

Diss. ETH No. 20565

Lightweight Informed Adaptation

*Methods and Tools for Responsive Design and Development of
Very Flexible, Highly Adaptive Web Interfaces*

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

MICHAEL NEBELING

Dipl.-Inf., Universität Ulm
born November 16, 1982
German citizen

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Moira C. Norrie, examiner
Prof. Dr. Robert C. Miller, co-examiner
Dr. Fabio Paternò, co-examiner

2012

Abstract

Given the increased range and growing diversity of new devices in terms of, not only screen size and resolution, but also supported input and output modalities, it is becoming increasingly difficult for application developers in general and web developers in particular to create user interfaces that cater for the large variety of viewing and interaction contexts. In this thesis, we propose *lightweight informed adaptation* as a new approach that consists in applying a set of novel context-aware web interface development methods and tools designed with a specific focus on lightweight mechanisms and crowdsourcing techniques. The goal is to support the design and development of very flexible, highly adaptive web interfaces that can dynamically evolve to cater for a much wider range of device characteristics and user preferences and thus support new adaptation requirements as they emerge. This thesis provides three major contributions. First, we present crowdsourced adaptation as a new method that involves end-users in the adaptation process by allowing them to contribute new web site adaptations for particular use contexts so that existing web interfaces can adapt to additional viewing and interaction contexts not considered in the original design. Second, we propose language-integrated context-awareness to support the development of adaptive web applications with context-aware concepts and multi-dimensional adaptivity mechanisms at the implementation level. Finally, we develop a set of adaptivity metrics for assessing the ability of web interfaces to adapt to different viewing conditions and guiding developers in the design of new adaptations.

We begin by exploring current adaptation scenarios and the required forms of adaptation specifically for large screens and multi-touch surfaces. These have so far received relatively little attention in research and web design practice, where the focus has instead tended to be on desktop-to-mobile migration scenarios and therefore the adaptation to smaller screen sizes. In a first experiment, we develop an adaptive layout template based on new features of HTML5 and CSS3 with support for adaptive text and media, multi-column layout and automatic content pagination. When applied to an example news web site and tested in widescreen environments, our adaptive layout solutions provided a better user experience in terms of reading comfort and efficiency compared to the original design. In a second step, we experiment with multiple adaptation levels for an existing web interface to support basic touch enhancements and richer multi-touch interactions. Based on this experiment, we develop a lightweight web toolkit that adopts modern web programming paradigms and extends them to supporting multi-touch interaction *within* web applications. We evaluate the framework along a set of applications for picture tagging, editing and publishing tasks known from modern Web 2.0 sites such as Facebook and Flickr that we created as examples of a new generation of multi-touch web interfaces.

To support developers in catering for a much wider range of use contexts to

which applications can adapt, we have investigated a crowdsourcing approach and developed a new method of complementing developer-specified adaptations with end-user contributions. Based on a scalable architecture and platform for sharing adapted web interfaces with other users in matching contexts, the thesis explores both explicit and implicit crowdsourcing techniques for two implementations of the approach. The first technique is based on direct manipulation tools designed for end-users to adapt the rendered interface directly in the browser, while the second introduces new input tracking methods to detect and locate potential design issues based on crowd performance data, which can then also be used to specify the adaptation rules and counteract accordingly. For the evaluation of our crowdsourced adaptation approach, we have again focused on the two main adaptation scenarios explored in the thesis, i.e. large display and touch interaction contexts. We present the results of both technical and user evaluations when applying the new crowdsourcing techniques to two existing web sites and synthesising the results of larger groups of users.

Our investigations have used a two-step approach to the technical challenges of adapting web interfaces to different contexts of use—first using only native web technologies to explore current support and the limitations of this approach and then developing complementary techniques and flexible context-adaptive mechanisms to alleviate the shortcomings and extend the capabilities. As a result, we have found that solutions, which previously required complex models and interface generation approaches, can now be achieved using more lightweight, client-side adaptation techniques based on native browser support. However, many of the new techniques are also more specialised and therefore often limited in their scope and support for more general aspects of context-awareness. We propose language-integrated context-awareness to incorporate context-aware concepts and adaptivity mechanisms with existing languages so that adaptive behaviour can dynamically evolve to enable new adaptation scenarios. The thesis presents a formalisation of the concepts and models behind the language components as well as a proof-of-concept implementation. Further, the use of such an extended context-aware language is demonstrated along two examples that address the current situation of many web site providers. The first uses the language constructs to systematically extend an existing web site for new adaptation scenarios without the need to modify any existing parts of the application. In the second example, we investigate how separate desktop and mobile implementations of an existing application can be reengineered and combined into a single, context-aware web application. In addition, the thesis presents a set of developer tools with comprehensive design and run-time support for the authoring and, in particular, the testing of highly adaptive web applications, a requirement that has not been addressed so far.

Finally, based on an empirical study of the status-quo of common web site layouts and how they adapt at larger viewing sizes, we identify the key design problems and develop a set of metrics and a visual tool for web developers to assess and improve the presentation of content with respect to different viewing conditions. We show how the metrics can be used to detect design problems and inform the design of new adaptive features, as well as conducting an analysis of our solutions based on lightweight informed adaptation in terms of the metrics.

The thesis concludes with a comparison and discussion of the potential of the proposed crowdsourcing and developer-driven methods and how they could be used in combination to cater for a wide variety of devices and individual user preferences.

Zusammenfassung

Software-Entwickler im Allgemeinen und Web-Entwickler im Speziellen sehen sich einer immer grösser werdenden Breite und Vielfalt an neuen Ein- und Ausgabegeräten gegenüber, die sich nicht nur im Hinblick auf die Bildschirmgrösse und -auflösung sondern auch in den unterstützten Modalitäten unterscheiden. Es wird daher immer schwieriger Benutzerschnittstellen zu erstellen, die sich an die vielen verschiedenen Darstellungs- und Interaktionskontexte anpassen können. In dieser Dissertation stellen wir einen neuen Adaptierungsansatz vor, der auf einer Reihe von kontextsensitiven Entwicklungsmethoden und -werkzeugen für Web-basierte Benutzerschnittstellen aufbaut. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Entwicklung leicht anwendbarer, durch Crowdsourcing gestützter Techniken mit dem Ziel, die Basis für die Konzeption und Realisierung von sehr flexiblen, hoch adaptiven Web-Interfaces zu schaffen, die sich dynamisch weiterentwickeln und so fortlaufend auf neue Anforderungen eingehen können. Die vorliegende Arbeit macht drei wichtige wissenschaftliche Beiträge. Zunächst präsentieren wir eine neue, auf Crowdsourcing basierte Methode, die Endanwender in den Adaptierungsprozess miteinbezieht, um bestehende Webseiten gemäss der eigenen Bedürfnisse anzupassen und so den ursprünglich angedachten Nutzungskontext individuell auszubauen. Desweiteren entwickeln wir das Konzept der Programmiersprachen gestützten Kontextsensitivität, um die Umsetzung von adaptiven Web-Anwendungen mit kontextabhängigen Konstrukten und mehrdimensionalen Adaptierungsmechanismen auf Programmiererebene zu ermöglichen. Schliesslich erarbeiten wir eine Reihe von Metriken, um Web-Interfaces im Hinblick auf ihr Anpassungsvermögen in vielen unterschiedlichen Nutzungskontexten zu untersuchen und somit Web-Entwickler bei der Adaptierung zu unterstützen.

Zu Beginn untersuchen wir aktuelle Szenarien und die erforderlichen Verfahren insbesondere zur Anpassung von existierenden Webseiten an grosse, hochauflösende Displays und Multitouch-Interaktionsgeräte. Bislang lag der Fokus der Forschung auf der Adaptierung an mobile Geräte mit eingeschränkter Peripherie. In einem ersten Experiment entwickeln wir ein funktionales Web-Layout auf Basis neuer Eigenschaften von HTML5 und CSS3, das Text und grafische Inhalte automatisch an die Geräteeigenschaften anpasst und in Abhängigkeit von der Anzeigegrösse mehrspaltig formatiert. Am Beispiel einer bekannten Nachrichten-Webseite zeigen wir auf, dass unser adaptives Layout eine angenehmere Benutzung im Hinblick auf komfortables und effizientes Lesen im Vergleich zum ursprünglichen Design gewährleistet. In einem zweiten Versuch entwerfen wir ein mehrschrittiges Anpassungsverfahren am Beispiel einer bestehenden Webseite, das sowohl einfache Korrekturen des Designs für Touch-basierte Eingabe als auch umfangreiche Erweiterungen des Interaktionsmodells für Multitouch-Unterstützung vorsieht. Dieses Experiment dient auch als Basis für ein einfach gehaltenes aber erweiterbares Web-Toolkit, das auf modernen Web-

Entwicklungsmethoden aufbaut und sie mit neuen Programmierkonzepten erweitert, um Multitouch-Funktionalitäten in Web-Anwendungen einzubinden. Wir evaluieren unser Web-Framework entlang einer Reihe von neuen Multitouch-Anwendungen für Image-Tagging und einfache Bildverarbeitung. Unsere Beispiele lehnen sich an moderne Web 2.0-Sites wie Facebook und Flickr an und geben somit Richtlinien für die kommende Generation von Multitouch-Webseiten vor.

Mit dem Ziel, die Web-Entwicklung für ein breites Spektrum an Nutzungskontexten zu vereinfachen, haben wir eine neue Methode basierend auf einem Crowdsourcing-Ansatz entwickelt, die sowohl Entwickler als auch Endanwender miteinbezieht. Aufbauend auf einer skalierbaren Web-Architektur und einer Plattform für die gemeinsame Verwendung von benutzerdefinierten Web-Interfaces in ähnlichen Nutzungskontexten stellt diese Arbeit explizite und implizite Crowdsourcing-Techniken vor. Die erste Methode erlaubt es Endanwendern Webseiten direkt im Browser mit Hilfe entsprechender Design-Werkzeuge anzupassen. Der zweite Ansatz beruht auf einem neuentwickelten Tracking-Verfahren zur Erkennung und Lokalisierung von Interaktionsproblemen. Die dadurch gewonnenen Nutzungsdaten werden anhand einfacher Metriken analysiert und dienen Web-Entwicklern somit als Basis für neue Adaptierungen. Wir haben unseren Crowdsourcing-Ansatz für die beiden, im Fokus der Arbeit stehenden Betrachtungs- und Interaktionsszenarien untersucht und präsentieren die Ergebnisse unserer Crowdsourcing-Studien für zwei bekannte Websites. Dabei umfasst unsere Auswertung sowohl technische Aspekte als auch Nutzerkriterien im Hinblick auf die Anwendung der neuen Techniken.

Um die technischen Schwierigkeiten der Adaptierung von Web-Interfaces in unterschiedlichen Nutzungskontexten systematisch anzugehen, haben wir zwei wesentliche Schritte unternommen. Zunächst haben sich unsere Experimente auf native Web-Technologien beschränkt, um die Mächtigkeit, aber auch die Grenzen dieses Ansatzes herauszuarbeiten. In einem zweiten Schritt haben wir darüber hinausgehende Techniken und flexible, kontextadaptive Mechanismen entwickelt, um das Anpassungsvermögen zu erweitern. Wir haben festgestellt, dass Lösungen, die bisher komplexe Modelle und Verfahren zur Benutzerschnittstellen-Generierung erforderlich machten, nun mit Hilfe einfacher, Client-seitiger Adaptierungstechniken auf Basis neuer Webtechnologien möglich sind. Allerdings sind viele der neuen Methoden auch viel spezialisierter und deshalb oft in ihrer Tragweite eingeschränkt. Wir haben daher kontextbezogene Konzepte und Anpassungsmechanismen entwickelt, die sich mit aktuellen Interface-Beschreibungssprachen so verbinden lassen, dass die Adaptivität in neuen Nutzungskontexten dynamisch ausgebaut werden kann. Die vorliegende Arbeit stellt eine Formalisierung der Konzepte und Modelle hinter den sprachlichen Komponenten sowie eine erste Implementierung vor. Ferner machen wir den Nutzen einer insoweit erweiterten, kontextsensitiven Sprache an zwei Beispielen deutlich, welche die aktuelle Problematik im Webbereich angehen. Im ersten Fall nutzen wir die Sprache, um eine vorhandene Website systematisch zu erweitern und so einen neuen Nutzungskontext zu unterstützen ohne die vorhandene Web-Anwendung wesentlich zu modifizieren. Im zweiten Beispiel untersuchen wir, wie separate Implementierungen einer bestehenden Anwendung für Desktop-Plattformen und mobile Geräte in einer einzigen kontextsensitiven Web-Anwendung kombiniert und integriert werden können. Darüber hinaus stellen wir eine Reihe von Entwicklungswerkzeugen mit umfangreicher Unterstützung für die Konzeption und Umsetzung von flexiblen Web-Interfaces vor. Insbesondere widmen

wir uns der Evaluierung von hoch adaptiven Web-Anwendungen, da dies als neue Herausforderung gilt.

Zuletzt erarbeiten wir eine Reihe von Metriken auf Basis einer empirischen Untersuchung typischer Website-Layouts und wie sie sich unter verschiedenen Nutzungsbedingungen verhalten. Dazu präsentieren wir ein visuelles Programmierwerkzeug zur Analyse und Optimierung der Darstellung von Web-Inhalten in Abhängigkeit des Nutzungskontexts. Wir führen zudem vor, wie sich die Metriken zur Bestimmung von Designproblemen und der Entwicklung neuer Adaptierungen anwenden lassen und nutzen sie auch zur Auswertung der erzielten Ergebnisse.

Abschliessend ziehen wir den Vergleich zwischen den verschiedenen auf Crowdsourcing basierten und für Entwickler bestimmten Methoden, die aus dieser Arbeit hervorgehen. Wir diskutieren das Potenzial unseres neuen Ansatzes und sprechen auch an, wie sich die einzelnen Techniken kombinieren lassen, um Web-Anwendungen für höchst unterschiedliche Nutzungskontexte zu entwickeln.