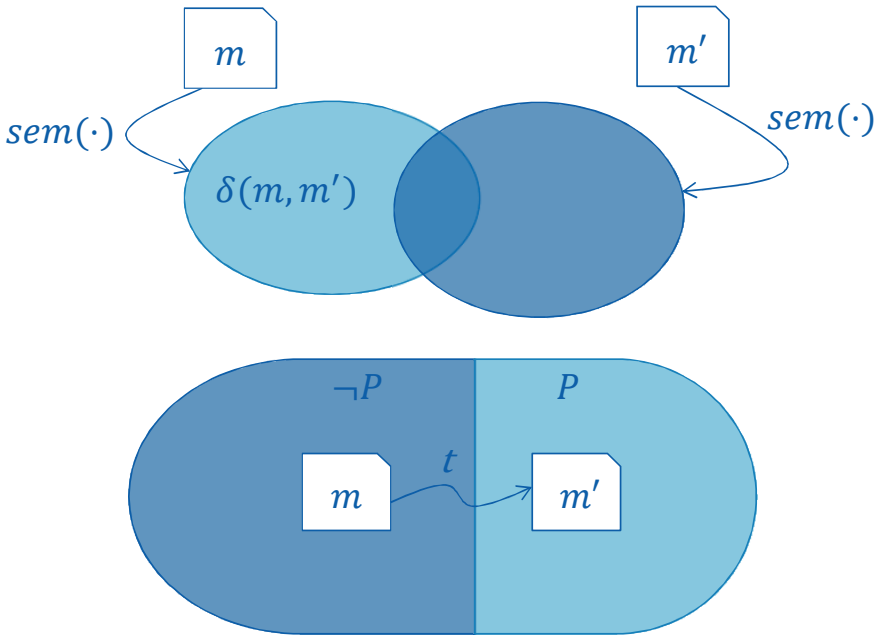
SE | RWTH AACHEN UNIVERSITY

Oliver Kautz

Model Analyses Based on Semantic Differencing and Automatic Model Repair



Aachener Informatik-Berichte,
Software Engineering

Band 46

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

Model Analyses Based on Semantic Differencing and Automatic Model Repair

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
Oliver Kautz

aus

Menden (Sauerland), Deutschland

Berichter: Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe
University Professor Shahar Maoz, PhD

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Februar 2021

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2021)

Aachener Informatik-Berichte, Software Engineering

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

Band 46

Oliver Kautz
RWTH Aachen University

Model Analyses Based on Semantic Differencing and Automatic Model Repair

Shaker Verlag
Düren 2021

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, 2021)

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7926-5
ISSN 1869-9170

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Eidesstattliche Erklärung

I, Oliver Kautz

erklärt hiermit, dass diese Dissertation und die darin dargelegten Inhalte die eigenen sind und selbstständig, als Ergebnis der eigenen originären Forschung, generiert wurden.

Hiermit erkläre ich an Eides statt

1. Diese Arbeit wurde vollständig oder größtenteils in der Phase als Doktorand dieser Fakultät und Universität angefertigt;
2. Sofern irgendein Bestandteil dieser Dissertation zuvor für einen akademischen Abschluss oder eine andere Qualifikation an dieser oder einer anderen Institution verwendet wurde, wurde dies klar angezeigt;
3. Wenn immer andere eigene- oder Veröffentlichungen Dritter herangezogen wurden, wurden diese klar benannt;
4. Wenn aus anderen eigenen- oder Veröffentlichungen Dritter zitiert wurde, wurde stets die Quelle hierfür angegeben. Diese Dissertation ist vollständig meine eigene Arbeit, mit der Ausnahme solcher Zitate;
5. Alle wesentlichen Quellen von Unterstützung wurden benannt;
6. Wenn immer ein Teil dieser Dissertation auf der Zusammenarbeit mit anderen basiert, wurde von mir klar gekennzeichnet, was von anderen und was von mir selbst erarbeitet wurde;
7. Teile dieser Arbeit wurden zuvor veröffentlicht und zwar in: [BKRW17, BKRW19, DKMR19, KR18a, KR18b, DKMR20].

Abstract

Models are the primary development artifacts used in model-driven software development. Therefore, models continuously evolve during the design, development, and maintenance of software systems. Thus, model differencing is an important task to understand the syntactic and semantic differences between model versions.

Previous work produced general (and thus language-independent) approaches for syntactic model differencing, but only a few language-dependent approaches for semantic model differencing. Approaches combining syntactic with semantic model differencing by relating the syntactic changes of models to their semantic differences rarely exist. Previous work neglected the development of language-independent approaches abstracting from a concrete model property for detecting the syntactic elements of a model, which cause that the model does not satisfy the property. If the property encodes a requirement and the non-satisfaction represents the existence of a bug, then detecting the syntactic model elements causing the non-satisfaction of the property facilitates developers in detecting the syntactic model elements causing the bug.

This thesis presents a framework for precisely defining modeling languages, including syntax, semantics, and model evolution possibilities. To demonstrate its feasibility, the framework is instantiated with four concrete modeling languages: Time-synchronous port automata, feature diagrams, sequence diagrams, and activity diagrams. For each of these modeling languages, this thesis presents syntactic and semantic differencing operators. The operators facilitate developers in understanding the syntactic and semantic differences between models of the languages. Based on the framework for precisely defining modeling languages, this thesis presents a modeling language and property-independent framework for automatic model repairs. The framework facilitates developers in detecting the syntactic elements of a model causing that the model does not satisfy a property. Instantiating the framework with a concrete modeling language and a concrete model property enables the automatic calculation of syntactic changes that transform a model not satisfying the property to a model that satisfies the property. The syntactic model elements affected by the syntactic changes can be interpreted to cause the non-satisfaction of the property. Developers can review the affected elements as evidence for the identification of the required changes for fixing the bug that causes the non-satisfaction of the property. Alternatively, the automatically calculated syntactic changes can be directly applied to the model to obtain a model that satisfies the property. The framework relies on the assumption that it is possible to partition the syntactic changes applicable to each model into finitely many model-specific and property-specific equivalence classes.

This thesis presents formal proofs for the correctness of the language-independent and language-dependent results. The applicability and usefulness of the modeling language-independent frameworks are demonstrated by instantiating the frameworks with four modeling languages and the properties refinement, generalization, and refactoring.

The instantiations of the frameworks with the four modeling languages and the example properties can be directly employed in development processes. The process of instantiating the frameworks is a methodology for the development of syntactic and semantic differencing procedures as well as precise model evolution analyses for detecting syntactic model elements causing the non-satisfaction of properties.

Danksagung

Zunächst danke ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Bernhard Rumpe für die Möglichkeit zur Promotion am Lehrstuhl für Software Engineering. Die zahlreichen Diskussionen über die Inhalte dieser Arbeit und andere Themen waren sehr lehrreich und motivierend. Außerdem bin ich sehr dankbar für die gewährten thematischen Freiheiten bezüglich der Inhalte dieser Arbeit. Ich möchte mich auch für die Möglichkeit der Bearbeitung anderer, akademischer und industrienaher, Projekte neben dieser Dissertation bedanken.

Des Weiteren möchte ich Prof. Shahar Maoz, PhD, für die Zweitbegutachtung dieser Arbeit danken. Ich danke außerdem Prof. Dr. Klaus Wehrle für die Leitung des Prüfungskomitees und Prof. Dr. Erika Ábrahám für die Abnahme der Prüfung im Bereich der theoretischen Informatik.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei meinen weiteren, teilweise ehemaligen, Kolleginnen und Kollegen für die schöne und erfolgreiche Zeit am Lehrstuhl. Diesbezüglich gilt mein Dank Jun.-Prof. Dr. Andreas Wortmann, Dr. Katrin Hölldobler, Dr. Judith Michael, Vincent Bertram, Arvid Butting, Joel Charles, Manuela Dalibor, Imke Drave, Robert Eikermann, Arkadii Gerasimov, Steffen Hillemacher, Nico Jansen, Jörg Christian Kirchhof, Evgeny Kusmenko, Achim Lindt, Matthias Markthaler, Lukas Netz, Deni Raco, David Schmalzing, Sebastian Stüber, Simon Varga, Louis Wachtmeister, Vassily Aliseyko, Marita Breuer, Niklas Dienstknecht, Christoph Engels, Joshua Mingers, Brian Sinkovec, Nina Pichler, Annika Donath, Galina Volkova, Lennart Bucher, Jerome Pfeiffer, Sylvia Gunder, Sonja Müßigbrodt, Dr. Timo Greifenberg, Dr. Markus Look, Dr. Klaus Müller, Dr. Pedram Mir Seyed Nazari, Dr. Christoph Schulze und Dr. Michael von Wenckstern. Für das Korrekturlesen früherer Fassungen dieser Arbeit bedanke ich mich bei Andreas, Arvid, David, Evgeny, Imke, Judith, Katrin, Nico, Robert, Sebastian, Simon und Steffen.

Ich möchte mich auch bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken. Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern Karin und Joachim sowie meiner Schwester Sabrina für die kontinuierliche Unterstützung meiner Vorhaben, die zu Anfertigung dieser Arbeit geführt haben. Zusätzlich bedanke ich mich bei Theodor, Hildegard, Till, Pia und Steffen. Auf euer Interesse und eure motivierende Unterstützung war immer Verlass.

Zuletzt bedanke ich mich von ganzem Herzen bei meiner Ehefrau Romina. Ich konnte mich immer auf deine volle Unterstützung verlassen, du hast mich immer motiviert und einige Opfer in unserem Privatleben erbracht, sodass ich mich bestmöglich meinem Promotionsvorhaben widmen konnte. Dafür bin ich dir zutiefst dankbar.

Contents