

Fachgebiet Verteilte Messsysteme
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Technische Universität München

**Konzeption und Implementierung
eines adaptiven Touchscreen-Interfaces
für das Fahrzeug**

Katharina Susanne Bachfischer

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für
Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen
Universität München zur Erlangung des akademischen
Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. G. Rigoll

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. Puente León
2. Univ.-Prof. Dr. rer. nat. H. Bubb

Die Dissertation wurde am 23.04.2008 bei der Technischen
Universität München eingereicht und durch die Fakultät für
Elektrotechnik und Informationstechnik am 29.07.2008
angenommen.

Berichte über Verteilte Messsysteme

Band 5

Katharina Bachfischer

**Konzeption und Implementierung eines adaptiven
Tochscreen-Interfaces für das 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.: München, Techn. Univ., Diss., 2008

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 978-3-8322-7930-1

ISSN 1864-6379

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

Konzeption und
Implementierung eines
adaptiven
Touchscreen-Interfaces für das
Fahrzeug

Katharina Susanne Bachfischer

23.04.2008

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Kurzzusammenfassung	VII
Abstract	IX
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2 Thematische Einführung	5
2.1 Grundlegende Begriffsterminologie	5
2.2 Technische Kommunikation	9
2.3 Humankommunikation	11
2.4 Ein- und Ausgabekanäle	14
2.5 Multimodale Mensch-Maschine-Systeme	15
2.5.1 Potenzial multimodaler Schnittstellen	15
2.5.2 Limitierungen multimodaler Schnittstellen	15
2.5.3 Klassifizierung multimodaler Systeme	16
2.5.4 Informationsfusion in multimodalen Systemen	20
2.6 Adaptive und adaptierbare Systeme	22
2.6.1 Benutzermodelle	23
2.6.2 Mentale Modelle	25
2.7 Gestaltungsaspekte von Mensch-Maschine-Systemen	26
2.8 Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug	28
2.8.1 Bediensituation und Aufgabenklassifizierung im Fahrzeug	28
2.8.2 Spezifische Anforderungen an Kfz-Systeme	29
2.8.3 Serienstand	30
2.8.4 Infotainmentsysteme im Forschungsstadium	32

3	Herleitung eines erweiterten MMK-Modells für Anzeige und Bedienung im Kraftfahrzeug	35
3.1	Übertragung von Humankommunikationsprinzipien auf die Mensch-Maschine-Kommunikation	36
3.1.1	Emotionale Signalisierung	36
3.1.2	Multimodale Kommunikation	38
3.1.3	Adaptive Kommunikation	39
3.2	Dialogmodell eines synergistisch-multimodalen Systems .	40
3.3	Prototypisch implementiertes System	45
4	Bestimmung der Position einer Hand vor einem Display	47
4.1	Motivation zum Einsatz kapazitiver Sensorik	47
4.1.1	Anforderungen	47
4.1.2	Kamerabasierte Gestenerkennung	48
4.1.3	Infrarotbasierte Gestenerkennung	49
4.1.4	Kapazitive Gestenerkennung	50
4.2	Kapazitive Sensorik	50
4.2.1	Theorie der kapazitiven Abstandsmessung	50
4.2.2	Anwendungsmodi kapazitiver Sensoren	53
4.2.3	Grenzen kapazitiver Sensorik	56
4.2.4	Qualitative Beschreibung des kapazitiven Sensorsystems	57
4.3	Positionsermittlung der Hand vor einem Display	60
4.3.1	Statistische Modellierung der Sensoren	60
4.3.2	Maximum-Likelihood-Schätzung	61
5	Methodik und Verfahren zur Fusion multimodaler Eingaben	65
5.1	Motivation zum Einsatz einer Soft-Decision-Fusionsmethode	65
5.1.1	Anforderungen	65
5.1.2	Multimodale Fusionsmethoden	67
5.2	Integrationsmethodik im Modalitätsmanager auf semantischer Ebene	68
5.2.1	Integrationsverfahren	69
5.2.2	Hypothesengenerierung und -verarbeitung	70
5.2.3	Fehlermanagement	72

6	Realisierung eines fahrzeugtauglichen Systems zur synergistisch-multimodalen Eingabe	73
6.1	Systemaufbau	73
6.2	Implementierte Anwendungsszenarien	75
6.2.1	Einblendung und Vergrößerung von Schaltflächen bei Annäherung	75
6.2.2	Interaktion durch räumliche Spezifikationen	78
6.3	Handpositionserkennung	81
6.3.1	Verwendete Hardware	81
6.3.2	Personenspezifische Kennlinienanpassung	82
7	Evaluierung der Annäherungsfunktion	85
7.1	Positionsschätzung der Hand vor einem Display	85
7.1.1	Konzeption	85
7.1.2	Parametrierung und Durchführung der Messung	88
7.1.3	Ergebnisse	90
7.2	Studie zur subjektiven Bewertung der Annäherungsfunktion	91
7.2.1	Konzeption	91
7.2.2	Ergebnisse	95
7.2.3	Interpretation und Fazit	97
7.3	Expertenstudie zur Evaluierung der Bedienbarkeit	99
7.3.1	Ergonomische Betrachtungen	99
7.3.2	Fragestellung und Zielsetzung der Studie	102
7.3.3	Konzeption	103
7.3.4	Messgrößen und Datenaufbereitung	105
7.3.5	Ergebnisse	108
7.3.6	Interpretation und Fazit	120
7.4	Studie zur Blickbewegung bei der Bedienung eines annäherungssensitiven Touchscreens	122
7.4.1	Fragestellung und Zielsetzung der Studie	122
7.4.2	Konzeption	123
7.4.3	Messgrößen und Datenaufbereitung	124
7.4.4	Ergebnisse	125
7.4.5	Interpretation und Fazit	128
7.5	Bedienbarkeit für Erstnutzer	131
7.5.1	Konzeption	131
7.5.2	Ergebnisse	133
7.5.3	Fazit	134

7.6	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den einzelnen Studien	134
8	Evaluierung der Fusion multimodaler Eingaben	137
8.1	Basisuntersuchung zur subjektiven Bewertung von multimodalen Eingaben	137
8.1.1	Konzeption	137
8.1.2	Ergebnisse	138
8.1.3	Interpretation und Fazit	139
8.2	Evaluierung der Bedienbarkeit	139
8.2.1	Fragestellung und Zielsetzung der Studie	139
8.2.2	Konzeption	140
8.2.3	Ergebnisse	143
8.2.4	Interpretation und Fazit	149
9	Zusammenfassung und Ausblick	153
	Tabellenverzeichnis	157
	Abbildungsverzeichnis	159
	Abkürzungsverzeichnis	165
	Literaturverzeichnis	166

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit in der Konzernforschung der Volkswagen AG in Wolfsburg¹. Sie wurde in enger Kooperation mit dem Fachgebiet Verteilte Messsysteme der Technischen Universität München angefertigt.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. F. Puente León für die Unterstützung der Arbeit, die universitäre Betreuung und die vielen wertvollen Hinweise bei der Durchführung bedanken. Des Weiteren gilt mein besonderer Dank Jörg Lilienthal und Dr. Peter Oel für die fachliche Begleitung bei der Volkswagen AG und die Anregungen, die sie als Diskussionspartner in die Arbeit eingebracht haben.

Daneben bedanke ich mich recht herzlich bei allen Mitarbeitern des Teams *Bedienkonzepte und Fahrer* für die gute Zusammenarbeit. An dieser Stelle richte ich meinen Dank auch an die anderen Kollegen, Diplomanden, Praktikanten und alle weiteren Personen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Schließlich danke ich ganz besonders Andre Peterwerth und meinen Eltern für ihre beständige Unterstützung. Sie haben dadurch maßgeblich zum Erfolg der Arbeit beigetragen.

Wolfsburg, im April 2008

Katharina Bachfischer

¹Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind jedoch nicht notwendigerweise die der Volkswagen AG.

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Arbeit umfasst die Konzeptionierung, Implementierung und Evaluierung eines adaptiven Touchscreen-Interfaces im Kraftfahrzeug. Von besonderem Interesse ist hierbei die implizite Erkennung und Nutzung der Annäherung einer Hand an einen in der Mittelkonsole eines Fahrzeugs verbauten Touchscreen. Dieser wurde durch die Anbindung eines Spracherkenners zu einer multimodalen Bedieneinheit erweitert. Dies erfolgt in der Absicht, dem Fahrer (oder dem Beifahrer), die Bedienung – v. a. in Fahrzeugen der kleineren Klassen – trotz der stetig steigenden Anzahl an Fahrerinformations- und Fahrerassistenzfunktionen zu erleichtern oder überhaupt erst zu ermöglichen. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Orientierung an Prinzipien, die der Nutzer aus der Humankommunikation kennt.

Die zugrunde liegende Idee ist die Interpretation der Annäherung einer Hand als Bedienintention: Sobald eine Bedienintention erkannt wird, wechselt die Anzeige von einem Anzeige- in einen Bedienmodus. Für die multimodale Interaktion wird die Annäherung zur impliziten Aktivierung des Spracherkenners genutzt. Darauf aufbauend werden verschiedene Szenarien implementiert, die u. a. synergistisch-multimodale Eingaben erlauben.

Ein Schwerpunkt der Arbeit ist die Entwicklung eines Algorithmus zur dreidimensionalen Erkennung der Hand oder eines Bedienfingers vor dem Touchscreen-Display unter Berücksichtigung der restriktiven Randbedingungen für den Einsatz im Fahrzeug: berührungslose Detektion, Echtzeitfähigkeit, hohe Robustheit, designneutraler Verbau sowie nicht zuletzt Wirtschaftlichkeit in Bezug auf Teilekosten und Rechenleistung. Im Gegensatz zu vielen anderen Ansätzen, die meist videobasiert arbeiten, baut der hier entwickelte Ansatz auf einer kapazitiven Sensor-Lösung auf: Aus vier Sensoren, die an den Ecken des Displays angebracht sind, wird mittels einer Maximum-Likelihood-Schätzung die Position der Hand detektiert. Eine Überprüfung des Algorithmus zeigt, dass sich in einem Abstand von 4 cm ein Cursor auf dem Bildschirm noch immer so steuern

lässt, dass die Abweichung vom Schnittpunkt eines Lots von der Fingerspitze auf die Displayoberfläche maximal 1 cm beträgt.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Evaluierung des Systems, die viel versprechende Ergebnisse liefert: Das adaptive Touchscreen-Interface ist weitgehend intuitiv bedienbar und findet eine hohe Akzeptanz. Darüber hinaus unterscheiden sich die Bewegungszeiten und Blickabwendungszeiten bei der Bedienung im adaptiven Modus während der Fahrt im Simulator nicht von denen eines statischen Touchscreens. Es können jedoch besonders bei kleinen Displays geringere Fehlerraten erzielt werden.

Abstract

The work presented in this thesis comprises the design, implementation and evaluation of an adaptive in-car touchscreen interface. Special interest is dedicated to the implicit detection of the proximity of a hand to a touchscreen located in the center console of a vehicle. The setup of the user interface was expanded to a multimodal control unit by connecting a speech recognizer. That is motivated by the aim to facilitate the driver's or co-driver's interaction in the context of a rising number of driver information and assistance systems especially in smaller vehicles. An important aspect is the orientation towards principles of interaction which the user knows well from human to human communication.

The underlying idea is the interpretation of the proximity of a hand as an interaction intention: As soon as an interaction intention is detected, the display changes from an information mode to an interaction mode. Regarding the multimodal interaction, proximity is used to activate the speech recognizer. Building on that, different scenarios are implemented which allow for synergistic-multimodal input and also other variants of multimodal use.

One main focus is the design of an algorithm to three-dimensionally detect the hand or the interaction finger with respect to the restrictive constraints of an in-car system namely contactless detection, real-time capability, high robustness, design-neutral integration and cost effectiveness with regard to partial costs and processing power. In contrast to many other systems which work mostly camera-based, the approach presented here is based on a capacitive sensor system: the position of the hand is inferred via a maximum likelihood estimation by four sensors positioned near the edges of the display. The evaluation of the algorithm shows that in a distance of 4 cm a cursor on the display can be navigated in a way that the perpendicular from the finger tip to the display maximally differs 1 cm from the cursor.

Another focus is the evaluation of the whole system, which gave promising results: the adaptive touchscreen-interface is largely intuitive and

received positive feedback in user acceptance ratings. Moreover, movement duration and eyes-off-road times while interacting with the system in the adaptive mode do not differ from those of a static touchscreen. However, in comparative studies with smaller displays, the error rates of the adaptive mode could be reduced even further when compared to alternative setups.