

Probabilistische Methoden für die Roboter-Navigation am Beispiel eines autonomen Shopping- Assistenten

Von Christof Schröter



Universitätsverlag Ilmenau
2009

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Diese Arbeit hat der Fakultät für Informatik und Automatisierung der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.

Tag der Einreichung: 18. August 2008

1. Gutachter: Prof. Dr. Horst-Michael Groß
Technische Universität Ilmenau

2. Gutachter: Prof. Dr. Roland Siegwart
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

3. Gutachter: Prof. Dr. Andreas Zell
Eberhard Karls Universität Tübingen

Tag der Verteidigung: 21. Januar 2009

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

Universitätsverlag Ilmenau

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag

Herstellung und Auslieferung

Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat OHG

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

www.mv-verlag.de

ISBN 978-3-939473-58-9 (Druckausgabe)

urn:nbn:de:gbv:ilm1-2009000258

Titelfoto: photocase.com

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Mobile Serviceroboter	1
1.2	Zur Einordnung der Arbeit: Das Projekt SerRoKon - Öffentlicher Einkaufs-Assistent im Baumarkt	2
1.3	Fokus der Arbeit: Navigation in der Indoor-Umgebung .	4
1.4	Anspruch der Arbeit	7
1.5	Gliederung der Arbeit	8
2	Kartenmodell	13
2.1	Umgebungsmodelle	14
2.1.1	Geometrische Karten	16
2.1.2	Gridkarten	17
2.1.3	Regionenkarten	18
2.1.4	Topologische Karten	19
2.1.5	Semantische Karten	20
2.2	Kartenmodelle in dieser Arbeit	21
3	Grundlagen des Kartenaufbaus	23
3.1	Gridkarten-Berechnung aus Beobachtungen	24
3.1.1	Zellen-Belegtheits-Schätzung mittels Entfernungs-Sensoren	24

3.1.2	Verrechnung mehrerer unabhängiger Schätzungen	31
3.1.3	Zellen-Belegtheits-Schätzung mittels 3D-Punktkoordinaten (visuell beobachtbaren Land- marken)	33
3.1.4	Karten-Fusion	38
3.2	Odometriekorrektur	40
3.2.1	Bestimmung des systematischen Fehlers	41
3.2.2	Orientierungs-Korrektur mittels Bodenstruktur	43
4	SLAM - Simultaneous Localization And Mapping	51
4.1	Positionskorrektur durch Map Matching	53
4.2	Probabilistic SLAM	59
4.3	Map-Match-SLAM mit entfernungsmessenden Sensoren	69
4.3.1	Rao-Blackwellized Particle Filter für Map-Match-SLAM	69
4.3.2	Gemeinsame Kartenrepräsentation (Shared Grid- maps)	79
4.3.3	Nicht-persistente Karte (On-Demand Maps)	87
4.3.4	Dynamisierung der Partikelanzahl	89
4.4	Map-Match-SLAM mit visuell detektierten 3D-Punkten	99
4.4.1	Map-Match-SLAM mit Stereo-Kamera	99
4.4.2	Map-Match-SLAM mit Depth-from-Motion	104
4.5	Der SLAM-Assistent	106
4.6	Zusammenfassung und Bewertung des Map-Match-SLAM	114
5	Autonome Navigation	117
5.1	Selbstlokalisierung	118
5.1.1	Map-Match-Selbstlokalisierung	119

5.1.2	Visuelle Selbstlokalisierung	121
5.2	Navigationssystem	123
5.3	Globale Navigation - Pfadplanung	126
5.3.1	Pfadsuche auf 2D-Karten: Vergleich von Dijkstra- und A*-Algorithmus . . .	126
5.3.2	Planung im erweiterten Zustandsraum	131
5.4	Lokale Navigation	131
5.4.1	Vector Field Histogram	133
5.4.2	Multi-Trajektorien-Navigation	144
5.4.3	Lokale Pfadplanung	156
5.4.4	Experimenteller Vergleich	159
6	Integration in das Roboter-Gesamtsystem	165
6.1	Implementationsdetails	166
6.2	Komponenten der Applikation „Shopping-Assistent“ - Nutzer-Interaktion, Verhalten und Anwendungslogik	173
6.3	Bewertung des Gesamtsystems	180
7	Weiterführende Arbeiten	183
7.1	Visuelle Hindernisdetektion	184
7.2	Dynamische Kartenadaption	189
8	Zusammenfassung und Ausblick	205
8.1	Zusammenfassung	205
8.2	Ausblick	209
	Anhänge	213
A	Bestimmung des systematischen Odometriefehlers für einen Synchro-Drive-Antrieb	213

B	Probabilistische Zustandsschätzung	221
B.1	Rekursive Bayes-Schätzung	223
B.2	Kalmanfilter	226
B.3	Partikelfilter	232
C	Visuelle Tiefenschätzung	235
C.1	Tiefenschätzung mit Stereo-Kamera	238
C.2	Monokulare Tiefenschätzung mittels Depth-from-Motion	242
C.2.1	Grundlagen: Homogene Koordinaten	243
C.2.2	Epipolargeometrie	245
C.2.3	Featuredetektion und -tracking	248
C.2.4	Erweiterter Kalmanfilter	251
D	Bahnregler zur Trajektorienverfolgung	255
D.1	PID-Regler	256
D.2	PID-Regler mit Vorsteuerung	256
D.3	Backstepping-Controller	258
E	SLAM-HP - FastSLAM-Variante für Bearing-Only-SLAM	259
	Abkürzungsverzeichnis	267
	Abbildungsverzeichnis	269
	Literaturverzeichnis	275