt werden, und
(4) auf ein *Dach* darf kein weiterer *Baustein* (*Block* oder *Dach*) gelegt werden.

Mit anderen Worten, es können beliebig hohe einfarbige Häuser mit und ohne Dach gebaut werden, die sich nach oben hin gegebenenfalls pyramidenartig verjüngen können. Rechts sind 2 korrekte Häuser der Größe 3 abgebildet. Übrigens ist auch ein Dach ein Haus (der Größe 1).

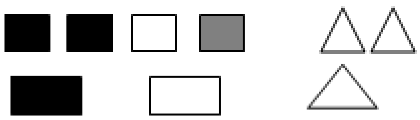


Unten stehen 4 ungültige Konfigurationen: a) verletzt die Farbregel, b) verletzt die Pyramidenform, in c) und d) passt die Größe des Dachs nicht auf den darunter liegenden Block.



a) b) c) d)

Betrachten Sie nun folgende Situation mit einem Baukasten, der 4 kleine und 2 große Blöcke in drei unterschiedlichen Farben enthält, und außerdem 2 kleine und ein großes Dach. Dieses Problem sollen Sie nun in STRIPS modellieren und lösen.



a) (6 Punkte)

Definieren Sie geeignete Konstanten und Prädikate. Achten Sie dabei auf größtmögliche Flexibilität: Ihre Modellierung sollte problemlos um weitere Bausteine in anderen Größen und Farben erweiterbar sein.
Erklären Sie ihre Konstanten und Prädikate, falls Sie Abkürzungen verwenden.

b) (3 Punkte)

Beschreiben Sie den Startzustand S_0.
Bemerkung: Wiederholungen dürfen Sie mit „…“ abkürzen.

c) (3 Punkte)

Beschreiben Sie den Zielzustand S_Z eines Hauses mit 2 kleinen Blöcken plus Dach.
Bemerkung: Sie dürfen Variablen verwenden!

d) (12 Punkte)

Formulieren Sie STRIPS-Aktionsschemata zum Bauen beliebiger Häuser unter Berücksichtigung der Einschränkungen (1) bis (4).

e) (1 Punkt)

Geben Sie einen Lösungsplan für den Zielzustand S_Z an.

f) (5 Punkte)

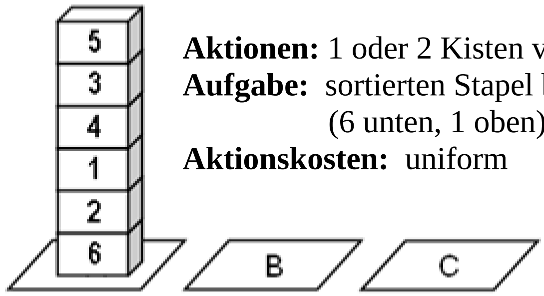
Rückwärtsplanung: Wie viele Aktionen führen in den Zielzustand S_Z? [1]
Geben Sie den Vorgängerzustand S_{Z-1} einer dieser Aktionen an.

[1] Zählen Sie alle relevanten und konsistenten Aktionen, die (mindestens) eines der Teilziele von S_{Za} erfüllen. Falls das sehr viele sein sollten, genügt eine Abschätzung und kurze Erläuterung.

(leere Seite für Ihre Bearbeitungen)

Anhang – darf abgetrennt werden

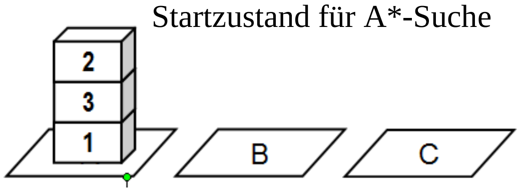
Aufgabe 1 a)



Aktionen: 1 oder 2 Kisten versetzen
Aufgabe: sortierten Stapel bilden
(6 unten, 1 oben)
Aktionskosten: uniform

1b)

Startzustand für A*-Suche



Aufgabe 2: CSP

4	1	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
3	2	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
2	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	3
1	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
	1	2	3	4

4	1			
3	2			
2				3
1				
	1	2	3	4

Variablen:
M(i,j) ∈ {1 … n} (i,j ∈ {1 … n})

Constraints:
∀i,j,k ∈ {1, …, 4} mit j ≠ k:
M(i,j) ≠ M(i,k)

∀i,j,k ∈ {1, …, 4} mit j ≠ k:
M(j,i) ≠ M(k,i)

Aufgabe 4: Alle möglichen Resolventen bilden

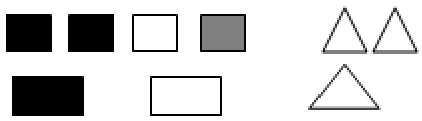
K1 = { ¬P(x,1,f(x)), ¬Q(x,x), ¬R(x,x) }
K2 = { P(y,z,f(z)), Q(y,f(y)), R(1,y) }

Aufgabe 5: Maschinelles Beweisen

1. $\forall x\ G(x) \land S(x) \rightarrow GU(x)$
2. $\forall x\ M(x) \rightarrow S(x)$
3. $\forall x\ R(x) \rightarrow M(x)$
4. $\forall x\ \forall y\ R(x) \land GF(x, y) \rightarrow R(y)$
5. G(A1)
6. GF(S1, A1)
7. R(S1)

Aufgabe 6: Planung

6 Blöcke in 2 Größen und 3 Farben, 3 Dächer in 2 Größen.



- nur Blöcke gleicher Farbe stapeln;
- gleichgroße Blöcke stapeln oder
- kleinere Blöcke auf größere legen;
- Dach passender Größe kann nur ganz oben sein