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

Aufgabenblätter zur Klausur

Robotik I: Einführung in die Robotik

am 24. Juli 2018, 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 *Quaternionen* (5 Punkte)

1. Ist die Multiplikation von Quaternionen eine kommutative Operation? Begründen Sie Ihre Antwort. 1 P.
2. Zeigen Sie, dass die Menge der Einheitsquaternionen $\mathbb{S}^3$ bezüglich der Multiplikation abgeschlossen ist. 2 P.
3. Gegeben sei das Quaternion $\boldsymbol{q} = (0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0)$. Bestimmen Sie ein mögliches Paar $(\boldsymbol{u}, \theta)$, sodass $\boldsymbol{q}$ eine Rotation um den Winkel θ mit der Rotationsachse $\boldsymbol{u}$ beschreibt. 2 P.

Aufgabe 2 *Kinematik* (7 Punkte)

Gegeben sei ein Roboterarm mit zwei rotatorischen Bewegungsfreiheitsgraden θ_1 und θ_2 (siehe Abbildung 1). Die z_i-Achsen verlaufen senkrecht zur Zeichenebene. Das Koordinatensystem des Endeffektors ist $x_2 y_2 z_2$.

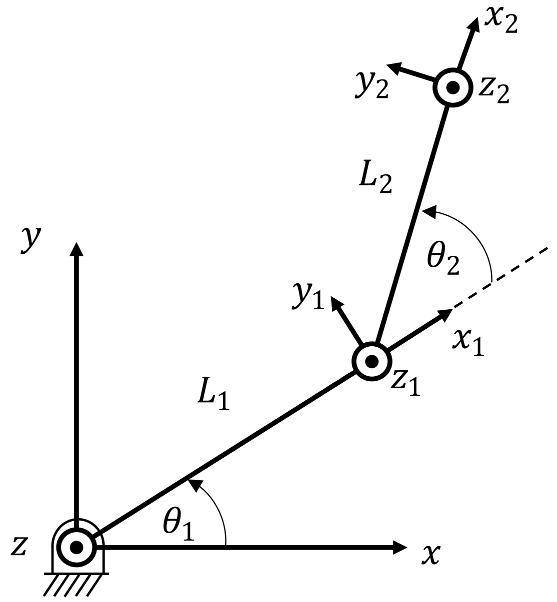

Abbildung 1: Roboterarm mit zwei Bewegungsfreiheitsgraden

1. Bestimmen Sie die DH-Parameter des Roboterarms. 1 P.
2. Bestimmen Sie die Vorwärtskinematik des Roboterarms $f(\theta_1, \theta_2) = (x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)^T$. 2 P.
3. Bestimmen Sie die Jacobi-Matrix des Roboterarms ausgehend von der Vorwärtskinematik $f(\theta_1, \theta_2)$ aus Aufgabenteil 2.2. 4 P.

Aufgabe 3 *Regelung* (7 Punkte)

1. In Abbildung 2 ist das Blockschaltbild eines Regelkreises für die Stromregelung eines elektrischen Motors dargestellt. Ordnen Sie jedem Begriff in der Tabelle auf dem Lösungsblatt die entsprechende Größe aus Abbildung 2 zu. 2 P.

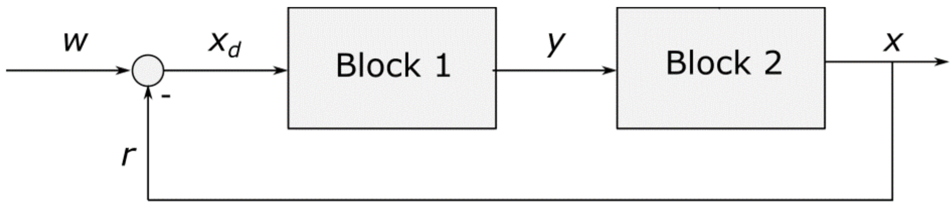

Abbildung 2: Regelkreis

2. Der Zusammenhang zwischen Stellgröße (Ankerspannung u_A) und Regelgröße (Ankerstrom i_A) des Motors im Zeitbereich sei durch folgende Gleichung gegeben:

$$u_A(t) = R_A \cdot i_A(t) + L_A \cdot \frac{d}{dt} i_A(t)\,, \tag{1}$$

wobei R_A und L_A den Widerstand und Induktivität des Motors beschreiben.

(a) Geben Gleichung (1) im Frequenzbereich an. 1 P.

(b) Geben Sie die Übertragungsfunktion des Motors im Frequenzbereich an. 2 P.

(c) Geben Sie die Gleichungen eines PD-Reglers im Zeit- und Frequenzbereich an. Benutzen Sie $e(t)$ bzw. $E(s)$ als Eingangsgröße und $u(t)$ bzw. $U(s)$ als Ausgangsgröße. 2 P.

Aufgabe 4 *Bewegungsplanung mit RRT** (7 Punkte)

Gegeben Sei der RRT*-Baum in Abbildung 3, bestehend aus sieben Knoten $q_1 - q_7$ mit dem Startknoten $q_{Start} = q_1$. Die Kanten werden über Pfeile vom Elternknoten zum Kindknoten dargestellt. Es wurden bereits sieben RRT*-Schritte durchgeführt. Der RRT*-Algorithmus verwendet die Schrittweite $d = 2$, den Rewiring-Radius $r = 3$ und die euklidische Distanz als Kostenmetrik $Cost(q_a, q_b) = \|q_a - q_b\|$.

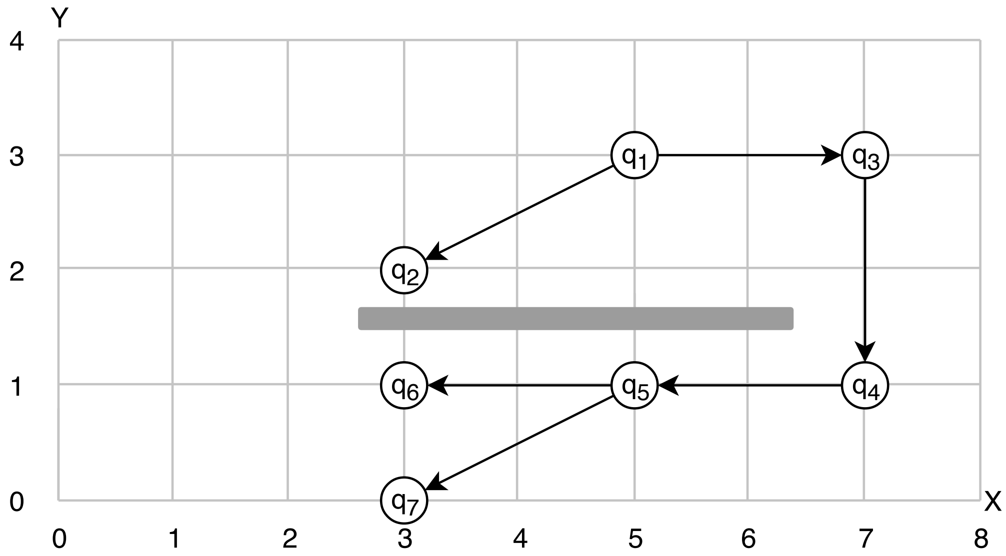

Abbildung 3: RRT*-Baum

1. Berechnen Sie die Pfadkosten vom Startknoten q_{Start} zu allen Knoten $q_1 - q_7$. **2 P.**

2. Führen Sie einen Schritt des RRT*-Algorithmus aus. Verwenden Sie $q_s = (0, 1)$ als zufällig gewählte Konfiguration (Sample).

   (a) Bestimmen Sie den nächsten Nachbarn q_{nn} zu q_s und die Position des neuen Knotens q_{new}. **1 P.**

   (b) Welche Knoten werden vom Rewiring-Schritt betrachtet? **1 P.**

   (c) Zeichnen Sie den RRT*-Baum nach dem Rewiring-Schritt. Verwenden Sie Pfeile als Kanten, die vom Elternknoten auf die Kindknoten zeigen (wie in in Abbildung 3). **3 P.**

Aufgabe 5 *Greifplanung* (7 Punkte)

Gegeben sei ein planarer Griff mit drei Fingern auf einem Objekt mit Schwerpunkt $\mathbf{c} = (2,4)^T$ und Reibungskoeffizienten $\mu = 1$ (siehe Abbildung in den Lösungsblättern). Die Kontaktpunkte mit dem Objekt liegen an den drei Punkten $\mathbf{p}_i$ und können eine Normalkraft in die Richtung $\mathbf{f}_i$ auswirken ($i \in \{1,2,3\}$).

$$\mathbf{p}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{p}_2 = \begin{pmatrix} 4 \\ 2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{p}_3 = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \end{pmatrix} \quad \mathbf{f}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{f}_2 = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{f}_3 = \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

1. Berechnen Sie den Öffnugnswinkel β der Reibungsdreicke. 1 P.
2. Zeichnen Sie die Reibungsdreiecke für die Kontaktpunkte in das Diagramm auf dem Lösungsblatt ein. Beschriften Sie Ihre Zeichnung mit folgenden Symbolen: $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3, \mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2, \mathbf{f}_3, \beta$. 2 P.
3. Berechnen Sie die Wrenches $w_{a,i}, w_{b,i}$ an den Rändern der Reibungsdreiecke für die beiden Kontakte $i \in \{1,2\}$. Geben Sie Ihren Rechenweg an. Beachten Sie, dass der Schwerpunkt $\mathbf{c}$ nicht in der Mitte des Objekts liegt. 4 P.

Aufgabe 6 *Bildverarbeitung* (6 Punkte)

1. Gegeben sei eine Lochkamera in Positivlage mit der Brennweite $f_x = f_y = 200$ und dem Hauptpunkt $C = (c_x, c_y)^T = (320, 240)^T$. 1 P.

   Berechnen Sie den Bildpunkt $(u,v)^T$ für den Weltpunkt $P = (200, 200, 1000)^T$
2. Nennen und definieren Sie die zwei mathematischen Eigenschaften eines linearen Filters $f(x)$. 1 P.
3. Geben Sie ein (3×3)–Filter an, welches die Punkte eines Bildes um einen Pixel nach *rechts* verschiebt. 1 P.
4. Gegeben sei das Graustufenbild B: 3 P.

$$B = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 & 4 & 4 & 4 \\ 2 & 2 & 2 & 4 & 4 & 4 \\ 2 & 2 & 2 & 4 & 4 & 4 \\ 2 & 2 & 2 & 4 & 4 & 4 \end{pmatrix}$$

   Geben Sie das Ergebnisbild nach Anwendung des Laplace-Operators auf B an. Verwenden Sie dabei eine Spiegelung (*mirror, reflect*), um die Werte der Pixel an den Rändern von B zu bestimmen.

Aufgabe 7 *Symbolisches Planen* (6 Punkte)

Gegeben sei die folgende STRIPS-Planungsdomäne mit initialem Zustand, Zielzustand und verfügbaren Planungsoperatoren.

```
Initial state: Location(L1), Location(L2),
               Block(A), Block(B), Block(C)
               On(A,B), On(B,C), On(C, L1),
               Clear(A), Clear(L2), HandEmpty

Goal state:    On(C,B), On(B,A), On(A,L2)

Actions:
  // Agent nimmt einen Block X von Ort/Block Y auf.
  pickup(X, Y):
  Preconditions:  Clear(X), On(X,Y), HandEmpty
  Effects:        !Clear(X), !On(X,Y), !HandEmpty,
                  InHand(X), Clear(Y)

  // Agent platziert einen gegriffenen Block X auf Ort/Block Y.
  putdown(X, Y):
  Preconditions:  InHand(X), Clear(Y)
  Effects:        !InHand(X), !Clear(Y),
                  HandEmpty, On(X,Y), Clear(X)
```

Hinweis: Ein Ausrufezeichen negiert ein Prädikat.

1. Ist die Aktion `pickup(B,C)` im initialen Zustand ausführbar? Begründen Sie Ihre Antwort. $\boxed{\text{2 P.}}$

2. Kombinieren Sie die Planungsoperatoren `pickup(X, Y)` und `putdown(X, Y)` zu dem neuen Planungsoperator `pickupAndPutdown(X, Y, Z)`, der das Objekt `X` von Ort `Y` aufnimmt und an Ort `Z` abstellt. $\boxed{\text{2 P.}}$

3. Der Roboter hat die Aufgabe eine beliebige Tasse aus einer Menge von Tassen auf den Tisch zu stellen. Welche Erweiterung der Planungsprache STRIPS wäre notwendig, um dieses Ziel beschreiben zu können? $\boxed{\text{2 P.}}$