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

Aufgabenblätter zur Klausur

Robotik I: Einführung in die Robotik

am 13. Juli 2021

- 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 *Quaternionen* (5 Punkte)

Gegeben sei die Quaternion $\boldsymbol{q} = (\frac{1}{\sqrt{2}}, 0, 0, -\frac{1}{\sqrt{2}})$.

1. Bestimmen Sie ein Paar $(\boldsymbol{u}, \theta)$, sodass $\boldsymbol{q}$ eine Rotation um den Winkel θ mit der Rotationsachse $\boldsymbol{u}$ beschreibt. $\boxed{\text{2 P.}}$
2. Bestimmen Sie die zu $\boldsymbol{q}$ inverse Quaternion $\boldsymbol{q}^{-1}$. $\boxed{\text{1 P.}}$
3. Wenden Sie die Rotation, die durch die Quaternion $\boldsymbol{q}$ beschrieben wird, auf den Punkt $\boldsymbol{p} = (0, -3, 0)$ an. $\boxed{\text{2 P.}}$

Aufgabe 2 *Kinematik* (6 Punkte)

Gegeben ist ein Roboter mit dem Konfigurationsraum $C \subseteq \mathbb{R}^2$ und dem Arbeitsraum $W \subseteq SE(3)$. Der Roboter besteht aus einem Rotationsgelenk θ_1 und einem Translationsgelenk d_2. Seine Konfiguration wird durch $\mathbf{q} = (\theta_1, d_2)$ beschrieben. Die Vorwärtskinematik ist definiert durch:

$$\mathbf{x} = f(\theta_1, d_2) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 100 \cdot \cos(\theta_1) \\ 100 \cdot \sin(\theta_1) \\ 50 + d_2 \\ 90^\circ \\ 60^\circ \\ \theta_1 \end{pmatrix}$$

1. Berechnen Sie die Jacobi-Matrix. Geben Sie den Rechenweg an. $\boxed{\text{3 P.}}$
2. Bestimmen Sie mit Hilfe der Jacobi-Matrix die Geschwindigkeit des Endeffektors $\dot{\mathbf{q}}$ für die Konfiguration $\boxed{\text{3 P.}}$

$$\mathbf{q} = (\theta_1, d_2)^T = (90^\circ, 20)^T$$

und die Gelenkwinkelgeschwindigkeiten

$$\dot{\mathbf{q}} = (\dot{\theta_1}, \dot{d_2})^T = (1, 100)^T.$$

Aufgabe 3 *Regelung* (6 Punkte)

1. Zeichnen Sie den grundlegenden Struktur eines Regelkreises. Beschriften Sie die einzelnen Blöcke und alle relevanten Größen. 3 P.

2. Der Zusammenhang zwischen Beschleunigungsmoment M_B (Stellgröße) und Winkelgeschwindigkeit ω (Regelgröße) eines Gleichstrommotors sei durch folgende Gleichung im Zeitbereich gegeben:
$$J \cdot \dot{\omega} = M_B,$$
wobei J das Trägheitsmoment von Anker und Last ist.
   (a) Geben Sie die Regelgröße in Abhängigkeit von der Stellgröße im Zeitbereich an. 1 P.
   (b) Geben Sie die Regelgröße in Abhängigkeit von der Stellgröße im Frequenzbereich. 1 P.
   (c) Geben Sie die Übertragungsfunktion G(s) an. 1 P.

Aufgabe 4 *Bewegungsplanung* (8 Punkte)

1. (a) Wie ist das Problem der Bewegungsplanung definiert? 1 P.
   (b) Nennen Sie jeweils ein Beispiel für Zwangsbedingungen, Randbedingungen und Gütekriterien der Bewegungsplanung. 1,5 P.
   (c) Was ist ein *probabilistisch vollständiger Algorithmus*? Geben Sie ein Beispiel an. 1,5 P.

2. Der *bidirektionale RRT-Algorithmus* soll für die Planung einer kollisionsfreien Bewegung eines mobilen punktförmigen Roboters eingesetzt werden, welcher sich in der (x, y)-Ebene bewegt. Die Umgebung des Roboters ist auf dem Lösungsblatt dargestellt, wobei die ausgefüllten Bereiche die Hindernisse markieren. 4 P.

   Es werden folgende Stichproben (*Samples)* erzeugt:
$$(x, y): \;\; (13, 2), (5, 10), (5, 8), (8, 6), (2, 6)$$
   Führen Sie unter Verwendung der angegebenen Punktfolge den *bidirektionalen* RRT-Algorithmus durch und zeichnen Sie die dabei entstehenden Bäume im Lösungsblatt ein.

   Verwenden Sie als Startkonfiguration $\boldsymbol{q}_s = (3, 2)$ und als Zielkonfiguration $\boldsymbol{q}_z = (13, 8)$. Erweitern Sie die Bäume in jedem Schritt jeweils nur um einen Knoten mit einer Schrittweite $\varepsilon = 2$.

   Hinweis: Die oben angegebenen Samples reichen nicht aus, um eine Lösung zu finden.

Aufgabe 5 *Greifen* (8 Punkte)

Gegeben ist der planare Griff $G = \{C_1, C_2\}$ in Abbildung 1 mit Kontaktkräfte an den Punkten $\boldsymbol{d}_1 = (-3, -2)$ und $\boldsymbol{d}_2 = (3, -2)$. Gehen Sie im Folgenden von starren Punktkontakten **ohne** Reibung sowie von einer Einheitskraft $|\boldsymbol{f}_i| = 1$ aus.

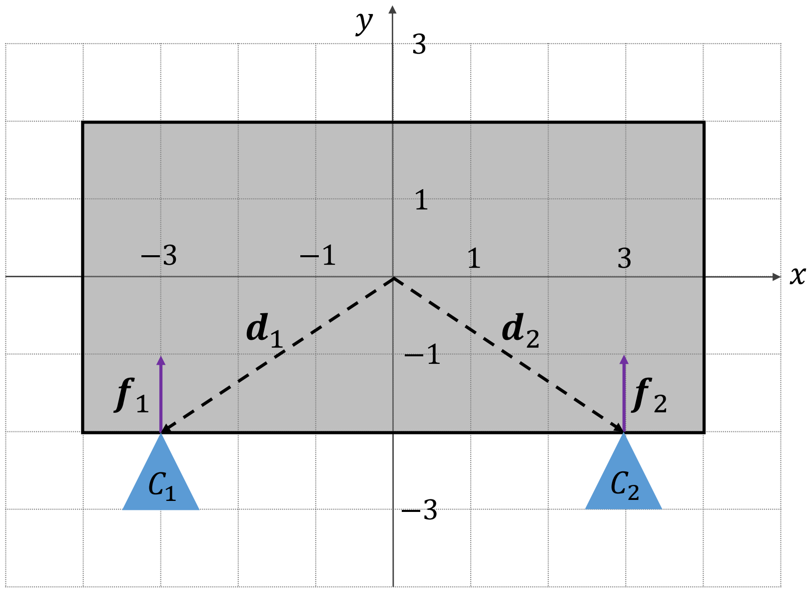

Abbildung 1: Planarer Griff G

1. Wie viele Wrenches werden von G erzeugt? 1 P.
2. Berechnen Sie alle Wrenches $\boldsymbol{w} = (f_x, f_y, \tau)$, die von G erzeugt werden. 2 P.

   Hinweis: $\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c \\ d \end{pmatrix} = ad - bc$
3. Welche Dimension$n \times m$ hat die Greifmatrix von G? 1 P.
4. Welche Aussage können Sie über die Kraftgeschlossenheit von G treffen und wieso? 1 P.
5. Welche Aussage können Sie über die Formgeschlossenheit von G treffen und wieso? 1 P.
6. Wie würde sich die Anzahl der Wrenches sowie Ihre Aussage zur Kraftgeschlossenheit von G ändern, wenn starre Punktkontakte **mit** Reibung vorliegen würden? 2 P.

Aufgabe 6 *Bildverarbeitung* (6 Punkte)

1. Gegeben ist die Kalibriermatrix einer Kamera $\boxed{\text{1 P.}}$

$$K = \begin{pmatrix} 300 & 0 & 1500 \\ 0 & 450 & 2000 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

   Geben Sie die unabhängigen Brennweiten f_x, f_y sowie den Hauptpunkt (c_x, c_y) der Kamera an.

2. Berechnen Sie die Faltung des Bildes $\boxed{\text{2 P.}}$

$$f = \begin{pmatrix} 5 & 1 & 3 & 6 \\ 4 & 2 & 0 & 1 \\ 3 & 5 & 9 & 2 \\ 1 & 4 & 7 & 0 \end{pmatrix}$$

   mit dem Filter

$$w = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

   Ignorieren Sie dabei im Ergebnisbild die Randpixel.

3. Nennen Sie einen Tiefpass- und einen Hochpass-Filter, sowie die jeweiligen Einsatzgebiete dieser Filter. $\boxed{\text{2 P.}}$

4. Der Canny-Kantendetektor-Algorithmus basiert auf der Einteilung der Bildgradienten in bestimmte Bereiche. Wie werden die Intensitätsgradienten im Bild berechnet und in wie viele Bereiche werden diese diskretisiert? $\boxed{\text{1 P.}}$

Aufgabe 7 *Roboterprogrammierung* (6 Punkte)

1. Was versteht man unter dem Korrespondenzproblem beim Imitationslernen? $\boxed{\text{1 P.}}$

2. Nennen und Beschreiben Sie drei Verfahren zur Roboterprogrammierung. $\boxed{\text{3 P.}}$

3. In der Vorlesung wurde ein hierarchisches Verfahren zur Segmentierung menschlicher Demonstrationen vorgestellt. Benennen Sie die beiden Level und erklären Sie, auf jeweils welcher Basis eine Segmentierung erfolgt. $\boxed{\text{2 P.}}$