

# Musterlösungen zur Klausur

Robotik I – Einführung in die Robotik

am 13. April 2016, 11:00 – 12:00 Uhr

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

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

<b>Gesamtpunktzahl:</b>	45 von 45 Punkten
-------------------------	-------------------

	<b>Note:</b> <b>1,0</b>
--	-------------------------

## Aufgabe 1

1. RPY-Winkel Rotation um feste Koordinatenachsen:  $R = R_z(\gamma)R_y(\beta)R_x(\alpha)$

$$\begin{aligned}
 R &= \begin{pmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} \cos(\gamma)\cos(\beta) & -\cos(\alpha)\sin(\gamma) + \sin(\beta)\cos(\gamma)\sin(\alpha) & \sin(\alpha)\sin(\gamma) + \sin(\beta)\cos(\gamma)\cos(\alpha) \\ \sin(\gamma)\cos(\beta) & \cos(\alpha)\cos(\gamma) + \sin(\beta)\sin(\gamma)\sin(\alpha) & -\sin(\alpha)\cos(\gamma) + \sin(\beta)\sin(\gamma)\cos(\alpha) \\ -\sin(\beta) & \sin(\alpha)\cos(\beta) & \cos(\alpha)\cos(\beta) \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_z &= -\sin(\beta) \Rightarrow \beta = 0 \\
 o_z &= \sin(\alpha)\cos(\beta) \Rightarrow \alpha = -\frac{\pi}{4} \\
 n_y &= \sin(\gamma)\cos(\beta) \Rightarrow \gamma = -\frac{\pi}{2}
 \end{aligned}$$

Alternative Lösungen:

$$\begin{aligned}
 \beta = 0 \quad \alpha = -\frac{\pi}{4} \quad \gamma = -\frac{\pi}{2} \\
 \beta = 0 \quad \alpha = -\frac{\pi}{4} \quad \gamma = \frac{3\pi}{2} \\
 \beta = \pi \quad \alpha = -\frac{5\pi}{4} \quad \gamma = \frac{\pi}{2} \\
 \beta = \pi \quad \alpha = \frac{3\pi}{4} \quad \gamma = \frac{\pi}{2} \\
 \beta = -\pi \quad \alpha = -\frac{5\pi}{4} \quad \gamma = \frac{\pi}{2} \\
 \beta = -\pi \quad \alpha = \frac{3\pi}{4} \quad \gamma = \frac{\pi}{2}
 \end{aligned}$$

- 2.

$${}^{wKS}T_{OKS} = \begin{pmatrix} 0 & 0.7 & 0.7 & 100 \\ -1 & 0 & 0 & 300 \\ 0 & -0.7 & 0.7 & 100 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

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

$$T^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 300 \\ 0.7 & 0 & -0.7 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0.7 & -140 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$p_{OKS} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 300 \\ 0.7 & 0 & -0.7 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0.7 & -140 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -200 \\ 100 \\ 100 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 200 \\ -210 \\ -210 \\ 1 \end{pmatrix}$$

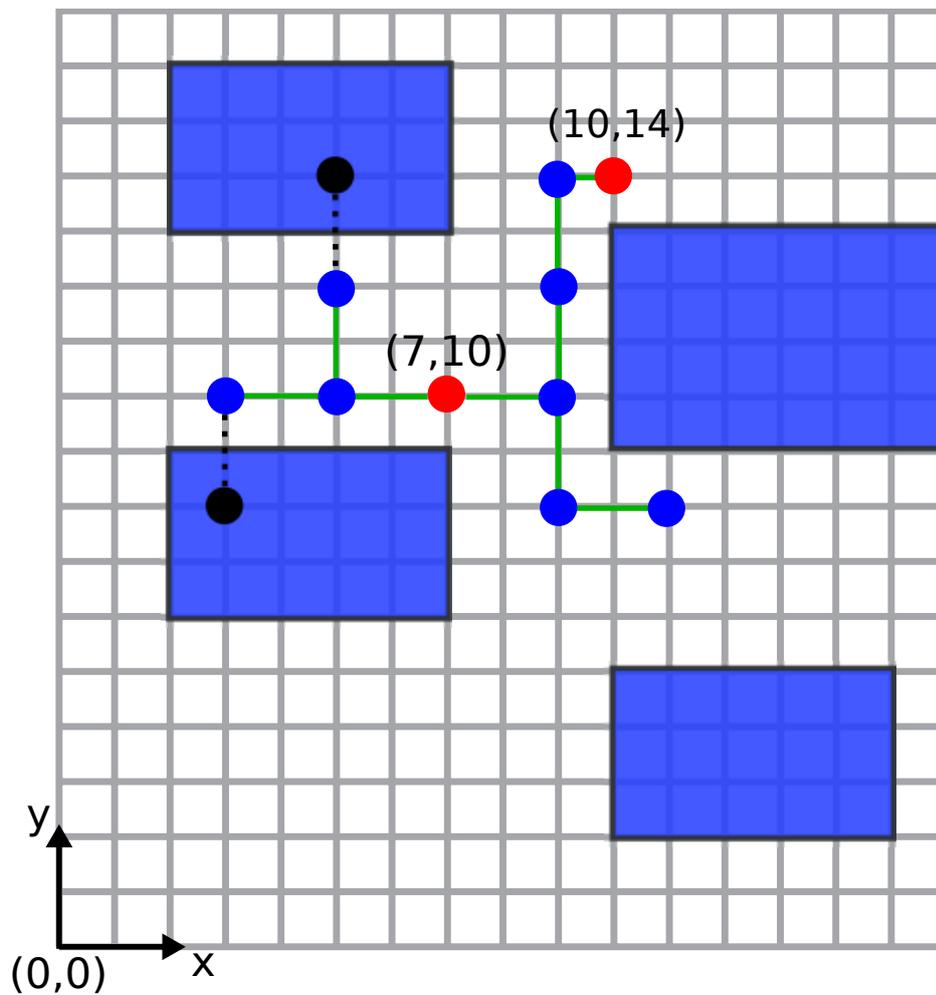
,

## Aufgabe 2

1. Der Konfigurationsraum des Roboters ist der Raum aller möglichen Gelenkkonfigurationen. Der Arbeitsraum besteht aus der Menge der Raumpunkte, die der TCP (Endeffektor) erreichen kann.
2. Roboter 1: b  
Roboter 2: a  
Roboter 3: c

## Aufgabe 3

1. PRM: In einem Vorverarbeitungsschritt wird eine kollisionsfreie Straßenkarte (Graph) erzeugt. Diese kann für Mehrfachanfragen genutzt werden indem der Start und Zielpunkt mit der Strassenkarte verbunden wird und dann ein Weg durch den Graph gesucht wird.  
RRT: Algorithmus zur Einmalanfrage (keine Vorverarbeitung). Aufbau eines Baumes (zweier Bäume) zur Approximation des Freiraumes.
- 2.



## Aufgabe 4

1. Für die Fehlerfunktion  $F_T$  mit den Ecken des Dreiecks  $V = \{v_0, v_1, v_2\}$  und der Punkt-  
wolke  $P = \{p_0, p_1, p_2\}$  gilt:

$$F_T(V) = \sum_{j=0}^2 (\operatorname{argmin}_i \|v_j - p_i\|)^2.$$

2. Gradient von  $F_T'$ :

$$\nabla F_T' = 2 \begin{pmatrix} (v_0 - p_0)^T * (1, 0)^T \\ (v_0 - p_0)^T * (0, 1)^T \end{pmatrix}$$

3. Mit dem Gradient  $\nabla F_T'$  und der Schrittgröße  $\alpha = 0.25$  lässt sich die folgende Aktua-  
lisierungsfunktion herleiten:

$$v_{i,n} = v_{i,n-1} - \alpha \nabla F_T'.$$

Damit lässt sich  $P$  wie folgt annähern:

$$\begin{aligned} V_0 &= \{(0, 0)^T, (1, 0)^T, (0, 1)^T\} \\ V_1 &= \{(1, 1)^T, (2, 1)^T, (1, 2)^T\} \\ V_2 &= \{(1.5, 1.5)^T, (2.5, 1.5)^T, (1.5, 2.5)^T\}. \end{aligned}$$

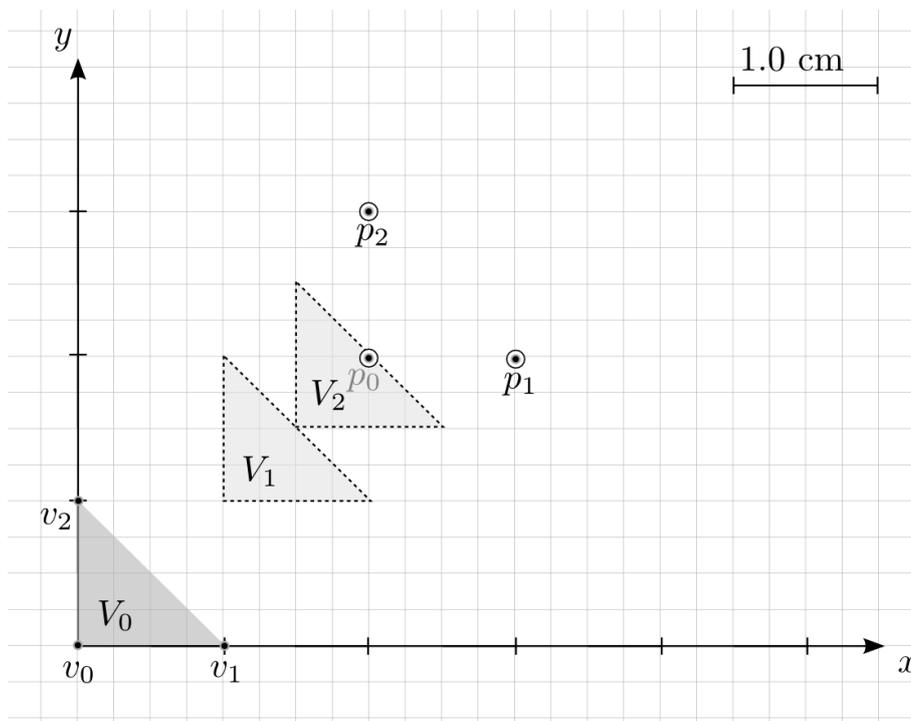


Abbildung 1: Die ersten zwei Iterationen des ICP.

## Aufgabe 5

1. Die Dilatation vergrößert Pixel zu größeren Bereichen. Die Erosion entfernt vereinzelte Pixel und schwach zusammenhängende Pixelgruppen.

2.

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

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

3. Ergebnis der Filterung mit dem Gauss-Filter:

$$B' = \begin{pmatrix} 2 & 2.5 & 3.5 & 4 \\ 2 & 2.5 & 3.5 & 4 \end{pmatrix}$$

## Aufgabe 6

1. Teach-In, Play-Back, Sensorunterstützt, Master-Slave
2. Grundidee der Interaktiven Roboterprogrammierung:
  - Explizite Demonstrationen der Manipulationsaufgabe
  - Sensorielle Erfassung der Demonstrationen
  - Erzeugung der internen Repräsentation des Roboterprogramms
  - Abbildung auf das Robotersystem
  - Ausführung

## Aufgabe 7

1. Direktes kinematisches Problem: Bestimmung der Lage des Endeffektors aus gegebener Gelenkwinkelstellung.  
Inverses kinematisches Problem: Bestimmung der Gelenkwinkelstellungen zu einer gewünschten Lage des Endeffektors.
2. Voxelmodell: Äquidistante Raumunterteilung in 3D  
Vorteile: einfache Darstellung, Berechnungen homogen, parallel auf GPU, Raycasting u.ä. einfach parallelisierbar  
Nachteile: festes Gitter (Detaillierungsgrad), Kartengröße/Präzision durch Speicher begrenzt

## Aufgabe 8

Beantworten Sie die folgenden Fragen, indem sie entweder richtig oder falsch ankreuzen. Für jede korrekte Antwort erhalten Sie 0,5 Punkte. Jede nicht beantwortete Frage wird mit 0 Punkten bewertet. Für jede falsche Antwort werden Ihnen 0,5 Punkte abgezogen. Die minimale erzielbare Punktzahl beträgt 0 Punkte.

1.

<i>Antriebe</i>	<i>richtig</i>	<i>falsch</i>
Ein pneumatischer Antrieb benötigt ein Getriebe.		X
Ein pneumatischer Antrieb bietet schlechte Positioniergenauigkeit.	X	
Ein hydraulischer Antrieb kann sehr große Kräfte aufbringen.	X	
Elektrische Antriebe haben eine hohe Positionier- und Wiederholgenauigkeit.	X	

2.

<i>Greifen</i>	<i>richtig</i>	<i>falsch</i>
Die menschliche Hand besitzt insgesamt 15 Bewegungsfreiheitsgrade.		X
In der Cutkosky-Grifftaxonomie wird zwischen Präzisionsgriffen und Kraftgriffen unterschieden.	X	
Ein Kontakt ohne Reibung existiert in der Robotik nicht.	X	
Jedes Objekt kann durch einen auf drei Kontaktpunkten basierenden Fingerspitzengriff kraftgeschlossen gegriffen werden.		X

3.

<i>Bahnsteuerung und Bewegungsplanung</i>	<i>richtig</i>	<i>falsch</i>
Bei einer Bahnsteuerung durch Interpolation in Weltkoordinaten muss die inverse Kinematik gelöst werden.	X	
Ein quaderförmiges Hindernis im Arbeitsraum entspricht einem quaderförmigen Hindernis im Konfigurationsraum.		X
Ein probabilistisch vollständiges Bahnplanungsverfahren kann ermitteln, ob keine Lösung existiert.		X
RRTs sind probabilistisch vollständig.	X	

4.

<i>Bildverarbeitung</i>	<i>richtig</i>	<i>falsch</i>
Der RGB-Farbraum bildet eine additive Farbmischung ab.	X	
Ein Gauß-Filter ist ein Tiefpassfilter.	X	
Der Prewitt-Filter ist ein einfaches Segmentierungsverfahren.		X
RANSAC und SLAM sind iterative Algorithmen zur Schätzung von Modellparametern aus Datenpunkten.		X