

Musterlösungen zur Klausur

Robotik I: Einführung in die Robotik

am 10. April 2017, 14:00 – 15:00 Uhr

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

Aufgabe 1	von 6 Punkten
Aufgabe 2	von 11 Punkten
Aufgabe 3	von 7 Punkten
Aufgabe 4	von 9 Punkten
Aufgabe 5	von 7 Punkten
Aufgabe 6	von 5 Punkten

Gesamtpunktzahl:	45 von 45 Punkten
-------------------------	-------------------

Note:	1,0
--------------	------------

Aufgabe 1 *Rotationen*

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

$${}^{WKS}T_{OKS} = \begin{pmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -0.6 & 0.8 & 100 \\ 1 & 0 & 0 & 200 \\ 0 & 0.8 & 0.6 & 300 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

2. Transformation von p in das lokale Koordinationsystem OKS :

Die Transformation von $p = (-200, 100, 100)^T$ erfolgt durch Multiplikation mit T^{-1} :

$$T^{-1} = \begin{pmatrix} R^{-1} & -R^{-1} \cdot t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R^T & -R^T \cdot t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & -200 \\ -0.6 & 0 & 0.8 & -180 \\ 0.8 & 0 & 0.6 & -260 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$p_{OKS} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & -200 \\ -0.6 & 0 & 0.8 & -180 \\ 0.8 & 0 & 0.6 & -260 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -200 \\ 100 \\ 100 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -100 \\ 20 \\ -360 \\ 1 \end{pmatrix}$$

3. Quaternion \mathbf{q} :

$$\mathbf{q} = \left(\cos \frac{\theta}{2}, \mathbf{u} \sin \frac{\theta}{2} \right) = \left(\cos \frac{\pi}{4}, 0, 0, \sin \frac{\pi}{4} \right)^T = (0.7, 0, 0, 0.7)^T$$

4. Konjugiertes Quaternion \mathbf{q}^* :

$$\mathbf{q}^* = (0.7, 0, 0, -0.7)^T$$

Aufgabe 2 Kinematik und Dynamik

1. DH-Parameter des Roboters:

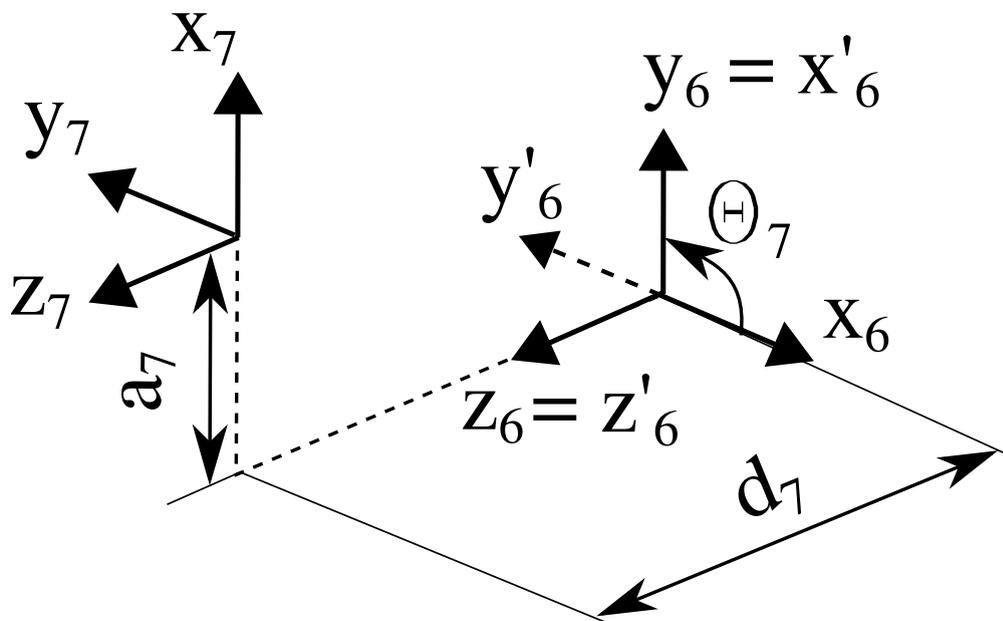
Gelenk	θ_i [°]	d_i [mm]	a_i [mm]	α_i [°]
G1	θ_1	250	0	90
G2	θ_2	22	551	0
G3	θ_3	0	516	0
G4	θ_4	123	0	90
G5	θ_5	105	0	-90
G6	θ_6	90	0	0

2. Anzahl Rotationsgelenke: 6

Anzahl Translationsgelenke: 0

3. Arbeitsraum: Kugel

4. Transformation zwischen (x_6, y_6, z_6) und (x_7, y_7, z_7) :



5. Jacobi-Matrix:

Die Jacobi-Matrix beschreibt den Zusammenhang zwischen kartesischen End-Effektor-Geschwindigkeiten und Gelenkwinkelgeschwindigkeiten.

$$\dot{x}(t) = J_f(\theta(t)) \cdot \dot{\theta}(t)$$

Die Jacobi-Matrix beschreibt den Zusammenhang zwischen Kräften und Momenten am End-Effektor und Drehmomenten in den Gelenken.

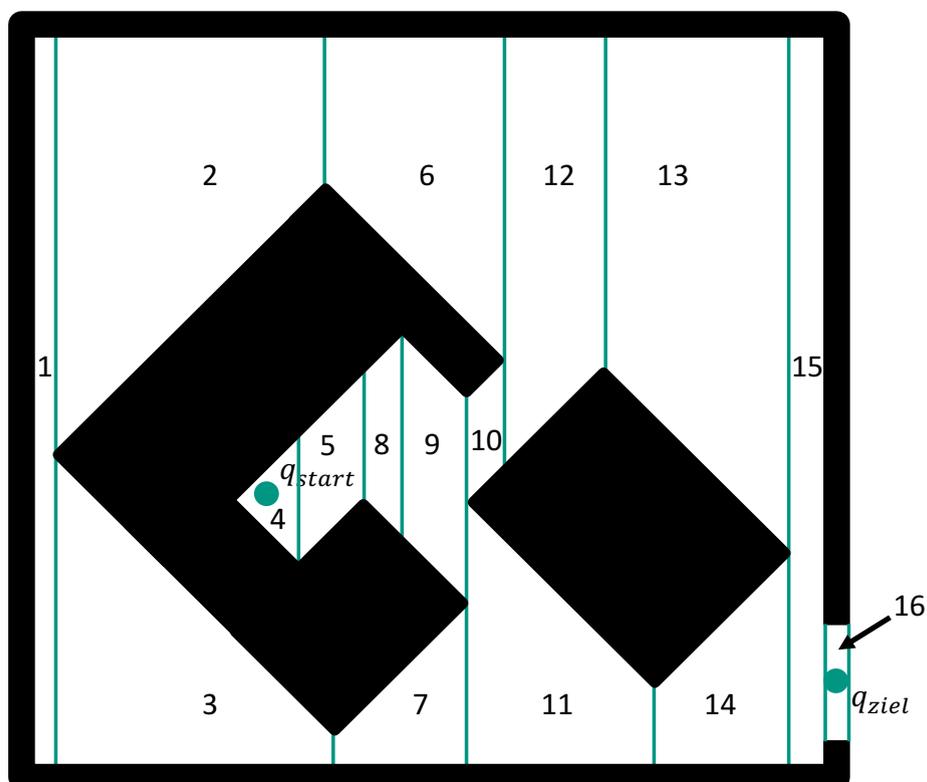
$$\tau(t) = J_f^T(\theta(t)) \cdot F(t)$$

Dimension: 6×11 (6 Zeilen, 11 Spalten)

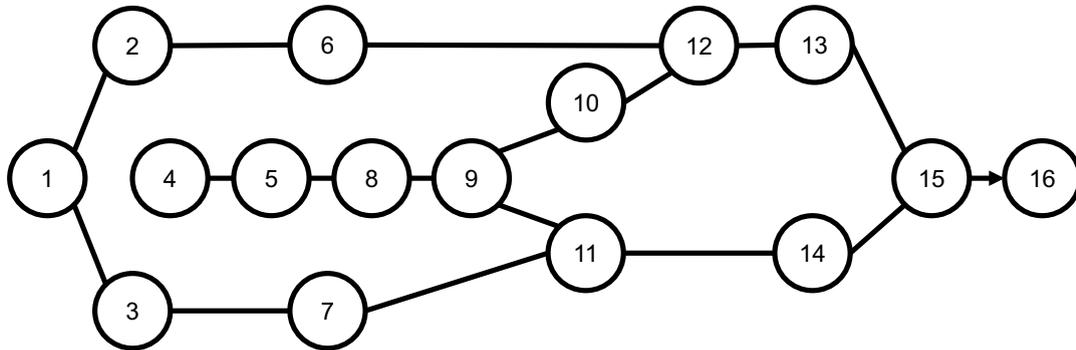
Aufgabe 3 *Motion Planning*

1. Linesweep

(a) Zellzerlegung mittels Linesweepverfahren:



(b) Adjazenzgraph der ermittelten Zellen:



(c) Kürzester Pfad von q_{start} zu q_{ziel} :

$$4 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 11 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 16$$

2. Unterschiede oder Eigenschaften von RRT und RRT*:

- Der RRT Ansatz kann uni- und bi-direktional implementiert werden; der RRT* Ansatz ist uni-direktional.
- Beide Ansätze sind probabilistisch vollständig.
- Pfade des RRT sind nicht optimal; die Pfade des RRT* Ansatzes sind asymptotisch optimal.
- Der RRT Ansatz ist effizienter als der RRT* Ansatz.

Aufgabe 4 *Bildverarbeitung*

1. Prewitt-Filter

Prewitt-X Filter:

$$P_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Prewitt-Y Filter:

$$P_y = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

2. Gradientenbetrag M :

$$M \approx \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

Da in B nur ein Gradient in X Richtung vorhanden ist, ist das Ergebnis bei Anwendung von P_y immer 0. Dementsprechend kann der Gradientenbetrag durch $M \approx \sqrt{P_x^2} \approx P_x$ approximiert werden.

$$B' = \begin{pmatrix} 0 & 6 & 6 & 0 \\ 0 & 6 & 6 & 0 \end{pmatrix}$$

3. Visual Servoing

(a) Unterschied zwischen positions- und bildbasiertem Visual Servoing:

Beim positionsbasierten Visual Servoing wird die Differenz zwischen geschätzter und aktueller Lage eines Objekts im kartesischen dreidimensionalen Raum minimiert.

Beim Bildbasierten Visual Servoing wird die Differenz zwischen aktueller und gewünschter Position eines Merkmals im Kamerabild minimiert.

(b) Die *Interaction Matrix*:

Die Interaction Matrix/Image Jacobian beschreibt die Beziehung zwischen der Bewegung eines Bildmerkmals $s = (u, t)^T$ und des entsprechenden 3D Punktes $P = (x, y, z)^T$

$$\dot{s} = L\dot{P}$$

4. Was ist SLAM? Wozu und Vorgehensweise:

SLAM steht für *Simultaneous Localization And Mapping* und beschreibt das Problem der kontinuierlichen Lokalisierung eines Roboters und gleichzeitigen Erstellung einer Karte der Umgebung. Die Vorgehensweise basiert darauf die Position des Roboters und des verwendeten Sensors zu schätzen.

Vorgehensweise:

- (a) Orientierungspunkte/Szenenfeatures auswählen
- (b) Vorhersage, wie viel sich der Roboter bewegt hat
- (c) Neue Orientierungspunkte/Szenenfeatures aufnehmen. Falls bekannte Features erkannt werden kann eine Zuordnung stattfinden.
- (d) Interne Repräsentation aktualisieren (Messungenauigkeiten beachten)

Aufgabe 5 *Programmieren durch Vormachen*

1. Hauptherausforderungen des PdV:

- Wer soll imitiert werden?
Der Roboter muss den Lehrer wählen, von dem er am meisten profitiert.
- Wann soll imitiert werden?
Der Roboter muss entscheiden, wann die Demonstration startet und gegebenenfalls segmentieren. Zusätzlich muss entschieden werden, wann das beobachtete angewendet werden kann. (1 Kriterium ausreichend)
- Was soll imitiert werden?
Welche Aspekte der Demonstration sind relevant für die Aufgabe/Aktion (Trajektorien, Constraints etc).
- Wie soll imitiert werden?
Übertragung der Demonstration auf den Roboter (Korrespondenzproblem).

2. Unterschied zwischen Batch Lernen und inkrementellem Lernen:

- Beim *Batch* Lernen ist es notwendig, dass alle Demonstrationen als ein zusammenhängender Datensatz vom Lernalgorithmus verarbeitet werden.
- Beim *inkrementellen* Lernen wird nach jeder Demonstration die Repräsentation aktualisiert und erweitert.

3. Techniken zum Aufnehmen von Demonstrationen:

- Marker-basierte optisch-passive Bewegungserfassung
- Marker-basierte optisch-aktive Bewegungserfassung
- IMU-basierte Bewegungserfassung
- Mechanische Bewegungserfassung
- Magnetische/akustische Bewegungserfassung
- Skeleton Tracking
- Segmentation & Tracking

Aufgabe 6 *Strips*

1. Aktionssequenz:

```
putdown(B, H, T)
takefrom(P, H, C)
putdown(P, H, T)
pickup(A, H, T)
putin(A, H, C)
```

2. Annahme zur Weltabgeschlossenheit:

Die Annahme zur Weltabgeschlossenheit sagt aus, dass alles, was nicht explizit als wahr angegeben ist, als falsch bezeichnet wird.