
Automatische Modellierung von Waldlandschaften für virtuelle Welten und mobile Roboter

Arnold Bücken

Automatische Modellierung von Waldlandschaften für virtuelle Welten und mobile Roboter

Mit einem Geleitwort
von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Roßmann

 Springer Vieweg

Arnold Bücken
Aachen, Deutschland

D82 (Dissertation RWTH Aachen University, 2013)

ISBN 978-3-658-06743-4
DOI 10.1007/978-3-658-06744-1

ISBN 978-3-658-06744-1 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2014

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.
www.springer-vieweg.de

Geleitwort

Aktuelle Entwicklungen der Robotik "verlassen die Laborumgebung", das heißt die Einsatzgebiete zum Beispiel von Servicerobotik-Applikationen erweitern sich von strukturierten und zuvor genau vermessenen und modellierten Umgebungen auf weniger strukturierte, natürliche Umgebungen. Die Modellierung natürlicher Umgebungen ist aktuell noch eine große Herausforderung, sie ist aber eine wichtige Voraussetzung zum Beispiel für die Lokalisation, Navigation und Aufgabenplanung für mobile robotische Systeme. Die Dissertationsschrift von Herrn Bücken hat zum Ziel, multisensorielle Fernerkundungsdaten zu nutzen, um Waldlandschaften zu identifizieren und so weitgehend automatisch ein Modell einer bewaldeten Landschaft zu erstellen, das unmittelbar die Grundlage für eine Virtual-Reality-Darstellung eines Landschaftsausschnittes realisiert und in zweiter Anwendung als grundlegendes Kartenwerk für die Lokalisation und Navigation automatisierter Arbeitsmaschinen im Wald genutzt wird. Die damit in der Praxis erreichbare Lokalisationsgenauigkeit von ca. 50 cm ist bisher konkurrenzlos.

Die vorliegende Arbeit ermöglicht es, heute global verfügbare Fernerkundungsdaten wie Luftbilder sowie Gelände- und Oberflächenmodelle zu nutzen, um daraus detailgetreue, komplexe Modelle von Waldlandschaften abzuleiten. Die erzielten Genauigkeiten machen es ferner praktikabel, die Ergebnisse nicht nur in Applikationen in den avisierten Bereichen Virtual Reality, Simulation und Robotik einzusetzen, sondern sie ermöglichen darüber hinaus sogar die schrittweise Automatisierung forstlicher Inventur- und Planungsverfahren.

Dieser modernen, fächerübergreifenden und sehr anschaulichen Arbeit, deren Grundidee unter anderem im Jahr 2008 mit dem "European Satellite Navigation Competition 2008 Award" als bester Beitrag des Landes NRW ausgezeichnet wurde, wünsche ich die Ihr gebührende Aufmerksamkeit der Fachwelt und freue mich mit dem Autor über ihren wegweisenden Einfluss auf aktuelle Entwicklungen im Bereich der semantischen Umweltmodellierung.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Roßmann

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mensch-Maschine-Interaktion der RWTH Aachen.

Dem Leiter des Instituts für Mensch-Maschine-Interaktion, Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Roßmann, gilt mein besonderer Dank für die stetige Förderung dieser Arbeit und für die Schaffung der Rahmenbedingungen, die diese Arbeit erst ermöglicht haben.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. T. Kuhlen möchte ich herzlich für das Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Koreferates danken.

Bei den Kolleginnen und Kollegen am Institut für Mensch-Maschine-Interaktion bedanke ich mich für ihre Hilfsbereitschaft und produktive Zusammenarbeit. Erst durch den Kontext der parallel laufenden Arbeiten und der gemeinsamen Arbeit an Projekten war es möglich, den Rahmen für diese Arbeit zu spannen.

Herrn Dipl.-Forstwirt M. Heym, Herrn OFR J. Meißner, Herrn Dipl.-Forstwirt R. Moshhammer, Frau Ass. d. FD. J. Saebel und Herrn FD i.R. G. Spelsberg danke ich für die grundlegende Einführung in die Forsteinrichtung sowie für ihre Hilfsbereitschaft, mir bei verschiedensten forstlichen Fragen mit guten Hinweisen zur Seite zu stehen.

Herrn Dipl.-Inform. M. Giesenschlag danke ich für die fruchtbaren Anregungen nach der Durchsicht des ersten Manuskriptes.

Meiner Familie möchte ich ganz besonders danken. Ohne ihren Rückhalt und die Entbehrungen, die sie auf sich genommen hat, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Arno Bücken

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	V
Vorwort	VII
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	7
2.1 Einzelbaumerkennung.....	7
2.2 Extraktion und Berechnung von Geländedaten.....	16
2.3 Abgrenzende Geometrien für Waldflächen.....	18
2.4 Generierung von Baumattributen.....	19
2.5 Ableitung forstlicher Attribute aus Fernerkundungsdaten.....	21
3 Datengrundlage	27
3.1 Testgebiet 1: Glindfeld.....	27
3.2 Testgebiet 2: Schmallebenberg.....	32
3.3 Testgebiet 3: Arnsberg.....	36
3.4 Testgebiet 4: Hoppengarten.....	42
3.5 Testgebiet 5: Steinfurt.....	45
4 Vorgehen bei der Erzeugung von Waldlandschaften	49
4.1 Bodenmodell.....	49
4.2 Umringe.....	50
4.3 Einzelbaumsegmentierung und Transfer in eine Datenbank.....	55
4.4 Visualisierung.....	55
5 Erhebung von Einzelbaumdaten	57
5.1 Wasserscheidenalgorithmus.....	57
5.2 Volumetrische Baumerkennung.....	60
5.3 Baumerkennung unter Verwendung von Hintergrundwissen.....	70
5.4 Statistische Baumgenerierung.....	76
5.5 Der Schritt zur vollautomatischen Einzelbaumerkennung.....	77
5.6 Einzelbaumattribuierung.....	88
6 Visualisierung	93
6.1 2D-Ansicht von oben.....	93
6.2 3D-Ansicht als Säulen.....	93
6.3 Visualisierung als (ausgerichtete) Textur.....	95
6.4 3D-Ansicht mit realitätsnahen Baummodellen.....	96
6.5 Schatten und Bodenbewuchs.....	97

7	Diskussion	99
7.1	Quantitative Auswertung der Segmentierungsergebnisse	99
7.2	Qualitative Auswertung der Attribuierungsergebnisse	106
7.3	Analyse der benötigten Datengrundlage	115
7.3.1	Analyse der Qualität eines fotogrammetrischen DOMs	116
7.3.2	Analyse der benötigten Auflösung eines LIDAR-DOMs	118
8	Anwendungen	127
8.1	Flugsimulator	127
8.2	Forstsimulator	132
8.3	Lokalisierungsgrundlage	134
8.4	Grundlage für die Baumartenklassifikation	142
8.5	Forstliche Inventuren	142
9	Zusammenfassung	145
	Anhang A – Interpolation	149
	Anhang B – Regressionsergebnisse zur Einzelbaumattribuierung	155
B.1	Ableitung des Brusthöhendurchmessers aus Höhe und Kronenschirmfläche	155
B.2	Ableitung des Alters aus Höhe und Kronenschirmfläche	156
	Anhang C – Ergebnisse der Sensorsimulation	159
	Abbildungsverzeichnis	169
	Tabellenverzeichnis	175
	Abkürzungsverzeichnis	177
	Verzeichnis der Formelzeichen	179
	Literaturverzeichnis	181