

Informatorische Benutzermodellierung mit diskreten stochastischen Prozessen

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung der venia legendi für das Lehrgebiet

Systemergonomie und Mensch-Maschine-Interaktion

genehmigte Habilitationsschrift

von

Dr.-Ing. Christopher Schlick

aus Berlin

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. H. Luczak

Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Abel

Univ.-Prof. Dr.rer.nat. H. Bubb

Aachen, den 25.05.2004

Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung

Band 64

Christopher Schlick

**Informatrische Benutzermodellierung
mit diskreten stochastischen Prozessen**

D 82 (Habil.-Schr. RWTH Aachen)

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Habil.-Schr., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3013-0

ISSN 1434-8519

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Für Maïke, Julia und Leon

Vorwort

Die Beschreibung und Bewertung der Arbeit des Menschen in komplexen Arbeitssystemen ist eine Kernkompetenz der Arbeitswissenschaft. Während sich herkömmliche Methoden und Verfahren mit einer qualitativen Analyse menschlicher Arbeit begnügen, zielen neue ingenieurwissenschaftliche Ansätze darauf ab, die Handlungen und die damit assoziierten mentalen Prozesse von Arbeitspersonen durch quantitative Beschreibungsformen zu hinterlegen. Auf diese Weise wird im Sinne einer prospektiven Arbeitsgestaltung eine menschenzentrierte Simulation von Arbeitssystemen ermöglicht, da nicht nur die technischen Systembestandteile durch digitale Funktionsmodelle „virtuell“ erprobt werden können, sondern auch zentrale Bestandteile menschlicher Leistung im Sinne einer Wechselwirkung von Mensch und Technik bereits in frühen Entwicklungsphasen antizipiert werden können.

Der Autor der vorliegenden Schrift liefert hierzu einen interessanten Beitrag. Er beschreibt neuartige mathematische Modelle der Theorie diskreter stochastischer Prozesse und untersucht empirisch ihre Güte für die Modellierung und Vorhersage von Benutzerhandlungen bei der Mensch-Maschine-Interaktion. Die Ergebnisse zeigen, daß man bereits mit vergleichsweise einfachen Modellen eine hohe Vorhersagegenauigkeit erzielen kann und eine modellgestützte Abschätzung der Kapazität des menschlichen Arbeitsgedächtnisses ermöglicht wird. Darüber hinaus stellt er eine quantitative Methode vor, mit der man die Regularität und Komplexität von Handlungen bewertet kann. In einer Validierungsstudie kann er die Komplexitätsbeiträge der frühen Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen quantifizieren und unter anderem belegen, daß die Handlungskomplexität unter Zeitdruck signifikant abnimmt.

Durch die Schrift werden die innovativen Modellierungs- und Bewertungsmethoden für Interessierte in Forschung und Praxis systematisch aufbereitet und dienen als gutes Beispiel für die theoretische und empirische Gestaltungsbegründung durch arbeitswissenschaftliche Forschung.

Holger Luczak

1	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung und Zielsetzung.....	2
1.2	Vorgehensweise	4
1.3	Nomenklatur.....	7
2	GRUNDLAGEN	9
2.1	Theorie der hierarchischen Handlungsregulation	10
2.1.1	Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten.....	10
2.1.2	Ausgewählte Ebenenmodelle menschlicher Informationsverarbeitung.....	15
2.2	Theorie diskreter stochastischer Prozesse.....	19
2.2.1	Markov-Ketten	22
2.2.2	Hidden-Markov-Modelle	31
2.2.3	Hierarchische Hidden-Markov-Modelle	39
2.2.4	Dynamische Bayes-Netze	44
2.2.5	Markov-Ketten variabler Länge.....	52
2.3	Dynamische Benutzermodellierung.....	60
3	EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN.....	65
3.1	Szenariengestützte Rekonstruktion einer Regulationshierarchie im Simulationsexperiment.....	66
3.1.1	Ziel und Methodik.....	67
3.1.2	Interaktionsszenarium und Referenzregulationsmodell.....	68
3.1.3	Experimentelle Variablen.....	71
3.1.4	Vorgehensweise bei Datenerzeugung und Modellbewertung.....	72
3.1.5	Apparatus	73
3.1.6	Ergebnisse und Diskussion.....	73
3.2	Experimente zur Modellierung und Prädiktion des Benutzerverhaltens bei visuellen Suchaufgaben mit elektronischen Karten.....	79
3.2.1	Ziel und Methodik.....	80
3.2.2	Interaktionsszenarien und Vorgehensweise bei der Datenerhebung.....	81
3.2.3	Experimentelle Variablen.....	85
3.2.4	Vorgehensweise bei der Modellbewertung.....	87
3.2.5	Apparatus	88

II Inhalt

3.2.6	Ergebnisse und Diskussion.....	89
3.2.6.1	Aggregierte Analyse von Modellen	89
3.2.6.2	Detailanalyse der Szenarien	92
3.2.6.3	Zusammenhang zwischen Vorhersagegenauigkeit und Größe des Ereignisvorrats	104
3.2.6.4	Detailanalyse der syntaktischen sowie semantischen Modelle mit höchster Vorhersagegenauigkeit	106
3.2.6.5	Zusammenhänge mit der Gedächtniskapazität.....	110
3.3	Experimente zur informatorischen Bewertung des Benutzerverhaltens bei visuellen Suchaufgaben mit elektronischen Karten	114
3.3.1	Theoretische Betrachtungen zur Operationalisierung der Regularität und Komplexität von Verhalten	114
3.3.2	Ziel und Methodik	126
3.3.3	Interaktionsszenarien und Vorgehensweise bei der Datenerhebung.....	127
3.3.4	Experimentelle Variablen.....	130
3.3.5	Vorgehensweise bei der Bewertung	131
3.3.6	Apparatus	135
3.3.7	Ergebnisse und Diskussion.....	135
3.3.7.1	Zentrale Prozesse.....	135
3.3.7.2	Frühe Prozesse und Vergleich mit zentralen Prozessen.....	141
3.3.7.3	Vergleich von Regularität und Komplexität	148
3.3.7.4	Vergleich mit dem ersten Experiment.....	151
4	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	157
5	LITERATURVERZEICHNIS	169
6	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	181
	ANHANG	183
	Anhang A: Korrigierter Vorwärts-Rückwärts-Algorithmus für hierarchische Hidden-Markov-Modelle	184
	Anhang B: In den Laborexperimenten verwendete Szenarien.....	189
	B.1 Erstes Experiment	189
	B.2 Zweites Experiment.....	192