

Aufgabenblätter zur Klausur

Robotik I: Einführung in die Robotik

am 03. März 2020, 17:00 – 18:00 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*

(5 Punkte)

1. Bestimmen Sie das Einheitsquaternion, das die Rotation um die Achse $\mathbf{a} = \frac{1}{\sqrt{3}}(1, 1, -1)^T$ und den Winkel $\Phi = \frac{\pi}{2}$ darstellt. Geben Sie den Rechenweg an. 2 P.
2. Gegeben ist das Einheitsquaternion $\mathbf{q} = (\frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0)$ und der Punkt $\mathbf{p} = (-1, 0, 0)^T$. Bestimmen Sie den Punkt \mathbf{p}' nach der Rotation um \mathbf{q} . Geben Sie den Rechenweg an. 3 P.

Aufgabe 2 *Kinematik*

(7 Punkte)

Gegeben ist ein Roboter mit dem Konfigurationsraum $C \subseteq \mathbb{R}^3$ und dem Arbeitsraum $W \subseteq SE(3)$. Der Roboter besteht aus zwei Lineargelenken und einem Rotationsgelenk. Die Vorwärtskinematik ist definiert durch $f(d_1, \theta_2, d_3) = (x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)^T$.

$$\begin{aligned}
 x &= d_3 \cdot \cos(\theta_2) \\
 y &= 0 \\
 z &= d_1 + d_3 \cdot \sin(\theta_2) + 10 \\
 \alpha &= 0 \\
 \beta &= \theta_2 \\
 \gamma &= 0
 \end{aligned}$$

1. Welche Dimension besitzt die Jacobi-Matrix des Roboters? 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 3 P.

$$q = (d_1, \theta_2, d_3)^T = (100, 180^\circ, 20)^T$$

und die Gelenkwinkelgeschwindigkeiten

$$p = (\dot{d}_1, \dot{\theta}_2, \dot{d}_3)^T = (200, 1, 100)^T.$$

Aufgabe 3 *Dynamik*

(7 Punkte)

1. Gegeben ist die allgemeine Bewegungsgleichung:

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q})$$

- (a) Was wird durch die Bewegungsgleichung beschrieben? 1 P.
- (b) Was sind generalisierte Koordinaten? Erklären Sie und nennen Sie anschließend die generalisierten Koordinaten aus der Bewegungsgleichung. 1.5 P.
- (c) Was beschreiben die Ausdrücke $\boldsymbol{\tau}$, $\mathbf{M}(\mathbf{q})$, $\mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ und $\mathbf{g}(\mathbf{q})$? Erklären Sie und geben Sie die Dimensionen der Terme an. 2 P.
2. In der Vorlesung haben Sie sowohl das *direkte* als auch das *inverse* dynamische Problem kennengelernt. Erklären Sie die genannten Probleme. Geben Sie für jedes Problem an, welche Komponenten hierbei aus der Bewegungsgleichung gesucht werden bzw. gegeben sind. 1 P.
3. Der *rekursive Newton-Euler Algorithmus* (RNEA) kann dazu verwendet werden, das Dynamikmodell eines Roboters zu bestimmen. Beschreiben Sie die *drei wesentlichen Schritte* des RNEA. 1.5 P.

Aufgabe 4 *Bewegungsplanung*

(7 Punkte)

Bei der Bewegungsplanung müssen ggf. Nebenbedingungen (Constraints) erfüllt werden, welche vom klassischen *Rapidly-exploring Random Trees* (RRT) nicht beachtet werden. Daher wurden in der Vorlesung Ansätze für Constrained RRT behandelt.

1. Nennen Sie zwei grundlegend verschiedene Beispiele für solche Nebenbedingungen. 1 P.
2. Was ist das Problem beim Einhalten dieser Nebenbedingungen für sampling-basierte Ansätze und was ist der grundlegende Lösungsansatz? 1 P.

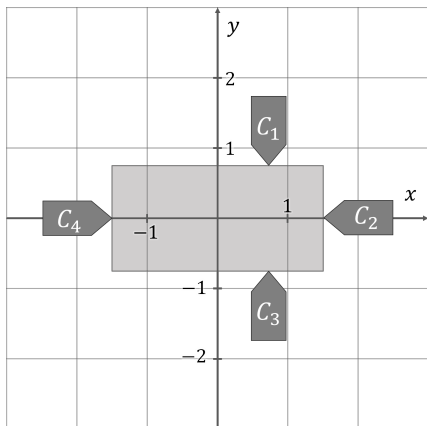
In der Vorlesung wurden *single-query* und *multi-query* Verfahren zur Bewegungsplanung vorgestellt.

3. Nennen Sie jeweils ein *single-query* und ein *multi-query* Verfahren zur Bewegungsplanung. 1 P.
4. Nennen und erklären Sie zwei wesentliche Unterschiede zwischen *single-query* und *multi-query* Verfahren. 2 P.
5. Der PRM-Algorithmus (*Probabilistic Roadmaps*) besteht aus zwei Schritten. Nennen und erklären Sie die beiden Schritte. 2 P.

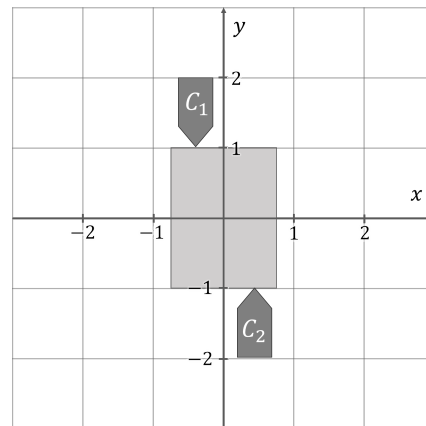
Aufgabe 5 Greifen

(6 Punkte)

Gegeben seien die in Abbildung 1 dargestellten Griffe $G_A = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ bestehend aus vier Punktkontakten ohne Reibung und $G_B = \{C_1, C_2\}$ bestehend aus zwei starren Punktkontakten mit Reibung. Nehmen Sie an, dass alle ausgeübten Kräfte entlang der Kontaktnormalen eine Stärke von $f = 1$ haben und alle Reibungskoeffizienten $\mu = 1$ sind.



(a) Griff G_A .



(b) Griff G_B .

Abbildung 1: Griffe G_A und G_B .

1. Zeichnen Sie die f_x, f_y -Komponenten der von G_A erzeugten Wrenches als Pfeile auf dem Lösungsblatt ein. Beschriften Sie jeden Wrench mit dem Kontakt, der ihn erzeugt.
2. Zeichnen Sie die f_x, f_y -Komponenten der Wrenches, die die von G_B erzeugten Reibungskegel aufspannen, als Pfeile auf dem Lösungsblatt ein. Beschriften Sie jeden Wrench mit dem Kontakt, der ihn erzeugt.

Hinweis: $\tan^{-1}(1) = 45^\circ$

3. Gegeben seien die in Abbildung 2 gezeigten Wrenches im Kraftunterraum, die von einem Griff G_C erzeugt werden. Zeichnen Sie im Lösungsblatt den Kraftunterraum des Grasp-Wrench-Space von G_C ein und geben Sie eine obere Schranke für die GWS-Metrik (ε -Metrik) an.

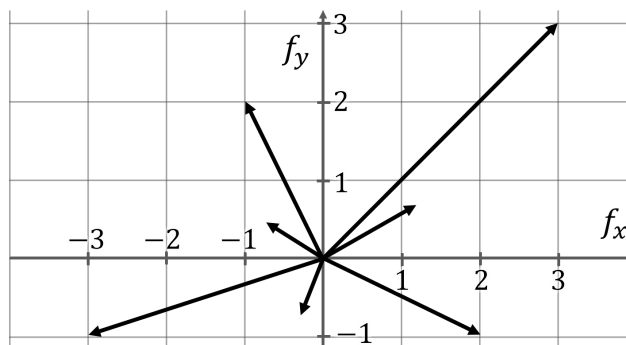


Abbildung 2: Von G_C erzeugte Wrenches in Kraftunterraum.

2 P.

2 P.

2 P.

Aufgabe 6 *Bildverarbeitung*

(6 Punkte)

1. In einem Setup mit einer Lochkamera soll die 3D-Position eines Objekts in der Szene aus der Position des Objekts im Bild geschätzt werden. Die Entfernung der Kamera zu diesem Objekt wurde auf 3m geschätzt. Berechnen Sie die Weltkoordinaten des Objekts, wenn dessen Position in Bildkoordinaten

1 P.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 750 \\ -100 \end{pmatrix}$$

ist. Die Brennweite der Kamera beträgt $f = 500$.

2. Berechnen Sie die Korrelation und Faltung des Graustufenbildes

2 P.

$$B = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 2 & 2 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 2 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix}$$

mit der Filtermatrix

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ignorieren Sie die Randpixel bei beiden Operationen.

3. Nennen und erklären Sie die Schritte des RANSAC-Algorithmus. Wie viele Punkte werden mindestens benötigt, um die Modellparameter einer Linie zu berechnen?

3 P.

Aufgabe 7 *Programmieren durch Vormachen* (7 Punkte)

1. Nennen und erläutern Sie die vier Hauptfragestellungen (die vier „W“s) beim Programmieren durch Vormachen.

4 P.

2. Was ist der Unterschied zwischen *Batch-Lernen* und *inkrementellem Lernen* im Kontext von Programmieren durch Vormachen?

1 P.

3. In der Vorlesung wurde eine Methode zur hierarchischen Segmentierung menschlicher Demonstrationen behandelt.

- (a) Was ist das zugrundeliegende Prinzip zur Segmentierung auf der ersten Ebene (Level 1)? Welche Kriterien werden eingesetzt, um die Grenzen der Segmente zu bestimmen?

1 P.

- (b) Was ist das zugrundeliegende Prinzip zur Segmentierung auf der zweiten Ebene (Level 2)? Welche Kriterien werden eingesetzt, um die Grenzen der Segmente zu bestimmen?

1 P.