

Aufgabenblätter zur Klausur

Robotik I: Einführung in die Robotik

am 07. April 2022

- 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 Transformationen (6 Punkte)

Gegeben sei die Rotationsmatrix R und der Translationsvektor \mathbf{t} :

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{t} = \begin{pmatrix} 200 \\ 400 \\ 600 \end{pmatrix}$$

1. Bestimmen Sie die zur Rotationsmatrix R gehörende Rotationsachse \mathbf{v} und den Rotationswinkel α . 3 P.
2. Die Rotationsmatrix R und der Translationsvektor \mathbf{t} definieren die Lage eines lokalen Objektkoordinatensystems OKS im Basiskoordinatensystem BKS . Geben Sie die homogene Transformationsmatrix ${}^{BKS}T_{OKS}$ an. 1 P.
3. Geben Sie die Transformationsmatrix ${}^{OKS}T_{BKS}$ an. 2 P.

Aufgabe 2 Kinematik (8 Punkte)

Gegeben ist ein Roboter mit dem Konfigurationsraum $C \subseteq \mathbb{R}^3$ und dem Arbeitsraum $W \subseteq SE(3)$. Der Roboter besteht aus einem Lineargelenk und zwei Rotationsgelenken. Die Vorwärtskinematik ist definiert durch $f(\boldsymbol{\theta}) = \mathbf{x}$ mit:

$$\boldsymbol{\theta} = \begin{pmatrix} d_1 \\ \theta_1 \\ \theta_2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 + 3 \cdot \cos(\theta_1) + 5 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ d_1 + 3 \cdot \sin(\theta_1) + 5 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \theta_1 + \theta_2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

1. Berechnen Sie die Jacobi-Matrix der Vorwärtskinematikfunktion f . Geben Sie den Rechenweg an. 4 P.
2. Bestimmen Sie die Jacobi-Matrix für die Konfiguration $\boldsymbol{\theta} = (3, \frac{\pi}{2}, -\frac{\pi}{2})^T$. 2 P.
3. Berechnen Sie die Geschwindigkeit $\dot{\mathbf{x}}$ des Endeffektors bei einer Gelenkwinkelgeschwindigkeit $\dot{\boldsymbol{\theta}} = (5, 0.6, 0.8)^T$. Verwenden Sie die Konfiguration aus Aufgabe 2.2. 2 P.

Aufgabe 3 Regelung

(7 Punkte)

1. Abbildung 1 zeigt die Sprungantworten verschiedener Regler für ein lineares zeitinvariantes Verzögerungsglied 2. Ordnung. Um welchen Reglertyp handelt es sich bei den jeweiligen Sprungantworten? Tragen Sie entsprechend P-, I-, D-, PI-, PD- oder PID-Regler für die Sprungantworten von A, B, C und D im Lösungsblatt ein. 2 P.

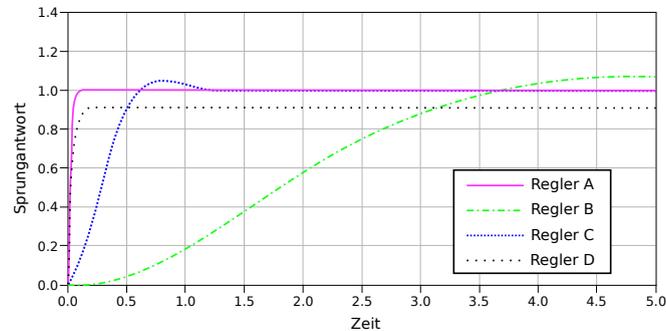


Abbildung 1: Sprungantworten für verschiedene Regler.

2. Geben Sie charakteristische Gleichung für einen PID-Regler im Zeitbereich mit Θ als Regelgröße und τ als Stellgröße. Was repräsentieren die jeweiligen Konstanten in der Gleichung? 2 P.
3. In Abbildung 2 sei das Blockschaltbild eines Regelkreises gegeben. Benennen Sie in der Tabelle auf dem Lösungsblatt Block 1 und Block 2 sowie die angegebenen Größen des Regelkreises. 3 P.

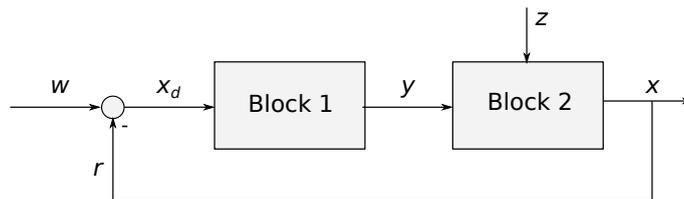


Abbildung 2: Blockschaltbild eines Regelkreises.

Aufgabe 4 *Bewegungsplanung*

(7 Punkte)

1. Gegeben sei der in Abbildung 3 dargestellte Roboter.

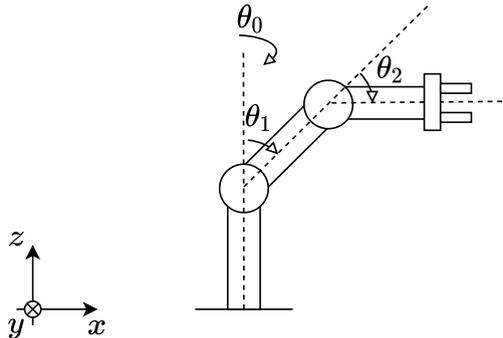


Abbildung 3: Beispielroboter

- (a) Was versteht man unter einer *Konfiguration* eines Roboters? Geben Sie zusätzlich die allgemeine Konfiguration des Roboters in Abbildung 3 an. 1 P.
- (b) Wie ist der *Konfigurationsraum* eines Roboters definiert? 1 P.
- (c) Der Roboter in Abbildung 3 wird auf eine holonome mobile Plattform montiert. Dadurch kann sich der Roboter nun in der xy -Ebene bewegen. Um welche und wie viele Freiheitsgrade vergrößert sich der Konfigurationsraum? 1 P.
2. Gegeben sei ein zeitvariantes Weltmodell sowie der initiale Zustand eines Roboters.
- (a) Der Roboter soll einen gewünschten festen Zielzustand einnehmen. Was ist das Ziel der Bewegungsplanung in diesem Fall? 1 P.
- (b) Der Roboter soll nun einem Mensch, der sich frei im Raum bewegt, ein Objekt übergeben. Wie ändert sich die Problemstellung im Vergleich zum Aufgabenteil 2.a)? 1 P.
3. Mithilfe des A^* -Algorithmus soll der kürzeste Pfad von einem Startpunkt p_{start} zu einem Zielpunkt p_{end} bestimmt werden.
- (a) Welcher Vorverarbeitungsschritt ist nötig, um den A^* -Algorithmus in einem kontinuierlichen Raum anzuwenden? 1 P.
- (b) Gegeben sind folgende Funktionen für geschätzten Kosten von einem Punkt p zu zum Ziel p_{end} . 1 P.
- $h_1(p, p_{end}) = 0.5 \cdot \|p - p_{end}\|$
 - $h_2(p, p_{end}) = \|p - p_{end}\|$
 - $h_3(p, p_{end}) = 2 \cdot \|p - p_{end}\|$
- Welche der Funktionen h_1, h_2 und h_3 ist eine *zulässige* Heuristik für den A^* -Algorithmus, wenn die Kantengewichte die Euklidische Distanz zwischen zwei Punkten beschreiben?

Aufgabe 5 *Greifen* (7 Punkte)

1. Erklären Sie die Unterschiede zwischen Greifanalyse und Greifsynthese. Welche Werte sind gegeben und welche werden gesucht? 2 P.
2. Gegeben sei eine Objekthülle $H \subset \mathbb{R}^3$. Wie ist die mediale Achse von H definiert. 1.5 P.
3. Gegeben sei die zweidimensionale Objekthülle auf dem Lösungsblatt. Zeichnen Sie die mediale Achse der Objekthülle in die Abbildung auf dem Lösungsblatt. 2 P.
4. Gegeben ist ein planarer Griff (2D Griff), der die folgenden Wrenches $w = (f_x, f_y, \tau)$ erzeugt: 1.5 P.

$$w_1 = (1, 0.5, 0.5), \quad w_2 = (-1, 0.5, -0.5)$$

Ist der Griff kraftgeschlossen? Begründen Sie ihre Antwort.

Aufgabe 6 *Bildverarbeitung* (7 Punkte)

1. Der humanoide Roboter ARMAR-III soll in einer Küche ohne Fenster eine einfarbige Tasse vom Hintergrund segmentieren. Die Lampe in der Küche ist kaputt und ändert ständig ihre Helligkeit. 2 P.
Erklären Sie welche in der Vorlesung vorgestellte Bildrepräsentation für diesen Anwendungsfall geeignet wäre? Was würde sich ändern, wenn die Küche durch ein großes Fenster beleuchtet werden würde?
2. Um die Tasse lokalisieren zu können wird eine gute Kamerakalibrierung benötigt. 2 P.
Wie viele Korrespondenzen zwischen Welt und Bildpunkten werden mindestens für eine Kalibrierung benötigt? Welches Objekt wird oftmals zur einfachen Kamerakalibrierung verwendet?

3. Nach der Segmentierung der Tasse sei folgendes Graustufen-Bild gegeben:

3 P.

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

Das strukturierende Element sei gegeben durch:

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

Wenden Sie die *morphologische Operation Schließen* auf das Bild an. Ignorieren Sie im Ergebnisbild die Randpixel. Geben Sie die Ergebnisse der Teilschritte an.

Aufgabe 7 *Roboterprogrammierung*

(3 Punkte)

1. Im Folgenden werden einige Szenarien beschrieben, bei denen Roboter zum Einsatz kommen. Nennen Sie jeweils ein Roboterprogrammierverfahren, welches geeignet ist, den Roboter für die beschriebene Aufgabe zu programmieren. Begründen Sie ihre Wahl.

2 P.

- (a) Kommerzieller Roboterarm im industriellen Kontext zum Verpacken eines Produkts mit großen Stückzahlen
- (b) Humanoider Roboter in einem Haushaltsszenario, um neue Aufgaben zu lernen (z.B. Geschirrspülmaschine einräumen)
- (c) Kommerzieller Roboterarm für Schwerlasten in der Automobilindustrie zum Halten von Karosserieteilen während der Montage
- (d) CNC-Fräse im Werkstattkontext, um Einzelwerkstücke herzustellen

2. Nennen Sie einen Grund, der für das Programmieren durch Vormachen spricht.

1 P.

Lösungsblätter zur Klausur

Robotik I: Einführung in die Robotik

am 07. April 2022

Name:	Vorname:	Matrikelnummer:
-------	----------	-----------------

Aufgabe 1	von 6 Punkten
Aufgabe 2	von 8 Punkten
Aufgabe 3	von 7 Punkten
Aufgabe 4	von 7 Punkten
Aufgabe 5	von 7 Punkten
Aufgabe 6	von 7 Punkten
Aufgabe 7	von 3 Punkten

Gesamtpunktzahl:	
-------------------------	--

	Note:
--	--------------

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

2

Aufgabe 1 *Transformationen*

1. Rotationsachse und Rotationswinkel:

2. Transformationsmatrix ${}^{BKS}T_{OKS}$:

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

3

3. Transformationsmatrix ${}^{OKS}T_{BKS}$:

Aufgabe 2 *Kinematik*

1. Jakobi-Matrix:

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

4

2. Jacobi-Matrix für $\boldsymbol{\theta} = (3, \frac{\pi}{2}, -\frac{\pi}{2})^T$:

3. Geschwindigkeit $\dot{\boldsymbol{x}}$:

Aufgabe 3 *Regelung*

1. Sprungantworten

A:

B:

C:

D:

2. Proportional-Integral-Derivative Controller

 $\tau(t) =$ $K_p :$ $K_d :$ $K_i :$

3. Vervollständigen Sie die Tabelle:

Regelkreisgröße	Name
Block 1	
Block 2	
w	
x_d	
y	
x	

Aufgabe 4 *Bewegungsplanung*

1. (a) Konfiguration:

(b) Konfigurationsraum:

(c) Weitere Freiheitsgrade:

2. (a) Ziel der Bewegungsplanung:

(b) Änderung der Problemstellung:

3. (a) Vorverarbeitungsschritt:

(b) Zulässige Heuristik?

Funktion	ja / nein
$h_1(p, p_{end})$	
$h_2(p, p_{end})$	
$h_3(p, p_{end})$	

Aufgabe 5 *Greifen*

1. Begriffe:

2. Definition:

3. Objekthülle:

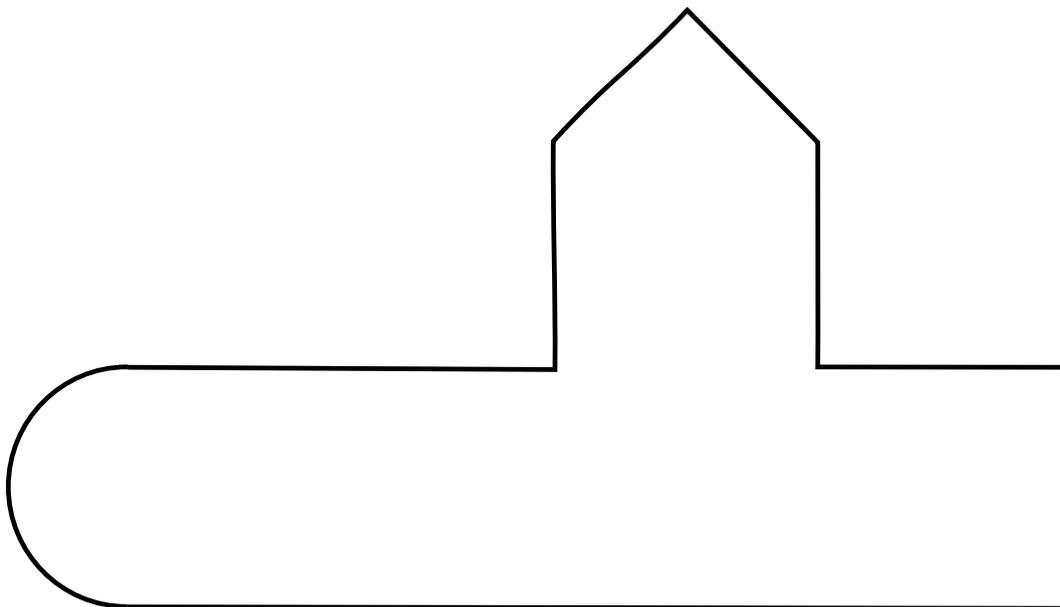


Abbildung 1: Objekthülle in 2D.

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

8

4. Griff:

Aufgabe 6 *Bildverarbeitung*

1. Bildrepräsentation:

Änderung mit Fenster:

2. Minimale Nummer von Korrespondenzen:

Objekt:

3. Morphologischer Operator *Schließen*:

Aufgabe 7 *Roboterprogrammierung*

1. Verfahren:

- Szenario (a):

- Szenario (b):

- Szenario (c):

- Szenario (d):

2. Grund: