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

Musterlösungen zur Klausur

Robotik I: Einführung in die Robotik

am 16. März 2018, 14:00 – 15:00 Uhr

Name:	Vorname:	Matrikelnummer:
Denavit	Hartenberg	$\frac{\pi}{2}$

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

Gesamtpunktzahl:	45 von 45 Punkten

	Note: **1,0**

Aufgabe 1 *Rotationen*

1. RPY-Winkel von R: 1 P.

Rotation um die y-Achse: $\alpha = 0, \gamma = 0$

$$R_y(\beta) = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.7 & 0 & 0.7 \\ 0 & 1 & 0 \\ -0.7 & 0 & 0.7 \end{pmatrix}$$

$$\sin(\beta) = \cos(\beta) = 0.7 \Rightarrow \beta = \frac{\pi}{4}$$

RPY-Winkel: $\alpha = 0, \beta = \frac{\pi}{4}, \gamma = 0$

2. Homogene Transformationsmatrix ${}^{WKS}T_{OKS}$: 1 P.

$${}^{WKS}T_{OKS} = \begin{pmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.7 & 0 & 0.7 & 300 \\ 0 & 1 & 0 & 200 \\ -0.7 & 0 & 0.7 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

3. Transformation von p in das Weltkoordinatensystem WKS: 2 P.

$${}^{WKS}T_{OKS} \cdot p_{OKS} = \begin{pmatrix} 0.7 & 0 & 0.7 & 300 \\ 0 & 1 & 0 & 200 \\ -0.7 & 0 & 0.7 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -200 \\ 100 \\ 100 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -140 + 70 + 300 \\ 100 + 200 \\ 140 + 70 + 100 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 230 \\ 300 \\ 310 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Aufgabe 2 *Kinematik*

1. DH-Parameter des Roboters: 4 P.

Gelenk	$\boldsymbol{\theta_i}$ [°]	$\boldsymbol{d_i}$ [$\boldsymbol{mm}$]	$\boldsymbol{a_i}$ [$\boldsymbol{mm}$]	$\boldsymbol{\alpha_i}$ [°]
G1	$\mathbf{-90}$	$\mathbf{d_1}$	**0**	**0**
G2	$\theta_{\mathbf{2}}$	**40**	**160**	**0**
G3	θ_3	0	160	0
G4	$\theta_{\mathbf{4}}$	$\mathbf{-120}$	0	0

2. Arbeitsraum: 1 P.

Zylinder (oder auch Hohlzylinder)

3. DH-Parameter ungleich 0: : 1 P.

$\alpha_{5,6} \neq 0$ (Drehung um x-Achse)

Alternative Lösungen:

- α_i
- α, θ

Aufgabe 3 *Regelung*

1. Vervollständigen Sie die Tabelle: 3 P.

Regelkreisgröße	Name
Block 1	**Korrektureinrichtung/Regelglied/Regler/Controller**
Block 2	**Strecke/Plant**
w	**Führungsgröße/Sollwert/Setpoint/Input**
x_d	**Regeldifferenz/Differenzgröße/Error**
y	Stellgröße
x	**Regelgröße/Ausgangsgröße/Output**
r	Rückführgröße
z	**Störgröße /Disturbance**

2. Vervollständigen Sie das Blockschaltbild:

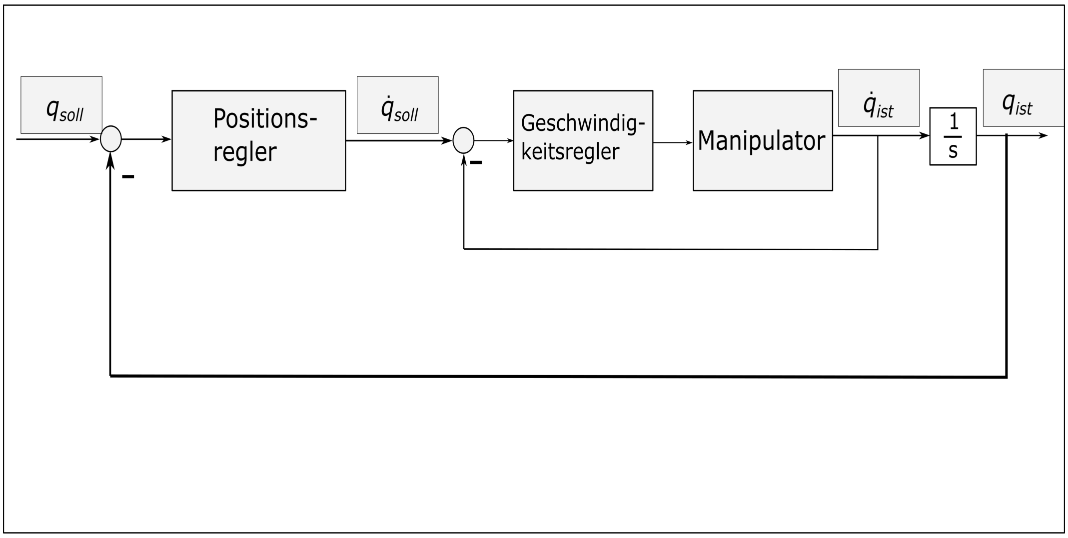


Abbildung 1: Nicht vollständiger Positionsregelungskreis.

(a) Geschwindigkeitsregler: $\dot{q}_{soll}$, $\dot{q}_{ist}$ 1 P.

(b) Positionsregler: q_{soll} , Positionsregler , Rückführung , Subtraktion $-$ 2 P.

3. Gleichungen für den PI-Regler im Zeit und Frequenzbereich: 2 P.

- $u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$
- $U(s) = (K_p + K_i \cdot \frac{1}{s}) \cdot E(s) = K_p \cdot E(s) + K_i \cdot \frac{1}{s} \cdot E(s)$

Aufgabe 4 *Bewegungsplanung*

1. A^*-Schritte:

2 P.

Schritt 1: $O = \{7\}$ $C = \{\}$
$g(7) = 0$

- Expandierter Knoten: 7
- Neues Closed Set: $C = \{7\}$
- Neues Open Set:

Knoten	Kosten (g)	Heuristik (h)
1	1	$\sqrt{4^2+3^2} = \sqrt{25} = 5$
6	8	$\sqrt{4^2+3^2} = \sqrt{25} = 5$
8	8	$\sqrt{2^2+3^2} = \sqrt{13}$
13	1	$\sqrt{2^2+3^2} = \sqrt{13}$

2 P.

Schritt 2:
- Expandierter Knoten: 13
- Neues Closed Set: $C = \{7, 13\}$
- Neues Open Set:

Knoten	Kosten (g)
1	1
6	8
8	8
12	2
14	9
19	2

2. Manhattan-Distanz zulässige Heuristik in $\mathbb{R}^2$: 1 P.

   Nein, sie überschätzt Kosten bei diagonalen Bewegungen.

3. Heuristik für Dijkstra's Algorithmus: 1 P.

   $h(x) = 0$

4. Zwei Eigenschaften bei zulässiger Heuristik: 1 P.

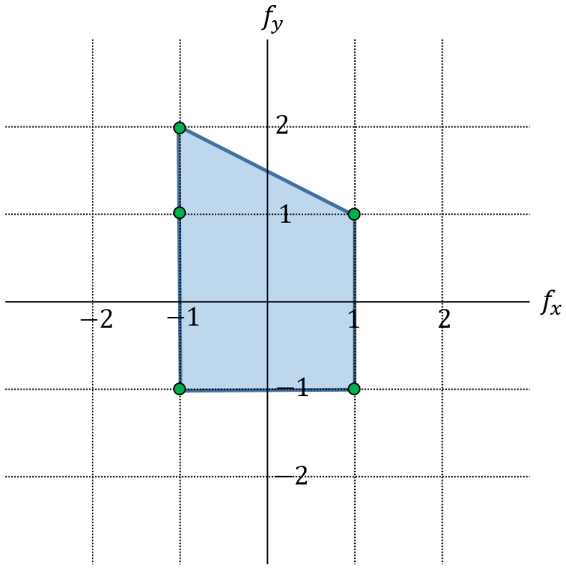
   1) *Optimal*: Die gefundene Lösung hat minimale Kosten.

   2) *Optimal effizient*: Kein anderer optimaler Algorithmus, der die gleiche Heuristik verwendet, besucht weniger Knoten als A^*.

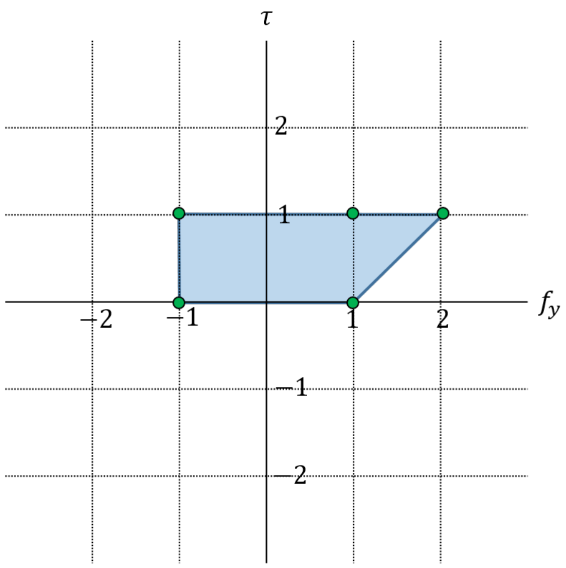
Aufgabe 5 *Greifplanung*

1. Projektion des GWS: 4 P.

   (a) Projektion auf die (f_x, f_y)-Ebene:



   (b) Projektion auf die (f_y, τ)-Ebene:



2. Kraftgeschlossenheit: 2 P.

   Der Griff ist nicht kraftgeschlossen

   Zwei alternative Begründungen möglich:

   - ε-Metrik ist 0, da minimaler Abstand zum Ursprung 0 ist (siehe Projektion auf(f_y, τ)-Ebene).
   - Die Wrenches spannen nicht den gesamten $\mathbb{R}^3$ auf. Ein Drehmoment $\tau < 0$ kann nicht als positive Linearkombination erzeugt werden ($pos(w) \neq \mathbb{R}^3$).

Aufgabe 6 *Bildverarbeitung*

1. Projektion des Szenenpunktes: 2 P.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{f}{z} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \frac{20}{200} \begin{pmatrix} 100 \\ 50 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 \\ 5 \end{pmatrix}$$

   Alternative Lösung (anderer Rechenweg, exakteres Ergebnis):

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{22}{200} \begin{pmatrix} 100 \\ 50 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 \\ 5.5 \end{pmatrix}$$

2. Ergebnis der Mittelwert-Filterung: 3 P.

$$B' = \begin{pmatrix} \frac{8}{9} & \frac{4}{3} & \frac{16}{9} & \frac{20}{9} & \frac{24}{9} & \frac{16}{9} \\ \frac{4}{3} & 2 & \frac{24}{9} & \frac{30}{9} & 4 & \frac{24}{9} \\ \frac{4}{3} & 2 & \frac{24}{9} & \frac{30}{9} & 4 & \frac{24}{9} \\ \frac{8}{9} & \frac{4}{3} & \frac{16}{9} & \frac{20}{9} & \frac{24}{9} & \frac{16}{9} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 0.889 & 1.333 & 1.778 & 2.222 & 2.667 & 1.778 \\ 1.333 & 2 & 2.667 & 3.333 & 4 & 2.667 \\ 1.333 & 2 & 2.667 & 3.333 & 4 & 2.667 \\ 0.889 & 1.333 & 1.778 & 2.222 & 2.667 & 1.778 \end{pmatrix}$$

3. Ergebnis der Erosion: 3 P.

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

Aufgabe 7 *Symbolisches Planen*

1. Minimale Aktionssequenz:s 3 P.

```
pickup(A,B)
putdown(A,L2)
pickup(B,C)
putdown(B,A)
pickup(C,L1)
putdown(C,B)
```

2. Wieso keine negierten Prädikate benötigt? 1 P.

   Die *Closed World Assumption* besagt unter Anderem, dass alle nicht explizit genannten Literale negiert sind.

3. Kann das modfizierte Planungsproblem gelöst werden? 2 P.

   Nein, dazu würde ein dritter Ort `L3` zur zwischenzeitlichen Ablage benötigt.