

Jens Müller

Strukturbasierte Verifikation von BPMN-Modellen

VIEWEG+TEUBNER RESEARCH

Jens Müller

Strukturbasierte Verifikation von BPMN-Modellen

VIEWEG+TEUBNER RESEARCH

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.

1. Auflage 2011

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2011

Lektorat: Ute Wrasmann | Sabine Schöller

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.viewegteubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-1571-2

Für meine liebe Mutter Jutta Müller,

meinen verstorbenen Vater

László Ferenc Müller

(* 15.07.1943; † 12.10.1999)

und meinen verstorbenen Freund

Dr. med. dent. Christian Bernard Köstermenke

(* 15.04.1922; † 20.04.2009)

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen eines Arbeitsverhältnisses bei der SAP AG in der Abteilung SAP Research am Standort Karlsruhe erstellt.

Zunächst möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Rosenstiel und Herrn Prof. Dr.-Ing. Wilhelm G. Spruth für die hervorragende Betreuung meiner Arbeit bedanken. Insbesondere möchte ich die fruchtbaren Diskussionen, die ich mit ihnen geführt habe, und ihre Unterstützung auch in schwierigen Situationen hervorheben.

Meinen Vorgesetzten Herrn Dr. rer. nat. Orestis Terzidis, Herrn Dr.-Ing. Elmar Dorner, und Herrn Dr.-Ing. Zoltán Nochtá möchte ich für die Möglichkeit, die vorliegende Arbeit bei der SAP AG durchführen zu können, und für ihre Unterstützung meines Promotionsvorhabens meinen Dank aussprechen. Darüber hinaus möchte ich meinen Kollegen Herrn Mario Graf und Herrn Thorsten Schneider für ihre große Hilfe bei der Verfeinerung und Implementierung der von mir entwickelten Konzepte danken. Für konstruktive inhaltliche Diskussionen und die Begutachtung meiner Arbeit möchte ich mich bei meinen Kollegen Herrn Michael Altenhofen, Herrn Dr. sc. ETH Zürich Achim Brucker und meinem Projektleiter Herrn Dr. sc. ETH Zürich Harald Vogt bedanken.

Für die Unterstützung bei der Dokumentation des Ablaufs der Flugzeugwartung als Grundlage des in dieser Arbeit angeführten Szenarios möchte ich Herrn Hermann Schmidt-Schieferstein (ehem. Airbus) sowie Herrn Stefan Schröder und Herrn Dirk Haselbring vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt meinen Dank aussprechen.

Schließlich möchte ich mich herzlich bei meiner Mutter Frau Jutta Müller und Frau Asma Alazeib für ihre Geduld und moralische Unterstützung bedanken.

Jens Müller

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung	1
1.2. Lösungsansatz und Szenario	2
1.3. Aufbau der Arbeit	4
2. Grundlagen	7
2.1. Modellgetriebene Softwareentwicklung	7
2.1.1. Metamodellierung	7
2.2. Geschäftsprozessmanagement	8
2.2.1. Geschäftsprozess-, Workflow- und Business-Process-Management	9
2.2.2. Geschäftsprozess- und Workflow-Modellierung	10
2.2.3. Business Process Modeling Notation	11
2.3. Methoden wissensbasierter Systeme	13
2.3.1. Wissensbasierte Systeme und Expertensysteme	13
2.3.2. Formen der Inferenz	14
2.3.3. Logikbasierte Wissensrepräsentation	14
2.3.4. Regelbasierte Systeme	16
3. Szenario: Modellierung und Adaption von Geschäftsprozessmodellen	17
3.1. Organisation und Ablauf der Flugzeugwartung	18
3.2. Teile zweifelhafter Herkunft	21
3.3. RFID-basierte Authentifikation von Flugzeugteilen	21
3.4. Szenariobeschreibung	22
3.4.1. Modellierung von Prozessmodellen im Rahmen der Flugzeugwartung	23
3.4.2. Adaption von Prozessmodellen im Rahmen der Flugzeugwartung	24
3.5. Probleme durch Verletzung von Anforderungen	25
3.6. Anforderungen an eine Softwarelösung	27
4. Semantische Geschäftsprozessmodellierung auf Basis von BPMN und MOF	29
4.1. Vergleich zwischen (Meta-) Modellen und Ontologien	31
4.1.1. Gemeinsamkeiten	32
4.1.2. Unterschiede	32
4.2. Repräsentation von Ontologien auf Basis von MOF	35
4.2.1. Ontology Definition Metamodel	35
4.2.2. Zugriff auf OWL-Ontologien im Process Composer	36
4.3. Interne Repräsentation semantischer Anreicherungen	37

4.4.	Implementierung	39
4.4.1.	OWL- und ExtendedBPMN-Metamodell	39
4.4.2.	Graphisches Modellierungswerkzeug für OWL-Ontologien	40
4.4.3.	Modifikation des Modellierungswerkzeugs	40
4.5.	Stand der Wissenschaft und Technik	41
5.	Modellierung von Anforderungen an BPMN-Modelle	45
5.1.	Methode zur Modellierung von Anforderungen	46
5.1.1.	Modellierung struktureller Muster	47
5.1.2.	Modellierung von Bedingungsausdrücken	48
5.2.	Process Pattern Modeling Language	50
5.2.1.	Generische Tasks	51
5.2.2.	Generische Ereignisse	53
5.2.3.	Generische Gateways	54
5.2.4.	Divergierender exklusiver Gateway	55
5.2.5.	Verbindungsobjekte	55
5.2.6.	Ein- und ausgehende Musterkonnektoren	59
5.2.7.	Musterreferenz	61
5.3.	Process Constraint Modelling Language	62
5.3.1.	Existenzielle Bedingungen	63
5.3.2.	Temporale Bedingungen	65
5.3.3.	Logische Operatoren	68
5.4.	Implementierung	68
5.4.1.	Pattern Composer	68
5.4.2.	Constraint Composer	70
5.4.3.	Verknüpfung von BPMN-Modellen mit Bedingungsausdrücken	71
5.5.	Stand der Wissenschaft und Technik	72
6.	Suche nach Instanzen struktureller Muster in BPMN-Modellen	75
6.1.	Verwendung der MOIN Query Language	78
6.2.	Verwendung regelbasierter Systeme	81
6.2.1.	Transformation von PPML-Modellen in Drools-Regeln	83
6.2.2.	Ablauf der musterbasierten Suche	90
6.3.	Verwendung von Techniken aus dem Bereich des semantischen Webs	90
6.3.1.	Transformation von BPMN-Modellen in OWL-Ontologien	90
6.3.2.	Transformation von PPML-Modellen in konjunktive Anfragen	92
6.3.3.	Bestimmung von Ein- und Ausgangsobjekten	95
6.3.4.	Ablauf der musterbasierten Suche	96
6.4.	Implementierung: Mustertransformatoren und Mustersucher	96
6.5.	Stand der Wissenschaft und Technik	97
7.	Auswertung musterbasierter Bedingungen an BPMN-Modelle	99
7.1.	Auswertung existenzieller Bedingungen	99

7.2.	Auswertung temporaler Bedingungen	100
7.2.1.	Transformation von BPMN-Modellen in PROMELA-Programme	101
7.2.2.	Transformation musterbasierter Bedingungen in LTL-Formeln . .	107
7.2.3.	Direktnachfolger, Direktvorgänger und (negierte) Direktabfolge .	111
7.2.4.	Optimierungsmaßnahmen bei der Generierung von PROMELA- Programmen	111
7.3.	Auswertung von Bedingungsausdrücken	113
7.4.	Implementierung: Constraint Checker	114
7.4.1.	Komponente: Constraint Checker	114
7.4.2.	Komponente: Modellprüfer (Spin)	116
7.5.	Stand der Wissenschaft und Technik	120
8.	Validierung	123
8.1.	Anwendung der entwickelten Konzepte im Rahmen des Szenarios	123
8.1.1.	Erstellung einer Ontologie zur Beschreibung von Konzepten im Bereich der Flugzeugwartung	124
8.1.2.	Modellierung musterbasierter Bedingungen an Geschäftsprozess- modelle im Bereich der Flugzeugwartung	124
8.1.3.	Modellierung und automatische Verifikation von Geschäftsprozess- modellen im Bereich der Flugzeugwartung	128
8.1.4.	Adaption von Geschäftsprozessmodellen im Bereich der Flugzeug- wartung	137
8.2.	Leistungsmessung	141
8.2.1.	Vorgehensweise	141
8.2.2.	Testsystem	142
8.2.3.	Ergebnisse	142
8.3.	Externe Veröffentlichung und interne Verwertung der Ergebnisse	146
9.	Fazit	147
9.1.	Zusammenfassung und wissenschaftlicher Beitrag	147
9.2.	Ausblick	150
A.	Zusätzliche Abbildungen	151
A.1.	BPMN-Metamodell	151
A.2.	OWL-Metamodell	152
A.3.	ExtendedBPMN-Metamodell	153
A.4.	Process Constraint Definition Metamodel	154
A.5.	Übersetzung generischer Ereignisse und Gateways	157
A.6.	Begleitpapiere	158
	Akronyme	159
	Literaturverzeichnis	161
	Internetseitenverzeichnis	173

Abbildungsverzeichnis

2.1. Ebenen der Prozessmodellierung	9
2.2. Beispielhaftes BPMN-Diagramm	12
3.1. Arbeitszettel	19
3.2. RFID-basierte Authentifikation von Flugzeugteilen	23
3.3. Modellierungsfehler innerhalb des Wareneingangsprozessmodells	26
3.4. Inhaltliche Bestandteile von Anforderung 7	27
3.5. Voraussetzungen und entsprechende Kapitel	28
4.1. Modellierungswerkzeug und Modellierungsinfrastruktur	30
4.2. Vergleichbare Konstrukte von MOF und OWL	32
4.3. Beschreibung der FlugzeugteilAusbau-Klasse	33
4.4. Beschreibung der DokumentationspflichtigeSituation-Klasse	33
4.5. Ausschnitt der klassifizierten Flugzeugwartungsontologie	34
4.6. Ausschnitt des ExtendedBPMN-Metamodells	38
4.7. Entwickelte und modifizierte Eclipse Plug-ins	39
4.8. OWL Composer	41
4.9. Eigenschaftsansicht eines semantischen Tasks	42
4.10. Dialog zur Auswahl von OWL-Klassen	43
5.1. Inhaltliche Bestandteile von Anforderung 1 des Szenarios	45
5.2. Inhaltliche Bestandteile von Anforderung 7 des Szenarios	46
5.3. Modellierung struktureller Muster	48
5.4. Modellierung und Verknüpfung eines Bedingungsausdrucks	49
5.5. PPML-Modellierungskonstrukte	50
5.6. PPML-Modellierungskonstrukt: Generischer Task	51
5.7. Auswertung eines semantischen Ausdrucks eines generischen Tasks	53
5.8. PPML-Modellierungskonstrukt: Generische Ereignisse	54
5.9. PPML-Modellierungskonstrukt: Generische Gateways	54
5.10. PPML-Modellierungskonstrukt: Divergierender exklusiver Gateway	55
5.11. PPML-Modellierungskonstrukt: Sequenzfluss	55
5.12. PPML-Modellierungskonstrukt: Sequenzfluss (Verbindungsmatrix)	56
5.13. PPML-Modellierungskonstrukt: Bedingter Sequenzfluss	56
5.14. PPML-Modellierungskonstrukt: Flexibler Sequenzfluss	57
5.15. PPML-Modellierungskonstrukt: Flexibler Sequenzfluss (Beispiel)	58
5.16. PPML-Modellierungskonstrukt: Flexibler Sequenzfluss (Semantik)	59

5.17. Eingangs- und Ausgangsobjekte	60
5.18. PPML-Modellierungskonstrukte: Musterkonnektoren	60
5.19. Strukturelle Muster mit ein- und ausgehenden Musterkonnektoren	61
5.20. PPML-Modellierungskonstrukt: Musterreferenz	61
5.21. PPML-Modellierungskonstrukt: Musterreferenz (Beispiel)	62
5.22. PCML-Modellierungskonstrukte	63
5.23. Modellierung einer existenziellen Bedingung	64
5.24. PCML-Modellierungskonstrukt: Existenzielle Bedingungen	65
5.25. Modellierung einer temporalen Bedingung	66
5.26. PCML-Modellierungskonstrukt: Temporale Bedingungen	67
5.27. PCML-Modellierungskonstrukt: Logische Operatoren	68
5.28. Entwickelte Eclipse Plug-ins	69
5.29. Pattern Composer	70
5.30. Eigenschaftsansicht: Generischer Task	71
5.31. Eigenschaftsansicht: Gen. Endereignis und gen. Gateway	71
5.32. Constraint Composer	72
5.33. Pool-Eigenschaftsansicht im Process Composer	73
6.1. Bedingungsausdruck (Beispiel)	75
6.2. Identifikation von Instanzen eines strukturellen Musters	76
6.3. Ablauf der musterbasierten Suche	77
6.4. Erzeugung eines temporären Metamodells	80
6.5. Interne Repräsentation und Erzeugung einer Drools-Regel	83
6.6. Übersetzung generischer Tasks	84
6.7. Übersetzung generischer Ereignisse	85
6.8. Übersetzung von Sequenzflüssen	86
6.9. Übersetzung von bedingten Sequenzflüssen	87
6.10. Übersetzung von flexiblen Sequenzflüssen	87
6.11. BPMN-Ontologie	91
6.12. Interne Repräsentation und Erzeugung einer konjunktiven Anfrage	93
6.13. Übersetzung generischer Tasks (Konjunktive Anfrage)	94
6.14. Übersetzung von Sequenzflüssen (Konjunktive Anfrage)	95
6.15. Übersetzung von flexiblen Sequenzflüssen (Konjunktive Anfrage)	96
6.16. Entwickelte Eclipse Plug-ins	97
7.1. Auswertung existenzieller Bedingungen	100
7.2. Problem bei der Auswertung einer Nachfolger-Bedingung	109
7.3. LTL-Formeln zur Auswertung temporaler Bedingungen	110
7.4. BPMN-Modell und korrespondierende Prozessdeklarationen	113
7.5. Entwickelte Eclipse Plug-ins	114
7.6. Phasen der Auswertung von Bedingungsausdrücken	114
7.7. Eigenschaftsansicht: Übersicht verletzter Bedingungsausdrücke	117
7.8. Rückgabewert bei der Auswertung musterbasierter Bedingungen	117
7.9. Modellprüfungsparameter	118

7.10. Ausgabe des Resultats einer Modellprüfung in der Standardausgabe	119
7.11. Algorithmen zur Extraktion detaillierter Fehlerinformationen	121
7.12. BPMN-Modell und mögliche Zustandsfolgen	122
8.1. Anforderungen und korrespondierende Bedingungsausdrücke	124
8.2. Wartungsprozessontologie (Ausschnitt)	125
8.3. Bedingungsausdrücke	126
8.4. Bedingungsausdrücke (Fortsetzung)	127
8.5. Ergebnis der Verifikation	128
8.6. Wartungsprozess	129
8.7. Wartungsprozess (Fortsetzung)	130
8.8. Warenausgangsprozess	131
8.9. Wareneingangsprozess	132
8.10. Korrigierter Wartungsprozess	133
8.11. Korrigierter Wartungsprozess (Fortsetzung)	134
8.12. Korrigierter Warenausgangsprozess	135
8.13. Korrigierter Wareneingangsprozess	136
8.14. Zusätzliche Ontologieklassen	137
8.15. Anforderungen und korrespondierende Bedingungsausdrücke	137
8.16. Hinzugefügte Bedingungsausdrücke	138
8.17. Wartungsprozess (Ausschnitt)	139
8.18. Warenausgangsprozess (Ausschnitt)	139
8.19. Wareneingangsprozess (Ausschnitt)	140
8.20. Ergebnis der Verifikation	140
8.21. Hard- und Softwarekomponenten des Testsystems	142
8.22. Verifikationsdetails	143
8.23. Verifikationsdauer des Wartungsprozessmodells	144
8.24. Verifikationsdauer des Warenausgangsprozessmodells	144
8.25. Verifikationsdauer des Wareneingangsprozessmodells	144
8.26. Verifikationsdauer des korrigierten Wartungsprozessmodells	145
8.27. Verifikationsdauer des korrigierten Warenausgangsprozessmodells	145
8.28. Verifikationsdauer des korrigierten Wareneingangsprozessmodells	145
A.1. BPMN-Metamodell (Ausschnitt)	151
A.2. OWL-Metamodell	152
A.3. OWL-Metamodell (Fortsetzung)	152
A.4. ExtendedBPMN-Metamodell	153
A.5. PCDM (Musterkonnektoren und Musterreferenz)	154
A.6. PCDM (Semantische Ausdrücke)	154
A.7. PCDM (Generische Fluss- und Verbindungsobjekte)	155
A.8. PCDM (Bedingungsausdrucks- und Verbindungsobjekte)	156
A.9. PCDM (Binäre musterbasierte Bedingungen)	156
A.10. Übersetzung generischer Ereignisse und Gateways	157
A.11. EASA Formblatt 1	158

Listings

5.1. BNF für semantische Ausdrücke	52
5.2. BNF für Bedingungsausdrücke	64
6.1. BNF für MQL-Abfragen (Ausschnitt)	78
6.2. MQL-Abfrage zur Suche nach Instanzen eines strukturellen Musters . . .	79
6.3. MQL-Abfrage zur Suche semantisch angereicherter Tasks	81
6.4. Prämisse einer Drools-Regel	82
6.5. Pseudocode-Prozedur: CreateRuleData	84
6.6. Konklusion einer Drools-Regel	89
6.7. Konjunktive Anfrage	92
7.1. PROMELA-Makros zum Versand und Empfang von Nachrichten	102
7.2. Übersetzung von Tasks (PROMELA)	103
7.3. Übersetzung exklusiver Gateways (PROMELA)	104
7.4. Übersetzung von Zusammenführungen exklusiver Pfade (PROMELA) . .	105
7.5. PROMELA-Makro für parallele Gateways	105
7.6. Übersetzung paralleler Gateways (PROMELA)	106
7.7. PROMELA-Makro für Zusammenführungen paralleler Pfade	107
7.8. Übersetzung von Zusammenführungen paralleler Pfade (PROMELA) . .	107
7.9. Pseudocode-Funktion: EvalChainResponseCondition	111
7.10. Pseudocode-Funktion: EvalConstraintExpression	116

Dieses Dokument wurde mit L^AT_EX (pdfTeX 1.40.11) gesetzt. Alle Vektorgraphiken wurden mit CorelDRAW X5, Microsoft Office Excel 2010 (Säulendiagramme) und Microsoft Visio Professional 2010 (Klassen- und Ontologiediagramme) erstellt.

Zusammenfassung

Das Ziel der Modellierung von Geschäftsprozessen eines Unternehmens ist normalerweise deren Dokumentation, Optimierung oder Ausführung durch informationstechnische Systeme. Die Geschäftsprozesse eines Unternehmens müssen üblicherweise gewisse Anforderungen der betriebswirtschaftlichen Ebene erfüllen, die beispielsweise auf interne Vorgaben oder gesetzliche Auflagen zurückzuführen sind. Bei der Modellierung von Geschäftsprozessen muss darauf geachtet werden, dass derartige Anforderungen von den resultierenden Modellen korrekt abgebildet werden. Gegenstand dieser Arbeit sind betriebswirtschaftliche Anforderungen, die Aussagen über die notwendige Beschaffenheit der Struktur von Geschäftsprozessen mit Bezug auf deren inhaltliche Bedeutung machen. Die Verletzung derartiger Anforderungen durch die entsprechenden Geschäftsprozessmodelle aufgrund einer fehlerhaften Modellierung könnte bei der Ausführung (durch Menschen oder informationstechnische Systeme) zu unerwarteten Ergebnissen oder im ungünstigsten Fall kritischen Situationen führen.

Derzeit erhältliche Werkzeuge zur Geschäftsprozessmodellierung bieten keine Möglichkeit, die in dieser Arbeit untersuchte Kategorie von Anforderungen explizit zu repräsentieren und automatisch auszuwerten. Diese Tatsache führt zwangsläufig dazu, dass sich das Risiko der Verletzung von Anforderungen mit deren zunehmender Anzahl erhöht. Zudem erschwert eine große Anzahl von Anforderungen die Beurteilung, ob ein vorhandenes Geschäftsprozessmodell diese Anforderungen erfüllt oder nicht. Eine weitere Problematik ergibt sich aus Geschäftsprozessmodellen, die aufgrund von Änderungen auf der betriebswirtschaftlichen Ebene im Lauf der Zeit unterschiedliche Anforderungen erfüllen müssen, da jede Änderung eine Überprüfung der modifizierten und hinzugefügten Anforderungen notwendig macht.

Zur Lösung der beschriebenen Probleme werden in der vorliegenden Arbeit entsprechende Konzepte vorgestellt. Diese Konzepte ermöglichen es, Anforderungen der untersuchten Kategorie explizit zu repräsentieren und automatisch auszuwerten. Zur Repräsentation derartiger Anforderungen wird eine Modellierungsmethode vorgestellt, die auch weniger technisch versierten Benutzern zugänglich ist. Zur automatischen Auswertung derartiger Anforderungen wird eine dreistufige Vorgehensweise präsentiert. Die entwickelten Konzepte wurden als Erweiterung der für das Geschäftsprozessmanagement zuständigen Komponente der NetWeaver-Plattform der Firma SAP implementiert und auf Grundlage dieser Erweiterung anhand eines Szenarios aus der Luftfahrtindustrie validiert.