

Adaptive Interaktionssysteme

–

Designstrategien zur situativen Optimierung der Touchscreen-Bedienung im Fahrzeug



Dissertation zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
an der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik
der Technischen Universität Braunschweig

vorgelegt von

Christoph Wäller

aus Bremen

Eingereicht am: 18.07.2008

Mündliche Prüfung am: 29.01.2009

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. U. Reimers
Prof. Dr. rer. nat. M. Schilling

2009

Mitteilungen aus dem Institut für Nachrichtentechnik der
Technischen Universität Braunschweig

Band 8

Christoph Waller

Adaptive Interaktionssysteme

Designstrategien zur situativen Optimierung
der Touchscreen-Bedienung im Fahrzeug

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8048-2

ISSN 1865-2484

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Diese Arbeit entstand begleitend zu meiner beruflichen Tätigkeit in der Konzernforschung der Volkswagen AG, zunächst in der Elektronikforschung und später im Bereich „Bedienkonzepte und Fahrer“.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Ulrich Reimers für die konstruktive und unkomplizierte Betreuung dieser Arbeit an seinem Institut. Außerdem möchte ich Herrn Prof. Dr. rer. nat. Meinhard Schilling für die Übernahme des Korreferats und Prof. Dr.-Ing. Tim Fingscheidt für seinen Beitrag als Vorsitzender der Prüfungskommission herzlich danken.

Bei meinen Kollegen Katharina Bachfischer, Lennart Bendewald, Stefan Henze und Gerrit Schmidt möchte ich mich für zahlreiche konstruktive Diskussionen und wertvolle Anstöße zum Thema bedanken. Jörg Lilienthal, Dr. Bernd Rech, Dr. Peter Oel und Dr. Miklos Kiss danke ich für die Unterstützung meiner Promotion als berufsbegleitendes Vorhaben innerhalb der Volkswagen AG. Darüber hinaus bedanke ich mich bei Björn Bischof, Peter Vikoler und Mike Salzer, die als Diplomanden einen unverzichtbaren Beitrag zu dieser Arbeit leisteten. Ebenfalls bin ich all jenen zu Dank verpflichtet, die als Probanden die Durchführung der zahlreichen Experimente ermöglicht haben.

Schließlich möchte ich mich herzlich bei meiner Frau Silvia und meiner Tochter Carla für ihre große Geduld und praktische Unterstützung sowie bei meinen Eltern für Ihre fortwährende Förderung und Motivation bedanken.

Braunschweig, im Februar 2009

Christoph Wäller

Kurzfassung

Berührungsempfindliche Bildschirme (engl.: Touchscreens) werden in zunehmendem Maße zur Realisierung flexibler und selbsterklärender Nutzerschnittstellen im Fahrzeug eingesetzt. Die Bedienung von Touchscreens während der Fahrt birgt jedoch, insbesondere bei Displays geringer Größe, verschiedene Limitationen im Bereich der anthropometrischen Ergonomie. Die vorliegende Arbeit verfolgt daher das Ziel der Entwicklung und Evaluation einer ergonomisch optimierten Interaktionsmethode für kleine Touchscreens im Fahrzeug.

Ausgehend von einer initialen Untersuchung des Effekts verschiedener Zustände virtueller Bedienflächen auf ergonomische Leistungsmerkmale der Bedienung im Fahrzeug wird der „Situative Touchscreen“, ein optimiertes Interaktionsprinzip auf Basis expandierender Bedienflächen vorgestellt. Die grundlegende Interaktionsmethode des Situativen Touchscreens besteht in einem Wechsel der grafischen Darstellung zwischen einem Anzeige- und einem Bedienmodus kurz vor Berührung des Displays. Des Weiteren wird der Entwurf einer erweiterten Systemstruktur für automotive Nutzerschnittstellen präsentiert, die u.a. eine Erfassung indirekter Handlungen und Eingaben beinhaltet und diese zur dynamischen Optimierung des Kommunikationsprozesses einsetzt.

Auf Basis eines kapazitiven Sensorsystems wird ein Prototyp des Situativen Touchscreens implementiert und anschließend im Rahmen von Nutzerstudien hinsichtlich Akzeptanz und Bedienbarkeit untersucht. Die Ergebnisse bestätigen eine positive subjektive Bewertung des Systems und zeigen eine statistisch signifikante Reduktion von Fehlertreffern beim Zugriff auf virtuelle Schaltflächen. Die Veränderung der Bedienoberfläche während der Bedienbewegung führt jedoch zu einer Verlängerung der entsprechenden Bewegungs- und Blickzuwendungszeiten um bis zu 20 %.

Daraufhin werden zwei alternative Ansätze zur Reduktion der durchschnittlichen Dauer der Zielbewegung vorgestellt. Der erste Ansatz besteht in einer kontext-basierten Anpassung der visuellen Darstellung grafischer Indikatoren der Zielflächen im Anzeigemodus. Der zweite Ansatz beschreibt die experimentelle Ermittlung einer idealen fahrzeug-spezifischen Parametrisierung des Systems auf Basis gemessener Geschwindigkeitsverläufe manueller Bedienbewegungen. Eine abschließende Evaluation bestätigt den intendierten Effekt für beide Ansätze.

Die Ergebnisse der Arbeit bilden eine Grundlage zur technischen Spezifikation und ergonomisch optimierten Gestaltung von Touchscreen-basierten Nutzerschnittstellen mit begrenzter Dimension für das Fahrzeug und andere Endgeräte.

Abstract

Touch-sensitive displays (Touchscreens) are an increasingly preferred technology for the realisation of flexible and self-explanatory automotive user interfaces. Nevertheless, the operation of touchscreens while driving has its limitations in the area of anthropometric ergonomics, especially in the case of small displays. The objective of this work therefore consists in the development and evaluation of an ergonomically optimised interaction method for automotive touchscreens with limited display size.

On the basis of an initial user study on the effect of different states and combinations of virtual targets on the ergonomic qualities of human machine interaction in the vehicle, an improved interaction concept on the basis of expanding targets, the 'Situative Touchscreen', is derived. The basic interaction method of the Situative Touchscreen consists in a dynamic change of the user interface shortly before the moment of interaction between a 'display' and an 'interaction' mode in order to realise a task-specific allocation of display space. Furthermore, an enhanced system structure for automotive user interfaces which employs e.g. a detection of indirect user input to dynamically adjust the communication process is presented.

A prototype of the Situative Touchscreen based on capacitive sensors is implemented and subsequently evaluated with regards to its acceptance and usability. The results confirm a positive reception of the system and a significant reduction of error rates when accessing virtual buttons. In addition, a visual indication of the target's final position and function proves to positively affect the user's eye-hand-coordination. However, the change of the interface during the pointing movement results in an extension of the according movement- and gaze times of up to 20 %.

Thus, two separate approaches to reducing the average duration of pointing movements are presented. The first approach proposes a context-based adaptation of the visual appearance of graphical indications of the target in the 'visual' display mode. The second approach describes an experimental determination of ideal system parameters for an automotive-specific application of the system based on the measurement of velocity profiles of relevant pointing movements. A final evaluation confirms the intended effect for both methods.

The results of this work represent a basis for both a technical specification and an ergonomically optimized design of Touchscreen-based user interfaces with limited dimensions for the vehicle and other devices.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einführung | 1 |
| 1.1 | Ausgangssituation | 1 |
| 1.2 | Ziele und Methodik dieser Arbeit | 2 |
| 2 | Interaktionssysteme im Fahrzeug | 5 |
| 2.1 | Die Mensch-Maschine-Schnittstelle | 5 |
| 2.2 | Besonderheiten der Nutzungssituation im Automobil | 6 |
| 2.3 | Aspekte der HMI-Gestaltung für das Automobil | 9 |
| 2.4 | Ergonomie und Intuitivität | 9 |
| 2.4.1 | Emotionalität | 13 |
| 2.4.2 | Normen und Richtlinien | 16 |
| 2.5 | Aktuelle Benutzerschnittstellen im Fahrzeug | 19 |
| 2.5.1 | Integrierte HMIs mit abgesetzter Bedieneinheit | 19 |
| 2.5.2 | Integrierte HMIs mit Touchscreen-Bedienung | 20 |
| 2.6 | Neue Möglichkeiten für automotiv Interaktionssysteme | 21 |
| 2.6.1 | Erweiterte Eingabemodalitäten | 21 |
| 2.6.2 | Adaptive Systeme | 23 |
| 2.7 | Zusammenfassung | 28 |
| 3 | Ergonomie der automotiven Touchscreen-Bedienung | 29 |
| 3.1 | Sensomotorische Aspekte manueller Bedienbewegungen | 29 |
| 3.1.1 | Bewegungs- und Reaktionszeiten | 29 |
| 3.1.2 | Modellierung des Bewegungsablaufs | 32 |
| 3.1.3 | Optimierung der Bedienbarkeit durch expandierende Ziele | 35 |
| 3.2 | Bedienbarkeit von virtuellen Schaltflächen im Fahrzeug (Studie A) | 37 |
| 3.2.1 | Allgemeine Versuchsbeschreibung | 37 |
| 3.2.2 | Isolierte statische Ziele | 40 |
| 3.2.3 | Multiple statische Ziele | 44 |
| 3.2.4 | Bewegliche Ziele | 46 |
| 3.2.5 | Expandierende Ziele | 47 |
| 3.3 | Zusammenfassung | 53 |
| 3.4 | Handlungsempfehlungen und Herausforderungen | 55 |
| 4 | Vorschlag eines adaptiven Touchscreen-Bediensystems | 57 |
| 4.1 | Konzeptionelle Überlegungen | 57 |
| 4.1.1 | Grundlegendes Interaktionsprinzip | 57 |
| 4.1.2 | Vermeidung ergonomischer Einschränkungen | 58 |
| 4.2 | Prototypische Realisierung | 63 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.2.1 | Technische Anforderungen..... | 63 |
| 4.2.2 | Technischer Aufbau..... | 64 |
| 4.2.3 | Gestalterische Anforderungen..... | 73 |
| 4.2.4 | Gestaltung der grafischen Oberfläche..... | 75 |
| 4.2.5 | HMI Systemmodell unter Einschluss des Situativen Touchscreens..... | 80 |
| 4.3 | Zusammenfassung..... | 82 |
| 5 | Evaluation des adaptiven Touchscreen-Bediensystems..... | 85 |
| 5.1 | Abgleich mit den gestalterischen Anforderungen..... | 85 |
| 5.2 | Untersuchung der Akzeptanz (Studie B)..... | 90 |
| 5.2.1 | Methodik und Ziele der Studie..... | 90 |
| 5.2.2 | Versuchsbeschreibung..... | 90 |
| 5.2.3 | Ergebnisse..... | 91 |
| 5.3 | Untersuchung der Bedienbarkeit (Studie C)..... | 96 |
| 5.3.1 | Methodik und Ziele der Studie..... | 96 |
| 5.3.2 | Versuchsbeschreibung..... | 97 |
| 5.3.3 | Ergebnisse..... | 99 |
| 5.4 | Untersuchung der resultierenden Blickzuwendung (Studie D)..... | 105 |
| 5.4.1 | Methodik und Ziele der Studie..... | 105 |
| 5.4.2 | Versuchsbeschreibung..... | 106 |
| 5.4.3 | Ergebnisse..... | 108 |
| 5.5 | Zusammenfassung..... | 115 |
| 6 | Optimierungsansätze..... | 117 |
| 6.1 | Kontext-basierte Adaption der Indikatoren (Ansatz A)..... | 117 |
| 6.1.1 | Technische Implementierung..... | 118 |
| 6.1.2 | Gestaltung der Adaptionstufen..... | 126 |
| 6.1.3 | Evaluation des Optimierungsansatzes (Studie E)..... | 127 |
| 6.2 | Optimierung der Systemauslegung (Ansatz B)..... | 132 |
| 6.2.1 | Ermittlung und Interpretation von Bewegungstrajektorien (Studie F)..... | 133 |
| 6.2.2 | Versuchsbeschreibung..... | 134 |
| 6.2.3 | Ergebnisse..... | 137 |
| 6.3 | Zusammenfassung..... | 141 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 143 |
| 7.1 | Zusammenfassung..... | 143 |
| 7.2 | Ausblick..... | 144 |
| | Symbole und Formelzeichen..... | 149 |
| | Abkürzungen..... | 153 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 157 |
| | Tabellenverzeichnis..... | 161 |
| | Literaturverzeichnis..... | 163 |