

Controlling Development Processes

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

Diplom-Informatiker

Thomas Heer

aus Vechta

Berichter: Universitätsprofessor Dr.-Ing. Dr.h.c. Manfred Nagl
Universitätsprofessor Dr.rer.pol. Matthias Jarke

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Juli 2011

Aachener Informatik-Berichte, Software Engineering

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

Band 10

Thomas Heer

Controlling Development Processes

Shaker Verlag
Aachen 2011

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, 2011)

Copyright Shaker Verlag 2011

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0509-7

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

The development of an innovative product is a complex and highly dynamic process which has to be performed in a controlled way. Several dependencies exist between the defined tasks, the assigned resources, and the artifacts to be produced. In a development project, which is planned and executed according to a process definition, the time, budget, and available resources are limited. Controlling a development process involves monitoring the actual performance and analyzing whether it conforms to the plan. Poor performance, changing requirements, the detection of errors, and the creation or modification of key artifacts may require plan changes at process runtime. As a consequence of the inherent complexity of the task, software tool support is essential for controlling development processes.

Different insufficient solutions are nowadays applied in practice for this purpose. Project management systems support project planning and to some degree project controlling, but they do not support the execution of predefined processes. Workflow management systems on the other hand are commonly applied for process execution. However, they do not support the scheduling of tasks in a project, and they are not flexible enough for the management of development processes. As a consequence, both types of systems are insufficient when it comes to controlling development processes. Attempts for their integration fell short with respect to representing execution states in project plans and scheduling workflow instances.

This thesis describes a new concept for a process management system, which combines the strengths of the aforementioned tools and eliminates their deficiencies by substantial extensions. Starting point of the research were results of the collaborative research center (SFB) 476 IMPROVE. An integrated approach for the management of development processes has been extended with respect to task scheduling, progress measurement, and change management in development projects. In particular, an algorithm for the automatic generation of a project schedule has been developed which takes the execution states of the tasks into account. Subprocesses of a development process can be executed by a workflow engine, which interprets predefined workflow definitions. With respect to monitoring, specific progress measures for the degree of completion of tasks have been defined which rely on elements of the process model. In the case of plan changes at process runtime, the consistency of the plan with the execution state of the process is ensured.

The concepts have been implemented in the extension module PROCEED of the commercial life cycle asset information management system Comos of Siemens Industry Software. Comos is widely used in the plant engineering industries. Therefore, this thesis combines fundamental research results with a proof of concept implementation in an industrial context. The realization of PROCEED based on an industrial platform offers great opportunities for further evaluation of the provided functionalities in plant design projects in the plant engineering industries.

Danksagung

Viele Menschen haben zum Gelingen dieser Arbeit und zum erfolgreichen Abschluss meiner Promotion beigetragen. Ihnen möchte ich an dieser Stelle herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr.-Ing Dr.h.c. Manfred Nagl für die Möglichkeit an seinem Lehrstuhl zu promovieren, das spannende und nach wie vor aktuelle Thema, die stets konstruktive Kritik in Vorträgen und Diskussionen, und sein vorbildliches Arbeitsethos an dem man sich orientieren konnte. Auch über die rein fachlichen Dinge hinaus habe ich in den vergangenen Jahren viel von ihm gelernt.

Prof. Dr. Matthias Jarke danke ich für die Erstellung des Zweitgutachtens. Prof. Dr. Berthold Vöcking und Prof. Dr. Thomas Seidl danke ich für ihre Bereitschaft als Prüfer zu fungieren. Allen Mitgliedern der Promotionskommission danke ich für die angenehme Prüfungsatmosphäre. Dem neuen Lehrstuhlinhaber Prof. Dr. Bernhard Rumpe gilt mein Dank für seine Unterstützung in der Endphase meiner Promotion.

Diese Arbeit ist im Rahmen eines DFG Transferprojektes entstanden und wäre ohne die Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft nicht möglich gewesen. Den Mitarbeitern des Industriepartners im Transferprojekt Siemens Industry Software, vormals innotec, danke ich für die fruchtbare Zusammenarbeit. Herrn Weller danke ich für die Bereitschaft, mit dem Lehrstuhl zum Thema Prozessmanagement zu kooperieren, Herrn Kokkelink danke ich für die vielen konstruktiven Gespräche in Bonn, Alexander Wojciekowski danke ich für seine tatkräftige Unterstützung in den ersten Monaten des Projektes, Frau Nestler und Herrn Schimmang danke ich für die gute Weiterführung der Zusammenarbeit.

Auf Seiten des Lehrstuhls waren mehrere Mitarbeiter, Diplomanden und Hilfswissenschaftler am Projekt beteiligt. Mein besonderer Dank gilt Galina Volkova und Jochen Hormes für ihre Beiträge zur Entwicklung des Softwareprototyps. Die Diplomanden und Masterstudenten Christoph Briem, Sheryl Leong, Christoph Außem, Emily Pu, Michael Dreher und Ventsislava Vasileva haben im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten maßgeblich zu den in dieser Arbeit vorgestellten Konzepten und zur Entwicklung des Softwareprototyps beigetragen. Zeitweilig unterstützten uns Christoph Briem, Florian Meyer und Ghislain Manib Mbogos als Hilfswissenschaftler. Allen Teammitgliedern bin ich für ihre Unterstützung sehr dankbar.

In den Jahren während meiner Promotion durfte ich mit großartigen Kollegen zusammenarbeiten und hatte mit ihnen viel Spaß am Lehrstuhl und darüber hinaus. Daraus sind auch einige feste Freundschaften entstanden. Bodo Kraft, mein Diplomarbeitbetreuer, hat mir gezeigt wie man ein Promotionsprojekt effektiv managed. Markus Heller war mir ein Vorbild als gewissenhafter Forscher. Er hat wesentliche Vorarbeiten zu dieser Arbeit geliefert. Mit René Würzberger konnte ich im Rahmen des Transferprojekts sehr gut zusammenarbeiten. Auf den Konferenzen, Arbeitskreisen, und Kundengesprächen, die wir zusammen besuchten, gab es dank ihm viele heitere Momente. Theresa Körtgen danke ich für ihre moralische Unterstützung und ihre wertvollen Verbesserungsvorschläge zu dieser Arbeit sowie zu meinem Promotionsvortrag. Sie war mir immer ein Vorbild in Bezug auf Disziplin und Zielstrebigkeit. Daniel Retkowitz habe ich immer bewundert für seine stoische Gelassenheit.

Von ihm habe ich gelernt, die Promotion richtig einzuordnen und gelassen zu bleiben. Ibrahim Armac hat mir gezeigt, wie man stilvoll promoviert und dabei immer eine gute Figur macht. Mein lieber Bürokollege der letzten Tage Cem Mengi war immer hilfsbereit und herzensgut, und war mir damit eine moralische Stütze. Allen alten Kollegen möchte ich danken für die schöne Zeit in den ersten Jahren. Neben den zuvor genannten sind dies Simon Becker, Thomas Haase, Christian Fuß, Christoph Mosler, Ulrike Ranger, Erhard Weinell, Marita Breuer, Ulrich Norbistrath und Boris Böhlen. Mit Simon verbinden mich auch einige nette Bierabende in Aachens Kneipen. Bernhard Westfechtel hatte zwar den Lehrstuhl zu meiner Zeit schon verlassen, mir jedoch bei einem Besuch noch eine gute Motivationsspritze verpasst. Den neuen Kollegen, die mit Prof. Rumpe an den Lehrstuhl kamen, danke ich für die schöne Zeit in den letzten Jahren und die vielfältige Unterstützung. Zu nennen sind hier Ingo Weisemöller, Jan Oliver Ringert, Thomas Kurpick, Claas Pinkernell, Arne Haber, Christoph Herrmann, Antonio Navarro-Perez, Markus Look, Minh Tran, Rim Jnidi, Tim Gülke, Roland Hildebrandt, Martin Schindler, Christian Berger, Steven Völkel, Hans Grönniger, Holger Rendel und Holger Krahn. Rim Jnidi war mir für einige Zeit eine liebe Bürokollegin. Besonderer Dank gilt unseren Sekretärinnen Angelika Fleck, Silke Cormann und Sylvia Gunder.

Ich möchte auch allen meinen Freunden und Bekannten in Aachen und darüber hinaus danken, die mich moralisch immer unterstützt haben. Einen besonderen Motivationsschub verdanke ich meinem Cousin Patrick gegen Ende der Promotion. Schließlich danke ich meiner Familie für ihre Unterstützung in all den Jahren, meinem Bruder Christoph, meinen Schwestern Radegunde und Walburga, und besonders meinen Eltern Resi und Josef. Ohne euch hätte ich das nicht geschafft.

Contents

1	Introduction	1
1.1	Motivation	2
1.2	Research Context	6
1.3	Solution Approach	7
1.4	Contributions	10
1.5	Structure of the Thesis	13
2	Application Context	15
2.1	The General Plant Design Process	15
2.2	The Life Cycle Asset Information System Comos	21
2.3	Example Scenario	23
3	Fundamentals	31
3.1	Project Management	31
3.1.1	Project Management Activities	32
3.1.2	Project Management Phases	34
3.1.3	Work Breakdown Structure and Project Plan	36
3.1.4	Organizational Breakdown Structure and Resources	39
3.2	Project Scheduling	41
3.2.1	Temporal Analysis	43
3.2.2	Resource-Constrained Project Scheduling	46
3.2.3	Disruption Management	49
3.3	Project Controlling	50
3.3.1	Determining the Actual Project Status	51
3.3.2	Target-Performance Comparison and Analysis	53
3.3.3	Steering a Project	56
3.4	Workflow Management	57
3.4.1	Definitions and Views	59
3.4.2	Modeling Languages	60
3.4.3	Workflow Management Systems	61
3.4.4	The Windows Workflow Foundation	62
4	Previous Achievements	67
4.1	RESMOD	68
4.2	COMA	69
4.3	DYNAMITE	70
		vii

4.3.1	Structural Model	70
4.3.2	Behavioral Model	72
4.3.3	Comparison With Other Paradigms	75
4.4	Process Model Definitions and Evolution	78
4.5	Interorganizational Cooperation	82
4.5.1	Delegation-based Cooperation	83
4.5.2	View-Based Cooperation	83
4.6	The AHEAD Prototype	87
5	Timed Dynamic Task Nets	93
5.1	Structural Model	95
5.1.1	Tasks and Control Flow	95
5.1.2	Documents and Data Flow	97
5.1.3	Resource Modeling	100
5.1.4	Structural Constraints	104
5.2	Behavioral Model	113
5.2.1	Life Cycle of a Task	113
5.2.2	Behavioral Constraints	115
5.2.3	Execution States and Structural Change Operations	118
5.3	Timing Model	123
5.3.1	Properties for Time Management	123
5.3.2	Timing Consistency Constraints	137
5.4	Monitoring Model	144
5.4.1	Properties for Monitoring	145
5.4.2	Monitoring Constraints	151
5.5	Authorization Model	154
5.5.1	Permissions	155
5.5.2	Authorization Rules	157
5.5.3	Project-Specific Tailoring of Access Control Policy	166
5.6	Related Work	167
5.6.1	Resource Modeling	167
5.6.2	User Authorization	169
5.7	Conclusion	171
6	Process Modeling and Enactment	173
6.1	Task Types	174
6.2	Process Templates	177
6.3	Workflow Management	181
6.3.1	Workflow Instances in Dynamic Task Nets	183
6.3.2	Mapping of Meta-Model Elements	185
6.3.3	Mapping of Execution States and State Transitions	187
6.3.4	Execution of Control Flow Activities	190
6.3.5	Data Flow in Workflow-Managed Task Nets	192
6.3.6	Dynamic Changes to Workflow-Managed Tasks	193
6.3.7	Time Management Data in Workflow Templates	194

6.3.8	Conclusion	195
6.4	Related Work	196
6.4.1	Integration of Project and Workflow Management	196
6.4.2	Direct Process Support in Engineering Design Projects	199
6.5	Conclusion	201
7	Scheduling of Dynamic Task Nets	203
7.1	Partial Scheduling	205
7.1.1	Zero-Duration Tasks	207
7.1.2	Not Scheduled Tasks and Partially Scheduled Tasks	211
7.2	Critical Path Analysis	213
7.2.1	Hierarchical Critical Path Method	214
7.2.2	Criticality and Consistency	221
7.2.3	Correctness and Time Complexity	224
7.3	Resource-Constrained Scheduling	226
7.3.1	Initialization	227
7.3.2	Task Durations	229
7.3.3	Parallel Scheduling Scheme	235
7.3.4	Scheduling Example	245
7.3.5	Correctness and Time Complexity	253
7.4	Scheduling of Workflow Instances	259
7.4.1	Critical Path Analysis	259
7.4.2	Resource-Constrained Scheduling	263
7.5	Export to Database	270
7.6	Related Work	271
7.6.1	Resource-Constrained Scheduling	272
7.6.2	Temporal Analysis and Scheduling of Workflows	285
7.7	Conclusion	290
8	Monitoring a Development Process	295
8.1	Progress Measures	298
8.1.1	Black-Box Progress Measures	298
8.1.2	White-Box Progress Measures	303
8.1.3	Comparison of Progress Measures	311
8.2	Earned Value Analysis and Forecasts	313
8.3	Visual Project Status Analysis	317
8.3.1	Measures	320
8.3.2	Dimensions	321
8.3.3	Configurable Pivot Table for Project Status Analysis	323
8.3.4	Analyzing the History of Plan Changes	327
8.3.5	Coupling with Management Views	328
8.4	Related Work	328
8.4.1	Progress Measurement of Development Processes	328
8.4.2	Visualization of Project Management Data	334
8.5	Conclusion	336

9	Change Management	337
9.1	Enactment of Management Processes	337
9.1.1	Management Tasks	340
9.1.2	Parameterization of Task Types	342
9.1.3	Parameterization of Management Workflow Templates	346
9.1.4	Example Case	349
9.2	Possible Disruptions and Compensating Actions	350
9.2.1	Disruptions at Project Runtime	351
9.2.2	Change Operations	352
9.3	General Change Management Procedure	355
9.3.1	Consistency Checks Before Change Operations	356
9.3.2	Resolving Inconsistencies After Replanning	361
9.3.3	Rescheduling of Workflow-Managed Task Nets	364
9.3.4	Violations of Monitoring Constraints	364
9.3.5	Changes to Dependent Task Properties	364
9.4	Related Work	368
9.4.1	Enactment of Project Management Processes	368
9.4.2	Replanning and Rescheduling	370
9.5	Conclusion	373
10	Prototypical Implementation	375
10.1	System Overview	375
10.2	Design and Implementation	377
10.2.1	Process Engine	377
10.2.2	Workflow Engine	380
10.2.3	Scheduler	381
10.2.4	Project Data Warehouse	383
10.2.5	Coupling with External Project Management System	384
10.3	User Interface	386
10.3.1	Project Management Views	386
10.3.2	Process Definition Tools	391
10.3.3	Monitoring Views	393
10.3.4	Resource Management View	397
10.4	Implementation Size	398
10.5	Conclusion	399
11	Conclusion	401
11.1	Summary	401
11.2	Outlook	406
	Bibliography	409