



Fakultät II - Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften
Department für Informatik

**Enterprise Tomography - ein effizientes Diagnoseverfahren
zur semiautomatischen Lokalisierung von polymorphen
Integrationskonzepten in Unternehmenssoftwaresystemen**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt von

Dipl.-Inf. Dipl.-Math. Jan Aalmink

geboren am 06.10. 1967 in Nordhorn

Oldenburg, März 2011

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Jorge Marx Gómez
Zweitgutachter: Prof. Dr. Helmut Krcmar
Ort der Disputation: Oldenburg, Universität Oldenburg
Tag der Disputation: 24.10.2011

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, daß ich die vorgelegte Dissertation mit dem Titel **Enterprise Tomography - ein effizientes Diagnoseverfahren zur semiautomatischen Lokalisierung von polymorphen Integrationskonzepten in Unternehmenssoftwaresystemen** selbständig verfaßt, nicht als Diplom- oder Prüfungsarbeit verwendet und alle in Anspruch genommenen Hilfen in der Dissertation angegeben habe.

Oldenburg, den 24.03.2011

Oldenburger Schriften zur Wirtschaftsinformatik

Band 7

Jan Aalmink

**Enterprise Tomography –
ein effizientes Diagnoseverfahren zur
semiautomatischen Lokalisierung von
polymorphen Integrationskonzepten in
Unternehmenssoftwaresystemen**

Shaker Verlag
Aachen 2012

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.

Zugl.: Oldenburg, Univ., Diss., 2011

Copyright Shaker Verlag 2012

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0693-3

ISSN 1863-8627

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

Danksagung

Mit der Fertigstellung dieser Dissertationsschrift ist es an der Zeit, mich bei all denen zu bedanken, die mich auf der langen Forschungsreise begleitet und das Promotionsvorhaben unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Jorge Marx Gómez, meinem Doktorvater, für die Themenvergabe, für die inhaltliche Betreuung, für das Mittragen des Forschungsrisikos sowie für die Integration in den internationalen Forschungsverbund. Durch seinen Erfahrungsschatz in der Wirtschaftsinformatik in Richtung SAP hat diese Doktorarbeit neben dem wissenschaftlichen Mehrwert auch eine praxisrelevante Prägung erhalten. Nicht unwesentlich genährt wurde diese Dissertation u.a. durch seine Mediatorität zwischen Forschung und Wirtschaft, die sich in zahlreichen, teilweise multiplen Workshops mit global agierenden Unternehmensgruppen manifestiert hat. In diesem Zusammenhang für die intensive inhaltliche Mitwirkung, und zugleich meinen Dank zuteil werden lassend, möchte ich die Unternehmen bzw. Organisationen bzw. deren Repräsentanten hervorheben: Dr. Terzidis, SAP Research CEC Karlsruhe, Herr Jung, IBM Deutschland Research & Development GmbH Boeblingen, Dr. Ritter, BTC AG, Dr. Kurzhöfer, Lufthansa Systems AG, PTS Group Bremen, Herr Reiter, HRW AG, Herr Hachmann, ZF Friedrichshafen AG sowie Herr Markus, Sitrion Systems GmbH. Das rege Interesse und die zahlreichen Diskussionen bzgl. der Prototypisierung der Enterprise Tomography haben mich signifikant inspiriert und motiviert.

Nicht minder bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. Helmut Krcmar, Technische Universität München, für die Übernahme des Zweitgutachtens. Durch seine langjährige Lehr- und Forschungstätigkeit im VLBA-Umfeld und in Verbindung mit seiner herausragenden Erfahrung im SAP Umfeld sehe ich diese wissenschaftliche Abhandlung in sehr guten Händen. Ich möchte an dieser Stelle nicht verschweigen, daß seine Gutachtertätigkeit für meine Dissertation mich mit gewissem Stolz erfüllt.

Auch möchte ich mich bedanken bei meinem Arbeitgeber, der SAP AG für die Räumlichkeiten und für die hervorragende IT-Rechenzentrumsinfrastruktur, ohne die die Forschungsergebnisse nicht hätten erbracht werden können. Insbesondere gilt mein Dank Herrn Fiechtner, SAP AG, Senior Vice Präsident der Development Area Manufacturing & SCM in Stellvertretung für das Kollegium mit dem ich täglich zusammenarbeite. Ursprünglich angedacht war eine nebenberufliche Promotion mit strikter Trennung von Tagesgeschäft und wissenschaftlichem Arbeiten. Persönliche Überzeugungen und Faszination am Thema haben jedoch wissenschaftliche Ideen in beide Richtungen diffundieren lassen, sodaß mit Sicherheit das Kollegium implizit ein guter Nährboden für den wissenschaftlichen Fortgang der Dissertationsschrift war. Großen Dank gebührt Herrn Dr. Stefan Siebert für die fachbezogenen Diskussionen und die Relativierung vieler Zweifel aus den Themenkomplexen Algorithm Engineering, Supply Chain Management & Manufacturing, Enterprise Cloud Computing sowie Operations Research. Die tiefgehenden wissenschaftliche Diskussionen mit ihm haben ein bleibendes Fundament in der Dissertation hinterlassen. Weiterhin möchte ich mich bei Prof. Dr. Thomas Bayer, einem ehemaligen SAP Kollegen, für die zahlreichen, noch immer fortwährenden Diskussionen und Vertiefungen rundum das Dissertationsthema, insbesondere hinsichtlich der abstrakten Mathematik und theoretischen Informatik bedanken.

Nicht zuletzt möchte ich dem gesamten VLBA-Forschungsteam meinen Dank für die angenehme Zusammenarbeit, insbesondere für das kritische Sezieren meiner Forschungsergebnisse und die Mitarbeit bei der wissenschaftlichen Vorveröffentlichung zuteil werden lassen. Besonderen Dank gebührt Frau Dr. Haak für ihre offene Kommunikation hinsichtlich der aktuellen Ontologieforschung und der Adaptiven Lernsysteme. Dies und ihre Veröffentlichungen haben den semantischen Aspekt meiner Dissertation signifikant mitgeprägt.

Schlußendlich möchte ich mich bei meinen Familienangehörigen und all meinen Freunden bedanken, aus deren Umfeld ich mich in den letzten 6 Jahren, topologie- und zeitbedingt, mehr oder weniger subtrahiert habe. In der nahenden Zukunft gelobe ich diesbezüglich Besserung.

Vorwort

Die vorliegende Dissertationschrift spiegelt das semantische Abbild meiner Forschungsreise durch die interdisziplinäre Forschungslandschaft in kompakter Form wider. Die wissenschaftliche Abhandlung widmet sich dem Themenkomplex der Beherrschbarkeit von Unternehmenssoftwaresystemen in deren zukünftigen Umgebungen. Wird in Betracht gezogen, daß nach vorsichtigen Schätzungen etwa 60 – 65% der weltwirtschaftlichen Werte direkt oder indirekt mit SAP Systemen bewegt werden, so führt dies zu dem Schluß, daß Störungen in Verbund-Systemen empfindliche Kettenreaktionen auslösen und damit einhergehend schwerwiegende negative wirtschaftliche Folgen implizieren können. Das Auftreten von nicht-deterministischen Fehlersymptomen und die Existenz von Unsicherheiten in evolutionär gewachsenen Systemverbänden sind unmittelbare Schlußfolgerungen aus dem in der Wirtschaftsinformatik bekannten CAP-Theorem. Nach den Lehmannschen Gesetzen schwindet, über die Zeitachse betrachtet, das Wissen um die Software- und Datenkonsistenz bei gleichzeitig steigender Komplexität. Dies birgt ein großes Risikopotential. Durch diese gegenläufigen Tendenzen kommt der Autor zu der Auffassung, daß es, im Vergleich zum relativ ausgereiften Themengebiet des Software Engineerings, Nachholbedarf an wissenschaftlichen Ansätzen in der effizienten Unternehmenssoftwarewartung insbesondere hinsichtlich Diagnosesysteme für die Root-Cause-Analysis gibt. Die wissenschaftliche Herausforderung dieser Arbeit besteht darin, konzeptionell ein Leitsystem für das Semantic Debugging zu erstellen. Der Prozeß der Fehlerortung soll geführt werden mit mathematisch fundierten Ansätzen aus der Graphentheorie und der Bioinformatik.

Diese Arbeit ist konstruktiv aufgebaut. In Anlehnung an die medizinische Apparativ-Diagnostik wird mit interdisziplinären Ansätzen das Verfahren Enterprise Tomography als Generalisierung der Software Tomography vorgeschlagen. Enterprise Tomography ist ein holistischer Analyseansatz bezüglich des Aspektes der Integration in Unternehmenssoftwaresystemen. Insbesondere wird über Daten, Artefakte und Software abstrahiert. Es bildet die Synthese aus in Fremdisziplinen bewährten und etablierten Verfahren. Es wird versucht, mit minimalinvasivem Eingriff diese Algorithmen umzugestalten und hinsichtlich eines operatorbasierten Ansatzes auszurichten. Auf Basis dieser Argumentationsgrundlage werden generische Operatoren konstruiert: der Verbund Operator und der Delta Operator. Dieser operatorbasierte Ansatz löst zahlreiche Problemstellungen algorithmisch in der Abstraktion. Selektive Problemfamilien bzw. Problemklassen können somit einheitlich behandelt werden. Diese Abstraktion¹ wird in Fallstudien für konkrete Anwendungsszenarien instanziiert. In der Fallstudie ist deutlich zu erkennen, daß der Delta-Operator für das Fehlerausschlußprinzip effizient und nutzbringend eingesetzt werden kann. Über den Umweg der invertiert indizierten Ontologien, auf denen der Delta-Operator basiert, werden einzelne Prozeßschritte eines Geschäftsprozesses retrograd als Delta isoliert ermittelt. Das Delta ist die Approximation einer potentiellen, zu einem Fehlersymptom assoziierten Fehlerlokation. Die Integrationskette spiegelt die potentielle Fehlerfortpflanzung wider. Auch ist es möglich, über den Verbund-Operator in die Peripherie des Deltas zu navigieren. Dies gibt, aufgefüchert nach diversen semantischen Sichten, aufschlußreiche Informationen zur näheren Beurteilung einer potentiellen Fehlersituation.

Die Dissertation bringt bewährte, teilweise noch im Forschungsstadium befindliche massendatentaugliche Algorithmen aus dem Semantic Web, der Graphentheorie, der Bio-Informatik (Gensequenzanalyse) und der Columnaren In-Memory Technik (invertierte Ontologie-Indizierung) in Zusammenhang und adaptiert diese vorteilhaft für das Semantic Debugging bzw. für die Root-Cause-Analysis. Für das effiziente Funktionieren des Verfahrens werden Vorbereitungen aufgestellt und Leistungscharakteristiken evaluiert.

Am Ende der Fallstudie extrapoliert die Dissertation das Einsatzspektrum der Enterprise Tomography auf weitere, über die Diagnostik hinausgehende Use Cases. Die wissenschaftliche Abhandlung wird mit einer Zusammenfassung bzw. Schlußbetrachtung abgerundet und zeigt zukünftiges Forschungspotential hinsichtlich der bearbeiteten Thematik auf.

Ich wünsche dem Leser eine angenehme intellektuelle Reise.

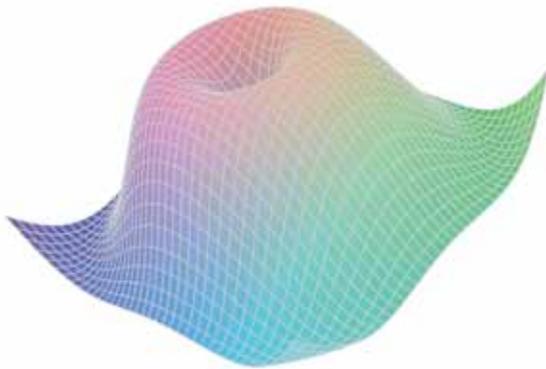
Jan Aalmink

Kronau im März 2011

¹Abstraktion im Sinne von [98], vgl. Abschnitt 8 Prinzipien

in scientia salus

Software-Heilung mit wissenschaftlichen Methoden



Zusammenfassung

Die Industrialisierung in der Enterprise Software Entwicklung ist sehr weit fortgeschritten. Die Enterprise Software Wartung und die mit der Enterprise Software im Zusammenhang stehende Unternehmensberatung hingegen hinkt bezüglich Automatisierung diesem Fortschritt weit hinterher. Insbesondere mangelt es in der Wartung an Standardisierungen in der Diagnostik. VLBA (Very Large Business Applications) und Enterprise Plattformen sind in ihrer Gesamtheit heterogen und komplex. Die Fehleranalyse in integrierten Softwarekonglomeraten erweist sich oft als extrem schwierig, zeitintensiv und muss überwiegend einzelfallbezogen von hochspezialisierten Softwareingenieuren durchgeführt werden. In dieser Dissertation wird der Prozeß der Enterprise Software Wartung mit der Tomographie, einem in der Medizin etablierten Diagnoseverfahren, standardisiert.

Algorithmen aus dem Semantic Web, der Graphentheorie und der Bio-Informatik werden auf die Enterprise Software Diagnostik übertragen und derart adaptiert, daß sie zur Effizienzsteigerung in der Wartung bzw. in der inkrementellen Entwicklung von VLBA und Enterprise Plattformen führen.

In der vorliegenden Dissertation werden mit interdisziplinären Methoden generische Operatoren konstruiert, die polymorphe Integrationskonzepte in Enterprise Plattformen und VLBA in der Dimension Raum und Zeit nach semantischen Sichten auffächern. Es wird aufgezeigt, daß diese generischen Operatoren einen großen Beitrag zur Vereinfachung von wiederkehrenden Wartungsarbeiten beisteuern können.

In Anlehnung an die apparative medizinische Diagnostik wird mit der Enterprise Tomography ein Verfahren vorgeschlagen, das es ermöglicht, semantische Integrationskonzepte zu lokalisieren, zu visualisieren und diese in ihrer zeitlichen Entwicklung zu beobachten. Ebenso kann eine domänenspezifische Deltaanalyse zwischen Enterprise Plattformen durchgeführt werden. Das Konzept Enterprise Tomography beinhaltet eine algorithmenbasierte Ansammlung von Semantic Debugging Patterns und ermöglicht ein Leitsystem für die Fehlerapproximation bzw. Fehlerortung in integrierten Unternehmenssoftwaresystemen.

Im letzten Teil der Arbeit werden zahlreiche Fallbeispiele und Einsatzszenarien erörtert.

Diese wissenschaftliche Abhandlung ist primär ein Beitrag zur Automatisierung und Rationalisierung in der kontinuierlichen Enterprise Software Wartung bzw. in der inkrementellen Enterprise Software Entwicklung. Enterprise Tomography als wissenschaftlich fundierte Methodik kann dem Themenkomplex Application Lifecycle Management von VLBA und Enterprise Plattformen zugeordnet werden.

Abstract

In Enterprise Software Engineering industrialization made significant progress over the last years. However, regarding automatization the progress in Enterprise Software Maintenance and Enterprise Software Consulting is far behind. Especially the diagnostics in maintenance is not standardized. VLBA (Very Large Business Applications) in their entirety are heterogeneous and complex. Defect analysis and root cause analysis in integrated software conglomerates is often extremely difficult, is time consuming and needs to be performed by highly specialized software engineers on a case-by-case basis. In this thesis the procedure of Enterprise Software Maintenance is standardized according to tomography established in medical diagnostics. Approaches of Semantic Web, Graph Theory and Bio-Informatics are transferred to the Enterprise Software Diagnostics. To increase efficiency in maintenance and incremental development the concepts are adapted individually. In the present PhD thesis we construct with interdisciplinary approaches generic operators. These operators are in the position to categorize polymorphic integration concepts by semantic views in Enterprise Platforms and VLBA both in dimension space and time. The generic operators facilitate repetitive maintenance tasks. In accordance to apparatus supported medical diagnostics, the proposed Enterprise Tomography approach enables localization of semantic integration concepts, enables their visualization and makes the tracking of the semantic integration concepts in dimension time and space possible. A domain-specific delta analysis between Enterprise Platforms is possible as well. The concept Enterprise Tomography contains algorithm-based Semantic Debugging Patterns and enables system-based guidance for defect approximation and defect detection. The last part of this thesis covers numerous use cases and scenarios.

In this thesis the scientific contribution is primarily seen in a novel methodology for automatization and streamlining of continuous Enterprise Software Maintenance and incremental Enterprise Software Engineering. Enterprise Tomography is a new scientific approach in Application Lifecycle Management of VLBA and Enterprise Platforms.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	13
1.1. Motivation und Problemstellung	13
1.2. Metapher und Analogie	17
1.3. Strukturierung	19
1.4. Wissenschaftlicher Beitrag	20
1.5. Forschungsmethodik	21
2. Leitfaden und Argumentationsaufbau	25
3. Einordnung in die Forschungslandkarte	29
3.1. Definition und Abgrenzung	29
3.2. Positionierung im VLBA Forschungsumfeld	34
3.3. Sichten auf integrierte Unternehmenssoftwaresysteme	35
3.3.1. Enterprise Cloud Computing	38
3.3.2. Federated ERP	40
3.3.3. Virtualisierung	42
3.3.4. Adaptive Lernumgebungen	45
3.3.5. Enterprise Diagnostics	47
3.3.6. Enterprise Architecture	48
3.3.7. Cloud Visualization	51
3.3.8. Green Clouds	55
4. Grundlagen	57
4.1. Integrationsbegriff in Unternehmenssoftwaresystemen	58
4.2. Integrationsgraph und Integrationsontologien	59
4.3. Spektralanalyse und Graphentheoretische Entsprechungen	61
4.4. Suchalgorithmen	74
4.4.1. DC3-Algorithmus	81
4.4.2. Die Familie der $DC\mu$ Algorithmen	91
4.5. Tree Distance und Graph Distance Algorithmen	101
5. Das operatorbasierte Konzept	105
5.1. Verbund Operator	105
5.2. Delta Operator	117
6. Generische Operatoren auf Service Plattformen	129
6.1. Index Organisation	131
6.2. Enterprise Maintenance Services im Kontext des Cloud-Computings	133
7. Enterprise Tomograph	135
7.1. Ganzheitlicher Ansatz und Zielsetzung	135
7.2. Abstraktion	136
7.3. Architektur und Building Blocks	140
7.4. Crawling und Datenextraktion	143
7.5. User Interface und Visualisierung	145
8. Fallbeispiele	161
8.1. Integration als Werte- und Mengenflusses im SAP ERP	162

8.2. Semantic Debugging Patterns	167
9. Verwandte Arbeiten	171
10. Schlußbetrachtung	175
10.1. Performance Optimierung und Massendaten-Skalierung	175
10.2. Erweitertes Einsatzspektrum	178
10.3. Evaluation mit Unternehmen	181
10.4. Zusammenfassung und Ausblick	185
11. Summary	193
A. Glossar	203
B. Anhang	215
Analyse der SAP Integration über Verbund Operator und Delta Operator	216
Semantic Debugging am Beispiel der SAP Produktkalkulation	219
Semantische Analyse SAP Shop-Floor-Planning/Fertigungssteuerung	236
Visualisierung der Integration im Geschäftsprozeß Warenbewegung	240
Literaturverzeichnis	251
Index	259