CARL VON OSSIETZKY universität OLDENBURG

Fakultät II – Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften
Department für Informatik

A Model for Adaptive Applications on the Semantic Web

Dissertation for the degree
Doctor of Engineering
(Doktor der Ingenieurwissenschaften)

of

Dipl.-Inf. Ammar Memari

Oldenburger Schriften zur Wirtschaftsinformatik

Band 16

Ammar Memari

A Model for Adaptive Applications on the Semantic Web

Shaker Verlag
Aachen 2015

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

Zugl.: Oldenburg, Univ., Diss., 2014

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3384-7
ISSN 1863-8627

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

Acknowledgement

I would like to express my special appreciation and thanks to my advisor Prof. Dr. Jorge Marx Gómez for his invaluable guidance, patience and his continuous faith in my abilities. I would also like to thank Prof. Dr. Andreas Winter for his support during much of this research as my second supervisor.

This work would not have been achievable if not for the support of the German Academic Exchange Service (DAAD) who had provided me with a full scholarship for three and a half years.

While working towards my degree, I was also an employee in the department of Embedded Hardware/-Software Systems (EHS) and worked with the Smart Resource Integration (SRI) group at OFFIS Institute. I thank them, and in particular Prof. Dr. Wolfgang Nebel, for providing me with an opportunity to explore a new domain and develop my scientific horizon.

Additionally, I would like to thank Prof. Dr. Jürgen Sauer and Dr. André Bolles for serving as my committee members, providing important feedback and perspective, and letting my defense be an enjoyable event.

I acknowledge with the deepest gratitude the role played by my colleagues both at the VLBA department and at OFFIS SRI group. They have provided valuable feedback, guidance, inspiration, and the cheerful unforgettable moments. Thank you Dr. Nico Brehm, Dr. Daniel Süpke, Prof. Dr. Liane Haak, Dr. Jan Aalmink, Benjamin Wagner vom Berg, and Dr. Gunnar Schomaker especially for your mentoring, guidance, and thought-provoking discussions, Neil Ross Paterson, Alaa Memari, Alexander Zeißig, and Alexander Borgerding for taking time out of your busy lives to proof-read this document.

Besides colleagues at the university and OFFIS, it has been a pleasure to work with the students doing their bachelors' and masters' theses as well as those participating in the project group that I had supervised.

My mother and father have always believed in me, which has helped me get to where I am now. Thank you for all the sacrifices you have made, and for buying my first computer back in 1999; it was expensive by then and I hope this dissertation goes some way to repaying your investment!

My brother Alaa has been a great friend and supporter, he was always there for me even during what has sometimes been a difficult journey. My little brother Issa, and through his enthusiasm for studying computer science, has inspired me to go further.

Most importantly, I want to thank my beautiful wife Leen for her love and understanding. She never complained when I had to spend weekends and vacation days working on this dissertation, always offered words of encouragement when I was feeling down, spent sleepless nights backing me up, and somehow always found a simple solution to any problem I proposed.

Finally, but not least, my sincere thanks to my many friends for their emotional support, patience, and understanding. You were all fantastic.

Abstract

Modern applications need to process and be aware of much more than direct input. Indirect input includes information about the application user, the surrounding context, and the available resources as examples.

User-sensitive applications deserve special attention in today's information industry due to massive amounts of information made available hourly for individuals. Filtering and recommendation of pieces of information are therefore "common practices" rather than "additional features".

Context-aware applications are growing rapidly in the environment of ubiquitous and mobile computing. More and more applications are able to sense and adapt to screen size, connection speed, battery status, and possible input methods of the device on the one hand, and to time of day, current weather, and traffic conditions on the other.

Resource-critical conditions are affecting a growing number of applications not only on mobile devices but also within data centers. Energy, bandwidth, memory, and storage restrictions apply to applications that provide services. Sensitivity of the application itself to availability of these resources is a welcomed and encouraged feature.

Adaptive Hypermedia, Adaptive Computing, Context-aware applications, User-oriented applications, Recommendation Systems, Collaborative Filtering applications, Personalized Information Retrieval, and many other similar techniques have been used to tackle the above-mentioned problems. Even though they have a lot in common, they still live on separate islands. Each of them could have had benefits from advances made in the others, had a common ground existed.

This common ground, in order for it to guarantee a healthy collaboration, needs to clearly set common terms and concepts, and then use them to define the different categories and classify applications onto them. A formal version of this process would require a common metamodel representing the terms, a reference model representing their possible interactions, and transformations of the two which allow the models to mutate to represent existing and emerging systems.

Moreover, the common ground should provide interoperability on the *data* level. This calls for a metadata technology that can guarantee a data representation understandable by the different applications. Ontologies promise to deliver this feature, and they, together with the rest of the Semantic Web stack of technologies have proven useful for such tasks.

In order to fulfill these requirements, this work sheds light on adaptive applications on the Semantic Web following a design science research methodology. It provides a rough-sets-theory-based definition for adaptive applications and other neighboring categories, in addition to a framework composed of a UML metamodel, a reference model, and their transformations.

The models are designed in accordance with best practices extracted from existing models, and guided by relevance to problems of existing systems running on the ground. Design patterns for approaching some problems are defined as parts of the reference model.

Quality of the resulting artifacts is assured by prototyping, where the models are implemented and evaluated in two distinct prototypes. The first prototype serves as a proof-of-concept for parts of the

models, and the second poses as a life-size implementation and case study.

The result is a framework for developing adaptive applications that utilize Semantic Web technologies. The framework accounts for the business environment and produces viable applications which account for its risks and opportunities. It provides solutions for aligning the adaptive functionality with the corporate information system and organizational infrastructure.

Zusammenfassung

Moderne Anwendungen müssen heute sehr viel mehr verarbeiten und berücksichtigen als direkte Eingaben. Weitere, indirekte Eingaben enthalten beispielsweise Informationen über den Nutzer der Anwendung, den umgebenden Kontext und verfügbare Ressourcen.

Auf Grund der gewaltigen Menge an Daten, die dem Einzelnen verfügbar gemacht werden, verdienen benutzersensitive Anwendungen besondere Beachtung. Das Filtern und Vorschlagen speziefischer Informationen ist heute übliche Praxis und nicht mehr als Zusatzfunktion zu bezeichnen.

Im Umfeld des ubiquitären und mobilen Computings wächst die Zahl kontextsensitiver Anwendungen rapide. Immer mehr Anwendungen sind in der Lage sich an verschiedene Displaygrößen, Bandbreiten, Akkuladungen und Eingabemethoden der Endgeräte sowie auch an die Tageszeit, das aktuelle Wetter und Verkehrsbedingungen anzupassen.

Ressourcen-kritische Bedingungen tangieren eine wachsende Zahl von Anwendungen, nicht nur auf mobilen Geräten, auch in Rechenzentren. Energie-, Bandbreiten-, Speicher- und Kapazitätsbeschränkungen betreffen Anwendungen, die Dienste anbieten. Die Fähigkeit solcher Anwendungen auf die Verfügbarkeit dieser Ressourcen zu reagieren ist eine willkommene und auch forcierte Funktionalität.

Adaptive Hypermedia, Adaptive Computing, kontextsensitive Anwendungen, benutzerorientierte Anwendungen, Empfehlungssysteme, personalisiertes Information Retrieval und viele ähnliche Techniken wurden genutzt, um die genannten Probleme zu lösen. Obwohl sie viel gemeinsam haben, stammen sie doch aus verschiedenen Bereichen. Jede könnte Vorteile aus den Fortschritten der anderen ziehen, hätte es eine gemeinsame Plattform gegeben.

Offensichtlich muss diese Plattform, um einen gesunden Schulterschluss zu garantieren, gemeinsame Begriffe und Konzepte festlegen, und diese dann verwenden, um Kategorien zu definieren und Anwendungen diesen zuzuordnen.

Eine formale Variante dieser Prozesse würde ein gemeinsames Metamodell, das die Begriffe abbildet, ein Referenzmodell, das die Interaktionen abbildet, sowie Transformationen, die es den Modellen ermöglicht existierende und neu entstehende Systeme abzubilden, erfordern.

Ferner sollte die gemeinsame Plattform Interoperabilität auf der Datenebene ermöglichen. Dies erfordert eine Metadaten-Technologie, die garantiert, dass die Datenrepräsentation von den verschiedenen Anwendungen verstanden wird. Ontologien genügen diesen Anforderungen und haben sich, zusammen mit dem Bündel an Semantic Web Technologien, als tauglich für diese Aufgabe erwiesen.

Um diese Anforderungen zu erfüllen richtet diese Arbeit ihren Fokus auf adaptive Anwendungen im Sematic Web. Sie folgt dabei dem Entwurfs- und Entwicklungsparadigma des Design Science. Sie liefert eine Rough-Sets-Theorie gestützte Definition für adaptive Anwendungen und benachbarte Kategorien in Ergänzung zu einem Framework bestehend aus einem UML-Metamodell, einem Referenzmodell und ihren Transformationen.

Die Modelle wurden in Übereinstimmung mit der guten fachlichen Praxis aus existierenden Modellen extrahiert und durch die Relevanz für reale laufende Systeme vor Ort geleitet. Als Teil des Referenzmodells werden Entwurfsmuster definiert, um sich einigen Problemen anzunähern. Die Qualität der

resultierenden Artefakte wird durch das Erstellen von Prototypen gesichert, wobei die Modelle in zwei unterschiedlichen Prototypen implementiert werden. Der erste Prototyp dient als Machbarkeitsnachweis für Teile des Modells, der Zweite stellt eine lebensgroße Implementierung und eine Fallstudie dar.

Das Ergebnis ist ein Framework zur Entwicklung von adaptiven Anwendungen, die Sematic Web Technologien verwenden. Das Framework trägt den Rahmenbedingungen in der Wirtschaft Rechnung und erzeugt funktionsfähige Anwendungen, die deren Risiken und Möglichkeiten nachweisen. Es stellt Lösungen bereit, um adaptive Funktionalität mit dem Informationssystem der Unternehmung und der organisatorischen Infrastruktur zu verbinden.

Table of Contents