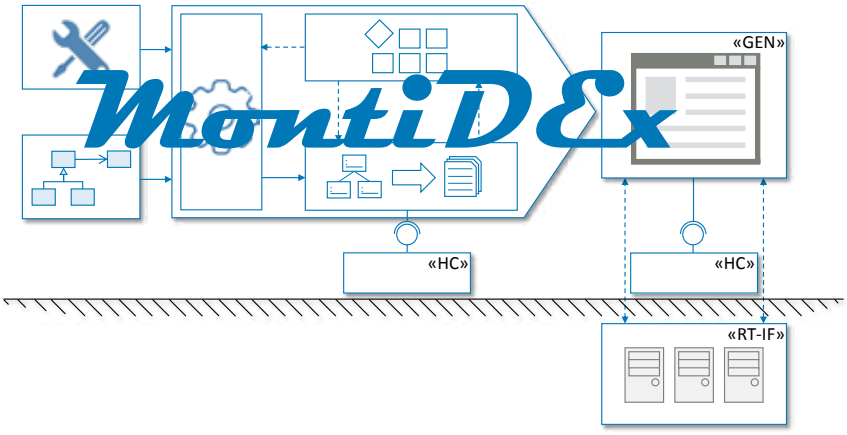
SE | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Alexander Roth

Adaptable Code Generation of Consistent and Customizable Data-Centric Applications with MontiDEx



Aachener Informatik-Berichte,
Software Engineering

Band 31

Hrsg: Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe

Adaptable Code Generation of Consistent and Customizable Data-Centric Applications with MontiDEx

Von der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der RWTH Aachen University zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

M.Sc. RWTH
Alexander Roth
aus Ujar, Russland

Berichter: Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe
Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Albert Zündorf

Tag der mündlichen Prüfung: 15. November 2017

Aachener Informatik-Berichte, Software Engineering

herausgegeben von
Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe
Software Engineering
RWTH Aachen University

Band 31

Alexander Roth
RWTH Aachen University

Adaptable Code Generation of Consistent and Customizable Data-Centric Applications with MontiDEx

Shaker Verlag
Aachen 2017

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2017)

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5688-4
ISSN 1869-9170

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen
Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Abstract

Information systems are software systems that address current demands for harvesting, storing, and manipulating structured information [Kaj12]. A part of information systems are client applications (subsequently called *data-centric applications*) with a graphical user interface (GUI) to execute predefined CRUD (Create, Read, Update, and Delete) operations and display the managed data. The development and prototyping of such software systems contain common repetitive and error-prone development tasks such as implementing a *data structure*, which is a source-code-representation of the managed information, realizing a GUI, and providing access to a persistence infrastructure.

Model-driven development (MDD) aims to reduce the development effort of data-centric applications, improve software quality, and reduce development costs [BCW12] by exploiting platform-independent models as primary development artifacts [SVC06]. Each model is an instance of a domain-specific language (DSL), which enables a high-level and abstract description of (parts of) a software system using domain terminology. MDD tools systematically transform a model into executable source code.

Nevertheless, effective MDD of data-centric prototypes has to address several challenges. In particular, fully executable prototypes have to be generated including the data structure and GUI, which is necessary to support information gathering from end users [MFM+13]. Moreover, adequate DSLs have to be provided to describe structured information and facilitate underspecification that enables prototyping in early stages of the development. These concerns are additionally influenced by orthogonal customization concerns of the generated source code to support agile software development (cf. [BPRFF15]).

Similar holds for MDD of data-centric development, where the same challenges have to be addressed. In addition, an MDD approach has to avoid additional overhead introduced by maintaining DSLs and MDD tools (cf. [MK09]) to improve developer acceptance (cf. [KBR11]). Furthermore, such an approach has to provide adaptation mechanisms for MDD tools to facilitate MDD tool reuse by enabling framework-like and standalone use.

To address the aforementioned challenges, this thesis contributes methods and concepts to a lightweight and agile MDD approach for data-centric application development and its data structure prototyping. The goal is to improve development efficiency by reducing the necessary manual implementation effort for repetitive implementation tasks. In particular, implementing a GUI, a data structure that ensures data consistency, a connection to a persistence infrastructure, and support for process automation, which is considered as the automated execution of CRUD operations. This is achieved by a language family for structural and behavioral modeling, code generators, and lightweight methods. Since such an approach is always accompanied by customization, adaptation, and extension concerns (cf. [SVC06]), mechanisms for manually-written customizations

of generated source code, as well as a modular and adaptable code generator design to facilitate code generator reuse are addressed (cf. [ZR11]). Furthermore, a method and technical realization for all proposed concepts is provided by the MontiCore Data Explorer (MontiDEx) code generator.

Employing the methods proposed in this thesis improves development and prototyping of data-centric applications by providing a unified set of languages and lightweight methods abstracting from implementation details and supporting customization and adaptation concerns of generated source code and MDD tools.

Kurzfassung

Informationssysteme sind Softwaresysteme, die das Verwalten von strukturierten Daten unterstützen und fördern (vgl. [Kaj12]). Ein Teil solcher Informationssysteme sind Client-Anwendungen (im weiteren Verlauf *datenzentrische Anwendungen* genannt). Diese besitzen eine graphische Benutzeroberfläche und erlauben das Ausführen von CRUD (Create, Read, Update und Delete) Operationen auf den verwalteten Daten, sowie das Anzeigen der Resultate. Jedoch beinhaltet die Entwicklung und das Prototyping solcher datenzentrischen Anwendungen viele gemeinsame und sich wiederholende Entwicklungsaufgaben, wie z.B. das Implementieren einer Datenstruktur, die die Quellcode-Repräsentation der verwalteten Information darstellt, das Realisieren einer graphischen Benutzeroberfläche und das Anbieten einer Schnittstelle zu einer Persistenzinfrastruktur für die Datenspeicherung.

Ein Ansatz zur Reduzierung dieser sich wiederholenden Entwicklungsaufgaben zur Steigerung der Softwarequalität und zur Senkung der Entwicklungskosten bietet die Modellgetriebene Softwareentwicklung (MDD) (vgl. [BCW12]). Dies geschieht dadurch, dass plattformunabhängige Modelle als primäres Entwicklungsartefakt genutzt werden (vgl. [SVC06]). Jedes Modell ist dabei eine Instanz einer domänenspezifischen Sprache (DSL), welche ein hohes Abstraktionsniveau bietet um Teile oder ganze Softwaresysteme zu beschreiben und gleichzeitig Domänenterminologie zu verwenden. Werkzeuge transformieren systematisch ein Modell in ausführbaren Quellcode.

Dennoch muss ein effektiver Ansatz zur modellgetriebenen Softwareentwicklung von datenzentrischen Prototypen mehrere Herausforderungen bewältigen. Eine Herausforderung ist die Generierung von vollständig ausführbaren Prototypen. Dies ist Notwendig um die Informationsgewinnung von Endbenutzern zu unterstützen (vgl. [MFM+13]). Diese ausführbaren Prototypen müssen die Datenstruktur beinhalten und eine graphische Benutzeroberfläche anbieten. Bei der modellgetriebenen Softwareentwicklung setzt dies jedoch voraus, dass geeignete DSLs zur Verfügung gestellt werden, die es ermöglichen strukturierte Informationen abstrakt zu beschreiben und auch während der frühen Phase des Prototypings, welche auch Unterspezifikation beinhaltet, genutzt werden können. Eine weitere Herausforderung ist die Bereitstellung von Möglichkeiten zur Anpassung der generierten datenzentrischen Anwendung, die vor allem in einer agilen Entwicklungsumgebung erforderlich sind (vgl. [BPRFF15]).

Gleiche Herausforderungen existieren auch in der modellgetriebene Softwareentwicklung von datenzentrischen Anwendungen. Jedoch sollte zusätzlich der gewählte MDD Ansatz Overhead vermeiden, der durch die Wartung und die Entwicklung von DSLs und geeigneten Werkzeugen eingeführt wird (vgl. [MK09]). Die Vermeidung dieses Overheads steigert die Akzeptanz der Entwickler (vgl. [KBR11]). Darüber hinaus muss ein derartiger Ansatz Anpassungsmechanismen für die genutzten Werkzeuge bereitstellen, um deren Wiederverwendung zu fördern.

Um diese Herausforderungen zu adressieren, werden in dieser Arbeit leichtgewichtige Methoden und Konzepte für ein modellgetriebenes Datenstruktur-Prototyping und die modellgetriebene Softwareentwicklung von datenzentrischen Anwendungen vorgestellt. Ziel ist es, die Effizienz in der Entwicklung zu verbessern, indem der notwendige manuelle Implementierungsaufwand für sich wiederholende Implementierungsaufgaben reduziert wird. Dabei steht insbesondere der Implementierungsaufwand bei der Entwicklung einer graphischen Benutzeroberfläche, einer Datenstruktur und einer Anbindung an eine Persistenzinfrastruktur im Fokus dieser Arbeit. Dies wird durch eine geeignete Sprachfamilie für die Struktur und Prozessbeschreibung von datenzentrischen Anwendungen, geeignete Code-Generatoren und leichtgewichtige Entwicklungsmethoden erreicht. Um Anpassungen im generierten Produkt als auch im Generator zu ermöglichen, werden Methoden zur handgeschriebenen Erweiterung und Konzepte zur Realisierung eines modularen Code-Generators vorgestellt, welche die Wiederverwendung fördern (vgl. [ZR11]). Die entwickelten Konzepte wurden im MontiCore Data Explorer (MontiDEx) Code Generator, sowie dem MontiDEx Produkt realisiert.

Danksagung

In der Entstehungszeit meiner Promotion wurde ich von vielen lieben Menschen unterstützt und begleitet, die durch hilfreiche Diskussionen, tatkräftige Unterstützung und notwendige Ablenkung zum Erfolg dieser Promotion beigetragen haben. Deshalb möchte ich an dieser Stelle diesen Menschen meinen tiefsten Dank aussprechen.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Bernhard Rumpe für die Betreuung dieser Promotion und die spannende und abwechslungsreiche Zeit am Lehrstuhl. Die vielen konstruktiven und lebhaften Diskussionen sowie die vielen Ratschläge haben den Erfolg dieser Promotion entscheidend bewirkt. Auch danke ich dir sehr, Bernhard, dass du mir die Möglichkeit gegeben hast frühzeitig die Leitung verschiedener Forschungs- und Industrieprojekte zu übernehmen und mich so in meiner persönlichen Entwicklung unterstützt hast. Weiterhin bedanke ich mich bei dir für dein Vertrauen mir die Gruppenleitung der Digitalisierungsgruppe zu übergeben.

Weiterer Dank gilt Prof. Dr. Albert Zündorf für das Interesse an meiner Arbeit, das sehr gute Feedback und die Übernahme meines Zweitgutachtens. Ebenfalls möchte ich mich bei Prof. Dr. Ulrik Schröder für die Leitung meines Promotionskomitees und die Abnahme der Prüfung in der praktischen Informatik bedanken. Herrn apl. Prof. Dr. Thomas Noll danke ich für die Abnahme der Prüfung in der theoretischen Informatik.

Herzlich bedanke ich mich auch bei allen Kollegen, die mich während meiner Zeit am Lehrstuhl (oftmals auch außerhalb) begleitet haben. Insbesondere möchte ich Dr. Martin Schindler für sein Mentoring am Anfang meiner Promotionszeit danken. Ebenfalls danke ich Antonio Navarro Pérez für die viele Ideen und den großartigen Einfluss auf meine Promotion. Mein besonderer Dank gilt meinem ehemaligen Gruppenleiter Dr. Pedram Mir Seyed Nazari. Wir haben zusammen den Weihnachtsmann überlebt und konnten immer über jegliche Themen lebhaft und lange diskutieren. Danke für die gemeinsame Zeit, die Zusammenarbeit in der Forschung und Lehre und die Motivation während meiner Promotion! Dr. Klaus Müller danke ich für die sehr gute Zusammenarbeit an verschiedenen Publikationen und die vielen gemeinsamen Forschungsworkshops. Auch wenn du als externer selten anwesend warst, war die Zusammenarbeit mit dir sehr fruchtbar und erfolgreich. Herrn “von Wenckstern” danke ich für seine offene, lustige und immer unterhaltsame Art mit der er das Leben am Lehrstuhl aufgeheitert hat. Gleichzeitig danke ihm auch für die sehr intensiven und hilfreichen Diskussionen. Evgeny Kusmenko möchte ich für seine Motivation zur sportlichen Betätigung danken, aber auch für die gute Zusammenarbeit. Ich bedanke mich auch sehr bei Kai Adam, der mich stark in der letzten Phase meiner Promotion und in unterschiedlichen Forschungs- und Industrieprojekten tatkräftig unterstütz hat.

Darüber hinaus danke ich Sylvia Gunder und Gabriele Heuschen, die mich bei allen organisatorischen Aufgaben unterstützt haben und mein Anlaufpunkt bei Unklarheiten waren. Ebenfalls bedanke ich mich bei Galina Volkova und Marita Breuer, die im Rah-

men des MontiCore Projektes ihr Wissen gerne geteilt haben und mich auch während vieler Demonstrationen und Implementierungsarbeiten unterstütz haben. Außerdem danke ich allen Wissenschaftlichen Mitarbeitern des Lehrstuhls: Vincent Bertram, Arvid Butting, Robert Eikermann, Timo Greifenberg, Dr. Arne Haber, Robert Heim, Steffen Hillemacher, Lars Hermerschmidt, Andreas Horst, Katrin Hölldobler, Oliver Kautz, Carsten Kolassa, Thomas Kurpick, Achim Lindt, Matthias Markthaler, Dimitri Plotnikov, Deni Raco, Dr. Jan Oliver Ringert, Steffi Schrader, Christoph Schulze und Dr. Andreas Wortmann. Für die tatkräftige Unterstützung bedanke ich mich auch bei allen Auszubildenden: Lennart Bucher, Manuel Pütz, Jerome Pfeifer, Ben Mainz, Brian Sinkovec und Max Voss. Vielen Dank auch an all diejenigen, die meine Arbeit Korrektur gelesen haben: Kai Adam, Arvid Butting, Robert Heim, Oliver Kautz, Matthias Markthaler, Dr. Klaus Müller, Dr. Pedram Mir Seyed Nazari, Max Voß und Michael von Wenckstern.

Natürlich gilt mein Dank auch allen Studenten und Studentinnen, die an der Promotion in Form von studentischen Abschlussarbeiten tatkräftig mitgewirkt haben: Aydin Alatas, Denis Domm, Ralph Geerkens, Thomas Maiwald, Patrick Jan Schlesiona, Dominik Studer, Philip Uhl und Enis Zejnilovic. Insbesondere danke ich Junior Lekane Nimpa für die lange Zusammenarbeit an MontiDEx und die sehr guten Implementierungs- und Gestaltungsmitarbeiten.

Abschließend gilt mein unendlicher Dank meinen Eltern und meinen Freunden, die mich auf meinem bisherigen Lebensweg begleitet und unterstützt haben. Liebe Eltern, Peter und Katharina Roth, ich danke euch von ganzem Herzen. Ihr habt mir die Motivation und das nötige Durchhaltevermögen gegeben und als Vorbilder gezeigt, wie man seine Ziele erreichen kann. Diese Promotion wäre ohne eure Aufopferung, Liebe und Unterstützung nicht möglich gewesen. Ebenfalls bedanke ich mich auch meiner Schwester, Olga Knabe, die mir auch während schwieriger Zeiten immer mit Rat und Tat zur Seite stand, mich immer unterstütz und mit kleinen Geschenken motiviert hat. Auch möchte ich Dr. Bastian Knabe und Melissa Anastasia Knabe danken für die Aufheiterung und das Interesse an meiner Promotion. Ich danke auch Michelle Egge für die grenzenlose Unterstützung und unglaubliche Geduld. Für die notwendige Ablenkung und Erholung möchte ich euch, Hauke und Lisa Schaper, ganz herzlich danken. Schließlich danke ich auch Florian Kerber, Michael Lutz und Dr. Andreas Ganser für die Begleitung auf meinem bisherigen Lebensweg und die schöne Zeit mit euch.

Aachen, November 2017
Alexander Roth

Contents