Informatik-Fachberichte

Herausgegeben von W. Brauer
im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI)

48

Wolfgang Wahlster

Natürlichsprachliche Argumentation in Dialogsystemen

KI-Verfahren zur Rekonstruktion und Erklärung approximativer Inferenzprozesse

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Autor

Wolfgang Wahlster
Fachbereich Informatik der Universität Hamburg
Schluterstr. 70, 2000 Hamburg 13

AMS Subject Classifications (1979): 68G99, 03B52
CR Subject Classifications (1981): 3.6

ISBN 978-3-540-10873-3 ISBN 978-3-662-08925-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-08925-5

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically those of translation, reprinting, re-use of illustrations, broadcasting, reproduction by photocopying machine or similar means, and storage in data banks. Further, storage or utilization of the described programms on date processing installations is forbidden without the written permission of the author. Under § 54 of the German Copyright Law where copies are made for other than private use, a fee is payable to "Verwertungsgesellschaft Wort", Munich.

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1981

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1981.

2145/3140 – 5 4 3 2 1 0

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zur Informatik-Forschung im Fachgebiet Künstliche Intelligenz (KI). Gegenstand der Arbeit ist der als 'Erklärungskomponente' bezeichnete Teil von natürlichsprachlichen Dialogsystemen. Aufgabe einer Erklärungskomponente ist es, eine für den Benutzer verständliche und im jeweiligen Dialogzustand angemessene Erklärung als Antwort auf eine 'Warum'-Frage des Benutzers zu generieren.

Hauptziel der Arbeit ist die theoretische Fundierung, der Entwurf und die Implementation einer Erklärungskomponente, durch die erstmals auch komplexe mehrsträngige Argumentationen verbalisiert werden können, zusammen mit einem Ableitungskalkül für approximative Inferenzen.

Die wesentlichen praktischen Vorteile der Integration einer Erklärungskomponente in anwendungsorientierte KI-Systeme sind die größere Transparenz und Kontrollierbarkeit sowie die vereinfachte Handhabung, die eine Verbesserung der Akzeptanz, der Arbeitszufriedenheit und der Arbeitsproduktivität der Benutzer großer wissensbasierter Dialogsysteme erwarten lassen. Für die Theoriebildung im Bereich der Künstlichen Intelligenz besteht der Wert von Erklärungskomponenten in ihrem Beitrag zur Erforschung der Form und Funktion von Metawissen und Metakommunikation als Voraussetzungen für intelligentes Verhalten.

Es wird die Bedeutung einiger grundlegender Ergebnisse der Argumentationstheorie, der Fragelogik und der linguistischen Pragmatik für den Entwurf von Erklärungskomponenten untersucht. Der Forschungsstand bei der Entwicklung von Erklärungskomponenten wird vollständig dargestellt, um die innovativen Merkmale der in der Arbeit vorgestellten Erklärungskomponente deutlich herausarbeiten zu können.

Sämtliche für die derzeit absehbaren Anwendungen von Erklärungskomponenten relevanten Sprechaktschemata für argumentative Dialogsequenzen werden analysiert. Der Begriff 'Antwort auf eine 'Warum'-Frage' wird operationalisiert, wobei u.a. das beim Partner vermutete Vorwissen und die Informativität eines Inferenzschrittes berücksichtigt werden.

Als Voraussetzung für die Realisation einer Erklärungskomponente werden approximative Inferenzprozesse über einer Wissensbasis, deren Ergebnisse aufgrund einer Benutzeranfrage erklärt werden sollen, in einem fuzzy-sortierten Evidenzenkalkül formalisiert. Dabei werden als neue Konzepte u.a. Mehrfachableitungen, Fuzzy Sorten, Evidenzverstärkungsoperationen und multiple AND/OR-Bäume eingeführt. Es wird gezeigt, wie sich diese formalen Konzepte in der KI-Programmiersprache FUZZY ohne inkompatible Veränderungen des Interpreters

realisieren lassen und wie sie zur Rekonstruktion approximativer Inferenzprozesse verwendet werden können.

Um inferenz-basierte Antworten erklären zu können, muß ein natürlichsprachliches Dialogsystem die Fähigkeit besitzen, Beschreibungen seiner eigenen Inferenzprozesse aufzubauen und zu speichern. Eine der wesentlichen Grundideen für die neuartige Realisierung dieses Teils der Erklärungskomponente besteht darin, einen sog. Prozedur-Dämon nicht nur für die Steuerung von Mehrfachableitungen sondern auch für den Aufbau einer formalen Beschreibung der ausgeführten Inferenzprozesse einzusetzen.

Zum Schluß der Arbeit wird ein ATN-basierter Sprachgenerator als Teil der Erklärungskomponente vorgestellt, durch den u.a. auch die als DEDUCE-Prozeduren codierten Inferenzregeln in natürlichsprachliche Formulierungen überführt werden können.

Insgesamt wird in der Arbeit versucht, nicht nur den praktischen Nutzen und den theoretischen Stellenwert von Erklärungskomponenten in KI-Systemen zu bestimmen, sondern die Entwicklung einer Erklärungskomponente von der begrifflichen und formalen Fundierung bis hin zur Implementierung vollständig zu erfassen.

DANKSAGUNG

Das Entstehen der vorliegenden Arbeit wurde von Herrn Prof. Dr. W. Brauer mit lebhaftem Interesse und wertvollen Anregungen begleitet. Ihm gilt mein aufrichtiger Dank für die Betreuung der Arbeit.
Für einzelne Hinweise danke ich auch den Herren Prof. Dr. W. v. Hahn, Prof. Dr. H.-H. Nagel, Prof. Dr. P. Raulefs, Dr. P. Schefe und Prof. Dr. J.W. Schmidt sowie meinen Kollegen Dipl.-Inform. H. Boley, Dr. W. Hoeppner und A. Jameson.
Die während des Entstehens der Arbeit an der Rechenanlage DECsystem 1070 des Fachbereichs Informatik durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die wegen der hohen Hauptspeicher- und Rechenzeitanforderungen oft nur nachts und am Wochenende durchgeführt werden konnten, wären ohne die kontinuierliche Unterstützung und Geduld von Herrn Dr. H.-J. Mück und seinen Mitarbeitern nicht möglich gewesen.

Das vorliegende Buch ist die überarbeitetete Fassung meiner Dissertation 'Theorie, Entwurf und Implementation einer Erklärungskomponente für approximative Inferenzprozesse in natürlichsprachlichen Dialogsystemen', die am 6.1.1981 vom Fachbereich Informatik der Universität Hamburg auf Antrag von Prof. Dr. W. Brauer, Prof. Dr. W. v. Hahn und Prof. Dr. P. Raulefs angenommen wurde.

INHALTSVERZEICHNIS

1. GRUNDLAGEN DES ENTWURFS EINER ERKLÄRUNGSKOMPONENTE 1

1.1. EINLEITUNG 1

1.1.1. EINFÜHRUNG IN DIE FUNKTION UND DEN AUFBAU VON ERKLÄRUNGSKOMPONENTEN 1

1.1.2. DIE PRAKTISCHE MOTIVATION ZUR ENTWICKLUNG VON ERKLÄRUNGSKOMPONENTEN 4

1.1.3. DIE THEORETISCHE MOTIVATION ZUR ENTWICKLUNG VON ERKLÄRUNGSKOMPONENTEN 7

1.1.4. ENTWURFSZIELE FÜR EINE ERKLÄRUNGSKOMPONENTE 9

1.2. BEGRIFFLICHE GRUNDLAGEN 11

1.2.1. ZUR DEFINITION DES BEGRIFFS 'ERKLÄRUNGSKOMPONENTE' 11

1.2.2. KAUSALE UND TELEOLOGISCHE ERKLÄRUNGEN 13

1.3. ARGUMENTATIONSTHEORETISCHE GRUNDLAGEN DES ENTWURFS EINER ERKLÄRUNGSKOMPONENTE 16

1.3.1. PARTNERBEZUG UND SITUATIONSABHÄNGIGKEIT VON ARGUMENTATION 16

1.3.2. EIN ALLGEMEINES STRUKTURSCHEMA FÜR NATÜRLICHSPRACHLICHE ARGUMENTATION 17

1.4. 'WARUM'-FRAGEN AUS DER SICHT DER FRAGELOGIK UND LINGUISTISCHEN PRAGMATIK 20

1.4.1. ANSÄTZE ZU EINER FORMALEN SEMANTIK VON 'WARUM'-FRAGEN 20

1.4.2. PRÄSUPPOSITIONEN UND ZURÜCKWEISUNGEN VON 'WARUM'-FRAGEN 23

1.4.3. PRAGMATISCHE FUNKTIONEN VON 'WARUM'-FRAGEN 26

1.5. ERKLÄRUNGSKOMPONENTEN IN KI-SYSTEMEN: DER STAND DER FORSCHUNG 27

1.5.1. EINFACHE VERFAHREN ZUR BEGRÜNDUNG VON HANDLUNGSSCHRITTEN 27

1.5.1.1. SHRDLU: das erste KI-System mit argumentativen Fähigkeiten 27

1.5.1.2. Die Beantwortung von 'Warum'-Fragen in LUIGI 30

1.5.1.3. Die Erklärungskomponente des Planungssystems NOAH 31

1.5.2. ERKLÄRUNGSTECHNIKEN IN WISSENSBASIERTEN EXPERTEN- UND BERATUNGSSYSTEMEN 34

1.5.2.1. TEIRESIAS: die Erklärungskomponente von MYCIN 34

1.5.2.2. Argumentative Fähigkeiten des Beratungssystems DIGITALIS ADVISOR 40

1.5.2.3. Die Verwendung der ARS-Anweisungen WHY und EXPLAIN im Expertensystem EL 43

1.5.3. VERFAHREN ZUR STRUKTURIERUNG VON NATÜRLICHSPRACHLICHEN ERKLÄRUNGEN 46

1.5.3.1. Die Strukturierung umgangssprachlicher Erklärungstexte in BLAH 46

1.5.3.2. Die Strukturierung von Beweistexten durch EXPOUND und TKP2 52

1.5.4. ZUSAMMENFASSENDER VERGLEICH ALLER BISHER ENTWICKELTEN ERKLÄRUNGSKOMPONENTEN 53

2. ALGORITHMISCHE ANALYSE UND GENERIERUNG SPRACHLICHER STRUKTUREN IN ARGUMENTATIVEN DIALOGEN 55

2.1. FORMALE KRITERIEN FÜR DAS AUSLÖSEN EINER ARGUMENTATIVEN BEANTWORTUNG VON BENUTZERFRAGEN 55

2.1.1. DAS AUSLÖSEN ARGUMENTATIVER ANTWORTEN DURCH SPRACHLICHE FORMULIERUNGEN DES BENUTZERS 55

2.1.2. DAS AUSLÖSEN ARGUMENTATIVER ANTWORTEN AUFGRUND KOMMUNIKATIVER UND KOGNITIVER BEDINGUNGEN 58

2.2. SPRACHLICHE MÖGLICHKEITEN ZUR FORMULIERUNG ARGUMENTATIVER ANTWORTEN 61

2.2.1. SPRACHMITTEL ZUR FORMULIERUNG EINES EINZELNEN ARGUMENTATIONSSCHRITTES 61

2.2.2. DIE SPRACHLICHE FORMULIERUNG EINSTRÄNGIGER, MEHRSTRÄNGIGER UND EINGEBETTETER ARGUMENTATIONSKETTEN 65

2.3. SPRECHAKTSCHEMATA FÜR ARGUMENTATIVE DIALOGSEQUENZEN 68

2.3.1. AUF ANTWORTEN DES SYSTEMS BEZOGENE 'WARUM'-FRAGEN DES BENUTZERS 68

2.3.1.1. Iterierte 'Warum'-Fragen und Letztbegründungen 68

2.3.1.2. Die Mehrdeutigkeit iterierter 'Warum'-Fragen 69

2.3.1.3. Sprachliche Indizien für kohärente argumentative Dialoge 71

2.3.1.4. 'Warum'-Fragen nach Antworten auf W-Fragen 73

2.3.2. DIALOGSCHEMATA MIT METAKOMMUNIKATIVEN 'WARUM'-FRAGEN 74

2.3.2.1. Metakommunikative 'Warum'-Fragen in Klärungsdialogen 75

2.3.2.2. Auf Zurückweisungen von Benutzerfragen bezogene 'Warum'-Fragen 76

2.3.2.3. 'Warum'-Fragen des Systems 78

3. ENTWURF UND REALISATION EINER KOMPONENTE ZUR REKONSTRUKTION APPROXIMATIVER INFERENZPROZESSE 81

3.1. APPROXIMATIVE INFERENZEN IN EINEM FUZZY-SORTIERTEN EVIDENZENKALKÜL 81

3.1.1. DEFINITION DER SYNTAX DES FUZZY-SORTIERTEN EVIDENZENKALKÜLS 81

3.1.2. ABLEITUNGEN IN DEM FUZZY-SORTIERTEN EVIDENZENKALKÜL 84

3.1.3. DER BEGRIFF DER MEHRFACHABLEITUNG UND DIE EVIDENZVERSTÄRKUNGSREGEL 86

3.2. ALGORITHMISCHE VERFAHREN ZUR FORMALEN REKONSTRUKTION VON APPROXIMATIVEN INFERENZPROZESSEN 90

3.2.1. MEHRFACHABLEITUNGEN IN F-IMPLIKATIONSNETZEN 90

3.2.1.1. Zur Definition von F-Implikationsgraphen 90

3.2.1.2. Algorithmen zur Suche nach Mehrfachableitungen in F-Implikationsnetzen 93

3.2.1.3. Die Evidenzverstärkung bei Mehrfachableitungen 99

3.2.2. EIN PROZEDURALES MODELL APPROXIMATIVER INFERENZEN IN DER KI-PROGRAMMIERSPRACHE FUZZY 103

3.2.2.1. Mehrfachableitungen in PLANNER-artigen Programmiersprachen: Problemanalyse und Lösungsansätze 104

3.2.2.2. Ein Prozedur-Dämon zur Realisierung einer Kontrollstruktur für Mehrfachableitungen 109

3.2.2.3. Konjunktion und Disjunktion partiell erfüllter Prämissen in DEDUCE-Prozeduren 115

3.2.2.4. Ein Vergleich mit der Kontrollstruktur des Interpreters für die in MYCIN verwendeten Produktionensysteme 117

3.2.2.5. Multiple AND/OR-Bäume zur graphischen Darstellung komplexer Inferenzprozesse 121

3.2.2.6. Die Realisierung der Fuzzy Substitutionsregel: Fuzzy Sorten und Fuzzy Matching 125

3.2.2.7. Ein zusammenfassendes Beispiel für die vier charakteristischen Eigenschaften des Inferenzmodells 129

4. REALISATION EINER ERKLÄRUNGSKOMPONENTE 136

4.1. EIN FORMALES MODELL ZUR BESTIMMUNG VON ANTWORTEN AUF 'WARUM'-FRAGEN 136

4.1.1. LOGISCH ADÄQUATE ANTWORTEN AUF 'WARUM'-FRAGEN 136

4.1.2. VOLLSTÄNDIGE KOMMUNIKATIV ADÄQUATE ANTWORTEN AUF 'WARUM'-FRAGEN 138

4.1.3. PARTIELLE KOMMUNIKATIV ADÄQUATE ANTWORTEN AUF 'WARUM'-FRAGEN 141

4.2. EIN GENERIERUNGSVERFAHREN FÜR BESCHREIBUNGEN VON INFERENZPROZESSEN 145

4.2.1. AUFBAU EINES INFERENZGEDÄCHTNISSES DURCH EINEN PROZEDUR-DÄMONEN 147

4.2.2. DIE BERÜCKSICHTIGUNG DER INFORMATIVITÄT EINES ABLEI-TUNGSSCHRITTES 150

4.2.3. DIE BEHANDLUNG DISJUNKTIV VERKNÜPFTER PRÄMISSEN 153

4.3. ATN-BASIERTE VERBALISIERUNG VON ERKLÄRUNGEN 157

4.3.1. ATNS ZUR ERZEUGUNG NATÜRLICHER SPRACHE 159

4.3.2. EINE GENERIERUNGSGRAMMATIK ZUR VERBALISIERUNG VON INFERENZREGELN 161

4.3.3. STEUERUNG VON OBERFÄCHENTRANSFORMATIONEN DURCH EIN PRODUKTIONENSYSTEM 166

ANHANG 1: TECHNISCHE DATEN ZUR IMPLEMENTATION DER ERKLÄRUNGS-KOMPONENTE 169

ANHANG 2: ELEMENTE DER KI-PROGRAMMIERSPRACHE FUZZY 172

LITERATURVERZEICHNIS 177

AUTORENREGISTER 190

SACHREGISTER 192