

## Abstract

With the rise of mobile devices and the general trend towards ubiquitous computing, application software engineering faces new demands and challenges. If an end-user application targets a multitude of devices with different form factors and/or interaction paradigms, its user interface (UI) cannot be developed once and then simply applied on each device. Instead, the application's UI usually needs to be adapted to the specific requirements of the devices. From the engineering point of view, this poses two problems: How can a set of adapted UIs be developed and maintained efficiently, and how can be guaranteed that all adaptations are actually usable?

A solution to the first problem is proposed by the engineering process of Model-Based UI Development (MBUID; Meixner, Paternò, & Vanderdonckt, 2011). Providing an answer to the second problem is the main goal of this work: How can the usability of large set of adapted UIs of a multi-target model-based application be ensured?

The principles of User-Centered Design (UCD; Gould & Lewis, 1985) provide first guidance by stating that usability must be a central goal from early development stages on, but the methods of UCD (e.g., empirical measurement) do not scale well to multi-target applications. This could be alleviated by the use of Automated Usability Evaluation (AUE) tools, but their application is sometimes cumbersome and their predictive value is limited. Therefore, a large part of this work is concerned with how these limitations can be overcome.

A special property of model-based applications that may help to attain this goal is that the MBUID process creates meta-information about the different UIs in a computer-processable way. This meta-information could provide a basis for automatable usability predictions that go beyond the current state-of-the-art of AUE.

Whether and how this is possible is explored in this work in the following way. First, the general usefulness of MBUID meta-information is established in the domain of UI efficiency. Then, the focus shifts to UI effectiveness and human error. A new predictive model of user error based on psychological theory is proposed and empirically validated in several domains. The analysis reveals three properties of UI elements which determine their error-proneness and which can be deduced from MBUID meta-information: *goal relevance*, *task necessity*, and *concept relevance*. Based on these results, an integrated AUE system for error prediction is implemented and validated on unseen data from a new application. This integrated system could be used to provide usability predictions to application developers from early stages of development on.

A main limitation of the approach is that user satisfaction, the third aspect of usability besides effectiveness and efficiency, can not be covered to a satisfactory extent. This is a general problem of AUE, though.

## Zusammenfassung

Der Siegeszug von Mobilgeräten und die weiter zunehmende Durchdringung des Alltags mit Computertechnologie ("ubiquitous computing") stellt die technische Gestaltung von Anwendungssoftware vor neue Herausforderungen. Die Softwareoberfläche (UI) einer Anwendung, die auf vielen verschiedenen Geräten mit unterschiedlichen Größen und Interaktionsparadigmen dargestellt werden soll, kann nicht einmal entwickelt und dann direkt auf allen Geräten genutzt werden. Stattdessen muss die Oberfläche einer geräteübergreifenden Anwendung an die jeweiligen Anforderungen aller Geräte angepasst werden. Das führt zu zwei Problemen: Wie kann eine große Menge angepasster UIs effizient entwickelt und gewartet werden, und wie kann sichergestellt werden, dass alle angepassten UIs auch nutzbar (d.h., gebrauchstauglich) sind?

Eine Antwort auf das erste Problem liefert das Prozessmodell der modellbasierten UI-Entwicklung (MBUID; Meixner et al., 2011). Die Lösung des zweiten Problems ist das Ziel dieser Arbeit: Wie kann die Gebrauchstauglichkeit (Usability) einer großen Menge von gerätespezifisch angepassten UIs einer modellbasierten Applikation sichergestellt werden?

Die Prinzipien des User-Centered Designs (UCD; Gould & Lewis, 1985) liefern erste Hinweise mit der Forderung, dass die Usability schon in frühen Entwicklungszyklen im Zentrum stehen muss. Die Methoden des UCD (insbesondere das empirische Messen) skalieren aber schlecht für geräteübergreifende Anwendungen. Hier könnte Automatische Usability-Evaluierung (AUE) eine Lösung darstellen, existierende AUE-Werkzeuge sind aber häufig schwer zu bedienen und die gelieferten Vorhersagen sind oft nur bedingt aussagekräftig. Der Überwindung dieser Einschränkungen widmet sich daher der zentrale Teil dieser Arbeit.

Eine spezielle Eigenschaft von modellbasierten Applikationen zeigt sich dabei als besonders nützlich: Der MBUID-Prozess erzeugt Metainformationen über die Nutzeroberflächen in maschinenlesbarer Form. Können diese Informationen für Usability-Vorhersagen genutzt werden, die über den aktuellen Stand der AUE hinaus gehen?

Ob, und falls ja, wie dieses möglich ist, wird auf folgende Weise gezeigt: Zunächst wird die allgemeine Nutzbarkeit von MBUID-Metainformationen für Usability-Vorhersagen im Effizienz-Bereich überprüft. Der Fokus wechselt dann zu Effektivität und Nutzerfehlern. Ein neues Vorhersagemodell für Fehler wird aus psychologischen Theorien hergeleitet und anhand mehrerer Variablen empirisch validiert. Bei der Analyse zeigen sich drei Aspekte der Elemente eines UIs, die sich gemeinsam auf die Fehleranfälligkeit auswirken und die aus den MBUID-Informationen abgeleitet werden können: *Zielrelevanz*, *Erforderlichkeit* und *Konzeptrelevanz*. Basierend auf diesen Ergebnissen wird ein integriertes AUE-System für Fehler Vorhersagen erstellt und an neuen Daten von einer anderen Anwendung validiert. Dieses integrierte System könnte den Entwicklern von geräteübergreifenden Applikationen bereits in frühen Entwicklungszyklen Usability-Vorhersagen liefern.

Die Grenzen des Ansatzes zeigen sich darin, dass die Nutzerzufriedenheit, d.h. der dritte Aspekt von Usability neben Effektivität und Effizienz, nicht hinreichend abgedeckt werden kann. Dies ist allerdings ein allgemeines Problem von AUE-Verfahren.