

Esau

Emotionale Aspekte der Mensch-Roboter-Interaktion und ihre Realisierung in verhaltensbasierten Systemen



C-LAB Publication

Herausgegeben von
Published by

Dr. Wolfgang Kern, Siemens AG
Prof. Dr. Franz-Josef Rammig, Universität Paderborn

Das C-LAB - Cooperative Computing & Communication Laboratory - leistet Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und gewährleistet deren Transfer an den Markt. Es wurde 1985 von den Partnern Nixdorf Computer AG (nun Siemens AG) und der Universität Paderborn im Einvernehmen mit dem Land Nordrhein-Westfalen gegründet.

Die Vision, die dem C-LAB zugrunde liegt, geht davon aus, daß die gewaltigen Herausforderungen beim Übergang in die kommende Informations- und Wissensgesellschaft nur durch globale Kooperation und in tiefer Verzahnung von Theorie und Praxis gelöst werden können. Im C-LAB arbeiten deshalb Mitarbeiter von Hochschule und Industrie unter einem Dach in einer gemeinsamen Organisation an gemeinsamen Projekten mit internationalen Partnern eng zusammen.

C-LAB - the Cooperative Computing & Cooperation Laboratory - works in the area of research and development and safeguards its transfer into the market. It was founded in 1985 by Nixdorf Computer AG (now Siemens AG) and the University of Paderborn under the auspices of the State of North-Rhine Westphalia.

C-LAB's vision is based on the fundamental premise that the gargantuan challenges thrown up by the transition to a future information and knowledge society can only be met through global cooperation and deep interworking of theory and practice. This is why, under one roof, staff from the university and from industry cooperate closely on joint projects within a common research and development organization together with international partners. In doing so, C-LAB concentrates on those innovative subject areas in which cooperation is expected to bear particular fruit for the partners and their general well-being.

C-LAB Publication

Band 30

Natalia Esau

**Emotionale Aspekte der
Mensch-Roboter-Interaktion und ihre Realisierung
in verhaltensbasierten Systemen**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

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.: Paderborn, 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 978-3-8322-8507-4

ISSN 1438-3527

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

Emotionale Aspekte der Mensch-Roboter-Interaktion und ihre Realisierung in verhaltensbasierten Systemen

Dissertation

**zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)
der Fakultät
Elektrotechnik, Informatik und Mathematik
der Universität Paderborn**

von

Dipl.-Inform.

Natalia Esau

Paderborn, Dezember 2008

Gutachter:

- 1. Prof. Dr. rer. nat. Franz J. Rammig, Universität Paderborn**
- 2. Prof. Dr.-Ing. Bärbel Mertsching, Universität Paderborn**

Tag der mündlichen Prüfung: 20.03.2009

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei all jenen Personen bedanken, die mich auf unterschiedliche Weise unterstützt und zu dieser Dissertation beigetragen haben.

An erster Stelle richtet sich mein Dank an Herrn Professor Dr. Franz Rammig für die freundliche Aufnahme in seine Arbeitsgruppe, die es mir ermöglichte, mich mit faszinierendem Thema der emotionalen Robotik zu beschäftigen. Für seine fachliche Begleitung während des gesamten Promotionsvorhabens sowie für die Übernahme des Erstgutachtens dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Für die Übernahme des Zweitgutachtens danke ich ebenso herzlich Frau Prof. Dr.-Ing. Bärbel Mertsching.

Ein besonderer Dank gilt Frau Dr. Lisa Kleinjohann. Durch ihre fachliche Unterstützung und Diskussionsbereitschaft hat sie wesentlich zur Anfertigung dieser Arbeit beigetragen. Insbesondere bin ich Lisa für ihre Mühe, sich durch meine Texte zu kämpfen, und für die Korrektur der zahlreichen Variationen der Arbeit äußerst dankbar.

Herrn Dr. Bernd Kleinjohann bin ich für die Bereitstellung des Arbeitsthemas dankbar, wobei er mir viele Freiheiten zur eigenen Gestaltung des Forschungsgebietes ließ. Seine zahlreichen Hinweise und Anregungen zu thematischen Fragestellungen haben mich bei der Bearbeitung des Themas sehr unterstützt.

Ein herzlicher Dank gilt Herrn Dr. Dirk Stichling für seine fachliche Kompetenz und großartige Unterstützung in meiner Anfangszeit im C-LAB. Seine wertvollen Ratschläge und Empfehlungen waren sowohl für die Auswahl meines Forschungsthemas als auch für das Gelingen dieser Arbeit maßgeblich.

Meinen lieben Kollegen Willi Richert, Philipp Adelt, Andreas Thuy und Claudius Stern danke ich sehr für das zügige Korrekturlesen dieser Arbeit und für ihre ausgeprägte Hilfsbereitschaft.

Für produktive Zusammenarbeit zur Umsetzung der konzeptuellen Ideen, die dieser Dissertation entstammen, bedanke ich mich bei Peter Schleining, Evgenija Wetzels und Anja Austermann.

Meiner Familie bin ich ganz besonders dankbar für die Unterstützung, ihre Kraft und ihre Liebe, die mich all die Jahre durch mein Promotionsstudium begleitet haben.

Zusammenfassung

Im Bereich der sozialen Robotik werden unterschiedliche Fragestellungen zur Mensch-Roboter-Interaktion mit dem Ziel behandelt, den Umgang mit Robotern für den Menschen zu erleichtern. Im Rahmen dieser Arbeit werden emotionale Aspekte der Interaktion zwischen Menschen und Robotern betrachtet, die zur Erweiterung der Kommunikationsfähigkeiten eines Roboters beitragen und einen Roboter zu einem emotional-kompetenten Kommunikationspartner machen.

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines ganzheitlichen emotionalen Robotersystems, das über unterschiedliche emotionale Fähigkeiten bei der Kommunikation mit einem menschlichen Gegenüber verfügt und diese in einer realen Situation adäquat umsetzt. Diese Fähigkeiten werden durch die vier Faktoren Emotionsmodellierung, Emotionserkennung, Emotionsbewertung und Emotionsdarstellung charakterisiert. Aufgrund dieser Komponenten lässt sich die Roboteremotionalität in einem technischen System realisieren.

Das in dieser Arbeit entwickelte Emotionsmodell, das Adaptive Fuzzy Emotionsmodell, stellt den emotionalen Zustand des Roboters dar und bildet den konzeptuellen Rahmen, auf dem die weiteren drei Komponenten der Erkennung, Bewertung und Darstellung von Emotionen basieren. Zu den wichtigen Anforderungen dabei gehört die Übereinstimmung mit psychologischen Emotionsmodellen, die sowohl eine sinnvolle Grundlage zur Entwicklung eines informationstechnischen Emotionsmodells als auch eine gute Plattform zur Realisierung der Roboteremotionalität bieten.

Basierend auf diesem informationstechnischen Emotionsmodell wurde eine weitere Komponente der Roboteremotionalität, die Emotionserkennung, entwickelt und realisiert. Da die meisten Robotersysteme über unterschiedliche Sensoren wie optische und akustische Sensoren verfügen, wurden zwei Systeme VISBER (VISION Based Emotion Recognition) und PROSBER (PROSody Based Emotion Recognition) zur visuellen und sprachbasierten Emotionserkennung entworfen. Die beiden Systeme, die auf Fuzzy Logik basieren, arbeiten in mehreren Schritten von der Merkmalsextraktion bis zur Emotionsklassifizierung und erfüllen die Anforderung der Realzeitfähigkeit.

Zum Verständnis und zur Verarbeitung sowohl „eigener“ Emotionen eines Roboters als auch der Emotionen seines menschlichen Kommunikationspartners wurde die Komponente zur Emotionsbewertung entwickelt. Hierfür wurde der zeitliche Verlauf von Emotionen und Bedürfnissen in einem technischen System betrachtet, die den inneren Zustand des Roboters darstellen. Der innere Roboterzustand wird von unterschiedlichen äußeren und inneren Reizen beeinflusst,

die entweder aus der Umgebung wahrgenommen werden oder in dem System selbst entstehen. Deshalb wurde eine kognitive Bewertung der äußeren und inneren Reize erarbeitet, mit Hilfe derer die Anregungsfunktionen zur dynamischen Entwicklung der Emotionen und Bedürfnisse in einem Robotersystem definiert wurden.

In Kombination mit den äußeren Reizen ist der innere Roboterzustand für die Auswahl adäquater Verhaltensweisen verantwortlich, die zur emotionalen Reaktion des Roboters führt und die vierte Komponente der Roboteremotionalität, die Emotionsdarstellung, realisiert.

Die vier emotionalen Aspekte eines Robotersystems wurden anhand des Roboterkopfes MEXI (Machine with Emotionally eXtended Intelligence) umgesetzt, der auf Basis einer verhaltensbasierten Architektur realisiert ist. Durch Erweiterung der vorhandenen Architektur um die emotionalen Komponenten verfügt MEXI über die Fähigkeiten zur Emotionsmodellierung, -erkennung, -bewertung und -darstellung. Ausgestattet mit diesen Fähigkeiten sowie mit unterschiedlichen Sensoren und Aktoren stellt MEXI ein ganzheitliches emotionales Robotersystem dar und kann als emotional-kompetenter Roboter im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion eingesetzt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung	4
1.3	Aufbau der Arbeit	6
2	Psychologische Grundlagen	9
2.1	Definition des Begriffs „Emotion“	9
2.2	Theoretische Traditionen in der Emotionsforschung	11
2.2.1	Dimensionale Emotionsmodelle	11
2.2.2	Diskrete Emotionstheorien	13
2.2.3	Kognitive Bewertungstheorien	15
2.3	Überlegungen zu den emotionalen Aspekten in der Mensch-Roboter-Interaktion	16
3	Stand der Forschung	21
3.1	Informationstechnische Emotionsmodelle	21
3.2	Emotionserkennung	24
3.3	Emotionsdarstellung	25
3.4	Einordnung MEXI zu den anderen Ansätzen	27

4	Emotionsgesteuerte verhaltensbasierte Architektur des Roboterkopfs MEXI	31
4.1	Der Roboterkopf MEXI	31
4.2	Überblick über die Software Architektur	32
4.3	Bimodale Wahrnehmung	34
4.3.1	Visuelle Verarbeitung	34
4.3.2	Sprachverarbeitung	35
4.4	Handlungssteuerung	36
4.4.1	Verhaltenssystem	37
4.4.2	Emotion Engine	37
4.5	Aktorik	38
5	Adaptives Fuzzy Emotionsmodell	41
5.1	Definition der Emotionen über Fuzzy-Mengen	42
5.2	Geometrische Darstellung des Adaptiven Fuzzy-Emotionsmodells	43
5.3	Klassifizierung der Fuzzy-Emotionsmengen	45
5.4	Der Einheitswürfel als Visualisierung eines 3-dimensionalen AFEMs	47
5.4.1	Graphische Repräsentation des zeitlichen Emotionsverlaufs in AFEM	50
6	VISBER - die visuelle Emotionserkennung	51
6.1	Psychologische Grundlagen	51
6.2	Stand der Forschung	52
6.3	Überblick über die visuelle Emotionserkennung	53
6.4	Bildaufnahme und Bildvorverarbeitung	55
6.5	Gesichtslokalisierung	56
6.6	Gesichtstracking	57
6.7	Gesichtsmerkmale zur Mimikerkennung	58
6.7.1	Extraktion der charakteristischen Gesichtspunkte	58

6.7.2	Winkel als Merkmale für die Mimikererkennung	61
6.8	Fuzzy Emotionsklassifizierung	62
6.8.1	Überblick über das Klassifizierungssystem	63
6.8.2	Fuzzy-Inferenz-System	64
6.8.3	Definition der linguistischen Terme	64
6.8.4	Regelbasis zur Fuzzy Klassifizierung	65
6.8.5	Berechnung der Emotionsausgabe	67
6.9	Training zur Anpassung der Regelparameter	69
6.10	Implementierung	70
6.11	Ergebnisse	71
7	PROSBER - die prosodiebasierte Emotionserkennung	77
7.1	Darstellung der Emotionen im Sprachsignal	78
7.2	Stand der Forschung	79
7.3	Überblick über die PROSBER-Architektur	82
7.3.1	Vorverarbeitung	82
7.3.2	Parameterextraktion	84
7.3.3	Merkmalsberechnung	84
7.3.4	Generierung der Fuzzy-Inferenz-Systeme	85
7.3.5	Fuzzy Klassifizierung zur prosodiebasierten Emotionserkennung	85
7.4	Automatische Generierung der Fuzzy-Inferenz-Systeme	87
7.4.1	Generierung der Zugehörigkeitsfunktionen	89
7.4.2	Merkmalsauswahl	91
7.4.3	Regelerstellung	93
7.5	Implementierung	95
7.6	Ergebnisse	95

8	Dynamische Entwicklung der Emotionen und Bedürfnisse	101
8.1	Überblick über die Modellierung von Emotionen und Bedürfnissen	101
8.2	Bedürfnisse	104
8.2.1	Psychologische Grundlagen	104
8.2.2	Überlegungen zu den Bedürfnissen in der Emotion Engine	107
8.2.3	Zeitlicher Verlauf der Bedürfnisse	110
8.3	Emotionen	115
8.3.1	Zeitlicher Verlauf der Emotionen	115
8.4	Emotionen und Bedürfnisse in der Emotion Engine	121
9	Steuerung des Verhaltenssystems durch die Emotion Engine	123
9.1	Realisierung des emotional-reaktiven Verhaltens	123
9.1.1	Additionskomponente des Verhaltenssystems von MEXI	124
9.1.2	Verhaltensauswahl unter dem Einfluss der Emotion Engine	126
9.2	Wechselwirkungen zwischen Architekturkomponenten	129
10	MEXI: Maschine with Emotionaly eXtended Intelligence	135
10.1	Von der Wahrnehmung zur „emotionalen“ Kommunikation	136
10.2	Realisierung der Emotion Engine	140
10.3	Verhaltensweisen und Aktorik	142
11	Zusammenfassung und Ausblick	145
	Abbildungsverzeichnis	150
	Tabellenverzeichnis	151
	Literaturverzeichnis	153