

METRIK - Bericht 2009

DFG-Graduiertenkolleg 1324

MODELLBASIERTE ENTWICKLUNG VON TECHNOLOGIEN FÜR SELBSTORGANISIERENDE
DEZENTRALE INFORMATIONSSYSTEME IM KATASTROPHENMANAGEMENT (METRIK)

<http://www.gk-metrik.de>

Sprecher

PROF. DR. SC. NAT. JOACHIM FISCHER
Tel.: (030) 2093 3109
e-mail: fischer@informatik.hu-berlin.de

Sekretariat

GABRIELE GRAICHEN
Tel.: (030) 2093 3828
e-mail: graichen@informatik.hu-berlin.de

Stipendiaten

DIPL.-INF. MARKUS SCHEIDGEN
DIPL.-INF. ARTIN AVANES
DIPL.-INF. GUIDO WACHSMUTH
DIPL.-INF. STEPHAN WEIBLEDER
DIPL.-INF. DIRK FAHLAND
DIPL.-ING. STEFAN BRÜNING
DIPL.-INF. DANIEL SADILEK
DIPL.-GEOGR. FALKO THEISSELMANN
DIPL.-INF. SEBASTIAN HEGLMEIER
DIPL.-INF. SIAMAK HASCHEMI
MGR. JAN CALTA
M. SC. ENG. JOANNA GEIBIG
M.SC. JARUNGJIT PARNJAI
DIPL.-GEOGR. ANDREAS REIMER
DIPL. INF. CHRISTOPH WAGNER
DIPL.-INF. ANDREAS DITTRICH
DIPL. INF. HENRYK PLÖTZ
M.SC. JENS NACHTIGALL
DIPL.-INF. ARIF WIDER

Assoziierte

DIPL.-INF. FRANK KÜHNLENZ
M.SC. KATHRIN POSER
DIPL.-INF. TIMO MIKA GLÄBER
DIPL.-INF. PETER MASSUTHE
DIPL.-INF. CHRISTIAN STAHL
DIPL.-INF. NIELS LOHMANN
DIPL.-INF. MICHAEL SODEN
DIPL.-INF. HAJO EICHLER

Betreuende Hochschullehrer

PROF. DR. DORIS DRANSCH, Geo-Informationsmanagement und –Visualisierung
PROF. DR. JOACHIM FISCHER, Systemanalyse, Modellierung und Computersimulation
PROF. JOHANN-CHRISTOPH FREYTAG, PHD., Datenbanken und Informationssysteme
DR. ECKHARDT HOLZ, Softwaretechnik
PROF. DR. ULF LESER, Wissensmanagement in der Bioinformatik
PROF. DR. MIROSLAW MALEK, Rechnerorganisation und Kommunikation
PROF. DR. JENS-PETER REDLICH, Systemarchitektur
PROF. DR. ALEXANDER REINEFELD, Parallele und Verteilte Systeme
PROF. DR. WOLFGANG REISIG, Theorie der Programmierung
PROF. DR. HOLGER SCHLINGLOFF, Spezifikation, Verifikation und Testtheorie

Da Naturkatastrophen die Menschheitsentwicklung kontinuierlich begleitet haben, sind immer wieder Anstrengungen unternommen worden, den durch diese Katastrophen verursachten Zerstörungen und dem Verlust an Menschenleben entgegenzuwirken. Dabei gewinnen die zuverlässige Vorhersage bzw. schnelle Erfassung von extremen Umweltsituationen (Erdbeben, Stürme und Überschwemmungen) und die zielgerichtete Reaktion darauf immer mehr an Bedeutung. Mit den heutigen Entwicklungen in Hardware und Software stehen neue Möglichkeiten zur Verfügung, Katastrophen wirkungsvoll zu begegnen.

Das interdisziplinär ausgerichtete Graduiertenkolleg METRIK „Modellbasierte Entwicklung von Technologien für selbstorganisierende, dezentrale Informationssysteme im Katastrophenmanagement“ (GRK 1324/1) widmet sich der Erschließung dieser Möglichkeiten bei Einsatz drahtlos vermaschter Sensornetze.

In enger Kooperation entwickeln Informatiker und Geo-Wissenschaftler IT-basierte Methoden und Basistechnologien, um den komplexen Prozess des Katastrophenmanagements in ausgewählten Aspekten zu verbessern.

Seitens des Katastrophenmanagements kann das Graduiertenkolleg auf der umfassenden Kompetenz und internationalen Reputation des Deutschen GeoForschungsZentrums (GFZ) am Helmholtz-Zentrum Potsdam als Partnereinrichtung aufbauen. Neben dem dort eingerichteten Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology unterhält das GFZ eine TaskForce Erdbeben, die sich insbesondere mit der Erforschung geophysikalischer Prozesse beschäftigt, welche während und nach einem schweren Erdbeben ablaufen. Zusätzlich zu den weltweit durchgeführten seismischen Permanentmessungen entsendet sie im akuten Erdbebenfall auch Wissenschaftlergruppen zur Messung und Bewertung der seismischen Aktivitäten in die betroffenen Gebiete vor Ort. Diese Einsatzgruppen benötigen neben einer geeigneten katastrophentauglichen Mess- und Kommunikationsinfrastruktur auch echtzeitfähige IT-basierte Methoden und Technologien zur Datenintegration und Datenauswertung - einerseits für die Vorbereitungsphase und zum anderen für die akute Notfallphase eines Katastrophenmanagements (siehe Abb. 1).

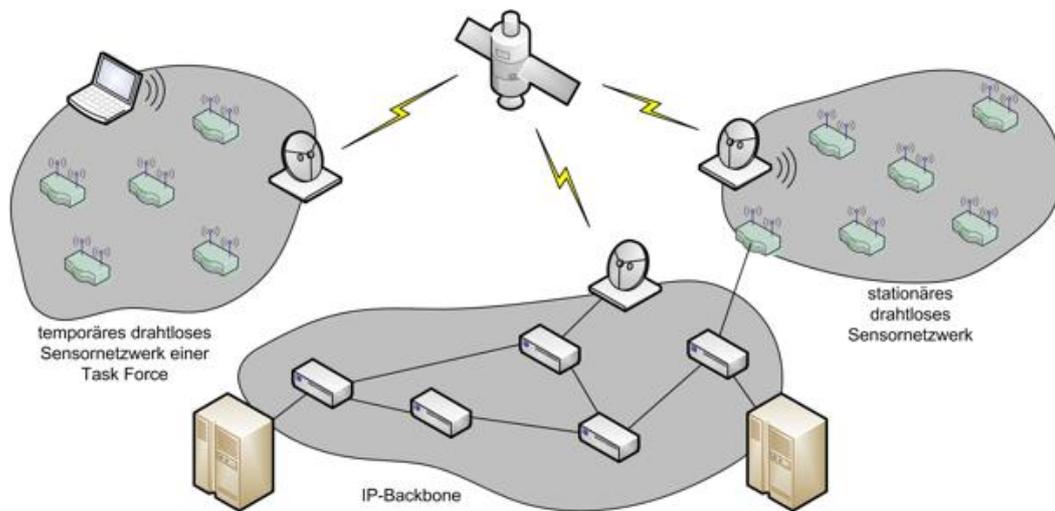


Abb. 1 Potenzieller Anwendungsbereich von METRIK-Basistechnologien im Katastrophenmanagement

Der Berichtszeitraum zeichnet sich durch erste Promotionsabschlüsse in METRIK aus. Dazu gehören die Arbeiten von Thomas Röblitz (bereits Ende 2008), Markus Scheidgen, Peter Massuthe und Christian Stahl.



Weitere Höhepunkte der Arbeit waren die Organisation und Durchführung eines Workshops der DFG-Graduiertenkollegs Deutschlands auf dem Gebiet der Informatik in Schloss Dagstuhl im Frühjahr, die Vorbereitung und Durchführung zweier Klausur-Evaluierungswshops und die Ausarbeitung eines METRIK-Gesamtberichtes, inklusive der Vorbereitung eines Fortsetzungsantrages des Graduiertenkollegs bei der DFG für die zweite Förderperiode.

Forschungsthemen

Selbstorganisation als Herausforderung und Leitmotiv für das Graduiertenkolleg

Entscheidend für die zuverlässige Funktion von Infrastrukturen als verteilte Systeme ist die Verwirklichung des Prinzips der Selbstorganisation als Ausprägung unterschiedlicher Adaptionen bezüglich sich ändernder Umgebungen.

Um einen optimalen Betrieb zu gestatten, muss dieses Prinzip auf unterschiedlichen Hierarchieebenen eines verteilten Systems angewandt werden, so z.B. auf der Link-Ebene (Frequenzwahl, Modulationsadaption), der Netzwerkebene (Topologiebildung, Adressvergabe, Routing), der Peer-to-Peer-Middleware-Ebene (Ressourcenzuordnung für P2P-Komponentendienste) und der Datenverwaltungsebene (dezentrale Informationsspeicherung, dynamische Datenkonvertierung bei unterschiedlichen Darstellungsformaten, dezentrale Informationsintegration). Erst in der Anwendungsebene kann man sich von der Spezifik der Netzarchitektur befreien; insbesondere dann, wenn sich diese Anwendungen nicht nur über selbstorganisierende, sondern auch zentral verwaltete Netzstrukturen einschließen.

Die Auseinandersetzung mit der Frage der Selbstorganisation – im Sinne steuerbarer Adaptionen – wurde vom Graduiertenkolleg als zentrales Leitmotiv aufgenommen.

Vernetzung durch Interdisziplinarität und modellbasierte Herangehensweisen

Neben dem Leitmotiv der Selbstorganisation haben zwei weitere Merkmale von METRIK eine wesentliche Bedeutung für eine erfolgreiche integrative Forschungsarbeit innerhalb des Graduiertenkollegs und bei Kooperationen mit externen Forschungsverbänden.

Zum einen trug der interdisziplinäre Charakter des Graduiertenkollegs, geprägt durch das Anwendungsfeld des Katastrophenmanagements, zur verstärkten Zusammenarbeit sowohl der Doktoranden als auch ihrer Betreuer aus Informatik und geo-wissenschaftlichem Kontext bei. Zum anderen hat die Fokussierung auf modellbasierte Herangehensweisen im Graduiertenkolleg das fachübergreifende Verständnis in einem sehr hohen Maße gefördert.

Die Komplexität der Zusammenhänge und Wechselwirkungen in selbstorganisierenden Systemen einschließlich ihrer Anwendungen, verlangte nicht nur schlechthin einen verstärkten Einsatz von Modellierungstechniken, Bewertungen von Entwurfsentscheidungen und prinzipiellen Machbarkeitsstudien, sie forderte darüber hinaus kombinierte Aussagen zur Funktionalität und zur Bewertung erreichter Quality-of-Service-(QoS)-Eigenschaften.

Des Weiteren werden Informationsmodelle als Annahmen über den globalen Zustand der Selbstorganisation auf den unterschiedlichen Abstraktionsstufen benötigt, die diesen Zustand iterativ konkretisieren. Schließlich konnten durch die Adaption klassischer modellgetriebener Softwareentwicklungsverfahren wichtige Impulse für eine rationelle Softwareentwicklung – konkret auch für den neuartigen Anwendungsbereich selbstorganisierender drahtloser Sensorsysteme – gesetzt werden. Sowohl bereits verfügbare als auch im Graduiertenkolleg neu entwickelte Werkzeuge trugen zur Unterstützung des gesamten Software-Lebenszyklus (Entwurf-Implementierung-Deployment-Betrieb) bei.

Eine besonders intensive Zusammenarbeit von Doktoranden des Graduiertenkollegs kam im Bereich der Entwicklung von Technologien zur Konstruktion domänenspezifischer Sprachen, insbesondere spezifischer Modellierungssprachen, zustande. Neben der Bereitstellung von Werkzeugen (Editoren, Semantik-Checker, Interpreter für operationelle Semantiken, Debugger), die nunmehr automatisch aus metamodellbasierten Sprachdefinitionen generiert

werden können, stand auch die gemeinsame Anwendung dieser sprachorientierten Technologien im Fokus des Graduiertenkollegs.

Neben überzeugenden Anwendungen von METRIK-Technologien aus dem Bereich des Katastrophenmanagements sollen zwei weitere Kooperationsfelder des Graduiertenkollegs aufgezeigt werden.

- Die Entwicklung von domänenspezifischen Sprachen blieb nicht auf das Katastrophenmanagement beschränkt. METRIK-Technologien zur Entwicklung von Modellierungssprachen und zur automatisierten Werkzeugbereitstellung wurden auch erfolgreich im Rahmen eines METRIK-Kooperationsprojekts mit dem Institut für Physik der HU Berlin auf dem Gebiet der Nano-Optik angewandt.
- Im Bereich der Workflow-Modellierung konnte METRIK eine Kooperation mit der Technischen Universität Eindhoven (Niederlande) aufbauen, die sich über gemeinsame Publikationen, Workshops und Doppelpromotionen (Cotutelle-Verfahren) im Bereich der Modellierung von Services und Geschäftsprozessen etabliert hat.

Anwendung von METRIK-Basistechnologien im Katastrophenmanagement

Im Folgenden werden drei Beispiele beschrieben, die den den gelungenen Transfer von METRIK-Basistechnologien im Geo- bzw. Katastrophenmanagementumfeld exemplarisch belegen.

a) Einsatzvorbereitung der TaskForce Erdbeben

In Form einer Fallstudie mit der TaskForce Erdbeben des Deutschen GeoForschungsZentrums Potsdam wurde ein adaptives Prozessmodell für Geschäftsprozesse zur Beschreibung der Vorbereitung und Durchführung eines Einsatzes der Taskforce nach schweren Erdbeben für die jeweils spezifische Region in der Welt entwickelt. Beim Auftreten eines Erdbebens muss zunächst innerhalb der Taskforce entschieden werden, ob man dieses Beben vor Ort untersuchen möchte, um in diesem Fall die entsprechenden logistischen Maßnahmen zu treffen. Dies sollte in einem Zeitrahmen von 10 bis 14 Stunden nach einem Beben geschehen, da sonst eine zweckdienliche Untersuchung nicht mehr möglich ist. Dieser Entscheidungsfindungsprozess besteht aus einer komplexen Kette hunderter verwobener Einzelaktivitäten, die beispielsweise der Informationsgewinnung und –bewertung, der Kommunikation und Abstimmung mit anderen Gruppen, oder der gestuften Eskalation von Nachrichten dienen.

Ausgangspunkt für die durch METRIK vorgenommene Modellierung waren methodische Untersuchungen in METRIK zur Konstruktion eines formalen Verhaltensmodells, das sich adaptiv (in diesem Sinne selbstorganisierend) aus einer Menge einzelner Szenarien systematisch konstruieren lässt.

Das entwickelte Modell wurde von der TaskForce Erdbeben sehr gut aufgenommen und dient dort bereits im praktischen Einsatz zur Strukturierung und Organisation einzelner Tätigkeiten. Darüber hinaus waren die bei seiner Erstellung gewonnenen Erfahrungen unmittelbarer Anlass für die Entwicklung des Equator-Systems, das im folgenden Absatz beschrieben wird.

b) Das Informationssystem Equator

Das in METRIK entwickelte Equator-System (siehe Abb. 2) automatisiert den Prozess des Sammelns erfasster Daten über ein stattgefundenes Erdbeben und trägt damit erheblich zur einer Beschleunigung und Qualitätssicherung derartiger Aktivitäten bei.

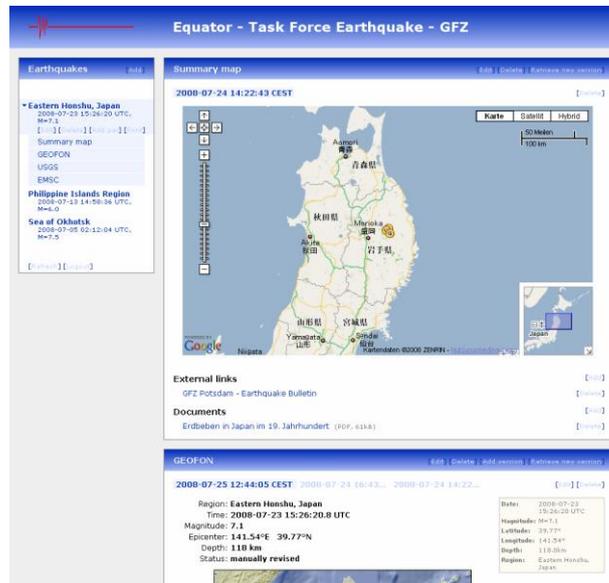


Abb. 2 Integrierte Darstellung der von drei Quellen berechneten Epizentren zum Erdbeben vom 23.7.2007 in Honshu, Japan

Dies ist insbesondere deshalb sinnvoll, weil fast alle Informationsquellen bereits elektronisch im Web verfügbar sind. Equator ist deshalb im Kern ein System, das verschiedene andere Systeme zur Messung von Erderschütterungen integriert. Auf Anfrage wird zu einem Erdbeben ein komplexer Bericht erstellt, der alle verfügbaren Informationen integriert und strukturiert darstellt.

Insbesondere unterstützt Equator damit die TaskForce Erdbeben am Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam, da dem Team damit eine integrierte und ständig aktualisierte Sicht auf weltweit verteilte Erdbebeninformationen ermöglicht wird. Zusätzlich zu dieser Analyse ist es notwendig, vor Ort entsprechende Untersuchungen anzustellen. Der Prozess der Entscheidungsfindung basiert wesentlich auf Informationen, die im Falle eines Erdbebens so schnell wie möglich gesammelt werden müssen, wie Informationen über das Beben, die Region, die Bebenhistorie usw. Dazu werden die Meldungen verschiedener Erdbebeninformationsagenturen ausgewertet (GEOFON, USGS, EMSC, WAPMER etc.). Das Ergebnis dieses Sammlungsprozesses wäre ohne Equator nur ein Stapel von Ausdrucken/Blättern.

Equator fußt auf einem spezifizierten Workflow zur Einsatzvorbereitung der TaskForce Erdbeben und kann als eine partielle Implementierung der dort festgehaltenen Tätigkeiten verstanden werden. Equator wird seit seiner Inbetriebnahme im Sommer 2008 von der TaskForce Erdbeben regelmäßig benutzt.

c) SOSEWIN als Prototyp eines drahtlos vermaschten Sensornetzwerkes

In Kooperation mit dem Deutschen GeoForschungsZentrum wurde im Rahmen des europäischen Projektes SAFER (Seismic Early Warning for Europe) der Prototyp eines Erdbebenfrühwarn- und Rapid-Response-Systems für die Stadt Istanbul entwickelt (siehe Abb. 3), dessen Netzwerkinfrastruktur mit von METRIK entwickelten Technologien betrieben wird. Das installierte System SOSEWIN (Self-Organizing Seismic Early Warning Information Network) ist dabei nicht nur das weltweit erste drahtlose seismische Maschennetzwerk, sondern kann bei weiterem Ausbau das weltweit erste Erdbeben-Rapid-Response-System werden, das zudem in einer dicht besiedelten Metropole mit Messtechnik vor Ort zum Einsatz kommt.

Grundlage der Erdbebenfrühwarnung ist die Ausnutzung der unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten seismischer Wellen in Abhängigkeit der von ihnen transportierbaren Energien. Man unterscheidet insbesondere zwischen Primär- und Sekundärwellen (P- und S-Wellen), wobei P-Wellen mit Spitzengeschwindigkeit von 5 km/s (in Granit) nahezu eine doppelte Ausbreitungsgeschwindigkeit gegenüber S-Wellen haben. Da Primärwellen nicht in der Lage sind, Zerstörungen hervorzurufen, sind sie als Ankündigungen der gefährlichen S-Wellen bestens geeignet. Sie zu erkennen, um heran kommende S-Wellen auch quantitativ zu prognostizieren, ist die zentrale Aufgabe eines Frühwarnsystems. Die Aufgabe eines Rapid-Response-Systems besteht dagegen darin, so schnell wie möglich bei einem Ereignis die Intensität des Bebens in der Fläche in einem Raster von mindestens 1 km anzugeben, um in einer ersten Schadensbewertung im Abgleich mit weiteren verfügbaren Daten wie Bebauung, Bevölkerungsdichte usw. Zerstörungen, Tote und Verletzte abschätzen zu können.

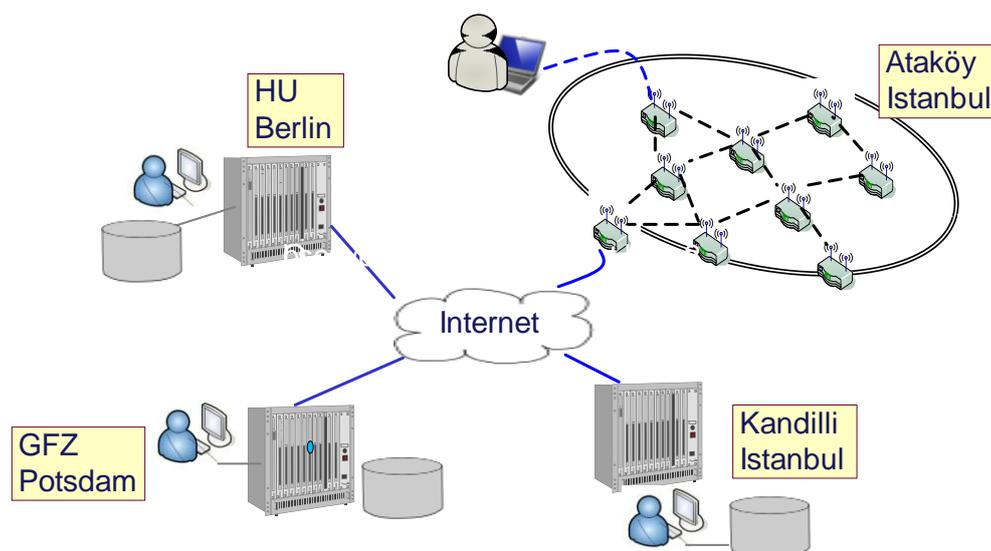


Abb. 3 Erdbebenfrühwarn- und Rapid-Response-System für Istanbul

Mit SOSEWIN als Prototyp ist es insbesondere gelungen, den zentralen Anspruch zu untermauern, dass selbstorganisierende Systeme in Gestalt drahtlos vermaschter Sensornetzwerke durch Miniaturisierung, autonome Adaptionsfähigkeit und niedrige Kosten völlig neue Möglichkeiten eröffnen, komplexe Umweltprozesse zu messen und in Echtzeit zu analysieren. Mehrere Aspekte kamen hier gleichzeitig vorteilhaft zum Tragen. Der geringe Knotenpreis (im Wesentlichen durch die Güte der verwendeten Seismometer bestimmt) erlaubt eine wesentlich höhere Knotendichte eines Seismometernetzes, die sich in der Qualität einer flächendeckenden Beobachtung von Erschütterungsspitzen niederschlägt. Selbstorganisation hilft den eventuellen Ausfall von Knoten (zumindest in gewissen Grenzen) durch das Netz zu kompensieren. Die Kooperation der Knoten bei der Analyse seismischer Wellen ermöglicht die Kompensation von Fehlinterpretationen einzelner Knoten bei der punktuellen Analyse des Umweltphänomens.

Seit August 2008 läuft das System SOSEWIN in einer Konfiguration von 20 Knoten stabil und steht METRIK für verschiedene Studien zur Verfügung. Das Netz, im Stadtbezirk Ataköy auf Dächern 10-stöckiger Häuser mit Sichtkontakt installiert, ist per Internet mit dem Kandilli Observatorium in Istanbul, mit dem GeoForschungsZentrum Potsdam und dem Institut für Informatik in Berlin verbunden.

Seismometerbeobachtungen, inklusive permanent erfasste Seismometerrohdaten sowie beliebige Statusinformationen der einzelnen Knoten und ihrer Verbindungen lassen sich von den entfernten Standorten abfragen.

Ebenso wird (zumindest im bestimmten Rahmen) ein entfernter Softwarekomponentenaustausch unterstützt. Die Einbindung des Systems in die bestehende Frühwarninfrastruktur steht jedoch noch aus. Nach Bereitstellung eines Synthesizers für synthetische Erdbebendaten wurde jetzt damit begonnen, die Reaktion des Systems szenarienorientiert systematisch zu untersuchen. Weitere Erfahrungen mit der SOSEWIN-Technologie konnten durch die Anwendung unserer Netztechnik zur Gebäudeüberwachung im Zuge der intensiven Serie von Nachbeben des L'Aquila-Erdbebens in Italien (April 2009) auch durch die TaskForce Erdbeben gesammelt werden.

Strukturelle Aufstellung des Graduiertenkollegs

Das Forschungsprogramm des Graduiertenkollegs wurde entsprechend seiner ursprünglich beantragten Form so organisiert, dass die verschiedenen Fragestellungen bei der Erforschung dezentral verwalteter Informationssysteme zum einen mit spezifischen Fragestellungen der Selbstorganisation einer drahtlosen Netzwerkstruktur und zum anderen mit Aufgabenstellungen aus einem interdisziplinären Anwendungsgebiet, dem IT-gestützten Katastrophenmanagement, in Zusammenhang gebracht werden konnten.

Unser Anwendungsgebiet des Katastrophenmanagements, das derartige Infrastrukturen als Basis voraussetzt, betont den Aspekt dynamischer Topologieänderungen in den dezentralen Netzstrukturen und erfordert zudem auch die Einbeziehung zentral verwalteter Informationssysteme. Letztendlich soll damit die Grundlage zur Integration von Geo-Informationsdiensten gelegt werden, die ihre Daten jeweils sowohl aus selbstorganisierenden Sensornetzen als auch aus zentral verwalteten Geo-Informationssystemen beziehen. Diese Geo-Dienste bilden wiederum eine Informationsbasis zum Aufbau von Katastrophenmanagementsystemen, wobei das Graduiertenkolleg Workflow-basierte Modellierungen ins Zentrum seiner Untersuchungen stellt. Eine besondere Bedeutung kommt im Graduiertenkolleg der Systemmodellierung zu, deren Beiträge in unterschiedlichen Forschungsbereichen

die Verzahnung einzelner Aufgabenstellungen aus den unterschiedlichen Teilbereichen verstärken und zudem die Qualität der angestrebten Systemlösungen hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien untermauern und verbessern sollen. Besondere Impulse erhofften wir uns von der Bereitstellung adäquater Modellierungssprachen, die über metamodellbasierte Sprachbeschreibungen rationell zu prototypischen Werkzeuglösungen führen sollten.

Sämtliche Dissertationsthemen wurden fünf Forschungsbereichen (siehe Abb. 4) zugeordnet: Selbstorganisation (A), Modellgetriebene Softwareentwicklung (B), Dezentrale Informationssysteme (C), Workflow-Management (D) und Katastrophenmanagement (E).

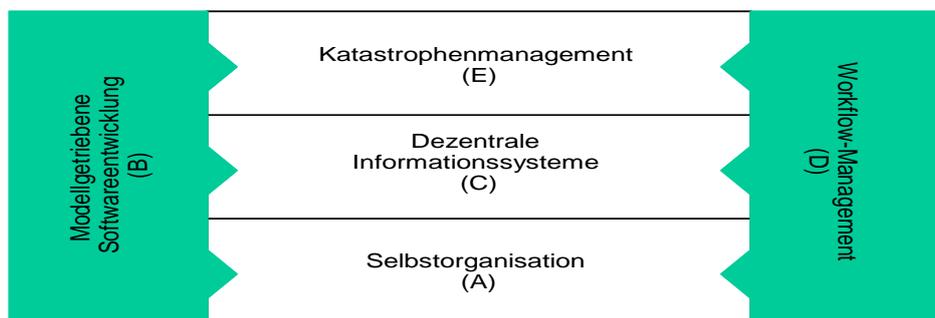


Abb. 4 Die Verzahnung der Forschungsbereiche

Damit ist es dem Graduiertenkolleg über Prof. Doris Dransch als beteiligte Hochschullehrerin auch gelungen, in enger Kooperation mit ihrem Institut, dem Deutschen GeoForschungsZentrum, überzeugende interdisziplinäre Anwendungen von METRIK-Basistechnologien zu platzieren.

Eine weitere Ergänzung erfuhr die METRIK-Forschungsausrichtung über die Integration des B.E.S.T-Projektes innerhalb des Forschungsclusters D als Kooperationsvorhaben mit der TU Eindhoven. Durch Aufnahme dreier weiterer METRIK-Assoziierter mit bereits vorangeschrittenen Promotionsprojekten auf dem Gebiet der Modellierung und Analyse Service-orientierter Systeme konnte der Workflow-Forschungsbereich von METRIK weiter gestärkt werden.

B.E.S.T.-Projekt

Die langjährige Kooperation zwischen dem Graduiertenkolleg METRIK (Forschungscluster D) und der TU Eindhoven wurde mit Beginn der bewilligten Zusatzfinanzierung durch die DFG im Herbst 2007 intensiviert. Insgesamt ist daraufhin eine Vielzahl gemeinsamer Publikationen entstanden, an denen B.E.S.T.-Autoren beider Partner beteiligt sind und die ohne die Finanzierung durch METRIK nicht zustande gekommen wären.

Besonders hilfreich waren die Reisen für die gemeinsame Entwicklung leistungsstarker Softwarewerkzeuge, insbesondere des "FIONA"-Werkzeugs, das die erzielten theoretischen Ergebnisse eindrucksvoll validiert und in der Praxis hilft, Services und Service-orientierte

Architekturen zu analysieren. Insbesondere sollten diese Werkzeuge auch für den Einsatz für Service-Architekturen auf der Basis selbstorganisierender Infrastrukturen untersucht werden.

Um diese Erfolge zu erreichen, waren METRIK-Assoziierte zu mehreren, teils mehrwöchigen Aufenthalten in Eindhoven.

Im März 2009 hat B.E.S.T. in Eindhoven sein drittes großes Kolloquium veranstaltet. Neben der Präsentation der aktuellen Forschungsergebnisse der einzelnen Gruppen wurden die Fortschritte in den Werkzeugen (FIONA, LOLA, PROM) gezeigt. Außerdem bot sich die Gelegenheit, in kleinen Gruppen intensive Diskussionen über zukünftige Forschungsthemen zu führen.

Ein besonders erfreuliches Ereignis im Rahmen des B.E.S.T.-Projektes war die erfolgreiche Verteidigung der ersten von vier geplanten Promotionen im Cotutelle-de-thèse-Verfahren (Doppelpromotion), die Herr Peter Massuthe am 21.4.2009 in Eindhoven verteidigt hat. Die zweite Doppelpromotion wurde am 01.12.2009 von Herrn Christian Stahl im Rahmen des vierten B.E.S.T.-Kolloquiums in Eindhoven verteidigt. Die dritte Doppelpromotion, von Herrn Dirk Fahland (METRIK-Stipendiat), ist für Mai 2010 geplant.

Vernetzung

Abb. 5 zeigt die Kooperationsbeziehungen zwischen den verschiedenen Forschungsbereichen innerhalb des Graduiertenkollegs sowie die (meist interdisziplinären) Kooperationsbeziehungen zu externen Forschungsverbänden. In der Spalte „Forschungsgruppe“ sind die Heimatlehrstühle der Projekt- bzw. Technologieentwicklungen aufgeführt.

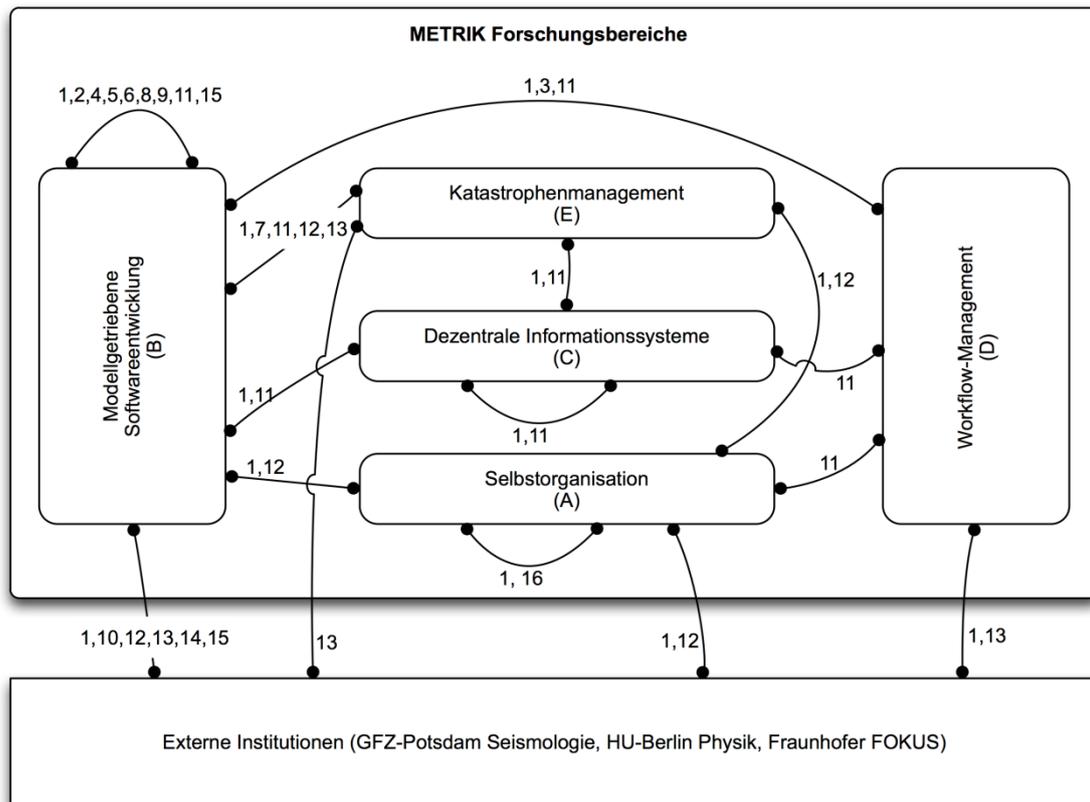


Abb. 5 Interne und externe Kooperationsbeziehungen

Legende

Nr.	Forschungsgruppe	Projektname	Charakterisierung
In METRIK gemeinsam entstandene Publikationen			
1	Höchstens zwei Autoren aus METRIK:		26
	mehr als zwei Autoren aus METRIK:		14
In METRIK gemeinsam entwickelte Technologien			
2	Fischer, Reisig	TEF	Textual Editing Framework
3	Fischer, Reisig	GRETA	Eclipse-basiertes Werkzeug zum Erstellen adaptiver Prozesse
4	Fischer, Holz/Schlingloff	EProvide	Eclipse-basiertes Framework zur Beschreibung operationaler Semantik von domänenspezifischen Sprachen
5	Fischer, Holz/Schlingloff	ECoral	Werkzeug zur Adaption von Metamodellen bei gleichzeitiger Co-Adaption der Metamodell-Instanzen
6	Schlingloff, Fischer	MMUnit	Werkzeug zum Testen von Metamodellen
7	Fischer, Dransch	ECA-EMS	Environmental Cellular Automaton-Experiment Management System
8	Fischer, Holz/Schlingloff	EPromote	Eclipse-Plugin, das die Beschreibung von Modelltransformationen mit Prolog erlaubt
9	Fischer, Holz/Schlingloff	Agile Language Engineering	Anwendung der Prinzipien der agilen Softwareentwicklung auf die Entwicklung von Sprachen

10	Schlingloff	ParTeG	modellbasierter Testgenerator, der auf die kombinierte Erfüllung verschiedener Qualitätskriterien ausgerichtet ist
Anwendungen von METRIK-Technologien im Katastrophenmanagement			
11	Leser	Huodini	Katastrophenrelevante Informationsintegration aus heterogenen Webdatenquellen
12	Fischer, Redlich, Dransch	SOSEWIN	Self-Organizing Seismic Early Warning Information Network
13	Reisig, Leser, Dransch	TaskForce Erdbeben / Equator	Einsatzvorbereitung der TaskForce Erdbeben
Anwendungen außerhalb des Katastrophenmanagements			
14	Fischer	C-TTCN	Fallstudie: Verwendung der Technologien EProvide und MMUnit zur prototypischen Entwicklung einer Erweiterung der bestehenden Testspezifikationssprache TTCN-3
15	Fischer	CIMON	Computing-Infrastruktur zur modellbasierten Entwicklung optischer Nanostrukturen
16	Malek	DADSN	Verlässlichkeitsanalyse verteilter, heterogener Dienstumgebungen

Hat ein Teilnehmer des Graduiertenkollegs aus einem der Forschungsbereiche A bis E mit einem Teilnehmer aus einem anderen Bereich bzw. mit externen Personen kooperiert oder an einem externen Projekt mitgearbeitet, so wird dies in der Abbildung durch eine Linienverbindung repräsentiert. Eine Verbindung eines Bereichs mit sich selbst weist Kooperationen von mindestens zwei Doktoranden innerhalb dieses Forschungsbereichs aus. Die Zahlenangaben an den Verbindungen konkretisieren, von welcher Art bzw. im Rahmen welchen Projektes diese Kooperation stattgefunden hat.

Zusammengefasste bisherige Forschungsergebnisse

Forschungsbereich A

Auf dem Gebiet der selbstorganisierenden drahtlosen Kommunikationsnetze wurden im Forschungsbereich A wesentliche Etappenziele erreicht. Durch Kooperation im Rahmen gemeinsamer Projekte mit der Deutschen Telekom konnten die METRIK-Stipendiaten einen wesentlichen Beitrag zum grundlegenden Verständnis opportunistischer Routingprotokolle erarbeiten. Aus diesem Verständnis heraus wurden neue Protokolle entwickelt (z.B. MCEXOR - Multi Channel Extremely Opportunistic Routing), die besonders in schwierigen Einsatzsituationen den bis dahin etablierten Routingprotokollen in den Kenngrößen Datendurchsatz und Latenz deutlich überlegen sind. Der für die wissenschaftliche Arbeit auf diesem Gebiet notwendige "Werkzeugkasten" von Simulationswerkzeugen, Simulationsmodellen für spezielle MAC-Protokolle und Einsatzszenarien, sowie die Methodik zur Analyse von Interferenz zwischen Ad-Hoc-Netzwerkknoten, wurden, basierend auf den etablierten Werkzeugen ns2/ns3 und JiST/SWANS, substantiell weiterentwickelt und über das Internet der internationalen Forschungsgemeinde zur Verfügung gestellt. Ferner wurden selbstorganisierende Service-orientierte Netzwerke hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit analysiert.

Schließlich wurden, basierend auf den oben genannten wissenschaftlichen Erkenntnissen, Hardware-Prototypen für Netzwerkknoten entwickelt, die derzeit im Rahmen von EU-Projekten (SAFER) bzw. BMBF-Projekten (EDIM) in realen Einsatzgebieten erprobt werden.

Bei diesen Feldtests soll ein tieferes Verständnis von Interferenz-Situationen gefunden werden, mit dem Ziel, Kooperationsverfahren zu entwickeln, die Interferenz nicht nur als zu vermeidendes Übel ansehen, sondern Interferenz sogar zur Steigerung der Leistungsfähigkeit nutzen (z.B. indem mehrere Knoten ein Signal gemeinsam wiederholen, um durch die höhere Gesamtsendeleistung dessen Reichweite zu erhöhen). Dieses Thema ist eines der Forschungsziele für die nächste Förderperiode.

Forschungsbereich B

Auch im Forschungsbereich B wurden die für die erste Förderperiode gesetzten Ziele alle erreicht, wobei die entwickelten Methoden weiter zu konsolidieren sind. Zur Sicherung von sowohl funktionalen als auch nichtfunktionalen Qualitätseigenschaften der im Bereich A entstehenden neuen Protokolle und Dienste konnten in diesem Bereich durch Adaption etablierter Compiler-, Simulations-, Codierungs- und GIS-Technologien Grundlagen geschaffen werden, die die automatische Erzeugung anwendungsspezifischer Software-Komponenten für selbstorganisierende Sensorsysteme aus abstrakten Struktur- und Verhaltensmodellen (UML/SDL/ASN.1) erlauben. Zudem wurde die Transformation von SDL/UML/ASN.1-Spezifikationen in Netzwerksimulatoren (auf Basis von ns-3) erschlossen. Testgenerierungswerkzeuge für diese Sprachen wurden entwickelt.

Darüber hinaus wurde deutlich, dass es neben spezifischen Netzwerk- und Softwarebeschreibungssprachen einen enormen Bedarf an domänenspezifischen Modellierungssprachen für die Darstellung von Umgebungsprozessen in Raum und Zeit gibt, deren Modelle mit denen des Netzwerks zu integrieren sind, um beispielsweise Echtzeiteffekte während der Systementwicklung rechtzeitig berücksichtigen und am Modell überprüfen zu können. Die Entscheidung in METRIK, gerade für die Entwicklung von spezifischen Modellierungssprachen Konzepte und Technologien zu entwickeln, die in der Lage sind, aus Sprachbeschreibungen typische Werkzeuge (wie Editoren, Semantik-Checker, Interpreter, Debugger) automatisch abzuleiten, sollte im Hinblick auf die Entwicklung geeigneter Workflow-Beschreibungssprachen einerseits und Sensornetzbeschreibungssprachen andererseits weiter konsolidiert werden.

Forschungsbereich C

Im Forschungsbereich C wurde zunächst die Entwicklung entsprechender Techniken vorgebracht, mit denen die Komplexität der Informationsverarbeitung in einem selbstorganisierenden Netz vor höheren Anwendungsschichten verborgen werden kann. Die zentrale Idee bestand darin, dass Netze als Ganzes nach außen bestimmte Dienste anbieten können, deren Realisierung transparent bleibt. Beispielhafte Dienste sind Knotenlokalisierung, Benutzung des Netzes als hochverteiltes Speichermedium oder Sammlung von Messwerten. Potentielle Schwierigkeiten, die bei der Bearbeitung entsprechender Anfragen an das Netz auftreten und so weit wie möglich transparent behandelt werden sollten, sind Knotenausfälle, Überlastung von Knoten in Engpässen und die wechselnde Qualität der einzelnen (drahtlosen) Verbindungen. Zu diesen Problemstellungen hat das Kolleg eine Reihe von Lösungen entwickelt, die auf Techniken der deklarativen Anfragespezifikation, -optimierung und -verteilung beruhen, wie sie aus der klassischen Datenbanktechnik bekannt sind. Die Anwendung in den physikalisch hochverteilten Sensornetzen, bei denen die konkrete Position eines Sensors darüber hinaus eine herausragende Rolle in allen Anfragen spielt, erfordert aber eine weitgehende Erweiterung der bekannten Verfahren.

In den von METRIK bearbeiteten Szenarien bilden hochverteilte, sensorbasierte Informationssysteme auch wichtige Entscheidungsgrundlagen für die Koordinierung von

Einsatz- und Rettungskräften. Dazu muss die adaptive Informationsgewinnung mit einer verteilten Workflow-Planungskomponente verknüpft werden, was in einer Doktorarbeit auch erfolgreich gelungen ist.

Des Weiteren wurden in diesem Forschungsbereich Modelle zur Erhöhung der Datenverfügbarkeit durch Platzierung von Replikaten auf geeigneten Knoten entwickelt. Dabei wurden nicht nur einfache Zufallsgraphen betrachtet, sondern praxisrelevante Netzwerke mit Artikulationspunkten, deren Fortfall den Graphen in disjunkte Teile trennen würde. Schließlich wurde auch das Problem der semantischen Integration relevanter Daten im HOUDINI-Projekt erfolgreich bearbeitet. Grundlage ist die Tatsache, dass bei allen Katastrophen in entwickelten Ländern heute die aktuellsten Informationen aus „user-generated content“ im Web zu finden ist, also auf Portalen wie myspace.com, flickr.com oder blogger.com. HOUDINI ist nun in der Lage, die in unterschiedlichen Portalen zu einem Ereignis vermeldeten Neuigkeiten zu entdecken, semantisch zu taggen, gezielt zu aggregieren und schließlich in einem geographischen Kontext zu visualisieren. Dazu entwickelte METRIK neue Methoden zur Informationsextraktion und -aggregation basierend auf Techniken des Semantik Webs und des Maschinellen Lernens.

Forschungsbereich D

Workflows kommen in ganz unterschiedlichen Zusammenhängen im Forschungsbereich D von METRIK vor, die in vier laufenden Dissertationsvorhaben untersucht und verwendet werden. Zur Selbstorganisation und spontanen Adaption an neue Umgebungen haben sich Workflow-Strukturen insbesondere als gut geeignet erwiesen; sie sind zudem mit vernünftigem Aufwand implementierbar; ihre Struktur unterstützt den Nachweis wichtiger Eigenschaften sowie den systematischen, semantikerhaltenden Austausch von Workflow-Komponenten. In der Fortsetzung des Kollegs erscheint es angemessen, weitere Dissertationsvorhaben zu diesem Themenbereich zu empfehlen.

Forschungsbereich E

Die Forschungen auf ausgewählten Feldern des Katastrophenmanagements im Forschungsbereich E sind interdisziplinär angelegt. Hier wurden Grundlagenuntersuchungen zum Einsatz von Workflow-Managementsystemen im Katastrophenfall in erdbebenbedrohten Gebieten durchgeführt, die sich der im Graduiertenkolleg entwickelten Netz- und Informationsdienststrukturen bedienen.

Zudem wurden Methoden zur Gefahren- und Umweltmodellierung untersucht und verbessert. Dabei konnten Technologien zur modellbasierten Softwareentwicklung aus dem Forschungsbereich B hinsichtlich gestellter Anforderungen aus der Umweltmodellierung adaptiert und ein exemplarischer Ansatz zur Modellierung und Simulation Hybrider Zellulärer Automaten entwickelt werden. Mit letzterem wurden sowohl Feuerausbreitungen modelliert als auch erste Versuche zur Ausbreitung von Erdbebenwellen abgeleitet. Mit diesen entwickelten Methoden ließen sich sowohl Wiederverwendbarkeit und Kopplung von Umweltsimulationsmodellen erheblich verbessern als auch Agentenmodellierungen von Katastrophenmanagementszenarien in Form von Workflows realisieren. Ein sehr erfolgreiches Projekt dieses Forschungsbereichs ist auch das bereits vorgestellte Equator-System.

Des Weiteren wurde zur schnellen Schadensabschätzung bei Flutereignissen die generelle Eignung von Daten überprüft, die von der betroffenen Bevölkerung im Ereignisfall zur Verfügung gestellt werden. Dazu wurde ein automatisiertes Verfahren zur Qualitätsbewertung dieser Daten entwickelt. Ein wesentlicher Aspekt der Risikokommu-

nikation ist die Informationsvisualisierung. Nur eine adäquate Visualisierungsform kann entscheidungs- und handlungswirksam sein; vor allem im zeitkritischen Katastrophenfall mit heterogenen, unsicheren und z.T. widersprüchlichen Informationen ist dies von außerordentlicher Wichtigkeit. Daher wurde untersucht, wie hochaggregierte Informationsdarstellungen, sogenannte chorematische Darstellungen, automatisiert erzeugt werden können.

Einzelberichte der Doktorandinnen und Doktoranden des Graduiertenkollegs

DR. MARKUS SCHEIDGEN

(Betreuer: Prof. Dr. Joachim Fischer)

Description of Computer Languages Based on Object-Oriented Meta-Modelling

Problemstellung

In meiner Dissertation beschäftige ich mich mit objekt-orientierter Metamodellierung und deren Verwendung bei der Beschreibung von Computersprachen. Dabei betrachte ich nicht nur die Beschreibung von Sprachen an sich, sondern auch die Verwendung von Sprachbeschreibungen zur automatischen Erzeugung von Sprachwerkzeugen. Ich nutze die Idee von Metasprachen und Metawerkzeugen. Metasprachen werden verwendet, um bestimmte Sprachaspekte, wie Notationen und Semantiken, zu beschreiben; Metawerkzeuge werden verwendet, um Sprachwerkzeuge wie Editoren und Interpreter aus entsprechenden Beschreibungen zu erzeugen. Diese Kombination von Beschreibung und automatischer Entwicklung von Werkzeugen ist als domänenspezifische Modellierung (DSM) bekannt.

Ansatz und Ergebnisse

Ich verwende DSM basierend auf objekt-orientierter Metamodellierung zur Beschreibung der wichtigen Aspekte ausführbarer Computersprachen. Ich untersuche existierende Metasprachen und Metawerkzeuge für die Beschreibung von Sprachvorkommen, ihrer konkreten Repräsentation und Semantik. Weiterhin entwickle ich eine neue Plattform zur Beschreibung von Sprachen, basierend auf dem CMOF-Modell der OMG MOF 2.x-Empfehlungen. Ich entwickle eine Metasprache und ein Metawerkzeug für textuelle Notationen. Schlussendlich entwickle ich eine graphische Metasprache und ein Metawerkzeug zur Beschreibung von operationaler Semantik von Computersprachen.

Um die Anwendbarkeit der vorgestellten Techniken zu prüfen, betrachte ich SDL, die *Specification and Description Language*, als ein Beispiel für textuell notierte Sprachen mit ausführbaren Instanzen. An Hand dieses Beispiels zeige ich, dass die präsentierten Metasprachen und Metawerkzeuge es erlauben, ausführbare Computersprachen zu beschreiben und automatisch Werkzeuge für diese Sprachen zu erzeugen.

Als Ergebnis konnte ich zeigen, dass die Beschreibung auch komplexer Sprachen auf der Basis von objekt-orientierter Metamodellierung möglich ist und dass mit Hilfe der von mir entwickelten Meta-Werkzeuge aus diesen Beschreibungen sich zumindest prototypische Sprachwerkzeuge automatisch erzeugen lassen.

Zusammenarbeit innerhalb des Kollegs

Die Dissertationsprojekte von Daniel Sadilek, Falko Theisselmann, Dirk Fahland, Arif Wider und Siamak Haschemi enthalten Softwareteile, die mit Hilfe der von mir entwickelten Meta-Sprachen und Meta-Werkzeuge beschrieben und entwickelt worden sind.

Teile der Inhalte der Dissertationsprojekte von Daniel Sadilek und Guido Wachsmuth stellen Weiterentwicklungen meiner Technologie zur Semantikbeschreibung dar. Dabei wurden meine Ideen weiterentwickelt, woraus neue Meta-Sprachen und Meta-Werkzeugen resultierten. Die METRIK-Assoziierten Hajo Eichler und Michael Soden nutzen ebenfalls eine Weiterentwicklung der vorgestellten Semantikbeschreibungsmethode.

Aktivitäten

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

ARTIN AVANES

(Betreuer: Prof. Johann-Christoph Freytag, PhD, Prof. Dr. Wolfgang Reisig)

Robuste Steuerung und Ausführung von Kooperativen Prozessen in Verteilten Systemen

Problemstellung

In dieser Arbeit untersuchen wir Methoden und Konzepte zur effizienten Steuerung und Ausführung kooperativer Prozesse in unsicheren und dynamischen Systemen. Das technische Umfeld bilden selbstorganisierende, dezentrale Informationssysteme, die auf Basis von drahtlosen Netzwerken, wie u.a. Sensornetzwerke oder über Funk kommunizierende Einsatzkräfte, im Katastrophenmanagement eingesetzt werden. Über dieses dezentrale System soll eine Menge von Prozessaktivitäten als Teil komplexerer Notfall-Pläne möglichst robust und effizient ausgeführt werden. Dabei ergeben sich eine Reihe neuer Herausforderungen bezüglich einer robusten und effizienten Prozessausführung:

- [I] **Limitierte Kapazitäten:** Anders als bei größeren Servern mit ausreichend Prozessor- und Stromleistung, sind die in dem Katastrophenszenario eingesetzten Ressourcen in ihrer Kapazität limitiert.
- [II] **Dynamische Topologie:** Des Weiteren muss man zu jeder Zeit mit dem Ausfall von eingesetzten Ressourcen oder mit neu hinzu kommenden Ressourcen rechnen.
- [III] **Skalierbarkeit:** Gerade im Katastrophenfall, ist eine effiziente Koordination und Ausführung der einzelnen Aktivitäten wie auch die effiziente Beschaffung und Bearbeitung von Dokumenten unerlässlich, um Zeitverlust und Verzögerungen zu vermeiden.

Ansatz

Um diese Herausforderungen bewältigen zu können, haben wir ein Framework für kooperative Prozesse entwickelt (siehe Abbildung 1), bei welchem wir uns auf folgende Komponenten konzentriert haben:

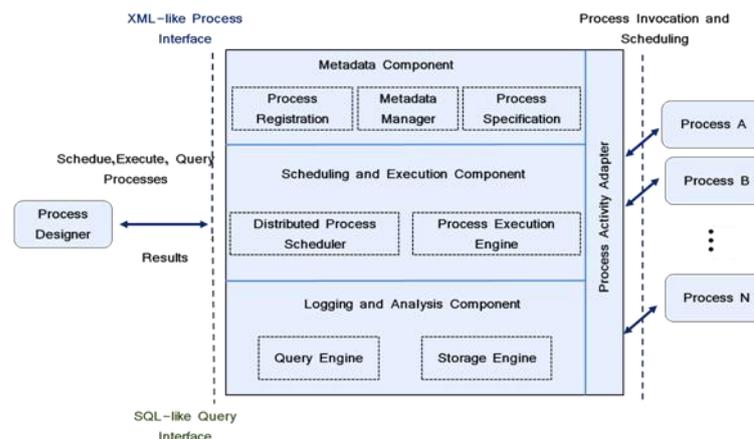


Abbildung 2: Komponenten unseres Prozess-Frameworks

- I. Scheduling-Komponente (Distributed Process Scheduler):** Als Teil einer präventive Strategie, haben wir einen verteilten, heuristischen Verteilungsalgorithmus entwickelt, der sowohl Datenfluss-Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Prozessinstanzen als auch komplexere Beschränkungen (Constraints) bzgl. des Kontroll-/Datenfluss (Control Constraints) und begrenzter Ressourcenkapazität (Cost Constraints) berücksichtigt. Der Algorithmus besteht aus zwei Schritten: (a) einem Partitionierungsschritt, bei dem zunächst verschiedene Prozesspartitionen gebildet werden und (b) einem Allokationsschritt, bei dem diese Partitionen parallel mittels Constraint-Programming Techniken auf die vorhanden Ressourcen verteilt werden.

Prozess-Partitionierung: Zunächst wurde ein Partitionierungsalgorithmus entwickelt, der hinsichtlich der gegebenen Control Constraints geeignete Partitionierungen generiert. Ziel war es, Partitionen mit möglichst wenig *Datenfluss-Abhängigkeiten* untereinander zu bilden. Erweiterungen unseres Algorithmus berücksichtigen auch die *Menge an Daten*, die ausgetauscht werden (mittels Gewichtung) wie auch die Einbeziehung von *Kontrollfluss-Abhängigkeiten* (Control Links).

Parallele Allokation: Der lokale Allokationsschritt wurde übersetzt in ein *Constraint-Satisfaction Problem (CSP)*. Da mehrere lokale Cluster von Ressourcen existieren, denen die Partitionen zugewiesen werden, werden entsprechend mehrere „kleinere“ CSPs gebildet, die durch entsprechende Constraint-Systeme gelöst werden. Das Verwenden von Constraint-Programming Techniken führt in der Regel zu einem exponentiellen Laufzeitverhalten (NP-hart). Um eine polynomielle Laufzeit zu erreichen, untersuchten wir die entstehenden Hypergraphen. Hypergraphen können verwendet werden, um die Struktur entsprechender CSPs zu untersuchen. Ein CSP gehört dann zu der Klasse der „tractable classes“, d.h. es gibt einen Algorithmus, der dieses CSP in polynomieller Zeit löst, wenn es entsprechende strukturelle Eigenschaften besitzt, wie z.B. keine Zyklen enthält. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, unseren Partitionierungsalgorithmus insofern zu modifizieren, dass die nachfolgend entstehenden CSPs keine oder nur wenige Zyklen besitzen. Es wurde deutlich, dass Partitionierung und Allokation nicht komplett getrennt voneinander zu entwickeln sind.

Prototype-Implementierung: Neben der theoretischen Komplexitätsanalyse, konnten wir auch mittels einer ersten prototypischen Implementierung zeigen, dass unser verteilter Algorithmus in der Praxis wesentlich besser skaliert als zentralistische Verfahren. Dieses liegt vor allem daran, dass durch die Partitionierung das ursprüngliche komplexere CSP

in kleinere „CSPs“ zerlegt wird, d.h. mit kleinerem Suchraum und weniger Constraints, die dann parallel gelöst werden.

- II. Ausführungs-Komponente (Process Execution Engine):** Während der Ausführung können Ressourcen Ausfallen oder Nachrichten, die zwischen den beteiligten Ressourcen ausgetauscht werden, gehen verloren. Daher bedarf es auch einer reaktiven Strategie während der Ausführungszeit als Ergänzung zu der unter I.) beschriebene präventive Strategie (zur Entwurfszeit).

Hierarchisches Prozessmodell & Korrektheitskriterien

Diesbezüglich haben wir ausgehend von einem hierarchischen Ausführungsmodell – dem sogenannten Ausführungsbaum - definiert, wann eine korrekte Prozessausführung vorliegt. Prozesse auf höheren Systemlevel triggern neue Subprozesse, die von Entitäten auf unteren Systemebenen ausgeführt werden. Somit wird ein Baum von Subprozessen erzeugt, in dem jeder Knoten einen komplexeren Subprozess darstellt. Unsere Korrektheitsdefinition wird insbesondere durch die Sicht auf die involvierten Prozessdaten motiviert, die nebenläufig von verschiedenen Aktivitäten gleichzeitig zugegriffen und verarbeitet werden können. Dabei erlauben wir einen nebenläufigen Zugriff auf dieselben Daten von Aktivitäten auf der gleichen Baumhierarchie. In diesem Kontext, entwickelten wir ein einheitliches Modell zur Serialisierbarkeit (Serializability) und Wiederherstellbarkeit (Recoverability) von nebenläufigen Subprozessen (Knoten im Ausführungsbaum).

Fehlererholungsverfahren

Ausgehend von diesen Korrektheitskriterien, haben wir ein flexibles Fehlererholungsverfahren entwickelt. Es ermöglicht uns, abhängig von dem Fehlerfall zu entscheiden, ob nur Teile des Ausführungsbaums oder alle von dem Ausfall betroffene Bereiche (z.B. innerhalb des Ausführungsbaums oder über verschiedene Ausführungsbaume hinweg) für die Fehlererholung mit einbezogen werden sollen. Der Fehlererholungsalgorithmus besteht aus drei Schritten: (a) Zunächst wird der sogenannte *Failure Scope Graph* gebildet, d.h. diejenigen Aktivitäten werden identifiziert, die hinsichtlich unserer Korrektheitskriterien (Serialisierbarkeit und Wiederherstellbarkeit) relevant sind. In einem zweiten Schritt (b) werden dann mögliche *Alternativen evaluiert*, um ausgefallene oder in Konflikt stehende Aktivitäten zu kompensieren bzw. neu auszuführen. Auch hierbei wird bezüglich anfallenden Ressourcenkosten optimiert, d.h. zunächst der *Failure Scope Graph* in entsprechende (alternative) *Constraint Graphen* transformiert. Es kann nämlich durchaus vorkommen, dass mehrere alternative Kompensationen bzw. Neuausführungen von Aktivitäten des *Failure Scope Graphen* existieren. In dem dritten Schritt (c) verwenden wir unseren verteilten Scheduling-Algorithmus, um diese *Constraint Graphen* zu initialisieren und dann denjenigen auszuwählen, der hinsichtlich einer gegebenen Kostenfunktion, z.B. bezogen auf den Energieverbrauch, den optimalsten darstellt.

- III. Anfrage-Komponente (Distributed Query Engine):** Während der Prozessausführung bzw. als Ergebnis der einzelnen Prozessaktivitäten fallen viele Daten an. Insbesondere in einem Katastrophenszenario gilt es diese verteilten Daten möglichst schnell und effizient auszuwerten. Dabei begrenzen wir nicht nur uns auf Daten, die während der konkreten Prozessausführung entstehen. Wir betrachten auch nutzergenerierte Web-Daten, d.h. nützliche Informationen, die von Nutzern kurz nach der Katastrophe im Web veröffentlicht wurden. Um große Mengen an Daten effizient analysieren zu können, hat

sich das Map-Reduce Framework als gutes Verarbeitungsparadigma herausgestellt. Wir nutzen die in I. and II. entwickelten Konzepte, um insbesondere Lastenausgleich (*Load-Balancing*) während der Anfrageausführung zu garantieren. Nun sind die Aktivitäten konkrete Anfragen (queries), die intern in *map-reduce jobs (MR-Jobs)* umgewandelt werden. Auch hierbei spielen Control und Cost Constraints eine wichtige Rolle. Ein Server oder ein Cluster von Maschinen könnte schon mit anderen Jobs ausgelastet sein. Daher ist eine entsprechende Verteilung von Anfragen/MR-Jobs wie die damit verbundenden Daten sinnvoll.

Zusammenarbeit innerhalb des Kollegs

Während Dirk Fahland sich mit Analyse-Techniken adaptiver Prozesse beschäftigt, habe ich Konzepte zur robusten Steuerung und Ausführung von Prozessen in verteilten (unsicheren) Systemen untersucht.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Mit-Organisation des Gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs, Dagstuhl, Juni 2009.

Teilnahme an der EDBT Summer School on Data and Resource Management in Ambient Computing, Presqu'île de Giens, Frankreich, September 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der VLDB 2009 - 35th International Conference on Very Large Data Bases, Lyon, Frankreich, August 2009.

Teilnahme an der BTW 2009 - 13. GI-Fachtagung Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web, Münster, März 2009

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

GUIDO WACHSMUTH

(Betreuer: Dr. habil. Eckhardt Holz, Prof. Dr. Holger Schlingloff)

Model Transformation in Model-Driven Language Engineering

Problemstellung

In der modellgetriebenen Softwareentwicklung werden systematisch Modelle zur Entwicklung eines Softwaresystems eingesetzt. Diese Modelle werden in Modellierungssprachen verfasst. Besondere Modellierungssprachen, die speziell auf eine Anwendungs- oder Problemdomäne zugeschnitten sind, ermöglichen es Experten dieser Domäne an der Softwareentwicklung zu partizipieren – auch wenn sie keine oder nur wenig Programmiererfahrung haben. Hierzu werden entsprechende Sprachwerkzeuge, wie etwa Editoren oder Übersetzer, benötigt. Diese Werkzeuge lassen sich wiederum modellgetrieben entwickeln, wobei spezielle Sprachen zur Modellierung von Sprachen und deren Werkzeugen zum Einsatz kommen. Diese sogenannten Metasprachen sind Gegenstand der aktuellen Forschung auf dem Gebiet der modellgetriebenen Softwareentwicklung.

Modelltransformationen bilden einen weiteren wesentlichen Bestandteil der modellgetriebenen Softwareentwicklung. Hierbei werden Modelle aus bereits existierenden Modellen abgeleitet. Ein klassischer Anwendungsfall ist die Kombination eines abstrakten Modells mit zusätzlichen Informationen (z.B. ein weiteres Modell) zu einem konkreteren

Modell. Aber auch die Bildung abstrakterer Modelle aus konkreten Modellen sowie die Umwandlung von Modellen auf einem Abstraktionsniveau sind typische Anwendungen. Modelltransformationen können entweder manuell oder automatisiert durch Transformationswerkzeuge erfolgen. Transformationswerkzeuge lassen sich ebenfalls modellgetrieben entwickeln, wobei spezielle Sprachen zur Modellierung von Modelltransformationen verwendet werden. Diese Transformationssprachen sind ebenfalls Gegenstand der aktuellen Forschung auf dem Gebiet der modellgetriebenen Softwareentwicklung.

Sprach- und Transformationswerkzeuge sind eng miteinander verbunden. Nahezu jedes Sprachwerkzeug realisiert automatisierte Modelltransformationen. So setzt beispielsweise ein Texteditor die textuelle Darstellung eines Modells in eine abstrakte Repräsentation des Modells um und erstellt Übersichtsmodelle zum Inhalt oder zu Fehlern des Modells. Umgekehrt beinhalten Transformationswerkzeuge typischerweise Wissen über die Quell- und Zielsprache. Aus dieser Verbindung von Sprach- und Transformationswerkzeugen ergibt sich eine entsprechende Verbindung zwischen Meta- und Transformationssprachen. Viele Metasprachen bieten Mittel zur Modellierung von Transformationen in einem Sprachwerkzeug und sind somit auch Transformationssprachen. Andererseits lassen sich Transformationssprachen zur Modellierung von Sprachwerkzeugen verwenden und sind somit auch Metasprachen. Des Weiteren referenzieren oder beinhalten Transformationssprachen typischerweise eine Metasprache, um Quell- und Zielsprache beschreiben zu können.

Diese Zusammenhänge existieren auch im Bereich der Programmiersprachen und Programmtransformationen. Darüber hinaus gibt es eine jahrzehntelange Tradition und entsprechende wissenschaftliche Erfahrung in der Beschreibung von Programmiersprachen und Programmtransformationen, sowie daraus ableitbaren Sprach- und Transformationswerkzeugen. Ziel meiner Arbeit ist es, Erkenntnisse aus diesem Forschungsgebiet auf die modellgetriebene Softwareentwicklung zu übertragen und zur Entwicklung geeigneter Metasprachen sowie Modelltransformationssprachen zu nutzen.

Ansatz und Ergebnisse

Im ersten Teil meiner Arbeit widme ich mich Text-zu-Modell-Transformationen. Ich stelle eine Transformationssprache vor, welche auf Attributgrammatiken basiert. Dabei wird die Quellsprache der Transformation durch eine kontextfreie Grammatik und die Zielsprache durch ein objektorientiertes Metamodell beschrieben. Die Transformation selbst lässt sich dann durch Regeln zur Dekoration von Syntaxbäumen beschreiben. Im Gegensatz zu gewöhnlichen Attributgrammatiken werden hierzu aber keine Terme sondern Modellelemente verwendet.

Die von mir entwickelte Transformationssprache bietet Vorteile gegenüber existierenden Ansätzen für Text-zu-Modell-Transformationen. Beispielsweise schränken existierende Ansätze für gewöhnlich die Klasse kontextfreier Grammatiken ein. Dies erschwert die Wiederverwendung von Grammatikteilen sowie die Kopplung existierender Grammatiken zu einer neuen Grammatik. Mein Ansatz kommt hingegen ohne eine solche Einschränkung aus. Des Weiteren setzen existierende Ansätze eine gewisse Ähnlichkeit in der Struktur der Grammatik der Quell- und des Metamodells der Zielsprache voraus. Dies ist unproblematisch, wenn Grammatik oder Metamodell eigens für die Transformation entwickelt werden, verhindert aber oftmals die Verwendung existierender Sprachbeschreibungen.

Die von mir vorgeschlagene Transformationssprache lässt sich auch zur Modellierung von Sprachwerkzeugen verwenden. So lässt sich beispielsweise mit Hilfe einer Text-zu-Modell-Transformation der Zusammenhang zwischen der konkreten und abstrakten Syntax einer rein textuellen Modellierungssprache beschreiben. Aus dieser Beschreibung kann dann ein Parser generiert werden. Im Gegensatz zu existierenden Ansätzen ist es darüber hinaus möglich, Parser für Sprachen mit einer Mischung aus textuellen und graphischen Repräsentationen zu spezifizieren. Eine weitere Möglichkeit, die von bisherigen Ansätzen zur Text-zu-Modell-Transformation nicht unterstützt wird, ist die Modellierung von Reengineeringwerkzeugen, welche aus vorhandenem Code Modellabstraktionen bilden.

Im zweiten Teil meiner Arbeit befasse ich mich mit Modell-zu-Text-Transformationen. Diese spielen in der modellgetriebenen Softwareentwicklung eine zentrale Rolle bei der Generierung von Code. Besonders beliebt sind dabei Templatesprachen zur Spezifikation von Modell-zu-Text-Transformationen mit Hilfe von Codeschablonen. Trotz ihrer Beliebtheit haben diese Sprachen zwei entscheidende Nachteile: Ihnen fehlt eine formale Semantik und sie bieten darüber hinaus keine Möglichkeit, die syntaktische Korrektheit einer Codeschablone in Bezug auf die Zielsprache der Transformation zu überprüfen. In meiner Arbeit überwinde ich beide Defizite. Zunächst definiere ich die formale Semantik der wesentlichen Konzepte in Templatesprachen. In einem zweiten Schritt leite ich dann eine generische Methode her, die es gestattet, für beliebige Zielsprachen korrespondierende Templatesprachen zu definieren, welche die Prüfung von Codeschablonen auf syntaktische Korrektheit ermöglichen.

Beim Einsatz von domänenspezifischen Modellierungssprachen zur Einbindung von Domänenexperten in die Softwareentwicklung stellt Codegenerierung oft ein Problem dar, da die Domänenexperten mit den Konzepten der Zielsprache oft nur unzureichend vertraut sind. Verschiedene aktuelle Forschungen schlagen daher eine operationale Beschreibung der Semantik domänenspezifischer Sprachen als Ausweg vor. Grundidee hierbei ist, die Bedeutung von domänenspezifischen Sprachkonstrukten durch Zustandsübergänge in einem Zustandsraum zu modellieren. Typischerweise sind Domänenexperten in der Lage, einem Softwareentwickler einen solchen Zustandsraum und dazugehörige Zustandsübergänge zu vermitteln. Die aktuelle Forschung schlägt verschiedene Modellierungssprachen zur Beschreibung der Zustandsübergänge vor. Im dritten Teil meiner Arbeit zeige ich, dass dafür auch herkömmliche Modell-zu-Modell-Transformationssprachen genutzt werden können. Dies erlaubt es Softwareentwicklern, welche bereits Modell-zu-Modell-Transformationssprachen in modellgetriebenen Softwareentwicklungsprojekten einsetzen, die operationale Semantik domänenspezifischer Sprachen zu implementieren, ohne dafür eine neue Modellierungssprache erlernen zu müssen. Vielmehr können sie von bereits vorhandenem Wissen profitieren.

Operationale Semantikbeschreibungen dienen auch der Modellierung von Sprachwerkzeugen wie Interpretern und Debuggern. Gewöhnlich bietet hierfür jede Beschreibungssprache ein eigenes Framework an. Diese Frameworks bieten ähnliche Funktionalität, erfordern aber sowohl vom Entwickler als auch vom Nutzer einer domänenspezifischen Sprache eine Einarbeitung in das jeweilige Framework. Daher haben Daniel Sadilek und ich das Framework EProvide entwickelt, welches die Modellierung von Interpretern und Debuggern mit Hilfe verschiedener Beschreibungssprachen ermöglicht. Aus Nutzersicht hat dies den Vorteil, dass die Interpreter und Debugger unabhängig von der gewählten Beschreibungssprache die gleiche Funktionalität und Benutzerschnittstelle bieten. Aus

Entwicklersicht ist es nun möglich, verschiedene Beschreibungssprachen zu verwenden, ohne das Framework wechseln zu müssen.

Im vierten und letzten Teil meiner Arbeit beschäftige ich mich mit der Veränderung von Modellierungssprachen und dazugehörigen Sprachmodellen. Sprachen unterliegen wie jede andere Software auch der Veränderung. Dies schlägt sich in der Änderung der Sprachbeschreibungen, in unserem Fall der Sprachmodelle, nieder. Für gewöhnlich werden diese Änderungen manuell vollzogen. Die Änderung einer Sprache hat aber schwerwiegende Konsequenzen für Modelle, die in dieser Sprache verfasst sind. Für gewöhnlich müssen diese an die neue Sprachversion angepasst werden. Allerdings haben Sprachentwickler meist keinen Zugriff auf diese Modelle, da sie beim Sprachnutzer vorliegen. Für die Sprachnutzer stellen die Modelle oft einen erheblichen Wert da. Daher sind sie an einer automatischen Migration ihrer Modelle von alter zu neuer Sprachversion interessiert. Solche automatisierten Modellmigrationen sind spezielle Modell-zu-Modell-Transformationen und aktueller Forschungsgegenstand. In meiner Arbeit schlage ich vor, Sprachmodelle nicht mehr manuell sondern mit Hilfe wohldefinierter Operatoren durchzuführen. Diese Operatoren ermöglichen es, alte Sprachmodelle in neue Sprachmodelle zu transformieren. Jeder Operator weist dabei spezielle Eigenschaften auf, die es dem Sprachentwickler erlauben, die Auswirkungen der Änderung auf die Sprache zu klassifizieren, beispielsweise ob sich die Ausdruckskraft der Sprache erhöht und ob bestehende in der Sprache verfasste Modelle migriert werden müssen. In einem weiteren Schritt lässt sich dann aus einer Sequenz von Operatoren, welche eine Änderung von Sprachmodellen beschreibt, eine Modell-zu-Modell-Transformation ableiten, welche bestehende Modelle aus der alten Sprache in die neue Sprache migriert.

Bezug zu anderen Projekten des Kollegs

Während meiner Arbeit an den vorgestellten Themen gab es verschiedene Berührungspunkte mit anderen Arbeiten im Graduiertenkolleg. Diese konzentrierten sich hauptsächlich in einem Cluster „Agile Sprachmodellierung“, in dem ein reger Austausch zu Themen der Beschreibung von Modellierungssprachen und einer generischen Werkzeugunterstützung stattfand. Hauptbeteiligte an diesem Cluster waren Markus Scheidgen, Daniel Sadilek, Stephan Weißleder und meine Person. Die Arbeiten von Markus Scheidgen inspirierten mich zu alternativen Ansätzen zur Beschreibung textueller Modellierungssprachen welche letztlich in meiner Arbeit zu Text-zu-Modell-Transformationen mündeten. Durch die Arbeiten von Markus Scheidgen, Daniel Sadilek und mir entstanden im Cluster verschiedene Methoden zur Beschreibung der operationalen Semantik von Modellierungssprachen. Im Rahmen dieser Arbeiten entstand gemeinsam mit Daniel Sadilek das Werkzeug EProvide, welches die generische Spezifikation von Interpretern und Debuggern für Modellierungssprachen ermöglicht.

Aktivitäten

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Mit-Organisation des Gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs, Dagstuhl, Juni 2009.

Forschungsaufenthalt am Lehrstuhl Software and Systems Engineering an der Technischen Universität München, Januar 2009.

Forschungsaufenthalt bei Language Research Group an der Universität Koblenz-Landau, September 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der SLE 2009 - 2nd International Conference on Software Language Engineering, Denver, Colorado, USA, Oktober 2009

Teilnahme und Vortrag bei der ETAPS 2009 - European Joint Conferences on Theory and Practice of Software, York, Vereinigtes Königreich, März 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

TIMO MIKA GLÄBER

(Betreuer: Prof. Dr. Ulf Leser, Prof. Dr. Miroslaw Malek)

Query Processing for Wireless Sensor Networks

Problemstellung

Die Informationsgewinnung und Verarbeitung ist in vielen Szenarien des Katastrophenmanagements der entscheidende Faktor für den Schutz von Menschenleben und Eigentum. Daher kommt der informationstechnologischen Infrastruktur eine entscheidende Rolle in diesem Prozess zu. Während bis vor wenigen Jahren fast ausschließlich drahtgebundene oder Satelliten-gestützte und damit verhältnismäßig teure Technologien zum Einsatz kamen, zeichnet sich eine Alternative ab: drahtlose Sensornetzwerke (WSN). Diese Netzwerke bestehende aus vielen einzelnen kleinen drahtlosen Geräten (Knoten). Der einzelne Knoten ist dabei mit verhältnismäßig wenig Ressourcen ausgestattet. Speicher, Prozessor, Kommunikationsbandbreite und Reichweite sowie auch die zur Verfügung stehende Energie stellen starke Einschränkungen des bekannten Rechnermodells im Katastrophenmanagement dar. Durch Kooperation zwischen den Knoten lassen sich jedoch komplexe Aufgaben umsetzen. Dazu kommt, dass der Preis pro Knoten bereits weit unter einhundert Euro liegt und abzusehen ist, dass dieser weiter fallen wird.

Aus der Ressourcenbeschränktheit ergeben sich jedoch auch neue Probleme wie a) Energieknappheit im Batteriebetrieb, b) weit geringe Speicherungs- und Verarbeitungsmöglichkeit pro Knoten.

Die Technologien und Anwendungen, die für das Katastrophenmanagement auf solchen Netzwerken aufsetzen sollen, müssen dies berücksichtigen.

Ansatz und Ergebnisse

Meine Forschung konzentriert sich auf den Bereich des effizienten Sammelns und Verarbeitens von Daten sowie der kooperativen Erkennung von Ereignissen in WSN. Diese Ereignisse werden vom Anwender mit Hilfe einer deklarativen Sprache definiert und im Netzwerk verteilt ausgeführt. Die Ausführung wird von der Sensornetzwerkdatenbank derart gesteuert, dass der Ressourcenverbrauch und dabei vor allem der Energieverbrauch im gesamten Netzwerk möglichst minimiert werden. Als sekundäres Optimierungskriterium wird noch versucht den Verbrauch möglichst über viele Knoten gleichmäßig zu streuen. Daraus resultiert eine verlängerte Laufzeit des Netzes was für das Katastrophenmanagement von großer Wichtigkeit ist.

STEPHAN WEIBLEDER

(Betreuer: Prof. Dr. Holger Schlingloff)

Test models and coverage criteria for automatic model-based test generation from UML state machines

Problemstellung

Testen ist ein wichtiges und weit verbreitetes Mittel des Qualitätsmanagements. Funktionales, modellbasiertes Testen vergleicht das zu testende System mit einem Testmodell. Dazu werden Testsuiten auf Basis des Testmodells generiert und gegen das zu testende System ausgeführt. Wesentliche Vorteile der automatisierten, modellbasierten Testfallerzeugung sind die Nähe der Testmodelle zu den Anforderungen, die Nachverfolgbarkeit von Anforderungen, sowie die Automatisierung der Testerzeugung und damit auch die Verringerung der Testkosten. Testen ist oft nicht vollständig: Für viele Testmodelle ist es möglich, eine beliebig hohe Anzahl beliebig langer Testfälle zu generieren. Abdeckungskriterien sind populäre Mittel, um das Fehleraufdeckungspotential von Testsuiten zu messen, sowie um die Testerzeugung zu steuern und bei Erreichen eines gewissen Abdeckungsgrades zu stoppen.

Viele Fragen zu Testmodellen und Abdeckungskriterien sind offen. Zum Beispiel definiert die UML 2.1 insgesamt 13 Diagrammtypen, die oftmals in Isolation verwendet obwohl eine kombinierte Verwendung durchaus Vorteile verspricht. Weiterhin gibt es eine hohe Anzahl verschiedener Arten von Abdeckungskriterien, deren Nutzen in isolierter Verwendung bereits gezeigt wurde. Es stellt sich jedoch auch hier die Frage, wie man deren Vorteile kombinieren kann. Darüber hinaus wurden die Beziehungen zwischen Testmodellen und Abdeckungskriterien bisher noch nicht sehr tiefgründig erforscht und die Frage nach gegenseitigen Abhängigkeiten ist offen.

Ansatz und Ergebnisse

Diese Dissertation befasst sich mit der automatisierten Testerzeugung basierend auf UML Zustandsmaschinen. Der Fokus liegt auf Testmodellen, Abdeckungskriterien und deren Beziehungen. Ich präsentiere verschiedene Ansätze, Abdeckungskriterien zu kombinieren, sowie Testmodelle zu kombinieren und zu transformieren: Ich präsentiere einen Testgenerierungsalgorithmus, der kontrollflussbasierte Abdeckungskriterien mit grenzwertbasierten Abdeckungskriterien kombiniert. Ich kombiniere Zustandsmaschinen mit Klassendiagrammen und mit Interaktionsdiagrammen. Die zugehörigen Abdeckungskriterien können somit ebenfalls kombiniert werden. Die Transformation von Zustandsmaschinen wird genutzt, um Abdeckungskriterien austauschbar zu machen und zu kombinieren. Weiterhin kann damit das Fehleraufdeckungspotential von Testmengen unabhängig von Abdeckungskriterien verbessert werden. Darüber hinaus wird die Beeinflussung der Testeffizienz durch Eingriffe in die Testerzeugung untersucht. Zu den genannten Beiträgen gibt es prototypische Implementierungen, die bereits für Standardbeispiele, akademische Anwendungen und industrielle Fallstudien genutzt wurden.

Aktueller Stand der Arbeit

Die fachlichen Problemstellungen sind weitestgehend gelöst und veröffentlicht. Besonders hervorzuheben sind die Akzeptanz meiner Arbeit in der „Test-Community“: Auf dem renommierten MoDeVVa-Workshop in 2007 wurde meine Einreichung als „best paper“ ausgezeichnet. Auf der Testkonferenz ICST in 2008 wurde mein Beitrag mit dem „best student paper award“ ausgezeichnet. Darüber hinaus wurde ich eingeladen, Mitglied im

Programmkomitee von Workshops/ Konferenzen zu sein. Ich organisiere zudem den Workshop „MoDeVVA“ in 2009. Dieser findet zusammen mit der Konferenz „Models“ statt – ebenfalls eine sehr renommierte Konferenz.

Bezug zu anderen Projekten des Kollegs

Neben diversen Kooperationen mit der Industrie, die größtenteils über das Fraunhofer FIRST zustande gekommen sind, habe ich an zahlreichen Kooperationen innerhalb des Graduiertenkollegs teilgehabt:

- 1) Das Cluster „ALE“ – Agile Language Engineering (zusammen mit Guido Wachsmuth, Daniel Sadilek und Markus Scheidgen). Hierbei geht es um die Definition und Unterstützung eines agilen Entwicklungsprozesses für die Entwicklung von domänen-spezifischen Sprachen. Domänenspezifische Sprachen sind insbesondere für die Einbindung von Domänenexperten von essentieller Bedeutung.
- 2) Kooperation mit Daniel Sadilek zum Thema „Testen von Metamodellen“. Domänen-spezifische Sprachen können durch Metamodelle ausgedrückt werden. Entsprechend gilt für diese Kooperation eine ähnliche Motivation wie für die zuvor beschriebene Kooperation. Aus der Zusammenarbeit sind mehrere Publikationen hervorgegangen. Teile davon werden auch in Daniel Sadilek's Dissertation verwendet.
- 3) Kooperation mit mehreren Mitgliedern des GK's zur Projektsteuerung für das Huodini-Projekt, einem Projekt, um unterschiedlichste Informationsquellen mit Katastrophen-bezug schnell, übersichtlich und thematisch passend darzustellen.
- 4) Kooperation mit Stefan Brüning zur Erstellung einer Fehlertaxonomie im Bereich der service-orientierten Anwendungen.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der an METRIK beteiligten Lehrstühle im Wintersemester 2008/2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Organisation und Teilnahme am Gemeinsamen Workshop der Informatik-Graduiertenkollegs, Dagstuhl, Juni 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der MODELS 2009 – 12th International Conference Model Driven Engineering Languages and Systems

Organisation des MoDeVVA 2009 - 6th Workshop „Model-Driven Engineering, Verification, and Validation: Integrating Verification and Validation in MDE“, Denver, Colorado, USA, Oktober 2009.

Teilnahme und Beitrag bei der MBEES 2009 - Modellbasierte Entwicklung eingebetteter Systeme, Dagstuhl, April 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

DANIEL SADILEK

(Betreuer: Prof. Dr. Joachim Fischer, Prof. Dr. Jens-Peter Redlich)

Test-Driven Language Modeling**Problemstellung**

Das Forschungsgebiet meiner Dissertation ist die Entwicklung domänenspezifischer Sprachen (DSLs). DSLs sind Computersprachen, die auf eine spezielle Anwendungsdomäne zugeschnitten sind. Ihr Zweck ist es, qualitativ hochwertige Software kostengünstig zu erstellen. Dazu kann eine DSL von Programmierern anstatt oder in Ergänzung normaler Programmiersprachen verwendet werden. Eine DSL kann auch von sogenannten Domänenexperten, die eigentlich keine Programmierer sind, verwendet werden, da sie die domänenspezifischen Konzepte der DSL verstehen. Die Entwicklung von DSLs erfolgt durch Sprachingenieure, die dafür entsprechende Werkzeuge und Methoden benötigen.

Ich betrachte DSLs, deren Konzepte nicht von Beginn ihrer Entwicklung an feststehen. Solche DSLs müssen iterativ entwickelt werden:

- Domänenexperte und Sprachingenieur diskutieren einige Beispielverwendungen der DSL und erstellen auf dieser Basis einen informellen Sprachentwurf.
- Der Sprachingenieur implementiert einen Prototyp bestehend aus Werkzeugen für die DSL, bspw. einem Editor und einem Interpreter.
- Domänenexperte und Sprachingenieur verwenden den Prototyp zum Experimentieren mit der neuen DSL-Version. Dabei können sie notwendige Änderungen identifizieren, die in der nächsten Iteration umgesetzt werden.

Da sich die Entwicklung einer DSL nur auszahlen kann, wenn die Entwicklungskosten geringer sind als die mit der DSL erzielten Einsparungen, ist es das Ziel meiner Arbeit, eine kostengünstige Entwicklung von DSLs zu ermöglichen.

Ansatz und Ergebnisse

In meiner Dissertation entwickle ich Technologien, die es einem Sprachingenieur erlauben, Werkzeugprototypen für eine DSL mit einer *modellbasierten* und *testgetriebenen* Methodik zu entwickeln. Durch die Verwendung einer modellbasierten Methodik muss ein Sprachingenieur Werkzeuge nicht mehr manuell programmieren. Stattdessen beschreibt er die verschiedenen Aspekte einer DSL mit Modellen, aus denen die Werkzeuge automatisch abgeleitet werden können. Die Idee testgetriebener Entwicklung ist es, Tests für neuen Code zu erstellen bevor der Code selbst geschrieben wird (test-first). Diese Vorgehensweise hat sich etabliert, um die Produktivität von Programmierern und die Qualität des Codes zu verbessern.

Die Hauptthese meiner Arbeit ist, dass sich testgetriebene Entwicklung nicht nur auf die Programmierung von Code sondern auch auf die DSL-Entwicklung anwenden lässt.

Ich setze in meiner Arbeit auf etablierten Ansätzen der modellbasierten DSL-Entwicklung auf:

- Beschreibung der abstrakten Syntax einer DSL mit einem Metamodell;
- Beschreibung der Semantik einer DSL metamodellbasiert auf operationale Art, d.h. Erweiterung des Metamodells zur Modellierung möglicher Laufzeitzustände und Implementieren einer Transitionsrelation als Modell-zu-Modell-Transformation, die einen Laufzeitzustand in seinen Folgezustand transformiert.

Auf dieser Basis entwickle ich folgende Beiträge:

- einen Ansatz zum *Testen von Metamodellen*,
- in Bezug auf Abdeckungskriterien für Metamodelltests
 - einen Ansatz zur *Modellierung und Ausführung von Abdeckungskriterien*, sowie
 - fünf *beispielhafte Abdeckungskriterien*,
- in Bezug auf die metamodellbasierte Beschreibung operationaler Semantik
 - einen Ansatz, der es einem Sprachingenieur erlaubt, zur Formulierung der Modell-zu-Modell-Transformation eine *Beschreibungssprache flexibel zu wählen*,
 - Ansätze zur *animierten Ausführung* von DSLs, zur *Modellierung von Debuggern*, sowie zur Unterstützung des *rückwärts Laufenlassens* von DSL-Programmen,
- Ansätze zum Testen von Beschreibungen operationaler Semantik durch
 - *Test auf gegenseitige Äquivalenz*,
 - *Regressionstests*, sowie
 - *Test gegen von einem Benutzer vorab (test-first) formulierte Ausführungstraces*.

Des Weiteren stelle ich *Werkzeugimplementierungen* all dieser Ansätze und eine *Fallstudie* vor, die die Umsetzbarkeit der Ansätze und die Nutzbarkeit der implementierten Werkzeuge demonstriert.

Durch diese neuen Ansätze kann der oben beschriebene, iterative Entwicklungsprozess um eine modellbasierte, testgetriebene Methodik erweitert werden: Nach Erstellen des informalen Sprachentwurfs implementiert der Sprachingenieur die DSL-Werkzeuge nicht mehr direkt. Stattdessen leitet er zunächst formale, automatisch ausführbare Tests für die abstrakte Syntax und die operationale Semantik der Sprache ab (testgetriebene Methodik). Danach modelliert er abstrakte Syntax und operationale Semantik, testet diese und leitet aus den Modellen automatisiert einen Interpreter ab (modellbasierte Methodik).

Zusammenarbeit innerhalb des Kollegs

- Aufbau auf Markus Scheidgens und Guido Wachsmuths Arbeiten zu operationaler Semantik.
- Verwendung von Markus Scheidgens Textual Editing Framework (TEF) zur Erzeugung textueller Editoren zwecks Umsetzung von Fallstudien.
- Zusammenarbeit mit Stephan Weißleder bei der Entwicklung eines Ansatzes zum Metamodell-Testen.
- Zusammenarbeit mit Guido Wachsmuth bei der Entwicklung eines integrierten Ansatzes zur Beschreibung operationaler Semantik mit verschiedenen Beschreibungssprachen.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Mit-Organisation des Gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs, Dagstuhl, Juni 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der TOOLS-EUROPE 2009 - 47th International Conference Objects, Models, Components, Patterns, Zürich, Schweiz, Juli 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

DIRK FAHLAND

(Betreuer: Prof. Dr. Wolfgang Reisig und Prof. Dr. Holger Schlingloff)

Modellierung und Analyse Adaptiver Prozesse

Ausgangsfragen und Zielsetzung des Projekts

Das Promotionsprojekt ist in den Bereich der Modellierung und Analyse des Verhaltens von Prozessen und verteilten Systemen eingeordnet. Zentrale Frage des Projektes ist, wie sich der Entwurf von Prozessen, z.B. Arbeitsabläufen, und verteilten Systemen, z.B. einem drahtlosen Sensornetzwerk, mit komplexer Dynamik, wie sie typischerweise im Katastrophenmanagement auftritt, mit einer geeigneten Modellierungs- und Analysetechnik unterstützen lässt. Die entscheidende Schwierigkeit bei der Modellierung und Analyse ist die Komplexität der betrachteten Systeme, die aus der Interaktion verschiedener Nutzer und Systemkomponenten entsteht. Eine geeignete Modellierungstechnik erfordert daher ein geeignetes Strukturierungsmittel zur Beschreibung des Verhaltens der einzelnen Teilnehmer und Komponenten sowie ihrer Verzahnung im Gesamtsystem.

Als ein mögliches Strukturierungsmittel zur Beschreibung derartigen Systemverhaltens sind wiederholt *szenario-basierte* Techniken vorgeschlagen worden: Ein Szenario eines Systems ist eine sinnvolle Folge möglicher Interaktionsschritte mit seiner (technischen, organisatorischen oder menschlichen) Umgebung, ggf. zusammen mit Alternativen und expliziten Verboten. Es ist im Allgemeinen nicht leicht, für eine gegebene Menge von Szenarien ein entsprechendes System zu konstruieren: Beispielsweise kann eine Aktivität des Systems in mehreren Szenarien oder in einem Szenario mehrfach vorkommen. Auch hängt der Fortgang eines Szenarios im Allgemeinen nicht nur vom aktuellen Systemzustand ab, sondern auch von der Vorgeschichte des Szenarios.

Ziel des Dissertationsprojektes war es daher, ein formales Modell zu entwickeln, mit dem aus einer gegebenen Menge von Szenarien das zugehörige Systemverhalten systematisch konstruiert werden kann.

Ansatz und Ergebnisse

Im Dissertationsprojekt haben wir ein formales Modell für Szenarien entwickelt, mit dem aus einer gegebenen Menge von Szenarien, das dazugehörige Systemverhalten systematisch konstruiert werden kann. Die formale Grundlage des Modells sind sogenannte *verteilte Abläufe*, wie sie in der Petrinetz-Theorie verwendet werden. Ein verteilter Ablauf eines Systems ordnet das Eintreten von Systemaktionen nicht zeitlich linear, sondern aufgrund ihrer *kausalen* Ursache-Wirkungs-Beziehungen; ein verteilter Ablauf wird mathematisch über eine Halbordnung beschrieben.

Das entwickelte Modell formalisiert ein Szenario als ein sog. *Oclet*, einem endlichen Teilstück eines verteilten Ablaufs: Er besteht aus einer halbgeordneten Menge von Systemaktionen (und ggf. daran beteiligten Ressourcen) was sich in Form eines kleinen und einfach zu verstehenden Petrinetzes notieren lässt. Zusätzlich wird ein Anfangsstück eines Oclets als seine Vorbedingung (oder Vorgeschichte) ausgewiesen. Die intuitive Interpretation ist, dass ein Oclet dann eintreten kann, wenn seine Vorbedingung in einem Ablauf des Systems eingetreten ist. Diese Konzepte wurden mathematisch unterlegt; das

daraus abgeleitete formale Modell erlaubt die systematische Konstruktion (halbgeordneter) Abläufe aus einer gegebenen Menge von Oclets: Endet ein Ablauf mit der Vorbedingung eines Oclets, so kann er mit dem gesamten Oclet fortgesetzt werden. Die Menge aller so konstruierbarer Abläufe bildet das Verhalten eines derartig szenario-basiert beschriebenen Systems.

Aus diesem grundlegenden formalen Modell leiten sich eine Reihe von Varianten von Oclets und weitergehender Fragestellungen ab.

Erweiterungen des formalen Modells

- Die zuvor beschriebene intuitive Konstruktion von Systemabläufen aus einer Menge von Oclets haben wir in eine *operationelle Semantik* für szenario-basierte Modelle übersetzt, die Systemabläufe Schritt für Schritt aus aktivierten Aktionen konstruiert. Hierzu erweiterten wir die Schaltregel von Petrinetzen: Die Aktivierung einer Aktion hängt nicht mehr nur vom aktuellen Zustand ab, sondern auch von einer endlichen Vorgeschichte des Ablaufs, über den der aktuelle Zustand erreicht wurde.
- Mit sog. *Anti-Oclets* kann ein Szenario spezifiziert werden, das nicht im System auftreten darf. Das formale Modell haben wir dahingehend erweitert, dass nur solche Abläufe konstruiert werden, die kein Anti-Oclet verletzen.
- Da ein Oclet ein eigenständiges Modellierungsartefakt ist, kann es prinzipiell in verschiedensten szenario-basierten Modellen wiederverwendet werden. Daher stellt sich die Frage, welche Mengen von Abläufen durch ein einzelnes Oclet *o* charakterisiert werden, in dem Sinne, dass *o* an der Konstruktion der Abläufe beteiligt ist. Hierfür wurde eine entsprechende Charakterisierung gefunden, die einer *deklarativen Semantik* für Oclets entspricht: Eine Menge von Abläufen *R* ist ein *Modell* von *o*, wenn zu jedem Ablauf in *R*, der die Vorbedingung von *o* erfüllt, auch seine Fortsetzung mit *o* ein Ablauf in *R* ist, die Abläufe in *R* sich aber sonst beliebig verhalten. Dieser Begriff lässt sich kanonisch auf Mengen von Oclets erweitern. Auf Basis dieser Charakterisierung kann gezeigt werden, dass Oclets *kompositional* sind: Ein Menge von Abläufen *R* ist Modell der Vereinigung zweier Oclet-Mengen $O1 \cup O2$ genau dann, wenn *R* Modell von *O1* und von *O2* ist.

Analyse szenario-basierter Modelle

- Die zuvor genannten Resultate begründen einen Kalkül auf Oclets, der es erlaubt Oclets systematisch zu *komponieren*, zu *dekomponieren* und zu *verfeinern*. Zu jeder Operation können wir allgemein nachweisen, wie sich die Menge der konstruierbaren Abläufe bzw. Modelle verändert.
- Aus einer Menge von Oclets lassen sich im Allgemeinen unendlich viele (ggf. auch unendlich lange) Abläufe konstruieren. Eine Analyse des Systemverhaltens verlangt jedoch eine endliche Repräsentation aller Abläufe. Falls in den konstruierten Abläufen nur endlich viele verschiedene Systemzustände erreicht werden, kann eine endliche Repräsentation des *Zustandsraums* algorithmisch konstruiert werden, aus der sich alle Abläufe des Systems ableiten lassen. Die hierbei verwendete Technik sind die sogenannten *Unfoldings* aus der Petrinetz-Theorie. Die Berechnung des Zustandsraumes bildet die Basis für eine systematische *Verifikation* szenario-basierter Modelle, beispielsweise mit *Modelchecking*-Techniken.

Verhältnis von Oclets zu zustandsbasierten Modellen

- Da eine Menge von Oclets das Verhalten eines Systems in Form von Szenarien beschreibt, stellt sich die Frage, welches klassische zustandsbasierte Systemmodell genau dasselbe Verhalten erzeugt. Es kann zunächst gezeigt werden, dass Oclets echt ausdrucksstärker sind als klassische Petrinetze: Einerseits kann jedes Petrinetz N kanonisch in eine Menge von Oclets $O(N)$ übersetzt werden, die genau dasselbe Verhalten beschreiben. Andererseits kann durch Reduktion auf das Post'sche Korrespondenzproblem gezeigt werden, dass *Erreichbarkeit* eines bestimmten Zustandes für eine beliebige Menge von Oclets im Gegensatz zu Petrinetzen nicht entscheidbar ist. Oclets entsprechen vielmehr der Klasse *gelabelter Petrinetze*, in der z.B. zwei verschiedene Transitionen eines Netzes dasselbe Label tragen können.
- Gegeben eine Menge von Oclets O und ein gelabeltes Netz N können wir durch einen Vergleich der Strukturen von N und O entschieden werden, ob N und O die gleichen Mengen von Abläufen konstruieren.
- Daran anschließend stellt sich die Frage, ob sich aus jeder Menge von Oclets ein Netz mit demselben Verhalten konstruieren lässt. Für diese Frage haben wir für eine eingeschränkte Teilklasse von Oclets einen Algorithmus gefunden. Eine Verallgemeinerung auf beliebige Mengen von Oclets bzw. eine Klassifikation von Oclets, für die dies nicht möglich ist, ist ein noch offenes Ziel des Dissertationsprojektes.

Validierung des Modells und Bezug zu anderen Projekten des Kollegs

- Das entwickelte Oclet-Modell für Szenarien und die zuvor beschriebenen operationelle Semantik sind im Rahmen einer Diplomarbeit in einem graphischen Editor und Simulationswerkzeug prototypisch implementiert worden. Wir haben hierfür modellbasierte Entwicklungstechniken eingesetzt und auch auf in diesem Umfeld in METRIK gewonnene Ergebnisse zurückgegriffen.
- Zur Validierung der entwickelten Konzepte hinsichtlich ihrer Tauglichkeit in der Praxis führen wir eine Fallstudie mit der „Taskforce Erdbeben“ des GeoForschungsZentrums Potsdam durch. Wir haben ein Prozessmodell erstellt, das die Vorbereitung und die Durchführung eines Einsatzes der Taskforce in einem Erdbebengebiet nach einem schweren Erdbeben beschreibt. Das Prozessmodell ist in einer modellbasiert entwickelten domänen-spezifischen Modellierungssprache notiert. Die Arbeit gab Anstoß zur Entwicklung des Erdbeben-Informationssystem EQUATOR, das jetzt am GFZ eingesetzt wird; sie bildet darüber hinaus die Grundlage für weitere automatisierte Unterstützung der Prozesse der Taskforce, wie z.B. die automatische Generierung von Karten. Die Modellierung der Prozesse im Katastrophengebiet selbst verwendet szenario-basierte Konzepte, die wir mit Hilfe von Oclets formal ausdrücken können. In einer derzeit laufenden Diplomarbeit soll gezeigt werden, inwiefern die Prozessmodelle geeignet sind, die Planung eines Einsatzes durch Simulation und Verhaltensanalyse zu unterstützen.
- In einer gemeinsam mit Niels Lohmann durchgeführten Fallstudie konnten wir zeigen, dass industrielle Geschäftsprozessmodelle sich mit etablierten Verifikationstechniken innerhalb von wenigen Millisekunden auf fundamentale Korrektheitskriterien wie z.B. Deadlock-Freiheit prüfen lassen.
- Gemeinsam mit Bastian Quilitz, Timo Mika Gläßer und Stephan Weißleder haben wir gezeigt, dass sich mit modernen Techniken der Informationsintegration durch

Kombination von im Internet verfügbaren Sensordaten, z.B. den Erdbebendaten des GFZ, klassischen Nachrichtenartikeln, sog. *nutzergenerierten Inhalten*, wie beispielsweise Blog-Einträgen oder Fotos auf Fotoseiten wie Flickr, ein aktuelles Bild von der Lage in Katastrophengebieten automatisiert generieren lässt.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Organisation und Teilnahme am Gemeinsamen Workshop der Informatik-Graduiertenkollegs, Dagstuhl, Juni 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der BPM 2009 - 7th International Conference on Business Process Management, Ulm, September 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der PETRI NETS 2009 - 30th international conference on application and theory of petri nets and other models of concurrency, Paris, Juni 2009.

Teilnahme und Vortrag bei ZEUS 2009 - Erster zentral-europäischer Workshop über Services und ihre Komposition, Stuttgart, März 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

FALKO THEISSELMANN

(Betreuer: Prof. Dr. Doris Dransch, Prof. Dr. Joachim Fischer)

Modellbasierte Entwicklung von Zellulären Automaten in der Umweltmodellierung

Problemstellung

Simulationsmodelle dienen der Generierung, Darstellung, sowie der Kommunikation von Daten, Informationen und Wissen über Prozesse, die für das Katastrophenmanagement relevant sind. Deshalb sollten Simulationsmodelle und deren Beschreibung nachvollziehbar und wiederverwendbar sein. Dies ist häufig nicht der Fall. Eine Ursache hierfür ist in der Form der Modellbeschreibungen zu sehen. So sind Modellbeschreibungen oft schwer nachvollziehbar, weil diese, etwa im Falle natürlichsprachiger Beschreibungen, unvollständig und nicht eindeutig sind. Formale Beschreibungen, häufig in Form von Quelltext, sind vor allem für Domänenexperten oft schwer nachvollziehbar, insbesondere für Domänenexperten ohne besondere technische Ausbildung, denn die verwendeten Modellbeschreibungssprachen sind i.d.R. vielmehr für allgemeine Programmierung, als für die Beschreibung von Simulationsmodellen konzipiert. Die Probleme der Nachvollziehbarkeit und der Wiederverwendung stellen insbesondere für interdisziplinäre Modellierung ein Hindernis dar, wo verschiedene Teilmodelle ursprünglich mit Hilfe verschiedener Modellierungssprachen und Werkzeuge in unterschiedlichen Nutzungskontexten erstellt werden und zusammengeführt werden müssen.

Ansatz und Ergebnisse

In diesem Dissertationsprojekt wird der Einsatz modellgetriebener Entwicklung in der Umweltmodellierung am Beispiel Zellulärer Automaten im Hinblick auf Nachvollziehbarkeit und Wiederverwendbarkeit der Modellbeschreibungen untersucht. Zelluläre Automaten werden u.a. für die Modellierung von Umweltprozessen eingesetzt, die für Katastrophenmanagement relevant sind. Solche Prozesse sind zum Beispiel Feuer- ausbreitung, Seismizität und Evakuierungen. Im Gegensatz zu den weithin bekannten

einfachen Zellulären Automaten (ZA) sind die ZA in der Umweltmodellierung (ZAU) i.d.R. komplex, das heißt sie haben eine relativ hohe Anzahl möglicher Zustände, komplizierte Übergangsfunktionen und eine explizite geo-räumliche Referenz. Obwohl es eine große Anzahl von Werkzeugen für die Modellierung von ZA und ZAU gibt, existieren die oben genannten Probleme der Nachvollziehbarkeit und Wiederverwendbarkeit von Modellbeschreibungen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine domänenspezifische Modellbeschreibungssprache (DSL) für die Modellierung mit ZAU entwickelt. Die Sprache soll es Domänenexperten ermöglichen nachvollziehbare und wiederverwendbare Modellbeschreibungen zu erstellen. Außerdem soll die Sprache ausdrucksstark genug sein, um es den Modellierern zu ermöglichen, neue Ideen im Rahmen des Formalismus ZAU zu formulieren und zu testen. Im Kontext interdisziplinärer Modellierung ist es darüber hinaus wichtig sicherzustellen, dass diese DSL mit anderen DSLs gekoppelt werden kann.

Der untersuchte metamodellbasierte modellgetriebene Ansatz zur Realisierung von DSLs unterstützt technische Wiederverwendbarkeit von Modellbeschreibungen. Ein Metamodell definiert hierbei die abstrakte Syntax der DSL. Diese DSL kann dazu verwendet werden Modellbeschreibungen zu erstellen, die unabhängig von bestimmten Implementierungstechnologien sind. Technologiespezifischer Quelltext wird automatisch daraus erzeugt. Vorhandene metamodellbasierte Sprachentwicklungswerkzeuge ermöglichen eine effiziente automatisierte Erstellung der notwendigen Sprachwerkzeuge (z.B. Editoren, Modelltransformatoren und Codegeneratoren).

Um angemessene Sprachelemente für die ZAU-DSL auszuwählen und so Nachvollziehbarkeit zu unterstützen werden vorhandene Werkzeuge und veröffentlichte Modelle untersucht und geeignete Ausdrucksmittel hieraus extrahiert. Dieses Vorgehen soll einen engen Zusammenhang von Modellierungs- und Sprachkonzepten sicherstellen.

Objektorientierte Metamodellierung und die Formalisierung gemeinsamer Sprachkonzepte in einem Metamodell ermöglichen die syntaktische Kopplung verschiedener metamodellierter DSLs. In dem hier verfolgten Ansatz basiert die Semantik gekoppelter Modelle auf den Konzepten der weit verbreiteten ereignisgetriebenen Modellierung, gängigen primitiven Datentypen und etablierten Standards aus dem Bereich der Geodatenverarbeitung.

Im beschriebenen Dissertationsprojekt wurde eine DSL zur Beschreibung von Zellulären Automaten für die Umweltmodellierung entwickelt. Diese Sprache erlaubt es, komplexe ZAU mit relativ einfachen Mitteln zu beschreiben. Zusätzlich wurde eine einfache Sprache zur agentenbasierten Modellierung implementiert und exemplarisch mit der Sprache für ZAU gekoppelt.

Zielplattformunabhängige Modelle in diesen Sprachen werden mit Hilfe des implementierten Rahmenwerkes in zielplattformspezifische Modelle transformiert, die existierende Java-Bibliotheken mit Simulations- und Geodatenverarbeitungsfunktionalität verwenden. Diese Bibliotheken stehen exemplarisch für viele bereits verfügbare Technologien aus den Bereichen Modellierung und Simulation (jDisco), sowie der Geodatenverarbeitung (Geotools), die trotz der Unterschiede bezüglich der Implementierungssprachen, Modellierungsparadigmen und Leistungsmerkmale auf gleichen generischen Grundprinzipien und Konzepten beruhen.

Um die Anwendbarkeit der entwickelten Sprache zu zeigen, wurden einige repräsentative veröffentlichte ZAU-Modelle reimplementiert. Konzeptuell und technisch ist es möglich den Leistungsumfang der Sprache dahingehend zu vergrößern, dass kontinuierliche

Zustandsänderungen von Zellen, z.B. mit Hilfe von Differentialgleichungen, beschrieben werden können. Diese Erweiterung wurde bereits begonnen und wird im Rahmen dieser Dissertation weiterentwickelt.

Das beschriebene Dissertationsprojekt bietet zahlreiche Anknüpfungspunkte zu anderen Projekten des Graduiertenkollegs und kooperierender Projekte. Die Erstellung der Sprachwerkzeuge für die DSL erfolgte mit metamodellbasierten Sprachwerkzeugen, die zum Teil im Graduiertenkolleg entwickelt wurden (Textual Editing Framework von Markus Scheidgen). Weiterhin wurde die Kombination dieser Sprache mit dem Experiment Management System von Frank Kühnlenz konzipiert und bis dato teilweise realisiert (Kühnlenz et al. 2009).

Bezüge zu weiteren Projekten sind vorhanden, resultierten jedoch nicht direkt in konkreten Ergebnissen. Zu nennen sind hier zunächst die Projekte derjenigen Doktoranden, die im Themenbereich der modellbasierten Sprachentwicklung forschen. Weiterhin zu nennen sind die Arbeiten aus den mit METRIK kooperierenden Erdbebenfrühwarnprojekten SAFER und EDIM. Als Geograph bietet mir die Interdisziplinarität des Graduiertenkollegs mit dem ständigen Gedanken- und Ideenaustausch die Möglichkeit, die mir nahe liegenden Problemstellungen aus dem geowissenschaftlichen Bereich mit aktuellen Problemstellungen und Lösungsansätzen aus der Informatik, v.a. modellbasierte Sprachentwicklung und Modellierung & Simulation, zu kombinieren und meine Arbeit in der vorliegenden Form zu formulieren und zu bearbeiten.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der EnviroInfo 2009 - 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection, Berlin, September 2009.

Teilnahme an der IMACS-MODSIM - 18th World Congress on Modelling and Simulation, Cairns, Australien July 13-17, Juli 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

SEBASTIAN HEGLMEIER

(Betreuer: Prof. Dr. Jens-Peter Redlich, Prof. Dr. Alexander Reinefeld)

Utilizing Beamforming Antennas in Heterogeneous Wireless Mesh Networks

Problemstellung

In drahtlosen IEEE 802.11 Multi-hop Maschennetzwerken (WMN), wie z.B. Community- oder Sensor-Netzwerke, sind die einzelnen Knoten üblicherweise mit omnidirektionalen Antennen ausgestattet. Zwei Phänomene beschränken die Kapazität dieser WMNs. Zum einen müssen Knoten in vermaschten Netzwerken fremde Pakete weiterleiten und haben nur einen kleinen Teil der Zeit, um eigene Pakete ins Netz zu initiieren. Zum anderen konkurrieren beim üblichen 802.11 CSMA Medienzugriffsverfahren alle Knoten um das Medium - Interferenz und Vermeidungsstrategien vermindern die Kapazität zusätzlich. Aufgrund der bisherigen schnellen Verbreitung 802.11 kompatibler Hardware ist eine Verdichtung zukünftiger Netzwerke zu erwarten, Interferenz zwischen räumlich nahe zusammenliegenden Knoten wird dann verstärkt auftreten.

Eine Technologie, die die Kapazitätsbeschränkungen drahtloser Netzwerke in verstärktem Maße verbessern kann, sind Smart Antenna Systems (SASs). Anstatt nur einer, übertragen

und empfangen mehrere (n) meist kreisförmig angeordnete omnidirektionale Antennen eines Knotens ein Signal phasen- und amplitudenmoduliert. Aus der Überlagerung der Einzelsignale wird in einem Signalprozessor das tatsächliche Signal berechnet. Dieses komplexe Polynom n-ten Grades bestimmt das für solche Beamforming-Antennen-Systeme (BFAs) charakteristische Signalausbreitungsverhalten. Diese fokussieren die Signalenergie auf eine sektorähnliche Region relativ schmalen Winkels. Verglichen mit omnidirektionalen Antennen können sie somit das Medium räumlich besser ausnutzen, längere Reichweiten erzielen, aufgrund besserer Signalqualität höhere Datenraten erzielen oder Störsignale außerhalb der Hauptkeule effektiv dämpfen. In Theorie und Praxis wurde bereits gezeigt, dass Beamforming in Netzwerken, die ausschließlich aus SASs bestehen, in ausgewählten Szenarien den Durchsatz steigert (verglichen mit pur omnidirektionalen Netzwerken). Auch GSM-Anbieter verwenden in dicht besiedelten Zellen Sektorantennen, in 802.16 Systemen (WiMAX) ist Beamforming unter dem Namen Closed-Loop Mimo (TX-AA) bekannt.

In heutigen drahtlosen Maschennetzwerken verwendet ein Großteil der Knoten simple omnidirektionale Antennen. In solchen Netzwerken stellen Knoten mit speziellen Funktionen (Hotspots und sonstige Datensinken wie z.B. Internet Gateways) oder Positionen (Brücken, Artikulationspunkte) mit erhöhter Wahrscheinlichkeit Flaschenhalse bezüglich der Kommunikation dar. Die zunehmende Netzwerkdichte sowie günstige MIMO-Technologie werden dazu führen, dass sich Antennentechnologien in künftigen WMNs durchmischen werden. Im Folgenden werden diese als heterogene drahtlose Maschennetzwerke (HWMNs) bezeichnet. HWMNs sind erst seit Kurzem im Fokus der Wissenschaft, erste Versuche haben bereits große Performanzgewinne aufgezeigt. Es gibt jedoch kein Wissen über die Art und Weise, wie BFAs am effizientesten einsetzbar sind. Grundlegende Designentscheidungen wie Kanalzugriffsverfahren (TDMA, CSMA) oder die optimale Wahl von Anteil und Positionierung der BFAs sind ebenso unbekannt wie praktische obere Grenzen für Population und Ausdehnung der Netzwerke mit zugehöriger Netzwerklast.

Daraus ergibt sich die folgende Fragestellung: *„Wie müssen BFAs in WMNs eingesetzt werden, um ihr technisches Potential effizient in konkrete Performancegewinne umzusetzen (verglichen mit aus omnidirektionalen Antennen bestehenden Netzwerken)“*. Diese Frage will ich vorrangig für eine Netzwerkkategorie mit zwei zugehörigen praxisrelevanten Anwendungsszenarien beantworten. Dabei handelt es sich um ein Netzwerk, wie es für die Erdbebenfrühwarnung in Kooperation von METRIK mit den Projekten SAFER/ EDIM ausgearbeitet und praktisch bereits im Test ist: viele mit Beschleunigungssensoren ausgestattete Knoten sind in einer städtischen Umgebung verteilt, sie erkennen und melden Erdbeben kooperativ. Die erste Anwendung - die Erdbebenfrühwarnung - findet unter schwierigen Bedingungen statt: noch während der Alarmierungsphase selbst ist bereits mit Knotenausfällen und Netzwerkpartitionierung zu rechnen. Mehrere Faktoren spielen für den Einsatz des Systems eine wichtige Rolle: Verzögerung und Geschwindigkeit der Alarmanmeldungen, Zuverlässigkeit der Übertragungen, die Erreichbarkeit anderer Knoten im Netzwerk. Die zweite Anwendung bezieht sich auf Erdbebenfrühwarnnetzwerke im Friedensfall. Während der Zeit, in der keine Erdbeben stattfinden, könnte ein solches Netzwerk als Community Netzwerk verwendet werden, um z.B. verteilten Internetzugang zu realisieren. Innerhalb solcher Netzwerke kommen neben HTTP verstärkt auch VoIP oder FTP-Datenströme vor, jede Klasse stellt eine andere Herausforderung für den Einsatz von BFAs dar. Der Parameterraum, innerhalb dessen die Effizienz von BFAs untersucht werden soll, ist somit abgesteckt. Die Parameter selbst sind: der Anteil und die Positionierung der

Beamformingantennen, Netzwerkgröße und -topologie, eine Auswahl von MAC-Protokollen sowie Repräsentanten der Netzwerkverkehrsklassen TCP/IP, FTP und UDP.

Ansatz und Ergebnisse

Während eine Analyse Aufschluss über die Performancegewinne von BFAs für bestimmte Parameterkonstellationen gibt, werden gleichzeitig die Grenzen bestehender Ansätze offensichtlich werden. Es gilt anschließend zu untersuchen, inwieweit die bisherigen Ansätze bzgl. des Einsatzszenarios verbessert werden können - durch Ausnutzung noch nicht realisierter BF-Potentiale oder von Synergien zwischen der physikalischen-, MAC- und Routing-Schicht (Cross-Layer Strategie). Die Analyse wird simulativ mit einem Netzwerksimulator durchgeführt. Obwohl Netzwerksimulatoren die Realität nur statistisch modellieren und daher nicht 1:1 abzubilden vermögen, sind sie im Vergleich zu einem echten Testbett günstiger und weniger zeitaufwändig bei Bereitstellung und Durchführung der Experimente. In meinen Simulationen lege ich deswegen speziell Wert auf eine möglichst realitätsgetreue Simulation der Netzwerke, auf physikalischer Schicht vor allem bei Umgebungs- und Antennenmodellen, oberhalb davon bei Netzwerktopologien und schließlich typischem Benutzerverhalten.

Dieser Ansatz bietet eine solide Basis zum Vergleich aktueller Ansätze bei Routing- und MAC-Strategien. Bisherige Vorschläge in diese Richtung schöpfen die Vorteile von BFAs noch nicht aus und sind darüber hinaus allgemein gehalten und nicht auf spezielle Szenarien zugeschnitten. So haben bisher weder die potentiell längeren Reichweiten von SASs, die Dämpfung interferierender Signale noch eine Regelung der Sendeenergie Einzug in gegenwärtige Protokolle für HWMNs gefunden. Ziel beim Design eines für die oben vorgestellten Szenarien optimierten MAC- und Routingprotokolls ist zum einen die effiziente Ausnutzung eben dieser Potentiale, zum anderen Cross-Layer Kommunikation zwischen den verschiedenen Netzwerkschichten. Cross-Layer Strategien sind zwar aus Implementierungssicht komplex und weniger modular als die herkömmliche Trennung zwischen Protokollen für einzelne Schichten, man vermeidet allerdings Informationsverlust an deren Schnittstellen. Speziell bei der mit BFAs verbundenen Direktionalität der Verbindungen wird bessere Koordination entscheidenden Einfluss auf die Performanz des Netzwerks haben.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Poster am „Tag der Informatik“, Mai 2009.

Mit- Organisation des Gemeinsamen Workshop der Informatik-Graduiertenkollegs, Organisation, Dagstuhl, Juni 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

SIAMAK HASCHEMI

(Betreuer: Prof. Dr. Joachim Fischer, Prof. Dr. Jens-Peter Redlich)

Model-Based Testing of Dynamic Component Systems

Problemstellung

Moderne Softwaresysteme werden nicht monolithisch und isoliert erstellt. Stattdessen werden sie aus einer Sammlung von wieder verwendbaren Komponenten modular aufgebaut. Software-Systeme müssen im Laufe der Betriebszeit an neue Anforderungen angepasst bzw. fehlerhaftes Verhalten korrigiert werden. Dies erreicht man durch Austausch von einzelnen Komponenten. Dabei gibt es eine Familie von Systemen, die für den Austausch von Komponenten nicht gestoppt werden können. Dazu gehören sicherheits- und funktionskritische Systeme, deren Ausfall ein erhöhtes Risiko für Menschen oder enorme finanzielle Folgen hätte.

In diesen Systemen müssen Komponenten zur Laufzeit ausgetauscht werden, während andere Komponenten weiter ausgeführt werden. Diese Komponenten müssen daher darauf vorbereitet werden, dass Teile des Systems für eine unbestimmte Zeit unverfügbar sein werden. Die Eigenschaft einer Komponente, die dynamische Verfügbarkeit der von ihr benötigten Komponenten zu dulden, ist die zentrale Problemstellung meiner Dissertation.

In meiner Dissertation befasse ich mich mit dem modellbasierten Test von Komponenten in einem komponentenbasiertem Softwaresystem. Der Fokus liegt auf dem Testen der Komponenten in Hinblick auf die dynamische Verfügbarkeit der von ihr benötigten Komponenten. Das erwartete Verhalten der Komponenten wird in Form einer UML Zustandsmaschine zur Verfügung gestellt. Diese Zustandsmaschine wird anschließend genutzt um Testfälle zu generieren. Eine Komponente kann anschließend mit Hilfe dieser Test auf die erwartete Eigenschaft hin überprüft werden.

Aktueller Stand der Arbeit:

Die Literaturrecherche ist weitestgehend abgeschlossen. Erste fachliche Problemstellungen, die sich mit modellbasierten Sprachen allgemein beschäftigen, wurden veröffentlicht. Jedoch hat die Problemfindungsphase in meinem Fall lange gedauert (über ein Jahr). Dies hat sowohl mit dem querschnittlichen Thema „Testen“, als auch mit der schlecht überschaubaren Komponenten-Community zu tun gehabt. Die Problemstellung ist jedoch identifiziert und ich befinde mich zurzeit in der Kernphase, in der ich wesentliche fachliche Fragestellungen löse und veröffentliche.

Zusammenarbeit innerhalb des Kollegs

- Es fand eine Kooperation mit Herrn Daniel A. Sadilek zur Erstellung eines mathematischen Modells für dynamische Komponentensysteme und der damit verbundenen Veröffentlichung in Form eines Posters statt.
- Mit Herrn Arif Wider fand eine Kooperation im Bereich „Erweiterbare domänenspezifische Sprachen“ statt. Diese Arbeit wurde als Beitrag bei einer Konferenz veröffentlicht.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Organisation, Teilnahme und Vortrag beim Gemeinsamen Workshop der Informatik-Graduiertenkollegs, Dagstuhl, Juni 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der MoDeVVA 2009 - Model-Driven Engineering, Verification, and Validation, Denver, Colorado, USA, Oktober 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der SEAA 2009 - 35th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, Patras, Griechenland, August 2009.

Teilnahme und Vortrag bei FutureSOC 2009 - Symposium des HPI-Forschungskollegs „Future Trends in Service-Oriented Computing“, HPI Potsdam, Juni 2009.

Teilnahme und Poster bei der FSEN 2009 - 3rd International Conference on Fundamentals of Software Engineering, Kish Island, Iran, April 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

JAN CALTA

(Betreuer: Prof. Dr. Holger Schlingloff und Prof. Dr. Mirosław Malek)

Verification of Self-Organizing Networks

Problemstellung

Selbstorganisierende Systeme sind verteilte Systeme, die sich an verschiedene externe Veränderungen anpassen. Abhängig von den Einflüssen ihrer Umgebung verändern diese Systeme automatisch und dynamisch ihre Topologie, Konfiguration und Funktion. Kann für ein System garantiert werden, dass es selbstorganisierend ist, gewährleistet dies eine erhöhte Stabilität und eine minimale Koordination. Dies ist insbesondere erforderlich für Systeme, die für den Ablauf bestimmter Prozesse von entscheidender Bedeutung sind und während der gesamten Laufzeit bis zu einem gewissen Grad funktionsfähig bleiben müssen. In Anbetracht der Notwendigkeit solcher Systeme ist es erforderlich, formal zu verifizieren ob ein System die Eigenschaft hat, selbstorganisierend zu sein.

Der klassische Verifikationsansatz gängiger Modelchecking-Werkzeuge gestaltet sich problematisch, wenn man ihn auf selbstorganisierende Systeme anwendet. Meine Arbeit behandelt die folgenden Problemfälle:

- Da eine formale Definition von Selbstorganisation noch nicht präzise formuliert ist, habe ich eine Definition vorgeschlagen, die für die formale Verifikation nutzbar ist.
- Die Eigenschaft eines spezifischen Systems, sich selbst zu organisieren, ist komplex und mit verfügbaren formalen Sprachen schwer zu beschreiben: Temporale Logiken, die von gängigen Modelchecking-Werkzeugen unterstützt werden, sind für diesen Zweck nicht ausdrucksstark genug. Um die Selbstorganisation eines Systems adäquat als Eigenschaft beschreiben zu können, ist es notwendig, Semantiken für eine entsprechende Logik zu optimieren und Algorithmen bereitzustellen, die diese Sprache berechnen.

Ansatz und Ergebnisse

Bisher habe ich mich mit existierenden Fallstudien selbstorganisierender Systeme auseinander gesetzt wie z.B. Routing-Netzwerkprotokolle für Routing- und Desynchronisationsmechanismen und multirobot Systeme. Anhand dieser Fallstudien konnte ich eine geeignete formale Definitionen der zu untersuchenden selbstorganisierenden Eigenschaft vorgeschlagen. Des Weiteren habe ich ein Verfahren entwickelt, das die formale Analyse der selbstorganisierenden Eigenschaft eines Systems ermöglicht. Anhand dieses Verfahrens ist es nun nicht nur möglich zu verifizieren, ob die selbstorganisierende Eigenschaft in einem System gilt oder nicht. Vielmehr erlaubt dieses Verfahren die exakte Analyse der einzelnen Schritte, die ein System in der Phase der Selbstorganisation (bzw. der Regenerierung) vornimmt. Für eine solche Analyse muss das abstrakte Modell des zu untersuchenden Systems als Transitionssystem vorliegen. Ein Transitionssystem ist ein bekannter

Formalismus. Modelle von Systemen, die in gängigen Modellierungssprachen formuliert sind (wie z.B. Automaten, Petrinetze, etc.) können mit verfügbaren Werkzeugen in ein solches Transitionssystem überführt werden. Dieser Ansatz erlaubt eine verbreitete Anwendung und Akzeptanz des vorgeschlagenen Verfahrens.

Um ein Framework zu Verfügung zu stellen, das das genannte Verfahren realisiert, müssen folgende Punkte erfüllt sein:

- Um die jeweilige selbstorganisierende Eigenschaft eines spezifischen Systems geeignet formulieren zu können, muss eine entsprechende Logik bereitgestellt werden.
- Um die High-Level-Spezifikation eines Systems auf ein geeignetes abstraktes Modell abzubilden, müssen entsprechende Methoden zur Verfügung gestellt werden.
- Die vorgeschlagenen Algorithmen, die das Transitionssystem schließlich analysieren, müssen implementiert werden.

Das Ergebnis meiner Arbeit werden Methoden und Techniken sein, die eine effizientere Verifikation selbstorganisierender Systeme gewährleisten. Verglichen mit herkömmlichen Modelchecking-Ansätzen stellen diese Methoden eine gründlichere Analyse während der Entwicklungsphase zur Verfügung.

Bezug zu anderen Projekten des Kollegs

Mehrere Projekte des Graduiertenkollegs zielen darauf ab, Systeme mit selbstorganisierenden Eigenschaften zu entwickeln. Die folgenden Themen werden daher als potentielle Fallstudien betrachtet: „Replica Management for Self-Organizing Networks in the Context of Wireless Ad-Hoc Networks“ (Joanna Geibig), „Routing in wireless mesh-networks“ (Sebastian Heglmeier) und „Component Development and Deployment in Self-Organizing Networks“ (Siamak Haschemi).

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Poster beim „Tag der Informatik“, Mai 2009.

Forschungsaufenthalt an der University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, September 2009.

Teilnahme am Workshop EUMAS 2009, Ayia Napa, Zypern, Dez. 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der DASC 2009 – 8th International Conference on Dependable Autonomic and Secure Computing, Chengdu, China, Dez. 2009.

Teilnahme an der VSTA - Summer School, Nancy, Lyon, Oktober 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der VINO 2009 - Ahornach, Italy, Juli 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

JOANNA GEIBIG

(Betreuer: Prof. Dr. Alexander Reinefeld, Prof. Dr. Mirosław Malek)

Replica Management for Self-Organizing Networks in the Context of Wireless Ad-Hoc Networks

Problemstellung

Drahtlose Multihop- und Sensornetze (WMNs, WSNs), die zum Abfragen und Übertragen von Daten fähig sind, stellen eine nahe liegende Wahl zur IT Unterstützung für die Kommunikation im Katastrophenmanagement dar. Anwendungen wie zum Beispiel Erdbebenforschung (Sammlung von Erdbebendaten) oder Unterstützung bei schnellem Eingriff (eng. *Immediate Response*: Kommunikation zwischen Katastrophenopfern und Rettungsteams) verlangen, dass ausgewählte Daten in dem gewünschten Zeitraum verfügbar sind.

Es besteht jedoch die Gefahr, dass einzelne Knoten des Netzwerks ausfallen. Im Katastrophenfall ist es sogar sehr wahrscheinlich, dass ganze Gruppen nebeneinander liegender Knoten ausfallen (z.B. als Folge eines Brandes). Fällt ein Knoten aus, so sind die dort abgelegten Daten nicht mehr erreichbar. Weiterhin kann der Ausfall eines Knotens eine Netzwerkpartitionierung verursachen. Zwischen den Partitionen kann kein Datenaustausch erfolgen, was die Verfügbarkeit von Daten weiter mindert.

Die Replikation von Daten ist eine bewährte Lösung, die Verfügbarkeit von Daten in verteilten Systemen zu vergrößern. Existierende Lösungen wurden allerdings für drahtgebundene Netze wie das Internet entwickelt, in denen sowohl Zeit als auch Kosten für die Kommunikation für alle Knotenpaare nahezu identisch sind und deswegen in der Regel vernachlässigt werden können. Anders jedoch in drahtlosen Netzwerken: Kommunikationskosten (z.B. Energieverbrauch) und Zugriffszeit sind bedeutend und wachsen mindestens linear mit der Distanz zwischen kommunizierenden Knoten. Eine effektive Replikation in WMN muss Beschränkungen des Netzes wie Energie, Bandbreite und Speicher einbeziehen und muss diese schonen, um die Systemlaufzeit zu verlängern und eine akzeptable Performanz zu erreichen. Um die Kosten für ein WMN zu senken, muss die Menge der weiterleiteten Daten reduziert werden. Zum Beispiel, muss die Entscheidung über Zielknoten für eine Replikation ohne vollständiges Wissen über die Netztopologie gefällt werden.

Welche Datenverfügbarkeit ist in solchen unzuverlässigen und beschränkten Netzen überhaupt zu erreichen? Wie viele Daten könnten zuverlässig gespeichert werden? Wie funktioniert eine geeignete Replikation die Datenverfügbarkeit garantieren kann? Diese wissenschaftlichen Herausforderungen motivieren meine Dissertation, in der ich mich mit der Modellierung und der Analyse der Replikation von unveränderlichen Daten (eng. *write-once*) in unzuverlässigen und eingeschränkten Netzen beschäftige. Weiterhin, werden die Resultate meiner Arbeit auch zur Replikation von Services benutzt werden können.

Die Schlüsselfaktoren zur Replikation von Daten in dem betrachteten Szenario sind Methoden für das effiziente Verteilen und die effiziente Suche nach Replikaten. Diese Aktionen können viel Kommunikation verursachen und Kommunikation greift die limitierten Ressourcen des Netzes an. Anzahl von Kopien (Replikationsfaktor) und ihre Positionierung im Netz würden in Zusammenhang mit entsprechende Replikation und Suche Mechanismen bestimmt. Optimale Replikationsfaktoren und Positionierung von Replika sollen das beste Verhältnis von Datenverfügbarkeit nach Knotenausfall zu Kosten der Verteilung und der Suche erreichen. Ein neues, nicht in existierenden Arbeiten über Replikation betrachtetes Szenario stellt die Gefahr massiver, räumlich korrelierter Knotenausfälle dar. Hierbei ist die Charakteristik von Knotenausfall zu betrachten: zum Beispiel kann die maximale Größe des Brands auf Modellen für Feuerausbreitung und der erforderlichen Verfügbarkeitszeit der Daten basieren. Diese Größe bestimmt weiterhin die

minimale notwendige Distanz zwischen zwei Replikas bei der garantiert ist, dass beide Replikas nicht gleichzeitig wegen eines Brandes ausfallen.

Ansatz und Ergebnisse

Wichtige Herausforderungen in meiner Arbeit sind die Robustheit und Skalierbarkeit der Lösung. Replikation soll die Datenverfügbarkeit für verschiedene Netzkonfigurationen und Größen garantieren, auch wenn diese sich zur Systemlaufzeit ändern. Es fördert somit die Anpassung des Systems an neue Umgebungsbedingungen. Diese Anpassung erfolgt ohne externe, menschliche Unterstützung und kann somit als Selbstorganisation und Skalierbarkeit des Replikationsystems verstanden werden. Die beschränkten Ressourcen der drahtlosen Netze sollen dabei nicht ausgeschöpft werden. Eine Lösung sollte zum Beispiel mit limitiertem Wissen über die Topologie des Netzes umgehen können. Dadurch wird der Speicher- und Kommunikationsaufwand limitiert, was zur besseren Performanz und zu einer längeren Lebenszeit des Systems führt.

Peer-to-peer (P2P) Netze scheinen interessant als potenzielle Lösung des vorgestellten Problems. Sie bieten Skalierbarkeit und Selbstorganisation. Darüber hinaus implementieren P2Ps Replikation von Daten.

Jeder Knoten im P2P System spielt die Rolle eines Servers und eines Clients. Es genügt, dass ein Knoten nur einen anderen Knoten im Netz kennt, um seine Position in der logischen Topologie des P2P-Netzes zu finden und die Daten im System zu speichern und abzufragen. Im unstrukturierten P2P-System (z.B. Gnutella) kennt jeder Knoten zufällig ein paar andere Knoten aus dem Netzwerk. Die Suche nach Daten im unstrukturierten Overlay verursacht leider viel Kommunikation und ist nicht immer erfolgreich. Im strukturierten P2P-System (z.B. CHORD) ist der Erfolg der Suche nach Daten garantiert. Die Speicherkosten und der Kommunikationsaufwand sind dabei limitiert. Jeder Knoten kennt nur eine logarithmische Anzahl von Knoten im System, wobei diese bekannten Knoten (Nachbarn) nicht zufällig sind. Die gleiche logarithmische Grenze gilt für Kommunikationskosten für das Einfügen und die Suche nach Daten. Jede Suche im SON verursacht Kosten von $O(\log n)$ *overlay hops*, wobei n die Anzahl der Knoten ist. Ein *overlay hop* entspricht einer logischen Verbindung im P2P-Netz und gleichzeitig einem Pfad der Knotenverbindungen im darunterliegenden Netz. Die physikalische Distanz zwischen den Nachbarn im P2P-System implementiert im drahtlosen Netz kann jedoch sehr groß sein, was zu einer uneffektiven Benutzung der Ressourcen führt. Es gibt Lösungen um Distanz zwischen die Nachbarn zu verkleinern, aber keine um die konkrete physikalische Distanz zwischen beliebigen Knoten im SON zu garantieren.

Bisher habe ich:

- die Problemstellung formuliert,
- ein formales Modell des Systems hergestellt, das die Analyse mit Berücksichtigung der Beschränkungen des Netzes und räumlich korrelierter Knotenausfälle ermöglicht, sowie
- die Verwendbarkeit von Replikation in SONs wie CHORD oder Pastry analysiert. Die durchgeführte Analyse bezieht sich auf alle bekannten Replikationsformen in SONs. Leider kann durch diese Lösung Datenverfügbarkeit nicht garantiert werden, wenn eine große Gruppe von nahe beieinander liegenden Knoten ausfällt. In dem Fall eines solchen Ausfalles bieten SONs gar keine Überlebensgarantie für Daten (eng. *data survivability*).

Da die existierenden Replikationsmechanismen nicht befriedigend sind, habe ich einen verteilten Algorithmus vorgeschlagen, der effektive (hohe Datenverfügbarkeit) und effiziente (niedrigen Kosten) Datenreplikation und -suche implementiert. In diesem Algorithmus:

- hängt die Positionierung der Replikas von der vermuteten Katastrophengröße und Netzwerktopologie ab,
- sind die Positionen der Replikas beliebiger ortsbezogener Daten für jeden Knoten im Netz einfach zu bestimmen,
- sind die maximalen Kosten für die Suche nach Replikas begrenzt.

Als Kosten könnte der Energieverbrauch verstanden werden, oder auch die Anzahl des hops zwischen Client und dem gefundenen Replika. Der Algorithmus berücksichtigt die Position der Knoten im Netz so weit, dass er z.B. aufgrund der limitierten lokalen Energieressourcen Artikulationspunkte schont oder Replikas dieselben Daten auf verschiedene potenzielle Netzwerkpartitionen verteilt. Besonders eignet sich der Algorithmus für realistische drahtlose Netzwerktopologien, wo eine Netzpartitionierung sehr wahrscheinlich ist. Solche realistischen Topologien werden seit Kurzem am Lehrstuhl meiner Betreuer erforscht. Als Forschungsobjekt dienten echte, benutzerinitiierte, drahtlose Netzwerke mit hunderten von Knoten. Durch Optimierung meines Algorithmus auf solche Netze werden die Resultate meiner Arbeit für reale Einsätze (z.B. im Katastrophenmanagement) in denen das Netz durch die Benutzer ausgebaut ist, besser einsetzbar.

Als nächstes werde ich diesen Algorithmus für verschiedene Netzwerktopologien und Knotenausfälle simulieren. Zuerst wird eine festgelegte Menge von Daten repliziert und die Kosten für Verteilung und Suche wird analysiert. Danach werden die Knotenausfälle simuliert und die erreichte Datenverfügbarkeit wird überprüft. Weiterführende Arbeiten werden sich auf die Optimierung des Algorithmus für dynamisch entstehende Daten und die Erhöhung der Adaptivität des Algorithmus für unerwartete Änderungen beziehen.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Poster beim „Tag der Informatik“, Mai 2009.

Mit-Organisation des Gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs, Dagstuhl, Juni 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der MESH 2009 - 2nd International Conference on Advances in Mesh Networks, Athen, Griechenland Juni 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

JARUNGJIT PARNJAI

(Betreuer: Prof. Dr. Wolfgang Reisig)

Analyse der verhaltensbasierten Austauschbarkeit von Diensten

Problemstellung

In meiner Doktorarbeit entwickle ich formale Verfahren zur Modellierung und Analyse verhaltensbasierter Austauschbarkeit von Diensten in dezentralisierten Informationssystemen. Das Hauptziel sind systematische Verfahren die Dienstesdesigner, z.B. Experten in

einem anwendungsbezogenen Arbeitsgebiet, benötigen um rasch und effektiv gut geeignete Aktualisierungen eines Dienstes in der Entwurfsphase zu erstellen.

Wir betrachten ein selbstorganisierendes dezentrales Informationssystem, z.B. ein Katastrophenmanagementsystem, bei dem jede Einheit des Systems Änderungen aufgrund von unvorhergesehenen Ereignissen oder zusätzlichen Anforderungen unterlegen ist. Es ist in diesem Zusammenhang wichtig, dass eine Anpassung jeder einzelnen Einheit sowohl die Interaktion mit jeder anderen Einheit des Systems nicht unterbrechen darf als auch keine globalen Auswirkungen auf das gesamte System haben darf.

Das Paradigma der Service-Orientierung unterstützt die Entwicklung anpassungsfähiger dezentralisierter Informationssysteme. Daher modellieren wir in unserem Kontext ein dezentralisiertes Informationssystem als eine Komposition von mehreren Diensten, wobei jeder Dienst eine individuelle Einheit im sich selbst organisierenden System repräsentiert.

Um rasch auf sich ändernde Entwicklungen zu reagieren leitet der Dienstdesigner eine neue Version eines Dienstes ab und ersetzt daraufhin den Originaldienst mit der neuen Version. Um den Austausch eines Dienstes durchzuführen benötigt der Dienstdesigner ein systematisches Verfahren welches sicherstellt dass eine Aktualisierung eines Dienstes „well-designed“ ist, d.h., das es keinen nachteiligen Effekt wie z.B. eine Verklemmung in der Interaktion mit anderen Diensten einführt. Die wesentlichen Fragestellungen mit denen ein Dienstdesigner konfrontiert ist sind daher:

1. Wie „entscheidet“ man ob eine Aktualisierung eines Dienstes „well-designed“ ist?
2. Wie „korrigiert“ man eine „ill-designed“ Aktualisierung eines Dienstes mit optimalen Kosten?
3. Wie „erstellt“ man eine „well-designed“ Aktualisierung eines Dienstes welches eine vorgegebene Menge an Anforderungen erfüllt?

Gleichwohl kann die Eigenschaft einer „well-designed“ Aktualisierung aus verschiedenen Sichtweisen auf Austauschbarkeit betrachtet werden. In dieser Arbeit betrachte ich den wichtigen Aspekt der verhaltensbasierten Austauschbarkeit von Diensten. Dieser Aspekt fokussiert die Einhaltung der Kompatibilität der Kontrollflüsse und der Reihenfolge des Nachrichtenaustauschs zwischen Diensten. Ein fundamentales Korrektheitskriterium in diesem Zusammenhang ist die Abwesenheit von Verklemmungen welche garantiert, dass kein Dienst unendlich lange warten darf um von einem anderen Dienst eine Nachricht zu erhalten.

Alle Dienste die an einer verklemmungsfreien Komposition teilnehmen werden als „Partner“ bezeichnet. Für einen Dienst S in einer solchen Komposition wird die Menge aller anderen Dienste in dieser Komposition mit $\text{Partners}(S)$ bezeichnet. $\text{Partners}(S)$ hat möglicherweise eine unendliche Kardinalität, hauptsächlich weil ein Dienst unendlich viele interne und nicht-deterministische Verhalten beinhalten kann.

Dementsprechend ist eine Aktualisierung eines Dienstes genau dann „well-designed“, wenn es mit allen Partnern des Originaldienstes verklemmungsfrei interagieren kann. Wir definieren zwei verschiedene Notationen, wobei aber beide den verhaltensbasierten Aspekt einer „well-designed“ Aktualisierung erhalten:

1. „Verhaltensbasierte Äquivalenz“ – zwei Dienste S und S' haben exakt die gleiche Menge von Partnern, d.h. eine äquivalente Aktualisierung hat „exakt“ die gleiche Menge von Partnern von S .

2. „Verhaltensbasierte Übereinstimmung“ – jeder Partner von S ist auch ein Partner von S' , d.h. eine übereinstimmende Aktualisierung hat „mindestens“ die gleiche Menge von Partnern von S .

Eine „well-designed“ Aktualisierung ist eine Aktualisierung die eine dieser Notationen erfüllt, andernfalls heißt die Aktualisierung „ill-designed“.

Ansatz und Ergebnisse

Meine Arbeit befasst sich mit mindestens zwei wesentlichen Herausforderungen. Zunächst die Entscheidung ob eine Aktualisierung „well-designed“ ist. Dazu müssen zwei (möglicherweise unendliche) Mengen von Partner – die des Dienstes und von dessen Aktualisierung – verglichen werden. Weiterhin die Korrektur einer „ill-designed“ Aktualisierung und die Synthetisierung einer „well-designed“ Aktualisierung. Dies erfordert die Charakterisierung der (möglicherweise unendlichen) Menge „aller“ „well-designed“ Aktualisierungen eines gegebenen Dienstes.

Die Charakterisierung der Menge der Partner eines Dienstes wurde in der Doktorarbeit von Peter Massuthe (METRIK-assoziiert) entwickelt. In Bezug auf verhaltensbasierte Übereinstimmung habe ich mit meinen Kollegen Christian Stahl (METRIK-assoziiert) und Karsten Wolf eine auf der Arbeit von Peter Massuthe basierende endliche Darstellung aller „well-designed“ Aktualisierungen eines gegebenen Dienstes, einen Entscheidungs- und einen Korrekturalgorithmus entwickelt. Ein Synthetisierungsalgorithmus befindet sich zurzeit in Entwicklung.

In Bezug auf verhaltensbasierte Äquivalenz soll eine endliche Darstellung aller „well-designed“ Aktualisierungen sowie Entscheidungs-, Korrektur- und Synthetisierungsalgorithmen entwickelt werden. Allerdings haben mehrere Beispiele gezeigt dass die Charakterisierung aller äquivalenten Aktualisierungen eine große Herausforderung darstellt, da Standard-Begriffe für Äquivalenz wie z.B. „trace equivalence“ und „bisimulation“ zu restriktiv sind und daher nicht mit unserem Begriff der verhaltensbasierten Äquivalenz übereinstimmen.

Im Anschluss möchte ich die entwickelten Verfahren an praxisrelevanten Problemen u.a. im Katastrophenmanagement anwenden.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 3. B.E.S.T Colloquium, Eindhoven, Niederlande, März 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Kurzvortrag und Poster am „Tag der Informatik“, Mai 2009.

Teilnahme und Vortrag beim Gemeinsamen Workshop der Informatik-Graduiertenkollegs, Dagstuhl, Juni 2009.

Teilnahme und Vortrag bei ZEUS 2009 - Erster zentral-europäischer Workshop über Services und ihre Komposition, Stuttgart, März 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

ANDREAS REIMER

(Betreuer: Prof. Dr. Doris Dransch; Prof. Dr. Joachim Fischer)

Visuelle Informationsaggregation: Analyse, Modellierung und automatische Konstruktion von chorematischen Darstellungen.**Problemstellung**

Kartographische Darstellungen und Geovisualisierungslösungen werden in allen Phasen des Katastrophenmanagements benötigt und eingesetzt. Ein wiederkehrendes Problem ist das Auftreten von in Raumbezug, Inhalt, Auflösung und Zuverlässigkeit heterogenen Geodaten, die dennoch schnell visuell & konzeptionell zueinander in Beziehung gesetzt werden müssen. Als eine für diese Probleme angemessene Visualisierungsmethode werden chorematische Darstellungen angesehen.

Choreme sind Werkzeuge zur strukturellen und ikonischen Abbildung komplexer räumlicher Sachverhalte durch Begriffe und Graphik, die vom konkreten Zeichenmuster in der Karte weitgehend abstrahieren. Graphische Darstellungen, die diese auf den Arbeiten des französischen Geographen und Kartographen R. Brunet basierenden Werkzeuge nutzen, sind chorematische Darstellungen. Diese wurden bislang manuell hergestellt. Um sie in zeitkritischen Situationen und in explorativen Interaktionen mit großen Datenmengen anwenden zu können, muss ihre Erstellung beschleunigt, im besten Falle automatisiert werden. Diese Automatisierung ist das Ziel des Dissertationsprojektes.

Die existierenden Konstruktionsleitlinien für chorematische Darstellungen sind bisher nicht formalisiert. Somit sind sie unzureichend für eine automatisierte Erstellung aus Geodatenbeständen. Durch eine eingehende Analyse existierender chorematischer Darstellungen, sollen die Gestaltungs- und Konstruktionsregeln abgeleitet werden. Dazu wird eine Methodik entwickelt, die die rechnergestützte, quantitative Analyse einer Vielzahl an Graphiken ermöglicht. Diese Methodik baut auf einzelne Methoden der Kartographie, Geoinformatik und Geovisualisierung auf.

Aus den Ergebnissen der Analyse werden Konstruktionsregeln für Chorematische Darstellungen entwickelt und anhand von Fallbeispiele aus dem Katastrophenmanagement überprüft. Ziel ist, chorematische Darstellungen aus heterogenen Geodaten automatisch zu generieren, die den Informationsbedürfnissen der Nutzer im Katastrophenmanagement entsprechen. Die Informationsbedürfnisse werden exemplarisch aus dem Workflow der Task-Force-Erdbeben (Fahland/Woith 2008) und den METRIK-nahen Projekten SAFER und EDIM abgeleitet.

Für die Beschreibung der chorematischen Darstellungen soll mit Hilfe der in METRIK entwickelten Werkzeuge eine DSL entwickelt werden. Noch ist zu untersuchen, ob die DSL bereits für die Analyse und Formulierung von Konstruktionsregeln oder erst für die eigentliche Konstruktion eingesetzt werden soll.

Als Teilergebnisse der bisherigen Arbeit wurden erste Analysen von existierenden Choremen durchgeführt auf deren Basis eine Taxonomie von Choremen entwickelt wurde. Im nächsten Schritt sollen Konstruktionsregeln definiert werden.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Poster beim „Tag der Informatik“, Mai 2009.

Teilnahme und Vortrag beim Gemeinsamen Workshop der Informatik-Graduiertenkollegs, Dagstuhl, Juni 2009.

Teilnahme und Vortrag beim Workshop GeoViz & The Digital City 2009, Hamburg, März 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

CHRISTOPH WAGNER

(Betreuer: Prof. Dr. Wolfgang Reisig)

Verifikation datenverarbeitender Services

Problemstellung

Service Oriented Computing (SOA) ist ein Paradigma zum Aufbau verteilter Systeme. Ein solches verteiltes System setzt sich aus zwei oder mehreren miteinander kommunizierenden Services zusammen. Diese sind lose miteinander gekoppelt, das heißt, sie können leicht ausgetauscht oder neu zusammengestellt werden. Die Services werden in der Regel von unterschiedlichen Anbietern bereitgestellt.

Jeder Partei, die einen an einem System beteiligten Service bereitstellt, ist in der Regel nur der innere Aufbau des eigenen Service bekannt, nicht aber der innere Aufbau der anderen Services. Die konkrete Implementation eines Service wird im Allgemeinen vom Anbieter aus nachvollziehbaren Gründen nicht veröffentlicht. Zum einen ist die hinter einem Service stehende Ausführungslogik stark mit den internen Geschäftsabläufen des Anbieters verwoben, welche z. B. vor Mitbewerbern geheim gehalten werden sollen. Zum anderen unterliegt die Implementation eines Service häufigen Änderungen, meist im Rahmen eines kontinuierlichen Entwicklungsprozesses. Die lose Koppelung der Services erlaubt, den Service jederzeit durch eine aktualisierte Version auszutauschen. Die anderen Serviceanbieter und -nutzer erlangen dabei keine Kenntnis vom veränderten Verhalten des Service. Ungeachtet dieser Unkenntnis muss gewährleistet sein, dass die am System beteiligten Services reibungslos miteinander zusammenarbeiten.

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer sogenannten Bedienungsanleitung für Services. Eine Bedienungsanleitung ist eine Beschreibung des zulässigen Verhaltens für mögliche Nutzer eines Service. Ein Nutzer eines Service ist selbst wieder ein Service. Verhält sich der Nutzer eines Service konform zu dessen Bedienungsanleitung, ist damit sichergestellt, dass die Services korrekt miteinander zusammenarbeiten.

Dem Entwickler eines Service wird damit ein Hilfsmittel gegeben, welches ihm nicht nur erlaubt, effizient zu entscheiden, ob sein Service mit einem gegebenen anderen Service zusammen genutzt werden kann. Der Entwickler kann außerdem seinen Service gezielt so entwerfen, dass dieser mit einem bestimmten Service oder auch einer Menge alternativer Services, deren Bedienungsanleitungen ihm bekannt sind, zusammenarbeiten kann.

Ansatz und Ergebnisse

Im Mittelpunkt der Arbeit stehen die Repräsentation von Daten in der Bedienungsanleitung und der Einfluss von Daten auf das Verhalten des Service. Jeder Service verarbeitet in unterschiedlichem Umfang Werte von Daten. Je nach Art und Aufgabe des Service haben diese Datenwerte einen großen oder geringen Einfluss auf das Verhalten des Service und seine Kommunikation mit anderen Services. Die Aufgabe einiger einfacher Services

geringer Komplexität besteht etwa lediglich darin, eingehende Nachrichten weiterzuleiten. Ein solcher Service reagiert auf den Erhalt einer Nachricht z.B. stets mit dem Senden einer Empfangsbestätigung. Der tatsächliche Inhalt der empfangenen Nachricht wird vom Service dabei nicht betrachtet und hat keinen Einfluss auf die weitere Behandlung der Nachricht durch den Service. Die Bedienungsanleitung kann in diesem Falle einfach gehalten und Datenbehandlungsaspekte weitgehend ausgeklammert werden. Ausdrücklich in der Bedienungsanleitung spezifiziert werden muss nur das Verhalten für den Fall, das falsche oder gar keine Nachrichten an den Service gesendet werden.

In komplexeren Services hat der konkrete Wert eines in einer Nachricht enthaltenen Datums in der Regel einen maßgeblichen Einfluss auf das Verhalten des Service. Betrachten wir zum Beispiel einen Service, dessen Aufgabe darin besteht, nach dem unmittelbaren Eintreten eines Katastrophenfalles (etwa ein Erdbeben oder eine Überschwemmung) Anfragen aus der betroffenen Region nach dringend benötigten Gütern entgegen zu nehmen und deren Transport ins Krisengebiet und deren Verteilung zu veranlassen. Der Datenwert einer Anfrage ist hier z.B. die Art des angefragten Gutes. Hierbei kann es sich etwa um Sandsäcke, Decken, Zelte oder sonstige technische Ausrüstung handeln. Jedes Gut ist nur in begrenzter Zahl vorrätig. Der Service kann also nicht unabhängig von der Art des angefragten Gutes dessen Transport in das Krisengebiet veranlassen, sondern muss gegebenenfalls nicht vorrätige Güter seinerseits bei anderen staatlichen und nichtstaatlichen Stellen anfordern. Die Art der Kontaktaufnahme und Zusammenarbeit mit den beteiligten Partnern kann im Einzelfall sehr unterschiedlich sein und ein differenziertes Verhalten des Service gegenüber jedem Partner notwendig machen.

Alle diese Abhängigkeiten des Verhaltens des Service von den verschiedenen Datenwerten müssen in seiner Bedienungsanleitung berücksichtigt werden. Es ist klar, dass die Bedienungsanleitung umfangreicher wird, je mehr Fälle und Datenwerte unterschieden werden müssen. Da die Größe der Darstellung in der Bedienungsanleitung einen maßgeblichen Einfluss auf die Effizienz der auf der Bedienungsanleitung aufbauenden Algorithmen hat, ist es notwendig, eine möglichst kompakte Datenstruktur zur Darstellung der Datenabhängigkeiten in der Bedienungsanleitung zu verwenden. Die Entwicklung einer solchen Datenstruktur ist Gegenstand dieser Arbeit.

Formal werden Services als offene Netze, das heißt Petrinetze mit speziell ausgezeichneten Eingabe- und Ausgabepätzen beschrieben. Die Verwendung eines High-Level Petrinetz-kalküls erlaubt die Darstellung von Datenwerten beispielsweise in der Form farbiger Token. Die Bedienungsanleitung eines Service ist formal eine endliche Charakterisierung der Menge all jener Services, die mit dem Service so kommunizieren, dass eine bestimmte Eigenschaft gewährleistet oder ein Ziel erreicht wird (zum Beispiel deadlock-Freiheit oder das Erreichen eines ausgezeichneten Endzustandes). Diese Charakterisierung kann in Form eines Automaten repräsentiert werden. Dieser Automat wird jedoch insbesondere bei jenen Services sehr groß, die eine große Menge an möglichen Datenwerten unterscheiden müssen. Da viele Datenwerte jedoch ähnlich behandelt werden und teilweise nur punktuellen Einfluss auf das Verhalten des Service haben, existieren große Redundanzen in der Darstellung der Charakterisierung. Durch Trennung von Kontrollfluss und Daten soll eine bessere Darstellung der Charakterisierung gefunden werden. Einen Ansatzpunkt hierfür bildet etwa das Ausnutzen von Symmetrien in der Automatenstruktur, die aus einer ähnlichen Verarbeitung der Datenwerte resultieren.

An die konzeptionelle Ausarbeitung und Definition der Bedienungsanleitung für datenverarbeitende Services schließt sich die Entwicklung von auf ihr aufbauenden Algorithmen

an. Dies schließt primär ein effizientes Verfahren ein, um die Deadlockfreiheit zweier kommunizierender Services zu entscheiden. Weiterhin sollen mit Hilfe der Bedienungsanleitung Probleme wie die Austauschbarkeit, Synthese oder Korrektur von Services lösbar sein.

Hierbei kann auf Vorarbeiten des Lehrstuhls Theorie der Programmierung, insbesondere des METRIK-Assoziierten Peter Massuthe zurückgegriffen werden. Ebenso starke Verbindungen bestehen zu der Arbeit „Austauschbarkeit von Services“ von Jarungjit Parnjai, welcher dieselben formalen Grundlagen zugrunde liegen.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Kurzvortrag und Poster beim „Tag der Informatik“, Mai 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

ANDREAS DITTRICH

(Betreuer: Prof. Dr. Miroslaw Malek, Prof. Dr. Alexander Reinefeld)

Self-Aware Adaptive Service Networks with Dependability Guarantees

Motivation

In bewohnten Gebieten auftretende Katastrophen bergen ein großes Risiko für die dort lebenden Menschen und sind eine Gefahr für die Entwicklung und das Wachstum unserer modernen Gesellschaft. Die Auswirkung jeglicher Katastrophen – ob natürlichen oder terroristischen Ursprungs – wären schwerwiegend. Tritt ein Katastrophenfall ein, ist es wichtig, schnell und sicher Hilfsmaßnahmen einzuleiten und durchführen zu können. Dabei kommt Informations- und Kommunikationstechnologie zum Einsatz, die die Aufklärungsteams und Hilfsmannschaften entscheidend bei ihrer Arbeit in Katastrophengebieten unterstützt.

Heutzutage bringen die meisten Hilfsmannschaften eine eigene Netzwerkausstattung mit, um verschiedene IT-Dienste wie zum Beispiel zur Navigation oder Kommunikation zu nutzen. Obwohl viele dieser Dienste von mehreren Teams gemeinsam genutzt werden könnten, ist dies in der Realität meist nicht der Fall. Die Zuordnung der Teams in unterschiedliche administrative Domains macht eine Kooperation schwierig, die Koordination der Teams ist in Teilen nicht IT-gestützt. Ein einziges Netzwerk, in dem alle teilnehmenden Mannschaften gemeinsam Dienste veröffentlichen, finden und nutzen zu können, wäre von großem Vorteil.

Auch wenn die teilnehmenden Teams und der Ablauf der Arbeiten in jedem Katastrophengebiet unterschiedlich sind und somit auch die Ausprägungen der jeweiligen Dienstnetzwerke, lassen sich folgende Gemeinsamkeiten feststellen:

- Sie entstehen spontan.
- Es existiert keine globale, administrative Konfiguration.
- Die Anzahl der Knoten und ihre Fähigkeiten fluktuieren stark.
- Die Anzahl und Art der bereitgestellten Dienste variieren ebenfalls stark.

Aufgrund dieser Eigenschaften müssten für eine sinnvolle Nutzung alle Ebenen des Netzwerks automatisch konfiguriert werden. Der einzig etablierte Standard sind Netzwerke

auf Basis des *Internet Protokolls* (IP). Aufbauend auf IP gibt es einige Technologien, die eine automatische Konfiguration von Dienstnetzwerken versprechen. Ein prominentes Beispiel stellt die *Zeroconf*-Protokollfamilie dar, welche insbesondere im Bereich der Heimautomation erfolgreich ist. Auch in Katastrophenszenarien könnte die Einsatzleitung von Zeroconf profitieren, dessen Technologien ihr eine jederzeit aktuelle Ansicht aller aktiven Dienste und ihrer Zustände bieten könnten. Dafür muss aber die korrekte Funktion verschiedener Dienste, die kritisch für den Erfolg der Mission sind, gewährleistet sein. Hier muss untersucht werden, ob und wie Zeroconfs Technologien anwendbar sind.

Problemstellung

Gegeben sei eines der beschriebenen, spontan entstehenden und automatisch konfigurierten Netzwerken. Wie und in welchem Maße können wir Verlässlichkeitseigenschaften kritischer Dienste *zur Laufzeit* garantieren? Die Eigenschaften umfassen die *Verfügbarkeit* (*Availability*), die Fähigkeit, bei auftretenden Fehlern Leistung entsprechend der Erwartungen des Nutzers zu erbringen (*Leistungsbereitschaft* oder *Performability*), sowie die Fähigkeit, bei Annahme eines bestimmten Ausfallmodells Grade der Verfügbarkeit oder Leistungsbereitschaft aufrechtzuerhalten (*Überlebensfähigkeit* oder *Survivability*).

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, eine umfassende Untersuchung der Verlässlichkeit solcher heterogenen und dynamischen Dienstnetzwerke durchzuführen. Vergleichbares existiert zurzeit noch nicht.

Ansatz

Der Ansatz dieser Dissertation ist es, einen Zyklus ins Netzwerk zu integrieren, welcher die Verlässlichkeitseigenschaften zur Laufzeit überprüft und Garantien bezüglich ihrer Werte angeben kann. Innerhalb dieses Zyklus wird das Netzwerk zur Laufzeit permanent *überwacht* und es werden, basierend auf den Daten der Überwachung, die Verlässlichkeitseigenschaften *ausgewertet*. Wenn nötig werden *adaptive* Maßnahmen zur Verbesserung der Eigenschaften angestoßen. Dieser Zyklus ist die Basis eines *selbstgewahren* (*self-aware*), *adaptiven Dienstnetzwerks*.

Aus Sicht des Netzwerkes bietet die Ebene, auf der verteilt Dienste veröffentlicht und gefunden werden können (*Service Discovery*), eine netzwerkweite Dienstregistrierung, welche benutzt werden kann, um die Präsenz oder sogar die Verfügbarkeit der Dienste zu überwachen. Diese Eigenschaft der Technologien der Ebene wird benutzt und erweitert werden, um beliebige Dienstparameter zu überwachen und aus diesen Rückschlüsse über die Leistungsbereitschaft abzuleiten. Es ist geplant, einen verteilten Überwachungsdienst zu entwickeln.

In der Evaluierungsphase kann außerdem die Überlebensfähigkeit kritischer Dienste abgeschätzt werden, in dem die zu erwartende Verfügbarkeit beziehungsweise Leistungsbereitschaft bei definiertem Ausfallmodell berechnet wird. Diese Berechnung ist die Basis jeder Entscheidung für oder gegen adaptive Maßnahmen. Selbst, wenn bei nachteiligen Umgebungsänderungen keine Möglichkeit besteht, die Eigenschaften durch adaptive Maßnahmen zu verbessern, wäre schon das Wissen um diesen kritischen Zustand und damit die Möglichkeit, administrative Warnungen auszugeben, eine deutliche Verbesserung.

Es ist geplant, die existierenden, verbreiteten Zeroconf-Netzwerke im Rahmen der Möglichkeiten des Standards um die beschriebenen Fähigkeiten zu erweitern.

Aktuelle und zukünftige Arbeiten

Zurzeit arbeite ich an zwei Hauptproblembereichen: Zum einen der theoretischen Modellierung der autokonfigurierenden Dienstnetzwerke auf Basis von Zeroconf, zum anderen an der experimentellen Untersuchung derselben.

Es werden momentan theoretische Modelle für jedes Protokoll des Zeroconf Netzwerkstacks entwickelt. Die Modelle werden dann evaluiert, um den Zusammenhang ihrer Zuverlässigkeit und Effizienz quantisieren zu können. Die einzelnen Protokolle werden als Familien zeitdiskreter Markov-Belohnungsmodelle (DRMs) ausgedrückt. Außerdem wird ein hierarchisches, stochastisches Modell entwickelt werden, welches die unterschiedlichen Ebenen zusammenführt, da jede Aktion innerhalb des Netzwerkes auf der Funktionalität aller Ebenen beruht.

Die Validität der theoretischen Modelle wird in Experimenten überprüft. Hierfür werden verschiedene Eigenschaften gemessen und mit den zuvor berechneten Werten verglichen. Zu den Eigenschaften gehört zum Beispiel die Reaktionsfähigkeit (*Responsiveness*) der von Zeroconf bereitgestellten Technologien: Gegeben es sollen alle Instanzen einer bestimmten Dienstklasse im Netzwerk gefunden werden. Wie viele von allen Instanzen werden mit welcher Wahrscheinlichkeit in einer bestimmten Zeit gefunden? Wie verhält sich diese Eigenschaft der Anfrage bei steigendem Paketverlust, wie er in den oben beschriebenen Szenarien zu erwarten ist?

Zurzeit werden die Untersuchungen in zwei experimentellen Umgebungen durchgeführt. Zum einen in einer auf virtuellen Maschinen basierenden Simulationsumgebung, welche Zeroconf-Implementierungen testet, die auch in wirklichen Systemen benutzt werden. Zum anderen wird in einer Umgebung gemessen, welche aus drahtlos verbundenen, eingebetteten Controllern besteht, nicht nur um Systeme zu untersuchen, welche über limitierte Fähigkeiten verfügen, sondern auch, um die Eigenschaften echter, unzuverlässiger Netzwerke zu simulieren.

Es ist zur Zeit noch unklar, wie genau verteilte, dienstbasierte Anwendungen zur *Laufzeit* bezüglich ihrer Verfügbarkeit, Leistungsbereitschaft oder Überlebensfähigkeit *evaluiert* können. Diese Methoden werden in nächsten Schritten entwickelt werden.

Es ist zu erwarten, dass die Erkenntnisse der Untersuchungen in Verbesserungen des Zeroconf-Standards münden. Wo möglich wird eine Erweiterung auf andere Technologie-Familien wie UPnP, SLP oder Jini angestrebt. Ob und wie die Erkenntnisse zu verallgemeinern sind, wird sich im Zuge der laufenden Arbeiten herausstellen.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Poster beim „Tag der Informatik“, Mai 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der PRDC 2009 – 15th Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, Shang-Hai, China, November 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

HENRYK PLÖTZ

(Betreuer: Prof. Dr. Jens-Peter Redlich)

Sicherheit in selbstorganisierenden Systemen

Problemstellung

Selbstorganisierende drahtlose Maschennetzwerke, wie sie in anderen METRIK-Teilprojekten zum Einsatz kommen, werfen eine große Reihe von Frage- und Problemstellungen im Sicherheitsbereich auf. Ein Erdbebenfrühwarnsystem, zum Beispiel, muss um seiner Aufgabe nachzukommen, nicht nur korrekt Frühwarnsituationen erkennen und Alarmer auslösen können, sondern es muss darüber hinaus auch gegen mutwillige Auslösung von Fehlalarmen (und, weniger wichtig, gegen böswillige Unterdrückung von echten Alarmen) geschützt sein.

Dem zugrunde liegt der allgemeinere Bereich von Sicherheit in selbstorganisierenden Systemen, der sich mit Techniken zur Nachrichtenauthentisierung, Integritätsschutz und Sicherstellung von Vertraulichkeit befasst unter der Voraussetzung verschiedener Grade von Selbstorganisation und Unabhängigkeit von zentralen Autoritäten oder, soweit erforderlich und möglich, der verteilten Implementierung dieser Autoritäten. Von herausragender Bedeutung sind hier vor allem zwei Ansätze: (verteilt)es Schlüsselmanagement und (sichere) verteilte Berechnung.

- Der Ansatz des Schlüsselmanagement untersucht die Frage, wie kryptographisches Schlüsselmaterial in selbstorganisierenden Systemen auf die einzelnen teilnehmenden Knoten in sichererer Art verteilt oder erzeugt werden kann, um dann mit diesen Schlüsseln (mehr oder weniger) „normale“ Protokolle für Authentizität und Vertraulichkeit ausführen zu können.
- Alternativ kann es für einige Problemstellungen aber auch möglich und besser sein, die gesamte Berechnung auf mehreren Knoten verteilt auszuführen – was ggf. auch ohne explizites Schlüsselmanagement möglich ist – in einer Art und Weise die keinem einzelnen Knoten, oder keiner begrenzten Teilmenge von Knoten die Manipulation des Ergebnisses ermöglicht.

Ziel soll es dann sein, die EEWS-Ansätze des Graduiertenkollegs METRIK so um Sicherheitsaspekte zu erweitern, dass eine Manipulation des Erdbebenfrüherkennungssystems von außen nicht möglich ist, unter Vermeidung einer zentral gesteuerten Komponente.

Es gibt in der Literatur bereits einige Protokolle und Mechanismen für die verteilte Schlüsselverwaltung und sichere Berechnung. Zu prüfen ist, inwiefern sich welche davon für Anwendung im METRIK-Umfeld eignen, wo noch Schwachstellen vorhanden sind, und wo Erweiterungen nötig sind.

Ein mögliches Ergebnis wäre eine Lösung für ein selbstorganisierendes Erdbebenfrühwarnsystem welches lediglich mit Standardknoten ohne spezielle vorherige Sicherheitsbeziehungen zueinander auskommt und welches dann die Ermittlung eines Alarms in einer verteilten Berechnung ausführt die von einzelnen Angreifern nicht manipuliert werden kann. Eingeschränkt wird ein solcher Ansatz in der Regel durch Sybil-Attacken in denen ein Angreifer vorgibt, eine große Menge von Knoten zu repräsentieren und damit eventuelle Quorum-Regeln innerhalb des Netzes zu umgehen. Als Antwort darauf könnten verschiedene Ansätze evaluiert werden: Zum einen ist es eventuell möglich oder sogar erwünscht, die Forderung nach vollständiger Selbstorganisation aufzugeben und die

Knoten stattdessen bereits bei der Herstellung mit initialem Schlüsselmaterial auszustatten. Zum anderen wäre es denkbar, Reputationssysteme zu verwenden die einem Knoten erst nach längerer Zeit ohne Betrugsversuch Zugang zum Netz gewähren.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Poster beim „Tag der Informatik“, Mai 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

JENS NACHTIGALL

(Betreuer: Prof. Dr. Jens-Peter Redlich, Prof. Dr. Joachim Fischer)

Wireless Routing Protocols for Earthquake Early Warning Systems

Problemstellung

Erdbeben gehören zu den zerstörerischsten Naturkatastrophen. Neben der ökonomischen Entwicklung eines Landes bedrohen sie auch Menschenleben. Zurzeit besitzen nur einige wenige Länder wie die USA oder Japan ein Erdbebenfrühwarnsystem (Earthquake Early Warning System), wobei eine einzelne seismologische Station bereits mehrere Tausend bis Zehntausend Euro kostet. Deshalb sind Erdbebenfrühwarnsysteme mit guter Qualität noch außerhalb der finanziellen Möglichkeiten etlicher Schwellen- und Entwicklungsländer, obgleich diese solch ein System mit am nötigsten bräuchten.

Drahtlose Maschennetzwerke (Wireless Mesh Networks) könnten eine Möglichkeit darstellen, um alle gefährdeten Gebiete dieser Welt mit Erdbebenfrühwarnsystemen auszustatten. Die Kosten eines Erdbebeninformationssystems können durch ein solches drahtloses Maschennetzwerk stark reduziert werden. Die Knoten eines solchen Netzwerkes sind preiswert (~200 Euro), können leicht aufgebaut werden und kommunizieren selbstorganisiert über lizenzfreie Frequenzbänder.

Ein Erdbebenfrühwarnsystem nutzt die Eigenschaft von Erdbeben aus, zwei unterschiedliche Arten von seismischen Wellen zu verursachen: P- und S-Wellen. Die ungefährlichen P-Wellen (Primärwellen, aus dem Lateinischen *prima unda*) besitzen eine etwa doppelt so schnelle Ausbreitungsgeschwindigkeit wie die S-Wellen (Sekundärwellen, aus dem Lateinischen *secunda unda*), welche wesentlich verantwortlich zeichnen für die Zerstörungen eines Erdbebens. Die Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen der P- und S-Wellen (warning time) ist abhängig von der Entfernung eines Ortes vom Hypozentrum. In der Regel beträgt sie nur wenige Sekunden. Diese können jedoch genutzt werden, um Sekundärschäden zu minimieren, indem man beispielsweise den Strom oder die Gaszufuhr einer Stadt abschaltet.

Der Anwendungsfall eines Erdbebenfrühwarnsystems ist einzigartig. Obgleich die P-Wellen nicht sonderlich gefährlich sind, so können sie doch ein leichtes Wackeln von wenigen Zentimeter auslösen, wenn das Erdbeben eine große Magnitude als 6 besitzt und die Distanz zum Erdbebenherd geringer als 40 km ist. Offensichtlich sind diese geringmächtigen Bewegungen umso größer, je stärker das Erdbeben bzw. je geringer die Distanz zum Epizentrum sind, sprich umso dringender ein funktionierendes Frühwarnsystem benötigt würde. Diese Bewegungen treten zudem just in dem Moment auf, in dem ein Erdbeben unmittelbar bevor steht, und das System in Aktion treten soll.

Diese Art der Bewegung kann aufgrund von Multipfadeffekten (multi-path effects) oder Abschattung (shadowing) zu starken Schwankungen der Linkqualität führen. Aktuelle Routingprotolle für drahtlose Maschennetze sind für diese Änderungen der Linkqualitäten nur begrenzt geeignet. In der Regel nutzen diese Protokolle Informationen aus der Vergangenheit, sprich die zurückliegenden Verbindungsqualitäten, um Aussagen über die Gegenwart und Zukunft in der Form von Routingentscheidungen zu treffen. Diese Grundannahme liegt für diesen Anwendungsfall jedoch nicht vor, da die in der Vergangenheit gemessene Linkqualität zur Zeit einer neuerlichen Routingentscheidung bereits stark verändert ist. Hinzu kommt, dass die Linkqualitäten nicht nur für das Routing verwendet werden, sondern im Falle der Erdbebenfrühwarnprojekte wie SAFER und EDIM auch für die Clusterbildung und für die Wahl des Clusterheads. Findet ein Erdbeben statt, so kann es passieren, dass ein Link für welchen eine ausgesprochen gute Qualität gemessen wurde, in dem Moment, in welchem die P-Welle eintrifft, plötzlich stark degradiert, und dadurch ein zuvor ausgewählter Routingpfad unbrauchbar wird.

Ansatz und Ergebnisse

Die Ergebnisse mehrerer von mir durchgeführter Experimente offenbarten, dass die Qualitätsschwankungen eines Links in kleinem Maßstab vermindert werden können, wenn ein Knoten mit zwei Antennen ausgestattet und Antennendiversität aktiviert wird. Dadurch empfängt der Knoten das gleiche Signal auf zwei unterschiedlich positionierten Antennen und kann das jeweils bessere von beiden Signalen verwenden. Während der leichten Bewegungen eines Knotens ist es dadurch statistisch weniger wahrscheinlich, dass beide Antennen sich gleichzeitig an Orten schlechten Empfangs positioniert sind. Es wird angenommen, dass was im Kleinen funktioniert, auch im großen Maßstab Anwendung finden kann. Die Eigenschaft eines Maschennetzwerkes soll ausgenutzt werden, dass dieses mehrere Knoten an unterschiedlichen Orten besitzt, welche aufgrund des Broadcast-Mediums dazu in der Lage sind ein Paket zu empfangen (multi-user diversity). Es soll einem grundsätzlich anderem Routingansatz, Anycast-Routing, als den etablierten gefolgt werden, welcher diese Mehrbenutzerdiversität ausnutzt. Die grundlegenden Eigenschaften der drahtlosen Kommunikation, sprich von allen empfangbare Broadcast-Kommunikation mit möglichen Kollisionen und Konkurrenz um das Medium bei gleichzeitig relativ hohen Paketverlusten, sollen hier nicht als Nach- sondern Vorteil begriffen werden. Die wesentliche Idee von Anycast-Routing ist, dass aufgrund der Mehrbenutzerdiversität während der leichten Bewegungen der Knoten zwar die Linkqualität zu einem bestimmten Nachbarknoten sich verschlechtern mag, gleichzeitig jedoch sich die Verbindung zu einem oder mehreren anderen Nachbarn jedoch verbessert. Während die Idee des Anycast-Routings für drahtlose Maschennetze generell von Vorteil sein mag, so sollte diese Annahme für den Anwendungsfall eines Erdbebenfrühwarnsystems mit seinen stark schwankenden Linkqualitäten umso mehr zutreffen.

Man unterscheidet im Wesentlichen zwischen drei Arten des Anycast-Routings: geographisches Routing, opportunistisches Routing und einfaches Fluten des Netzwerkes, wobei jeder dieser Ansätze für sich genommen etliche Unzulänglichkeiten aufweist. Nachdem ich das Mobilitätsverhalten wie weiter oben beschrieben in einen Netzwerksimulator implementiert habe, werde ich diese einzelnen Ansätze hinsichtlich ihrer Eignung für Erdbebenfrühwarnung untersuchen. Indem die inhärenten Eigenschaften des Anwendungsfalls der Erdbebenfrühwarnsysteme berücksichtigt werden, können die Unzulänglichkeiten der einzelnen Ansätze aufgefangen werden: Die Primärwellenfront ist gerichtet und breitet sich mit bekannter Geschwindigkeit aus, und auf gleiche Weise sollten

die Pakete eines Erdbebenfrühwarnsystems im drahtlosen Maschennetzwerk propagiert werden. Solch ein Alarmierungsalgorithmus für ein Netzwerk mit unbeständiger Topologie und sich ständig ändernden Pfaden existiert jedoch noch nicht und muss entwickelt werden. Die Entwicklung geschieht in enger Kooperation mit der Infrastruktur des Lehrstuhls für Systemarchitektur (SAR), des Lehrstuhls für Systemanalyse (SAM) – hier insbesondere dem am Lehrstuhl entwickelten Erdbebensimulator – und dem GeoForschungsZentrum Potsdam. Ideen, Rückmeldungen und Unterstützung für mein Promotionsvorhaben erhalte ich insbesondere auch durch die weiter oben aufgeführten Drittmittelprojekte SAFER und EDIM, an denen ich bereits vor meinem Stipendium als Student beteiligt war und nach wie vor aktiv mitarbeite.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Poster beim „Tag der Informatik“, Mai 2009.

Teilnahme und Vortrag beim Gemeinsamen Workshop der Informatik-Graduiertenkollegs, Dagstuhl, Juni 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der MESH 2009 - 2nd International Conference on Advances in Mesh Networks, Athen, Griechenland, Juni 2009.

Teilnahme am SAFER Final Meeting, GeoForschungsZentrum Potsdam, Juni 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

ARIF WIDER

(Betreuer: Prof. Dr. Joachim Fischer, Prof. Dr. Holger Schlingloff)

Metamodel-based Technologies for Computing-Infrastructures for the Development of Optical Nanostructures

Problemstellung

Optische Nanostrukturen sind Objekte, deren Strukturen kleiner als die Wellenlänge von Licht sind. Daher können sie die Bewegung von Photonen in einer ähnlichen Weise beeinflussen, wie Halbleiterkristalle die Bewegung von Elektronen beeinflussen. Das langfristige Ziel in diesem Bereich ist die Produktion von optischen Bauteilen, die ähnliche Fähigkeiten wie elektronische Bauteile besitzen. Letztendlich ist dies auch ein Schritt in Richtung optischer Computer und Quantencomputer.

Informationen über die Eigenschaften von Nanostrukturen können durch Simulation gewonnen werden. Typischerweise wird hierbei die Ausbreitung eines elektromagnetischen Pulses innerhalb einer beliebigen dreidimensionalen, optischen Nanostruktur simuliert. Dabei kommen unterschiedliche Simulationsverfahren zum Einsatz, unter anderem die Finite Elemente Methode und die Finite Differenzen Methode. Die Verfahren unterscheiden sich dabei sowohl bzgl. Genauigkeit als auch bzgl. Ressourcenverbrauchs.

Derzeit werden bei der Erforschung von optischen Nanostrukturen häufig proprietäre Simulationswerkzeuge verwendet. Diese Werkzeuge sind häufig an ein bestimmtes Simulationsverfahren gebunden, weitgehend inkompatibel in Bezug auf die Syntax der Modellbeschreibung und bieten unterschiedlich mächtige Benutzeroberflächen. Dies führt dazu, dass die gleiche Nanostruktur in jedem Werkzeug erneut modelliert werden muss,

wenn verschiedene Simulationsverfahren zum Einsatz kommen sollen. Darüber hinaus bieten die meisten dieser Werkzeuge keine Unterstützung für eine Verwaltung der Ergebnisse, sondern speichern diese lediglich als einzelne Dateien ab.

Ansatz

Das Problem von Simulationswerkzeugen, die an ein bestimmtes Simulationsverfahren gebunden sind, kann in vielen Bereichen der Forschung wieder gefunden werden. Im Rahmen meiner Dissertation möchte ich zeigen, dass die Anwendung eines modellgetriebenen Ansatzes eine Entkopplung der Strukturmodellierung optischer Nanostrukturen und der Experimentbeschreibung von einzelnen Werkzeugen (und somit von Simulationsverfahren) ermöglicht. Dementsprechend entwickle ich Metamodell-basierte Technologien für die Entwicklung optischer Nanostrukturen oder wende existierende Technologien für diesen Zweck an. Im Rahmen dieses umfangreichen Beispielszenarios kann darüber hinaus untersucht werden, wie ein modellgetriebenes Experiment-Daten-Management in einen solchen Ansatz integriert werden kann.

Ein Teil meiner Arbeit ist daher die Konzeption einer Computing-Infrastruktur zur modellbasierten Entwicklung optischer Nanostrukturen (CIMON). Diese Infrastruktur integriert domänenspezifische Sprachen, etwa zur Beschreibung von Nanostrukturen und zur Spezifikation von Simulationsparametern. Für diese Sprachen bietet die Infrastruktur automatisch generierte Editier- und Transformationswerkzeuge. Die Anwendung adäquater Transformationen ermöglicht so die Verwendung verschiedener Simulationsverfahren. Darüber hinaus bietet die Infrastruktur Unterstützung bei der Visualisierung von Modellen und Ergebnissen sowie bei der Verwaltung der Ergebnisse. Letzteres bedeutet, dass Modelle von Nanostrukturen und Simulationsspezifikationen zusammen mit den entsprechenden Ergebnissen konsistent in einem zentralen Repository abgelegt werden.

Das Ziel dieser interdisziplinären Kooperation zwischen der Physik und der Informatik ist es, zu zeigen, dass die Metamodell-basierten Ansätze und Technologien, die im Graduiertenkolleg METRIK entwickelt werden, auch auf Anwendungsbereiche außerhalb des Katastrophenmanagements anwendbar sind. Im Mittelpunkt meiner Arbeit steht daher eine Konsolidierung und Generalisierung, sowie eine Weiterentwicklung dieser Ansätze und Technologien.

Zusammenarbeit innerhalb des Kollegs

- Aufbau auf den Arbeiten von Markus Scheidgen, Guido Wachsmuth und Daniel Sadilek bzgl. Metamodell-basierter Sprachentwicklung und der automatischen Werkzeug-Generierung für diese Sprachen.
- Orientierung an der Arbeit von Falko Theisselmann bzgl. der Extraktion domänenspezifischer Konzepte zur Entwicklung von Sprachen für Domänenexperten.
- Verwendung von Markus Scheidgens „Textual Editing Framework“ zur Implementierung von frühen Prototypen.
- Zusammenarbeit mit Frank Kühnlenz bei der Entwicklung eines Ansatzes zum modellbasierten Management von Experimenten (Konsistenz und Transparenz in Planung, Ausführung und Auswertung).
- Kooperation im Bereich „Erweiterbare domänenspezifische Sprachen“ mit Siamak Haschemi. Diese Arbeit wurde als Beitrag bei einer Konferenz publiziert.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Poster und Kurzvortrag beim „Tag der Informatik“, Mai 2009.

Teilnahme am Jubiläumssymposium „Licht – Materialien – Modelle“ im Rahmen des Jubiläumsjahres „100 Jahre Innovation aus Adlershof“, Berlin, September 2009.

Teilnahme an der GTTSE 2009 - Summer School on Generative and Transformational Techniques in Software Engineering, Braga, Portugal, Juli 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

FRANK KÜHNLENZ

(Betreuer: Prof. Dr. Joachim Fischer, Prof. Dr. Jens-Peter Redlich)

Modellbasierte Entwicklung verteilter, dezentraler Sensorsysteme (mit Schwerpunkt Experiment Management)

Problemstellung

Die Entwicklung von dezentralen Sensorsystemen, die zudem oft drahtlos, ad-hoc und selbst-organisierend sein sollen, stellt eine Herausforderung für die Informatik dar. Die benötigte Größe bzw. hohe Anzahl an Sensorknoten macht gewöhnlich Experimente an einem physisch existierenden System unmöglich aufgrund zu hohen Aufwandes (Kosten), so dass man Experimente mit Modellen des Systems durchführt (Computersimulationen). Dabei spielt neben der reinen Strukturbeschreibung insbesondere die Modellierung des dynamischen Verhaltens solcher Systeme in Kombination mit Umgebungsmodellen eine große Rolle.

Ein Modellexperiment ist eine Methode zur Erkenntnisgewinnung über das Originalsystem mittels des Systemmodells, das mit geeigneten Eingaben versorgt, beobachtbare Modellergebnisse liefert. Dabei wird das Modellexperiment in einer bestimmten Umgebung ausgeführt, die abhängig vom Abstraktionslevel und den Fragestellungen verschiedenartig sein kann: Somit kann ein Modellexperiment als Computersimulation unter Verwendung eines Simulationsmodells von einem Simulationskern ausgeführt aufgefasst werden oder als Experiment mittels eines Prototyp-Software-Modells.

Das Experimentieren umfasst somit Planung, Ausführung und Auswertung von (Modell-)Experimenten, wobei die im Detail notwendigen Schritte für ein konkretes Experiment oft implizites Wissen des Experimentators erfordern. Solch implizites Wissen umfasst z.B., warum bestimmte Abstraktionen im Modell getroffen wurden und welche Fragen überhaupt mit diesem Modell, in einem konkreten Experiment ausgeführt, beantwortet werden können. Solche Meta-Informationen werden selten erfasst, so dass, selbst wenn alle notwendigen Artefakte, wie Eingabedaten, Parameter, Modell- und Ausführungsumgebungsbeschreibungen verfügbar sind, ein konkretes Experiment schwer nachvollzogen werden kann. In einem solchen Fall sind wiederum die davon direkt abhängigen, erzielten Resultate schwer nachvollziehbar.

Der Fokus meiner Arbeit ist es, das Experimentieren transparenter (und komfortabler) zu gestalten, was bedeutet, die Reproduzierbarkeit des Prozesses des Experimentierens sicherzustellen und insbesondere die Konsistenz und Dauerhaftigkeit aller für das

Experiment notwendigen Artefakte zu garantieren. Dies beinhaltet auch, das implizite Wissen des Experimentators explizit verfügbar zu machen.

Ansatz und Ergebnisse

Ein Ziel meiner Arbeit ist es, eine *Experiment Management Infrastructure Technology* (EMIT) anzubieten, die es ermöglicht, eine bestimmte Experimentier-Domäne so zu beschreiben, das mittels EMIT aus diesem Beschreibungsmodell automatisch ein für diese Domäne spezifisches Werkzeug, das *Experiment Management System* (EMS), generiert werden kann. Ein solches EMS sichert die Umsetzung der identifizierten Anforderungen an ein Experiment Management. Exemplarisch wurde ein solches EMS händisch von mir für das EU-Projekt SAFER und den darin in Work-Package 4 durchgeführten Experimenten zur modellbasierten Entwicklung eines neuartigen Sensornetzwerk-Prototyps zur Erdbebenfrühwarnung umgesetzt.

Mittels EMIT soll es zukünftig möglich sein, Domänen-spezifische EMS schnell zu entwickeln, so dass transparentes Experimentieren in Software-Entwicklungsprozessen frühzeitig ermöglicht wird (insbesondere in Modellierung & Simulation und prototypischer Softwareentwicklung).

Ein Experimentator, der EMIT verwendet, modelliert die typischen Merkmale seiner Experimente unter Verwendung einer Domänen-spezifischen Sprache (DSL), der *Experiment Management DSL*. Diese Sprache bietet Ausdrucksmittel zur Beschreibung der Daten (Konfiguration, Resultate) und des Ausführungsprozesses in einer konkreten Ausführungsumgebung (Framework), die dem Experimentator bereits wohl vertraut aus seiner bisherigen Arbeit ohne EMIT bzw. EMS ist. Die Verwendung eines EMS erleichtert zudem die Vorbereitungsarbeit, indem Mengen von Experimenten planbar werden, so dass bestimmte Parameter nach einer definierten Methode automatisch variiert werden (z.B. schrittweise, zufällig oder nach Monte Carlo).

Verschiedene Anwendungsfälle für EMIT sind aktuell in Betrachtung, wobei zwei aus dem METRIK-Kontext stammen: Unterstützung des Experimentierens eines Landnutzungsmodells in Kooperation mit Falko Theisselmann (s. gemeinsame Publikation) und beim Aufbau eines Modellierungs- und Simulationsframeworks für optische Nanostrukturen in Kooperation mit Arif Wider und Physikern der HU-Berlin.

Diese Anwendungsfälle zeigen bereits weitere, wünschenswerte Funktionalität für EMS hinsichtlich Modellkopplung und z.B. Feedback zwischen Experimenten. Inwieweit dies umgesetzt werden kann, ist Gegenstand meiner zukünftigen Arbeiten. Insbesondere hat die Umsetzung von EMIT gerade begonnen; eine technologische Basis ist identifiziert, doch die Entwicklung der Meta-Modelle für die beiden DSLs sowie die eigentliche Implementierung muss zukünftig umgesetzt werden.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Teilnahme und Poster beim Abschlusstreffen des EU-Projektes SAFER, Potsdam, Juni 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der EGU 2009 - European Geosciences Union General Assembly, Wien, Österreich, April 2009 (Talk).

Teilnahme und Vortrag bei der MATHMOD 2009 - 6th Vienna International Conference on Mathematical Modelling, Wien, Österreich, Februar 2009 (Talk).

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

KATHRIN POSER

(Betreuer: Prof. Dr. Doris Dransch, Prof. Dr. Ulf Leser)

Integration und Bewertung von Informationen der betroffenen Bevölkerung für das Hochwasser-Risikomanagement

Hintergrund

Für das Katastrophenmanagement und die schnelle Schadensabschätzung nach (Natur) Katastrophen ist es wichtig, möglichst schnell einen möglichst umfassenden Überblick über die entstandenen Schäden und die daraus resultierenden Beeinträchtigungen zu erhalten. Die benötigten Informationen kommen aus unterschiedlichen Quellen (Beobachtungen von Einsatzkräften, verschiedene Sensoren, Luft- und Satellitenbilder) und müssen zusammengeführt und gemeinsam ausgewertet werden, um für Entscheidungen im Katastrophenmanagement und die Auswertung von Ereignissen nützlich zu sein.

Menschen beobachten ihre Umgebung und können als intelligente „Sensoren“ Information über ihre Beobachtungen zur Verfügung stellen. Bei Hochwasserereignissen können sie beispielsweise den Wasserstand in überfluteten Gebieten oder mögliche Verschmutzungen des Flutwassers beobachten. Bis vor kurzem war es zeit- und kostenaufwändig, Informationen der betroffenen Bevölkerung in persönlichen Befragungen, per Telefon oder Brief zu erheben. Neue Internettechnologien und die zunehmende Verbreitung von Breitbandanschlüssen haben die Möglichkeit eröffnet, schneller und einfacher Informationen von der betroffenen Bevölkerung zu erheben.

Bisher werden Beobachtungen von Augenzeugen und Menschen vor Ort selten (ausgenommen Einsatzkräfte und andere Mitarbeiter im Katastrophenschutz) systematisch in das Katastrophenmanagement und die schnelle Schadensabschätzung einbezogen. Einige Ausnahmen, allen voran die Initiative „Did you feel it?“ des US Geological Survey, bei der zehntausende Freiwillige web-basierte Fragebögen zu Erdbebenereignissen ausfüllen, haben gezeigt, dass die Bevölkerung einen wertvollen Beitrag zum Desastermanagement leisten kann.

Die Nutzung von Beobachtungen der betroffenen Bevölkerung für das Desastermanagement ist jedoch auch mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Insbesondere unbekanntere Verfügbarkeit und unsichere Qualität der Daten stellen Hindernisse für ihre Nutzung dar. Im Gegensatz zu Sensoren und Messeinrichtungen können Beobachtungen der Bevölkerung nicht geplant werden und es ist unbekannt, wie viele Daten woher zur Verfügung gestellt werden. Ebenso ist die Zuverlässigkeit von Beobachtungen der Bevölkerung, die für diese Aufgabe nicht geschult ist, bisher wenig untersucht.

Problemstellung

Das Ziel der Arbeit ist, Informationen der betroffenen Bevölkerung für das Risikomanagement nutzbar zu machen. Am Beispiel der schnellen Schadensabschätzung nach Hochwasser-Ereignissen werden Methoden zur Bewertung der Qualität solcher Daten entwickelt. Die konkreten Forschungsfragen sind:

- Welche der benötigten Informationen können in ausreichender Qualität von der Bevölkerung beobachtet werden? Wie können diese Informationen erfasst werden?
- Wie kann die Qualität dieser Informationen bewertet und kontrolliert werden?

Vorgehensweise

Die Vorgehensweise besteht aus zwei Teilen: Im ersten Teil wird die Qualität der Beobachtungen der betroffenen Bevölkerung anhand von existierenden Daten aus Telefoninterviews untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden im zweiten Teil der Arbeit genutzt, um eine automatisierte Vorgehensweise für die Qualitätsbewertung für eine web-basierte Hochwassererhebung zu entwickeln und prototypisch umzusetzen.

Der erste Teil der Arbeit basiert auf Telefoninterviews, die mit Betroffenen der Hochwasserereignisse im Elbe- und Donaueinzugsgebiet im Jahr 2002 sowie im Elbeeinzugsgebiet im Jahr 2006 durchgeführt wurden. In insgesamt über 2000 Interviews wurden Betroffene zu Überflutungsparametern, privaten Vorsorgemaßnahmen sowie durch das Hochwasser verursachten Schäden gefragt. In dieser Arbeit werden Daten zum Wasserstand und zur Fließgeschwindigkeit betrachtet, wobei dem Wasserstand besondere Bedeutung zukommt, da dieser Parameter für die Schadensabschätzung am wichtigsten ist. Die Daten aus den Telefoninterviews werden auf Konsistenz innerhalb des Datensatzes, auf Konsistenz mit gemessenen Wasserständen und mit Ergebnissen hydraulischer Modelle überprüft. Anschließend wird eine Fitness-for-Use Analyse durchgeführt, um zu überprüfen, ob die Beobachtungen der Bevölkerung geeignet sind, um damit ein empirisches Schadensmodell anzutreiben, um so zu einer schnellen Schadensabschätzung nach einem Hochwasserereignis zu kommen.

Im zweiten Teil der Arbeit wird dann eine automatisierte Vorgehensweise entwickelt, die es erlaubt, von der betroffenen Bevölkerung zur Verfügung gestellte Daten in einem prototypisch umgesetzten, web-basierten System zu bewerten und zur Abschätzung von Schäden zu nutzen

Ergebnisse

Bisher wurden die Daten aus den Telefoninterviews auf Konsistenz innerhalb des Datensatzes, Konsistenz mit Modellergebnissen und Konsistenz mit eingemessenen Wasserständen untersucht. Die Ergebnisse der internen Konsistenzprüfung und der Vergleich mit Ergebnissen hydraulischer Modelle zeigen, dass die Schätzungen des Wasserstands zwar erheblich von den modellierten Ergebnissen abweichen, allerdings im gleichen Rahmen, in dem die modellierten Daten von gemessenen Wasserständen abweichen. Die Einschätzungen der Fließgeschwindigkeiten mittels verbaler Beschreibung und Indikatoren weichen von den gemessenen Daten sehr stark ab, allerdings gibt es hier keinerlei gemessene Daten, so dass auch die Zuverlässigkeit der modellierten Daten nicht beurteilt werden kann. Der Vergleich der Daten aus den Telefoninterviews mit eingemessenen Wasserständen wurde mittels geostatistischer Methoden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die geschätzten Wasserstände eine ähnliche Abweichung zu den eingemessenen aufweisen wie die modellierten.

Beispielhaft wurde für die Gemeinde Eilenburg an der Mulde, die beim Hochwasser 2002 schwer betroffen war, die Nutzbarkeit der Beobachtungen der Bevölkerung für die Schadensschätzung mittels empirischer Modelle untersucht. Die Untersuchung ergab, dass die Schadensschätzung mit diesen Daten nur sehr gering von der mit Daten aus hydraulischen Modellen abweicht. Die Abweichung von Referenzdaten ist zwar deutlich

größer, aber in Anbetracht der allgemein hohen Unsicherheiten bei der empirischen Schadensmodellierung sind die Ergebnisse als nutzbar für diese Abschätzungen einzustufen.

Aktivitäten

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Teilnahme und Vortrag beim EEA (European Environmental Agency) workshop on „Vulnerability and disaster risks mapping“, Kopenhagen, Juli 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der AGILE (Association Geographic Information Laboratories Europe) International Conference on Geographic Information Science „Advances in GIScience“, Hannover, Juni 2009.

Teilnahme und Poster beim Joint Symposium of ICA Working Group on Cartography in Early Warning and Crises Management (CEWaCM) and JBGIS Geo-information for Disaster Management (Gi4DM) „Cartography and Geoinformatics for Early Warning and Emergency Management: Towards Better Solutions“, Prag, Januar 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

DR. PETER MASSUTHE

(Betreuer: Prof. Dr. Kees van Hee (TU Eindhoven), Prof. Dr. W. Reisig)

Operating Guidelines for Services

Die (Verhaltens-)Kompatibilität von Services spielt eine zentrale Rolle in vielen Bereichen des Umfelds Service-orientierter Architekturen (SOA). Operating Guidelines (Bedienungsanleitungen) von Services ermöglichen ein effizientes Entscheidungsverfahren, ob zwei gegebene Services verhaltenskompatibel sind. Dies wird erreicht durch eine endliche Charakterisierung, die Operating Guideline, aller verhaltenskompatiblen Services für einen gegebenen Service.

Aktivitäten

Teilnahme an der Vorstellung der METRIK-Lehrstühle im Wintersemester 2009.

Teilnahme an der ATPN 2009 - 30th International Conference on Application and Theory of Petri Nets and other Models of Concurrency, Paris, Frankreich, Juni 2009.

CHRISTIAN STAHL

(Betreuer: Prof. Kees van Hee (TU Eindhoven), Prof. Wolfgang Reisig)

Service Substitutability – A Behavioral Approach Based on Petri Nets

Problemstellung

Die Arbeit bettet sich ein in das Gebiet Service-Oriented Computing (SOC). Im Zentrum des Projektes stand die Frage, wann ein Service P durch einen anderen Service P' ausgetauscht werden kann. Dafür waren drei Teilziele vorgesehen:

1. Charakterisieren und klassifizieren verschiedene Austauschbarkeitsbegriffe
2. Austauschbarkeitsbegriffe auf der Modellebene formulieren und algorithmisch unterlegen sowie Entscheidungsalgorithmen herleiten
3. Erarbeiten von Algorithmen zur Konstruktion austauschender Services

Ansatz und Ergebnisse

Teilziel 1: Charakterisierung von Austauschbarkeitsbegriffen

In der Literatur gibt es vielfältige Kriterien zur Definition von der Austauschbarkeit eines Services durch anderen, abhängig von den Eigenschaften, die beim Austausch bewahrt oder gewonnen werden sollen. Wir haben uns auf Eigenschaften des *Verhaltens* eines Services eingeschränkt.

Ein erstes Kriterium betrifft die *Terminierung* (Deadlockfreiheit, und/oder Livelockfreiheit). In der Praxis sind zudem strikte Varianten wichtig: In einem Endzustand kann ein Service keine Nachrichten empfangen oder senden.

Ein zweites Kriterium betrifft einzelne *Szenarien*, also Teilabläufe eines Service P. Interessant sind Services R, deren Komposition $P + R$ mit P ein Szenario erzwingt (enforce), ausschließt (exclude) oder ermöglicht (cover). Solche Anforderungen können für verschiedene Szenarien aussagenlogisch kombiniert werden.

Für eine Kombination X solcher Eigenschaften ist ein Service R eine *X-Strategie für P*, wenn die Komposition $P + R$ die Eigenschaft X hat. Den Begriff der Austauschbarkeit eines Service P durch einen Service R haben wir in Bezug auf die Menge $\text{Strat}_X(P)$ der X-Strategien von P definiert. P kann auf folgende zwei Arten durch P' ausgetauscht werden:

- unter *conformance*, wenn $\text{Strat}_X(P) \subseteq \text{Strat}_X(P')$
- unter *Bewahrung* einer Menge $S \subseteq \text{Strat}_X(P)$ von Services, mit $S \subseteq \text{Strat}_X(P')$

Teilziel 2: Austauschbarkeitsbegriffe entscheiden

Um Austauschbarkeit zu entscheiden müssen zwei im Allgemeinen unendliche Mengen von X-Strategien miteinander verglichen werden. Für eine Menge von Deadlockfreiheit-Strategien gab es bereits eine endliche Repräsentation, die *Bedienungsanleitung* (*operating guideline*). Im Rahmen der Arbeit wurde das Konzept der Bedienungsanleitung erweitert, um eine Repräsentation für jede Teilmenge von X-Strategien zu konstruieren. Für folgende vier Mengen X_1, \dots, X_4 von Eigenschaften haben wir algorithmische Lösungen entwickelt:

- $X_1 = \{\text{Deadlockfreiheit, strict, enforce, exclude}\}$
- $X_2 = X_1 \cup \{\text{cover}\}$
- $X_3 = X_1 \cup \{\text{Livelockfreiheit}\}$
- $X_4 = X_3 \cup \{\text{cover}\}$

Für jede der Repräsentation von X-Strategien, nachfolgend *X-OG* genannt, haben wir eine Konstruktionsvorschrift angegeben sowie ein Kriterium (Matching), um zu entscheiden, ob ein Service in einer X-OG enthalten ist. Für X_1 -OGs und X_2 -OGs konnte ein Entscheidungsalgorithmus angegeben werden, um Inklusion zu entscheiden. Des Weiteren haben wir bewiesen, dass der Durchschnitt zweier Mengen von X-Strategien durch das Produkt ihrer X-OGs charakterisiert wird.

Mit Hilfe dieser Rechenoperationen auf Repräsentationen von X-Strategien haben wir nachfolgende Entscheidungsalgorithmen erarbeitet.

Conformance kann entschieden werden, indem die Inklusion der Mengen $\text{Strat}_X(P)$ und $\text{Strat}_X(P')$ auf den entsprechenden Repräsentationen $X\text{-OG}(P)$ und $X\text{-OG}(P')$ entschieden wird. Für X_1 und X_2 haben wir Lösungen.

Im Falle von Austauschbarkeit von P durch P' unter Bewahrung einer Menge S von X -Strategien, unterscheiden wir drei Fälle. Ist S endlich, reduziert sich der Entscheidungstest auf Matching aller $S_i \in S$ in $\text{Strat}_X(P')$. Ist S unendlich und ist als X -OG repräsentiert, dann reduziert sich das Problem darauf, conformance von S und $\text{Strat}_X(P')$ auf den entsprechenden X -OGs zu entscheiden. Im dritten Fall konstruieren wir die Menge S . Wir schränken die Menge $\text{Strat}_X(P)$ auf alle X -Strategien ein, die bestimmte Szenarien bewahrt. Zu diesem Zweck konstruieren wir eine $X1$ -OG, die alle Services repräsentiert, die diese Szenarien bewahren. Das Produkt dieser $X1$ -OG mit $X\text{-OG}(P)$ repräsentiert den Durchschnitt der Mengen, d.h. alle X -Strategien aus $\text{Strat}_X(P)$, die die Szenarien bewahren. P' tauscht P unter Bewahrung von S aus, falls conformance des Produktes und $X\text{-OG}(P')$ gilt.

Teilziel 3: Austauschende Services konstruieren

Für Austauschbarkeit unter Bewahrung kann im Falle einer endlichen Menge S eine Repräsentation aller austauschenden Services angegeben werden. Dazu wird das Produkt aller $X\text{-OG}(S_i)$ konstruiert, mit $S_i \in S$. Im Falle von $X1$ -Strategien kann auch eine Repräsentation aller Services P' konstruiert werden, die P unter conformance austauschen. Zu diesem Zweck konstruieren wir eine spezielle $X1$ -Strategie, deren $X1$ -OG alle P' repräsentiert.

Zur Konstruktion austauschender Services haben wir eine Menge von Transformationsregeln erarbeitet. Diese Regeln identifizieren ein Muster M in einem Service und geben an, durch welches Muster M' das Muster M ersetzt werden kann. Die Regeln ermöglichen das Einfügen, Löschen, Umordnen interner Aktionen sowie Sende- und Empfangsereignissen.

Weitere Resultate

Conformance charakterisiert die Inklusion zweier Mengen von X -Strategien und ist eine Preorder. Im Falle von $X = \{\text{Deadlock- und Livelockfreiheit}\}$ konnten wir zeigen, dass die Preorder fair testing von Vogler und Rensink conformance impliziert. Conformance impliziert allerdings im Allgemeinen nicht fair testing. Wir haben Kriterien erarbeitet wann diese beiden Preorder äquivalent sind.

Unsere Resultate zu conformance und Transformationsregeln haben auf die Servicebeschreibungssprache WS-BPEL übertragen. Wir konnten den Kompatibilitätsbegriff in WS-BPEL (wann kann ein abstrakter WS-BPEL Prozess durch einen ausführbaren ersetzt werden) formalisieren verallgemeinern.

Zusammenarbeit innerhalb des Graduiertenkollegs

Es besteht eine enge Kooperation mit Niels Lohmann und Peter Massuthe in Themen zu Bedienungsanleitungen, Conformance, Transformationsregeln und Übertragung der Resultate in die Servicebeschreibungssprache WS-BPEL. Mehrere Publikationen sind im Rahmen dieser Kooperation entstanden. Es besteht weiterhin Zusammenarbeit mit Jarungjit Parnjai in deren Rahmen eine gemeinsame Publikation entstand.

Aktivitäten

Teilnahme an ZEUS 2009 - Erster zentral-europäischer Workshop über Services und ihre Komposition, Stuttgart, März 2009.

NIELS LOHMANN

(Betreuer: Prof. Dr. Wolfgang Reisig, Prof. Dr. Karsten Wolf (Uni Rostock))

Correctness of services and their composition**Problemstellung**

Fokus der Arbeit ist die Korrektheit von Services sowie die Korrektheit von Kompositionen mehrerer Services. Dabei gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze, Korrektheit eines Systems sicherzustellen:

- Korrektheit durch Beweis – die Korrektheit eines Systems wird durch einen mathematischen Beweis anhand eines formalen Modells gezeigt
- Korrektheit durch Konstruktion – ein System wird durch mathematisch bewiesene Konstruktionsschritte oder Algorithmen erzeugt; die Korrektheit des Systems folgt dann direkt aus der Korrektheit der Schritte
- Korrektur eines Systems – ein bzgl. eines Kriteriums inkorrektes System wird durch Anwendung eines Korrekturalgorithmus verändert, sodass das Korrektheitskriterium erfüllt wird.

Ziel der Arbeit soll es sein, diese Ansätze auf Services und Servicekompositionen anzuwenden. Dabei gibt es weiterhin verschiedene Szenarien, in denen über Korrektheit gesprochen werden kann:

- Korrektheit eines Services bzgl. einer beliebigen Umgebung
- Korrektheit eines Services bzgl. einer bestimmten Umgebung
- Korrektheit einer Komposition bzgl. einer Spezifikation

Ansatz und Ergebnisse

Ein grundlegendes Korrektheitskriterium für Services ist die *Bedienbarkeit*. Ein Service ist bedienbar, falls es eine Umgebung gibt, in der der Service verklemmungsfrei kommuniziert. Neben der Existenz einer beliebigen Umgebung ist weiterhin die Frage nach einer bestimmten Umgebung interessant, um das Verhalten eines Service zu validieren bzw. solche bestimmten Umgebungen als Dokumentations- oder Testszenarien abzuleiten.

Ergebnisse zur Korrektheit eines Services bzgl. einer beliebigen Umgebung:

- Es wurde ein Algorithmus erarbeitet, mit dem die Gründe für Nicht-Bedienbarkeit analysiert werden können. Der Algorithmus gibt weiterhin Korrekturvorschläge an, mit denen Bedienbarkeit sichergestellt werden kann.
- Es wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem die Bedienbarkeit bzgl. bestimmter Umgebungen überprüft werden kann. Die Umgebungen werden dabei als endliche Automaten spezifiziert. Im Falle der Nichtbedienbarkeit bzgl. dieser Umgebung kann der oben genannte Diagnosealgorithmus verwendet werden.

Oft werden Services in bekannten Umgebungen, bspw. in unternehmensübergreifenden Geschäftsprozessen eingesetzt. In diesem Fall sind konkrete Fragen, bspw. die An- oder Abwesenheit bestimmter Kommunikationssequenzen interessant. Durch die gegebene Umgebung sind in diesem Szenario die Korrekturmöglichkeiten eingeschränkt.

Ergebnisse zur Korrektheit eines Services bzgl. einer gegebenen Umgebung:

- Es wurden bestehende Resultate aus dem Bereich der computergestützten Verifikation sowie der Partnersynthese auf Servicekompositionen angewendet. So ist „Korrektheit durch Beweis“ sowie „Korrektheit durch Konstruktion“ auf Servicekompositionen anwendbar.
- Es wurde ein Algorithmus entwickelt, mit dem ein Service bzgl. einer gegebenen Umgebung korrigiert werden kann. Dabei wird versucht, durch minimale Eingriffe in der Kontrollfluss des inkorrekten Services Korrektheit sicherzustellen.

Bei der Entwicklung unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse stehen zunächst weniger die einzelnen Services als vielmehr die Kommunikation zwischen ihnen im Mittelpunkt. In diesem Kontext ist in den letzten Jahren der Modellierungsstil der *Interaktionsmodelle* entstanden. Solch ein Modell spezifiziert Kommunikationssequenzen zwischen den zu entwickelten Services.

Ergebnisse zur Korrektheit von Interaktionsmodellen:

- Nicht jede von einem Interaktionsmodell spezifizierte Kommunikationssequenz ist letztlich in einer Servicekomposition realisierbar. Wir konnten zeigen, dass sich dieses Problem der Realisierbarkeit auf das Problem der Bedienbarkeit reduzieren lässt. Somit sind alle bisherigen Ergebnisse auf Interaktionsmodelle anwendbar.
- Oft wird in Interaktionsmodellen synchrone Kommunikation angenommen. Beim Übergang zur in der Praxis eher verwendeten asynchronen Kommunikation können dabei Verklemmungen entstehen. Wir haben einen Algorithmus entwickelt, der diese neuen Verklemmungen erkennen und korrigieren kann.

Zusammenarbeit innerhalb des Graduiertenkollegs

Es besteht eine enge Kooperation mit Christian Stahl in Themen zu Bedienungsanleitungen, Austauschbarkeit und Übertragung der Resultate in die Servicebeschreibungssprache WS-BPEL. Mehrere Publikationen sind im Rahmen dieser Kooperation entstanden.

Aktivitäten

Teilnahme und Vortrag bei ZEUS 2009 - Erster zentral-europäischer Workshop über Services und ihre Komposition, Stuttgart, März 2009.

MICHAEL SODEN

(Betreuer: Prof. Dr. Joachim Fischer, Prof. Dr. Holger Schlingloff)

Dynamische Analyse von ausführbaren Modellen

Problemstellung

Neue Techniken zur Sprach- und Modelldefinition zogen in den letzten Jahren unter dem Begriff der (objekt-orientierten) Metamodellierung das Interesse von Forschung und Wirtschaft auf sich. Metamodelle dienen als Beschreibungsmittel zur präzisen Definition verschiedenster Entwicklungsartefakte, wie z.B. Spezifikationsmodelle oder die abstrakte Syntax von Modellierungs- und Programmiersprachen. Die Meta Object Facility (MOF) Spezifikation der Object Management Group zur strukturellen Beschreibung von Modellen hat sich dabei weitestgehend als Standard durchgesetzt. Neben der Definition von strukturellen Eigenschaften existieren in dieser Metadatenarchitektur jedoch keine Beschreibungsmittel, um dynamische Aspekte der Ausführungssemantik zu formalisieren oder weitergehend zu analysieren.

Aus dieser Ausgangslage heraus leiteten sich mehrere Fragestellungen für das hier dargestellte Promotionsprojekt ab. Zunächst galt es zu untersuchen, inwieweit sich etablierte Techniken zur Beschreibung der dynamischen Semantik von Sprachen auf die Metamodellierung übertragen bzw. integrieren lassen. Da der schnellen Entwicklung von Werkzeugen zu neuen und angepassten Sprachen eine immer größere Bedeutung zukommt, sollte untersucht werden, inwieweit sich Simulatoren aus der Definition der dynamischen Semantik einer Sprache automatisch ableiten lassen.

Eine auf diese Problematik aufbauende Fragestellung bezieht sich auf die Analyse-möglichkeiten der um dynamische Semantik angereicherten Metamodelle, d.h. ob und ggf. wie sich einzelne dynamische Abläufe dieser Simulatoren formalisieren und anschließend überprüfen lassen (z.B. Verifikation von Szenarien durch Simulationsaufzeichnung). Analog zu der Ableitung von Simulatoren soll auch hier die Möglichkeit einer Generierung von Werkzeugen zur dynamischen Sprachanalyse untersucht werden, die automatisiert die Korrektheit dieser Szenarien nachweisen.

Ziele der Arbeit, Lösungsansatz

Ziel dieser Promotion ist die Konzeption und Evaluierung eines Metamodellierungsframeworks zur Definition der dynamischen Sprachsemantik und der dynamischen Modellanalyse. Dies bedeutet zunächst das Bereitstellen geeigneter Modellierungstechniken zur präzisen Definition des Sprachverhaltens in Metamodellen, welche eine Ausführung (Simulation) ermöglichen. Hierzu wurde eine operationale Aktionssemantik für MOF entwickelt, die eine Weiterentwicklung bewährter Konzepte aus der *Unified Modelling Language* (UML), der *Object Constraint Language* (OCL) und *Abstract State Machines* (ASM) vereint.

Die daraus resultierende erweiterte Metamodellierungsarchitektur dient als Basis für weitergehende methodische Untersuchungen zur dynamischen Semantik von Sprachen. Es wurde gezeigt, dass dynamische Eigenschaften von Ausführungsläufen (*Traces*) generisch beschrieben werden können und diese sich während bzw. nach der Modellausführung automatisch verifizieren lassen.

Ergebnisse

Die aus der Analyse heraus notwendigen Erweiterungen der MOF Metamodellierungsarchitektur wurden identifiziert, konzipiert und mit bestehenden Methoden verglichen. Basierend auf den oben genannten Zielsetzungen ergaben sich zwei Teilbereiche einer gemeinsamen Promotion mit Herrn Eichler (ebenfalls Assoziierter von METRIK), bei der das gemeinsam entwickelte *Model Execution Framework* (MXF) als Basis für unsere Forschungen entstand. MXF ist mittlerweile ein offizielles Open Source Projekt im Rahmen der *eclipse* Gemeinschaft und bietet ein flexibles Metamodellierungsframework mit Verhaltensbeschreibung (Aktionssemantik), das auf eine schnelle Entwicklung von neuen Simulationsumgebungen abzielt.

Für die Bewertung des Ansatzes wurden im Rahmen dieser Arbeit mittels Konzeptstudien eine Reihe von Modellierungs- und Programmiersprachen untersucht, so zum Beispiel Aspekte von C#, UML, Zeitautomaten und ASMs. Es konnte gezeigt werden, dass sich verschiedenste dynamische Sprachaspekte formalisieren und unmittelbar in einer Art „Metamodellinterpretier“ ausführen lassen. Die Konzepte und Techniken dieser erweiterten MOF Architektur wurden mehrfach publiziert (vgl. Publikationen).

In einem zweiten Schritt konnten einzelne Szenarien durch aufzeichnen von Simulationsläufen als sog. *Traces* analysiert werden. Zielstellung war es, dynamische Eigenschaften zu formalisieren und beispielhaft automatisiert zu verifizieren. Zu diesem Zweck wurde OCL um temporale Operatoren zur *Linear Temporal OCL* (LT-OCL) ergänzt. Mittels der daraus resultierenden objektorientierten Zeitlogik konnten dynamische Eigenschaften der Zustandsänderungen bei aufgezeichneten Szenarien automatisch überprüft werden. Zudem ermöglicht der entwickelte Algorithmus es entweder *offline* (unter Rückgriff auf *Traces*) oder *online* (d.h. während der Simulation) diese Nachweise zu führen.

Die Sprache und Konzeption der LT-OCL wurde dieser Jahr erstmals publiziert. Derzeit werden weitergehende Aspekte – wie Parallelität und Komplexität der Algorithmen – erforscht, um die Arbeit inhaltlich abzurunden.

Zusammenarbeit innerhalb des Graduiertenkollegs

Bereits vor Beginn des Graduiertenkollegs herrschte intensiver Austausch zwischen Promovenden am Lehrstuhl von Prof. Fischer über das Thema Sprachmodellierung durch Metamodellierung. Dieser Austausch wurde seit Beginn von METRIK an durch zahlreiche Anwendungen aus dem Bereich des Katastrophenmanagements und der Erdbebenfrühwarnsysteme erheblich bereichert. Die hier zum Einsatz kommenden Domänensprachen bieten wertvolle, weil praxisnahe, Beispiele und Problemstellungen anhand derer sich die theoretischen Konzepte anwenden lassen. Auf dieser Grundlage entstanden zudem verwandte Arbeiten zu angrenzenden Themen, unter anderem die von Markus Scheidgen, Guido Wachsmuth oder Daniel Sadilek.

Darüber hinaus bietet das Graduiertenkolleg einen exzellenten wissenschaftlichen Rahmen um Ideen vorzustellen und mit Hilfe der interdisziplinären Blickwinkel weiterzuentwickeln. Der Autor erhofft sich für die hier vorgestellte Promotion in Zukunft weitere Unterstützung durch Austausch bei Vorträgen und Diskussionen sowie Anwendungsfällen aus der Praxis.

Aktivitäten

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der EclipseCon 2009, Santa Clara, CA, USA, März 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

Hajo Eichler

(Betreuer: Prof. Dr. Joachim Fischer, Prof. Dr. Holger Schlingloff)

Ausführbare Modelle und deren Anwendung zum Softwaretesten

Problemstellung

Modelle sind in den letzten Jahren ein wichtiger Bestandteil der Softwareentwicklung geworden. Dabei gibt es eine Vielzahl von Modellen, die jeweils spezielle Aspekte eines Entwicklungsschrittes festhalten. Modellierungstechniken und Inhalte sind dabei aber meist nur in natürlicher Sprache definiert. Geprägt durch den Standard MOF (Meta Object Facility) der Object Management Group erhielten diese Modelle eine einheitliche formale Definition und wurden so maschinell verwertbar. Allen voran spielen vor allem Modelle zur Definition von strukturellen Daten eine Hauptrolle. In der Praxis jedoch zeigt sich, dass diese sogenannten Metamodelle (Modelle, die Modelle beschreiben) rein zur Codegenerierung von Strukturen und zur Dokumentation und Kommunikation verwendet werden, obwohl ihr Potential größer ist.

Anfangsfragen

Da die Metamodellierung sich bisher auf den Aspekt der strukturellen Informationen beschränkt, stellte sich die Frage, ob man auf diesem Abstraktionsniveau auch Verhaltensaspekte definieren kann? Wenn ja, welches Verhalten wird dadurch ausgedrückt und welchen Mehrwert bringt eine Verhaltensbeschreibung zu diesem Zeitpunkt im Softwareentwicklungszyklus? Welche der existierenden Verhaltensbeschreibungen ist hierfür am besten geeignet und welche Anwendungen für das Softwaretesten können aus diesem Verhalten abgeleitet werden?

Zielsetzung

Ausgehend von diesen grundlegenden Fragestellungen ergab sich nach ersten Recherchen und Analyseschritten, dass eine Erweiterung des MOF Standards um eine imperative Sprache zur Definition der operationalen Semantik von Modellen zielführend ist. Daraus entwickelten sich die konkreten Ziele zur Definition der Verhaltensbeschreibung in MOF, die Umsetzung einer Ausführungsumgebung für diese Modelle und die Anwendung dieser Technologie in Hinblick auf die Verbesserung während der Softwareentwicklung - zum einen durch die dynamische Analyse des Verhaltens (Thema von Michael Soden, ebenfalls Assoziierter im METRIK Graduiertenkolleg) und zum anderen durch die Verwendung der Verhaltensbeschreibung zum Testen der zu entwickelten Software, was Ziel dieser Promotion ist.

Ansatz und Ergebnisse

Eine erste Umsetzung der neuen Metamodellierungssprache und eines Frameworks zur Ausführung von Modellen ist vollbracht. Um eine breitere Öffentlichkeit für die Sprache zu erhalten und in Kontakt mit internationalen Wissenschaftlern zu treten, wurde das Framework als Open Source Projekt in der Eclipse community veröffentlicht. Eine Vielzahl von Reaktionen zeigt, dass ein gesteigertes Interesse an diesem Thema vorhanden ist.

Erste Seiten der Promotionsschrift über den gemeinsamen Teil sind bereits entstanden und mit dem Betreuer Prof. Joachim Fischer diskutiert.

Weiteres Vorgehen

Eine tief greifende Analyse über bestehende Testtechniken muss als Grundlage für den Hauptteil dieser Arbeit erfolgen, um herauszuarbeiten, wie die neu geschaffene Sprache und deren Werkzeuge zur Verbesserung des Softwaretestens beitragen können.

Durch die Integration weiterer Sprachmittel zum Definieren von Testfällen (Bedingungen, Prä- und Postampel, Erwartungen, etc.) wird eine allgemeine Grundlage geschaffen, für sämtliche Sprachen adhoc Testfälle zu definieren.

Dabei wird untersucht, in wie weit die klassische Schnittstelle zwischen dem zu testenden System (auch Produkt genannt) und dem Modell transparenter werden kann, indem Softwarekomponenten fließend zwischen der Modell- und der Produktwelt ausgetauscht werden können. Weiterführend muss bei zyklischer Entwicklung der Aufwand zum Anpassen von Testfällen reduziert werden, was durch eine Verhaltensbeschreibung in Modellen erst ermöglicht wird.

Diese Art von Tests sind dem Integrations- bzw. Systemtest zuzuordnen. Es ist noch genau herauszuarbeiten, welche Fehlerarten mit den so gewonnenen Testfällen erkannt werden können.

Zusammenarbeit nnerhalb des Graduiertenkollegs

Durch das gegenseitige Vorstellen von Themen und Neuerungen im wöchentlichen Forschungsseminar zwischen den Teilnehmern des Graduiertenkollegs und den Mitarbeitern des Lehrstuhls von Prof. Fischer findet ein reger Austausch statt. Dieser führt dazu, Anregungen aus anderen Projekten und Arbeiten aufzunehmen und in die Arbeit mit einfließen zu lassen.

Aktivitäten

Teilnahme am 5. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Mai 2009.

Teilnahme und Vortrag bei der ECMDA-FA 2009 - 5th European Conference on Model-Driven Architecture Foundations and Applications, Enschede, Niederlande, Juni 2009.

Teilnahme am 6. METRIK Evaluierungsworkshop, Groß Dölln, Nov. 2009.

Gastwissenschaftler

PROF. JANNYS IOANNIDES, University of Athens, Gastvortrag bei „100 Jahre Innovation aus Adlershof, Februar 2009.

PROF. DR. ANNIKA HINZE, University of Waikato, externe Gutachterin, Vortrag: *The ins and outs of context-aware systems*, Evaluierungs-Workshop, Mai 2009.

PROF. DR. INA SCHIEFERDECKER, Technische Universität Berlin, externe Gutachterin, Vortrag: *Model-Based Quality Engineering*, Evaluierungs-Workshop, Mai 2009

PROF. DR.-ING. HABIL. ANDREAS MITSCHELE-THIEL, Technische Universität Ilmenau, externer Gutachter, Vortrag: *International Graduate School on Mobile Communications at Ilmenau University of Technology - Research Focus and Selected Projects*, Evaluierungs-Workshop, November 2009.

DR. FLORIAN PROBST, Researcher SAP Research CEC Darmstadt, externer Gutachter, Vortrag: *SoKNOS - Service-oriented Architectures Supporting Networks of Public Securit*, Evaluierungs-Workshop, November 2009.

Veröffentlichungen

ANDREAS DITTRICH, FELIX SALFNER: *Experimental Dependability Evaluation of Decentralized Service Discovery in Unreliable Networks*, 15th IEEE Workshop on Dependable Parallel, Distributed and Network-Centric Systems (DPDNS2010), Atlanta, Georgia, USA, 04/2010.

STEPHAN WEIBLEDER: *Simulated Satisfaction of Coverage Criteria on UML State Machines*, Third International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST), Paris, France, 04/2010.

STEPHAN WEIBLEDER: *Static and Dynamic Boundary Value Analysis*. MBEES'10: Model-Based Development of Embedded Systems, Schloss Dagstuhl, Germany, 02/2010.

DEHLA SOKENOU, STEPHAN WEIBLEDER: *ParTeG - Integrating Model-Based Testing and Model Transformations*, Software Engineering 2010, Paderborn, Germany, 02/2010.

JAN CALTA: *A Taxonomy of Adaptive Systems*, 7th European Workshop on Multi-Agent Systems (EUMAS 2009), Ayia Napa, Zypern, Dezember 2009.

JAN CALTA, MIROSLAW MALEK: *Formal Analysis of Fault Recovery in Self-Organizing Systems*. In Proceedings of the 8th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC 2009), Chengdu, China, December 2009. (akzeptiert)

STEPHAN WEIBLEDER, DEHLA SOKENOU: *ParTeG - A Model-Based Testing Tool*, Gesellschaft für Informatik - Group Test And Verification (TAV), 29. Treffen: Testmanagement Meets MBT, Stralsund, Germany, 11/2009.

DIRK FAHLAND, JAN MENDLING, HAJO A. REIJERS, BARBARA WEBER, MATTHIAS WEIDLICH, STEFAN ZUGAL: *Imperative versus Declarative Process Modeling Languages-An Empirical Research Agenda*, 11/2009.

KEVIN FLEMING, MATTEO PICOZZI, CLAUS MILKEREIT, FRANK KÜHNLENZ, BJÖRN LICHTBLAU, JOACHIM FISCHER, C. ZULFIKAR, O. OZEL: *The Self-Organising Seismic Early Warning Information System (SOSEWIN)*. Seismological Research Letters, Volume 80, 750 – 766, September/Oktober 2009, doi:10.1785/gssrl.80.5.750. (akzeptiert)

ARTIN AVANES, JOHANN-CHRISTOPH FREYTAG: *Flexible Failure Handling for Cooperative Processes in Distributed Systems*. The 5th IEEE Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, (CollaborateCom), November 2009. (To appear)

TOBIAS GOLDSCHMIDT, ANDREAS DITTRICH, MIROSLAV MALEK: *Quantifying Criticality of Dependability-Related IT Organization Processes in CobiT*. In Proceedings of the IEEE 15th Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing (PRDC 09), Shang-Hai, China, November 2009. (akzeptiert)

STEPHAN WEIBLEDER: *Influencing Factors in Model-Based Testing with UML State Machines: Report on an Industrial Cooperation*. Models (12th International Conference on Model Driven Engineering – Languages and Systems), Denver, Colorado, 10/2009.

SIAMAK HASCHEMI: *Model Transformations to Satisfy All-Configurations-Transitions on Statecharts* (10 Seiten), Model-Driven Engineering, Verification and Validation (MoDeVVA 2009), Denver, Colorado, USA, 10/2009.

MARKUS HERRMANNSDÖRFER, DANIEL RATIU UND GUIDO WACHSMUTH: *Language Evolution in Practice: The History of GMF*. SLE 2009, Denver, Colorado, USA.

KLAUS AHRENS, INGMAR EVELSLAGE, JOACHIM FISCHER, FRANK KÜHNLENZ, DORIAN WEBER: *The challenges of using SDL for the development of wireless sensor networks*, In: 14th System Design Languages Forum, Springer Berlin/Heidelberg, Bochum, Germany, 2009. (akzeptiert)

ANDREAS BLUNK, JOACHIM FISCHER, DANIEL A. SADILEK: *Modelling a Debugger for an Imperative Voice Control Language* (16 Seiten), SDL '09: 14th System Design Languages Forum, 2009.

FALKO THEISSELMANN, DORIS DRANSCH, JOACHIM FISCHER: *Model-driven Development of Environmental Modeling Languages: Language and Model Coupling*. Proceedings of the 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection, Berlin, 2009.

DIRK FAHLAND, CÉDRIC FAVRE, BARBARA JOBSTMANN, JANA KOEHLER, NIELS LOHMANN, HAGEN VÖLZER, KARSTEN WOLF: *Instantaneous Soundness Checking of Industrial Business Process Models*. In Umeshwar Dayal, Johann Eder, Jana Koehler, Hajo Reijers, editors, Business Process Management, 7th International Conference, BPM 2009, Ulm, Germany,

September 8-10, 2009, Proceedings, volume 5701 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, September 2009.

DIRK FAHLAND, JAN MENDLING, HAJO A. REIJERS, BARBARA WEBER, MATTHIAS WEIDLICH, STEFAN ZUGAL: *Declarative versus Imperative Process Modeling Languages: The Issue of Maintainability*. Int'l. Workshop on Empirical Research in Business Process Management (ER-BPM '09) in conjunction with BPM 2009, Ulm, Germany, September 8-10, 2009.

SIAMAK HASCHEMI, ARIF WIDER: *An Extensible Language for Service Dependency Management* (4 Seiten). SEAA 2009: 35th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, 2009.

FALKO THEISSELMANN, DORIS DRANSCH, SÖREN HAUBROCK: *Service-oriented Architecture for Environmental Modelling - The Case of a Distributed Dike Breach Information System*. IMACS-MODSIM 18th World Congress on Modelling and Simulation, Cairns, July 13-17, 2009.

SÖREN HAUBROCK, FALKO THEISSELMANN, HENRY ROTZOLL, DORIS DRANSCH: *Web-based management of simulation models - concepts, technologies and the users' needs*. IMACS-MODSIM 18th World Congress on Modelling and Simulation, Cairns, July 13-17, 2009.

DANIEL A. SADILEK, GUIDO WACHSMUTH: *Using Grammarware Languages To Define Operational Semantics of Modelled Languages* (9 Seiten), TOOLS '09: 47th International Conference Objects, Models, Components, Patterns, 2009.

DEHLA SOKENOU, STEPHAN WEIBLEDER: *Combining Sequences and State Machines to Build Complex Test Cases*. MoTiP: Workshop on Model-Based Testing in Practice, co-located with the 5th ECMDA, Enschede, The Netherlands, 06/2009.

DIRK FAHLAND: *Oclets - scenario-based modeling with Petri nets*. In Giuliana Franceschinis, Karsten Wolf, editors, Proceedings of the 30th International Conference on Petri Nets and Other Models Of Concurrency, 22-26 May 2009, volume 5606 of Lecture Notes in Computer Science, Paris, France, pages 223-242, Springer-Verlag, June 2009.

DIRK FAHLAND, DANIEL LÜBKE, JAN MENDLING, HAJO REIJERS, BARBARA WEBER, MATTHIAS WEIDLICH, STEFAN ZUGAL: *Declarative versus Imperative Process Modeling Languages: The Issue of Understandability*. In John Krogstie, Terry Halpin, Erik Proper, editors, Proceedings of the 14th International Conference on Exploring Modeling Methods in Systems Analysis and Design (EMMSAD'09), volume 31 of Lecture Notes in Business Information Processing, Amsterdam, The Netherlands, Springer-Verlag, June 2009.

JOANNA GEIBIG: *Availability of Data in Locality-Aware Unreliable Networks*. In Proceedings of Second International Conference on Advances in Mesh Networks MESH2009, Athens, Greece, June 2009.

JENS NACHTIGALL, ANATOLIJ ZUBOW, ROBERT SOMBRUTZKI, MATTEO PICOZZI: *The Challenges of using Wireless Mesh Networks for Earthquake Early Warning Systems*. In: MESH '09: Proceedings of the Second International Conference on Advances in Mesh Networks. 18-23 June 2009, Athens, Greece, 2009.

SIAMAK HASCHEMI, DANIEL A. SADILEK: *Modelling Dynamic Component Dependencies* (4 Seiten + Poster). 3rd International Conference on Fundamentals of Software Engineering (FSEN), Kish Island, Iran, 04/2009.

STEPHAN WEIBLEDER: *Semantic-Preserving Test Model Transformations for Interchangeable Coverage Criteria*. MBEES'09: Model-Based Development of Embedded Systems, Schloss Dagstuhl, Germany, 04/2009.

GUIDO WACHSMUTH: *A Formal Way from Text to Code Templates*. FASE 2009, York, Vereinigtes Königreich.

ANDREAS REIMER, DORIS DRANSCH: *Information Aggregation: Automated Construction of Chorematic Diagrams*. workshop (GeoViz & The Digital City) 2009, March, Hamburg, Germany, 2009.

JARUNGJIT PARNJAI, CHRISTIAN STAHL, KARSTEN WOLF: *A finite representation of all substitutable services and its applications*. In Kopp, O., Lohmann, N., eds.: Proceedings of the 1st Central-European Workshop on Services and their Composition, ZEUS 2009, Stuttgart, Germany, March 2–3, 2009. Volume 438 of CEUR Workshop Proceedings, CEURWS.org, 29–34, 2009.

JOACHIM FISCHER, FRANK KÜHNLENZ, KLAUS AHRENS, INGMAR EVESLAGE: *Model-based Development of Self-organizing Earthquake Early Warning Systems*. In: I. Troch, F. Breitenacker, eds., Proceedings MathMod Vienna 2009, Vienna University of Technology, pp. CD. 2009.

FRANK KÜHNLENZ, FALKO THEISSELMANN, JOACHIM FISCHER: *Model-driven Engineering for Transparent Environmental Modeling and Simulation*. Proceedings MATHMOD 09 Vienna, I. Troch, F. Breitenacker (eds.), 2009.

JOACHIM FISCHER, FRANK KÜHNLENZ, INGMAR EVESLAGE, KLAUS AHRENS, BJÖRN LICHTBLAU, JENS NACHTIGALL, CLAUS MILKEREIT, KEVIN FLEMING, MATTEO PICOZZI: *Deliverable D4.26 Network Optimisation simulation for combined standard and low cost seismic network integration. Proposal for network optimisation*. Technical report, Department of Computer Science, Humboldt-Universität zu Berlin and Section 2.1, GFZ Potsdam, 2009.

JOACHIM FISCHER, FRANK KÜHNLENZ, INGMAR EVESLAGE, KLAUS AHRENS, BJÖRN LICHTBLAU, JENS NACHTIGALL, CLAUS MILKEREIT, KEVIN FLEMING, MATTEO PICOZZI: *Deliverable D4.23 Installation and Operation Guidelines*. Technical report, Department of Computer Science, Humboldt-Universität zu Berlin and Section 2.1, GFZ Potsdam, 2009.

JOACHIM FISCHER, FRANK KÜHNLENZ, INGMAR EVESLAGE, KLAUS AHRENS, JENS NACHTIGALL, BJÖRN LICHTBLAU, C. MILKEREIT, KEVIN FLEMING, MATTEO PICOZZI: *Deliverable D4.22 Middleware for Geographical Applications*. Technical report, Department of Computer Science, Humboldt-Universität zu Berlin and Section 2.1, GFZ Potsdam, 2009.

ARTIN AVANES, DIRK FAHLAND, JOANNA GEIBIG, SIAMAK HASCHEMI, SEBASTIAN HEGLMEIER, DANIEL A. SADILEK, FALKO THEISSELMANN, GUIDO WACHSMUTH, STEPHAN WEIBLEDER, (HRSG.): *Dagstuhl 2009 - Proceedings des gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs und Forschungskollegs*. Gito-Verlag, 2009.

ARTIN AVANES: *Scalable and Robust Process Execution in Self-Organizing Information Systems*. In: Dagstuhl 2009 - Proceedings des gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs und Forschungskollegs, Gito-Verlag, 2009.

STEPHAN WEIBLEDER: *Test Models and Coverage Criteria for Automatic Model-Based Test Generation from UML State Machines*. In: Dagstuhl 2009 - Proceedings des

gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs und Forschungskollegs, Gito-Verlag, 2009.

SIAMAK HASCHEMI: *Component Development and Deployment in Self-Organizing Wireless Networks* (1 Seite), In: Dagstuhl 2009 - Proceedings des gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs und Forschungskollegs, Gito-Verlag, 2009.

JAN CALTA: *Formal Analysis of Fault Tolerance in Self-Organizing Systems*. In: Dagstuhl 2009 - Proceedings des gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs und Forschungskollegs, Gito-Verlag, 2009.

ANDREAS REIMER: *Analysis & Construction of Chorematic Diagrams*. In: Dagstuhl 2009 - Proceedings des gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs und Forschungskollegs, Gito-Verlag, 2009.

ARIF WIDER: *Applying Model-Driven Technologies in the Development of Optical Nanostructures* (2 Seiten). In: Dagstuhl 2009 - Proceedings des gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs und Forschungskollegs, Gito-Verlag, 2009.

JARUNGJIT PARNJAI: *Exchangeability of Services in Self-Organizing Systems*. In: Dagstuhl 2009 - Proceedings des gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs und Forschungskollegs, Gito-Verlag, 2009.

JOANNE GEIBIG: *Availability of Data in Locality-Aware Unreliable Networks*. In: Dagstuhl 2009 - Proceedings des gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs und Forschungskollegs, Gito-Verlag, 2009.

DIRK FAHLAND: *Modeling and Analyzing adaptive Processes with Scenarios*. In: Dagstuhl 2009 - Proceedings des gemeinsamen Workshops der Informatik-Graduiertenkollegs und Forschungskollegs, Gito-Verlag, 2009.

JOACHIM FISCHER, FRANK KÜHNLENZ, INGMAR EVESLAGE, KLAUS AHRENS, JENS NACHTIGALL, BJÖRN LICHTBLAU, SEBASTIAN HEGLMEIER, C. MILKERIT, KEVIN FLEMING, MATTEO PICOZZI: *Deliverable D4.20 Network Optimisation simulation for combined standard and low cost seismic network integration. Proposal for network optimization*. Technical report, Department of Computer Science, Humboldt-Universität zu Berlin and Section 2.1, GFZ Potsdam, 2009.

DIRK FAHLAND: A scenario is a behavioral view - Orchestrating services by scenario integration. In Oliver Kopp, Niels Lohmann, editors, *Services and their Composition*, 1st Central-European Workshop on, ZEUS 2009, Stuttgart, Germany, March 2-3, 2009, volume 438 of CEUR Workshop Proceedings, pages 8-14, CEUR-WS.org, March 2009.

WIL M. P. VAN DER AALST, NIELS LOHMANN, PETER MASSUTHE, CHRISTIAN STAHL, KARSTEN WOLF: *Multiparty Contracts: Agreeing and Implementing Interorganizational Processes*. The Computer Journal, 2010.

CHRISTIAN STAHL, KARSTEN WOLF: *Deciding Service Composition and Substitutability Using Extended Operating Guidelines*. Data Knowl. Eng., 2009. Note: Accepted for publication.

CHRISTIAN STAHL, PETER MASSUTHE, JAN BRETSCHNEIDER: *Deciding Substitutability of Services with Operating Guidelines*. Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency II, Special Issue on Concurrency in Process-Aware Information Systems, 2(5460): 172-191, March 2009.

KEES VAN HEE, ERIC VERBEEK, CHRISTIAN STAHL, NATALIA SIDOROVA: *A Framework for Linking and Pricing No-Cure-No-Pay Services*. Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency II, Special Issue on Concurrency in Process-Aware Information Systems, 2: 192-207, March 2009.

NIELS LOHMANN, H.M.W. VERBEEK, REMCO DIJKMAN: *Petri Net transformations for business processes – A Survey*. LNCS ToPNoC, I I(5460):46-63, March 2009. Special Issue on Concurrency in Process-Aware Information Systems.

DIRK FAHLAND, CÉDRIC FAVRE, BARBARA JOBSTMANN, JANA KOEHLER, NIELS LOHMANN, HAGEN VÖLZER, KARSTEN WOLF: *Instantaneous soundness checking of industrial business process models*. In Umeshwar Dayal, Johann Eder, Jana Koehler, Hajo Reijers, editors, Business Process Management, 7th International Conference, BPM 2009, Ulm, Germany, September 8-10, 2009, Proceedings, volume 5701 of Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, September 2009.

KARSTEN WOLF, CHRISTIAN STAHL, JANINE OTT, ROBERT DANITZ: *Verifying Livelock Freedom in an SOA Scenario*. In Stephen Edwards, Walter Vogler, editors, Proceedings of the Ninth International Conference on Application of Concurrency to System Design (ACSD'09), Augsburg, Germany, IEEE Computer Society, July 2009.

NIELS LOHMANN, KARSTEN WOLF: *Petrifying operating guidelines for services*. In Stephen Edwards, Walter Vogler, editors, Ninth International Conference on Application of Concurrency to System Design (ACSD 2009), 1–3 July 2009, Augsburg, Germany, IEEE Computer Society, July 2009.

MICHAEL SODEN, HAJO EICHLER: *Temporal Extensions of OCL Revisited*. In: Proceedings of ECMDA '09, Twente, Netherlands 2009.

MICHAEL SODEN, HAJO EICHLER: *Towards a Model Execution Framework for Eclipse*. To appear in: Proceedings of The First Workshop on Behavioural Modelling in Model-Driven Architecture, Twente, Netherlands 2009.

KATHRIN POSER, HEIDI KREIBICH, DORIS DRANSCH: *Assessing volunteered geographic information for rapid flood damage estimation*. In: Proceedings of the 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science: Advances in GIScience, 2009.

KATHRIN KASCHNER, NIELS LOHMANN: *Automatic test case generation for interacting services*. In George Feuerlicht, Winfried Lamersdorf, editors, Service-Oriented Computing – ICSOC 2008, 6th International Conference, Sydney, Australia, December 1–5, 2008, Workshops Proceedings, volume 5472 of Lecture Notes in Computer Science, pages 66–78, Springer-Verlag, 2009.

ARJAN J. MOOIJ, CHRISTIAN STAHL, MARC VOORHOEVE: *Relating fair testing and accordancy for service substitutability*. Journal of Logic and Algebraic Programming. Submitted: 29-06-09

KATHRIN POSER, DORIS DRANSCH: *Volunteered Geographic Information for Disaster Management with Application to Rapid Flood Damage Estimation*. Geomatica. Eingereicht am 01.06.2009.

WIL M. P. VAN DER AALST, ARJAN J. MOOIJ, CHRISTIAN STAHL, KARSTEN WOLF: *Service Interaction: Patterns, Formalization, and Analysis*. In Marco Bernardo, Luca Padovani, Gianluigi Zavattaro, editors, Formal Methods for Web Services (SFM 2009), volume 5569, pages 42–88, Springer-Verlag, April 2009.

AHMED AWAD, GERO DECKER, NIELS LOHMANN: *Diagnosing and repairing data anomalies in process models*. BPT Technical Report 03-2009, Hasso-Plattner-Institute, Potsdam, Germany, March 2009.

KATHRIN KASCHNER, NIELS LOHMANN: *Does my service have unspecified behavior?*. In Oliver Kopp, Niels Lohmann, editors, 1st Central-European Workshop on Services and their Composition, ZEUS 2009, Stuttgart, Germany, March 2–3, 2009, Proceedings, volume 438 of CEUR Workshop Proceedings, pages 22–28, CEUR-WS.org, March 2009.

NIELS LOHMANN, KARSTEN WOLF: *Realizability is controllability*. In Oliver Kopp, Niels Lohmann, editors, 1st Central-European Workshop on Services and their Composition, ZEUS 2009, Stuttgart, Germany, March 2–3, 2009, Proceedings, volume 438 of CEUR Workshop Proceedings, pages 61–67, CEUR-WS.org, March 2009.

OLIVER KOPP, NIELS LOHMANN, EDITORS: Proceedings of the 1st Central-European Workshop on Services and their Composition, ZEUS 2009, Stuttgart, Germany, March 2–3, 2009, volume 438 of CEUR Workshop Proceedings, CEUR-WS.org, March 2009.