

# Aufgabenblätter zur Klausur

Robotik I: Einführung in die Robotik

am 16. Juni 2020

- 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** *Kinematik*

(12 Punkte)

Gegeben sind die DH-Parameter eines Roboters mit zwei Gelenken  $G_1$  und  $G_2$ .

<i>Gelenk</i>	$\theta_i$ [°]	$d_i$ [mm]	$a_i$ [mm]	$\alpha_i$ [°]
$G_1$	$\theta_1$	0	30	0
$G_2$	0	$d_2$	0	45

1. Nennen Sie den Typ von Gelenk  $G_1$  und  $G_2$ .

1 P.

2. Die Transformationsmatrix  $A_{i-1,i}$  von Gelenk  $G_{i-1}$  zu Gelenk  $G_i$  ist

$$A_{i-1,i} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \cdot \cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i) \cdot \sin(\alpha_i) & a_i \cdot \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \cdot \cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i) \cdot \sin(\alpha_i) & a_i \cdot \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

(a) Bestimmen Sie die Transformationsmatrizen  $A_{0,1}$  und  $A_{1,2}$  für den gegebenen Roboter. Vereinfachen Sie das Ergebnis soweit wie möglich.

3 P.

(b) Bestimmen Sie die homogene Transformationsmatrix von der Basis des Roboters zum Endeffektor. Vereinfachen Sie das Ergebnis soweit wie möglich.

3 P.

(c) Bestimmen Sie die Lage des Endeffektors als homogene Transformationsmatrix, wenn sich der Roboter in der Konfiguration  $\mathbf{q} = (\theta_1, d_2) = (0^\circ, 100 \text{ mm})$  befindet.

1 P.

3. Bestimmen Sie Position und Orientierung des Endeffektors basierend auf der Transformationsmatrix aus Teilaufgabe 1.c für  $\mathbf{q} = (\theta_1, d_2) = (0^\circ, 100 \text{ mm})$ .

(a) Geben Sie die Position als Vektor an.

1 P.

(b) Geben Sie die Orientierung als Rotationsachse und -winkel an.

2 P.

(c) Geben Sie die Orientierung als Quaternion an.

1 P.

**Hinweis:** Wenn Sie die Teilaufgabe 1.c nicht lösen konnten, dann können Sie für die Teilaufgabe 3 folgende Transformationsmatrix benutzen:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 30 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

**Aufgabe 2** *Dynamik*

(7 Punkte)

1. In einem dynamischen Modell werden die Beziehungen zwischen Kräften und Momenten sowie den Positionen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen dargestellt. Notieren Sie die Formel der allgemeinen Bewegungsgleichung der Dynamik. Was beschreiben die vier Terme aus der allgemeinen Bewegungsgleichung? Nennen und erläutern Sie diese. 3 P.
  
2. In der Vorlesung wurden das *direkte* als auch das *inverse* dynamische Problem behandelt. In den nachfolgenden Szenarien werden verschiedene Anwendungen beschrieben. Erläutern Sie, welches dynamische Problem in den jeweiligen Szenarien gelöst werden muss. 1 P.
  - (a) Entwicklung einer Simulation zur Evaluierung der Auswirkungen externer Kräfte auf ein Robotersystem
  - (b) Schätzung von dynamischen Objektparametern (wie z.B. Gewicht) ohne direkte Kraftsensoren, wenn der Roboter ein Objekt gegriffen hat
  
3. Der rekursive Newton-Euler Algorithmus kann dazu verwendet werden, das Dynamikmodell eines Roboters zu bestimmen. Nachfolgend ist der Ablauf des rekursiven Newton-Euler Algorithmus aus der Vorlesung gelistet. Erläutern Sie die *drei wesentlichen Schritte* des Algorithmus anhand des gelisteten Ablaufs. Verweisen Sie bei Ihrer Erklärung die entsprechenden Zeilen an [1-13], welche für die jeweiligen Schritte zutreffend sind. 3 P.

**Algorithm 1** Rekursiver Newton-Euler Algorithmus (RNEA)

---

```

1:  $\mathbf{v}_0 = 0$ 
2:  $\mathbf{a}_0 = -a_g$ 
3: for  $i = 1$  to  $n$  do
4:    $\mathbf{v}_i = \mathbf{v}_{p(i)} + \phi_i \dot{\mathbf{q}}_i$ 
5:    $\mathbf{a}_i = \mathbf{a}_{p(i)} + \phi_i \ddot{\mathbf{q}}_i + \dot{\phi}_i \dot{\mathbf{q}}_i$ 
6:    $\mathbf{f}_i = \mathbf{I}_i \mathbf{a}_i + \mathbf{v}_i \times \mathbf{I}_i \mathbf{v}_i - \mathbf{f}_i^e$ 
7: end for
8: for  $i = n$  to  $1$  do
9:    $\boldsymbol{\tau}_i = \phi_i^T \mathbf{f}_i$ 
10:  if  $p(i) \neq 0$  then
11:     $\mathbf{f}_{p(i)} = \mathbf{f}_{p(i)} + \mathbf{f}_i$ 
12:  end if
13: end for

```

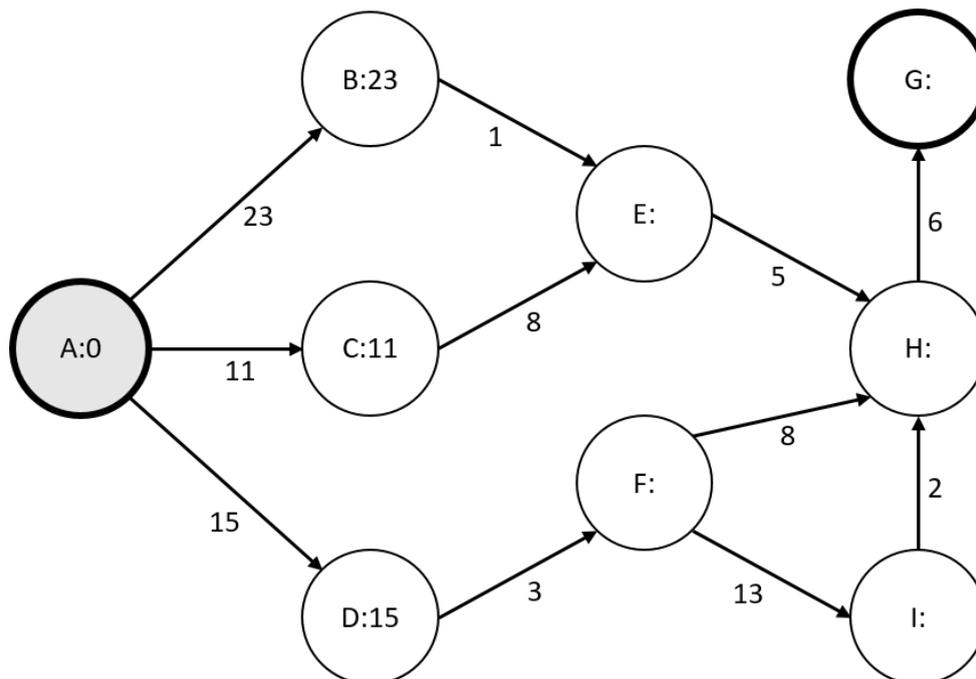
---

**Aufgabe 3** *Bewegungsplanung*

(6 Punkte)

1. Nennen Sie einen Vorteil und einen Nachteil von sampling-basierten Verfahren zur Kollisionsprüfung gegenüber von *Continuous Collision Detection* (CCD). 1 P.
2. Was sind Ziel und grundlegendes Vorgehen von *Bridge Sampling*? 1 P.
3. Was ist der zentrale Schritt der Optimierung des Suchbaums im *RRT\**-Algorithmus und wann wird dieser ausgeführt? 1 P.
4. In Abbildung 1 ist ein gewichteter Graph gegeben. In dem Graph soll eine *A\**-Suche vom Startknoten A zum Zielknoten G durchgeführt werden. Die Suche nutzt die Heuristik  $h = 4$ . Wegkosten  $c$  sind an den Kanten angegeben. Die Kosten  $g$  von bereits bearbeiteten Knoten sind in den Knoten angegeben. Der Startknoten A wurde bereits expandiert. 3 P.

Geben Sie die Reihenfolge an, in der der *A\**-Algorithmus die weiteren Knoten expandiert.

Abbildung 1: *A\**-Suche in einer Roadmap.

**Aufgabe 4**    *Greifen*    (6 Punkte)

1. Gegeben sei eine Objekthülle  $H \subset \mathbb{R}^3$ . Geben Sie die Definition der medialen Achse von  $H$  an. 1.5 P.
2. Gegeben sei die zweidimensionale Objekthülle auf dem Lösungsblatt. Zeichnen Sie die mediale Achse der Objekthülle in die Abbildung auf dem Lösungsblatt. 2 P.
3. Gegeben sei eine mediale Achse, die als Punktwolke repräsentiert ist. Wie werden die Punkte in einem Querschnitt der medialen Achse zu Clustern zusammengefasst? 1 P.
4. Nennen Sie drei Heuristiken zur Generierung von Griffhypothesen auf Basis der medialen Achse. 1.5 P.

**Aufgabe 5**    *Bildverarbeitung*    (7 Punkte)

1. Nennen Sie jeweils ein konkretes Filter und eine geläufige Anwendung von Tiefpass- und Hochpassfiltern in der Bildverarbeitung. 2 P.
2. In der Vorlesung wurde der Canny-Kantendetektor behandelt.
  - (a) Berechnen Sie die Intensitätsgradienten der auf dem Lösungsblatt gegebenen Bildmatrix mit dem Sobel-Filter in vertikaler und horizontaler Richtung. 2 P.
  - (b) Welche zusätzlichen Schritte sind notwendig, um Kanten mit dem Canny-Kantendetektor zu identifizieren? 2 P.
3. Für eine Bildverarbeitungsaufgabe sollen Kamerabilder von einem Roboter per Netzwerk auf einen externen Rechner übertragen werden. Die verwendete Kamera zeichnet Bilder in einer Auflösung von  $100px \times 100px$  auf. Wie groß ist die zu übertragende Datenmenge in Bit pro Sekunde mindestens, wenn Graustufenbilder mit 30fps übertragen werden sollen. 1 P.

## Aufgabe 6 *Programmieren durch Vormachen* (7 Punkte)

1. Nennen Sie zwei Gründe, die dafür sprechen, Roboter durch das Vormachen einer Aufgabe zu programmieren. 2 P.
2. Auf welchen zwei Ebenen kann eine Fähigkeit vom Roboter durch Vormachen gelernt werden? 1 P.
3. Stellen Sie sich vor, sie wollen die Bewegung eines Probanden erfassen. Der Proband soll sich draußen frei bewegen, eine Positionsbestimmung im globalen Koordinatensystem ist nicht notwendig. Des Weiteren soll die Bewegungsfreiheit des Probanden möglichst wenig behindert werden. Welches aus der Vorlesung bekannte Technik würde sich hierfür eignen? Geben Sie eine richtige Methode an (nicht nur den Überbegriff) und begründen Sie Ihre Antwort. 2 P.
4. Ordnen Sie die folgenden Eigenschaften optisch-passiven oder optisch-aktiven markerbasierten Systemen zu: 2 P.
  - (a) Das System benötigt mehrere Kameras.
  - (b) Das System ermöglicht eine vereinfachte Handhabung des Marker-Labelings.
  - (c) Die Aufnehmende Kamera des Systems sendet Infrarotstrahlung.
  - (d) Die Marker benötigen eine Stromversorgung.
  - (e) Das System ist teuer und benötigt Spezialhardware.
  - (f) Das System erlaubt eine Positionierung im sub-millimeter Bereich.
  - (g) Das hat erhöhte Anforderungen an den Aufnahmebereich und ist daher nur indoor möglich.
  - (h) Die Marker übertragen eine kodierte Kennung.

# Lösungsblätter zur Klausur

Robotik I: Einführung in die Robotik

am 16. Juni 2020

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

Aufgabe 1	von 12 Punkten
Aufgabe 2	von 7 Punkten
Aufgabe 3	von 6 Punkten
Aufgabe 4	von 6 Punkten
Aufgabe 5	von 7 Punkten
Aufgabe 6	von 7 Punkten

<b>Gesamtpunktzahl:</b>	
-------------------------	--

	<b>Note:</b>
--	--------------

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

2

## Aufgabe 1 *Kinematik*

1.  $G_1$ :

$G_2$ :

2. (a)  $A_{0,1} =$

$A_{1,2} =$

(b)  $A_{0,2} =$

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

3

(c)  $q = (0^\circ, 100 \text{ mm})$ :

3. (a) Position:

(b) Rotationsachse und -winkel:

(c) Quaternion:

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

4

## Aufgabe 2 *Dynamik*

1. Allgemein

(a) Gleichung:

(b) Terme und Erklärung:

2. (a) Szenario 1:

(b) Szenario 2:

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

5

3. Schritte:

•

•

•

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

6

## Aufgabe 3 *Bewegungsplanung*

1. Vorteil:

Nachteil:

2. Ziel:

Vorgehen:

3. Zentraler Schritt:

Vorgehen:

4. Expansionsreihenfolge:

A,

## Aufgabe 4 Greifen

1. Definition:

2. Objekthülle:

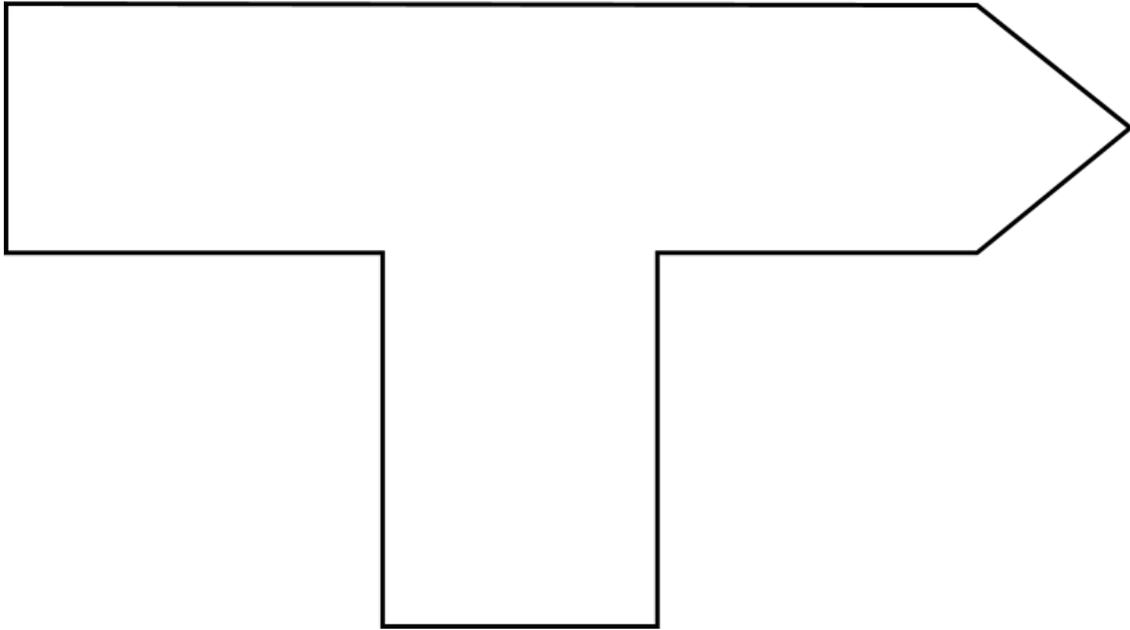


Abbildung 1: Objekthülle in 2D.

3. Schritte:

(a)

(b)

4. Heuristiken:

- 
- 
-

## Aufgabe 5 *Bildverarbeitung*

1. Filteroperationen:

- Name eines Tiefenpass-Filter:
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- Anwendung von Tiefenpass-Filtern:
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- Name eines Hochpass-Filter:
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- Anwendung von Hochpass-Filtern:

2. Canny-Kantendetektor

(a) Bildgradienten:

$$\text{Bildmatrix } M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(b) Weitere Schritte:

3. Bildübertragung:

## **Aufgabe 6** *Programmieren durch Vormachen*

1. Zwei Gründe:

- 
- 

2. Zwei Ebenen:

- 
-

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

10

3. Verfahren:

Begründung:

4. Optisch-aktiv oder optisch-passiv?

Eigenschaft	optisch-aktiv	optisch-passiv	beides
a			
b			
c			
d			
e			
f			
g			
h			