

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zum Einstieg: Worum geht es?</b>	<b>1</b>
1.1	Was ist ein Roboter?	1
1.2	Beispiele für mobile Roboter	4
1.2.1	Staubsauger„roboter“	7
1.2.2	Marserkundung: Spirit und Opportunity	8
1.2.3	Wüstenrallye: Stanley	9
1.2.4	Roboterfußball: Tribot	11
1.2.5	Simulierte Roboter: Zum Beispiel KURT	13
1.3	Übersicht	15
<b>2</b>	<b>Sensorik</b>	<b>23</b>
2.1	Allgemeines	23
2.2	Bewegungsmessung	28
2.2.1	Drehwinkelmessung	28
2.2.2	Beschleunigungssensoren	31
2.3	Ausrichtungsmessung	32
2.3.1	Kompasse	33
2.3.2	Inklinometer	33
2.4	Globale Positionsbestimmungssysteme	33
2.4.1	GPS	34
2.4.2	Differentielles GPS	35
2.4.3	GLONASS, Galileo und Compass	36
2.5	Entfernungsmessung	36
2.5.1	Messprinzipien	37
2.5.2	Ultraschall-Entfernungsmesser	39
2.5.3	Infrarotsensoren	40
2.5.4	Laserscanner	42
2.5.5	Radar	49
2.6	Kameras und Kameramodelle	51
2.6.1	Omnidirektionale Kameras	55
2.6.2	Stereokameras	57

2.6.3	3D-Kameras	60
<b>3</b>	<b>Sensordatenverarbeitung</b>	67
3.1	Entfernungsdaten	67
3.1.1	Messfehler filtern	67
3.1.2	Linienerkennung	69
3.2	Bildmerkmale	74
3.2.1	Faltungen von Bildern	76
3.2.2	Kantenerkennung	76
3.2.3	Eckenerkennung und der Harris Corner Detektor	80
3.2.4	SIFT-Merkmale	81
3.2.5	SURF-Merkmale	85
3.2.6	Haar-Merkmale	89
3.3	Stereobildverarbeitung	91
3.4	Optischer Fluss und Struktur aus Bewegung	95
3.4.1	Optischer Fluss	95
3.4.2	Struktur aus Bewegung	98
<b>4</b>	<b>Fortbewegung</b>	103
4.1	Einleitung	103
4.1.1	Radfahrzeuge	105
4.1.2	Laufmaschinen	109
4.2	Bewegungsschätzung	110
4.2.1	Differentialantrieb	111
4.2.2	Einachsige Lenkung	114
4.2.3	Omnidirektionaler Antrieb	118
4.3	Bayes- und Kalman-Filter	123
4.3.1	Grundlagen	124
4.3.2	Bayes-Filter	128
4.3.3	Kalman-Filter	133
4.4	Fusion von Odometriedaten	144
4.4.1	Gyrodometrie	144
4.4.2	Winkelhistogramme	147
<b>5</b>	<b>Lokalisierung in Karten</b>	155
5.1	Karten	155
5.1.1	Karten zur Lokalisierung	160
5.1.2	Karten zur Lokalisierung & Pfadplanung: Rasterkarten	164
5.1.3	Karten zur Pfadplanung	166
5.2	Triangulation	170
5.2.1	Der Rückwärtsschnitt	170
5.2.2	Der Vorwärtsschnitt über Dreieckswinkel	172
5.2.3	Triangulation mit Entfernungswerten: Der Bogenschnitt	176
5.3	Lokalisierungs-Algorithmen	176
5.3.1	2D-Scanmatching	177

---

5.3.2	Lokalisierung an Linien .....	189
5.3.3	Merkmalsbasierte Lokalisierung .....	191
5.3.4	Kalman-Lokalisierung .....	193
5.3.5	Markow-Lokalisierung .....	201
5.3.6	Monte-Carlo-Lokalisierung .....	204
<b>6</b>	<b>Kartierung</b> .....	<b>221</b>
6.1	Überblick .....	221
6.2	Kartierung bei bekannten Posen .....	226
6.3	Inkrementelles SLAM .....	229
6.3.1	EKF-SLAM .....	229
6.3.2	FastSLAM .....	232
6.4	Vollständiges SLAM .....	239
6.4.1	GraphSLAM .....	239
6.4.2	Scanmatching-basiertes GraphSLAM .....	241
6.4.3	6D-SLAM .....	249
<b>7</b>	<b>Navigation</b> .....	<b>261</b>
7.1	Hintergrund .....	261
7.2	Navigation auf Basis von Reflexen: Braitenberg-Vehikel .....	264
7.3	Reaktive Navigation .....	266
7.3.1	Freiraumnavigation mit Spurfahrt .....	266
7.3.2	Konturverfolgung .....	268
7.3.3	Bug-Algorithmen .....	268
7.4	Pfadplanung .....	272
7.4.1	Sichtbarkeitsgraphen .....	275
7.4.2	Probabilistische Straßenkarten .....	276
7.4.3	Voronoi-Diagramme als Straßenkarten .....	278
7.4.4	Pfadplanung in Raster- und Zellkarten .....	280
7.4.5	Potenzialfelder .....	281
7.4.6	Pfadpläne ausführen .....	284
7.5	Explorationsplanung .....	285
7.5.1	Theorie zur Polygonexploration .....	286
7.5.2	Polygonexploration .....	288
7.5.3	Planen in Rasterkarten .....	290
7.6	Planbasierte Robotersteuerung .....	290
7.6.1	Planungsdomänen und -algorithmen .....	293
7.6.2	Warum fällt Robotern das Planen schwer? .....	295
<b>8</b>	<b>Umgebungsdateninterpretation</b> .....	<b>301</b>
8.1	Objektverankerung .....	302
8.2	Semantische Karten .....	306
8.2.1	Wissensrepräsentation und Inferenz .....	307
8.2.2	Was ist eine semantische Karte? .....	310
8.2.3	Kartierung für semantische Karten .....	312

---

<b>9</b>	<b>Roboterkontrollarchitekturen</b> .....	317
9.1	Architekturschemata .....	320
9.2	ROS .....	326
9.2.1	Design-Prinzipien .....	326
9.2.2	Nomenklatur .....	329
9.2.3	Anwendungen .....	329
<b>10</b>	<b>Ausblick</b> .....	335
<b>A</b>	<b>Mathematische Grundlagen</b> .....	343
A.1	Rotation .....	343
A.1.1	Rotationsdarstellung .....	343
A.1.2	Rotationsmatrizen .....	344
A.1.3	Homogene Koordinaten .....	346
A.2	Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitstheorie .....	347
A.3	Lösen linearer Gleichungssysteme .....	352
A.4	Hauptkomponentenanalyse .....	353
<b>B</b>	<b>Algorithmische Grundlagen</b> .....	359
B.1	Suchverfahren .....	359
B.1.1	Tiefen- und Breitensuche .....	359
B.1.2	Der A*-Algorithmus .....	360
B.2	Bäume zur Raumrepräsentation .....	362
B.2.1	$k$ D-Bäume .....	362
B.2.2	Quadrees .....	366
B.2.3	Octrees .....	366
<b>C</b>	<b>Regelungstechnische Grundlagen</b> .....	369

Mobile Roboter

Eine Einführung aus Sicht der Informatik

Hertzberg, J.; Lingemann, K.; Nüchter, A.

2012, X, 390 S. 189 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-642-01725-4