

**Beiträge zur Lokalisation
und zur
modellbasierten Lageregelung
mobiler Roboter**

Christoph Ußfeller



Universitätsverlag Ilmenau
2013

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. RoboCup an der TU Ilmenau	1
1.2. Präzisierte Aufgabenstellung	2
1.3. Realisierte Softwaremodule	6
1.4. Modellierung des Verhaltens	8
1.4.1. Paradigmen der Verhaltensmodellierung	8
1.4.2. Realisierung des Mannschaftsverhaltens	10
I. Objektlokalisierung durch digitale Bildverarbeitung	13
2. Subsymbolische Verfahren der Bildverarbeitung	15
2.1. Vorverarbeitung	16
2.1.1. Rohdatenaufbereitung durch Bayerinterpolation	16
2.1.2. Helligkeitsausgleich	21
2.2. Farbklassifikation	24
2.2.1. Klassifikation durch Generalisierung von Stichproben	28
2.2.2. Autonome Stichprobenerhebung	34
2.3. Segmentierung	45
2.3.1. Lauflängenkodierung	46
2.3.2. Segmentvereinigung	47
3. Symbolische Auswertung – Bildinterpretation	51
3.1. Trikots	51
3.1.1. Anforderungen	51
3.1.2. Kodierung	51
3.1.3. Festlegung eines Trikots	52
3.2. Lokalisation	55
3.2.1. Helmert-Transformation	55
3.2.2. Helmert-Transformation mit Wichtungen	57
3.2.3. Vergleich verschiedener Gütekriterien	62

II. Steuerung eines RoboCup-Spielers	71
4. Regelung eines omnidirektionalen Antriebssystems	73
4.1. Modellierung eines omnidirektional getriebenen Roboters als Mehrkörpersystem	77
4.1.1. Koordinatensysteme	79
4.1.2. Roboterzustand	80
4.1.3. Schnittgrößen	81
4.1.4. Dynamik des Omnidirektionalrades	82
4.1.5. Dynamik des Antriebes	92
4.1.6. Dynamik des Grundkörpers	96
4.2. Beschränkung der Beschleunigungsfähigkeit eines omnidirektionalen Antriebssystems	102
4.2.1. Umstrukturierung von Impuls- und Drehimpulssatz des Grundkörpers	103
4.2.2. Projektionen der Radwinkelgeschwindigkeiten, der Radgeschwindigkeiten und der Schnittmomente	104
4.2.3. Approximation der Haftreibungsgrenze	105
4.2.4. Begrenzung durch realisierbare Antriebsmomente	106
4.2.5. Formulierung der Beschleunigungsfähigkeit als lineares Optimierungsproblem	108
4.2.6. Erweiterung des Modells um den Radschlupf	114
4.2.7. Vereinfachung für dreirädrige Roboter	117
4.3. Regelung	119
4.3.1. Geschwindigkeitsregler	119
4.3.2. Lageregler	120
5. Pfadplanung	131
5.1. Graphensuche	133
5.1.1. Definitionen	133
5.1.2. A*-Algorithmus	134
5.2. Aufbau des Navigationsgraphen als Sichtbarkeitsgraph	137
5.2.1. Approximation der Hindernisse durch Polygone	139
5.2.2. Punkt-im-Polygon-Test	141
5.2.3. Strecke-schneidet-Polygon-Test	141
5.3. Aufbau des Navigationsgraphen durch adaptive Zelldekomposition	143
5.3.1. Eigenschaften einer Zelle	144
5.3.2. Adaptive Zelldekomposition durch Aufbau eines Quadtree	146
5.3.3. Vergleich zwischen adaptiver Zelldekomposition und konstruiertem Sichtbarkeitsgraph	150

5.4. Anwendung der Pfadplanung	154
5.4.1. Nachbearbeitung eines Pfades	154
5.4.2. Realisierte Manöver	155
6. Zusammenfassung und Ausblick	159
A. Verwendung des Computeralgebrasystems Maxima	165
B. Matrizen des Mechanikmodells	169
C. Matrizen des reduzierten Mechanikmodells	177
Symbolverzeichnis	xiii
Abbildungsverzeichnis	xxv
Tabellenverzeichnis	xxvii
Liste der Algorithmen	xxix
Literaturverzeichnis	xxx