KIT-Fakultät für Informatik
Prof. Dr.-Ing. Tamim Asfour

Aufgabenblätter zur Klausur

Robotik I: Einführung in die Robotik

am 29. Juli 2019, 14:00 – 15:00 Uhr

- Beschriften Sie bitte gleich zu Beginn jedes Lösungsblatt deutlich lesbar mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer.
- Diese Aufgabenblätter werden nicht abgegeben. Tragen Sie Ihre Lösung deshalb ausschließlich in die für jede Aufgabe vorgesehenen Bereiche der Lösungsblätter ein. Lösungen auf separat abgegebenen Blättern werden nicht gewertet.
- Außer Schreibmaterial sind während der Klausur keine Hilfsmittel zugelassen. Täuschungsversuche durch Verwendung unzulässiger Hilfsmittel führen unmittelbar zum Ausschluss von der Klausur und zur Note „nicht bestanden".
- Soweit in der Aufgabenstellung nichts anderes angegeben ist, tragen Sie in die Lösungsblätter bitte nur die Endergebnisse ein. Die Rückseiten der Aufgabenblätter können Sie als Konzeptpapier verwenden. Weiteres Konzeptpapier können Sie auf Anfrage während der Klausur erhalten.
- Halten Sie Begründungen oder Erklärungen bitte so kurz wie möglich. (Der auf den Lösungsblättern für eine Aufgabe vorgesehene Platz steht übrigens in keinem Zusammenhang mit dem Umfang einer korrekten Lösung!)
- Die Gesamtpunktzahl beträgt 45 Punkte.

Viel Erfolg und viel Glück!

Aufgabe 1 *Rotationen* (4 Punkte)

1. Gegeben sei die Matrix $R \in \mathbb{R}^{3\times 3}$. Handelt es sich bei R um eine Rotationsmatrix? Beweisen Sie Ihre Antwort. 3 P.

$$R = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

2. Gegeben sei die homogone Transformationsmatrix $T \in \mathbb{R}^{4\times 4}$. Geben Sie den Translationsvektor t und Rotationsmatrix R an, aus denen sich T zusammen setzt. 1 P.

$$T = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Aufgabe 2 *Kinematik* (7 Punkte)

Gegeben ist die Vorwärtskinematik eines Roboterarms $f(\theta_1, \theta_2) = (x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)^T$ mit zwei Rotationsgelenken. Die Länge der Roboterarmelemente L ist konstant.

$$\begin{aligned} x_1 &= L \cdot cos(\theta_1) + L \cdot cos(\theta_1 + \theta_2) \\ x_2 &= L \cdot sin(\theta_1) + L \cdot sin(\theta_1 + \theta_2) \\ x_3 &= 0 \\ \alpha &= 0 \\ \beta &= 0 \\ \gamma &= \theta_1 + \theta_2 \end{aligned}$$

1. Welche Dimension besitzt die Jacobi-Matrix des Roboterarms? 1 P.

2. Berechnen Sie die Jacobi-Matrix. Geben Sie den Rechenweg an. 3 P.

3. Bestimmen Sie mit Hilfe der Jacobi-Matrix die Geschwindigkeit des Endeffektors v für die Konfiguration $\theta = (\theta_1, \theta_2)^T = (90°, 0°)^T$ und die Gelenkwinkelgeschwindigkeiten $\dot{\theta} = (\dot{\theta_1}, \dot{\theta_2})^T = (0, 1)^T$. 3 P.

Aufgabe 3 *Dynamik* (5 Punkte)

Das dynamische Modell beschreibt die Beziehungen zwischen Kräften/Momenten und den Lagen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen und wird für einen Roboter wie folgt angegeben:

$$\tau = M(q) \cdot \ddot{q} + c(q, \dot{q}) + g(q) \, .$$

Dabei stellen q, $\dot{q}$ und $\ddot{q}$ die generalisierten Positionen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen dar.

1. Was beschreiben die Größen τ, $M(q)$, $c(q, \dot{q})$ und $g(q)$ in der obigen Gleichung. **2 P.**

2. In der Vorlesung haben Sie zwei Methoden zur Modellierung der Dynamik kennengelernt: Die Lagrange-Methode und die Rekursive Newton-Euler (RNE) Methode.

   (a) Die Funktionsweise der RNE-Methode ist in der Abbildung auf dem Lösungsblatt dargestellt, jedoch ist diese fehlerhaft. Markieren Sie alle Fehler und korrigieren Sie diese. (Anmerkung: Die Korrektur muss eindeutig einem Fehler zugewiesen werden können.) **2 P.**

   (b) Nennen Sie zwei Vorteile der Newton-Euler Methode gegenüber der Lagrange-Methode. **1 P.**

Aufgabe 4 *Bewegungsplanung* (6 Punkte)

In dieser Aufgabe bezieht sich die Optimalität eines Pfades immer auf die Pfadlänge.

1. Gegeben sei der im Lösungsblatt dargestellte Arbeitsraum mit einem quadratischen Roboter R. Zeichnen Sie den Sichtgraphen für die Planung eines Pfades von q_s nach q_z. Der Referenzpunkt des Roboters liegt in der linken oberen Ecke des Quadrats. **3 P.**

2. Wann entspricht der kürzeste Weg durch den Sichtgraphen dem optimalen Weg von q_s nach q_z? **1 P.**

3. Ist der kürzeste Weg durch einen Sichtgraphen in $\mathbb{R}^3$ optimal? Begründen Sie Ihre Antwort. **1 P.**

4. Was ist der grundlegende Unterschied zwischen Probabilistic Roadmaps (PRMs) und Dynamic Roadmaps (DRMs)? **1 P.**

Aufgabe 5 *Greifen* (6 Punkte)

Gegeben ist ein planarer Griff (2D) mit folgenden Wrenches in der Form $w = (f_x, f_y, \tau)$:

$$
\begin{aligned}
w_1 &= (-2,-1,0), & w_2 &= (1,2,1) \\
w_3 &= (-1,1,0), & w_4 &= (1,1,0) \\
w_5 &= (-1,1,1), & w_6 &= (1,-1,2)
\end{aligned}
$$

1. Zeichnen Sie die 2D-Projektion des *Grasp Wrench Space* (GWS) auf die (f_x, f_y)–Ebene und die (f_y, τ)–Ebene in die vorgegebenen Koordinatensysteme im Lösungsblatt ein. Markieren Sie die Fläche innerhalb des GWS. 4 P.

2. Ist der Griff kraftgeschlossen? Begründen Sie ihre Antwort. 2 P.

Aufgabe 6 *Bildverarbeitung* (6 Punkte)

1. Gegeben sei ein RGB-Pixel mit den Werten $(R, G, B) = (60, 30, 30)$. Wandeln Sie den RGB-Pixel in die HSI-Repräsentation um. Die Formel für die Umwandlung eines RGB-Bildes in den HSI-Raum is gegeben durch: 1.5 P.

$$
\begin{aligned}
\theta &= \arccos\left(\frac{2R-G-B}{2\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}}\right) \\
H &= \begin{cases} \theta, & \text{falls B} < \text{G} \\ 360-\theta, & \text{sonst} \end{cases} \\
S &= 1 - \frac{3}{R+G+B}\min(R,G,B) \\
I &= \frac{1}{3}(R+G+B)
\end{aligned}
$$

2. Nennen Sie einen Vorteil der Darstellung im HSI-Farbraum gegenüber der Darstellung im RGB-Farbraum. 0.5 P.

3. Erklären Sie die Mophologischen Operatoren Öffnen (engl. Opening) und Schließen (engl. Closing) indem sie die einzelnen Teiloperationen aufzählen und deren Effekte auf ein Bild nennen. 2 P.

4. Gegeben sei folgendes Graustufen-Bild : 2 P.

$$
\begin{pmatrix}
0 & 255 & 255 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
255 & 255 & 255 & 255 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 & 255 \\
255 & 255 & 255 & 255 & 0 & 255 & 255 & 255 \\
255 & 255 & 255 & 255 & 0 & 255 & 255 & 255 \\
0 & 255 & 255 & 255 & 0 & 0 & 255 & 0
\end{pmatrix}
$$

Das strukturierende Element ist gegeben durch:

$$\begin{pmatrix} 255 & 255 & 255 \\ 255 & 255 & 255 \\ 255 & 255 & 255 \end{pmatrix}$$

Wenden Sie die Morphologische Operation *Öffnen* auf das Bild an. Ignorieren Sie im Ergebnisbild die Randpixel. Schreiben Sie die Ergebnisse aller Teilschritten auf.

Aufgabe 7 *Symbolisches Planen* (11 Punkte)

ARMAR-III befindet sich in der Küche vor dem Kühlschrank. Auf der Bar steht eine volle Packung Apfelsaft. Die Packung ist geschlossen. Außerdem befindet sich neben dem Herd ein leeres Glas. Die Aufgabe des Roboters besteht darin, dem Menschen ein volles Glas Apfelsaft zu bringen und dieses zu übergeben. Der Mensch befindet sich in der Mitte der Küche und will sich gar nicht bewegen. Der Initialzustand und der Zielzustand sind in Abbildung 1 veranschaulicht.

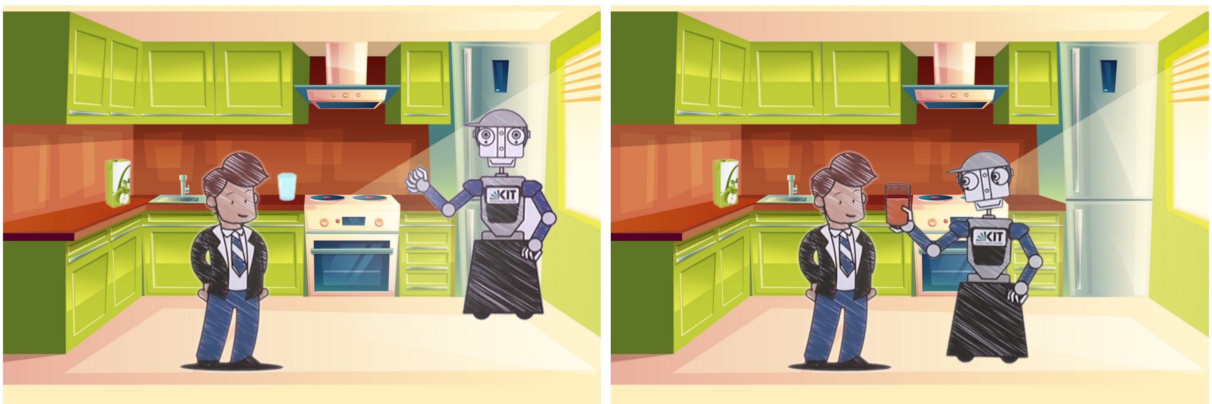

Abbildung 1: Initialzustand (links) und Zielzustand (rechts)

Erstellen Sie eine Beschreibung der Planungsdomäne in STRIPS, indem Sie die folgende Schritte durchführen:

1. Auf dem Lösungsblatt wurde die Liste der relevante Objekte, Agenten und Positionen dieses Problems begonnen. Vervollständigen Sie die Liste. 2 P.
2. Auf dem Lösungsblatt wurde die Liste der relevanten Prädikate dieses Problems begonnen. Vervollständigen Sie die Liste. 2 P.
3. Definieren Sie die Roboteraktionen `moveToPosition`, `grasp` und `handOver` mithilfe der Prädikate aus Teilaufgabe 7.2. 4.5 P.
4. Definieren Sie den Initialzustand und die Zielzustandsmenge (als Prädikatenmenge) mithilfe der Prädikate aus Teilaufgabe 7.2. 2.5 P.