

Verteilte Zustandsschätzung nichtlinearer Systeme

Peter Hilgers



Universitätsverlag Ilmenau
2012

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: 27. Oktober 2011
1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Christoph Ament
(Technische Universität Ilmenau)
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Thomas Rauschenbach
(Fraunhofer IOSB, Anwendungszentrum Systemtechnik, Ilmenau)
3. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Cristina Tarin
(Universität Stuttgart)
- Tag der Verteidigung: 24. April 2012

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 978-3-86360-031-0 (Druckausgabe)

URN [urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012000053](http://nbn:de:gbv:ilm1-2012000053)

Titelfoto: photocase.com

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	xxiii
Abstract	xxv
Vorwort	xxvii
1. Einführung und Stand der Technik	1
1.1. Einführung	1
1.2. Stand der Technik	3
1.3. Gliederung der Arbeit	6
2. Grundlagen	7
2.1. Systemdarstellung im Zustandsraum	7
2.1.1. Lineare Systeme	8
2.1.2. Nichtlineare Systeme	9
2.1.3. Zeitdiskrete Darstellung	9
2.1.4. Stochastische Störungen	10
2.2. Definitionen	11
2.2.1. Zustände	12
2.2.2. Parameter	12
2.2.3. Störungen	12
2.2.4. Zustandsschätzung	13
2.3. Kalman-Filter	13
2.3.1. Herleitung	14
2.3.2. Anschauliche Interpretation	21
2.3.3. Algorithmus	24
2.3.4. Eigenschaften	25
2.4. Das Erweiterte Kalman-Filter	25

Inhaltsverzeichnis

2.5. Nichtlineare Transformationen	27
2.5.1. Erwartungswert	28
2.5.2. Kovarianz	29
2.6. Die Unscented Transformation	31
2.7. Unscented Kalman-Filter	36
2.7.1. Algorithmus	36
2.7.2. Eigenschaften	39
3. Verteilte und Dezentrale Zustandsschätzer	41
3.1. Motivation	41
3.2. Dezentrales Kalman-Filter	42
3.2.1. Dezentralisierung der Messungen	43
3.2.2. Dezentralisierung des Zustands	46
3.3. Verteiltes Und Dezentrales Kalman-Filter	48
3.3.1. Transformationsmatrizen	48
3.3.2. Wahl der Transformationsmatrizen	49
3.3.3. Verteilung von Schätzwerten und Kovarianzma- trizen	51
3.3.4. Algorithmus	54
3.3.5. Eigenschaften	56
3.4. Verteiltes Und Dezentrales Unscented Kalman-Filter . .	56
3.4.1. Verteilung der Modelle	57
3.4.2. Verteilung und Fusion im UKF	60
3.4.3. Algorithmus	60
3.5. Beobachtbarkeit	63
3.5.1. Beobachtbarkeit linearer Systeme	63
3.5.2. Beobachtbarkeit nichtlinearer Systeme	64
3.5.3. Beobachtbarkeit verteilter und dezentraler Sy- steme	67
4. Anwendung auf unterschiedliche Systeme	69
4.1. Dreitanksystem	69
4.1.1. Modellierung	70
4.1.2. Lokale Modelle und lokale Zustände	72
4.1.3. Simulation	77

4.1.4.	Zentrale Schätzung	78
4.1.5.	Verteilte Schätzung	79
4.2.	Multilasertrackersystem I – Verfolgung	83
4.2.1.	Beschreibung eines Lasertracker	83
4.2.2.	Multilasertracker	84
4.2.3.	Modellierung	85
4.2.4.	Zentrale Schätzung	87
4.2.5.	Referenzbewegungen	90
4.2.6.	Dezentrales Filter	93
4.2.7.	Dezentrale Schätzung	95
4.2.8.	Ausfall von Messeinrichtungen	95
4.2.9.	Umkonfiguration des Messsystems	101
4.3.	Multilasertrackersystem II – Beobachtung	106
4.3.1.	Modellierung mehrerer gekoppelter Pendel	106
4.3.2.	Parameter des Testsystems	114
4.3.3.	Verteilung des Modells	118
4.3.4.	Beobachtbarkeit	123
4.3.5.	Zentrales Filter	124
4.3.6.	Verteiltes Filter	125
4.3.7.	Testbewegungen	127
4.3.8.	Verteilte Schätzung	127
4.3.9.	Ausfall einer Messeinrichtung	132
4.3.10.	Betrachtung der Berechnungszeiten	147
4.4.	Bewertung	154
5.	Die Estimation Toolbox für Matlab	157
5.1.	Beschreibung	157
5.1.1.	Die <code>model</code> -Klasse	157
5.1.2.	Die <code>estimator</code> -Klasse	160
5.2.	Erweiterung für verteilte und dezentrale Schätzungen	162
5.2.1.	Die <code>ddestimator</code> -Klasse	162
5.2.2.	Benutzung der <code>ddestimator</code> -Klasse	163
6.	Zusammenfassung und Ausblick	165

Inhaltsverzeichnis

A. Trajektorien der Verfolgung eines zufällig bewegten Objektes	171
B. Bewegung der Reflektoren im Trackerkoordinatensystem	189