Lehrstuhl für Bauinformatik
Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen
Technische Universität München

**Computerunterstützung verteilt-kooperativer Bauplanung
durch Integration interaktiver Simulationen und räumlicher
Datenbanken**

André Borrmann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Schilcher

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. E. Rank
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. R. Hübler,
Bauhaus-Universität Weimar

Die Dissertation wurde am 17.04.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen am 22.06.2007 angenommen.

Berichte aus der Bauinformatik

André Borrmann

**Computerunterstützung verteilt-kooperativer
Bauplanung durch Integration interaktiver
Simulationen und räumlicher Datenbanken**

Shaker Verlag
Aachen 2008

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zagl.: München, Techn. Univ., Diss., 2007

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7086-5

ISSN 1612-6262

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Computerunterstützung verteilt-kooperativer Planungsprozesse im Bauwesen. Dabei werden Lösungsansätze für die synchrone und die asynchrone Form der kooperativen Arbeit präsentiert, die der besonderen Bedeutung von Bauteilgeometrie und -topologie für Planungsentscheidungen gerecht werden. Das im ersten Teil vorgestellte System zur Unterstützung synchroner Zusammenarbeit auf Basis eines 3D-Mehrbenutzereditors erlaubt die dynamische Einbeziehung interaktiver Simulationen in eine kooperative Sitzung. Während dabei die Geometrie den generischen Kern des gemeinsam genutzten Modells bildet, werden die Parameter der dynamisch koppelbaren Simulationsserver mithilfe eines Metamodells modelliert und im verteilten System propagiert. Im zweiten Teil der Arbeit wird eine räumliche Anfragesprache vorgestellt, die die Dekomposition eines Bauwerkmodells anhand geometrisch-topologischer Kriterien erlaubt und damit eine Voraussetzung für konfliktfreies paralleles Arbeiten schafft. Hierfür werden metrische, direktionale und topologische Operatoren auf Grundlage von Punktmengentheorie und Punktmengentopologie formal definiert, eine oktalbaumbasierete Implementierung dieser Operatoren vorgestellt und mit objekt-relationalen Datenbanksystemen eine mögliche Implementierungsbasis für die Anfragesprache aufgezeigt.

Abstract

This thesis addresses computer support for collaborative planning processes in the construction industry. It presents approaches for the synchronous and the asynchronous form of collaborative engineering that cope with the particular significance of geometry and topology of building components for planning decisions. The software system for synchronous collaborative engineering presented in the first part allows for a dynamic integration of interactive simulations in a shared engineering session. While geometric information forms the generic core of the shared model, the steerable parameters of dynamically connectable simulation servers are modeled and announced using an explicitly available meta-model. The second part of the thesis presents a 3D spatial query language which enables the decomposition of digital building models on the basis of geometric and topological criteria and thus lays the foundation for reducing conflicts in parallel work. Metric, directional and topological operators of the language are formally defined using point-set theory and point-set topology and an octree-based implementation of these operators is presented. Finally, the advantages of using object-relational database systems as an implementation base for the spatial query language are discussed.

Vorwort

Diese Arbeit entstand von Dezember 2003 bis April 2007 im Rahmen eines von der Siemens AG gewährten Industriestipendiums während meiner Tätigkeit am Lehrstuhl für Bauinformatik der Technischen Universität München.

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Mein erster Dank gilt Herrn Prof. Dr. rer. nat. Ernst Rank, der mir mit der Aufnahme in sein exzellentes Team die Chance zur intensiven Auseinandersetzung mit wissenschaftlichen Fragestellungen gegeben und für hervorragende Rahmenbedingungen während meiner Promotionszeit gesorgt hat. Sein Interesse an den Inhalten meiner wissenschaftlichen Arbeit waren mir immer ein großer Ansporn. Herausheben möchte ich vor allem seine enorme Konzentrationsfähigkeit, die trotz häufig knapper Zeit die Möglichkeit zu äußerst konstruktiven fachlichen Diskussionen eröffnete.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Hübler möchte für die Übernahme des Zweitgutachtens, sein aufrichtiges Interesse an meiner Arbeit und die detaillierten inhaltlichen Hinweise danken. Bei der Siemens AG bedanke ich mich für die finanzielle Unterstützung meiner Arbeit und das damit entgegengebrachte Vertrauen.

Für die nahezu familiäre Atmosphäre und das freundschaftliche Miteinander am Lehrstuhl bedanke ich mich bei allen Kollegen, im Besonderen jedoch bei Frau Hanne Cornils, die mit ihrer Geduld und ihrem Charme einen wesentlichen Anteil am außerordentlich guten Arbeitsklima hat. Besonders zu schätzen weiß ich die zahlreichen fachlichen Diskussionen mit meinen Kollegen, aus denen viele gute Ideen für diese Arbeit hervorgegangen sind. In diesem Zusammenhang möchte vor allem Andreas Niggel für die vielen spannenden und anregenden Gespräche danken.

Meinen Eltern danke ich für ihre stetige Unterstützung während meines Studiums und der Promotionszeit, durch die sie mir immer die Sicherheit gegeben haben, auf dem richtigen Weg zu sein. Schon in meiner frühen Kindheit legten sie durch die geduldige Beantwortung fast aller meiner Fragen den Grundstein für meine fortwährende Begeisterung am wissenschaftlichen Arbeiten.

Ganz besonders danke ich Julie Rousset, die mir während der mitunter recht arbeitsreichen Promotionszeit zur Seite gestanden und mir Rückhalt gegeben, aber auch immer für willkommene Abwechslung gesorgt hat. Natürlich soll ihr wertvoller Rat bei der visuellen Gestaltung dieser Arbeit nicht unerwähnt bleiben.

Schließlich möchte ich mich ganz besonders bei Julie Metzdorf, Robert Schmidt und Ziad Wassouf bedanken, die diese Arbeit aufmerksam gelesen und viele Hinweise für die Korrektur gegeben haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ausgangspunkt	2
1.3	Aufbau der Arbeit	2
2	Computergestützte kooperative Arbeit in der Bauplanung	5
2.1	Verteiltes Arbeiten und Arten der Computerunterstützung	5
2.1.1	Begriffsdefinitionen	5
2.1.2	Formen von Kooperation	6
2.1.3	Klassifikation rechnergestützter Kooperation	6
2.1.4	Arten von CSCW-Applikationen	8
2.2	Kooperative Bauplanung auf Basis einer integrativen Datenhaltung	10
2.2.1	Charakteristika von Bauplanungsprozessen	10
2.2.2	Deskriptiver und prozessualer Modellierungsansatz	11
2.2.3	Bauwerksmodelle als Grundlage kooperativer Arbeit	11
2.2.4	Verwaltung von Bauwerksmodellen	16
2.3	Zusammenfassung	17
I	Collaborative Computational Steering	19
3	Einführung und Motivation	21
3.1	Integration von Entwurfs- und Simulationswerkzeugen	21
3.2	Computational Steering	22
3.3	Collaborative Computational Steering	23
3.4	Kooperative Planung der Klimatechnik	24
3.5	Verwandte Arbeiten	25
3.5.1	Mehrbenutzereditoren und Collaborative Virtual Environments	25
3.5.2	Computational Collaboratories	27
3.5.3	Computational Steering	28
3.5.4	Interaktive Strömungssimulationen	30
3.5.5	Techniken der Virtuellen Realität im Kontext von digitalem Engineering	32
3.5.6	Fazit	33

4 Die CoCoS-Plattform	35
4.1 Überblick	35
4.2 Das gemeinsam verwendete Modell	38
4.3 Eine adaptierte Client-Server-Architektur	43
4.4 Nebenläufigkeitskontrolle	45
4.5 Awareness-Aspekte	47
4.6 Der Kollaborationsserver	49
4.7 Die Clients	51
4.8 Die Simulationsserver	53
5 Ein Gitter-Boltzmann-Simulationsserver für interaktive Strömungssimulationen	57
5.1 Numerische Strömungssimulation	57
5.1.1 Top-Down- und Bottom-Up-Ansätze	57
5.1.2 Die Navier-Stokes-Gleichungen	58
5.2 Die Gitter-Boltzmann-Methode	59
5.2.1 Die Boltzmann-Gleichung	60
5.2.2 Von der kontinuierlichen Boltzmann- zur Gitter-Boltzmann-Gleichung	62
5.2.3 Algorithmus zur Lösung der Gitter-Boltzmann-Gleichung	63
5.2.4 Weitere Entwicklungen	64
5.3 Diskretisierung der Ausgangsgeometrie im numerischen Gitter	64
5.4 Parallelisierung	67
5.5 Zusammenfassung	69
II Eine räumliche Anfragesprache für digitale Bauwerksmodelle	71
6 Überblick	73
6.1 Motivation und Einführung	73
6.2 Verwandte Arbeiten	76
7 Definition einer abstrakten räumlichen Algebra	79
7.1 Der Algebra-Begriff im Kontext von Anfragesprachen	79
7.2 Räumliche Modellierungstechniken	80
7.2.1 Punktmengentheorie	80
7.2.2 Punktmengentopologie	82
7.2.3 Algebraische Topologie	82
7.2.4 Einfache oder komplexe Typen	88
7.3 Formale Spezifikation des räumlichen Typsystems	89
7.3.1 Point	91
7.3.2 Line	92
7.3.3 Surface	93
7.3.4 Body	98
7.3.5 Der Supertyp SpatialObject	98

7.4	Formale Definition räumlicher Operatoren	99
7.4.1	Überblick	99
7.4.2	Metrische Operatoren	99
7.4.3	Direktionale Operatoren	100
7.4.4	Topologische Operatoren	110
7.4.5	Objekterzeugende und -modifizierende Operatoren	123
7.5	Zusammenfassung	124
8	Oktalbaumbasierte Algorithmen für die Implementierung räumlicher Operatoren	127
8.1	Zellzerlegung	127
8.2	Oktalbaumcodierung	128
8.2.1	Definition	128
8.2.2	Generierung	130
8.3	Metrische Operatoren	140
8.3.1	Basisalgorithmus zur Distanzbestimmung	140
8.3.2	Beispiel	145
8.3.3	Abwandlung des Basisalgorithmus	148
8.4	Direktionale Operatoren	149
8.4.1	Halbraum-basierte direktionale Operatoren	149
8.4.2	Projektionsbasierte direktionale Operatoren	150
8.5	Topologische Operatoren	159
9	Objekt-relationale Datenbanken als Basis räumlicher Analysefunktionalität	189
9.1	Datenbankverwaltungssysteme	189
9.1.1	Definition	189
9.1.2	Vorteile gegenüber dateibasierter Datenverwaltung	190
9.2	Datenbankmodelle und ihre Eignung für die Umsetzung räumlicher Anfragen	191
9.2.1	Relationale Datenbanken	192
9.2.2	Objektorientierte Datenbanken	197
9.2.3	Produktmodellserver	199
9.2.4	Objekt-relationale Datenbanken	201
9.3	Gesamtkonzept einer räumlichen Datenbank für digitale Bauwerksmodelle	207
9.3.1	Räumliche Datenbanken	207
9.3.2	Verwandte Arbeiten außerhalb des GIS-Bereichs	208
9.3.3	SQL als Grundlage einer räumlichen Anfragesprache	209
9.3.4	Speicherung von räumlichen Objekten	210
9.3.5	Integration von geometrischem und semantischem Datenmodell	217
9.4	Software-Prototyp	220
9.5	Zusammenfassung	220

10 Zusammenfassung und Ausblick	223
10.1 Collaborative Computational Steering	223
10.2 Spatial Query Language	224
10.3 Ausblick	225