

A. B. Cremers, H. Kahler, K. Lehner (Hrsg.)

KI-NRW Summary 93-94

Forschungsnetz

*Anwendungen
der
Künstlichen Intelligenz*

in
Nordrhein-Westfalen

Impressum

	Forschungsnetz "Anwendungen der Künstlichen Intelligenz" in NRW
Sprecher	Prof. Dr. A.B. Cremers
Adresse	Universität Bonn Institut für Informatik III Römerstr. 164 D- 53117 Bonn Telefon: (0228) 550 221 Telefax: (0228) 550 382

Inhaltsverzeichnis

Anwendungen der Künstlichen Intelligenz in NRW	1
<i>Sachstandbericht des Sprechers, A. B. Cremers (Bonn)</i>	
<u>Forschungsbereich I: CSCW in Designumgebungen</u>	7
<i>Vorwort des Koordinators, G. Schlageter (Hagen)</i>	
Qualitative Entscheidungsunterstützung für Gruppen	
Eine aktive objektorientierte Datenbank zur Unterstützung kooperativer Arbeitsprozesse in Design-Umgebungen	
Basismechanismen zur Kooperationsunterstützung	
Modellierung gruppengestützter Entscheidungsprozesse und Teamarbeit in Designprojekten	
<u>Forschungsbereich II: Logikverarbeitung</u>	41
<i>Vorwort des Koordinators, H. Kleine Büning (Paderborn)</i>	
<u>Forschungsbereich III: Künstliche Intelligenz und Computergrafik</u>	49
<i>Vorwort des Koordinators, I. Wachsmuth (Bielefeld)</i>	
INSIGHT - Interaktive Simulationsumgebung für den Entwurf autonomer Systeme	
GRANAS - Behaviour-basierte Grafik-Agenten und natürlichsprachliche Steuerung	
VIENA- Interaktives Grafik-Design mit situierten Agenten	
GRINN - Grafikgenerierung in Neuronalen Netzen	
Verzeichnis der Schriftenreihe: KI-NRW Reports	85

KI-NRW: Forschungsgruppen und Forschungsgruppenleiter

Prof. Dr. K.-H. Becks
Universität-GH Wuppertal
Fachbereich Physik
Gaußstraße 20
42119 Wuppertal
Tel. (0202) 439-2607 / 2733

Prof. Dr. Th. Christaller
Universität Bielefeld
Technische Fakultät - Wissensbasierte Systeme
Universitätsstr. 1
33615 Bielefeld
Tel. (0521) 106-2910

Prof. Dr. A. B. Cremers
Universität Bonn
Institut für Informatik III
Römerstr. 164
53117 Bonn 1
Tel. (0228) 550-281 / 282

Prof. Dr. M. Jarke
RWTH Aachen
Institut für Informatik V
Ahornstr. 55
52074 Aachen
Tel. (0241) 80-21500

Prof. Dr. H. Kleine Büning
Universität-GH Paderborn
Fachbereich 17, Praktische Informatik
Warburger Str. 100
33098 Paderborn
Tel. (05251) 603 361

Prof. Dr. A. Kuhn
Fraunhofer Institut für Materialfluß und Logistik
sowie Universität Dortmund, Fachbereich
Maschinenbau, Lehrstuhl für Förder- und
Lagerwesen
Emil-Figge-Str. 75
44227 Dortmund
Tel. (0231) 9743-0

Prof. Dr. D. Metzging
Universität Bielefeld
Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft
Lehrstuhl für Computerlinguistik
Postfach 8640
33615 Bielefeld
Tel. (0521) 106-3676 / 3688

Prof. Dr. H. Ritter
Universität Bielefeld
Technische Fakultät
Neuroinformatik
Universitätsstr. 1
33615 Bielefeld
Tel. (0521) 106-5179

Abteilung

Prof. Dr. I. Wachsmuth
Universität Bielefeld
Technische Fakultät - Wissensbasierte Systeme
Universitätsstr. 1
33615 Bielefeld
Tel. (0521) 106-2910

Prof. Dr. G. Schlageter
FernUniversität-GH Hagen
Praktische Informatik I
Feithstr. 140, Postfach 940
58097 Hagen
Tel. (02331) 804-2975

Anwendungen der Künstlichen Intelligenz in NRW Sachstandbericht des Sprechers

1. Schwerpunkte und Perspektiven

Der Forschungsverbund KI-NRW ist nach einer Vorlaufphase (1.7.87 - 31.12.89) seit 1990 auf der Grundlage eines abgestimmten Forschungsprogramms zwischen mehreren Universitäten des Landes sowie des FhG-IML und der GMD eingerichtet worden. In Ergänzung örtlicher Schwerpunkte (z.B. Zentrum für Expertensysteme Dortmund (ZEDO)) und Aktivitäten anderer Landesressorts (z.B. ZENIT/Labor für Expertensysteme) sowie der Industrie (z.B. Unternehmen des TechnoParks Dortmund) hat der Forschungsverbund landesübergreifende und internationale Aufgaben wahrgenommen und entscheidend zur Aktivierung des Wissenschaftsgebietes KI in NRW beigetragen. Seit 1990 ist KI-NRW als Mitgründer in der Arbeitsgemeinschaft Deutscher KI-Institute (AKI) vertreten. Prof. Cremers war 1991 bis 1992 der turnusmäßige Sprecher der AKI.

Zum 31.12.1992 hatte KI-NRW eine dreijährige Forschungsphase abgeschlossen, für die programmatisch eine Fortsetzung für weitere zwei Jahre (1993/94) vorgesehen war. Aufgrund der veränderten Haushaltslage der Forschungsförderung des Landes und als Konsequenz der damit einhergegangenen Aufforderung zum Umbau hatte der Forschungsverbund ein um 40% gegenüber dem 1990-er Rahmen reduziertes Programm durchgeführt. Die bisherigen Bereiche "Anwendungen der Expertensysteme" und "Natürlichsprachliche KI" waren entsprechend bereits 1992 abgeschlossen worden. Der erstgenannte Bereich ist seither schwerpunktmäßig durch die ZEDO-Initiative in Dortmund vertreten, der zweite durch einen Schwerpunkt in Bielefeld, welcher Forschungen im Rahmen der DFG (SFB 360) verstärkt. Ein Teilprogramm zum Thema "Inferenz und Parallelität", das in der Zwischenzeit ebenfalls schon vorbereitet worden war, mußte angesichts der Kürzung der Mittel zu einem Projekt "Logikverarbeitung" umgebaut werden.

Im Berichtszeitraum 1993/94 hat sich KI-NRW als Informatik-Forschungsnetz auf folgende Schwerpunktbereiche konzentriert: Computergestütztes kooperatives Arbeiten in Designumgebungen (CSCW), Logikverarbeitung sowie KI und Computergrafik. Bei CSCW handelt es sich um einen Schwerpunktbereich, der im Rahmen der gegenwärtigen Diskussion um neue Paradigmen der Informatik insgesamt von größter Bedeutung ist. Im Bereich Logikverarbeitung sind eine Reihe unterschiedlicher Aktivitäten zusammengefaßt, die auf Logik als Beschreibungssprache sowie auf der Frage nach der Verarbeitungseffizienz basieren. Das Ziel

des dritten Bereichs ist es, Techniken der KI in Prozessen der Kommunikation und Simulation in Computergrafik-Systemen zu untersuchen und anzuwenden.

2. Forschungs- und Projektbereiche

2.1. CSCW in Design-Umgebungen

Der Forschungsbereich CSCW in Design-Umgebungen untersucht die Unterstützung von interdisziplinärer Zusammenarbeit durch Computer- und Kommunikationstechnologie an Beispielen aus der Logistik (Fabriklayout). Parallelisierung der traditionellen Entwurfsphasen und interdisziplinäre Zusammenarbeit sollen die Entwicklungszeit verkürzen und gleichzeitig Produkt- und Prozeßqualität verbessern. Hierzu sind die gängigen, auf Einzelbenutzer ausgelegten Entwurfs- und Konstruktionsmethoden und Werkzeuge in einen kooperativen Kontext einzubetten und mit Techniken zum kooperativen Entscheiden, zum parallelen Arbeiten auf gemeinsamen Objekten und zur Aufgabenkoordination zu verknüpfen.

Das Projekt untersuchte diese Problematik im Zusammenspiel dreier Ebenen:

- Anwendungsebene des kooperativen Fabriklayouts in Ergänzung industriell erprobter und experimenteller Entwurfsmethoden und Werkzeuge (Prof. Kuhn, M. Kloth, Fraunhofer-Institut für Materialfluß und Logistik, Dortmund).
- Problemorientierte Kooperationsebene des kooperativen Entscheidens anhand des aus der industriellen Qualitätssicherung bekannten, aber hier als Darstellungsmedium für mehrkriterielle Gruppenentscheidungen umgedeuteten "House of Quality" (Prof. Dr. M. Jarke, S. Jacobs, RWTH Aachen).
- Basistechnologieebene zum einen aus Datenbanksicht, wie die Anpaßbarkeit der Systeme im Hinblick auf die Gruppenarbeitsorganisation (Sichten, Rollen, Gruppenvereinbarungen) und die Unterstützung von Kommunikation als Koordinierungswerkzeug für die parallele Objektbearbeitung, zum anderen aus Sicht der Technologie aktiver Datenbanken (Prof. Dr. G. Schlageter, S. Mittrach, FernUniversität Hagen, Prof. Dr. A.B. Cremers, A. Pfeifer, H. Kahler, K. Lehner, H. Berse, Universität Bonn).

Die entstandenen Konzepte wurden in prototypische Softwarewerkzeuge umgesetzt und in Kooperation mit Fabrikplanern praktisch evaluiert. Von zentraler Bedeutung war die durchgängige Unterstützung sowohl synchroner als auch asynchroner Phasen der Kooperation.

Das Projekt diente als Grundlage für die Evaluierung mit möglichen Anwendern und lieferte ergänzenden Input zu einer Reihe von Folgeprojekten. Partielle Evaluierungen wurden durchgeführt in einem System zur Arzt-Schwester-Koordination in Intensivstationen (gemeinsam mit dem Helmholtz-Institut und dem Klinikum Aachen), einem System zum durchgängigen Qualitätsmanagement von Expertensystemen in der chemischen Produktion (gemeinsam mit der Fa. Henkel).

Die Anwendbarkeit entscheidungsorientierter Kooperationskonzepte im Requirements Engineering für softwareintensive Produkte untersuchte das von der Aachener Gruppe koordinierte ESPRIT-Projekt NATURE, allgemeiner Aspekte der formalen Kooperationsmodellierung die ESPRIT-Forscherguppe ModelAge. Die BMFT-Forscherguppe "Wissensbasierte Systeme in der Qualitätssicherung" integrierte einige der in Aachen entwickelten Konzepte in den größeren Zusammenhang des unternehmensweiten Qualitätsmanagements.

An der FernUniversität Hagen bestanden enge Kooperationen im Rahmen von JESSI- und ECIP-Projekten, deren Schwerpunkte im Bereich CAD-Aktivitäten im VLSI-Design liegen. Gemeinsame Themen waren unter anderem Konflikt-Resolution und Versionsmanagement. Darüber hinaus gab es Querbezüge zum Projekt "Design-Unterstützung durch automatischen Bemessungstransfer", das von den Ford-Werken über ein Forschungs-Grant finanziert wurde.

Die Universität Bonn knüpfte an die Ergebnisse des BMFT-Forschungsprojektes "Entwicklung von Gestaltungsanforderungen für vernetzte Systeme" an, in dem Grundsätze für software-ergonomische Gestaltung von Groupware erarbeitet wurden. Die Arbeiten an diesem Teilprojekt erfolgten in Kooperation mit dem ESPRIT-Projekt IDEA, dessen Gegenstand die Integration von objektorientierter, aktiver und deduktiver Datenbanktechnologie ist. Es ist geplant, die bisher erzielten Ergebnisse in das Polikom-Forschungsprogramm einfließen zu lassen.

2.2. Logikverarbeitung

In dem Bereich Logikverarbeitung sind eine Reihe unterschiedlicher Aktivitäten zusammengefaßt, die auf Logik als Beschreibungssprache sowie der Verarbeitung dieser Beschreibung basieren. Der zentrale Begriff ist hierbei die Deduktion, also das Bilden und überprüfen von Schlußfolgerungen und hierfür geeignete Verfahren. Solche Verfahren finden ihre Anwendung auch in Teilprojekten, die sich mit Theorembeweisern, deduktiven Datenbanken und der Verifikation von parallelen logischen Programmen befassen.

Ein wichtiger Aspekt hierbei ist die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von verschiedenen Beweisverfahren. Hier interessierte sowohl die Fragestellung, welche Verfahren für welche Aufgaben am besten geeignet sind, als auch der Vergleich verschiedener Beweiskalküle. Neben empirischen Untersuchungen des Laufzeitverhaltens konkreter deterministischer Inferenzalgorithmen im Worst-Case und im Average-Case war man hier besonders an exakten theoretisch fundierten Aussagen interessiert, wie sie schon exemplarisch für aussagenlogische Beweisverfahren angegeben werden konnten.

Weitere Teilprojekte befaßten sich mit der effizienten Implementierung von Logikverfahren, sowie der Entwicklung von Herleitungsstrategien und exemplarischen Theorembeweisern, welche die Vorteile unterschiedlicher Verfahren nutzen. Ein Schwerpunkt lag hierbei auch auf der Untersuchung von parallelen Theorembeweisern.

Abgerundet wurden die Untersuchungen von Teilprojekten, die sich mit logikbasierter Wissensrepräsentation und der Entwicklung entsprechender Beweiskalküle befassen. Hierbei sind insbesondere nicht-klassische Logiken, Konzepte des nicht-monotonen Schließens und ihre Beziehung zur logischen Programmierung von Interesse (Prof. Dr. A.B. Cremers, Universität Bonn, Prof. Dr. H. Kleine Büning, Universität-GH Paderborn).

2.3. Künstliche Intelligenz und Computergrafik

Im KI-NRW Forschungsbereich "Künstliche Intelligenz und Computergrafik" an der Universität Bielefeld wurden die Anwendungsmöglichkeiten von KI-Techniken bei der Kommunikation und Simulation in Computergrafik-Designumgebungen erschlossen. Dazu liefen folgende vier Einzelvorhaben:

- **V I E N A** - Die intelligente Kommunikation mit einem 3D-Grafiksystem zwecks interaktiver Manipulation von virtuellen Objekten war Gegenstand des VIENA-Projekts. Hierzu wurden Techniken der Künstlichen Intelligenz (insbesondere der VKI) eingesetzt. Die Kommunikation dient der Unterstützung von kreativen Entwurfsprozessen, z. B. in der Innenarchitektur. Ein Mehrgagentensystem, das auf einer virtuellen Entwicklungsumgebung aufsetzt, übernimmt qualitative verbale Anweisungen und übersetzt sie situationsbezogen in quantitative Kommandos, die das visualisierte Szenenmodell aktualisieren (Prof. Dr. I. Wachsmuth, Technische Fakultät).
- **G R A N A S** - In diesem Projekt wurden Forschungsansätze für die Konstruktion behaviorbasierter Grafik-Agenten ausgewertet, und zwar unter dem besonderen

Gesichtspunkt ihrer natürlichsprachlichen Steuerung. Die Verwendung natürlicher Sprache in diesem Kontext ist in hohem Maße situationseingebettet (indexikalisch). Es wurden konstruktive Lösungen für Grafik-Agenten entwickelt, welche bei der Durchführung aufgabenbezogener praktischer Tätigkeiten Koordinations-, Reaktions- und Planungsleistungen übernehmen und dabei natürlichsprachliche Anweisungen aufnehmen und umsetzen können (Prof. Dr. D. Metzger, Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft).

- **I N S I G H T** - Dieses Projekt diente der Entwicklung einer interaktiven Simulationsumgebung zum Entwurf und Testen autonomer Systeme. Hierbei wurden neue Techniken der visuellen Exploration eingesetzt, um das Verhalten eines autonomen Systems in simulierten Umwelten zu studieren. Es sollte die Ankopplung an ein reflexives System, das die Kontrolleinheit des autonomen Systems darstellt, erschlossen werden. Am Beispiel des Erwerbs einer kognitiven Karte wurden Möglichkeiten des interaktiven Welten- und Agentendesigns und der interaktiven Evaluation autonomer Systeme ausgearbeitet (Prof. Dr. Th. Christaller, Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft).
- **G R I N N** - Bilder sind hochdimensionale Datenstrukturen, deren realitätsnahe Animation komplexe mathematische Transformationen erfordert. Das Projekt GRINN verfolgte das Ziel, für die Synthese und Steuerung solcher Transformationen die Fähigkeiten neuronaler Netze nutzbar zu machen. Im Vordergrund stand das automatische, kontextsensitive Auffinden von Bildkorrespondenzen für statische und bewegte Szenen. Die durch diesen Ansatz ermöglichte effektivere Repräsentation wird für ein interaktives Design von Animationssequenzen aus wenigen Bildprototypen eingesetzt (Prof. Dr. H. Ritter, Technische Fakultät).

Über die Durchführung dieser gemeinsamen Projekte hinaus verfolgt KI-NRW u.a. das Ziel, auf der Basis einer koordinierten Forschungsplanung das Potential vorhandener Einrichtungen für den weiteren Ausbau der o.g. KI-Schwerpunkte intensiv zu nutzen.

Desweiteren stellen sich dem Verbund als wesentliche Aufgaben, den Wissenstransfer in Industrie und Wirtschaft voranzutreiben sowie die Zusammenarbeit mit den verwandten Programmen und Initiativen, insbesondere auf europäischer Ebene zu intensivieren.

Bonn, Dezember 1994

Armin B. Cremers

Forschungsbereich I



*CSCW
in
Design-
Umgebungen*

*Anwendungen der Künstlichen Intelligenz in Nordrhein-Westfalen***CSCW in Designumgebungen****Abschlußbericht für den Antragszeitraum 1.1.93 - 31.12.94***Vorwort des Koordinators*

Immer komplexer werdende Arbeitsvorgänge fordern die gruppenorientierte Bearbeitung von Entwicklungsaufgaben. Die technische Voraussetzung für einen intensiven Informationsaustausch von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz wurde mit steigender Leistung und sinkenden Kosten für "personal workstations" und Telekommunikation geschaffen. Die technische Basis der Vernetzung allein reicht aber nicht aus, um die gruppenorientierte Arbeitsform effektiv zu unterstützen. Dazu bedarf es neuer Ansätze, die der Flexibilität, der Dezentralität und der Dynamik der neuen Arbeitsform gerecht werden.

Im Projekt „CSCW in Designumgebungen“ wurde kooperatives Arbeiten im Anwendungsfeld „Design“ betrachtet. Dieses Anwendungsfeld eignete sich insbesondere deshalb, weil Designaufgaben so komplex sind (beispielsweise der Entwurf eines Automobils oder eines Mikro-Chips), daß sie nur von einem Expertenteam gelöst werden können. An geographisch verteilten Workstations arbeitend, befassen sie sich mit dem Design eines Entwicklungsobjektes. Dabei sind umfangreiche Absprachen zwischen den Designern und die dynamische gemeinsame Nutzung von Daten und Informationen der Designobjekte erforderlich.

Die Untersuchung von Designprozessen kann aus verschiedenen Forschungsrichtungen und in verschiedenen Ebenen erfolgen. Im Projekt „CSCW in Designumgebungen“ wurden drei verschiedene, aber doch einander beeinflussende Aspekte von CSCW beleuchtet. Die Partner der RWTH Aachen beschäftigten sich mit dem Aspekt der Entscheidungsunterstützung. Ziel war die Entwicklung eines Koordinierungswerkzeuges, das in unterschiedlichen Entscheidungssituationen den Benutzern hilft, Konflikte bzw. verschiedene Sichtweisen auf Situationen darzustellen. Aus solchen Entscheidungssitzungen gehen Arbeitspakete hervor, deren Bearbeitung systemkontrolliert erfolgen soll. Die den Arbeitspaketen zugrundeliegenden Schriften müssen verwaltet werden; sie müssen betroffenen Personen zugänglich gemacht werden. Diese Aspekte wurden von den Bonner Partnern betrachtet. Die Hagener Projektpartner entwickelten Basismechanismen, die die Zusammenarbeit bei der Bewältigung der einzelnen Arbeitspakete koordinieren sowie Datenbankaspekte in diesem Zusammenhang berücksichti-

gen. Schwerpunkt dabei war die bestmögliche Vermeidung bzw. Auflösung von Konfliktsituationen bei der Nutzung gemeinsamer Ressourcen. Insgesamt ergibt sich somit ein sich ergänzendes Gesamtsystem, das verschiedene Aspekte gruppenorientierter Zusammenarbeit synergetisch unterstützt.

Hagen, Oktober 1994

Gunter Schlageter

Qualitative Entscheidungsunterstützung für Gruppen

Leiter: Prof. Dr. Matthias Jarke

Mitarbeiter: Stephan Jacobs

Informatik V, RWTH Aachen

1. Zusammenfassung

Das Teilprojekt "Qualitative Entscheidungsunterstützung für Gruppen" an der RWTH Aachen betont den Entscheidungscharakter komplexer Entwicklungsprozesse. Ziel ist es, ein Werkzeug zu entwickeln, das in unterschiedlichen Entscheidungssituationen den Benutzern hilft, zwischen Alternativen abzuwägen, Konflikte zu entdecken und zu beheben, unterschiedliche Sichten in Verhandlungen darzustellen und als gemeinsames "Diskussions-Forum" Informationen übersichtlich zu präsentieren. Die zentrale Rolle bei dieser Art von Entscheidungsunterstützung spielt dabei ein intuitiv benutzbare Mensch-Maschine Schnittstelle. In Anlehnung an das House-of-Quality, das durch die weite Verbreitung der Methode Quality Function Deployment (QFD) vor allem bei Anwendern sehr bekannt ist, wurde das Toolkit CoDecide entwickelt, aus dem sich unterschiedliche entscheidungsunterstützende Werkzeuge generieren lassen. Spezielle Anwendungen werden/wurden in eine CAD-Umgebung zur Fabriklayout-Planung sowie in eine CASE-Umgebung zur Spezifikation von Anforderungen integriert.

2. Projektverlauf

Kooperation und Teamarbeit nimmt aus verschiedenen Gründen immer mehr an Bedeutung zu.

- **Komplexität:** Derzeitige Produkte, etwa ein Auto oder ein Computerchip sind derartig komplex, daß die Kenntnisse und Fähigkeiten verschiedener Personen benötigt werden, um ein einzelnes Produkt zu entwerfen. Komplexität entsteht beispielsweise durch unterschiedliche, sich teilweise widersprechende Anforderungen.
- **Qualität:** Das Qualitätsmanagement hat sich von einer nachgeordneten Einzelfunktion zu einer zentralen, alle Aspekte des Produktlebenszyklus umfassenden Aufgabe entwickelt. Aus diesem Grund ist eine Zusammenarbeit über die Grenzen einzelner Abteilungen hinweg notwendig.

- **Entwicklungszeit:** Der Entwurf ist kein geradliniger Prozeß. Im Gegenteil: Er ist geprägt von Iterationen, Rücksprüngen, etc. Zusammen mit phasen- und abteilungsorientiertem Denken führt dieser Prozeß zu großen Verzögerungen und langen Entwicklungszeiten. Empirische Untersuchungen zeigen, daß vor allem Rücksprünge aus weit auseinanderliegenden Phasen die Engpässe im Entwicklungsprozeß bilden. Durch Parallelisierung (Simultaneous Engineering, Concurrent Engineering) werden die Wechselwirkungen zwischen den Phasen schneller propagiert. Parallelisierung erfordert aber ein hohes Maß an Kooperation und Teamarbeit.

Ein unvermeidlicher Nachteil paralleler Arbeit ist das hohe Konfliktpotential. Dieses resultiert beispielsweise aus mangelnder Kenntnis der anderen Disziplinen, unterschiedlichen Sprachen, aber auch inkompatiblen Zielen. Konfliktlösung muß von vorneherein in den teamorientierten Entwurfsprozeß miteinbezogen werden. Entscheidungsunterstützung, neben Koordination und Kollaboration eine der drei Formen von Kooperation, ist eine Möglichkeit, Konflikte zu entdecken und aufzulösen. Als Grundlage für Entscheidungsunterstützung im teamorientierten Entwurf wurden vor allem Zielorientierung und Bewertbarkeit identifiziert [Bree93, Demi86].

Erfolgreiche Kooperation ist das Ergebnis der täglich von den Teammitgliedern getroffenen Entscheidungen. Es ist deshalb wünschenswert, möglichst viele dieser Entscheidungen zu unterstützen. Der in diesem Projekt verfolgte Lösungsansatz besteht darin, jedem Entwickler ein mit einem "Kompaß" vergleichbares Werkzeug zu geben, das ihm die Orientierung erleichtert, also die Einordnung seiner eigenen Arbeit in den Gesamtkontext, die Identifikation von Berührungspunkten zur Arbeit anderer Teammitgliedern, sowie die Entdeckung und Auflösung von Ziel-(Richtungs) Konflikten. Die Analyse von Kompassen impliziert dabei mehrere Eigenschaften:

- Ein Kompaß erlaubt die Überprüfung der eingeschlagenen Richtung. Während ein richtiger Kompaß die Raumrichtung angibt, soll der "Entwurfskompaß" die Zielrichtung festlegen. Die lokalen Ziele werden den globalen Zielen gegenübergestellt. Auf diese Weise wird eine Einordnung der eigenen Arbeiten sowie eine Orientierung über das weitere Vorgehen ermöglicht.
- Ein Kompaß ist jederzeit und fast überall einsetzbar. Die Richtung wird automatisch ermittelt. Der Entwurfskompaß soll ebenso automatisch einsetzbar sein. Die notwendigen Informationen zur Orientierung sollen automatisch durch Integration mit anderen Entwurfswerkzeugen ermittelt werden.

- Ein Kompaß ist einfach und intuitiv zu benutzen. Analog sollte der Entwurfskompaß ein einfach und intuitiv zu benutzendes Werkzeug sein, das heißt, es ist besondere Sorgfalt auf eine geeignete Benutzerschnittstelle zu legen.

Der Vergleich mit dem Kompaß und die daraus abgeleiteten Anforderungen an den Entwurfs-Kompaß führten zu folgenden Konsequenzen:

- Um ein universell einsetzbares Werkzeug zu erhalten, ist die Implementierung eines Werkzeugkastens für "Situative Kompassse" nötig. Das heißt, daß das allgemeine Prinzip des Kompasses je nach Situation immer wieder neu entwickelt und implementiert werden muß.
- Um die intuitive Benutzbarkeit des Kompasses zu gewährleisten, muß eine geeignete, leicht verständliche Benutzerschnittstelle entwickelt werden. Als Ausgangspunkt diene das House-of-Quality (HoQ, vgl. Abbildung 1) der qualitätsorientierten Methode Quality Function Deployment (QFD, vgl. Kapitel 3.1). Das HoQ hat neben der intuitiven Benutzbarkeit den Vorteil, daß Zielorientierung durch explizite Angabe von Kundenwünschen und Zielwerten sowie Bewertbarkeit durch explizite Angabe von Korrelationen zwischen unterschiedlichen Sichten automatisch erreicht wird (vgl. Abb. 1). Ebenfalls kann durch Gegenüberstellung einer globalen mit der lokalen Sicht die Orientierung erzielt werden.
- Die intuitive Benutzbarkeit soll durch Integration mit typischen Entwurfswerkzeugen wie z.B. CAD- oder CASE-Tools weiter verbessert werden. Die Integration ermöglicht es, die lokale Sicht des Entwurfswerkzeugs einer globalen Sicht gegenüberzustellen, oder aber die lokalen Sichten zweier Entwurfswerkzeuge miteinander zu verbinden.

3. Ergebnisse

Im folgenden werden die Ergebnisse des Projekts zusammengefaßt. Zuerst werden die Eigenschaften des HoQs analysiert und generalisiert. Anschließend wird auf Grund der Analyse das Toolkit entworfen und einige Implementierungsdetails erläutert. Anhand von drei Beispielen werden mögliche "Kompassse" skizziert.

3.1 Sichtenkopplung

Im kooperativen Entwurf gibt es mehrere Sichten auf das zu entwerfende Produkt. Beim Software-Engineering wird beispielsweise zwischen Daten-, Funktions-, Datenflußsicht etc. unterschieden. Aber auch unterschiedliche am Entwurfsprozeß beteiligte Personen haben

verschiedene, persönliche Sichten, die oft durch unterschiedliche Ziele geprägt sind. Unterschiedliche Rollen, wie beispielsweise der Kunde, der Qualitätsbeauftragte, der Produktionsverantwortliche, die Rechtsabteilung etc. haben wiederum andere Sichten auf das zu entwerfende Produkt. Eine Fülle verschiedener Sichten ist also natürlicher Bestandteil jedes Entwurfsprozesses. Damit ein globales Verständnis des Entwurfs gewahrt bleibt, muß es zwischen den einzelnen Sichten Absprachen geben, die Sichten müssen miteinander gekoppelt werden. Die einzelnen Sichten haben oft eine Darstellung in einer für die Sicht optimierten Notation. Die Datensicht wird beispielsweise mit Hilfe von Entity-Relationship Diagrammen und die Datenflußsicht mit Hilfe von Data-Flow Diagrammen dargestellt. Die einzelnen Notationen sind dabei in dem Sinne optimiert, daß sie innerhalb einer Sicht das zu entwickelnde Produkt geeignet und übersichtlich darstellen. Verbindet man allerdings zwei Sichten, dann sind die Notationen für die Kopplung nicht unbedingt geeignet. Beispielsweise ist eine Notation nur dem Experten bekannt, ein Abgleich zwischen zwei Sichten ist nicht möglich.

Das Problem separater Sichten ist insbesondere unter dem Gesichtpunkt der Qualitätsorientierung ein großes Hindernis. Die Umorientierung von "erkontrollierter" zu "erzeugter" Qualität, verbunden mit abteilungsübergreifenden Qualitäts-Teams dokumentiert die Notwendigkeit ganzheitlicher, das heißt sichtenkoppelter Ansätze [Zult93]. Im Zuge dieser Qualitätsorientierung wurden verschiedene Methoden entwickelt. Eine der erfolgreichsten ist das eingangs erwähnte Quality Function Deployment (QFD) [HaCl88, Sull86, ThTr90], welches bereits im Zwischenbericht vorgestellt und analysiert wurde.

Das HoQ kann als eine allgemeine, intuitiv verständliche Darstellung gekoppelter Sichten verstanden werden. Jede einzelne Sicht muß in eine hierarchisch aufgebaute Tabelle (Baumstruktur) transformiert werden. Tabellen können dann mit Hilfe der Korrelationsmatrizen miteinander gekoppelt werden. In diesem Sinne ist QFD der systematische Ansatz, die Sicht der Kundenwünsche mit der Sicht der technischen Merkmale zu koppeln, und aufgrund der Kopplung Entwurfsentscheidungen zu treffen.

3.2 Implementierung

Derzeitige QFD-Werkzeuge sind lediglich HoQ-Editoren bzw. "bessere" Schnittstellen zu einer Datenbank [Gfmt92, NDLY90, SrTo90, Wolf93]. Als Einzelplatzsysteme geht ihnen der kooperative Charakter von QFD gänzlich verloren. Zurück bleibt oft nur ein Tabellenkalkulationsprogramm - allerdings ohne Kalkulationsfunktionen. Darüberhinaus findet QFD in Sitzungen statt. Der Computer als sitzungsunterstützendes Werkzeug ist jedoch bislang umstritten. Die von uns getesteten QFD-Implementierungen hatten zudem eine

undurchsichtige Benutzerschnittstelle, die die intuitive Benutzbarkeit des ursprünglichen HoQs (Papier und Bleistift!) zerstörte.

Im Gegensatz zu diesen Implementierungen haben wir eine gänzlich unterschiedliche Vision. Unsere Zielsetzung besteht *nicht* in der Implementierung eines HoQs, sondern in der Entwicklung eines Baukastens, der die in Kapitel 3.1 angedeutete Generalisierung der HoQ-Prinzipien umsetzt [Gebh94]. Mit Hilfe dieses Baukastens läßt sich zwar dann auch ein HoQ implementieren (vgl. Abbildung 1) aber auch Darstellungen für andere Sichtenkopplungen erzielen (vgl. Abbildung 2).

Eine Analyse des HoQ ergibt zwei zueinander orthogonale Datenstrukturen: Segmente und Bänder bzw. Felder und Spuren. Ausprägungen von Segmenten sind etwa Tabellen und Matritzen. Typische Funktionen auf einem Segment sind ein Export oder Import. In einem Segment werden die Sichten bzw. die Kopplungen dargestellt. Ein Segment selbst läßt sich in Felder unterteilen. Felder sind die atomaren Strukturen, in denen die Informationen in Form von Strings oder Zahlen abgelegt werden. Bänder stellen den Zusammenhang zwischen den Segmenten her. Die Notwendigkeit von Bändern wird offensichtlich, wenn man das Einfügen einer neuen Zeile betrachtet. Eine Zeile geht über die Segmentgrenze hinaus. Natürlich soll nicht nur in einem Segment eine Zeile eingefügt werden, sondern ebenso in den benachbarten Segmenten an der entsprechenden Stelle. Das Band gewährleistet diese Verbindung zwischen benachbarten Segmenten. Analog zur Beziehung zwischen Segmenten und Feldern lassen sich Bänder in Spuren zerlegen. Spuren stellen einzelne Zeilen und Spalten dar. Spuren verbinden die Felder der Segmente.

Die Implementierung wurde als Erweiterung des Tcl/Tk-Baukastens realisiert. Die von diesem Toolkit angebotenen Möglichkeiten zur Kooperation, wie z.B. Computer-Konferenzen, können auch innerhalb von CoDecide genutzt werden.

Für eine genauere Beschreibung der Implementierung sowie weitere Beispiele sei auf den entsprechenden KI-Report verwiesen (Kapitel 5, Veröffentlichungen).

3.3 Beispiele

Im folgenden soll an zwei Beispielen die Möglichkeiten von CoDecide demonstriert werden. Im ersten Beispiel geht es um die intuitive Benutzbarkeit am Beispiel des HoQ. Im zweiten wird ein mit CoDecide implementiertes Werkzeug innerhalb der CASE-Umgebung PRO-ART zur Kooperation eingesetzt.

3.3.1 Das House-of-Quality

Abbildung 1 enthält einen Screendump des mit CoDecide implementierten HoQ-Tools. Die typische Form des HoQs wird durch entsprechende Wahl der Segmente gewährleistet. Das Haus besteht aus drei Bändern, die die Kundenwünsche, die technischen Merkmale sowie die Konkurrenzprodukte (Bewerber) darstellen. An den Schnittstellen zwischen den Bändern stellen die Korrelationsmatrizen die Kopplungen zwischen den Bändern dar.

Intuitive Benutzbarkeit wird durch einfache Editiermöglichkeiten gewährleistet. Hierzu gehören das einfache Anwählen eines Feldes genauso wie die üblichen Scrollbars. Durch Anklicken der Dreiecke links von den Kundenwünschen bzw. oberhalb der Produkteigenschaften werden Unterpunkte ein- bzw. ausgeblendet. Auf diese Weise kann zwischen einer abstrakten und einer konkreten Sicht auf die zur Verfügung stehenden Information gewählt werden. Die Scrollbar für die Konkurrenzprodukte bewegt tatsächlich nicht nur die unter ihr liegenden Spalten, sondern auch die entsprechenden Zeilen, da das Konkurrenzband "um die Ecke läuft".

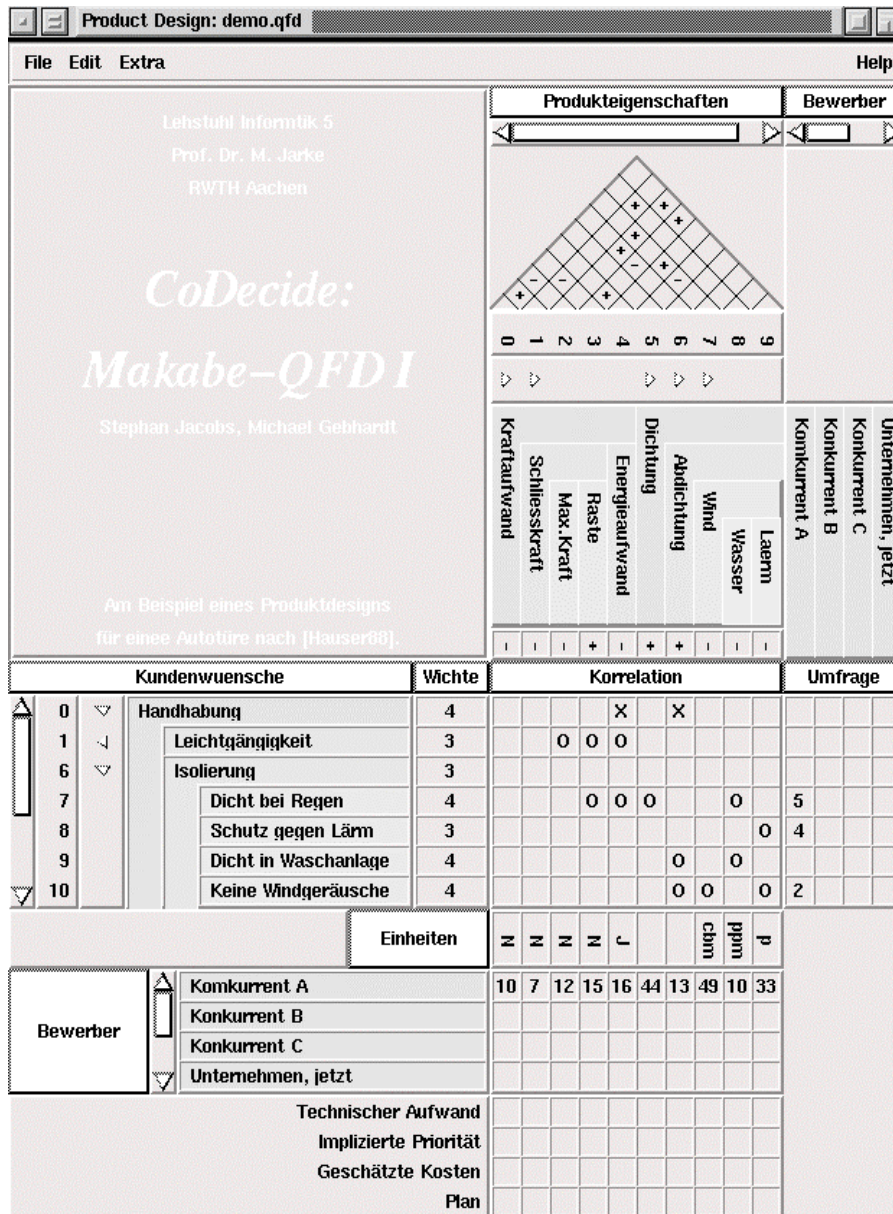


Abb.: 1: Das House-of-Quality implementiert mit CoDecide (vgl. [HaCl88])

Import- und Exportfunktionen ermöglichen es, Zwischenstände abzuspeichern. Auf diese Weise wird gewährleistet, daß man zu erfolgversprechenden Punkten zurückspringen kann, wenn man sich in einer Sackgasse befindet. Außerdem ist die Wiederverwendung von alten Sichten (Spezifikationen, Wünschen, etc.) möglich.

Die HoQ-Implementierung soll in erster Linie die Fähigkeiten von CoDecide demonstrieren. Innerhalb einer Sitzung ist höchstens ein Einsatz als Werkzeug zum Protokollieren möglich.

3.3.2 Integration mit PRO-ART

Eins der zentralen Probleme des Requirements Engineerings ist die Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit (traceability). Bei der Entwicklung eines Systems ist es notwendig, den Ursprung von Anforderungen herleiten zu können. PRO-ART ist ein Ansatz, die unterschiedlichen Dokumente, die während des RE-Prozesses entstehen, zu integrieren [PDJa94]. Dazu werden die einzelnen Dokumente formalisiert und Abhängigkeiten zwischen den Dokumenten gespeichert.

Durch die formale Integration der Dokumente wird Kooperation auf einer methodischen Ebene erzielt. Abhängigkeiten lassen sich formalisieren und abspeichern. Auf einer formalen Ebene wird die Kopplung zwischen unterschiedlichen Sichten (Dokumenten) unterstützt. Allerdings fehlt eine geeignete Darstellung dieser Abhängigkeiten, die es dem Benutzer gestatten, die Sichten und deren Beziehungen im Entwurfsprozeß als Entscheidungsgrundlage zu verwenden.

In Abbildung 2 ist als Beispiel für ein Dokument ein Entity-Relationship-Diagramm zur Darstellung der Datensicht gewählt. Der entsprechende ER-Editor aus der PRO-ART Umgebung ermöglicht die Bearbeitung von ER-Dokumenten. Abhängigkeiten zu anderen Dokumenten wie beispielsweise Datenflußdiagrammen können aus dem Editor heraus erfragt werden. Allerdings gibt es keine übersichtliche Darstellung für die gesamte Kopplung zwischen diesen beiden Sichten. Genauso ist es zwischen informalen Sichten wie beispielsweise textuell formulierten Anforderungen in einem Hypertext-Dokument. Durch gezielte Anfragen erhält man zwar lokale Abhängigkeiten, die globale Kopplung wird allerdings nicht visualisiert.

Die Integration eines entsprechenden Werkzeugs mit Hilfe von CoDecide ermöglicht eine Abhilfe [PoJa94]. Zwei Sichten können nun einander gegenübergestellt und gemeinsam visualisiert werden. In Abbildung 2 sind diese Sichten das ER-Diagramm und der Hypertext. (Der Hypertext ist aus Platzgründen lediglich in CoDecide dargestellt.) Da die Dokumente in PRO-ART formalisiert sind, kann man mit Hilfe von Transformationsregeln automatisch die für die Kopplung geeignete Darstellung generieren. Grundsätzlich kann dabei ein Informationsverlust entstehen, da CoDecide zur Darstellung lediglich Baumstrukturen und Strings zur Verfügung stellt. Im Falle eines ER-Diagramms bietet es sich beispielsweise an, Spezialisierungen zwischen Entitäten durch Vater-Sohn-Beziehungen in CoDecide's Baumstruktur darzustellen. Die Vater-Sohn-Beziehungen können außerdem genutzt werden, um die zu den Entitäten gehörenden Attribute zu visualisieren.

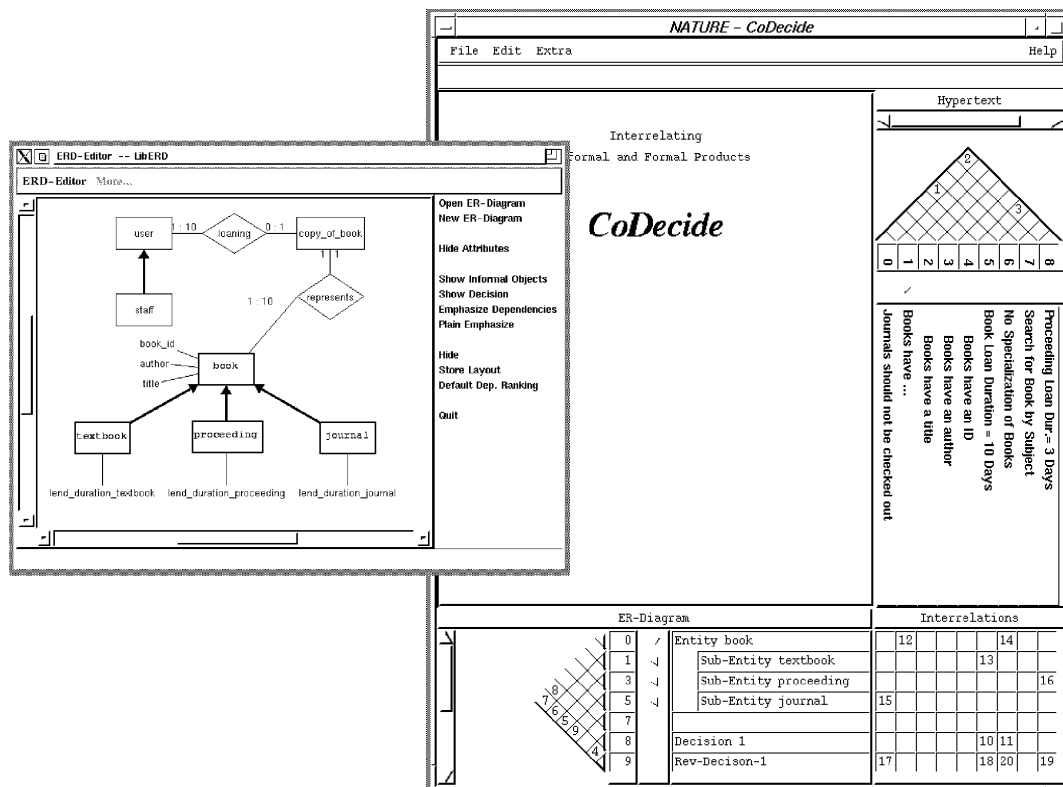


Abb. 2: Integration von CoDecide mit PRO-ART

4. Zusammenfassung und Ausblick

Parallele Arbeit birgt ein hohes Konflikt- und Koordinierungspotential. Traditionelle Verfahren zur Koordination wie z.B. Vorgangssysteme sind für eine Anwendung im Entwurf zu strikt. Ziel unseres Ansatzes ist die Konfliktbehandlung und Koordination mit Hilfe kompaßähnlicher Werkzeuge, die es dem einzelnen Designer ermöglichen, sich und seine Arbeit in den gesamten Entwicklungsprozeß einzuordnen.

Es wurden Anforderungen an diesen "Kompaß" entwickelt und im Baukasten CoDecide implementiert. Die Fähigkeiten des Baukastens wurde durch die Entwicklung mehrerer Werkzeuge demonstriert, die die intuitive Benutzbarkeit, die Kooperationsmöglichkeiten sowie die Möglichkeiten zur Integration mit anderen Werkzeugen gezeigt haben.

In näherer Zukunft stehen die folgenden Arbeiten an:

- Die Validierung der Ergebnisse und Werkzeuge in einer Realwelt-Umgebung. Hier ist geplant, zusammen mit dem Fraunhofer Institut Dortmund, eine Diskussionsschnitt-

stelle für das CAD-Werkzeug ASSIST zu entwickeln. Der Einsatz der integrierten Werkzeuge ist im FhG geplant.

- Das HoQ soll durch eine Datenbank ergänzt werden. Auf diese Weise wird die Import/Export Funktionalität verbessert und z.B. die Wiederverwendung von Kundenwünschen und Technischen Beschreibungen beim QFD verbessert.
- Im Bereich der Unternehmensmodellierung sollen die unterschiedlichen Sichten durch die explizite Darstellung von Zielen mit Hilfe des HoQ ergänzt werden.
- Die systematische Integration der Werkzeuge in den Entwurfsprozeß. Hierzu ist eine Analyse der Schwachstellen (z.B. Konfliktsituationen) im Entwurf notwendig.

5. Veröffentlichungen

- Stephan Jacobs, "Von aktionsorientiertem zu entscheidungsorientierten Workflow", Workshop "Unterstützung Organisatorischer Prozesse durch CSCW", Münster 1993
- Holger Berse, Stephan Jacobs, Matthias Kloth, Silke Mittrach, "Projektbeschreibung: CSCW in Designumgebungen", Workshop "Unterstützung Organisatorischer Prozesse durch CSCW", Münster 1993
- Robert Grob, Stephan Jacobs, Stefanie Kethers, "Towards CIS in Quality Management - Integration of Agents and Methods", 2nd International Conference on Cooperative Information Systems, CoopIS, Toronto 1994
- Stephan Jacobs, Stefanie Kethers, "Improving Communication and Decision Making within Quality Function Deployment", 1st Conference on Concurrent Engineering Research and Application, CERA, Pittsburgh 1994
- Klaus Pohl, Stephan Jacobs, "Traceability between Cross-Functional-Teams", 1st Conference on Concurrent Engineering Research and Application, CERA, Pittsburgh 1994
- Klaus Pohl, Stephan Jacobs, "Concurrent Engineering: Enabling Traceability and Mutual Understanding" Concurrent Engineering Research and Application, Special Issue on Concurrent Engineering and Artificial Intelligence, 1994
- Stephan Jacobs, "Methodenorientierte Entwicklung von CSCW", Deutsche Konferenz über Computer Supported Cooperative Work, D-CSCW'94, Marburg, September 1994
- Stephan Jacobs, "CoDecide - Ein Baukasten zu Implementierung von Werkzeugen zur Sichtenkopplung", KI-Report Nr. 94-21, Oktober 1994

6. Vorträge

- Stephan Jacobs, Workshop "CSCW Tools and Technologies: Defining Research Agendas", European Conference on Computer Supported Cooperative Work, E-CSCW'93, Mailand, September 1993
- Stephan Jacobs, Workshop "Unterstützung Organisatorischer Prozesse durch CSCW", Münster 1993
- Stephan Jacobs, "Dimensionen von Kooperation", Kooperationstreffen mit der GMD, Abteilung CSCW, August 1994
- Stephan Jacobs, 1st Conference on Concurrent Engineering Research and Application, CERA, Pittsburgh, August 1994
- Stephan Jacobs, D-CSCW'94, Marburg, September 1994

7. Referenzen

- [Bree93] A. Breeing, "Theorie und Methoden des Konstruierens", Springer, Berlin, 1993
- [Demi86] W.E. Deming, "Out of the Crisis", Massachusetts Institute of Technology, Center for Study, 1986

- [Gebh94] Michael Gebhardt, "Kohärentes Design durch Sichtenkopplung", Diplomarbeit, RWTH Aachen, 1994
- [Gfmt92] Gesellschaft für Mathematik und Technologie (gfmt), "Managementtraining Qualität", Produktionsmanagement und Informationssystem (PROMIS), München, 1992
- [HaCl88] J.R. Hauser, D. Clausing, "The House of Quality", Harvard Business Review, pp. 63-73, Mai 1988
- [KLHe92] M. Kloth, I. Land, J. Herrmann, "Ein wissensbasiertes Assistenzsystem für die Layoutplanung", In M. Görke, H. Rininsland (Ed.), Information als Produktionsfaktor, pp. 657-668, Springer, 1992
- [NDLy90] Rick Norman, Bill Dacey, Dilworth Lyman, "QFD: The Practical Implementation", Proceedings of the NEPCON East#90, Chicago, Illinois, pp. 451-465, 1990
- [PDJa94] K. Pohl, R. Dömges, M. Jarke, "PRO-ART: Process Based Approach to Requirements Engineering Pre-Traceability", Technischer Bericht, RWTH Aachen, 1994
- [PoJa94] Klaus Pohl, Stephan Jacobs, "Concurrent Engineering: Enabling Traceability and Mutual Understanding" Concurrent Engineering Research and Application, Special Issue on Concurrent Engineering and Artificial Intelligence, 1994
- [SrTo90] Vedarman Sriraman, Phadhana Tosirisuk, "Object-oriented databases for Quality Function Deployment and Taguchi Methods", Proceedings of the 12th Annual Conference on Computers and Industrial Engineering, 1990
- [Sull86] L.P. Sullivan, "Quality Function Deployment", Quality Progress, pp.39-50, Juni 1986
- [ThTr90] Ray Thackeray, George van Treeck, "Applying Quality Function Deployment for Software Product Development", Journal of Engineering Design, vol.1, no.4, pp.389-410, 1990
- [Wolf94] Michael D. Wolfe, "Development of the City of Quality: A Hypertext-based Group Decision Support System for Quality Function Deployment", Decision Support Systems, vol.11, no.3, pp.229-314, 1994
- [Zult93] Richard Zultner, "TQM for Technical Teams", Communications of the ACM, vol.36, no.10, pp.79-91, Oktober 1993

Eine aktive objektorientierte Datenbank zur Unterstützung kooperativer Arbeitsprozesse in Design-Umgebungen

Leiter: Prof. Dr. Armin B. Cremers

Mitarbeiter: A. Pfeifer, H. Kahler (ab 1.10.94), K. Lehner, H. Berse (bis 30.9.94)

Institut für Informatik III, Universität Bonn

Nachfolgender Bericht dokumentiert den Verlauf und die Ergebnisse der Arbeiten des Teilprojekts "Eine aktive objektorientierte Datenbank zur Unterstützung der asynchronen Phasen" des Verbundprojekts "CSCW in Design-Umgebungen". Dieses Teilprojekt wurde an der Universität Bonn im Rahmen des Forschungsverbundes KI-NRW durchgeführt. Desweiteren beschreibt er in einem Ausblick die Zukunftsperspektiven, die im Zuge der weiteren Forschung zu betrachten sind.

Gegenstand des Forschungsprojekts

Ausgangspunkt des Projekts war die Erkenntnis, daß komplexe Arbeitsprozesse, die unvorhersehbare und somit kaum strukturierbare Probleme beinhalten, in ihrer *Gesamtheit* unterstützt werden müssen, um dadurch die Kooperation der Mitarbeiter verschiedener Teilbereiche zu ermöglichen. Dies beinhaltet sowohl die Unterstützung in Entscheidungsfindungssituationen (Meetings, Brainstorming, Diskussionen, etc.) als auch zwischen den Sitzungen, währenddessen Aufgaben vorbereitet, bearbeitet, delegiert und dokumentiert werden müssen. Die den Aufgaben zugrundeliegenden Schriften wie Berichte, Protokolle, Statistiken, Graphiken aus Visualisierungstools (z.B. House of Quality), etc. (im folgenden unter dem Begriff "Dokumente" zusammengefaßt) müssen in einer Art verwaltet werden, die sie einerseits dem betroffenen Personenkreis in adäquater Weise zugänglich macht und andererseits im üblichen Sinne vor unlauterem Zugriff schützt. Darüberhinaus muß durch das System die Weiterbearbeitung der Aufgaben und deren Auswirkungen auf den Arbeitsprozeß überprüft werden können.

Arbeiten der vergangenen Jahre

Abbildung 1 bietet einen Überblick über die Komponenten, die zur Unterstützung eines komplexen kooperativen Prozesses Verwendung finden können. Aus diesem Gesamtkomplex wurden folgende Arbeitsbereiche von den Mitarbeitern der Universität Bonn übernommen:

Konzeption einer Datenbankanwendung auf der Basis

- von Objektorientheit und
 - aktiven Regeln
- inkl. folgender Features:
- einheitliche Repräsentation unterschiedlicher Objekte (Dokumente, HoQ,...)
 - Organisation der Mitarbeiter und Gruppen
 - Dokumentenbearbeitung
 - Aufgabenzuweisung (Task Manager)
- Bereitstellung eines erweiterbaren Oberflächen-Prototyps, unter dem die Implementierungen sämtlicher Teilprojekte zusammengefaßt werden können und im Sinne eines Werkzeugkastens den Benutzern zugänglich sind.

Komponenten eines komplexen Kooperationsprozesses

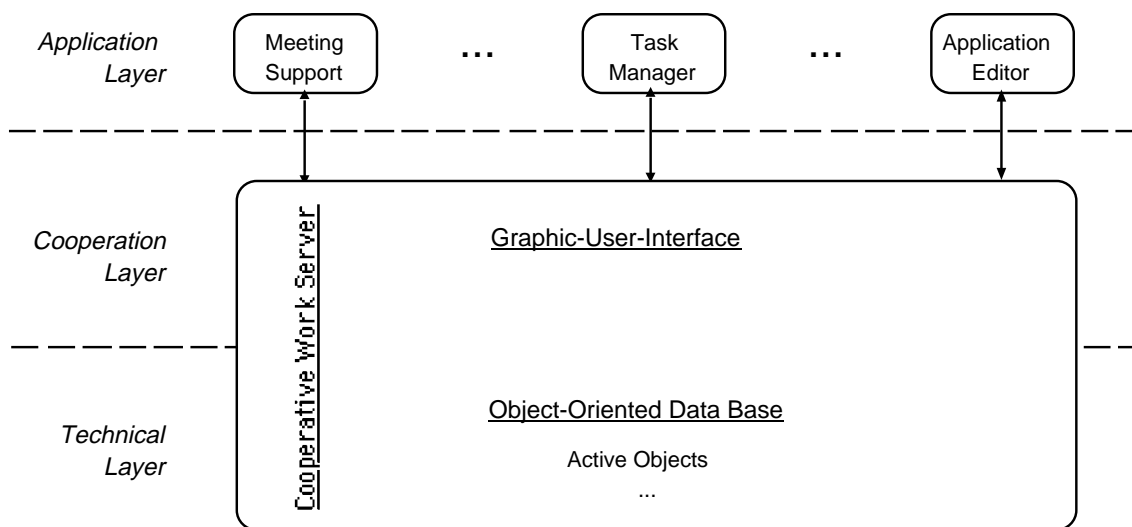


Abbildung 1: Projektarchitektur

Obige Gesamtarchitektur spiegelt die Einordnung der im Laufe des Projektes erstellten Komponenten wider.

Auf technischer Ebene wurden zuerst verschiedene objektorientierte Datenbanken wie z.B. Ode, O₂ und ONTOS auf ihre Erweiterbarkeit und Benutzbarkeit im Rahmen des Projektes hin untersucht. In dieser Datenbank sollte die Implementierung aktiver Objekte und flexibler Zugriffsmechanismen möglich sein.

Die Pflege der im Design-Prozeß anfallenden Daten sollte mit Hilfe einer graphischen Oberfläche erfolgen, in der auch die Einbindung verschiedener Applikationen möglich ist.

Der in C++ implementierte Prototyp basiert daher auf der unter UNIX verfügbaren graphischen Benutzeroberfläche OpenWindows und erlaubt eine Bearbeitung der verschiedenen Prozeßdaten in den entsprechenden Komponenten der obersten Architekturebene.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Objektorientiertheit in einer Datenbank bietet Vorteile wie Modularität, Erweiterbarkeit und Wiederverwendbarkeit (vgl.[GRON94]). Um darüber hinaus die Flexibilität in kooperationsunterstützenden Systemen zu ermöglichen, wurde die von uns gewählten objektorientierten Datenbank ONTOS um eine aktive Komponente erweitert.

Durch diese wird den Systemnutzern die Möglichkeit gegeben, Ereignisse (Events) zu spezifizieren, welche bei Erfüllung dazu definierter Bedingungen (Conditions) vorgegebene Reaktionsteile (Actions) auslösen.

Diese ECA-Regeln erlauben sowohl die Überwachung der Aufgabenbearbeitung als auch eine Konsistenzüberprüfung von definierten Dokumentenabhängigkeiten.

Um individuell Reaktionen auf Ereignisse (Aktionen, Informationen, etc.) definieren zu können, bietet der von uns implementierte Prototyp dem Benutzer Menüs an, in denen neben der Neuerstellung von ECA-Regeln (vgl. Abbildung 2), auch eine Deaktivierung bzw. Aktivierung bestehender Regeln möglich ist.

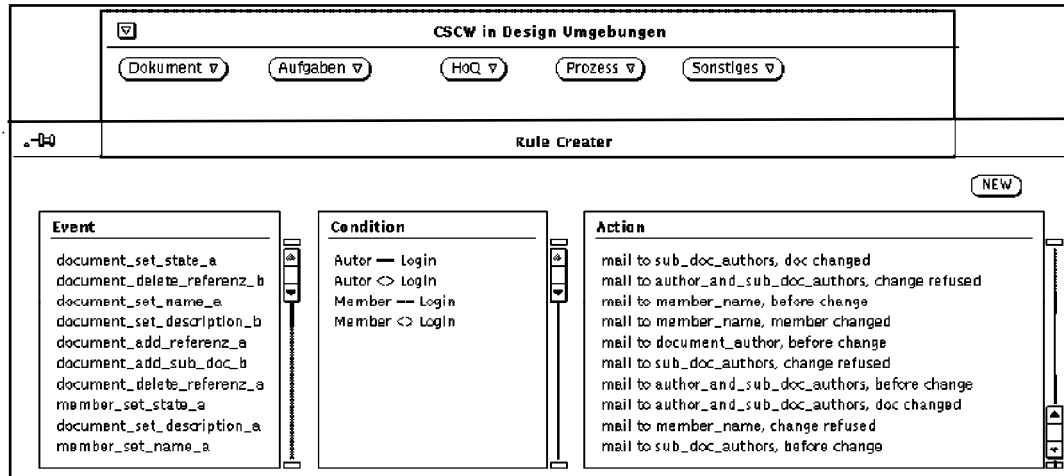


Abbildung 2: Menü zur Erstellung aktiver Regeln

In dem Prototyp wurde ein übergeordneter Objekttyp "Dokument" in der Art modelliert, die eine problemlose Verarbeitung der aus den verschiedenen Moduln einfließenden Informationen (wie Protokolle, Graphiken, Listen, Houses of Quality, etc.) durch eine konsistente Repräsentation ermöglicht. Referenzen auf andere Dokumente (private, externe, Sub- und

Superdokumente) sorgen für die geforderte klare Strukturierung und dadurch für einen benutzerfreundlichen Zugriff auf die Datenbank-Inhalte.

Kooperative Arbeitsabläufe basieren auf der Möglichkeit, Gruppen von Mitarbeitern im System definieren und flexibel ändern zu können. Die Organisation solcher (u.U. häufig wechselnden) Gruppen betrifft nicht nur die Zugangsberechtigung zum Gesamtsystem, sondern verlangt erweiterte gruppengerechte Zugriffsmechanismen die einzelnen DB-Objekte und deren Attribute betreffend.

Während der asynchronen Phasen eines Kooperationsprozesses müssen Aufgaben delegiert und bearbeitet werden. Ein Task-Manager sollte daher die Zuweisung dieser Aufgaben an Mitarbeiter, unter Verwendung der dazu benötigten Informationen wie Dokumente als In- und Outputelemente, Deadlines, Kontext, Beschreibung der Aufgabe etc. ermöglichen und durch die Integration in ein Aufgabennetz von Sub- und Superaufgaben einen Überblick nicht nur über lokale, sondern auch über globale Ziele bieten (vgl.[GRON92], [MICH93]).

Forschungsperspektiven / Fortführung der Arbeiten

Im Verlauf des Projektes wurde deutlich, daß in der Konzeption einer prozeßorientierten Kooperationsarchitektur Konfliktlösungsmechanismen unbedingt erforderlich sind. Da Konflikte sowohl daten- als auch aktionsbezogen in Erscheinung treten können, sollte das Konfliktmanagement folgende Aspekte behandeln und entsprechende Mechanismen zur Verfügung stellen:

- flexible Zugriffsmechanismen und
- erweiterte Zugriffskontrollstrukturen unter Einbeziehung von
 - nutzungsbezogener Transparenz und
 - Aushandelbarkeit

Zugriffsmechanismen

Konventionelle Systeme garantieren die Konsistenz der Daten bei konkurrierenden Zugriffen durch starre Kontroll- bzw Sperrmechanismen, führen aber bei langanhaltenden Transaktionen zu unakzeptablen Wartezeiten. Neuartige Transaktionsmodelle und erweiterte Sperrmechanismen können in aktiven, objektorientierten Datenbanken dazu beitragen, Datenzugriffe in Groupware-Anwendungen, die auf den Einsatz von Datenbanken angewiesen sind, nicht mehr zu einem restringierenden Faktor werden zu lassen (vgl.[PFEI94]).

Zugriffsrechte

Die Realisation von detaillierten, flexibel und individuell wählbaren *Zugriffsrechten* durch die betroffenen Personen kann dazu führen, die Akzeptanz von computerunterstützter Gruppenarbeit zu erhöhen (vgl. [SHEN92]). Eine Erweiterung der Kontrollstrukturen um neue Attribute, wie z.B. 'shareable' (vgl. [ELLI91]), kann den Zugriff auf gemeinsam genutzte Daten in kooperativen Arbeitsumgebungen erleichtern. Hierbei sollte darauf geachtet werden, daß gruppenspezifischen Anforderungen nach Transparenz oder Aushandelbarkeit erfüllt bleiben.

Transparenz

In Groupware-Anwendungen macht *Transparenz* einerseits die Funktionsweise einzelner Leistungsmerkmale und andererseits die mit der Aktivierung verbundenen Zusammenhänge sichtbar. So sollten z.B. in einem komplexen Designprozeß den von einer Änderung Betroffenen Daten über die Modifikationen sowohl der Prozeßstruktur als auch der gemeinsam zu nutzenden Datenbereiche zur Verfügung gestellt werden (vgl. [WULF93]).

Aushandelbarkeit

Sollen die Nutzer von Groupware nicht lediglich über die Aktivierung einer Grundfunktion informiert, sondern auch aktiv an einem Entscheidungsprozeß über die Aktivierung beteiligt werden, so spricht man von *Aushandelbarkeit* (vgl. [WULF94]). So könnten innerhalb des Designprozesses Änderungen bestimmter Dokumente oder Aufgaben an die Zustimmung der von der Änderung Betroffenen gebunden sein.

Vorträge

Berse, Holger: 23. GI - Jahrestagung in Dresden, 27. September - 1. Oktober 1993

Berse, Holger; Jacobs, Stephan; Kloth, Matthias; Mittrach, Silke: Workshop "Unterstützung Organisatorischer Prozesse durch CSCW" in Münster, 4. - 5. November 1993

Wulf, Volker: HCI International '93 in Orlando, 8. - 13. August 1993

Wulf, Volker: Workshop "Menschengerechte Groupware - Software-ergonomische Gestaltung und partizipative Umsetzung" in Bonn, 20. - 21. September 1993

Publikationen

[BERS94] Berse, Holger, Wulf, Volker: Aushandelbarkeit und aktive Objekte, In: Reichel, H. (Hrsg.) Informatik - Wirtschaft - Gesellschaft, Springer, Berlin u.a. 1993, S. 189 - 194.

[WULF93] Wulf, Volker: Negotiability: A Metafunction to Support Personalizable Groupware, in: Salvendy, G., Smith, M.J. (eds): Human-Computer Interaction: Software and Hardware Interfaces, Amsterdam u. a., Elsevier 1993, S. 985 - 990

[WULF94] Wulf, Volker: Negotiability: A Metafunction to Tailor Access to Data in Groupware, In: Behaviour & Information Technology (accepted for publication)

Literatur

[ELLI91] Ellis, C.A.; Gibbs, S.J.; Rein, G.L.: Groupware, Some Issues And Experiences, in Communications of the ACM, Vol. 34, No.1, S. 39-58

- [GRON92] Gronbaek, Kaj; Kyng, Morten; Mogensen, Preben: CSCW challenges in large-scale technical projects - a case study, CSCW Proceedings ACM, 1992
- [GRON94] Gronbaek, Kaj; Hem, Jens A.; Madsen, Ole L.; Sloth, Lennert: Systems: A Dexter-based Architecture, Communications of the ACM. Febr. 1994/Vol.37, No.2
- [MICH93] Michailidis, Antonios; Rada, Roy; Wang, Weigang: Matching roles and technologies for collaborative work: an empirical assessment, Wirtschaftsinformatik 35, 1993/2, S. 138-148
- [PFEI94] Pfeifer, Andreas: Spezifikation und Modellierung von Metafunktionen in Groupware, Universität Bonn, 1994
- [SHEN92] Shen, H.H., Dewan, P.: Access Control for Collaborative Environments, CSCW 92 Proceedings, ACM, New York 1992, S. 51-58

Basismechanismen zur Kooperationsunterstützung

Leiter: Prof. Dr. G. Schlageter

Mitarbeiterin: Silke Mittrach

Praktische Informatik I, FernUniversität Hagen

1. Zusammenfassung

Komplexe Entwicklungsprozesse erfordern die kooperative Bearbeitung eines Problems durch ein Team von Experten. Der Zugriff auf die gemeinsamen Ressourcen (insbesondere die innerhalb der Problemstellung zu bearbeitenden Objekte) muß koordiniert werden, da beim gleichzeitigen Zugriff auf ein Objekt Konflikte entstehen. Dazu muß zunächst die Forderung des ACID-Prinzips (Atomarität, Konsistenz, Isoliertheit, Dauerhaftigkeit) an Datenbank-Transaktionen geschwächt werden. Spezielle Lock-Konventionen müssen die individuelle Zusammenarbeit zwischen Designern ermöglichen. Als Folge sind Mechanismen gefordert, die kritische Situationen / Konflikte, die bei der Durchführung paralleler Aktionen an Objekten entstehen können, weitestgehend verhindern, bzw. Verfahren, die einmal entstandene Konflikte auflösen helfen. Inhalt des Teilprojektes "Basismechanismen zur Kooperationsunterstützung" war die Entwicklung geeigneter Mechanismen zur Konfliktvermeidung und zur Konfliktauflösung. Der Schwerpunkt lag in der Integration kommunikativer Elemente zur Koordinierung.

Im Rahmen des Projektes wurde basierend auf einem objektorientierten Datenbanksystem eine Anwendungsumgebung zur Koordinierung der Zusammenarbeit durch Konfliktvermeidungs- und Konfliktauflösungsstrategien entwickelt. Die Anwendungsumgebung wurde insbesondere der Anforderung nach gruppenspezifischer Konfigurierbarkeit zur individuellen Regelung der Zusammenarbeit gerecht. Sie bietet die Möglichkeit, geeignete Konfliktstrategien aus einer Strategiensammlung auszuwählen. Die offene Architektur des Systems erlaubt die Integration weiterer, spezieller Konfliktbehandlungsstrategien.

2. Projektverlauf

An der Bewältigung komplexer Entwicklungsprozesse ist in der Regel eine Vielzahl von Designern beteiligt. Diese sind in Gruppen organisiert, wobei Untergruppen Teilprobleme lösen. Kennzeichnend für diese Arbeiten ist die Nutzung gemeinsamer Datenbestände

innerhalb der Gruppen bzw. gruppenübergreifend. Dafür werden auf Datenbank-Ebene Basistechniken zur Koordinierung der Zusammenarbeit benötigt. Anwendungsspezifische Transaktionskonzepte, wie sie in den Projekten „Unterstützung von KI-Anwendungen durch Objektbanken“ im Rahmen des NRW Forschungsverbundes Künstliche Intelligenz und dem Projekt „Objektbanken für Experten“ im DFG-Schwerpunktprogramm entwickelt wurden, eignen sich nicht im Rahmen von Designumgebungen. Der Transaktionsbegriff im klassischen Sinn ist nicht für alle Kooperationsformen (von hierarchischen Projektstrukturen bis zu spontanen Kooperationsformen) geeignet. Anlehnend an praktischen Erfahrungen nicht-computerunterstützter Zusammenarbeit müssen die Basistechniken Mechanismen, die zur Koordination von Zusammenarbeit unerlässlich sind (wenn auch nicht immer explizit sichtbar innerhalb einer Gruppe), anbieten. Dazu gehören

- Abbildung der Gruppenstruktur (Berücksichtigung von Rollen, Rechten, etc.)
- Festlegung der Kooperationsform (Regelung des Zugriffs auf ein Dokument)
- Festlegung von Reaktionen auf Ereignisse und Konflikte
- Verfahren zur Entscheidungsfindung / Konfliktlösung (Kommunikation als wesentliches Element der Koordinierung)

Grundsätzlich kann die Bearbeitung einer komplexen Aufgabe, die von mehreren Personen durchgeführt wird, unter verschiedenen Aspekten gesehen werden. Im Teilprojekt „Basismechanismen zur Kooperationsunterstützung“ beschränken wir uns auf die Aspekte Koordination (Problemzerlegung) und Kollaboration (parallele Bearbeitung von Objekten), in Anlehnung an die inhaltliche Aufteilung des Kooperationsbegriffes in [DeMi90].

Koordination beschreibt den Prozeß der Untergliederung einer Aufgabe in disjunkte Teilaufgaben und beinhaltet die Zuweisung von Zuständigkeiten, speziellen Rechten, Ressourcen und die Festlegung von Schnittstellen zwischen den Teilproblemen. Unterprobleme werden kristallisiert und der organisatorische Rahmen für die Problembearbeitung durch mehrere Personen wird geschaffen.

Kollaboration beschreibt die Bearbeitung einer Aufgabe bzw. eines Objektes durch mehrere Personen. Dabei wird das Problem explizit nicht weiter in Teilprobleme untergliedert, obwohl natürlich Absprachen zwischen den Personen bzgl. der vorzunehmenden Änderungen getroffen werden müssen. In diesen Problembereich fallen neben der Problematik der parallelen Objektbearbeitung beispielsweise auch die Varianten- bzw. Versionsverwaltung.

Intensive Kommunikation in Form von Absprachen ist zur Lösung der beschriebenen Konfliktsituationen erforderlich.

Bei der Bearbeitung einer komplexen Entwicklungsaufgabe wird das Gesamtproblem in disjunkte Teilprobleme zerlegt (Dekomposition). Die Teilprobleme können selbst wieder untergliedert werden, so daß ein Problembaum entsteht. An unterster Ebene innerhalb des Problembaumes - also an den Blättern - wird ein Problem dann von einem einzelnen Designer oder aber echt parallel innerhalb einer Designergruppe bearbeitet.

Beide Arbeitsschritte (Problemzerlegung und echt parallele Bearbeitung) können zu kritischen Situationen führen:

Bei der Zerlegung eines Problems in Teilprobleme bestehen zwischen den gebildeten Teilproblemen Abhängigkeiten. Diese Abhängigkeiten müssen bei der getrennten Bearbeitung der Teilprobleme erhalten bleiben.

Bei der parallelen Bearbeitung von Objekten besteht das Problem des "lost update". Werden die bearbeiteten Objekte nacheinander gespeichert, so sind die Änderungen in der zuerst gespeicherten Version verloren.

Zur Beseitigung bzw. Lösung solch kritischer Situation werden Mechanismen benötigt, die die Zusammenarbeit koordinieren. Auf der einen Seite müssen die Abhängigkeiten zwischen den Teilproblemen/-objekten verwaltet werden, auf der anderen Seite werden systemunterstützende Verfahren zur Lösung konfligierender Objektzugriffe benötigt (diverse Abstimmungsverfahren unter Berücksichtigung von Gruppenstruktur und Prioritäten einzelner Designer) [Knels94]. Die Auswahl der Verfahren ist von Designer zu Designer, von Designerteam zu Designerteam, unterschiedlich und muß an die Bedürfnisse der einzelnen Person bzw. der Gruppe anpaßbar sein. Gefordert ist deshalb ein offenes, gruppenspezifisch konfigurierbares System, das die oben geschilderten, kritischen Situationen managed.

Das System muß eine Reihe von Anforderungen erfüllen.

- 1) Definition von Arbeitsbereichen

Zunächst einmal darf ein Objekt nur von einem Designer bearbeitet werden. Wollen weitere Designer auf das Objekt zugreifen, so muß der bereits mit dem Objekt arbeitende Designer darüber in Kenntnis gesetzt werden. Dazu werden Benachrichtigungsverfahren benötigt. Durch Absprachen bei der parallelen Bearbeitung von Objekten können konfligierende Veränderungen an einem Objekt weitgehend verhindert werden.

2) Gruppenorientierte Zugriffskontrolle

In Anlehnung an die Verfeinerung eines Projektes durch hierarchische Teilproblembildung werden hierarchische Gruppen gebildet. Die Teilprobleme eines Projektes weisen eine baumförmige Struktur auf. Die Blätter des Teilproblembaumes sind Teilprobleme, die nicht weiter verfeinert wurden. Dieser Struktur entsprechend werden die Gruppen definiert. Dem Gesamtproblem an der Wurzel wird eine Gruppe zugeordnet. Weiterhin wird jedes (Sohn-) Teilproblem mit jeweils einer Gruppe assoziiert. Der Teilproblembaum wird somit in einen Gruppenbaum überführt.

Auch über die Gruppenstruktur hinaus muß Zusammenarbeit gezielt unterstützt werden. Dazu ist die Definition spezieller Objektfreigaben zwischen Nicht-Gruppenangehörigen gefordert.

3) Gruppenorientierte Konfliktlösungsstrategien

Wurde ein Objekt von mehreren Personen gleichzeitig ausgeliehen und bearbeitet, so muß zur Abspeicherung der neuen Version in der Datenbank ein Koordinierungsprozeß einsetzen. Zunächst müssen die geänderten Stellen innerhalb des Objektes lokalisiert werden. Erkennt das System Änderungen an gleichen Stellen, so gibt es ein Warnmeldung aus. Die beteiligten Benutzer entscheiden letztendlich über den Inhalt des abzuspeichernden Objektes. Durch "Zusammenkopieren" der Einzeländerungen ergibt sich somit das endgültige Objekt dieses Arbeitsschrittes. Durch Verhandlung zwischen den Entwicklern (mittels verschiedener Abstimmungsverfahren) wird eine gemeinschaftliche Objektversion erstellt.

4) Sicherung von Konsistenzbedingungen

Die Sicherung von Konsistenzbedingungen im Mehrbenutzerbetrieb ist weitaus aufwendiger als in Einbenutzersystemen, da in Mehrbenutzersystemen gleichzeitig mehrere Designer in die Verletzung einer Konsistenzbedingung involviert sein können. Im Mehrbenutzerbetrieb ist es zur Erleichterung der Arbeit eventuell notwendig, Konsistenzbedingungen zeitweilig abzuschwächen bzw. die Verletzung der Konsistenzbedingungen für einen bestimmten Zeitraum unter einer Warnmeldung des Systems zuzulassen.

5) Kommunikationsunterstützung der Entwickler

Die Bedeutung der Kommunikation zur Koordinierung kooperativer Arbeit wurde bereits deutlich [ElGi89], [Elli91]. Grundsätzlich können zwei Arten von Nachrichten unterschieden werden:

Systeminitiierte Nachrichten sind solche Meldungen, die das System automatisch generiert bzw. an die Benutzer verschickt. Dies sind beispielsweise Warnungen vor möglichen Konflikten.

Benutzerinitiierte Nachrichten sind Meldungen, die ein Benutzer an seine Gruppe oder an einzelne Designer, die nicht unbedingt Mitglieder seiner Gruppe sein müssen, schicken will. Sie dienen in erster Linie zur informellen Koordination der Zusammenarbeit.

Kommunikation ist ein wesentliches Element der Kordinierung bei der parallelen Objektbearbeitung. Dem Abschluß einer (Trans-)Aktion geht in einer kooperativen Umgebung ein Abstimmungsprozeß zwischen den beteiligten Designern voraus. Das starre Transaktionsmanagement herkömmlicher Datenbanksystem ist somit um eine interaktive Komponente erweitert.

3. Ergebnisse

Das im Rahmen des Projektes implementierte System bietet die zuvor aufgestellten Anforderungen an ein System zur Unterstützung kooperativer Zusammenarbeit. Das System weist die folgende Struktur auf:

Bei Anforderung eines Objektes wird zunächst innerhalb des Rechtemoduls überprüft, ob der anfordernde Benutzer das Objekt verändern darf. Ist das Objekt noch nicht ausgeliehen, so erhält der Designer das Objekt, sofern er das Zugriffsrecht besitzt. Ist das Objekt bereits ausgeliehen, so wird innerhalb der Erklärungskomponente der Zweck des Objektzugriffs kommunikativ erklärt, d.h. der anfordernde Designer gibt textuell an, zu welchem Zweck er das Objekt ausleihen will. Designer, die das Objekt ebenso ausgeliehen haben, erhalten diese Erklärung und können überprüfen, ob die beabsichtigte Änderung mit ihren eigenen Änderungen kollidiert oder nicht. Im Verhandlungsmodul wird über die Genehmigung des Objektzugriffs beschlossen.

Nach Bearbeitung des Designobjektes soll dieses gespeichert werden. Die Anzeige der Änderungen jeder Version zum Ursprungsobjekt ermöglicht einen einfachen Überblick über die Änderungen im Anwendungsfeld des Software-Designs. In graphischen Design-Anwendungsfeldern müssen geeignete Verfahren zur Erkennung von Objektänderungen entwickelt werden.

Vom System erkannte, konfligierende Änderungen werden durch Warnung kenntlich gemacht. Haben die beteiligten Designer aus ihren Einzelversionen eine Objektversion

generiert, die alle zustimmend nach einem zuvor ausgewählten Abstimmungsverfahren beurteilen, so wird die neue Version des Objektes als aktuelles Objekt in die Datenbank gespeichert.

Die Auswahl des Abstimmungsverfahrens wird gruppenbezogen vorgenommen. Das entwickelte System bietet bereits verschiedene Verfahren (einfaches Mehrheitsrecht, Vergabe von Prioritäten), die jedoch bei Bedarf um weitere Verfahren ergänzt werden können.

4. Ausblick

Aufbauend auf den entwickelten Prototypen können einzelne Aspekte intensiver betrachtet werden: beispielsweise die Strukturierung von Nachrichten und die Entwicklung von Sprachkonstrukten zur Formulierung (und Überprüfung) von Konsistenzbedingungen.

Die Entwicklung des Prototyps hat gezeigt, daß die automatische Erkennung von Objektveränderungen (zu einem Ursprungsobjekt) eine sehr hilfreiche Unterstützung bei der Koordinierung mehrfachen Objektzugriffs ist, daß deren Realisierung aber sehr schwierig ist.

Ein weiterer neuer Aspekt ist die Integration einer Workflowkomponente zur Unterstützung des gesamten Entwicklungsprozesses inklusive der Abhängigkeiten der einzelnen Entwicklungsphasen untereinander durch Steuerung der Abhängigkeiten zwischen einzelnen Arbeitsschritten [Schn94]. So sollte der Designer auf Auswirkungen seiner Aktionen aufmerksam gemacht werden, z.B. wenn andere Designer von seinen Veränderungen betroffen sind oder der Einsatz eines bestimmten Tools aufgrund seiner Veränderungen sinnvoll ist [Strau94].

Die Integration eines Versionsmanagement, das Schwerpunkt des JESSI CAD-FRAME-Projektes des Lehrstuhls Praktische Informatik I ist, ist ein weiterer wichtiger Aspekt zukünftiger Ergänzungen.

Das entwickelte System wird nach Ergänzung einiger Erweiterungen innerhalb des Fernstudiums getestet. Es wird zur Unterstützung des Software-Praktikums, ebenfalls einem komplexen Design-Prozeß, eingesetzt.

5. Veröffentlichungen

[BJKM93] Berse, H.; Jacobs, S.; Kloth, M.; Mittrach, S. "Projektbeschreibung: CSCW in Designumgebungen" Beitrag zum Workshop "Unterstützung organisatorischer Prozesse durch CSCW" der Universität Münster, November 1993

6. Vorträge

Berse, Jacobs, Kloth, Mittrach: Workshop „Unterstützung organisatorischer Prozesse durch CSCW“ in Münster, 4./5. November 1993

7. Literatur

- [DeMi90] DeMichelis, G.: „Computer Support for Cooperative Work“ Butler Cox Foundation, 1990
- [ElGi89] Ellis, C.A.; Gibbs, S.J. „Concurrency Control in Groupware Systems“ in: Proc. of the 1989 ACM SIGMOD International Conference, Portland (Oregon), SIGMOD Record, Vol. 18, No. 2, 06/89
- [Elli91] Ellis, C.A.: „Consistency within Concurrent Groupware Systems“ IEEE Data Engineering, Special Issue on Unconventional Transaction Management, 03/91, Vol. 14, No. 1
- [Knels94] Knels, U. “Konfliktbehandlung bei der parallelen Bearbeitung von Objekten” FernUniversität Hagen, voraussichtlich Dezember 94
- [Schn94] Schneider, M. “Groupware und Workflowsysteme: Analyse und Anwendung” FernUniversität Hagen, Mai 1994
- [Strau94] Straube, M.; Wilkes, W.; Schlageter, G.: „HANDICAP - A System for Design Consulting“ Proc. EDAC 94

Modellierung gruppengestützter Entscheidungsprozesse und Teamarbeit in Designprojekten

Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen, Universität Dortmund
Fraunhofer-Institut für Materialfluß und Logistik, Dortmund

Das an der Universität Dortmund und am Fraunhofer-Institut für Materialfluß und Logistik im Rahmen des NRW-Forschungsverbundes "Anwendungen der Künstlichen Intelligenz" bearbeitete Projekt war Bestandteil des Verbundprojektes "Computergestütztes kooperatives Arbeiten in Designumgebungen", an dem noch die Universitäten Aachen, Bonn und Hagen beteiligt sind. Während in Bonn und Hagen an der Konzeption und Realisierung der Basismechanismen und -technologien zur Unterstützung von Teamarbeit gearbeitet wird, und das Teilprojekt in Aachen die softwaretechnische Unterstützung von Entscheidungs- und Kooperationsprozessen zum Ziel hat, liegt der Schwerpunkt des Dortmunder Teilprojektes in der Untersuchung und Modellierung der Entscheidungs- und Kooperationsprozesse am Beispiel der Fabrikplanung. Der vorliegende Bericht dokumentiert die abschließenden Ergebnisse dieses Teilprojektes.

Forschungsziele

Wachsende und ständig wechselnde Anforderungen in komplexen Arbeitsprozessen führen bei vielen Unternehmen zu veränderten Organisationsansätzen. Die aus der Komplexität resultierende, notwendige Zusammenarbeit von Experten in einem Team gilt im besonderen Maße in der Fabrikplanung, bei der es darum geht, die Produktions-, Distributions- und Lagerprozesse einer Fabrikanlage unter gegebenen Zielsetzungen und Randbedingungen optimal zu strukturieren. Ziel dieses Projektes war die Modellierung der Teamarbeit in der Fabrikplanung, als einem typischen Stellvertreter komplexer Designprojekte. Die kooperativen Prozesse innerhalb der Fabrikstrukturplanung sollten identifiziert werden und aus ihnen die Anforderungen an computergestützte Instrumente hergeleitet werden, die diese Teamarbeit unterstützen können.

Der bisherige Rechnereinsatz in der Fabrikplanung beschränkt sich auf die Arbeitsvorgänge einzelner Personen und auch in anderen Designaufgaben konzentriert sich die Kooperationsunterstützung auf das Zusammenführen von Daten (z.B. beim Concurrent Engineering durch den Zugriff auf eine gemeinsame Produktdatenbank). Demgegenüber stand die Untersuchung der Kooperation der Teammitglieder über den gesamten Planungsprozeß in diesem Projekt im Vordergrund. Dazu sollten sowohl der prozessuale Charakter der Fabrikplanung als auch dessen entscheidungsorientierten Aspekte in die Modellierung einfließen. Aus dieser Zielset-

zung ließen sich in Abstimmung mit den anderen Verbundpartnern folgende Aufgaben herleiten:

Modellierung der kooperativen Prozesse der Domäne Fabrikplanung

Die Fabrikplanung zeigt typische Merkmale einer Designaufgabe. Bei ihr geht es um den Entwurf eines Objektes, das bezüglich einer Menge von Zielkriterien und Randbedingungen optimal gestaltet werden soll. Der Entwurf von Logistiksystemen und deren Beziehungen zueinander manifestiert sich in der Darstellung des Anlagenlayouts. Eine vorwiegend verfeinernde Vorgehensweise über verschiedene Phasen des Entwurfsprozesses (von der Datenanalyse über die Grob- bis zur Feinplanung) und entsprechenden Teilaufgaben bedingt aufgrund unvorhergesehener Auswirkungen von Zielsetzungen und Randbedingungen immer wieder Rücksprünge zu vorhergegangenen Entwurfsebenen und -phasen.

Dabei werden diese komplexen Entwurfsaufgaben in der Regel nicht von einem Experten bearbeitet, ein typisches Entwurfsteam besteht aus einer Gruppe von Experten. Durch diese Teambildung soll die Berücksichtigung verschiedener Kompetenzen und unterschiedlicher Strategien und Vorstellungen gewährleistet werden, damit das Problem hinsichtlich möglichst vieler Aspekte bearbeitet wird. Die Zusammenarbeit zwischen den Experten ist charakterisiert durch das gemeinsame Entscheiden während der Sitzungen, die im Verlauf des Projektes stattfinden, z.B. zwischen den einzelnen Projektphasen, sowie durch die Kooperation verteilter und voneinander abhängiger Teilaufgaben über den gesamten Projektverlauf.

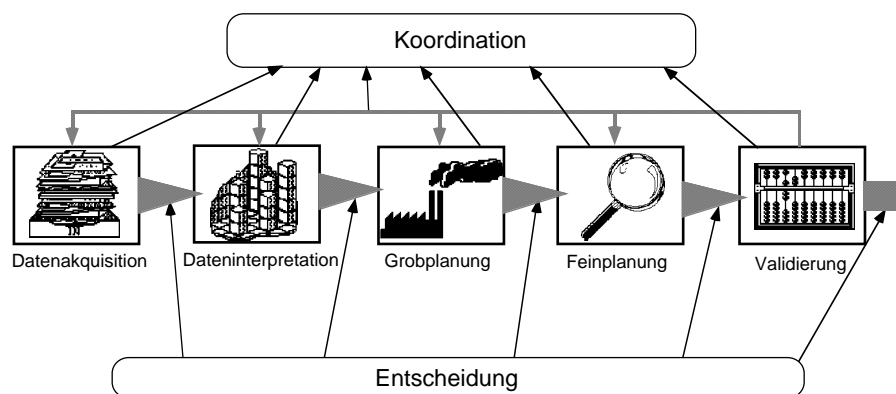


Abb.: Teamarbeit während der verschiedenen Phasen der Fabrikplanung

Definition von Anforderungen an eine instrumentelle Unterstützung der Teamarbeit in der Fabrikplanung

Für die Aufgaben der Fabrikplanung existieren eine Reihe von planungsunterstützenden Systemen. Zum einen können diese Instrumente aufwendige Berechnungen übernehmen, auf der anderen Seite können sie den Planer durch Visualisierung wichtiger Zusammenhänge unterstützen. So sind sie in der Lage, die Nutzwertanalyse und damit Entscheidungsprozesse zu vereinfachen oder durch die Darstellung von Prozeßketten das Aufspüren von Schwachstellen in der Produktion erst zu ermöglichen. Allerdings können bisherige Systeme die Zusammenarbeit verschiedener Experten in einem größeren Prozeß mit verteilten Aufgaben nicht explizit unterstützen. Einerseits etablieren sich innerhalb größerer Unternehmen immer mehr die Prinzipien des Simultaneous Engineering und führen dazu, daß Planungs- und Entwicklungszeiten bei steigender Produktqualität signifikant verkürzt werden können. Andererseits stehen die Planungssysteme dieser Entwicklung mitunter im Weg, da sie lediglich für Einzelarbeit und isolierte Aufgabenstellungen konzipiert worden sind. Die ersten Ansätze (anwendungsspezifische Produkt-Informationssysteme für das Simultaneous Engineering) ermöglichen zwar verteilte Sichten auf das Planungs- bzw. Entwurfsproblem, lassen jedoch die Unterstützung der Kooperation und Koordination derartiger Teamarbeiten außen vor.

Über die Integration verschiedener Planungsinstrumente auf Basis oben erwähnter Produkt-Informationssysteme hinaus sollten die aus der Gruppenarbeit resultierenden Anforderungen hinsichtlich räumlich und zeitlich verteilten Kooperierens beschrieben werden. Die in die Anforderungsdefinition einfließenden CSCW-Aspekte beziehen sich dabei auf

- die innerhalb der Fabrikplanung identifizierte Teilaufgaben und deren Abhängigkeiten über den gesamten Verlauf des Planungsprozesses,
- den Kooperationsbedarf der im Team arbeitenden Personen in einzelnen Teilaufgaben (Entscheidungs- und Moderationsunterstützung) sowie
- den Koordinationsbedarf der Projektmitarbeiter zwischen den Aufgaben (Workflow).

Projektergebnisse

Die Modellierung der kooperativen Tätigkeiten der Fabrikstrukturplanung beinhaltet zunächst die Identifizierung der einzelnen Teilaufgaben, die innerhalb des Planungs- und Entwurfsprozesses anfallen sowie die Analyse der Rollen der Beteiligten eines Teams in diesen Prozessen. Dazu wurden laufende Planungsprojekte beobachtet, Gespräche mit Planungsexperten geführt sowie Projektberichte und Projektprotokolle ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in einem Bericht zusammengefasst [KI-NRW 94-02], der einerseits die

typischen Teilaufgabenstellungen der Planung, deren zeitliche Abfolge und inhaltlichen Abhängigkeiten und andererseits die Rollen der beteiligten Personen beleuchtet.

Die innerhalb der Fabrikplanung zu beobachtende Gruppenarbeit verdeutlicht, daß eine vermehrte Kooperations- und Koordinationsunterstützung die Leistungsfähigkeit des Planungsteams erhöhen kann. Die Unverbundenheit der in einzelnen Projektphasen z.Z. eingesetzten Planungsinstrumente sowie deren völlige Isolierung von einem Projektmanagement offenbart ein erhebliches Potential an Effizienz und Planungssicherheit. Ein anloges Potential ist darüber hinaus auch aus einer Integration dieser Planungsinstrumente in den Entscheidungsprozeß der Gruppe zu erwarten. Die daraus resultierende Architektur eines Systems, das die Teamarbeit in Planungs- und Entwurfsprozessen unterstützen kann, ist in folgender Abbildung dargestellt:

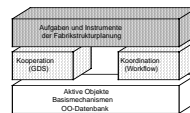


Abb.: Architektur für CSCW-Anwendungen in der Fabrikplanung

Diese Abbildung demonstriert zugleich die unterschiedlichen Aufgaben der verschiedenen Verbundprojektpartner. Eine Beschreibung dieser Architektur mit den daraus resultierenden Aufgaben der Verbundprojektpartner ist in [KI-NRW 94-03] aufgeführt. Schwerpunkt dieses Teilprojektes war die Definition der Anwendungsebene sowie den Schnittstellen zur Kooperations- und zur Koordinationsebene.

Die Unterstützung der Kooperation (Cooperation support)

Die Unterstützung der Kooperation bietet sich bei der Entwurfsaufgaben im allgemeinen und bei der Fabrikplanung im besonderen innerhalb moderierter Teamsitzungen an, in denen die Projektmitglieder aus den verschiedenen Bereichen zusammenkommen, um die Ergebnisse ihrer Teilaufgaben zu präsentieren. Die Präsentation basiert im wesentlichen auf vorbereitetes statisches Material (bspw. Folien), das Gegenstand der Verhandlung ist. Die im Team beteiligten Personen können den Rechner für den Verhandlungsprozeß wie folgt benutzen:

- zur Kommunikation fehlender Information bzw. dem Austausch der individuellen Perspektiven und Sichten der beteiligten Personen,
- zur Empfehlung von Entwurfs- und Planungsentscheidungen auf Basis mathematischer und heuristischer Methoden,
- zur Bewertung von Entwurfs- und Planungsentscheidungen, wobei jedem Beteiligten individuelle Bewertungsfunktionen zur Verfügung stehen können,

- zur Exploration möglicher Alternativen sowie
- zur Kritik und Modifikation eines aktuellen Lösungsvorschlags.

Die Szenarien für eine Teamunterstützung können dabei wie folgt aussehen:

Moderiert	Angeleitet	Interaktiv
<ul style="list-style-type: none"> • Eine Person gibt alle Informationen ein • Elektronische Tafel dient als Gruppengedächtnis • Mündliche Kommunikation überwiegt 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle Gruppenmitglieder können Kommentare eingeben • Elektronische Tafel dient als Gruppengedächtnis • Mündliche und elektronische Kommunikation 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle Gruppenmitglieder können Kommentare eingeben • Alle bisherigen Kommentare sind über die Arbeitsstationen abrufbar • Elektronische Kommunikation überwiegt

Neben der Moderations- und Verhandlungsunterstützung kann ein CSCW-Instrument auch noch aus der Ergebnisprotokollierung heraus die neuen Arbeitspakete mit dem Ziel einer Koordinationsunterstützung aufbereiten.

Die Unterstützung der Koordination (Coordination support)

Die Unterstützung der Koordination zeitlich (und ggf. räumlich) verteilter Arbeitspakete der Projektmitarbeiter unterscheidet sich wesentlich von der oben behandelten Sitzungsthematik. Die Arbeitspakete werden von den einzelnen Mitarbeitern bzw. Kleingruppen bearbeitet, die oft räumlich verteilt sind, sich jedoch untereinander austauschen müssen. Weiterhin nimmt die Bewältigung der Aufgaben in der Regel einen längeren Zeitraum in Anspruch (Tage, Wochen ...). In dieser Situation treten eine Reihe von Kommunikations- und Koordinationsprobleme auf. Bspw. hängt die Arbeit einer Gruppe von den Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen ab, so daß die Ergebnisse schnellstens weitergeleitet werden sollten. Weitere Aspekte betreffen die Änderung von Arbeitsergebnissen, die bereits von anderen Gruppen verwendet werden. Häufig wird diese Änderung der Arbeitsgrundlage erst beim nächsten Projekttreffen festgestellt, doch dann können unter Umständen die Änderungen nicht mehr berücksichtigt werden. Aus diesen Gründen ist ersichtlich, daß die Koordination der Arbeitsgruppen einen gewichtigen Einfluß auf den Projekterfolg und die Projektlänge hat.

Ausgehend von dieser Motivation wurde im Projekt eine Konzeption für die Koordinationsunterstützung entwickelt. Dafür wird die Arbeit in Pakete unterteilt. Dies geschieht i.d.R. während der Projekttreffen. Die Arbeitspakete werden durch folgende Angaben festgelegt:

- Wer ist für das Arbeitspaket verantwortlich (Person bzw. Gruppe)?
- Welche Informationen, Dokumente und Produkte werden benötigt?
- Was ist das Ergebnis des Arbeitspaketes (Dokumente, Produkte, usw.)?
- An wen müssen die Ergebnisse weitergeleitet werden?

- Bis wann muß das Arbeitspaket bearbeitet werden?

Diese Strukturierung der Projektarbeit findet man häufig in Projektmanagementsystemen. Allerdings ermöglichen diese Systeme nur die Projektplanung, eine Koordinationsunterstützung erfolgt nicht. Ein entsprechendes Koordinationssystem muß über eine Projektdatenbasis verfügen, in welcher die Informationen über die Arbeitspakete abgelegt werden können. Desweiteren soll es den Informationsaustausch zwischen den für die einzelnen Arbeitspakete verantwortlichen Projektbeteiligten ermöglichen. Die benötigte Funktionalität läßt sich in drei Bereiche unterteilen:

- Verwaltung der Projektdatenbasis (Definition der Aufgaben, Dokumente, Produkte und Projektmitarbeiter)
- Informationsaustausch zwischen Projektbeteiligten; automatischer Transport der Resultate an die in der Projektdatenbasis definierten Adressaten; automatische Informationen über Änderungen (neue Versionen usw.) an z.Z. bearbeiteten Dokumenten, Produkten etc.
- Angaben über den Zustand der einzelnen Arbeitspakete (in Arbeit, erledigt, auf Eingaben anderer Arbeitspakete wartend, abgesagt) und Meldungen von Fristüberschreitungen.

Work Flow Management zur Unterstützung der Koordination und Group Decision Support für die Kooperationsunterstützung sind zwei Ansätze mit komplementären Stärken und Schwächen. Die Modellierung und Verwaltung von Arbeitsprozessen deckt die Verhandlungsführung nicht ab und umgekehrt. Eine Kopplung bzw. Integration von Koordination und Kooperation hat daher zum Ziel, ein durchgängiges Instrument für Designaufgaben zu schaffen.

Die Integration von Kooperation und Koordination

Die zentrale Aufgabe bei der Integration von Kooperation und Koordination liegt in der Verknüpfung von Entscheidungsmodellen mit aktionsorientierten Prozeßmodellen. Anhand der Teilaufgaben der Fabrikplanung und den aus diesen Aufgaben heraus resultierenden Entscheidungen lassen sich folgende Einsatzgebiete für eine CSCW-Umgebung ermitteln:

- *Konkretisierung der Zielsetzung und der Randbedingungen (Zieldefinition)*

Die nach der Datenerhebung und -auswertung sich konkretisierende Aufgabenstellung der Fabrikplanung manifestiert sich in der Definition von Zielsetzungen und Bedingungen, die die Fabrikanlage erfüllen muß. Im Anschluß dieser Phasen findet daher ein Treffen statt, in dem diese Zieldefinition vorgenommen wird. Mit Hilfe der QFD-Methode und eines Softwaresystems auf der Basis von House-of-Quality läßt sich die Entscheidungsfindung -

d.h. die Zielfestlegung und -bewertung - unterstützen. An der RWTH Aachen wird in der zweiten Projekthälfte an der Entwicklung dieses Instrumentes gearbeitet. Dabei soll über die reine Protokollierung und Moderation dieser Entscheidungsfindung hinaus das Instrument auch zur Verwaltung und Koordination der aus den Entscheidungen heraus resultierenden Arbeitspakete und Teilaufgaben dienen. Eine Dokumentation der Funktionalität dieses Systems ist im Rahmen der KI-NRW Publikationsreihe geplant.

- *Umsetzung der Ziele in Maßnahmen und Lösungsansätzen*

Die aus den Entscheidungen resultierenden Arbeitspakete beinhalten im wesentlichen die Ermittlung von Maßnahmen und Lösungsansätzen zur Realisierung der definierten Zielsetzungen. Für diese Aufgaben werden Planungsinstrumente eingesetzt wie z.B. Lagerplanungs- und Layoutplanungssysteme (vgl. KI-NRW 94-01). Mit der Erarbeitung der Ergebnisse und Lösungen der Aufgaben sind Termine und Personen verbunden, die mit Hilfe der Koordinationsfunktionen verwaltet werden. Die Entwicklung aktiver Objektdatenbanken für diese im Rahmen dieses Teilprojektes modellierten Koordinationsunterstützung ist Hauptbestandteil der Arbeiten in Bonn und Hagen.

- *Integration von Entscheidung und Koordination bei Zwischen- und Ergebnispräsentationen (Variantenpräsentation)*

Die mit Hilfe der Planungsinstrumente ermittelten Maßnahmen und Lösungsskizzen (so genannten Varianten) werden in entsprechend anberaumten Teamsitzungen erneut verhandelt. Zur Verhandlungsunterstützung kann wiederum das House-of-Quality-Instrument eingesetzt werden. Durch eine Kopplung dieses Instrumentes mit Planungsinstrumenten (z.B. das am Fraunhofer-Institut eingesetzte Layoutplanungssystem ASSIST [Herrmann 93]), die eine dynamische visuelle Repräsentation der Teilergebnisse während der Sitzung ermöglichen, lassen sich Auswirkungen auf Gruppenentscheidungen unmittelbar nachvollziehen. Während der Sitzung anstehende Entscheidungen implizieren weitere Arbeitspakete, die mit Hilfe des Systems koordiniert werden können. Die Dokumentation dieser Integration ist ebenfalls im Rahmen der KI-NRW Publikationsreihe geplant.

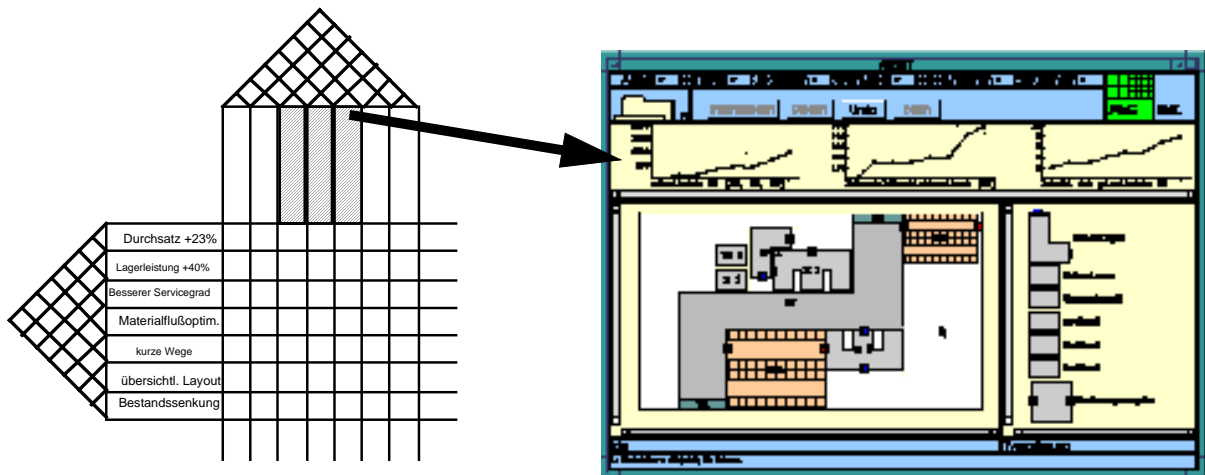


Abb.: Kooplung von HoQ und ASSIST

Fortführung der Arbeiten

Innerhalb von ESPRIT III wurde im Frühjahr 1993 zusammen mit der RWTH Aachen, sowie den Firmen ICL (England), alfatec (Portugal) und den Universitäten von Southampton und Manchester ein Antrag unter dem Namen COPIAS (Computer Supported Cooperative Planning and Design with Intelligent Assistant Systems) gestellt. Mit Hilfe dieses Vorhabens sollte untersucht werden, wie durch den Einsatz eines kooperativ arbeitenden Assistenzsystems die Produkt- und die dazugehörige Fabrikplanung unterstützt werden können. Trotz guter Bewertung wurde der Antrag aufgrund finanzieller Gründe nicht bewilligt.

Die Kontakte zu obigen Antragspartnern sowie weiteren Kontakte, die aus der Projektarbeit entstanden (bspw. zu den Firmen empirica (Bonn), LUW und SDZ (beide Dortmund)), sollen für weitere Akquisitionen und Projektarbeit genutzt werden.

In einem Verbund von Fraunhofer-Instituten wird z.Z. ein Projekt mit dem Namen COBRA (CoOperation on Bureau, Research and Administration) bei der deutschen Telekom beantragt. Mit dem Ziel verteiltes rechnergestütztes Arbeiten zu fördern, sollen in diesem Projekt Szenarien beschrieben und umgesetzt werden. Eines dieser Szenarien hat die Planung und den Entwurf logistischer Systeme zum Ziel.

Desweiteren stellt das FhG-IML z.Z. beim BMFT einen Antrag mit dem Titel "Teamarbeit in der Logistik", in dem die Kopplung von Planungsinstrumenten innerhalb der Gruppenarbeit gefördert und insbesondere in kleine und mittlere Unternehmen eingeführt werden soll.

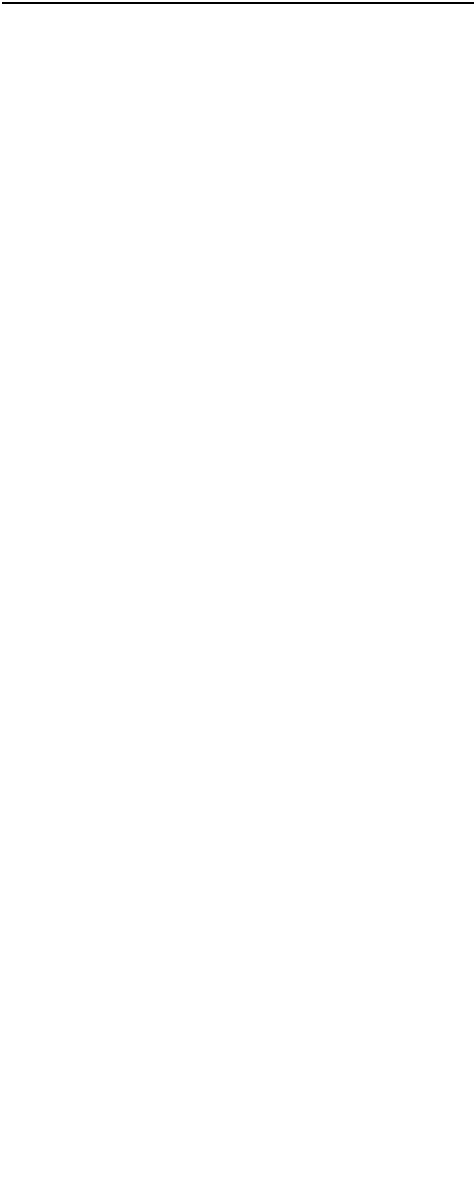
Projektpublikationen im KI-Forschungsverbund

- KI-NRW 94-01 M. Kloth: A cooperative assistant system for factory layout planning, in: ISATA Proc. (26th Int. Symposium on Automotive Technology and Automation), Aachen, 13.-17.9.1993
- KI-NRW 94-02 M. Kloth: Szenarien einer logistikorientierten Fabrikplanung, CSCW-in-Design-Bericht, FhG-IML, Dortmund 1993
- KI-NRW 94-03 H. Berse, St. Jacobs, M. Kloth, S. Mittrach: CSCW in Designumgebungen, Bonn 1994

Literatur

- J. Herrmann, M. Kloth: Supporting instead of Replacing the Planner - an Intelligent Assistant System for Factory Layout Planning; in: G. Salvendy, M. J. Smith (Ed.): Human-Computer-Interaction: Software and Hardware Interfaces (Proc. of the Human Computer Interaction, HCI International '93, Orlando, Florida, USA, August 8-13, 1993), Elsevier, Amsterdam, London, New York, Tokyo, 1993, S. 796-801

Forschungsbereich II



*Logik-
verarbeitung*

*Anwendungen der Künstlichen Intelligenz in Nordrhein-Westfalen***Bericht: Logikverarbeitung 1993/1994****Abschlußbericht für den Antragszeitraum 1.1.93 - 31.12.94**

Leiter: Prof. Dr. H. Kleine Büning
Fachbereich Mathematik-Informatik
Universität-GH Paderborn

Der Bereich der Logikverarbeitung faßt eine Reihe unterschiedlicher Aktivitäten zusammen, die in den folgenden Abschnitten informell beschrieben werden. Ausgehend von aussagenlogischen Entscheidungsproblemen, wie dem Erfüllbarkeitsproblem, lassen sich eine Reihe praxisrelevanter Fragestellungen formulieren. Zu den bekanntesten Anwendungen dieses Bereiches gehören Theorembeweiser, d.h. Algorithmen, die basierend auf einem Logikkalkül über die Gültigkeit von Formeln einer bestimmten Logiksprache entscheiden.

Logik als Beschreibungssprache

Im Rahmen von Untersuchungen zu Fragen der Repräsentation und Verarbeitung räumlicher Informationen im Bereich der Konfigurierung wurde die Aussagenlogik als Sprache mit präziser Semantik zur Darstellung von Problemen der Auswahl, Parametrisierung und Aggregation, insbesondere aber zur Beschreibung der räumlichen Beziehungen eingesetzt. Hierdurch ist es möglich, die Komplexität von Positionierungsproblemen (mit Nebenbedingungen) zu beurteilen. So zeigte sich, daß bereits einfache Probleme der Anordnung von einheitlichen Objekten auf einer Grundfläche mit Randbedingungen eine NP-vollständige Problemklasse darstellen [13].

Die kombinatorische Vielzahl von Möglichkeiten läßt aber eine praktische Verwendung von aussagenlogischen Formeln aufgrund des zu hohen Platzbedarfes nicht zu. Die daher begonnenen Untersuchungen zur Einsetzbarkeit von Formalisierungen auf Basis der Prädikatenlogik erster Stufe zusammen mit der Erfüllbarkeit über endlichen Grundbereichen sind noch nicht abgeschlossen. Ein Ausgangspunkt war hier die Sprache Datalog, für die die Erfüllbarkeit mit der endliche Erfüllbarkeit übereinstimmt. Die Erweiterung um ein Konzept für totale Funktionen zeigt aber eine so hohe Zeitkomplexität, daß dieser Ansatz nicht mit Auswertungen durch modifizierte Davis-Putnam-Algorithmen konkurrieren kann.

Für praktische Anwendungen der Logik als Wissensrepräsentationssprache ist die Verfügbarkeit von extralogischen Prädikaten und Sorten wesentlich. Ein bekanntes Beispiel hierfür sind die als Builtins bezeichneten Prädikate der Programmiersprache Prolog, die z.B. Arithmetik oder Listenverarbeitung erlauben. In der Arbeitsgruppe werden Ansätze zur Erweiterung tableaubasierter Inferenzmechanismen um ähnliche Auswertungsmechanismen verfolgt, so daß die Sprache komfortable Ausdrucksmöglichkeiten bietet und durch passende Heuristiken eine effiziente Verarbeitung.

Äquivalenzprobleme

Wenn verschiedene Ansätze zur Beschreibung von Sachverhalten vorliegen, stellt sich unmittelbar die Frage nach der Gleichwertigkeit der Ansätze. Für logische Beschreibungen ist dies die Frage nach der logischen Äquivalenz von Beschreibungen. Dieser Zusammenhang ist im allgemeinen allerdings zu stark, so daß der Begriff der auf eine Atommenge eingeschränkten logischen Äquivalenz betrachtet wurde, der der Ausgangsfragestellung gerechter wird. Für zwei in diesem Sinne gleichwertige Beschreibungen wird gefordert, daß nur die Mengen der folgerbaren Formeln gleich sein müssen, die über der angegebenen Atommenge gebildet werden können; "interne" Variablen bleiben so außer acht.

Diese Problematik läßt sich einfach in Termini der quantifizierten Booleschen Formeln ausdrücken, die sich ihrerseits in zur polynomiellen Hierarchie passenden Klassen einordnen lassen. Es konnte gezeigt werden, daß man zu unterschiedlichen Teilklassen Komplexitätsaussagen machen kann, die Unterschiede für Horn-Formeln und 2KNF-Formeln aufdecken, die im rein aussagenlogischen Fall nicht auftreten. Die Ergebnisse sind in [6, 7, 8] zusammengefaßt. Dort finden sich auch Untersuchungen zu einer auf die quantifizierten Booleschen Formeln angepaßten Resolutionsoperation, der sogenannten Q-Resolution. Viele der aus der Aussagenlogik bekannten Resolutionsrestriktionen lassen sich auf die Q-Resolution übertragen. Ziel dieser Restriktionen ist es, den Indeterminismus bei der Anwendung der Resolutionsregeln zu verringern. Von besonderem Interesse ist dabei auch die Q-Unitresolution, da sie die Grundlage für die Komplexitätsergebnisse zum Evaluationsproblem für Erweiterungen der quantifizierten Hornformeln ist und desgleichen auch für den linearen Algorithmus zur Entscheidung des Evaluationsproblem für quantifizierte Hornformeln.

1. ILFA

Parallel zu den theoretischen Untersuchungen wird versucht, die entwickelten Algorithmen und Heuristiken auch zu implementieren. Als äußerst hilfreich hat sich hierfür das an der Universität Paderborn entwickelte System ILFA [5] erwiesen.

Dieses System bietet eine umfangreiche Bibliothek von Logikalgorithmen. ILFA besteht im Kern aus einer Reihe effizienter Theorembeweiser für verschiedene Sprachen der Aussagenlogik und der Prädikatenlogik erster Stufe. ILFA wurde in den letzten Jahren ständig weiterentwickelt und wird auch in Zukunft mit neuen Algorithmen und Benutzerschnittstellen vervollständigt.

Dem Benutzer werden drei Schnittstellen angeboten. Zum einen kann er die Bibliothek, die vollständig in C implementiert wurde, für seine eigenen C-Programme nutzen. Über diese C-Schnittstelle hinaus stehen zwei graphische Oberflächen zur Verfügung, die auf dem OSF/Motif-Standard für Benutzerschnittstellen basieren, der über das X Window System auf vielen Rechnerplattformen Verbreitung findet. Zum einen ist fast die ganze ILFA-Funktionalität über eine menügesteuerte Oberfläche erreichbar. Die Menüstruktur orientiert sich dabei an der hierarchischen Architektur der Bibliothek. Mit der Möglichkeit Formeln verschiedener Logiken komfortabel zu verarbeiten, stellt diese Schnittstelle ein geeignetes Experimentierumfeld dar. Die zweite graphische Benutzerschnittstelle für ILFA ist eine Programmierumgebung, die auf einer visuellen Programmiersprache basiert [3]. Algorithmen können hiermit fast ausschließlich per Mausinteraktionen formuliert und in einem Interpreter ausgeführt werden.

Folgende Eigenschaften des ILFA-Systems begründen seine besondere Nützlichkeit für Untersuchungen im Bereich Logikverarbeitung.

- Die ILFA-Bibliothek enthält eine große Vielfalt an Logikalgorithmen der Aussagen- und Prädikatenlogik erster Stufe.
- Die Algorithmen und Datenstrukturen sind effizient und dennoch benutzerfreundlich programmiert.
- Die Bibliothek unterstützt die Programmierung neuer und die Anpassung der vorhandenen Algorithmen durch Benutzung der Bibliotheksfunktionen und ihrer Datenstrukturen.
- Alle ILFA-Bereiche enthalten u.a. Hilfsprozeduren für das Datei-Management, Ein- und Ausgabe von Daten wie z.B. Beweise und Statistiken und vielfältige Transformationen von Formeln.
- ILFA bietet online Dokumentation, verschiedene Programmierumgebungen und weitere Hilfsmittel für die Entwicklung von Logikprogrammen.

2. Modellelimination

Die Modellelimination (siehe [11]) gehört zu den Verfahren der Prolog Technology Theorem Prover (PTTP). Sie kann als eine Erweiterung des PROLOG-Verarbeitungsmechanismus für Formeln in konjunktiver Normalform angesehen werden (siehe [14]). Es handelt sich dabei um ein zielorientiertes Beweisverfahren, das den Suchraum möglicher Berechnungen in einer Tiefensuche mit Backtracking nach einem gültigen Beweis durchsucht. Die Modellelimination wurde sowohl für die Prädikatenlogik erster Stufe, wie auch für die Aussagenlogik implementiert. Während die große Ausdrucksstärke der Prädikatenlogik mit ihren mehrstelligen Prädikaten, Variablen- und Funktionsausdrücken einen hohen Programmieraufwand für die Verwaltung von Termen und Substitutionen für das Backtracking erfordert, ist die aussagenlogische Modellelimination weitaus einfacher strukturiert, welches die Untersuchung verschiedener Optimierungen, Strategien und Heuristiken wesentlich vereinfacht. In der Aussagenlogik gelten die Davis-Putnam-Algorithmen als die effizientesten Erfüllbarkeitstester für Formeln in konjunktiver Normalform [2]. Auch wenn die Modellelimination im Gegensatz zu den Davis-Putnam-Algorithmen zusätzlich zu der Entscheidung über die Erfüllbarkeit einer Formel auch einen Beweis liefert, darf das Laufzeitverhalten einer Implementierung nicht wesentlich schlechter sein, als das des besten Davis-Putnam-Tests. Speziell für die aussagenlogische Variante der Modellelimination wurde ein umfassendes Lemma- und Antilemma-konzept erarbeitet und dessen Korrektheit und Widerlegungsvollständigkeit überprüft. Im folgenden wird kurz darauf eingegangen.

Ein Beweis ist ein binärer Baum, in dessen Knoten elementare Aussagen (Literale) stehen und in dem jeder Pfad von der Wurzel zu einem Blatt zwei zueinander widersprüchliche Aussagen enthält. Man nennt eine Elementaraussage, die zu einer anderen widersprüchlich ist auch *Abschlußliteral*. Ein Pfad ist *irregulär*, wenn er zweimal dasselbe Literal enthält. Man nennt solch ein Literal auch eine *Irregularität*. Man kann zeigen, daß zu jeder widerspruchsvollen Formel in konjunktiver Normalform ein Beweis existiert, der keine Irregularitäten enthält, das heißt, das Kalkül ist widerlegungsvollständig.

Ein Lemma ist ein Literal, zu dem ein Beweis existiert, falls vorausgesetzt werden kann, daß eine Menge anderer Literale als Vorfahren im Pfad vorhanden ist. Das heißt, daß mit Hilfe eines Lemmas Teilbeweise, d.h. in diesem Fall Teilbäume, nicht berechnet, sondern analog übernommen werden können - eine u.a. in der Mathematik ganz natürliche Vorgehensweise. Ein Antilemma stellt ein zum Lemma Konzept dar. Es handelt sich dabei um ein Literal, zu dem kein Beweis existiert, unter der Voraussetzung, daß erstens eine Menge von Literalen als Vorfahren im Pfad stehen, die sich im Falle eines Beweisversuches als irregulär herausstellen, und zweitens eine Menge von Literalen nicht als Vorfahren auftreten darf, da ansonsten nicht

sicher gestellt werden kann, daß nicht doch ein Beweis existiert. Wir nennen die Literalmen- gen, die hier als vorhanden bzw. nicht vorhanden vorausgesetzt werden, Prämissen. Lemmata bzw. Antilemmata können andere subsumieren, wenn sie schwächere Prämissen fordern, d.h. wenn sie eine stärkere Form eines Lemmas bzw. Antilemmas darstellen.

Während der Beweissuche mittels der Modellelimination werden laufend Lemmata und Anti- lemmata produziert, welche in einem Cache gespeichert und miteinander verrechnet werden. Die aussagenlogische Modellelimination zeigt mit Hilfe dieses Konzeptes ein vergleichbares Laufzeitverhalten, wie die Davis-Putnam-Algorithmen. Darüber hinaus haben sich während der Entwicklung verschiedene Ansätze ergeben, die Modellelimination mittels Heuristiken zu einem widerlegungsunvollständigen Kalkül abzuändern, d.h. daß es dann über die Erfüllbar- keit nur zu einem hohen (z.B. 98 %-igen) Anteil richtig entscheidet, mit dem Vorteil eines weitaus besseren Laufzeitverhaltens.

3. Ein Objektsystem für PROLOG

PROLOG ist die bekannteste Programmiersprache, die speziell im Bereich der Logikverarbei- tung benutzt wird. Sie basiert auf einem SLDNF-Resolutionsbeweiser. Der Verarbeitungspro- zeß in PROLOG ist komplizierter als der bei anderen prozeduralen Programmiersprachen wie C oder PASCAL, was eine starke Verbreitung dieser Sprache behindert. Ferner wurden noch keine objektorientierten Ansätze für PROLOG standardisiert. Gründe dafür sind darin zu suchen, daß sich auf der einen Seite die Ideen globaler Objekte und Vererbung nur schlecht in die PROLOG-Philosophie einbetten lassen, und daß sich auf der anderen Seite Prinzipien wie die Instanziierung und Polymorphie schon in der PROLOG-Semantik wiederfinden lassen.

An der Universität Paderborn wurde eine objektorientierte Spracherweiterung für PROLOG entwickelt und am Beispiel des Prologsystems SB-PROLOG der SUNY in Stony Brook, USA, das auf Warren's Abstract Machine (WAM) basiert (siehe [1] und [12]), implementiert. Das Ergebnis ist eine Sprache, welche ein umfassendes Objektsystem enthält. Die Objekte, die den Grundbaustein dieses Systems bilden, bilden durch Vater- bzw. Sohn-Beziehungen zu anderen Objekten einen gerichteten Graphen. Dieser Graph wird im weiteren als Objektheter- archie bezeichnet. Die Verwendung des Begriffs Heterarchie weist darauf hin, daß im beschriebenen System mehrere Vaterbeziehungen mit dem gleichen Sohn bestehen können. Das Objektsystem kann zu einem Zeitpunkt mehrere unabhängige Objektheterarchien halten.

Objekte werden als reale oder virtuelle Einheiten verstanden. Attribute beherbergen die Eigenschaften der Objekte. Ein Objekt kann mehrere Eigenschaften besitzen. Zu den Attribu- ten zählen numerische und textuelle Werte ebenso, wie Funktionen, die Werte eines Attribu-

tes, also die Eigenschaften eines Objektes, verändern. Ein Slot wiederum wird im folgenden einer von vielen Werten eines Attributs sein. Enthält ein Slot eines Attributes eine Funktionsvorschrift, die ausgeführt werden kann, so wird sie als eine Methode bezeichnet. Methoden sind also Funktionen bzw. Handlungsanweisungen, die zu einem Objekt, einem Attribut oder einer Gruppe von diesen gehört. Aus dieser Beschreibung gehen die meisten Unterschiede zu herkömmlichen objektorientierten Konzepten klar hervor. Es wird kein Unterschied bei der Definition einer Klasse und einem Objekt gemacht. Faktisch ist jedes Objekt solange "Objekt", wie keine Söhne angehängt werden. Eine Instanz ist also immer Blatt in einem Objektbaum. Nichtsdestotrotz können die "Klassen" auch weiterhin als Objekte behandelt werden. Es wird hiermit nicht zwischen Objektkanten und Klassenkanten unterschieden. Auch die Behandlung der Methoden ist unüblich. Sie werden von dem Programm genauso verwaltet und nebenbei auch aus Prolog gleich erzeugt wie die Werte der Attribute.

Um möglichst flexibel bei der Vererbung von Werten, Eigenschaften und Methoden zu sein, kann bei jedem Attribut eine sogenannte Sourcing-Sequence gesetzt werden. Diese Sourcing-Sequence legt fest, welcher Algorithmus bei der Vererbung benutzt werden soll. Standardmäßig ist dies eine Tiefensuche. Alternativ können aber auch andere Standard-Vererbungsalgorithmen und selbstdefinierte Prolog-Algorithmen benutzt werden.

Literatur

- [1] H. Ait-Kaci: Warren's Abstract Machine -- A Tutorial Reconstruction, The MIT Press (1991)
- [2] M. Buro, H. Kleine Büning: Report on a SAT Competition), Technischer Bericht der Universität Paderborn Nr. tr-ri-92-110 (1992)
- [3] U. Dunker: A programming environment based on a visual programming language for the development of logic algorithms, Diplomarbeit, Universität-GH Paderborn (1993)
- [4] U. Dunker, Th. Lettmann: Ein aussagenlogisches Lemma-/Antilemmakonzept für die Modelleelimination, Technischer Bericht der Universität-GH Paderborn, Reihe Informatik, in Vorbereitung (1994)
- [5] U. Dunker, A. Flögel, H. Kleine Büning, J. Lehmann, Th. Lettmann: ILFA -- A project in experimental logic computation, Technischer Bericht der Universität-GH Paderborn, Reihe Informatik, Nr. 142 (1994)
- [6] A. Flögel: Resolution für quantifizierte Boolesche Formeln, Dissertation, Universität Paderborn (1993)
- [7] A. Flögel, H. Kleine Büning, Th. Lettmann: On the Restricted Equivalence for Subclasses of Propositional Logic, RAIRO Theoretical Informatics and Applications 27 (1993), pp. 327--340
- [8] H. Kleine Büning, M. Karpinski, A. Flögel: Resolution for Quantified Boolean Formulas, to appear in Information and Computation (1995)
- [9] H. Kleine Büning: On Generalized Horn Formulas and k-Resolution, Theoretical Computer Science 116 (1993), pp. 405--413
- [10] Th. Ladwig: Möglichkeiten eines schnellen Erfüllbarkeits-Testers auf der Basis statistischer Korrelationen, Diplomarbeit der Universität Paderborn (1993)
- [11] D. W. Loveland: Automated Theorem Proving, North Holland (1978)
- [12] D. Maier, D. S. Warren: Computing with Logic, Benjamin--Cummings (1988)
- [13] S. Schmitgen: Räumliche Fragestellungen bei der Konfigurierung, Dissertation, Universität Paderborn, 1993
- [14] M. E. Stickel: A Prolog Technology Theorem Prover, Proceeding of the Int. Symposium on Logic Programming, pp. 272--280 (1984)

Forschungsbereich III

*Künstliche Intelligenz
und
Computergrafik*

Anwendungen der Künstlichen Intelligenz in Nordrhein-Westfalen

Künstliche Intelligenz und Computergrafik

Abschlußbericht für den Antragszeitraum 1.1.93 - 31.12.94

Vorwort des Koordinators

Gegenstand des Bielefelder KI-NRW Forschungsbereichs "Künstliche Intelligenz und Computergrafik" war die Erschließung von Anwendungsmöglichkeiten verschiedener KI-Techniken (Behavior- und Agententechniken; neuronale Netze) bei der Kommunikation und Simulation in Computergrafik-Designumgebungen in vier Einzelvorhaben. An der Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft waren dies die Vorhaben:

- Interaktive Simulationsumgebung für den Entwurf autonomer Systeme (Projekt INSIGHT)

Prof. Dr. Thomas Christaller, Fördernr. IV A 3 – 107 005 93 –

In diesem Projekt wurden neue Techniken der computergrafischen visuellen Exploration eingesetzt, um das Verhalten eines autonomen Systems in einer simulierten Umwelt explorativ untersuchen zu können.

- Behavior-basierte Grafik-Agenten und natürlichsprachliche Steuerung (Projekt GRANAS)

Prof. Dr. Dieter Metzger, Fördernr. IV A 3 – 107 006 93 –

In diesem Projekt wurden Grafik-Agenten entwickelt, die Koordinations-, Reaktions- und Planungsleistungen bei aufgabenbezogenen Tätigkeiten übernehmen und die dabei natürlichsprachliche Anweisungen verarbeiten.

und an der Technischen Fakultät die Vorhaben:

- Interaktives Grafik-Design mit situierten Agenten (Projekt VIENA)

Prof. Dr. Ipke Wachsmuth, Fördernr. IV A 3 – 107 007 93 –

In diesem Projekt ging es – an einem Anwendungsbeispiel aus der Innenarchitektur – um die intelligente Unterstützung der Interaktion mit einem technischen System für die Erstellung und Exploration von dreidimensionaler Computergrafik.

- Grafikanimation mit neuronalen Netzen (Projekt GRINN)

Prof. Dr. Helge Ritter, Fördernr. IV A 3 – 107 035 93 –

In diesem Projekt wurden neuronale Techniken für die interaktive Generierung und Steuerung realitätsnaher Grafik-Animationen, insbesondere für das automatische, kontextsensitive Auffinden von Bildkorrespondenzen eingesetzt.

Der mit Hilfe der Landesförderung aufgebaute neue Forschungsschwerpunkt war insbesondere zur Erlangung des im Juli 1993 angelaufenen DFG-Sonderforschungsbereichs 360 "Situierete Künstliche Kommunikatoren" eine wichtige Rahmenmaßnahme und hat zum Teil Anknüpfung an das dortige langfristige Forschungsprogramm gefunden. Mittelfristige Perspektiven ergeben sich außerdem für die Vorbereitung auf geplante Fördermaßnahmen des BMFT im Bereich "Anwendungen intelligenter Systeme", hier insbesondere im Hinblick auf Systeme, die in einer dynamischen, sich verändernden Umgebung agieren und in größerem Umfang Anteile von Lösungen selbständig erarbeiten können ("teilautonome Systeme"). Die im Antragszeitraum entwickelten Verfahren könnten zum Tragen kommen für visuelle Werkzeuge für die qualitative Analyse behaviorbasierter Systeme, die Kommunikation mit teilautonomen Systemen für die Simulation, Virtuelle Interface-Agenten sowie menschenähnliche Grafik-Interfaces.

Bielefeld, Oktober 1994

Ipke Wachsmuth

KI-NRW Reports zu "Künstliche Intelligenz und Computergrafik"

- KI-NRW Report 94-08 S. Jockusch, H. Ritter: Self-Organizing Maps - Local Competition and Evolutionary Optimization
- KI-NRW Report 93-10 I. Wachsmuth/W. Krüger/Y. Cao: Virtuelle Räume.
- KI-NRW Report 93-11 I. Wachsmuth, Y. Cao: Virtual Environments and Situated Agents.
- KI-NRW Report 93-13 Y. Cao/I. Wachsmuth: Situated Space Agent for 3D Graphics Design
- KI-NRW Report 94-14 für S. Strippgen/Th. Christaller: INSIGHT – Ein virtuelles Labor das Studium eines autonomen Agenten.
- KI-NRW Report 94-15 S. Jockusch, H. Ritter: Self-Organizing Neural Networks for Template-Based Image Generation and Virtual Reality
- KI-NRW Report 94-16 I. Wachsmuth/B. Lenzmann/N.Siekmann/Y.Cao: Systeme von Interface-Agenten als Mittler in der Mensch-Maschine-Kommunikation.
- KI-NRW Report 94-17 G.N. Müller/J.-T. Milde: Eine Architektur für die Simulation eines verhaltensbasierten Roboters.
- KI-NRW Report 94-18 G. Müller: A Behavior-based Agent for a Virtual Camera.

INSIGHT - Interaktive Simulationsumgebung für den Entwurf autonomer Systeme

Leiter: Prof. Dr. Thomas Christaller

Mitarbeiter: Simone Strippgen, Markus von der Heyde

Technische Fakultät - Wissensbasierte Systeme, Universität Bielefeld

Fragestellung und Zusammenfassung der Ergebnisse

Stark beeinflusst von Biologie, Ethologie und Soziologie hat eine Gruppe innerhalb der KI in den letzten Jahren ganz neue Ideen darüber entwickelt, wie intelligente Systeme realisiert werden können. Aufgrund ihres Ziels, intelligentes Verhalten mittels der Konstruktion von künstlichen autonomen Agenten, d.h. mobiler Roboter mit möglichst einfacher Sensorik, zu begreifen, wurde dieser Ansatz auch als "*Animat Approach*" oder "*Behavior-oriented AI*" bezeichnet. Intelligenz soll *bottom-up* erzeugt werden, indem der Agent zunächst einmal dazu befähigt wird, über Wahrnehmung und Aktion in seiner spezifischen, dynamischen Umgebung zu existieren. Um das zu erreichen, wird sein Steuerungsprogramm aus verhaltenserzeugenden Modulen aufgebaut. Diese sogenannten Behaviorsysteme verbinden eingehende Sensorinformationen direkt mit einem bestimmten Einfluß auf die nachfolgende Aktion. Bei dieser Art von Steuerung existiert kein zentraler Kontrollmechanismus, die Behaviorsysteme entscheiden selbst, wann sie aktiv werden.

Die Analyse solcherart verteilter Steuerungsprogramme stellt den Entwickler vor ein großes Problem, da im allgemeinen lediglich das Verhalten des Agenten beobachtet werden kann und nicht das Verhalten der einzelnen Behaviorsysteme. Das Design von behavior-basierten Steuerungsprogrammen geschieht darum bisher auf einer rein intuitiven Basis, auf Dauer ist es jedoch unerlässlich, die verwendeten Architekturen einer qualitativen Untersuchung zu unterziehen. Dabei sollten die folgenden Fragen im Vordergrund stehen:

- **Allgemein:** Wie mächtig ist das Konzept, d.h. was kann es leisten? Wie läßt es sich erweitern?
- **Bezogen auf ein konkretes Szenario:** Läßt sich ein methodisches Vorgehen formulieren, d.h. läßt sich ein Steuerungsprogramm zielgerichtet entwerfen bzw. verändern?

Bei Experimenten mit physikalischen Agenten stößt man jedoch auf eine Reihe von Schwierigkeiten. Hardware und Sensorik erfordern einen hohen zeitlichen Wartungsaufwand, ihre Fehleranfälligkeit ist oft für unerwünschtes Verhalten des Agenten verantwortlich. Da erst das

(asynchron) parallele Zusammenspiel mehrerer Prozesse ein bestimmtes Verhalten bewirkt, läßt sich das Steuerungsgeschehen anhand der Steuerungsalgorithmen der einzelnen Prozesse allein nicht mehr nachvollziehen. Eine exakte Wiederholung eines Experiments mit physikalischen Agenten ist im allgemeinen nicht möglich, dadurch werden Fehlersuche und -korrektur zusätzlich erschwert.

Die oben geschilderten Begleiterscheinungen bei Experimenten mit physikalischen Agenten lassen erahnen, daß diese nicht unbedingt dazu geeignet sind, die eingangs aufgestellten Fragen bezüglich der qualitativen Aspekte behavior-basierter Architekturen zu untersuchen.

Ziel des Projekts INSIGHT (*Interaktive Simulationsumgebung für den Entwurf autonomer Systeme*) war die Konzeption und Implementierung einer Simulationsumgebung für autonome Agenten, die eine Untersuchung der oben angerissenen Fragestellungen optimal unterstützt. Dieses virtuelle Labor erlaubt ein schnelles Layout von anspruchsvollen Agenten und Testumgebungen, Experimente können zeit-, kosten- und raumsparend durchgeführt werden. Der Benutzer kann sich bei den Testläufen ausschließlich auf die Dynamik der verwendeten Konzepte konzentrieren, die mühsame Suche nach hardwareseitigen Fehlern entfällt. Das Steuerungsprogramm wird in PDL formuliert, einer Programmiersprache die auch bei physikalischen Agenten eingesetzt wird.

Die Analyse eines autonomen, behavior-basierten Agenten wird auf vielfältigste Weise unterstützt. Die Besonderheit von INSIGHT ist die Visualisierung der internen Dynamik. Dem Benutzer wird dadurch das Innenleben des Agenten während des Testlaufs transparent gemacht. Testläufe können aufgezeichnet und nach dem Experiment mit Hilfe eines speziellen Visualisierungswerkzeugs untersucht werden. Da dieses Analyseinstrument ausschließlich auf den Daten des Steuerungsprogramms arbeitet, kann es auch für das Studium eines realen Agenten herangezogen werden.

Projektverlauf

Als die Arbeit an dem Projekt im April '93 aufgenommen wurde, stellte sich zunächst das Problem, daß technisch keinerlei Infrastruktur vorhanden war. Ein für die Durchführung des Projekts unbedingt erforderlicher Grafikrechner stand nicht zur Verfügung, somit war im ersten halben Jahr ausschließlich konzeptuelle Arbeit möglich.

Bis Ende '93 entstand ein erster Prototyp des virtuellen Labors in sehr einfacher Liniengrafik. Als Datenstruktur für die Repräsentation der Welt wurde hier ein Gitterraster gewählt, auf dessen Zellen Objekte plziert werden konnten. Sensor- und Aktuatoraktivitäten wurden simuliert, indem bestimmte Nachbarzellen des Agenten abgefragt bzw. angesprungen werden

konnten. Diese Art der Weltrepräsentation findet man häufig bei Simulationsumgebungen für Planungsstrategien. Sie erwies sich jedoch als zu statisch und zu idealisiert um die Phänomene, die bei Experimenten mit physikalischen Agenten auftreten, adäquat modellieren zu können.

In den Monaten Januar bis März 1994 weilte Frau Strippgen als Gastforscherin bei der GMD in St. Augustin, wo sie die Möglichkeit hatte, sich eingehend mit den anspruchsvollen Grafikwerkzeugen von Silicon Graphics vertraut zu machen. Im Rahmen dieses Aufenthalts konnte das Konzept für das virtuelle Labor entscheidend verbessert werden. Für die Simulation wurde eine geometrische Repräsentation von Agent und Umwelt gewählt, d.h. der Agent läßt sich beliebig in einem Koordinatensystem bewegen. Diese Repräsentation erlaubt eine ausreichend flexible Simulation der Aktuatorik und eine wesentlich realistischere Simulation der Sensorik.

Im April war es dann endlich möglich, einen entsprechenden Grafikrechner anzuschaffen. Im Juni/Juli entstand eine Feinspezifikation der Simulationsumgebung, d.h. das Modell der Benutzerinteraktion, die Auswahl geeigneter Datenstrukturen für die Visualisierung und das Design entsprechender C++ Objektklassen für die Simulation. Seit Juli wird intensiv an der Implementierung gearbeitet, diese sehr aufwendige Programmierarbeit ist noch nicht abgeschlossen. Die nicht vorhandene technische Arbeitsumgebung und deren sehr langwieriger Beschaffungsprozeß, der nicht zuletzt auch an der immer wieder beobachtbaren Inkompetenz deutscher Vertriebsorganisationen amerikanischer Produkte zu scheitern drohte, hat den Ablauf der Projektarbeit stark behindert.

Ergebnisse: Das virtuelle Labor

Szenario

Im Gegensatz zu den üblichen labyrinthartigen Umgebungen, d.h. abgegrenzte, ebene Areale mit wand- oder blockartigen Hindernissen, können bei INSIGHT Experimente in einem ganz neuartigen Szenario durchgeführt werden. Der Agent bewegt sich auf einem Golfplatz, d.h. in einer künstlichen Landschaft, die eine überschaubare Menge von Merkmalen enthält: sanfte Hügel, Wasser-, Sand- und Grasflächen, Büsche, Fahnen, Spieler und Bälle. Dies stellt einen Kompromiß zwischen den zu einfachen, künstlichen Labyrinthen und einer viel zu reichhaltigen, natürlichen Umgebung dar. Das Verhaltensrepertoire des Agenten ist in einem solchen Szenario wesentlich komplexer, die Entscheidung Hügel und Sandflächen als Hindernisse zu betrachten oder diese zu überqueren, kann in Abhängigkeit vom aktuellen Energiehaushalt getroffen werden.

Beobachterperspektiven

Die Bedingungen in einem realen Labor sollen möglichst gut nachempfunden werden, d.h. dem Benutzer wird das Szenario nicht nur aus der Vogelperspektive dargeboten sondern als dreidimensionale Welt die er entsprechend explorieren kann. Die Landschaft wird fraktal erzeugt und besitzt dadurch eine große Realitätsnähe.

Damit der Benutzer eine möglichst gute Vorstellung von den internen Vorgängen des Agenten bekommen kann, werden ihm drei Sichten angeboten:

- **Beobachtersicht.** Der Agent und seine Umgebung werden dreidimensional visualisiert, dabei können unterschiedlichste Perspektiven gewählt werden; so läßt sich z.B. die Umgebung vom Standpunkt des Agenten einsehen. Die Wahrnehmungsbereiche der einzelnen Sensoren lassen sich nach Bedarf als geometrische, transparente Objekte einblenden.
- **Sicht auf die Sensordaten.** Alle Sensorinformationen, die dem Agenten zur Verfügung stehen, werden visualisiert. Dabei können auch nicht-visuelle Sensordaten (z.B. Ultraschall) in eine visuelle Form gebracht werden, die dem Menschen verständlich ist. Der Beobachter bekommt so ein Gefühl dafür, was es bedeutet, die Welt mit der eingeschränkten Sensorik des Agenten wahrzunehmen.
- **Sicht auf die interne Dynamik.** Die interne Dynamik des Agenten manifestiert sich in den dynamisch variierenden Quantitäten des Steuerungsprogramms. Neben den Standard-Darstellungstechniken wie z.B. Funktionen oder Histogramme lassen sich auch Phasenportraits im Sinne der Theorie dynamischer Systeme erzeugen. Dazu können die Werte beliebiger Quantitäten miteinander korreliert und als Trajektorie im dreidimensionalen Raum dargestellt werden, der jeweils als Untermannigfaltigkeit des gesamten Phasenraumes ausgewählt werden muß.

Benutzerinteraktion

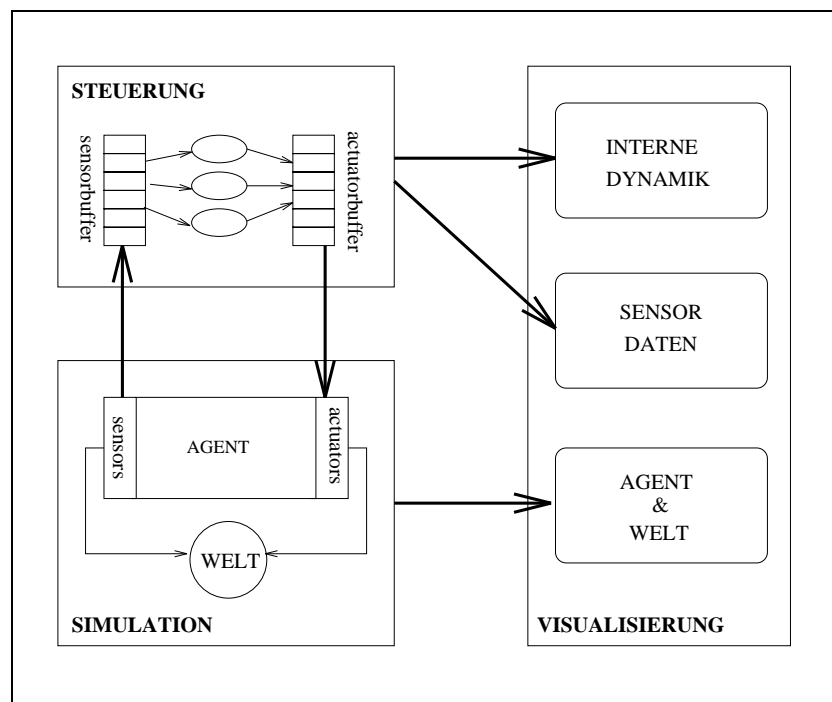
Design und Durchführung von Experimenten werden von INSIGHT gleichermaßen gut unterstützt. Vor einem Testlauf kann der Benutzer Größe, Geschwindigkeit und Energiebedarf des Agenten spezifizieren. Aus einem breiten Spektrum von Sensortypen können beliebige ausgewählt und auf dem Agenten plaziert werden. Dabei bestimmt der Benutzer Position, Ausrichtung, Reichweite und Öffnungswinkel der Sensoren. Auch die Testumgebung läßt sich genau auf das Experiment zuschneiden: der Benutzer beeinflußt Anzahl/Höhe der Hügel,

Anzahl/Größe der Wasser- und Sandflächen, Anzahl/Position von Spielern, Fahnen, Bäumen und Ladestationen und die Menge an Bällen, die auf dem Platz verteilt werden sollen.

Jeder Testlauf kann von dem Benutzer aufgezeichnet und nach Belieben erneut abgespielt werden. Die interne Dynamik des Agenten steht so auch nach dem eigentlichen Lauf einer ausgiebigen Untersuchung zur Verfügung. Damit sich herausfinden läßt, welches Verhalten der Agent bei einem bestimmten internen Zustand gezeigt hat, können beliebige Datensequenzen herausgegriffen und das dazu korrespondierende Verhalten des Agenten erneut visualisiert werden. Ein Testlauf kann jederzeit mit einer Pause-Taste unterbrochen werden.

Architektur

Das virtuelle Labor ist so aufgebaut, daß die Visualisierungsmodule für die Sensordaten und die interne Dynamik, auch für das Studium physikalischer Agenten herangezogen werden können.



Architektur INSIGHT.

Die Simulation von Agent und Welt ist von der Steuerung des Agenten entkoppelt. Simuliert werden bei INSIGHT lediglich die eingehenden Sensordaten, das Steuerungsprogramm selber ist nicht speziell auf simulierte Agenten zugeschnitten. Die hierbei auftretenden Quantitäten entsprechen ihrer Natur nach exakt denen physikalischer Agenten.

Die Steuerungsprogramme werden in PDL spezifiziert, einer behavior-basierten Sprache die international in verschiedenen Labors bei Experimenten mit physikalischen Agenten einge-

setzt wird. PDL realisiert den sogenannten dynamischen Ansatz, der von Luc Steels an der VUB Brüssel entwickelt wurde. Ein Steuerungsprogramm besteht hier aus einer Menge von Prozessen und Quantitäten: Sensorquantitäten, Aktuatorquantitäten und Quantitäten für interne Repräsentationen. Quantitäten enthalten numerische Werte, die in Abhängigkeit des Sensorinputs oder infolge der Ausführung von Prozessen dynamisch variieren. Alle Prozesse sind stets aktiv und tragen additiv ihren Teil zum Gesamtverhalten des Systems bei.

Die Visualisierungskomponente für den internen Zustand und die Sensordaten beziehen ihre Informationen ausschließlich aus dem Steuerungsprogramm und nicht aus der Simulation, darum lassen sie sich problemlos an physikalische Agenten, bzw. an Datenaufnahmen aus realen Experimenten anschließen.

Ausblick: Selbstreflektives Verhalten

Der Versuch, Intelligenz *bottom-up* aufzubauen steckt noch in den Kinderschuhen: bisher läßt sich lediglich Verhalten erzeugen, welches allenfalls als "prärationale" bezeichnet werden kann. Um einen autonomen Agenten zu "intelligentem" Handeln zu befähigen, muß dieser in der Lage sein, über das eigene Denken und Handeln zu reflektieren. Eine Voraussetzung für diese sogenannten **selbstreflexiven Prozesse** stellt die Sicht auf den eigenen Zustand, das eigene Innenleben dar. Die im Rahmen des Projekts angestrebte Simulationsumgebung soll eine ebensolche Sicht auf den internen Zustand eines autonomen Agenten visualisieren. Dies geschieht zunächst einmal für den menschlichen Entwickler, der über das Verhalten bzw. die Handlungsstrategie des Agenten reflektieren und das Steuerungsprogramm des Agenten gegebenenfalls modifizieren will.

Die oben genannten Sichten auf den internen Zustand des Agenten können jedoch, wenn sie dem Agenten selbst zur Verfügung gestellt werden, die Basis für selbstreflexive Prozesse liefern. Diese greifen in den Handlungsablauf eines Agenten ein, wenn der Agent aufgrund seiner Handlungsstrategie in eine Sackgasse geraten ist. In einer solchen Situation wird der "innere Blick" auf den eigenen Zustand gerichtet und die aktuelle Situation analysiert. Schließlich werden zukünftige Verhaltensstrategien vor dem "geistigen Auge" simuliert um die geeignete weiterführende Handlung zu bestimmen.

Das Simulationssystem INSIGHT findet sich in diesem Sinne konzipiert als prospektive Grundlage einer "Selbstbeobachtungskomponente" des Roboters, die den eigenen Zustand analysieren und mittels Selbstsimulation zukünftige Handlungsstrategien entwickeln kann. In diesem Projekt sollten die Voraussetzungen für solche selbstreflexiven Prozesse bei behaviorbasierten, autonomen Agenten geschaffen werden. Mit anderen Worten, die für den Entwick-

ler gedachte Simulationsumgebung stellt lediglich einen ersten Schritt dar, dessen Ergebnisse jedoch weitreichende Bedeutung hinsichtlich des langfristig anvisierten Ziels haben.

Publikationen:

KI-NRW 94-14

S. Strippen, Thomas Christaller. INSIGHT: A Virtual Laboratory for Looking into an autonomous Agent. In: Gaussier, P., Nicaud, J.-D., editors, From Perception to Action Conference, Lausanne, Switzerland, September 7-9, S. 388-391. IEEE Computer Society Press, 1994.

Vorträge:

Dezember '93: KI-NRW Jahrestagung in Bonn

März '94: KI-Treff bei der GMD in St. Augustin

GRANAS - Behaviour-basierte Grafik-Agenten und natürlichsprachliche Steuerung

Leiter: Prof. Dr. D. Metzging

Mitarbeiter: Gil Müller

Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft, Universität Bielefeld

Fragestellung und Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen von GRANAS stand die Konstruktion behaviour-basierter Grafik-Agenten unter der besonderen Berücksichtigung ihrer natürlichsprachlichen Steuerung im Vordergrund. Dabei wurde angenommen, daß die Interaktion zwischen dem Agenten und dem Benutzer in Grafik-Welten in hohem Maße situationsbezogen ist, daß also zum Verständnis einer natürlichsprachlichen Äußerung neben der Äußerung selbst auch ihr Kontext miteinbezogen werden muß, d.h. daß auf Sensordaten zurückgegriffen werden muß. Auf der anderen Seite führt der Agent Handlungen ohne direkte Steuerung des Benutzers selbständig durch. Dies fordert in dynamischen Umgebungen ein effizientes und auch reaktives Handeln. Dafür sollte eine behaviour-basierte Verarbeitung eingesetzt werden.

Nach den Vorarbeiten an einem Agenten, der in einer dynamischen, aber idealisierten Umwelt agiert ([Milde 93]), wurde in Kooperation mit dem D1-Projekt "Kommunizierende Agenten" im SFB 360 "Situierete Künstliche Kommunikatoren" ein Szenario aufgebaut, das die Simulation eines Roboterarms vorsieht. Dieser Arm wird von einem Agenten gesteuert, der natürlichsprachlich instruiert Montageaufgaben löst ([Metzging und Lobin 93]). Die Simulation wurde so ausgelegt, daß sie offen ist für Erweiterungen im Bereich der Objekte (Roboter, Bauteile etc.) und der Sensortypen, daß eine Verfeinerung der Realitätsnähe möglich bleibt und schließlich daß sich die Simulationsleistung vergleichsweise einfach steigern läßt ([Müller und Milde 94]). Die Basis des verteilten Systems bildet ein Werkzeug, namens *I-Space* ([Müller 94/1]), welches die Kommunikation und Synchronisation zwischen den Teilsystemen unterstützt. Bezüglich der Schnittstelle zur Simulation wurde zunächst ein behaviour-basierter Agent zur Steuerung einer virtuellen Kamera (ein vereinfachter Präsentationsagent) realisiert, der mittels einfacher natürlichsprachlicher Kommandos und über eine grafische Benutzeroberfläche gesteuert werden kann ([Müller 94/2]). Für das Behavioursystem wurde eine Mischung aus dem Ansatz von Brooks ([Brooks 86]) und Steels ([Steels 92]) eingesetzt, um so einerseits die Modularität zu erhalten und andererseits dem System in seiner

Struktur eine größere Flexibilität zu geben. Es zeigte sich, daß auch in diesem Szenario komplexe und unabhängige Steuerprozesse bewältigt werden müssen.

Projektverlauf

Im zweiten Jahr stand der Aufbau einer Simulation eines Roboterarms im Vordergrund, der von einem behaviour-basierten Agenten gesteuert wird. Dieses Szenario bildet die Grundlage einer Kooperation mit dem D1-Projekt "Kommunizierende Agenten" im SFB 360 "Situierete Künstliche Kommunikatoren" an der Universität Bielefeld. Es ist das Ziel dieser Kooperation, den Roboteragenten natürlichsprachlich instruiert Montageaufgaben situationsangepaßt durchführen zu lassen. Hinsichtlich der Simulation bedeutet das, daß neben der Kinematik und Dynamik des Roboters auch verschiedene Sensortypen simuliert werden müssen. Da die gängigen Robotersimulationssysteme besonders im Hinblick auf die Sensorik nur unzureichend ausgerüstet sind (s.a. [Müller und Milde 94]), wurde es notwendig, dieses selbst zu entwickeln.

Das Simulationssystem wurde aus Gründen der Modularität und Effizienz als verteiltes System konzipiert. Dementsprechend wurde zuerst ein Werkzeug realisiert, das die Kommunikation und Synchronisation zwischen den Teilsystemen unterstützt. Dieses Programm, namens *I-Space* ([Müller 94/1]), bildet die Basis für das Gesamtsystem. Danach wurden ein einfaches Robotermodell, eine Datenbank zur Verwaltung von Bauteilen, eine Kamera, ein digitaler Berührungssensor und ein Dynamikmodul implementiert bzw. angepaßt. Weiterhin war es notwendig, verschiedene Protokolle (z.B. für die Übertragung von Geometriedaten) zu realisieren, über die die Teilsysteme zu einem Ganzen verbunden werden. Bis zum Ende des Jahres ist geplant, das Simulationssystem um ein Kollisionserkennungsmodul zu erweitern, welches zusammen mit dem Dynamikmodul erlaubt, Interaktionen mechanischer Art zu simulieren, d.h. z.B. Objekte durch den Roboterarm hochheben lassen zu können. Weiterhin sollen noch telemetrische Sensoren und Kraftsensoren entwickelt werden.

Die Schnittstelle zum Simulationssystem wurde in eine Präsentations- und Steuerungskomponente (Konfigurationskomponente) unterteilt ([Müller und Milde 94]). Jeder dieser Teilbereiche der Schnittstelle soll durch einen eigenen Agenten behandelt werden. Hinsichtlich der Architektur dieser Agenten soll von den Ergebnissen des D1-Projekts bezüglich des Roboteragenten profitiert werden, d.h. daß auch für diese Agenten, die ja in einer virtuellen Umgebung "existieren", ein Behavioursystem eingesetzt werden soll, um so vor allem die Interaktion mit dem Benutzer, aber auch die Interaktion mit dem zugrundeliegenden Simulationssystem effizienter und reaktiver zu machen. Zunächst wurde mit einem Agenten zur Steuerung einer virtuellen Kamera ([Müller 94/2]) als einem vereinfachten Präsentationsagenten

begonnen. Dieser Agent kann sowohl natürlichsprachlich als auch über eine grafische Benutzeroberfläche instruiert werden.

Ergebnisse

Der Schwerpunkt bei der Konzeption der Simulation lag weniger auf den einzelnen Phänomenen und Entitäten als vielmehr auf ihrer Kombination ([Müller und Milde 94]). Für die Modellierung wurde ein erweiterter verteilter objekt-orientierter Ansatz verwendet, wo neben der üblichen individuen-orientierten synchronen Nachrichtenübertragung auch gruppen-orientierte, zeit-basierte und asynchrone Nachrichtenübertragung unterstützt wird ([Müller 94/1]). Dies erhöht die Flexibilität, die Effizienz und die Modularität des Gesamtsystems. Bezüglich der Simulation wurde angenommen, daß die in die Simulation eingebetteten Objekte in ihren Zustandsänderungen zu einem wesentlichen Teil unabhängig voneinander sind. Dies ist der lokale Teil der Simulation. Der globale Teil besteht aus den Interaktionen der Objekte untereinander. Solche Interaktionen werden über Protokolle (sozusagen Nachrichten höherer Ordnung) beschrieben. Diese bilden den eigentlichen Zugang zum Simulationssystem.

Wie beim Simulationssystem ist auch bei der Architektur des Kameraagenten ([Müller 94/2]) zu unterscheiden zwischen den "Bauelementen" und dem Zusammenfügen derselben. Die Bauelemente sind hier die Behaviour und Mittel zur Verknüpfung derselben. Jedes Behaviour wird durch einen *Thread* repräsentiert, der über *Ports* mit anderen Behaviourn kommunizieren kann. Die Ports wiederum sind über (unidirektionale) *Kanäle* miteinander verbunden. Jede über einen Port gesendete Nachricht wird sofort über die angeschlossenen Kanäle verteilt und dann in den am anderen Ende vorhandenen Ports abgelegt. Dieses Konzept bildet eine Mischung aus der Brookschen Subsumptionsarchitektur ([Brooks 86]) und der PDL von Steels ([Steels 92]). Von der ersteren wurde die Modularität übernommen, von der letzteren die Flexibilität.

Bezüglich der Struktur des Behavioursystems gibt es momentan Behaviour, die die Kameraparameter wie Position, Blickrichtung und Zoom beeinflussen und die die Parameter der Darstellung wie Bildgröße, Bildqualität und Art der Bilddaten ("live" oder "aus der Konserve") steuern. Bei den Behaviourn der ersten Art handelt es sich um Regelprozesse, in denen nach Vorgabe eines Zielwertes der Aktualwert über eine lineare Funktion angepaßt wird. Die der zweiten Art sind in ihrer Struktur einfacher, dafür müssen aber Abhängigkeiten berücksichtigt werden (eine Änderung der Bildgröße z.B. verbessert oder verschlechtert die Bildqualität). Andere Behaviour wiederum verarbeiten Benutzereingaben, die aus natürlichsprachlichen Interventionen ([Lobin 93]) oder indexikalischen Kommandos bestehen können. Aus diesen

Eingaben werden Signale generiert, die die Behaviour des ersten Typs steuern. Bei der natürlichsprachlichen Verarbeitung werden die Steuersignale über eine mustergesteuerte Verarbeitung erzeugt. Auch hier handelt es sich nicht um ein Reiz-Reaktion-Schema, sondern die entsprechenden Behaviour haben einen Zustand, der von den vorherigen Eingaben abhängt. Die Struktur des Behavioursystems zeigt daher, daß auch Agenten in Grafik-Welten komplexe und unabhängige Steuerprozesse bewältigen müssen. Weiterhin zeigt das Projekt einen Ansatz zur Integration von multimodalen Eingaben.

Ausblick und weiterführende Aktivitäten

Für die Fortführung der Arbeiten ist geplant, die Simulationsumgebung aus dem bisherigen Kontext herauszulösen und zu einer Basis für die Konstruktion von teilautonomen Systemen zu erweitern. Dies führt zu zwei Entwicklungslinien:

- Die eine Linie betrifft das Simulationssystem an sich. Auf der methodischen Seite wäre eine einfachere Entwicklung von Sensoren und Robotermodellen und ihrer Integration mit dem Simulationssystem wünschenswert. Dabei sollte vor allem stärker auf bereits bestehende Komponenten zurückgegriffen werden können. Auf der praktischen Seite besteht Bedarf für eine weitere Verfeinerung der simulierten Phänomene und Sensoren (z.B. der Einsatz eines Fehlermodells für Sensoren). Hierzu wären auch Erfahrungen von anderen Anwendern zu berücksichtigen.
- Die andere Linie betrifft die Benutzerschnittstelle der Simulation. Hier sollen auf der Grundlage des Kameraagenten teilautonome Systeme entwickelt werden, die die Simulation aufgrund der Instruktionen des Benutzers konfigurieren und präsentieren können. Dazu soll der Kameraagent in seinem Sprachverstehen im Hinblick auf die Modalitäten und den Inhalt der Darstellung erweitert werden. Ferner soll seine Autonomie beim Sprachverstehen durch instrumentelles Lernen und Aufbau eines "Gedächtnisses" über Interaktion mit dem Benutzer und Analyse der Eigenaktion und des Simulationsgeschehens verstärkt werden. Von der methodischen Seite her wäre dabei eine Vereinfachung der Erzeugung von Behaviourn sowohl bei der Programmierung als auch zur Laufzeit von großer Bedeutung.

Veröffentlichungen

[Müller 94/1] G. Müller: I-Space - Communication Tool for Multi-Agent Systems. In H. Lobin et al.: Steps towards the Realization of Behaviour-based Agents. Report 94/3, SFB 360, Universität Bielefeld, 1994.

[Müller 94/2] G. Müller: A Behavior-based Agent for a Virtual Camera. KI-NRW Report, 1994.

[Müller und Milde 94] G.N. Müller und J.-T. Milde: Eine Architektur für die Simulation eines verhaltensbasier ten Roboters. KI-NRW Report, 1994.

- [Milde 93] J.-T. Milde: Cyrano - Ein behavior-basierter, künstlicher, situierter Agent. Arbeitsberichte Computerlinguistik 2-93. Universität Bielefeld, Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft.

Vorträge

- H. Lobin und J.-T. Milde: Interface-Agenten zur Steuerung in komplexen Umgebungen. Workshop: "Integration multimodaler Mensch-Maschine-Kommunikation durch Interface-Agenten", KI '94, Saarbrücken, September 1994.
- J.-T. Milde: Modellierung situierter Agenten. KI-NRW-Treffen, Dezember 1992.
- G. Müller: GRANAS - Natürliche Sprache und Behaviours - Ein Agent für die grafische Simulation von Konstruktionsaufgaben. KI-NRW-Treffen, Dezember 1993.
- G. Müller: Interaktion in virtuellen Welten am Beispiel eines Präsentationsagenten für eine Robotersimulation. Kolloquium: "Natürlichsprachliche Steuerung", Universität Bielefeld, Juli 1994.

Sonstige Referenzen

- [Chapman 91] D. Chapman: Vision, Instruction and Action. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1991.
- [Brooks 86] R. Brooks: A robust layered control system for a mobile robot. IEEE Journal for Robotics and Automation, Vol. RA-2, Nr. 1, März 1986, S. 14-23.
- [Lobin 93] H. Lobin: Agentenorientierte Repräsentation von Aktionen für die natürlichsprachliche Steuerung. In Proc. DGfS/CL-93. Hamburg: Universität Hamburg, 1993, S. 83-88.
- [Metzing und Lobin 93] D. Metzing und H. Lobin: Das Projekt D1 'Kommunizierende Agenten'. Arbeitsberichte Computerlinguistik 2-93. Universität Bielefeld, Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft 1993.
- [Steels 92] L. Steels: The PDL reference manual. Tech. Rep. 92-5, VUB AI Lab, Brüssel 1992.

VIENA – Interaktives Grafik-Design mit situierten Agenten

Leiter: Prof. Dr. Ipke Wachsmuth

Mitarbeiter: Yong Cao

Technische Fakultät - Wissensbasierte Systeme, Universität Bielefeld

Zusammenfassung

Die Fragestellung dieses Projektes war, wie sich die Interaktion mit einem technischen System für die Erstellung und Exploration von dreidimensionaler Computergrafik durch Einsatz von KI-Techniken verbessern läßt. Die Anwendungsstoßrichtung ist im Bereich "Virtuelles Design" angesiedelt. So werden in der präexplorativen Konstruktion und Architektur virtuelle Entwurfsumgebungen eingesetzt, die aber bislang zumeist nur die Betrachtung fertig erzeugter Bildsequenzen erlauben und bei denen interaktive Änderungen nur mit aufwendigen technischen Maßnahmen möglich sind. Deshalb will man die Mensch-Maschine-Kommunikation dadurch verbessern, daß man von relativ abstrakten tastatur- oder mausgesteuerten Manipulationsmöglichkeiten zu eher intuitiven Handlungen übergeht. Dadurch soll der Designer von technischen Details entlastet werden und sich auf seine kreative Entwurfstätigkeit konzentrieren können. Hierauf beziehen sich die folgenden Projektziele:

- Ermöglichung einer intelligenten Kommunikation mit einer virtuellen Entwurfsumgebung
- Entwicklung eines Agenten-Systems als Mittler in der Mensch-Maschine-Kommunikation
- Erprobung des Ansatzes im interaktiven Grafik-Design an einem realitätsnahen Beispiel

Diese Ziele wurden durch Kopplung einer Virtuellen Entwurfsumgebung mit einem Agentensystem ("VIENA") angegangen. Das interaktive Grafik-Design wird im VIENA-System durch ein System kontextbezogen agierender Teilkomponenten ("situierte Agenten") unterstützt. Sie nehmen die Aufgabenstellung des Benutzers entgegen und kooperieren untereinander in dem Sinne, daß jeder einzelne Agent im gegebenen Fall durch die Unterstützung anderer Agenten seine Teilaufgabe ausführt und sich damit an einem Kooperationsprozeß zur Erstellung der Gesamtlösung beteiligt. Die Situietheit bezieht sich darauf, daß Agenten die aktuelle Situation per Inspektion der Szenenbeschreibung (bezogen

auf das momentane Sichtfeld des Benutzers) als Informationsquelle heranziehen und so auch unterspezifizierte Eingaben verarbeiten können.

Erprobt wird das VIENA-System an einem Beispiel aus dem Innenraum-Design. Im Beispielszenario werden Einrichtungsgegenstände eines virtuellen Büroraums, der in fotonaher Qualität dargestellt ist, aufgrund verbaler Eingaben des Benutzers auf diverse Weise umkonfiguriert und farblich verändert. Während dieses Prozesses wird dem Benutzer als Reaktion auf seine Eingaben die Szene als berechnetes 3D-Bild unter Berücksichtigung seines momentanen Sichtfeldes gezeigt; die Änderungen des Designs lassen sich unmittelbar beobachten und beurteilen. Der Benutzer kann vom System visualisierte Vorschläge durch Bezugnahme auf die letzte Eingabe in einfacher Weise korrigieren. Einbezogen werden dabei kognitive Faktoren der Raumwahrnehmung und deiktische Formen der verbalen Kommunikation, um größtmögliche Annäherung an Formen der situationseingebetteten Informationsverarbeitung des Menschen zu erreichen. In Zukunft sollen auch gestische Interaktionen integriert werden.

1. Projektverlauf

Nach grundlegenden Aufbauarbeiten im ersten Jahr, wie fachliche Orientierung und Hardwareorganisation, sind im zweiten Jahr Lösungsansätze auf verschiedenen Ebenen – zum Teil in Verbindung mit Diplom- und Magisterarbeiten – realisiert worden. Der Projektverlauf läßt sich grob in vier Phasen darstellen:

Phase 1: Einarbeitung und Exploration

In der ersten Phase wurde der notwendige Kenntnisstand in der Computergrafik erlangt und die Einarbeitung in den Umgang mit verschiedener Grafik-Software (RAYSHADE, SOFTIMAGE) vorangetrieben. Als nächster Schritt wurden verschiedene virtuelle Szenen und Animationen in üblicher Verwendungsart der Software (durch Programmierung der Szenenbeschreibungen) erstellt. Parallel dazu wurden Möglichkeiten der Anknüpfung von KI-Techniken an ein solches Grafik-Entwurfssystem erschlossen. Hierfür wurden drei Ansätze kontrastiv diskutiert: Unterstützung durch wissensbasierte Techniken in einer klassischen Architektur, Interface-Agent als solitäres System und schließlich ein als Mehragenten-System realisiertes Interface.

Phase 2: Spezifikation der Anforderungen, Ausarbeitung eines Anwendungsszenarios

In der zweiten Phase wurde die Realisierung eines Interface-Systems durch eine Mehragenten-Architektur als perspektivenreichster Ansatz ausgewählt. Der Schwerpunkt lag

auf der Spezifikation einer offenen/erweiterbaren Agentenarchitektur, der Ausarbeitung eines exemplarischen Anwendungsszenarios (im Innenraum-Design) und schließlich der Auswahl technischer Mittel. Auf der konzeptionellen Ebene wurde untersucht, wie sich diverse Manipulationen in einer virtuellen Umgebung durch verbale Instruktionen vermitteln lassen. Diese Untersuchung stand unter zwei Perspektiven, zum einen als komplementärer Ansatz zu gegenwärtigen Arbeiten über menügesteuerte und gestische Interaktionen, zum anderen im Hinblick auf die Besonderheiten der Raumrepräsentation in virtuellen Umgebungen.

Phase 3: Entwurf und Implementierung entlang einer exemplarischen Anwendung

In der dritten Phase wurde an einem pragmatisch eingeschränkten Beispiel ein System für den interaktiven Grafikentwurf prototypisch ausgearbeitet. Die manipulierbaren Szenen wurden mit Hilfe des Grafik-Softwarepaketes SOFTIMAGE erstellt; als Interaktionsmechanismus wurde verbale Eingabe, zunächst über Tastatur gewählt (Mikrofoneingabe in Vorbereitung). Die erste Realisierung des VIENA-Systems erlaubt es, Objekte in einer virtuellen (Büro-)Umgebung ohne direkte Bedienung der komplexen Menüs von SOFTIMAGE zu manipulieren. Die entsprechenden internen Kommandos werden als Bedeutungskonstruktion für die verbalen Eingaben durch Agenten berechnet.

Phase 4: Verbesserungen; Exploration der Einsatzmöglichkeiten für reale Anwendungen

Neben der Vervollständigung einzelner Systemfunktionen (insbesondere im Hinblick auf Farbmanipulation und Spracheingabe) werden in der vierten Phase Maßnahmen zur Verbesserung der Interaktionsgeschwindigkeit (u.a. durch direkte Verarbeitung von GL-Modellen) und der Portabilität vorangetrieben. Parallel dazu wurden erste Schritte zur Exploration der Einsatzmöglichkeiten für reale Anwendungen unternommen:

- Erstellung eines Demo-Videos
- Kooperationsgespräche mit einem regionalen Küchenhersteller
- Exemplarischer Import von CAD-Modellen aus industriellen Datensätzen
- Vorbereitung eines Angebotstextes für das Transferprofil der Universität Bielefeld

2. Ergebnisse

Um kommunizierte Änderungswünsche des Benutzers in neu berechnete Bilder umsetzen zu können, muß das VIENA-System – als intelligentes Interface zwischen Mensch und virtueller Umgebung – verschiedene Aufgaben lösen, die an einzelne Agenten oder auch Systeme von Agenten (Agenturen) verteilt werden. Ein Agent muß dabei im wesentlichen drei Rollen genügen: Er muß (1) mit anderen Agenten kommunizieren (Nachrichten austauschen) können, um (2) an einem Kooperationsprozeß für die Verteilung von Teilaufgaben zu

partizipieren; schließlich muß er (3) für die spezifische Aufgabe im Zusammenspiel mit anderen Agenten Anteile der Berechnung einer koordinierten Gesamtlösung erbringen. Die erzielten Ergebnisse beziehen sich auf jede dieser drei Ebenen und werden im weiteren entsprechend dargestellt.

Ausgangspunkt für die Realisierung ist es, auf der Anwendungsschicht des OSI-Referenzmodells – orientiert an einem Vorschlag aus der gegenwärtigen Fachliteratur – drei neue Schichten (Interaktions-, Aufgaben- und Problemschicht) aufzusetzen, die die funktionale Struktur eines Agenten widerspiegeln (Bild 1). Hinsichtlich der Kommunikation und der Kooperation sind alle Agenten in ihrem Verhalten gleich. Diese Vereinheitlichung setzt sich bis auf die Implementierungsebene fort, so daß ein komplettes Agentengerüst vorhanden ist, in das nur noch die problemabhängige lokale Funktionalität eingesetzt werden muß. Durch diese Aufteilung in fest vorgegebenen Rahmen des Interface-Agentensystems und individuelle Basisfunktionen ist die Erweiterung des Systems um neue Funktionen (Agenten) in einfacher Weise möglich.

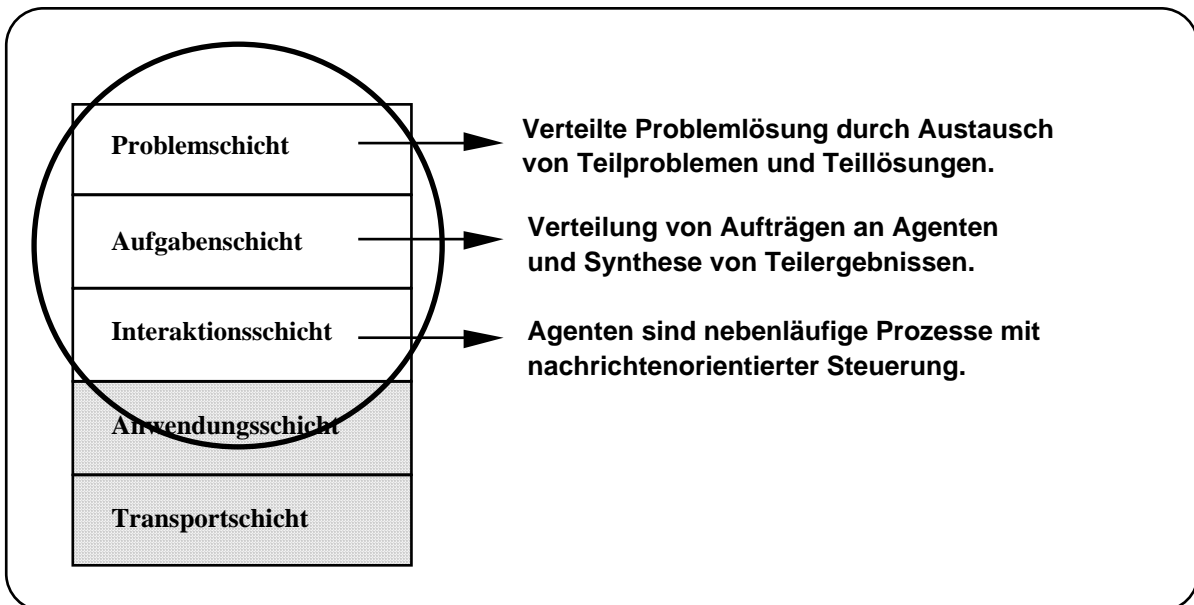


Bild 1. Das Agentensystem wurde nach einer Erweiterung des OSI-Modells entwickelt.

2.1 Allgemeines Agenten-Kommunikations-Subsystem (Interaktionsschicht)

Für das VIENA-System wurde zunächst ein eigenständiges Kommunikations-Subsystem entwickelt. Die Agenten in VIENA sind autonome Prozesse, die auf Betriebssystemebene laufen und auf verschiedene Rechner in einem Netzwerk (LAN oder Internet) verteilt sein können. Eine Schwierigkeit besteht deshalb darin, die Agenten, die auf einem oder mehreren Multitasking-Betriebssystemen mit schwer kalkulierbaren Ausführungszeiten und Nachrichtenübermittlungszeiten laufen, zu synchronisieren. Unter diesen Bedingungen kam

nur eine lose Kopplung in Frage; sie wurde nachrichtenbezogen und auf Kommunikationsebene asynchron realisiert. Eine aufgabenspezifische Synchronisation wird auf der Kooperationsebene erreicht.

Die Agenten können ausschließlich über die Interaktionsschicht miteinander in Verbindung treten. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, daß die Agenten losgelöst sind von der technischen Realisierung der Kommunikation. Die Interaktionsschicht wird auf Rechnern zur Verfügung gestellt, die unter dem Betriebssystem UNIX laufen und vernetzt sind. Nach einer prototypischen Implementierung der Kommunikation über Datenaustausch im NFS wird in der endgültigen Realisierung der von SUN Microsystems entwickelte "Remote-Procedure-Call"(RPC)-Mechanismus für die Interprozeßkommunikation von Agenten genutzt.

Die Basis für die Kommunikation ist eine einheitliche interne Sprache, die die Kommunikation eindeutig definiert. Sie umfaßt einerseits die Datenstrukturen, die den Aufbau des Nachrichtenprotokolls festlegen, und andererseits die notwendigen Kommunikationsfunktionen, die auf diese Datenstrukturen zugreifen. Eine Namenskonvention erlaubt, daß Agenten in Agenturen zusammengefaßt werden. Hiermit kann eine Baumstruktur von Agenturen geschaffen werden, deren Blätter die jeweiligen Agenten sind. Da die Kommunikation über diese Namen erfolgt, wird so von der physikalischen Verteilung (einer ungeordneten Menge von Agenten) zu einer logischen Verteilung abstrahiert.

2.2 Allgemeiner Kooperationsrahmen für Agenten (Aufgabenschicht)

Für die Aufgabenschicht wurde ein allgemeiner, anwendungsunabhängiger Kooperationsrahmen entworfen und implementiert. Die lose gekoppelten Agenten tauschen probleminduziert Nachrichten aus, um Aufträge zu vergeben bzw. zu erhalten und (auf der Anwendungsschicht berechnete) Ergebnisse abzuliefern. In der Kooperation wird spezifiziert, welche Arten von Nachrichten*inhalten* (Aufträgen) von den einzelnen Agenten gesendet (ausgeschrieben) werden. Im Kooperationsrahmen wird festgelegt, wie ein Agent als Auftragnehmer (Nachrichtenempfänger) mit anderen Agenten kooperiert.

Das realisierte System kombiniert verschiedene in der Literatur behandelte Kooperationsverfahren (Contract-Net, Master-Slave, Blackboard). Damit besteht größtmögliche Freiheit für die Integration später hinzukommender, anfangs nicht bekannter weiterer Funktionalitäten. Das Verfahren beruht darauf, daß grundsätzlich jeder Agent mit einem Auftragnehmerrahmen ausgestattet ist, innerhalb dessen die Basisfunktionalität des Agenten mit drei Basisfunktionen (Anmeldungsinformation, Machbarkeitstest der Aufgabe, eigentliche Aufgabenlösung) angestoßen werden; aus dieser heraus können bei Bedarf auftraggeberspezifische Kooperationsprimitive aktiviert werden. Die Auftragnehmer- und Auftraggeberrolle zusammen regeln

sämtliche Agentenaktivitäten, die aus der Kooperation resultieren. Damit können Agenten auf einfache Weise durch Einbinden des Kooperationsverfahrens und durch Definition der drei Basisfunktionen ins bestehende System integriert werden. Die Entwicklung des Mehragenten-Systems berücksichtigt auf dieser Ebene Anforderungen an die Robustheit (Erhaltung der Systemhandlungsfähigkeit bei Versagen einzelner Komponenten), Flexibilität (Reaktionsfähigkeit in dynamisch sich wandelnden Situationen) und Effizienz (Lieferung angemessener Resultate unter zeitkritischen Bedingungen).

2.3 Spezifisches Mittlersystem als verteilter Problemlöser (Problemschicht)

Als drittes Ergebnis wurde ein Mehragenten-System für die (verteilte) Problemlöseaufgabe, die das VIENA-System erbringen soll – nämlich die Vermittlung verbal beschriebener Szenenänderungen – realisiert. Dies kann in interaktiver Handhabung nur gelingen, wenn die dargestellten Objekte keine für den Rechner sinnleeren visuellen Präsentationen sind, sondern durch Rückkopplung in interne, sinnkonstruierende Repräsentationen Manipulationsmöglichkeiten besitzen, die der Mensch in Analogie zu den dargestellten realen Objekten intuitiv voraussetzt. Entsprechend dieser Notwendigkeit wurden in einer erweiterten Grafik-Datenbank alle Objekte typisiert (also etwa ein Objekt, das einen Stuhl darstellt, als bewegbares solides Objekt mit einer spezifischen vorn-hinten-Orientierung etc.).

Übersicht

Das VIENA-System setzt sich im Groben aus drei Komponenten zusammen: einer Benutzer-Kommunikationsschnittstelle mit einem Parser für die Sprachanalyse, einer Bildererzeugungskomponente für die computergrafische Darstellung der 3D-Szene mit einem darauf bezogenen Anpasser und schließlich dem Kernsystem, das Bedeutungskonstruktionen für die sprachlichen Benutzereingaben in Kooperation spezialisierter Agenten berechnet (Bild 2).

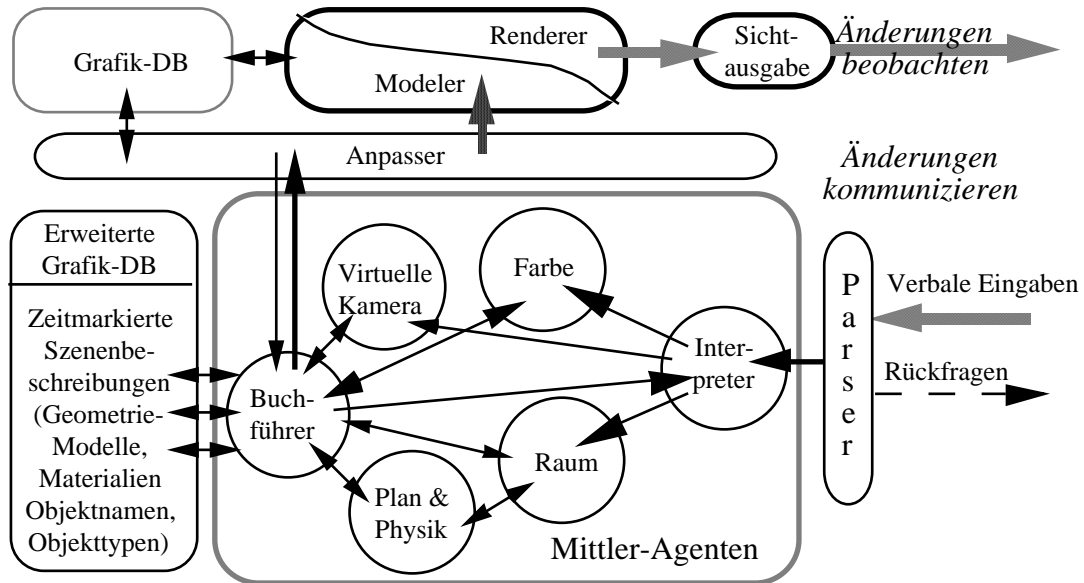


Bild 2. Architektur des VIENA-Systems

Kommunikationsschnittstelle

In der Kommunikationsschnittstelle analysiert ein Parser die Benutzeranweisungen und übermittelt die maximal daraus ableitbaren Informationen an das Kernsystem, wo ein Interpreter die Verteilung an weitere Agenten übernimmt. Im Vordergrund steht weniger die Verarbeitung komplexer Satzstrukturen als vielmehr einfacher (auch unvollständiger) qualitativer und im situativen Kontext gegebener Anweisungen. Zur Unterstützung situierter Kommunikation ist der Parser auch in der Lage, eine kürzere Ergänzung in Kontext der vorangehenden Äußerung zu verarbeiten. Gegenwärtig erfolgen die Eingaben in englischer Sprache; zusätzlich wird ein Parser für deutsche Sprache integriert. Die Parser sind ebenfalls als Agenten realisiert und werden die jeweilige Eingabe in beliebiger Sprache nach Zuständigkeit übernehmen können.

Bildererzeugungskomponente mit Anpasser

Für die computergrafische Darstellung wurde auf etablierte Techniken zurückgegriffen. Grundlage ist ein Grafikrechner (Silicon Graphics Indigo), der mit Hardwareunterstützung in der Lage ist, dreidimensionale Szenen in Echtzeit zu berechnen. Die virtuelle Szene sowie die jeweils vom Interface-System errechneten Szenenaktualisierungen werden mit Hilfe von SOFTIMAGE dargestellt. In Shading-Qualität, die durch ein vereinfachtes Beleuchtungsmodell die schnelle Berechnung realistischer 3D-Effekte ermöglicht, können Änderungen der Szene auf einem hochauflösenden Farbbildschirm schnell visualisiert werden. Über den Anpasser ist die Bildererzeugungskomponente mit dem Kernsystem (lose) gekoppelt; hier werden die visualisierbaren Anteile der internen Szenenbeschreibung

übergeben. Ein weiterer Anpasser wird gegenwärtig für Manipulationen direkt in der Grafiksprache GL (mit dem Ziel nochmals verbesserter Interaktionsgeschwindigkeit und besserer Portierbarkeit) vorbereitet.

Kernsystem: Interpreter, Raum, Physik, virtuelle Kamera, Plan, Farbe

Die Bedeutungskonstruktion der kommunizierten Änderungswünsche wird über den Interpreter angestoßen und erfolgt im Wechselspiel verschiedener dedizierter Agenten. Der Raumagent ist für die Umsetzung qualitativer Raumänderungen in konkrete Positions- und Orientierungsänderungen der Objekte zuständig. Bei der Berechnung von Objektbewegungen werden physikalische Gesetze berücksichtigt, wie etwa daß jedes Objekt im Raum von einem anderen Objekt (oder Boden) unterstützt werden muß oder daß jede Position im Raum nur von einem Objekt besetzt werden kann. Ferner wird situationsabhängig eine objektbezogene (intrinsische) bzw. beobachterbezogene (deiktische) Perspektive zur Interpretation der Änderungsangaben des Benutzers ausgewählt. Im letzteren Fall wird der Beobachterstandort mit der Position der virtuellen Kamera identifiziert, dadurch lassen sich auch indexikalische Ausdrücke ("hierher", "dorthin") verarbeiten. Ebenfalls können durch Bewegen der Kamera Ortsveränderungsangaben ("näher ran", "zeige <Objekt>") verarbeitet werden. Um die Lokation eines Objekts in Relation zu umgebenden Objekten zu visualisieren, plant das System nach Bedarf eine Serie von Szenen, die dem Benutzer den Eindruck einer Durchwanderung des Raums ermöglicht. Bei der Berechnung von Farbänderungen ist es das Ziel, die qualitativen Beschreibungen (Objektfarbe, Farbe der Lichter) in der virtuellen Umgebung durch eine Veränderung der RGB-Werte in den Bereichen Ambient, Diffuse und Specular darzustellen.

Kernsystem: Buchführer mit erweiterter Grafik-Datenbank

Der Buchführer-Agent verwaltet die erweiterte Grafik-Datenbank, in der u.a. die Typisierungen der Grafik-Objekte, die Objektbeschreibungen selbst und schließlich die Historie der Szenenänderungen gespeichert wird. Alle Geometrie- und Materialdaten über Objekte in der virtuellen Umgebung, die andere Agenten zur Bewältigung ihrer Aufgabe benötigen oder die von anderen Agenten geändert werden, werden vom Buchführungs-Agenten aus dieser Datenbank abgelesen bzw. in dieser abgelegt (und über den Anpasser an die Bildererzeugungskomponente gefiltert). Auf Basis dieser Information kann die Änderung der Szene intern unter Berücksichtigung der Kollisionsvermeidung oder der Mitbewegung aufliegender Objekte adäquat berechnet werden. Darüber hinaus unterstützt die verfügbare Information die situierte Kommunikation zwischen Benutzer und System: Bei fehlenden definiten Angaben wird eine neue Änderungsangabe auf die Daten des zuletzt manipulierten Objekt bezogen; hierdurch lassen sich linguistische Ellipsen ("ein bißchen weiter") auswerten; bei mehrdeutigen Objektangaben ("der Stuhl" obwohl mehrere Stühle vorhanden sind) wird ein Objekt im Sichtkegel der virtuellen Kamera ausgewählt ("what you see is what you get"-Prinzip) etc.

Demonstrationsbeispiele

In einem VIENA-Demo-Video sind 21 Interaktionen mit der virtuellen Umgebung aufgezeichnet. Die System-Antwortzeit liegt gegenwärtig bei durchschnittlich 13 sec pro Interaktion; durch



Bild 3. Manipulierbare virtuelle Szene der Beispiel-Anwendung

effizienzsteigernde Maßnahmen in der Bilddarstellung soll sie bis Ende 1994 weiter verbessert werden. Einen Eindruck der interaktiv manipulierbaren virtuellen Szene aus der Beispiel-Anwendung "Innenraum-Design" vermittelt Bild 3.

Vorteile des Mehragentensystems

Die Realisierung des intelligenten Interface-Systems als Mehragentensystem hat eine Reihe von Vorteilen, die abschließend kurz aufgelistet seien:

- Modularisierung durch Verteilung (sowohl technisch wie arbeitsorganisatorisch)
- Flexibilität durch Kommunikation (Einsatz alternativer Mittel je nach Situation)
- Robustheit durch Kooperation (Handlungsfähigkeit auch bei Ausfall einzelner Komponenten)
- Effizienzvorteile durch Parallelität (Aufteilung komplexer Instruktionen auf mehrere Agenten)
- "anytime"-Lösungen (passable Lösungsvorschläge je nach verfügbarer Zeit; geplant)
- multimodale Eingabemöglichkeit (z.B. verbal und durch Gesten; geplant)
- Adaption an Benutzerpräferenzen (durch parametrisierte Agenten; geplant)

3. Ausblick und weiterführende Aktivitäten

In den bisherigen Arbeiten des Projektes ging es zunächst um die Gestaltung und Manipulation einer virtuellen Umgebung 'von außen'. Dabei ist der Gedanke eines

(unsichtbar) in der Situation involvierten Mittler-Agenten gleichsam als Nebeneffekt entstanden, um eine komplexe Grafik-Software mit sprachlichen, auch unpräzisen Instruktionen bedienen zu können. Die Metapher eines 'situierteren Mittler-Agenten' sollte für die Weiterentwicklung im interaktiven Grafik-Design gute Anknüpfungspunkte bieten.

Für mögliche Fortsetzungsarbeiten des VIENA-Projektes wird deshalb erwogen, mit Hilfe eines virtuellen Interface-Agenten (VIA), der in die künstliche Szene einbezogen ist, Explorationen und Manipulationen in der virtuellen Umgebung vorzunehmen, die auf antropomorphe Merkmale des Menschen Bezug nehmen. Erste Schritte in einer solchen Richtung wurden in Forschungsarbeiten an der University of Pennsylvania mit computergrafischen Animationen humanoider Körper vorgenommen, die u.a. ergonomische Faktoren des Aufenthalts und der Bewegung von Menschen in engen Fahrerkabinen von Zweckfahrzeugen (Bulldozer und Hubschrauber) an CAD-Modellen dieser Fahrzeuge demonstrieren. Diese Arbeiten beschränken sich allerdings bislang auf die rein bildhafte Darstellung, ohne daß weitergehende Eingriffe des menschlichen Betrachters in der virtuellen Umgebung möglich sind. Der VIA soll im Explorationsraum aber auch dergestalt auftreten können, daß einerseits Benutzer von außen die Anwesenheit eines Menschen im Raum sehen und beurteilen können, andererseits gleichsam 'durch die Augen' des Interface-Agenten die Szene vom augenblicklichen Standpunkt aus inspizieren und von dieser Position aus *handeln* können.

Mit dieser Idee soll die Nutzung computergrafischer Umgebungen von einem Guckkasten-Szenario des vor dem Bildschirm sitzenden Benutzers in eine stärker immersive 'virtuelle Anwesenheit' verlagert werden, ohne daß deshalb gleich extreme Formen der Virtual Reality mit den damit verbundenen Anforderungen an technisches Equipment (Datenhelm und Tracking-Systeme) und das Gewöhnungsbedürfnis der Benutzer (Effekte der Seekrankheit) erforderlich werden. So ließe sich durch verbal und gestisch dirigierbare Grafik-Agenten, mit deren Hilfe sich der Designer 'in der Szene einbringen' und aus wechselnden Perspektiven heraus handeln kann, das Maß an 'Situiertheit' in der Mensch-Maschine-Kommunikation erhöhen.

4. Veröffentlichungen

1. Wachsmuth, I. & Cao, Y. (1993). *Virtual environments and situated agents*. KI-NRW Report 93-11.
2. Cao, Y., Lenzmann, B., Siekmann, N. & Wachsmuth, I. (1993). Wissenbasierte Agenten zur Raumkonfiguration in einer virtuellen Entwurfsumgebung. *Proc. Workshop "Hybride und Integrierte Ansätze zur Raumrepräsentation und ihre Anwendung" (KI-93, Berlin)*. Technischer Report der TU München (FKI-185-93), 50-54.
3. Cao, Y. & Wachsmuth, I. (1993). Situated Space Agent for 3-D Graphics Design. Kurzfassung in: *Virtual Reality Vienna 1993, the Global VR-Focus in Europe – Abstracts*. Langfassung: KI-NRW Report 93-13.

4. Wachsmuth, I., Krüger, W. & Cao, Y. (1994). Virtuelle Räume. *KI 94/1*, 26-33; ebenfalls KI-NRW Report 93-10.
5. Wachsmuth, I. (1994). Systeme von Interface-Agenten als Mittler in der Mensch-Maschine-Kommunikation (Extendend Abstract zum eingeladenen Vortrag). In J. Kunze & H. Stoyan (Hrsg.): *KI-94 Workshops*. Bonn: Gesellschaft für Informatik, 1994.
5. Wachsmuth, I. & Cao, Y. (1994). Interactive Graphics Design with Situated Agents. Ersch. in: W. Strasser & F. Wahl (eds.): *Graphics and Robotics* (pp. 73-85). Springer.
6. Wachsmuth, I., Lenzmann, B., Siekmann, N. & Cao, Y. (1994). Systeme von Interface-Agenten als Mittler in der Mensch-Maschine-Kommunikation. KI-NRW Report 94-16.
7. Wachsmuth, I., Lenzmann, B., & Cao, Y. (1994). VIENA: A Multiagent Interface to a Virtual Environment. Eingereicht für: First International Conference on Multiagent Systems – ICMAS-95.

Abgeschlossene Diplom- und Magisterarbeiten

- Majid Amanzadeh: "Analyse unvollständiger Anweisungen an ein Grafiksystem". Universität Bielefeld/Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft, November 1993.
- Britta Lenzmann: "Spezifikation und Implementierung eines Mehragentensystems zur Interaktion mit einer virtuellen Entwurfsumgebung". Universität Bielefeld/Technische Fakultät, März 1994.
- Karsten Otto: "Ein Raumagent für Objekttransformationen in einer virtuellen Entwurfsumgebung". Universität Bielefeld/Technische Fakultät, Juli 1994.
- Norbert Siekmann: "Spezifikation und Implementierung eines Kommunikations-Subsystems für ein Mehragentensystem". Universität Bielefeld/Technische Fakultät, August 1994.

(4 weitere Diplomarbeiten begonnen)

5. Vorträge

- | | | |
|----------|--|--|
| 4.12.92 | Künstliche Intelligenz und Computergrafik:
Motivation für einen neuen Forschungsbereich | KI-NRW Jahrestreffen Bonn |
| 10.03.93 | Virtuelle Welten und situierte Agenten | KI-Treff GMD St. Augustin |
| 20.04.93 | Virtual Environments and Situated Agents | Dagstuhl-Seminar "Graphics and Robotics" |
| 14.09.93 | Wissenbasierte Agenten zur Raumkonfiguration
in einer virtuellen Entwurfsumgebung | KI-93, Berlin |
| 1.12.93 | Situated Space Agent for 3-D Graphics Design | Virtual Reality Vienna 1993 |
| 7.12.93 | Situierter Raumagent für 3-D Grafik-Design | KI-NRW Jahrestreffen Bonn |
| 18.02.94 | Agent-mediated Verbal Interaction with
a Virtual Environment | ZiF Conf. "Solving Complex
Problems w. Agent Systems" |
| 28.04.94 | Menschengerechte Mensch-Maschine-
Kommunikation | 100 Jahre VDI Teutoburger
Bezirksverein, Bielefeld |
| 21.09.94 | Systeme-von Interface-Agenten als Mittler
in der Mensch-Maschine-Kommunikation | KI-94, Saarbrücken
(eingeladener Vortrag) |
| 19.10.94 | Interface-Agenten als Mittler in der Mensch-
Maschine-Kommunikation | VDI-Ausschuß "Künstliche
Intelligenz", Dortmund |
| 9.11.94 | Kommunikation mit virtuellen Umgebungen | Kolloquium Uni Duisburg |
| 22.11.94 | Kommunikation mit virtuellen Umgebungen | Kolloquium Uni Osnabrück |
| 19.12.94 | VIENA: Ein Multiagenten-Interface für eine
virtuelle Entwurfsumgebung | KI-NRW Jahrestreffen
Bielefeld |

GRINN - Grafikgenerierung in Neuronalen Netzen

Leiter: Prof. Dr. Helge Ritter

Mitarbeiter: Stefan Jockusch

Abteilung Neuroinformatik - Technische Fakultät

Universität Bielefeld

Zusammenfassung

Das Projekt GRINN befaßt sich mit der Anwendung neuronaler Netze auf die Generierung und Animation von Grafikobjekten. Besonderes Gewicht liegt dabei auf der Anwendung von Computergrafik in intelligenten Interfaces.

Im Rahmen dieses Projekts wurden drei Applikationen entwickelt: (a) hierarchische Identifikation von Bildkorrespondenzen durch Neuronale Netze; (b) ein System zur "Beispielbasierten Bildgenerierung" (TBIG), bei dem Stillbilder -- vor allem menschliche Gesichter -- dadurch animiert werden, daß Bildsegmente sowie dynamische Parameter der Quellsequenz, die in Selbstorganisierenden Karten gespeichert sind, mit dem Stillbild kombiniert werden; (c) ein Werkzeug zur "Zucht" natürlich wirkender Animationssequenzen computergenerierter Objekte oder Stillbilder.

Die wichtigste und zukunftsreichste Applikation ist der "FaceCoder", der auf dem Verfahren zur beispielbasierten Bildgenerierung aufsetzt. Mit diesem Programm können Bilder menschlicher Gesichter dadurch animiert werden, daß der Gesichtsausdruck oder Sprechbewegungen anderer Gesichter in Einzelbildern oder Bildsequenzen übertragen werden. Die möglichen Anwendungen des FaceCoder reichen von der hocheffektiven Codierung von Gesichtern etwa für das Bildtelefon oder Videokonferenzen bis hin zum Transferieren von Gesichtsmimik auf andere Personen als Spezialeffekt für die Unterhaltungsindustrie; im forensischen Bereich kann das Verfahren beispielsweise zur automatisierten Erzeugung von Phantombildern verwendet werden, in die nicht nur Merkmale der Person, sondern auch der Gesichtsausdruck und Emotion eingehen.

Projektziele

Verglichen mit der großen Anzahl bestehender Anwendungen neuronaler Netze im Bereich der Bildanalyse und anderen typischen Mustererkennungsaufgaben wird den Einsatzmöglichkeiten neuronaler Netze bei der *Bilderzeugung* wenig Aufmerksamkeit

geschenkt. Dabei stellen insbesondere topologieerhaltenden Karten bei der Repräsentation von Bildern potente Methoden bereit, die sowohl bei der Bildcodierung als auch bei der Manipulation und Animation sowohl von Bildern als auch von computergenerierten Grafikobjekten neue Möglichkeiten eröffnen. Im Rahmen des Projekts GRiNN (Grafikgenerierung in Neuronalen Netzen) werden diese Möglichkeiten ausführlich untersucht.

Ein wichtiges Ergebnis des Projektes ist die Methode der "Beispielbasierten Bildgenerierung" (*Template Based Image Generation, TBIG*). Die TBIG ist eine Methode zur Erzeugung von Bildern und Animationen durch Kombination von Bildsegmenten, die in neuronalen Netzen gespeichert sind; um größtmögliche Realitätsnähe der synthetischen Bilder zu erreichen, ist eine besondere Repräsentation der Bilddaten notwendig.

Die Beispielbasierte Bildgenerierung wird im "FaceCoder" praktisch angewendet, einem System, das in derselben Weise, in der ein Vocoder aus einem steuernden Sprachsignal synthetische Sprache generiert, aus einer Bildsequenz oder einer Computeranimation und einem Template eine synthetische Bildsequenz erzeugt. Um dieses sehr umfangreiche Problems besser handhaben zu können, beschränken sich die folgenden Untersuchungen im wesentlichen auf eine begrenzte Bildklasse: auf menschliche Köpfe bzw. Gesichter. Die hauptsächlichen Eigenschaften des Ansatzes sind:

1. es wird eine duale Bildrepräsentation eingeführt. Bilder, die zu einer gemeinsamen Klasse gehören, etwa Bilder menschlicher Gesichter, werden unabhängig im Raum der *Verzerrungen* und im Raum der *Farbwerte* dargestellt. Die Darstellung im Verzerrungsraum ist in begrenztem Umfang in der Lage, Transformationen des ursprünglich dreidimensionalen Objekts, wie Translationen und Rotationen, darzustellen. Sie ist damit ein Ersatz für dreidimensionale Modellierung der Objekte.
2. Zur Dimensionsreduktion werden alle Bilddaten in niedrigdimensionalen Selbstorganisierenden Karten dargestellt. Diese Methode hat den Vorteil, daß bedingt durch die Nichtlinearität der Selbstorganisierenden Karten im Allgemeinen weniger Dimensionen erforderlich sind, um eine Mustermenge mit einer gegebenen Genauigkeit zu repräsentieren, als mit einem linearen Verfahren wie der Hauptkomponentenanalyse.
3. Der Ansatz, Grafikdaten in selbstorganisierende Karten zu speichern, wird auf computergenerierte Objekte übertragen; anstelle der Bilddaten werden die Parameter, die Grafikobjekte beschreiben, in SOM-Netzen gespeichert. Da auch diese Daten bei komplexen Objekten recht hochdimensional sein können, kann diese Dimensionsreduktion die Erzeugung von Animationssequenzen erheblich erleichtern.

Projektverlauf

Das Projekt wurde in drei Teilprojekten realisiert:

1. **Vorverarbeitung und Bildanalyse:** Die im Projekt GRiNN gewählte Methode der Bildrepräsentation stellt besonders hohe Anforderungen an die Genauigkeit, mit der korrespondierende Punkte in Bildern erkannt werden können; überwacht lernende nichtlineare neuronale Netze stellen hier eine Alternative zu den herkömmlichen Bildanalysemethoden durch Korrelationsanalyse, Schätzung des optischen Flusses usw. dar. Der im Rahmen des Projekts entwickelte Korrespondenzpunkt-Analysator INCA verbindet überwacht lernende Netze mit einer einfachen Form der Aufmerksamkeitssteuerung und einer hierarchischen Analyse/Synthese-struktur (Abbildung 1).

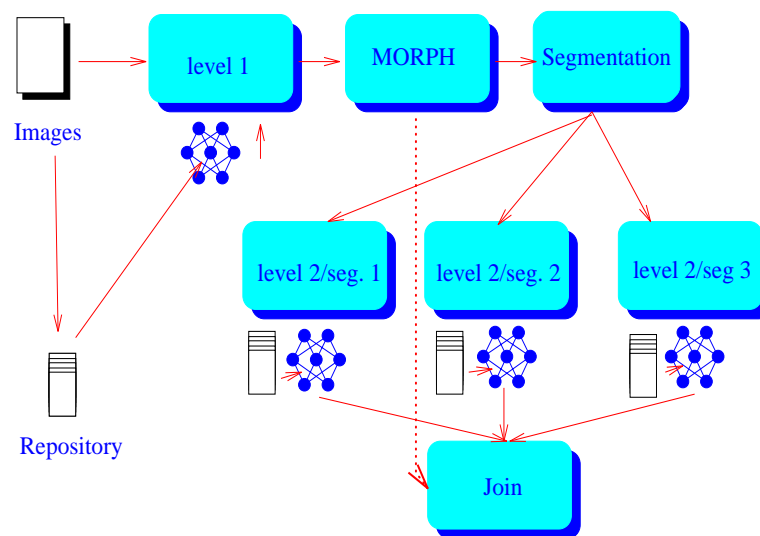


Abbildung 1: Hierarchisches Korrespondenz-Analysewerkzeug INCA. Auf der unteren Ebene (level 1) werden wenige (z. B. drei) Korrespondenzen extrahiert. Dies geschieht mit Hilfe eines überwacht lernenden LLM-Netzes, dessen Trainingsdaten entweder bereits vorhanden sind oder während der Sitzung mit einer Bildserie erfaßt werden. Die Vorhersage des Netzwerks kann manuell korrigiert werden. Diese Korrespondenzen werden dazu verwendet, um das Bild durch das *MORPH*-Werkzeug so zu verzerren, daß die erkannten Korrespondenzen auf definierten Positionen liegen. Das nachgeschaltete Segmentierungsmodul schneidet Bildausschnitte um die interessierenden Regionen herum aus dem so normierten Bild aus und verfährt mit ihnen ebenso wie mit dem Gesamtbild; in der Regel kann nun allerdings eine größere Anzahl von Korrespondenzen identifiziert werden.

Die so extrahierten Daten müssen nun auf die Positionen im ursprünglichen Bild zurückgerechnet werden. Dies geschieht im *Join*-Modul.

Die zuverlässige Identifikation korrespondierender Punkte ermöglicht es, Bilder durch eine "normierte" Texturinformation und eine "Verzerrungsvorschrift" darzustellen. Diese Darstellung ist nicht nur die Grundlage für die kompakte Darstellung von Grafikdaten in neuronalen Netzen, sondern bedeutet auch -- im Falle von Gesichtern -- eine teilweise Trennung der Texturinformation von der Information über die Gesichtsmimik.

- 2. Repräsentation von Grafik- und Bilddaten in topologieerhaltenden Karten:** Die Identifikation korrespondierender Punkte ermöglicht es, Bilddaten effektiv in niedrigdimensionalen Selbstorganisierenden Karten (*Self Organizing Maps, SOMs*) abzuspeichern. Ebenso wie die Bilddaten selbst, also die Texturinformation, können auch die Positionen der korrespondierenden Punkte in SOMs dargestellt werden; das Ergebnis sind niedrigdimensionale Repräsentationen sowohl der Textur als auch der Positionen dieser Punkte, die im Fall menschlicher Gesichter eine reduzierte Darstellung der Mimik liefern.

Durch die Darstellung in SOMs können *Bildsequenzen* als Trajektorien in niedrigdimensionalen Räumen dargestellt werden. Die SOMs sind daher -- gemeinsam mit der dualen Bildrepräsentation -- einerseits ein Instrument zur Bilddatenkompression, andererseits stellen sie aber auch eine lernfähige Schnittstelle für die Erzeugung von Animationen zur Verfügung.

Diese Methoden werden durch die im Rahmen des Projekts entwickelten Applikationen SomWalker, ImgSom und FaceCoder verfügbar gemacht.

- 3. "Zucht" von Animationen:** Die niedrigdimensionale Darstellung von Bilddaten wird für eine neuartige Methode des Animationsdesigns ausgenutzt: anstatt Werkzeuge für das interaktive Design von Animationen zu entwickeln, die in jedem Fall ein hohes Maß an Know-how beim Benutzer voraussetzen, erzeugen wir die Animationssequenzen automatisch und reduzieren die Aufgabe des Animators darauf, das ihm angebotene Repertoire and Animationen zu beurteilen. Auf diese Weise stellt der Benutzer iterativ eine Kostenfunktion auf dem Raum der Grafikparameter zur Verfügung, deren Minimum die optimale Animationssequenz darstellt.

Für die Optimierung dieser Kostenfunktion wurde ein leistungsfähiges Werkzeug entwickelt, das sowohl Evolutionsstrategien als auch Genetische Algorithmen sowie das Simulated Annealing zur Verfügung stellt.

Ergebnisse

Bildmanipulation durch SOMs: Abbildung 2 zeigt eine SOM, die aus Texturdaten dreier Personen gewonnen wurde¹. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für eine Metamorphose (*morph*), die durch eine Trajektorie auf dieser Karte erzeugt wird.

Bildmanipulation im Korrespondenz- und Texturraum: Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für den "Mimiktransfer" durch die Applikation FaceCoder; Im FaceCoder wird sowohl die Gesichtsmimik als auch Texturinformation aus einer Quellsequenz von Bildern auf ein einzelnes Zielbild übertragen. Dadurch, daß nur die Texturinformation übertragen wird, die für die Identifikation einer bestimmten Mimik notwendig ist, bleibt für den Betrachter die Identität des Zielbildes erhalten; dennoch wird das gesamte Bild animiert, wobei durch eine einfache Approximation die Dynamik der Quellsequenz plausibel auf das Zielbild übertragen wird (siehe (Jockusch and Ritter, 1994f), Abbildung 4).

SOMs als Schnittstelle zu 3D-Animationssoftware: Durch die Dimensionsreduktion in SOMs können hochdimensionale Parameterräume computergenerierter Objekte so effektiv repräsentiert werden, daß die Exploration durch Evolutionsverfahren möglich wird. Dies wurde sowohl für die Mimik eines computergenerierten Kopfes als auch für die Parameter der Morphologie dieses Objekts realisiert (Abbildung 5).

Die Zielsetzung ist hierbei, natürliche Mimik dadurch zu erzeugen, daß die entsprechende Parametersequenz durch das oben beschriebene Zuchtverfahren herangezogen wird. Die Methode bewährt sich vor allem bei der "Verfeinerung" bereits bestehender Animationen.

Ausblick

Das wichtigste Produkt des Projekts GRiNN ist die Applikation FaceCoder, die gemeinsam mit dem Analysewerkzeug INCA eine neuartige und zeitsparende Methode zur Manipulation und Exploration sowohl von Bilddaten als auch von modellierten Grafikdaten verfügbar macht.

Dem FaceCoder fehlt allerdings die Möglichkeit, die interne Darstellung der Bilddaten nach semantischen Kriterien einzuordnen, also etwa einen freundlichen von einem wütenden Gesichtsausdruck zu unterscheiden. Dies ist das Ziel des Fortsetzungsprojekts HILIFE: in HILIFE soll der FaceCoder zu einem "humanoiden" Interface erweitert werden, in dem

¹Dazu wurden die Originalbilder so verzerrt, daß Augen und Mund auf definierten Positionen liegen.

Äußerungen, die als Bildsequenz und/oder Sprachausgabe gespeichert sind, mit Emotionsparametern so moduliert werden können daß ein "emotionaler" Interfaceagent entsteht.

Dazu sollen die Merkmals- und Bilddaten, die im FaceCoder zum Training der Selbstorganisierenden Karten dienen, auf "semantische" Parameter wie Emotion oder gesprochene Laute abgebildet werden. In einer zweiten Projektstufe wird die Beziehung zwischen diesen semantischen Parametern und den Merkmalen und Bilddaten dazu verwendet, Bildsequenzen mit den semantischen Parametern zu *modulieren*, so daß beispielsweise ein wütendes Kopfschütteln in ein freundliches Kopfschütteln umgewandelt wird.

Als weitere Perspektive ist etwa die Erweiterung des humanoiden Interface durch die Ergänzung um ein Sprachausgabemodul denkbar, die eine Anwendung des FaceCoder etwa in Kommunikationssystemen erlauben würde.



Abbildung 2: Zweidimensionale SOM, die aus Bildern dreier Personen berechnet wurde. Jede der drei Personen belegt eine separate Region auf der Karte; innerhalb einer Region sind ähnliche Gesichtsausdrücke an benachbarten Positionen gespeichert. Diese Karte kann sowohl verwendet werden, um einfache Animationen einer Person zu erzeugen, als auch für eine einfache Form des *morphing*.



Abbildung 3: Beispiel für eine Metamorphose ("*morph*") zwischen zwei Personen, die mit Hilfe einer Selbstorganisierenden Karte generiert wurde; die zugehörige Trajektorie ist in Abbildung 2 (oben) angedeutet.

Abbildung 4: Fünf Beispielbilder, die mit dem FaceCoder generiert wurden. Oben zwei Zielbilder, darunter die fünf "Quellbilder" und darunter die resultierenden synthetischen Bilder. Die Textur der Mundregion ist aus der Quellsequenz übernommen, während das übrige Gesicht lediglich verzerrt wird, wobei die entsprechenden Verzerrungsfelder berechnet werden. Insbesondere beim fünften Bild der beiden synthetischen Sequenzen ist erkennbar, daß systematische Störungen der Quellsequenz, wie Neigung und Rotation des Kopfes, im Resultat zu unerwünschten Nebeneffekten führen.



Abbildung 5: Computergenerierter Kopf in Endaufnahmen. Die Prototyp-Vektoren für die 24 Parameter, durch die der Gesichtsausdruck festgelegt wird, können in einem SOM-Netz gespeichert werden. Gleiches gilt für Parameter, die die Morphologie des ganzen Kopfes bestimmen, wie etwa die Länge der Nase oder die Kopfform.

Publikationen

- Jockusch, S. and Ritter, H. (1993). Synthetic face expressions generated by self organizing maps. In: Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), pages 2077--2091.
- Jockusch, S. and Ritter, H. (1994a). Analysis-by-synthesis and example based animation with topology conserving neural nets. In: International Conference on Image Processing.
- Jockusch, S. and Ritter, H. (1994b). Neuronale Netze zur Analyse, Generierung und Animation von Bildern. In: Visual Computing Workshop.
- Jockusch, S. and Ritter, H. (1994c). Project GRiNN -- self organizing networks for image animation and virtual reality. Technical report, University of Bielefeld.
- Jockusch, S. and Ritter, H. (1994d). Self-organizing maps and llm networks for image normalization, generation, and animation. In: Artificial Neural Networks 3. North-Holland.
- Jockusch, S. and Ritter, H. (1994e). Self organizing maps: Local competition and evolutionary optimization. Neural Networks. in press.
- Jockusch, S. and Ritter, H. (1994f). Project GRiNN -- Selbstorganisierende neuronale Netze in der Virtuellen Realität. Technical report, KI-NRW 94-5.

KI-NRW Reports

Die hier aufgelisteten Reports können kostenlos angefordert werden.

Bitte schicken Sie eine Liste der gewünschten Reports an:

Erika Hölzer
Universität Bonn
Institut für Informatik III
Römerstr. 164
D - 53117 Bonn

Telefon: (0228) 550 292

Telefax: (0228) 550 382

oder via E-mail

erika@informatik.uni-bonn.de

Für gekennzeichnete Reports gilt:

- * nicht mehr lieferbar
- ** nur beim Verlag erhältlich
(auf eigene Kosten)

Hier sind nur diejenigen Veröffentlichungen des Verbundes genannt, die auch offiziell als ein KI-NRW Report geführt werden. Weitere Publikationen sind auf Anfrage direkt bei den beteiligten Gruppen erhältlich.

- KI-NRW 87-01 A.B. Cremers, K.-H. Becks (Hrsg.)
Proceedings, Anwenderforum EXPERTENSYSTEME des KI-Verbundes NRW,
Wuppertal (1987).
- KI-NRW 87-02 A.B. Cremers, A. Hemker, K.-H. Becks, H. Forsbach
"DELPHI-EXPERT - Ein Expertensystem für die Fehlerdiagnose in einem
Hochenergiephysik Experiment",
in: Proceedings, Anwenderforum EXPERTENSYSTEME, Wuppertal (1987).
- KI-NRW 87-03* K.-H. Becks
"Systèmes Experts pour la Physique des Hautes Energies",
in: Proceedings, Journées de Reflexion sur les Applications de l'Intelligence
Artificielle en Physique Experimentale, Marseille, Luminy (1987).
- KI-NRW 87-04 N. Gouders, R. Kaibel, J. Prang
"Expertensystem für die Testgenerierung und Fehlerdiagnose in mikroelektro-
nischen Schaltungen und Systemen",
in: Proceedings, Anwenderforum EXPERTENSYSTEME, Wuppertal (1987).
- KI-NRW 87-05 A.B. Cremers, L. Plümer
"Elemente der Künstlichen Intelligenz in der anwendungsorientierten Informatik-
Lehre",
in: H.-H. Gerlach (Hrsg.), Instandhaltung automatischer Anlagen, Reihe Technik
und Wirtschaft, Verlag TÜV Rheinland (1987).
- KI-NRW 88-01 A.B. Cremers, W. Geisselhardt (Hrsg.)
Proceedings, 2. Anwenderforum EXPERTENSYSTEME des KI-Verbundes NRW,
Duisburg (1988).
- KI-NRW 88-02 K.-H. Becks, A. Hemker
"An Expert System for Error Diagnosis in High Energy Physics Detectors",
in: Proceedings of the 1988 DECUS Europe Symposium, Cannes (1988).
- KI-NRW 88-03 N. Gouders, R. Kaibel
"Planen bei der Testgenerierung für digitale elektronische Schaltungen",
in: Proceedings zum 2. Workshop Planen und Konfigurieren (1988).
- KI-NRW 88-04* G. Sauermann
"Konstruktion eines Expertensystems zur Vereinfachung von aussagenlogischen
Termen",
Diplomarbeit, Universität Duisburg (1988).
- KI-NRW 88-05 D. Krallmann, E. Cremers, D. Hermann, C. Strahl
"Risikominimierung und kognitive Modellierung",
Interner Bericht, Universität Essen (1988).
- KI-NRW 88-06 U. Hermann
"Conceptual Clustering",
Vortragsmanuskript, Universität Essen (1988).
- KI-NRW 88-07 A.B. Cremers
"Anwendungen der Künstlichen Intelligenz in der naturwissenschaftlichen
Forschung: Neue Möglichkeiten der Expertensysteme und ihre Grenzen",
in: Vorlesungsreihe Schering AG, Berlin, Heft 22 (1988).

- KI-NRW 88-08 G. Arnold, W. Burgard, A.B. Cremers, M. Lauer, S. Lüttringhaus
"Ein Expertensystem zur Prüfung elektrischer Betriebsmittel für explosions-
gefährdete Bereiche",
in: Tagungsband 2. Anwenderforum "Expertensysteme", Duisburg (1988), S.57-64.
- KI-NRW 88-09 A.B. Cremers, S. Bernemann, B. Hellingrath, J. Joemann
"Entwicklungen auf dem Gebiet der Sprachen und Werkzeuge für wissensbasierte
Systeme" (eingeladener Vortrag),
in: Tagungsband "Expertensysteme für Ingenieure", GVC • VDI-Gesellschaft
Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Köln , F.4, 1-27 (1988).
- KI-NRW 88-10 L. Plümer
"Predicate Inequalities as a basis for automated termination proofs for Prolog
Programs",
Forschungsbericht Nr. 273, Fachbereich Informatik, Universität Dortmund (1988).
- KI-NRW 89-01 K.-H. Becks, A.B. Cremers, A. Hemker
"Entwurf einer Expertensystemshell für die Fehlerdiagnose in Detektoren des
DELPHI-Experiments",
in: Zeitschrift KI 1/89 Künstliche Intelligenz: Forschung, Entwicklung,
Erfahrungen; Oldenbourg Verlag (1989).
- KI-NRW 89-02 K.-H. Becks
"Artificial Intelligence and Expert Systems - Applications in Data Acquisition",
Proceedings of the 1989 CERN School of Computing, CERN 90-06 (1990).
- KI-NRW 89-03* K.D. Brand
"Ein Monitorprogramm für das DELPHI-Experiment",
Diplomarbeit, Universität Wuppertal, Preprint WU D 89-3 (1989).
- KI-NRW 89-04* A. Hemker
"Anschluß von Datenbanken und Prozeduren an OPS5",
Interner Bericht, Universität Wuppertal (1989).
- KI-NRW 89-05 A. Goerdts
"Regular Resolution versus Unrestricted Resolution",
Universität Duisburg (1989).
- KI-NRW 89-06 A. Goerdts
"Davis-Putnam Resolution versus Unrestricted Resolution",
Universität Duisburg (1989).
- KI-NRW 89-07 A. Goerdts
"Unrestricted Resolution versus N-Resolution",
Universität Duisburg (1989).
- KI-NRW 89-08* H. Menzel
"Validierung des SIMSON-CAT-Systems durch interaktive Testgenerierung für
eine kundenspezifische Schaltung",
Diplomarbeit, Universität Duisburg (1989).
- KI-NRW 89-09 R. Unland, G. Schlageter
"Ein generelles Modell für Sperren in Nicht-Konventionellen Datenbanken",
in: Proc. GI/SI-Fachtagung 'Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft',
Springer-Verlag, IFB 204, Zürich, Schweiz (1989).

- KI-NRW 89-10* R. Unland, G. Schlageter
"A Multi-Level Transaction Model for Engineering Applications",
in: Proc. Int. Symposium on Database Systems in Advanced Applications,
Seoul, Süd-Korea (1989).
- KI-NRW 89-11 R. Unland
"A Flexible and Adaptable Tool Kit Approach for Concurrency Control in Non
Standard Database Systems",
Informatik Fachberichte, FernUniversität Hagen, Nr. 88 (1989).
- KI-NRW 89-12 U. Hermann
"Die Wissensakquisition in der Entwicklung von Expertensystemen",
Magisterarbeit, Universität Essen (1989).
- KI-NRW 89-13 S. Lüttringhaus
"An interpreter with lazy evaluation for Prolog with functions",
in: E. Börger, H. Kleine Büning, M. M. Richter (Eds.), Proc. of 2nd Workshop on
Computer Science Logic, CSL'88, Duisburg, FRG, October 1988, Lecture Notes in
Computer Science 385, Springer-Verlag (1989).
- KI-NRW 89-14 E. Eder
"A Comparison of the Resolution Calculus and the Connection Method, and a New
Calculus Generalizing Both Methods",
in: E. Börger, H. Kleine Büning, M. M. Richter (Eds.), Proceedings of 2nd
Workshop on Computer Science Logic, CSL'88, Duisburg, FRG, October 1988,
Lecture Notes in Computer Science 385, pp. 80-98, Springer-Verlag (1989).
- KI-NRW 89-15 J. Freitag, Th. Bode
"Ein allgemeiner Speicherobjektmanager als Implementierungsbasis für komplexe
Objekte in einem Objektmanagementsystem",
in: Proceedings 'Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft', BTW
1989, Informatik-Fachberichte 204, Springer-Verlag (1989).
- KI-NRW 89-16 A.B. Cremers
"Wissensbasierte Softwaretechnik", (eingeladener Vortrag),
in: 3. Int. GI-Kongress "Wissensbasierte Systeme", München, Okt. 1989,
Informatik-Fachberichte 227, Springer-Verlag (1989), S. 252-258.
- KI-NRW 89-17 L. Plümer
"Predicate Inequalities as a basis for automated termination proofs for Prolog
Programs",
in: E. Börger, H. Kleine Büning, M. M. Richter (Eds.), Proceedings of 2nd
Workshop on Computer Science Logic, CSL'88, Duisburg, FRG, October 1988,
Lecture Notes in Computer Science 385, Springer-Verlag (1989).
- KI-NRW 89-18 W. Burgard
"Generating a Data Structure for Goal-Directed Forward Chaining in Logic
Programming",
Tech. Rept. 331, Department of Computer Science, University of Dortmund, 1989.
- KI-NRW 89-19 U. Griefahn, S. Lüttringhaus
"Integrity Constraint Checking for Deductive Databases",
Forschungsbericht Nr. 305, Fachbereich Informatik, Universität Dortmund (1989).

- KI-NRW 90-01 K.-H. Becks, W. Burgard, A.B. Cremers, A. Hemker, A. Ultsch
"Parallel Process Interfaces to Knowledge Systems",
in: R. Eckmiller, G. Hartmann, G. Hauske (Eds.), Proceedings of the International Conference on Parallel Processing in Neural Systems and Computers, Düsseldorf, 1990, Elsevier Science Publishers B.V. North Holland (1990).
- KI-NRW 90-02 A. Hemker
"Linking of Symbolic and Subsymbolic Mechanisms",
in: Proceedings of the International Workshop on New Computing Techniques in Physics Research, Lyon, Editions du CNRS (1990).
- KI-NRW 90-03 J. Ortmann, K.-H. Becks, K. Brand, A.B. Cremers, A. Hemker
"DELPHI-EXPERT - An Expert System for Error Diagnosis in High Energy Physics Detectors",
in: D. Perret-Gallix & W. Wojcik (Eds.), Proceedings of the International Workshop on New Computing Techniques in Physics Research, Lyon, Editions du CNRS (1990).
- KI-NRW 90-04 F. Block, K.-H. Becks, A. Hemker
"FB-EXPERT: An Expert System for Management and Error Diagnosis of FASTBUS Networks",
in: D. Perret-Gallix & W. Wojcik (Eds.), Proceedings of the International Workshop on New Computing Techniques in Physics Research, Lyon, Editions du CNRS (1990).
- KI-NRW 90-05 K.-H. Becks
"Summary of the Workshop on Advanced AI Techniques",
in: D. Perret-Gallix & W. Wojcik (Eds.), Proceedings of the International Workshop on New Computing Techniques in Physics Research, Lyon, Editions du CNRS (1990).
- KI-NRW 90-06 W. Burgard
"Learning Techniques: An Overview",
in: D. Perret-Gallix & W. Wojcik (Eds.), Proceedings of the International Workshop on New Computing Techniques in Physics Research, Lyon, Editions du CNRS (1990).
- KI-NRW 90-07 A.B. Cremers, K.-H. Becks, W. Burgard, A. Hemker
"A Genetic Algorithm for the Reconstruction of Physical Events",
in: Proceedings of the International Conference Cognitiva 90, Madrid, Elsevier Science Publishers B.V. North Holland (1991).
- KI-NRW 90-08* K. Bruch
"Das FASTBUS Datenauslesesystem für die Vorwärtskammer B des DELPHI Experiments am Elektron Positron Beschleuniger LEP am CERN",
Diplomarbeit, Universität Wuppertal (1990).
- KI-NRW 90-09* J. Ortmann
"Ein wissensbasiertes Fehlerdiagnosesystem für die DELPHI-Vorwärtskammer FCB",
Diplomarbeit, Universität Wuppertal, Preprint WU D 90-7 (1990).
- KI-NRW 90-10* F. Block
"FBExpert: Ein Expertensystem zur Fehlerdiagnose in FASTBUS-Systemen",
Diplomarbeit, Universität Wuppertal, Preprint WU D 90-24 (1990).

- KI-NRW 90-11* M. Nölken
"Unterstützung beim Erwerb von bereichsspezifischem Faktenwissen für ein Expertensystem mit Hilfe von Methoden der induktiven Inferenz",
Diplomarbeit, Universität Dortmund (1990).
- KI-NRW 90-12* R. Frach, H. Neumann
"Knowledge-Storing-Strukturwissen in Datenbanken: Effiziente Datenbankunterstützung für die Verwaltung von Expertensystem-Objekten",
Diplomarbeit, FernUniversität Hagen (1990).
- KI-NRW 90-13 R. Meyer, G. Schlageter
"Ankopplung der DELPHI-Expert-Shell an eine relationelle Datenbank",
Interner Bericht, FernUniversität Hagen (1990).
- KI-NRW 90-14 M. Schulz
"Forschungsvorhaben NALOG: Erstellen und Verarbeiten von Situationsschemata",
Interner Bericht, Universität Bielefeld (1990).
- KI-NRW 90-15 B. Zimmermann
"Situationsschemata zur Datenbankrepräsentation und für natürlichsprachliche Anfragen von Wahlergebnisberichten",
Interner Bericht, Universität Bielefeld (1990).
- KI-NRW 90-16 M. Schulz
"Representing Direct WH-Questions in the Framework of Situation Schemata",
Interner Bericht, Universität Bielefeld (1990).
- KI-NRW 90-17 A. Goerdts
"Cutting Plane versus Frege Proof Systems",
Universität Duisburg (1990).
- KI-NRW 90-18 B. Stein, J. Weiner
"MOKON - Eine modellbasierte Entwicklungsplattform zur Konfiguration technischer Anlagen",
Universität Duisburg (1990).
- KI-NRW 90-19 T. Mellouli
"TMPR: A Tree-structured Modified Problem Reduction Proof Procedure and its Extension to Three-valued Logic",
to appear in: Journal of Automated Reasoning.
- KI-NRW 90-20* D. Metzger, M. Nagao (Eds.)
Proceedings of German-Japanese Workshop on Natural Language and Logic (1991).
- KI-NRW 90-21 H. Horacek
"Typen von erklärungs-suchenden Fragen - Beispiele und mögliche Antworten",
DIAMOD-Bericht Nr. 1, Universität Bielefeld (1990).
- KI-NRW 90-22 R. Unland
"A Flexible and Adaptable Tool Kit Approach for Concurrency Control in Non Standard Database Systems",
in: Proc. 3rd Int. Conf. on Database Theory (ICDT), Paris (1990).
- KI-NRW 90-23 C. Strahl
"Wissensakquisition als kommunikativer Prozeß",
Interner Bericht, Universität Essen (1990).

- KI-NRW 90-24 C. Strahl
"Beraten und Verkaufen",
Interner Bericht, Universität Essen (1990).
- KI-NRW 90-25 A.B. Cremers, Th. Herrmann
"Das Verbundprojekt 'Veränderungen der Wissensproduktion und -verteilung durch Expertensysteme' ",
in: Zeitschrift KI 4/90 Künstliche Intelligenz: Forschung, Entwicklung, Erfahrungen; Oldenbourg Verlag (1990), S. 42-44.
- KI-NRW 90-26 W. Rammert
"Technikgenese und der Einsatz von Expertensystemen aus sozialwissenschaftlicher Sicht", in: Zeitschrift KI 4/90 Künstliche Intelligenz: Forschung, Entwicklung, Erfahrungen; Oldenbourg Verlag (1990), S. 26 - 30.
- KI-NRW 90-27 A.B. Cremers, B. Becker, E. Cremers, Th. Herrmann, D. Metzger, W. Rammert, B. Hellingrath
"Restriktionen und Erweiterungsanforderungen bei Entwicklungs- und Nutzungsbedingungen von Expertensystemen unter der Perspektive der integrierten Technikfolgenabschätzung",
Interner Bericht (1990).
- KI-NRW 90-28 W. Burgard
"Efficiency Considerations on Goal-Directed Forward Chaining for Logic Programs",
in: Börger, E., Kleine Büning, H., Richter, M.M., and Schönfeld, W. (eds), Proceedings of the 4th Workshop on Computer Science Logic, Heidelberg, FRG, Springer-Verlag (1990).
- KI-NRW 90-29 W. Burgard
"Goal-Directed Forward Chaining: A Linear Resolution Strategy",
Tech. Rept. 360, Department of Computer Science, University of Dortmund (1990).
- KI-NRW 90-30 Th. Bode, A.B. Cremers, J. Freitag, Th. Lemke
"Coupling the Complex-Relational Data Base CoReDB with the Object Management System OMS",
in: A. Min Tjoa, R. Wagner (Hrsg.): Proc. of the Int. Conf. Database and Expert Systems Applications (DEXA '90), Vienna, August 1990, Springer-Verlag (1990), pp. 208-214.
- KI-NRW 90-31 Th. Bode, J. Freitag
"Die Einbettung neuer Typen in das erweiterbare Objekt Management System OMS",
in: *Proc. Int. Workshop "Integrierte, intelligente Informationssysteme*, Pila, Sept. 1990.
- KI-NRW 90-33 U. Griefahn, S. Lüttringhaus
"Top-Down Integrity Constraint Checking for Deductive Databases",
in: Warren, D. H. D. and Szeredi, P. (eds), Proceedings of the 7th International Conference on Logic Programming, Jerusalem, 1990, pp.130-143.

- KI-NRW 90-34 Th. Lemke
"The Complex-Relational Data Model - Complex Environmental Data in Relations",
in: L. Neugebauer (Hrsg.), Arbeitskreis Umweltdatenbanken - Beiträge zum 2. und 3. AK-Treffen, Universität Stuttgart, Informatik-Bericht Nr. 5/90, August 1990, S. 69-78.
- KI-NRW 90-35 A.B. Cremers, U. Griefahn
"Forschungsvorhaben NALOG: Natürliche Sprache und Logische Programmierung",
Interner Bericht, Universität Bonn (1990).
- KI-NRW 90-36 R. Waschkowski
"Situational Schemata and Non-Standard Databases - A Framework for Handling Natural Language Texts in Knowledge Bases",
Forschungsbericht Nr. 359, Fachbereich Informatik, Universität Dortmund (1990).
- KI-NRW 90-37** L. Plümer
"Termination Proofs for Logic Programs",
Dissertation, Universität Dortmund (1989); and Springer Lecture Notes in Artificial Intelligence 446, Springer-Verlag (1990), (überarbeitete Fassung der Dissertation).
- KI-NRW 90-38 L. Plümer
"Termination proofs for logic programs based on predicate inequalities",
in: D.H.D. Warren, P. Szeredi (Eds.), Proceedings of the Seventh International Conference on Logic Programming, MIT Press (1990).
- KI-NRW 90-39* E. Eder, Y. Liu.
"Rule Based Mechanisms for Constraint Checking in Logic Programs",
in: Ph. Jorrand, V. Sgurev (Eds.), Artificial Intelligence IV, Methodology, Systems, Applications (AIMSA'90), Albena, Bulgaria (Sept. 1990), pp 149-158, North-Holland, Amsterdam (1990).
- KI-NRW 90-40 U. Griefahn, S. Lüttringhaus, P. Kurej, A. Wetzel
"A Natural Language Interface to a Deductive Database System",
in: German-Japanese Workshop on Logic and Natural Language, Kyoto, Japan, 1990.
- KI-NRW 90-41* P. Kurej, A. Wetzel
"Konzeption und Implementierung einer natürlichsprachlichen Schnittstelle für deduktive Datenbanken",
Diplomarbeit, Universität Dortmund (1990).
- KI-NRW 90-42 H. Stamm
"On Feedback Problems In Planar Digraphs",
in: *Proceedings of the 16th International Workshop WG'90, Graph-Theoretic Concepts in Computer Science*, LNCS 484, Springer-Verlag (1990).
- KI-NRW 91-01** K. Heinz (Hrsg.)
Proceedings Dortmunder Expertensystemtage '91 in Verbindung mit dem 3. Anwenderforum des KI-Verbundes NRW, Verlag TÜV Rheinland, Köln (1991).
- KI-NRW 91-02 A. Hemker
"Auf dem Wege zu kooperativen Expertensystemen",
in: Proceedings Dortmunder Expertensystemtage '91 in Verbindung mit dem 3. Anwenderforum des KI-Verbundes NRW, Verlag TÜV Rheinland (1991).

- KI-NRW 91-03 K.-H. Becks, A. Hemker
"An AI-Approach to Data Analysis",
in: Proceedings of the 1991 CERN School of Computing, Ystad, Sweden, CERN
92-02, (1992).
- KI-NRW 91-04 B. Zimmermann
"Änderungsvorschläge zur Syntax der Situationsschemata",
NALOG-Bericht, Universität Bielefeld (1991).
- KI-NRW 91-05 D. Schmidt
"Entscheidungsfragen mit Negation: semantisch-pragmatische Überlegungen im
Rahmen des Situationsschema-Ansatzes",
Interner Bericht, Universität Bielefeld (1991).
- KI-NRW 91-06 M. Schulz
"Eine Fragetypologie für NALOG: die linguistische Perspektive und Verarbeitungs-
gesichtspunkte",
NALOG-Bericht, Universität Bielefeld (1991).
- KI-NRW 91-07 A. Goerdts
"A Threshold for Unsatisfiability",
Universität Duisburg (1991).
- KI-NRW 91-08 O. Najmann, K. Eckstein
"Constructing Minimal Knowledge Bases by Machine Learning",
Universität Duisburg (1991).
- KI-NRW 91-09 B. Stein, J. Weiner
"Funktionale Modelle in der Konfigurierung",
Universität Duisburg (1991).
- KI-NRW 91-10 B.S. Müller, M. Sprenger
"Dialogabhängige Erklärungsstrategien für modellbasierte Expertensysteme
- Das Projekt DIAMOD",
DIAMOD-Bericht Nr. 2, GMD St. Augustin (1991).
- KI-NRW 91-11 H. Horacek
"Exploiting Conversational Implicature for Generating Concise Explanations",
In: Proceedings of EAACL '91, Berlin 1991, S. 191-193.
DIAMOD-Bericht Nr. 3, Universität Bielefeld (1991).
- KI-NRW 91-12 H. Horacek
"Towards Finding the Reasons Behind - Generating the Content of Explanations",
in: T. Christaller (Ed.), Proceedings 15. Fachtagung für Künstliche Intelligenz,
GWAI-91, S. 96-105, Springer-Verlag (1991).
DIAMOD-Bericht Nr. 4, Universität Bielefeld (1991)
- KI-NRW 91-13 H. Horacek
"Decision Making throughout the Generation Process in the Systems WISBER and
DIAMOD",
DIAMOD-Bericht Nr. 5, Universität Bielefeld (1991); Vortrag auf der International
Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-91), Sydney (1991).
- KI-NRW 91-14 S. Heider, G. Wickler
"Tracing von MODEL-K und OFFICE-PLAN als Grundlage für dynamisches
Erklären",
DIAMOD-Bericht Nr. 6, GMD St. Augustin (1991).

- KI-NRW 91-15 B.S. Müller, A. Becker
"Sprechende Namen, unbenannte Relationen, unerklärbare Bodies - Schwierigkeiten beim Erklären von Programmen",
DIAMOD-Bericht Nr. 12, GMD St. Augustin (1991)
- KI-NRW 91-16 J. Meier
"Erklärungsrelevantes Wissen in KADS",
DIAMOD-Bericht Nr. 7 (1991).
- KI-NRW 91-17 J. Meier
"Erklärung in EES und KADS",
DIAMOD-Bericht Nr. 8, Universität Bielefeld (1991).
- KI-NRW 91-18 J. Meier
"Ein Algorithmus zur Erzeugung konversationaler Implikationen",
DIAMOD-Bericht Nr. 9, Universität Bielefeld (1991).
- KI-NRW 91-19 B.S. Müller
"Degrees of Cannedness",
DIAMOD-Bericht Nr. 11, GMD St. Augustin (1991).
- KI-NRW 91-21 U. Griefahn, H. Kranzdorf
"ITEX: Systeme integrierter Textverarbeitung. Ein Gesamtüberblick",
ITEX-Bericht, Universität Bonn und Universität Bielefeld (1991).
- KI-NRW 91-22 H. Kranzdorf
"Textplanung in ITEX: ein hybrider Ansatz",
ITEX-Bericht, Universität Bielefeld (1991).
- KI-NRW 91-23 U. Griefahn
"Ein deduktives Datenbanksystem als Grundlage Integrierter TEXTverarbeitungs systeme" (ITEX),
ITEX-Bericht, Universität Bonn (1991).
- KI-NRW 91-24 H. Kranzdorf (Hrsg.)
"Ein Anwendungsgebiet für ITEX: Verlaufsberichte der Sprachtherapie",
ITEX-Bericht, Universität Bielefeld (1991).
- KI-NRW 91-25 N. Gouders, R. Kaibel
"Das DUST-System zur sequentiellen Testgenerierung",
in: Proceedings 3. ITG/GI-Workshop (1991).
- KI-NRW 91-26 N. Gouders, R. Kaibel
"Testgenerierungsmethoden für sequentielle Schaltungen",
in: Proceedings zum 5. E.I.S. Workshop, Dresden (1991).
- KI-NRW 91-27 N. Gouders, R. Kaibel
"Advanced Techniques for Sequential Test Generation",
in: Proceedings European Test Conference, München (1991).
- KI-NRW 91-28 N. Gouders, R. Kaibel
"Test Generation Techniques for Sequential Circuits",
in: Proceedings VLSI Test Symposium, Altic City, USA (1991).

- KI-NRW 91-29 N. Gouders, R. Kaibel
"Einsatz von KI-Techniken bei der automatischen Testgenerierung",
in: Proceedings Dortmunder Expertensystemtage '91 in Verbindung mit dem
3.Anwenderforum des KI-Verbundes NRW, Verlag TÜV Rheinland (1991).
- KI-NRW 91-30 N. Gouders, R. Kaibel
"PARIS: A Parallel-Pattern Fault Simulator for Synchronous Sequential Circuits",
in: Proceedings International Conference on Computer-Aided Design, Santa Clara,
USA pp. 542-545 (1991).
- KI-NRW 91-31 R. Meyer, G. Schlageter
"Knowledge Base Management Systems in the Field of High Energy Physics",
in: Proceedings of the 2nd International Conference on Database and Expert
Systems Applications, Berlin (1991).
- KI-NRW 91-32 H. Knolle, G. Schlageter, R. Unland
"Anwendungsspezifisches Transaktionsmanagement: Philosophie und Realisie-
rungskonzept",
in: 3. GI-Workshop 'Grundlagen von Datenbanken', Volkse (1991).
- KI-NRW 91-33 R. Unland, G. Schlageter
"A Flexible and Adaptable Tool Kit Approach for Transaction Management
in Non Standard Database Systems", (eingeladener Beitrag),
in: Database Engineering Bulletin, IEEE Computer Society, Special Issue on
Transaction Models for Advanced Database Applications, (1991).
- KI-NRW 91-34 R. Unland, G. Schlageter
"A Transaction Manager Development Facility for Non Standard Database
Systems",
in: A. Elmagarmid (Editor), "Transaction Models for Advanced Database Systems",
Morgan Kaufmann Publ. Inc., erscheint voraussichtlich (1991).
- KI-NRW 91-35 R. Unland
"A Flexible and Adaptable Tool Kit Approach for Transaction Management in
Non Standard Database Systems",
Informatik Fachberichte, FernUniversität Hagen, Nr. 109 (1991).
- KI-NRW 91-36 R. Unland
"TOPAZ: A Tool Kit for the Construction of Application Specific Transaction
Managers",
Fachberichte Universität Passau, Fakultät für Mathematik und Informatik,
MIP-9113 (1991).
- KI-NRW 91-37 T. Mellouli
"Einsatz einer dreiwertigen Logik für die Verarbeitung natürlicher Sprache in
NALOG",
Universität Paderborn (1991).
- KI-NRW 91-38 D. Krallmann, E. Cremers
"Expertensysteme im Spannungsfeld von Autonomie und Kontrolle.
Chancen einer integrierten TA im kommunikativen Entwicklungsprozeß",
Interner Bericht, Universität Essen (1991).
- KI-NRW 91-39 H. Berse, C. Strahl, C. Weimann
"Analyse der Reisebüroberatung",
Interner Bericht, Universität Bonn und Universität Essen (1991).

- KI-NRW 91-40 M. Sprenger
"Explanation Strategies for KADS-based Expert Systems",
in: H. Horacek, M. Zock (Eds.), *New Concepts in Natural Language Generation: Planning, Realization and Systems*. London: Pinter 1993;
DIAMOD-Bericht Nr. 10, GMD St. Augustin (1991).
- KI-NRW 91-41 H. Berse
"PrObject - Integrating Object Oriented Programming and Logic Programming",
in: *Proceedings of First International KCM-User-Group Meeting, München, 1991*;
paper presentation 'Workshop on Object Oriented and Logic Programming', Eighth
International Conference on Logic Programming, Paris (1991).
- KI-NRW 91-42 W. Burgard, A.B. Cremers, J. Grebe, R. Grevé, S. Lüttringhaus, F. Mücher,
L. Plümer
"Knowledge Based Planning of Underground Lighting in Hardcoal Mining",
in: R. Vichnevetsky, J.J.H. Miller (Eds.), *Proceedings of the 13th IMACS on
Computers and Applied Mathematics*, Dublin, 1991, pp. 1751-1752.
- KI-NRW 91-43 H.-A. Crostack, A.B. Cremers; H.-M. Saal
"Entwicklung eines wissensbasierten Systems zur Schadensanalyse metallischer
Werkstoffe",
in: DVS-Sondertagung "Berechnung, Gestaltung und Fertigung von Schweiß-
konstruktionen im Zeitalter der Expertensysteme - EXPERT 91 (Febr. 1991),
Vorträge und Posterbeiträge, DVS Berichte Band 133,
Deutscher Verlag für Schweißtechnik, Düsseldorf (1991).
- KI-NRW 91-44** F. Oemig, A.B. Cremers, G. Heyer
"Wissensbasierte Textverarbeitung: Schriftsatz und Typographie - Möglichkeiten
einer intelligenteren Textverarbeitung -",
Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden (1991).
- KI-NRW 91-45** A.B. Cremers, K. Heinz, R. Jünemann, R. Gosmann, M. Kloth, R. Liebold
"Expertensysteme für die Planung der Produktion",
Verlag TÜV Rheinland, Köln (1991).
- KI-NRW 91-46 E. Eder
"Consolution and its Relation with Resolution",
in: *Proceedings of the 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence
(IJCAI-91), Sydney, pages 132-136, Morgan Kaufmann, August 1991*.
- KI-NRW 91-47 A. Baumewerd-Ahlmann, A.B. Cremers, G. Krüger, J. Leonhardt, L. Plümer,
R. Waschkowski
"An Information System for the Mining Industry",
in: Karagiannis, D. (Ed.), *Database and Expert Systems Applications, Proceedings
of the International Conference in Berlin*, Springer-Verlag (1991).
- KI-NRW 91-48 L. Plümer
"Automatic Termination Proofs for Prolog programs operating on non-ground
terms",
in: V. Saraswat, K. Ueda (Eds.), *Proceedings of the 1991 International Logic
Programming Symposium, San Diego, MIT Press (1991)*.
- KI-NRW 91-49** E. Eder
"Relative Complexities of First Order Calculi",
Habilitationsschrift, Universität Dortmund (1989); Vieweg-Verlag (1991).

- KI-NRW 91-50 Th. Lemke
"The Complex-Relational Data Model",
Interner Bericht, Universität Bonn (1991).
- KI-NRW 91-51 B. Becker, E. Steven, S. Strohbach
"Epistemologische und wissenssoziologische Aspekte maschineller
Wissensverarbeitung",
Arbeitspapiere der GMD, 501, 1991, 66 S.
- KI-NRW 91-52 Th. Herrmann, B. Busch, M. Geenen
"Vielfalt von Interaktionsmöglichkeiten - ein Gestaltungsziel bei
Expertensystemen",
in: Ackermann, Ulich (Hrsg.), 1991: Software-Ergonomie '91, Stuttgart,
S. 162-171.
- KI-NRW 91-53** W. Bibel, E. Eder
"Methods and Calculi for Automated Deduction",
in: Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming, chapter 3.,
Oxford University Press. To appear.
- KI-NRW 91-54 H. Stamm-Wilbrandt, H. Kleine Büning
"Evaluating Production Systems with DELETE is PSPACE-complete",
in: Computers and Artificial Intelligence, Vol. 11, 1992, No. 4, pp. 321-333.
- KI-NRW 91-55 E. Groß, G. Kellermann, B. Hellingrath, H. Voss
"Ziele, Methoden und Anwendung im Projekt 'Zeit und Kausalität' ",
ZuK-Bericht (1991).
- KI-NRW 91-56 B. Becker, E. Steven
"Computational theory of the Mind",
in: J. Pitt, E. Lugo (Eds.): The Technology of Discovery and the Discovery of
Technology. Virginia Polytechnic Institute (1991).
- KI-NRW 91-57 B. Becker
"The concept of knowledge in expert system technology",
in: International Journal Computing and Philosophy, No. 2, Vol 1. (1991).
- KI-NRW 91-58 B. Becker, M. Paetau
"Von der kognitiven zur interaktiven Adäquatheit",
in: Th. Malsch (Hrsg.): Informatisierung und gesellschaftliche Arbeit.
Ed. Sigma (1991).
- KI-NRW 91-59 Th. Herrmann
"Experts' Systems Instead of Expert Systems",
in: Nurminen et al. (Eds.): Proceedings of the IFIP-Conference "Human Jobs and
Computer Interfaces", Tampere, 1991.
- KI-NRW 91-60 J. Möller, E. Tammer
"Differenzen und Übereinstimmung von Fachdialogstrukturen in einem Wissens-
akquisitionsdialog Raumplanung im Vergleich zur Vorgehensweise von OFFICE-
PLAN",
Interner Bericht (1991).
- KI-NRW 91-61 J. Möller
"Kommunikations- und handlungsorientierte Modellierung einer Fachdialog-
steuerung",
Interner Bericht, Universität Bielefeld (1991).

- KI-NRW 91-62 R. Weingarten
"Wissensakquisition als Kommunikationsprozesse ?",
Interner Bericht (1991).
- KI-NRW 91-63 J. Wehner
"Natürliche Experten und ihre technische Reproduzierbarkeit",
Interner Bericht, Universität Bielefeld (1991).
- KI-NRW 91-64 M. Kloth, F. Feldkamp
"Zur Aufgaben- und Kompetenzverteilung in der Interaktion zwischen Experten-
systemen und deren Benutzern",
Interner Bericht (1991).
- KI-NRW 92-01 Th. Herrmann
"Verständigungsprobleme und ihre Bedeutung für die computergestützte Ver-
mittlung von Erklärungen",
in: Stoyan, H., Erklärung im Mensch-Maschine Dialog, Springer Verlag, 1992
(im Erscheinen)
- KI-NRW 92-02 W. Rammert
"Expertensysteme im Urteil der Experten. Eine neue Wissenstechnologie im Prozeß
der Technikfolgenabschätzung",
Erscheint in: Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 6, Frankfurt, Campus (1992).
- KI-NRW 92-03 S. Schmitgen (Herausgeber)
"Räumliche Fragestellungen bei der Konfigurierung",
Workshopbericht and Abstractsammlung: Planen und Konfigurieren Workshop,
Universität-GH Paderborn Nov. 1991 (1992).
- KI-NRW 92-04 S. Kirn, A. Scherer, G. Schlageter
"Problem Solving in Federative Environments: The FRESCO Concept of
Cooperative Agents",
Erscheint in: The New Generation of Information Systems: From Data to
Knowledge, Springer-Verlag, Lecture Series in AI (1992).
- KI-NRW 92-05 A. Hemker
"A Knowledge-directed Genetic Algorithm for the Reconstruction of Physical
Events",
In: D. Perret-Gallix (Ed.), New Computing Techniques in Physics Research, Vol. 2,
World Scientific (1992).
- KI-NRW 92-06 F. Seidel, K.-H. Becks, F. Block, J. Dahm, P. Langefeld
"B-Quark Tagging using Neural Networks and Comparison with a Classical
Method",
In: D. Perret-Gallix (Ed.), New Computing Techniques in Physics Research, Vol. 2,
World Scientific (1992).
- KI-NRW 92-07 S. Hahn, K.-H. Becks, A. Hemker
"Optimizing Monte Carlo Parameters using Genetic Algorithms",
In: D. Perret-Gallix (Ed.), New Computing Techniques in Physics Research, Vol. 2,
World Scientific (1992).
- KI-NRW 92-08 K.-H. Becks, J. Dahm, F. Seidel
"Analyzing Particle Jets with Artificial Neural Networks",
in: F. Belli, F.J. Radermacher (Eds.), Proc. 5th Int. Conf. on Industrial and
Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems
(IEA/AIE-92), Lecture Notes in Artificial Intelligence 604, Springer-Verlag (1992).

- KI-NRW 92-09 K.-H. Becks, A.B. Cremers, A. Hemker, R. Meyer, J. Ortmann, G. Schlageter
"DELPHI-EXPERT: An Expert System for Error Diagnosis in High Energy Physics Detectors",
in: F. Belli, F.J. Radermacher (Eds.), Proc. 5th Int. Conf. on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE-92), Lecture Notes in Artificial Intelligence 604, Springer-Verlag (1992).
- KI-NRW 92-10 E. Klages
"Fachdialogwissen im Expertengespräch über Transportmittelplanung",
DIALOS-Bericht Nr. 3, Bielefeld (1992).
- KI-NRW 92-11 E. Klages, J.-U. Möller, S. Heidecke
"Towards Modelling Thematic Coherent Domain Dialogs for Knowledge Based Systems",
DIALOS-Bericht Nr. 4, Bielefeld (1992).
- KI-NRW 92-12 S. Heidecke
"Fachdialogfunktionen als Steuerungsmechanismus in Expertensystemen",
DIALOS-Bericht Nr. 5, Bielefeld (1992).
- KI-NRW 92-13 A.B. Cremers, G. Kniesel, T. Lemke, L. Plümer
"Intelligent Databases and Interoperability"
in: F. Belli, F.J. Radermacher (Eds.), Proc. 5th Int. Conf. on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE-92), Lecture Notes in Artificial Intelligence 604, Springer-Verlag (1992).
- KI-NRW 92-14 W. Burgard, S. Lüttringhaus-Kappel, L. Plümer
"Knowledge-Based Design of Ergonomic Lighting for Underground Scenarios",
in: F. Belli, F.J. Radermacher (Eds.), Proc. 5th Int. Conf. on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE-92), Lecture Notes in Artificial Intelligence 604, Springer-Verlag (1992).
- KI-NRW 92-15 M. Mojtahedi, N. Gouders
"Verbesserte musterparallele Fehlersimulation für synchrone Schaltwerke",
in: Proceedings 4. ITG/GI-Workshop (1992).
- KI-NRW 92-16 M. Mojtahedi, N. Gouders, W. Geisselhardt
"New Methods for Parallel Pattern Fast Fault Simulation for Synchronous Sequential Circuits",
Angenommener Vortrag für European Test Conference (ETC) 1993.
- KI-NRW 92-17 M. Mojtahedi, N. Gouders, W. Geisselhardt
"A Fast Fault Simulator for Synchronous Sequential Circuits",
submitted to: European Design Autom. Conference (1993).
- KI-NRW 92-18* H. Rolofs
"Untersuchung der Methode zur Verfolgung kritischer Pfade zur Fehlersimulation für kombinatorische Schaltungen",
Diplomarbeit, Universität Duisburg (1992).
- KI-NRW 92-19 P. Roßbach, G. Kellermann, R. Potthoff, B. Hellingrath,
"Methoden des wissensbasierten Planens und Scheduling für die reaktive Belegungsplanung",
ZuK-Bericht (1992).

- KI-NRW 92-20 E. Groß, J. Hertzberg, S. Materne, H. Voß
"On Clipping Persistence (Or whatever Must Be Clipped) in Time Maps",
in: Proceedings ERCIM Workshop on Theoretical and Experimental Aspects of
Knowledge Representation, Pisa (1992), pp.139-148.
- KI-NRW 92-21* A. Hemker
"Ein wissensbasierter genetischer Algorithmus zur Rekonstruktion physikalischer
Ereignisse",
Dissertation, Universität Wuppertal, Preprint WUB-DIS 92-11 (1992).
- KI-NRW 92-22 S. Heider, G. Wickler
"Generische Erklärungsstrategien fuer modellbasierte Expertensysteme",
DIAMOD-Bericht Nr. 13, GMD St. Augustin (1992).
- KI-NRW 92-23 G. Wickler, S. Heider
"Reducing Traces for Answering Dynamic Questions",
Presented at the Samos Workshop on Task Based Explanation, 28.6.-1.7.1992,
organized by the Research Laboratory of Samos, University of the Aegean.
DIAMOD-Bericht Nr. 14, GMD St. Augustin (1992).
- KI-NRW 92-24 M. Schulz, D. Schmidt
"Yes/No Questions with Negation: Towards Integrating Semantics and Pragmatics",
in: GWAI-92, Advances in Artificial Intelligence, Proceedings of the 16th German
Conference on AI, Bonn, Germany. Vol. 671, pp. 247-254, Springer, LNCS,
Lecture Notes on AI (1992).
- KI-NRW 92-25 M. Schulz, D. Schmidt
"Raum-Zeit-Gebiete der Situationstheorie: Ueberlegungen zur praktischen
Anwendbarkeit in der Linguistik",
NALOG-Bericht, Universität Bielefeld (1992).
- KI-NRW 92-26 T. Lemke, M. Schulz
"Situation Schemata as Representation Format and Query Language for a
Non-Standard Database System",
in: Proceedings of the 4th International Workshop on Natural Language
Understanding and Logic Programming, Nara, Japan, 1993.
NALOG-Bericht, Universität Bonn und Universität Bielefeld (1992).
- KI-NRW 92-27 H. Kranzdorf, U. Griefahn
"Text Planning in ITEX: A Hybrid Approach",
in: GWAI-92, Advances in Artificial Intelligence, Proceedings of the 16th German
Conference on AI, Bonn, Germany. Vol. 671, pp. 235-246, Springer, LNCS,
Lecture Notes on AI (1992).
ITEX-Bericht, Universität Bielefeld und Universität Bonn (1992).
- KI-NRW 92-28 A. Goerdts
"On the reasons for average superlinear speedup in parallel backtrack search",
Universität-GH Paderborn (1992).
- KI-NRW 92-29 T. Mellouli
"A Three-valued Tmpr Proof Procedure and its Use for Handling Presuppositions
and Vagueness",
Universität Paderborn (1992).

- KI-NRW 92-30 S. Heidecke
"Anforderungen an ein benutzerfreundliches Interaktionstool zwischen Benutzer und Expertensystem in Fachdialogen: Ergebnisse einer rhetorisch-strukturtheoretischen Analyse eines Reiseberatungsdialogs",
DIALOS-Bericht Nr. 6, Bielefeld (1992).
- KI-NRW 92-31 R. Perkuhn
"Evaluierung des Projektes DIALOS: Aufarbeitung der durchgeführten empirischen Untersuchungen und der dargestellten Ergebnisse",
DIALOS-Bericht Nr. 7, Bielefeld (1992).
- KI-NRW 92-32 H. Kranzdorf
"ITEX: Konzeption einer hybriden Planung. Ein Vergleich.",
ITEX-Bericht, Universität Bielefeld (1992).
- KI-NRW 92-33 J. Meier
"A Semantic View of Explanation",
in:GWAI-92: Advances in Artificial Intelligence, Proceedings of the 16th German Conference on AI, Bonn, Germany. Vol. 671, Springer, LNCS, Lecture Notes on AI (1992).
DIAMOD-Bericht Nr. 15, Universität Bielefeld (September 1992).
- KI-NRW 92-34 H. Horacek
"An Integrated View of Text Planning",
In: R. Dale, E. Hovy, Dr. Rösner, O. Stock (Eds.), Aspects of Automated Natural Language Generation. Proceedings of the 6th Int. Workshop on Natural Language Generation, Trento, Italy, April 1992, pp. 29-44, Springer 1992.
DIAMOD-Bericht Nr. 16, Universität Bielefeld (November 1992).
- KI-NRW 92-35 H. Horacek
"The Role of Explanation in Interactive Problem Solving",
Presented at ECAI-92
DIAMOD-Bericht Nr. 17, Universität Bielefeld (November 1992).
- KI-NRW 92-36 H. Horacek
"How to Avoid Explaining Obvious Things (Without Omitting Central Information)",
DIAMOD-Bericht Nr. 18, Universität Bielefeld (November 1992).
- KI-NRW 92-37 B.S. Müller
"Literarische Rhetorik und Text-Generierung - Eine Skizze",
DIAMOD-Bericht Nr. 19, GMD St. Augustin (Dezember 1992).
- KI-NRW 92-38 M. Sprenger
"Explanations for KADS - KADS for Explanations ? Evaluating the Explanation Capabilities of a Model Based Approach to Expert System Construction",
Presented at the Samos Workshop on Task Based Explanation, 28.6.-1.7.1992, organized by the Research Laboratory of Samos, University of the Aegean.
DIAMOD-Bericht Nr. 20, GMD St. Augustin (Dezember 1992).
- KI-NRW 92-39 H. Horacek
"Natural Language Explanation for Constraint-Based Expert Systems",
DIAMOD-Bericht Nr. 21, Universität Bielefeld (Dezember 1992).

- KI-NRW 92-40 J.-U. Möller (Hrsg.)
"Ein Experte bei der Raumplanung - Transkript einer Videoaufnahme",
DIAMOD-Bericht Nr. 22, Universität Bielefeld/GMD St. Augustin
(Dezember 1992).
- KI-NRW 92-41 E. Hovy
"Sentence Planning Requirements for Automated Explanation Generation",
DIAMOD-Bericht Nr. 23, Information Science Institute of the University of
Southern California, Marina del Rey, California, (Dezember 1992).
- KI-NRW 93-01 E. Groß, B. Hellingrath, G. Kellermann, R. Potthoff, P. Roßbach, H. Voß
"Architektur eines wissensbasierten reaktiven Scheduling-Systems mit expliziter
Zeitverwaltung",
ZuK-Bericht (1993).
- KI-NRW 93-02 K.-H. Becks, F. Block, J. Drees, P. Langefeld, F. Seidel
"B-Quark Tagging Using Artificial Neural Networks and Multivariate Statistical
Methods - A Comparison of Both Techniques -",
In: Nuclear Instruments and Methods, Volume A;
Universität Wuppertal, Preprint WU B 93-4 (1993).
- KI-NRW 93-03 A. Hemker
"A Data Parallel Problem Solving Architecture for the Reconstruction of Physical
Events",
in: International Journal of Modern Physics C Vol. 4, No. 1 (1993), 143-149.
- KI-NRW 93-04* F. Seidel
"Bestimmung der Partialbreite des Zo-Bosons in ein b-Quarkpaar mit einem
neuronalen Vorwärtsnetzwerk",
Diplomarbeit, Universität Wuppertal, Preprint WU D 93-10 (1993).
- KI-NRW 93-05 K. Peters
"Generierung natürlichsprachlicher Erklärungen in DIAMOD - Eine
Systembeschreibung",
DIAMOD-Bericht Nr. 24, Universität Bielefeld (Februar 1993).
- KI-NRW 93-06 A. Becker
"Automatisch akquirierte Wissens Ebenen als Basis zur Benutzermodellierung",
DIAMOD-Bericht Nr. 25, GMD St. Augustin (Februar 1993).
- KI-NRW 93-07 A. Becker
"Ein generisches Benutzermodellierungssystem zur Akquisition und nicht-
monotonen Aktualisierung individueller Benutzermodelle",
DIAMOD-Bericht Nr. 26, GMD St. Augustin (Februar 1993).
- KI-NRW 93-08 A. Scherer, T. Berkel, G. Schlageter, R. Schultheiss, W.P. Schulze Schwering
"RODIN: Neural Networks in a CAD/CAM Application",
in: Proceedings of the 9th Int. CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future
Conf., New Jersey, USA, 1993.
- KI-NRW 93-09* S. Hahn
"Optimierung von Monte-Carlo-Generator-Parametern mit Genetischen
Algorithmen",
Diplomarbeit, Universität Wuppertal, Report Nr. WU D 93-24.

- KI-NRW 93-10 I. Wachsmuth, W. Krüger, Y. Cao
"Virtuelle Räume",
GMD VISWIZ Report 3/1993 und eingereicht für "KI" (vorauss. Dez.-Ausg.1993).
- KI-NRW 93-11 I. Wachsmuth, Y. Cao
"Virtual environments an situated agents",
eingereicht für "Graphics and Robotics" (W. Strasser, F. Wahl, Hrsg.;
vorauss. bei Springer).
- KI-NRW 93-12 A. Scherer, G. Schlageter
"A Multi-agent Approach for the Integration of Neural and Expert Systems"
erscheint in: S. Goonatilake and S. Khebbal (Eds.), Intelligent Hybrid Systems,
John Wiley, 1994.
- KI-NRW 93-13 Y. Cao, I. Wachsmuth
"Situating Space Agent for 3-D Graphics Design",
in: Proceedings "Virtual Reality Vienna 1993".
- KI-NRW 93-14 A.B. Cremers, K. Just (Hrsg.)
"Summary 90-92"
KI-NRW Forschungsbereiche, Abschlußberichte und Liste der KI-NRW Reports
Bonn 1993.
- KI-NRW 94-01 M. Kloth
"A cooperative assistant system for factory layout planning",
in: ISATA Proc. (26th Int. Symposium on Automotive Technology and
Automation), Aachen, 13.-17.9.1993.
- KI-NRW 94-02 M. Kloth
"Szenarien einer logistikorientierten Fabrikplanung",
in: CSCW-in-Design-Bericht, FhG-IML, Dortmund 1993.
- KI-NRW 94-03 H. Berse, S. Jacobs, M. Kloth, S. Mittrach
"Projektbeschreibung: CSCW in Designumgebungen",
Beitrag zum Workshop "Unterstützung organisatorischer Prozesse durch CSCW",
4./5. Nov. 1993, Westfälische Wilhelms-Universität Münster
- KI-NRW 94-04 Stephan Jacobs, Stefanie Kethers
"Improving Communication and Decision Making within Quality Function
Deployment"
erscheint in: Proc. of 1st Conference on Concurrent Engineering, Research and
Application, CERA, Pittsburgh, USA, August 1994
- KI-NRW 94-05 A. Scherer, G. Schlageter, R. Schultheiss, W.P. Schulze Schwering
"RODIN: Connectionist Techniques in a CAD-System",
erscheint in: Proc. of the European Joint Conference on Engineering Systems
Design and Analysis (ESDA), 1994
- KI-NRW 94-06 S. Jacobs, K. Pohl
"Traceability between Cross-Functional Teams"
erscheint in: Proc. of 1st Conference on Concurrent Engineering, Research and
Application, CERA, Pittsburgh, USA, August 1994

- KI-NRW 94-07 S. Jacobs, R. Grob, S. Kethers
"Towards Cooperative Information Systems in Quality Management - Integration of Agents and Methods"
erscheint in: Proc. of 2nd International Conference on Cooperative Information Systems, CoopIS, Toronto, Canada, Mai 1994
- KI-NRW 94-08 S. Jockusch, H. Ritter
"Self-Organizing Maps: Local Competition and Evolutionary Optimization"
erscheint in: Neural Networks
- KI-NRW 94-09 K.-H. Becks, S. Hahn, A. Hemker
"Einsatz von evolutionären Algorithmen in der Elementarteilchenphysik"
in: Physikalische Blätter 50, Nr. 3, März 1994
- KI-NRW 94-10 A. Hemker, K.-H. Becks
"Evolution Engines and Artificial Intelligence"
in: Int. Journal of Modern Physics C 5, No. 3, World Scientific Publ. Comp. (1994)
- KI-NRW 94-11 F. Anselmo, F. Block et al.
"Neural Networks for Higgs Search"
in: Il Nuovo Cimento, Vol. 107 A, No. 1 (1994)
- KI-NRW 94-12 J. Dahm, C. Voigt, K.-H. Becks, J. Drees
"Tagging Heavy Majorana Neutrinos at LEP200 Using a Feed-Forward Neural Network with Constraint Fit Inputs"
in: New Computing Techniques in Physics Research III, World Scientific (1994)
- KI-NRW 94-13 J. Dahm, C. Voigt, K.-H. Becks, J. Drees
"Feature Extraction Using Self-Organizing Networks"
in: New Computing Techniques in Physics Research III, World Scientific (1994)
- KI-NRW 94-14 S. Strippgen, Th. Christaller
"INSIGHT: Ein virtuelles Labor für das Studium eines autonomen Agenten"
- KI-NRW 94-15 S. Jockusch, H. Ritter
"GRINN: Self Organizing Networks for Template Based Image Generation and Virtual Reality"
Technical Report NI-01, Neurocomputing Section, Dept. of Information Technology, University of Bielefeld, 1994
- KI-NRW 94-16 I. Wachsmuth, B. Lenzmann, N. Siekmann, Y. Cao
"Systeme von Interface-Agenten als Mittler in der Mensch-Maschine-Kommunikation"
Papier zum eingeladenen Vortrag auf dem KI-94-Workshop
- KI-NRW 94-17 G.N. Müller, J.-T. Milde
"Eine Architektur für die Simulation eines verhaltensbasierten Roboters"
- KI-NRW 94-18 G.N. Müller, J.-T. Milde
"A Behavior-based Agent for a Virtual Camera"
- KI-NRW 94-19 Stephan Jacobs
"CoDecide - Ein Baukasten zur Implementierung von Werkzeugen zur Sichtenkopplung"
Interner Bericht der RWTH Aachen

- KI-NRW 94-20 Stephan Jacobs
 "Methodenorientierte Entwicklung von CSCW"
 in: Proceedings of the D-CSCW '94, Marburg, Vieweg 1994
- KI-NRW 94-21 Stephan Jacobs, Klaus Pohl
 "Concurrent Engineering: Enabling Traceability and Mutual Understanding"
 in: Journal of Concurrent Engineering Research and Application, Vol. 2, No. 4,
 1994
- KI-NRW 94-22 Holger Berse, Volker Wulf
 "Aushandelbarkeit und aktive Objekte"
 in: Reichel, H. (Hrsg.): "Informatik - Wirtschaft - Gesellschaft", Berlin 1993.
- KI-NRW 94-23 A.B. Cremers, H. Kahler, K. Lehner (Hrsg.)
 "Summary 93-94"
 KI-NRW Forschungsbereiche, Abschlußberichte und Liste der KI-NRW Reports
 Bonn 1994.