

METHODEN DER KÜNSTLICHEN INTELLIGENZ

Ipke Wachsmuth, Universität Bielefeld

Kurztext: Einführung in Agentensysteme

In diesem Abschnitt geht es um die möglicherweise perspektivenreichste neue Richtung der KI: Agentensysteme (oder kurz Agenten). Die Modellvorstellungen von Agenten sind in vieler Hinsicht umfassender als das Modell des "general intelligent agent" von Newell/Simon, das mit den Stichworten interne Repräsentation, Wissensebene, Rationalitätsprinzip angesprochen wurde. Unter "Agenten" werden heute vielfach hardware- oder auch software-basierte Systeme verstanden, die als mehr oder weniger unabhängige Einheiten innerhalb größerer Systeme agieren. Solche Systeme werden bereits in vielen Disziplinen betrachtet, nicht nur in der KI, sondern als Modellierungsmittel z.B. auch in der Biologie, den Wirtschafts- und den Sozialwissenschaften. Der Einsatz von Agenten-Techniken interessiert uns in der KI besonders im Hinblick auf Systeme, die in einer dynamischen, sich verändernden Umgebung eingesetzt werden und in größerem Umfang Anteile von Lösungen eigenständig erarbeiten können.

Als Modell dient hier wieder die Vorstellung, daß Agenten über irgendeine Form der Sensorik in ihre Umgebung gekoppelt sind, sie also wahrnehmen (PERCEIVE), z.B. um ihren in einer Wissensbasis gespeicherten Wissensstand zu aktualisieren oder Nachrichten zu empfangen oder die Ausführungen von Handlungen zu beobachten, und daß sie über eine Aktorik auf ihre Umgebung Einfluß nehmen können, z.B. Nachrichten aussenden oder Aktionen ausführen (ACT). Hinzukommen kann die Möglichkeit, daß Agenten durch irgendeine Form der kognitiven Verarbeitung (REASON) Entscheidungen über die Auswahl von Aktionen treffen, z.B. durch Bewertung der Situation oder durch planvolle Zielverfolgung. Je nachdem, ob die ausgeführte Handlung in unmittelbarer Reaktion auf sensorische Eingaben erfolgt (PERCEIVE-ACT) oder erst nach einer weitergehenden internen Verarbeitung (PERCEIVE-REASON-ACT), spricht man auch von *reaktiven* bzw. *deliberativen* Agenten.

Reaktive Agenten arbeiten also nach einem Stimulus-Response-Prinzip der unmittelbaren Zuordnung zwischen den eingehenden Daten und den Aktionen (zum Beispiel anhand von Regeln oder Tabellen), während deliberative Agenten zum Beispiel erst Handlungen im Hinblick auf bestmögliche Zielerreichung evaluieren. Mischformen – also Agenten mit reaktiven wie auch deliberativen Fähigkeiten – sind möglich. Der Abarbeitungszyklus wird zuweilen auch in den drei Phasen SENSE-COMPUTE-ACT oder ähnlich beschrieben, wobei COMPUTE sich sowohl auf das unmittelbare Zuordnen ("look-up") von Aktionen als auch auf die Entscheidung für eine Handlungsauswahl (REASON) beziehen kann. Prinzipiell können die drei Phasen nebenläufig arbeiten. Nebenläufige Arbeit erfordert eine interne Zustandsverwaltung zum Zweck der Synchronisation. Dabei kann es notwendig sein, Fakten aus unterschiedlichen Zeitphasen zu speichern und zu verarbeiten.

Verteilung und Situiertheit

Einer der Ausgangspunkte für eine von dem Modell des "general intelligent agent" abweichende Perspektive ist Minsky's 1986 publizierte Theorie der "Society of Mind". Dieses Paradigma, das intelligentes Verhalten in der verteilten Tätigkeit vieler kleiner und noch kleinerer Systeme (genannt: Agenten) begründet sieht, beeinflußt eine zunehmend wachsende Zahl von Forschern in der KI und führt offensichtlich zu einer andersartigen Vorstellung von Intelligenz (Abb. 1). Auf der technischen Seite haben zudem die Versuche, immer größere und komplexere wissensbasierte Systeme zu entwickeln, Nachteile zentralisierter "single-agent"-Architekturen enthüllt und die Konzipierung einer "Verteilten Künstlichen Intelligenz" (VKI) beflügelt. Sog. Multi-Agenten-Systeme stellen den Aspekt der aufgabenbezogenen Kooperation im Team (und Wettbewerb) unabhängiger (autonom)er Agenten heraus, bei welchen kein Agent eine globale Sicht des gesamten Problemlöseprozesses innehat, also keine zentrale Systemsteuerung vorliegt.

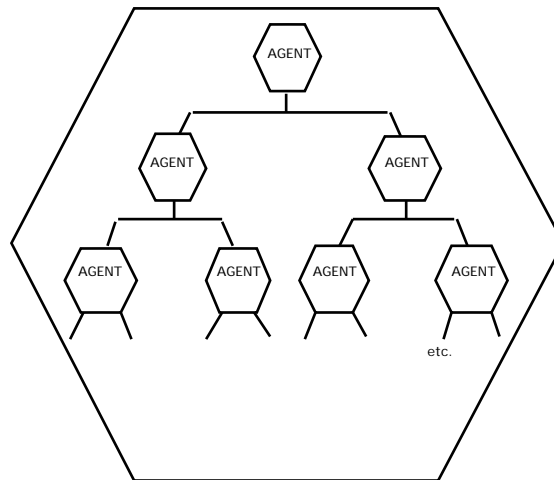


Abb. 1 Für sich genommen ist ein Agent nichts weiter als ein einfacher Prozeß, der andere Agenten an- und abstellt. Von außen betrachtet, als Agentur, kann er gerade das ausführen, was seine Unteragenten, unter gegenseitiger Hilfe, zustandebringen (nach Minsky, 1986).

Eines der kritischsten Probleme in bisherigen Intelligenzmodellen der KI wie auch in vielen technischen Anwendungen liegt allerdings darin, daß das benötigte Weltwissen kaum jemals vollständig verfügbar bzw. modellierbar ist. Dies beruht auf der kontextuellen Variabilität und der Vielzahl von Situationen, mit denen ein intelligenter Agent konfrontiert sein kann. Komplexes Verhalten kann jedoch auch bei einfachen Agenten in Wechselwirkung mit einer komplexen Umwelt entstehen. Deshalb geht die Forschungsrichtung der "situierten KI" von der Erkenntnis aus, daß die Handlungsfähigkeit eines intelligenten Agenten entscheidend von seiner Verankerung in der aktuellen Situation abhängt.

Situiertheit bezieht sich auf die Fähigkeit eines intelligenten Systems, die aktuelle Situation in weitestgehendem Maße als Informationsquelle auszunutzen, um auch Aufgaben bewältigen zu können, für die kein komplettes Weltmodell vorliegt. Die Umwelt ist sozusagen ein äußerer Speicher, auf den bei Bedarf zugegriffen werden kann. Die Agenten sind sensorisch/aktorisch mit der Umwelt verkoppelt. Die Wechselwirkung von Agent und Umwelt geschieht damit in konkreten und nicht in abstrakten (modellierten) Situationen. Wichtig für den Agenten ist das Beherrschen situationsbezogener Reaktionen auf die Umwelt und nicht maximales (gespeichertes) Wissen über die Umwelt. Der Agent ist seiner Umwelt eingebettet ("situiert"), und sein Verhalten, seine Funktionalität erwächst ("emergiert") aus der Interaktion mit dieser Umwelt. Wenn solche Voraussetzungen gegeben sind, spricht man auch von einem *situierten Agenten*. Wie ein Agent eine Aufgabe ausführt, hängt sowohl von den Fähigkeiten ab, mit denen er ausgestattet ist, wie auch von Merkmalen der Umgebung, in denen er seine Aufgabe erbringt.

In der Robotik waren solche Überlegungen u.a. Ausgangspunkt für die sog. Schichten- oder *Subsumptionsarchitektur* des MIT-Robotikforschers Brooks, in der einfache reaktive Verhaltensweisen hierarchisch kombiniert werden. Grundlage dafür ist die Dekomposition des Gesamtverhaltens in einzelne, aufeinander aufbauende sog. Agenten-"Behaviours". Jede Schicht interagiert nur mit Teilaspekten der Umwelt, und jede Schicht kann die darunterliegende Schicht beeinflussen. Zum Bsp. dient die unterste Schicht dem Erkennen und Vermeiden von Hindernissen, die nächste der Bewegung in Richtung auf ein Zielobjekt und die darüberliegende Schicht dem Ergreifen des Objekts. Für die strategische Planung von Handlungen sind solche einfachen Architekturen aber nicht ausreichend; deshalb sind hybride Architekturen entwickelt worden, die reaktive mit deliberativen Fähigkeiten kombinieren.

Ähnlich wie der allgemeinere Begriff "Objekt" ist der Begriff des "Agenten" vielfacettig. In der gegenwärtigen Literatur läßt sich deswegen kaum eine einheitliche allgemeine Definition finden. Der Agentenbegriff kann eher als Metapher verstanden werden – als eine Betrachtungsweise, die sich bei manchen Problemstellungen als vorteilhaft erweist und bei manchen nicht.

Softwareagenten

Diese oben skizzierten Ansätze haben nicht nur entscheidenden Einfluß auf die Entwicklung einer "kognitiven" Robotik gehabt, sondern auch auf Techniken für Software-Agenten, die zur Erfüllung ihrer Aufgaben durch Situierung in der digitalen Umwelt zusätzliche Informationen beschaffen können. Ein "Agent" bezeichnet hier in der Regel ein Programm, dessen Arbeit als das eigenständige Erledigen von Aufträgen oder Verfolgen von Zielen in Interaktion mit einer Umwelt beschrieben werden kann. Dazu müssen Agenten Fähigkeiten der Wahrnehmung, des Handelns und der Kommunikation miteinander verbinden und, bezogen auf eine zu erfüllende Aufgabe, situationsangemessen ein- und umsetzen können.

Anwendungsfelder für Softwareagenten sind heute in zahlreichen Bereichen zu finden, u.a. bei verteilten Systemen, dem Internet (Stichworte: Informations- und Internet-Agenten) und bei Mensch-Maschine-Schnittstellen (Stichwort: Interface-Agenten). Von einem Informationsagenten wird verlangt, daß er Informationen selbständig beschafft und aufbereitet, zum Beispiel aus dem Internet; so gibt es migrierende Agenten, die nach relevanten Informationen suchen und entfernt Aufträge ausführen (z.B. Hotelbuchungen) und Fähigkeiten für den Dialog mit einem Nutzer haben. Das Zusammentreffen mehrerer Agenten im Netz kann die Notwendigkeit zur Kooperation und Verhandlung nach sich ziehen.

In der Mensch-Maschine-Interaktion werden sog. Interface-Agenten vielfach diskutiert. Schnittstellen werden als Agenten realisiert, denen Aufträge wie menschlichen Bearbeitern übertragen werden. Die Simulation von Schreibtisch-Oberflächen wird durch animierte Umgebungen abgelöst, in denen Agenten in virtuellen Räumen agieren und delegierte Aufträge ausführen; sie können als menschenähnliche virtuelle Figuren ("anthropomorphe Agenten") realisiert sein.

In solchen Zusammenhängen zeichnen sich unterschiedlich stark gefaßte Agentenbegriffe ab. In einem schwachen Sinn ist ein Agent ein System mit Eigenschaften der

- Autonomie (selbstgesteuertes Handeln ohne direkte Außenkontrolle)
- sozialen Fähigkeiten (Kommunikation und Kooperation mit anderen Agenten)
- Reaktivität (Verhalten in Erwiderung äußerer Stimuli)
- Proaktivität (zielorientiertes Verhalten und Initiative-Übernahme)

In der KI wird der Agentenbegriff oft stärker gefaßt; hier werden einem Agenten zusätzlich "mentalistiche" Eigenschaften zugeschrieben, die mit Begriffen wie Wissen, Überzeugung, Intention, Verpflichtung charakterisiert werden. Ein Beispiel ist die "Belief-Desire-Intention" (BDI)-Architektur für Agentensysteme. Die Auflistung solcher Begriffe bedeutet aber nicht, daß alle diese Eigenschaften grundsätzlich einbezogen werden. Des weiteren werden u.a. Lernfähigkeiten betrachtet, die im einzelnen Agenten oder auch verteilt – in Multiagentensystemen – zum Tragen kommen können, um eine bessere Anpassung an die Einsatzumwelt zu erzielen.

In einer Reihe von Projekten werden menschenähnlich dargestellte "anthropomorphe" Agenten als Bestandteil von Mensch-Maschine-Schnittstellen entwickelt. Das Erscheinungsbild solcher Agenten reicht von einfachen cartoonartigen 2D-Figuren bis hin zu animierten Agenten, die auf komplexen 3D-Modellen basieren und im Ansatz kaum noch von Aufnahmen realer Personen (oder anderen realen Lebewesen) zu unterscheiden sind. In der Anwendung dienen solche Agenten z.B. als Führer durch virtuelle Welten oder sie demonstrieren Handlungsabläufe einer Gerätereparatur. Im Bereich Lernsoftware übernehmen sie die Rolle virtueller Tutoren, erklären Sachverhalte, erteilen auf Nachfragen Auskunft oder stellen selbst Fragen an den Schüler.

Die Realisierung animierter Figuren ist nicht nur eine Herausforderung aus Sicht der Computergraphik und -animation, sondern auch im Hinblick auf die glaubwürdige Verhaltensausstattung. Hier werden u.a. folgende Anforderungen diskutiert: Modellierung von Persönlichkeit, Integration von Emotionsmodellen, Koordinierung unterschiedlicher Ausdrucksmittel wie Gesichtsausdrücke, Körpergesten und gesprochene Sprache. Erfahrungen besagen, daß z.B. mangelnde Übereinstimmungen zwischen Mimik, Gestik und Sprache vor allem bei photorealistischen Figuren auf Ablehnung bei den Benutzer/innen stoßen.

Konstruktion von Agentensystemen

Szenarien kooperierender Agenten werden im Rahmen von Verteiltem Problemlösen oder von Multi-Agenten-Systemen in der Verteilten KI (VKI) betrachtet. Ausgangspunkt ist hier der Gedanke, daß die Interaktion zwischen mehreren Agenten mit vergleichsweise einfachem Verhalten genutzt werden kann, um komplexe Aufgaben zu lösen. Die einzelnen Agenten können als autonome Problemlöser in Form spezialisierter Expertensysteme oder auch viel einfacher konzipiert sein. Bei den Szenarien der VKI hat in der Regel kein Agent Überblick über das gesamte zu lösende Problem, d.h. es gibt keine zentrale Kontrolle, jedoch können "höhere" Agenten Wissen über andere Agenten und ihre Fähigkeiten haben oder erlangen. Bei der Konstruktion agentenbasierter Systeme sind zwei Aspekte zu betrachten:

- *Mikro-Aspekt:* Wie entwirft und baut man einen Agenten, der die Fähigkeit zum autonomen Handeln hat?

Für den einzelnen Agenten ('Mikro-Aspekt') wird hier z.B. angenommen, daß er über folgende Dinge verfügt: eine *Basisfunktionalität*, d.h. er kann bestimmte zugeteilte Aufgaben eigenständig lösen; einen *kooperativen Überbau*, der ihm die Teilnahme an einem Kooperationsverfahren (Aufgabenverteilung) mit anderen Agenten gestattet; und schließlich die Fähigkeit zur *Kommunikation* mit anderen Agenten (z.B. durch Zugriff auf Kommunikationskanäle/Netz).

- *Makro-Aspekt:* Wie erzielt man effektiv eine Kooperation in einer so gegebenen Agentengemeinschaft?

Beim Entwurf von Multi-Agenten-Systemen ('Makro-Aspekt') ist also neben der Realisierung von Fähigkeiten der einzelnen Agenten die Art ihrer Teilnahme an einem Kooperationsverfahren zur Aufgabenverteilung mit anderen Agenten (und ggfs. auch dem beteiligten Benutzer) zu gestalten. Zur Durchführung von Kooperation erfolgt in der Regel ein Nachrichtenaustausch zwischen den Agenten in einer geeigneten Kommunikationssprache; dazu wird zum Beispiel die "Knowledge Query and Manipulation Language" (KQML) eingesetzt. In Anlehnung an die Sprechakttheorie spezifiziert KQML verschiedene sog. Performative, mit denen Nachrichtentypen (wie Aussage, Frage, Antwort) übermittelt werden können. Damit bietet KQML ein geeignetes Substrat zur Konzipierung von Kooperationsverfahren.

Kooperationsverfahren/-protokolle, die in der VKI häufig betrachtet werden, sind *master-slave* oder *contract-net* (Vertragsverhandlung). Im Ablauf des Protokolls einer Vertragsverhandlung füllen Agenten spezielle Rollen aus, z.B. als Auftraggeber oder Auftragnehmer. Das Vorbild für solche Verfahren sind soziale Strukturen der Menschen. Die Abwicklung der Agentenkooperationen kann über unilateralen, bilateralen oder multilateralen Nachrichtenaustausch zwischen Agenten oder auch global (über ein "blackboard") erfolgen.

Für die technische Realisierung kann es hilfreich sein, funktionale Schichten eines Agentensystems zu unterscheiden. Auf der Interaktionsschicht werden Agenten dabei als nebenläufige Programme mit nachrichtenorientierter Steuerung betrachtet; die Aufgabenschicht behandelt die Abwicklung von Aufträgen zwischen ihnen, die auf der Problemschicht als verteilte Problemlösung durch Austausch von Teilproblemen und Teillösungen betrachtet werden.

Bei der Entwicklung und Implementierung agentenbasierter Systeme spielen gegenwärtig vor allem objekt-orientierte Techniken eine Rolle. Es wird aber seit längerem diskutiert, ob das Bild des "Agenten" als selbständig handelnder Einheit hilfreich für die Strukturierung großer heterogener Systeme eingesetzt werden kann. Agenten bieten eine Form der Abstraktion, die über andere Formen hinaus gehen: Den einzelnen Komponenten können aktive Rollen zugewiesen werden, und Interaktionen sind intuitiv modellierbar. Anstelle der Konstruktion monolithischer Systeme ist eine modulare Architektur als System kooperierender Agenten wesentlich übersichtlicher und deswegen unter softwaretechnischen Gesichtspunkten leichter zu beherrschen. Der Nutzen agentenorientierter Techniken ist hier eine größere Transparenz der Programme. Schon die Strukturierung komplexer Systeme in der Begriffswelt von Multi-Agenten-Systemen kann eine wesentliche Hilfe sein.

Interface-Agenten

Wie oben schon angesprochen, werden im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion (HCI – Human-Computer Interaction) sog. Interface-Agenten vielfach diskutiert, welche Benutzer im Umgang mit Computer-Anwendungen unterstützen. Sie sind typischerweise als "persönliche Assistenten" ausgelegt und können durch Einbettung in die Aufgabenumgebung Wissen über die Tätigkeiten, Gewohnheiten und Präferenzen ihrer Benutzer einsetzen, um an deren Stelle Handlungen auszuführen. Ein Beispiel bilden Arbeiten am MIT Media-Lab, wo die Planung von Terminen für Gruppentreffs unter Zugriff auf elektronische Terminkalender im Computernetz an Interface-Agenten delegiert wird. Der Handlungsfreiraum der Agenten wird graduell in dem Maße erweitert, wie sich der Agent in der Wahrnehmung seiner Aufgabe bewährt. Hier werden u.a. Lernverfahren diskutiert, mit denen das Problem der Wissensakquisition durch explizite Programmierung (Wie erhalten Agenten das erforderliche Wissen über ihre Benutzer?) umgangen werden soll.

Mit solchen Vorhaben verlagert sich die Benutzung des Computers vom direkten Manipulieren auf Schreibtischoberflächen zu einer entkoppelten teilautonomen Ausführung durch Agenten ("indirect management"). Eine derartige Agenten-Metapher ist von verschiedenen Computer-Herstellern in Visionen über zukünftige Benutzerschnittstellen übernommen worden.

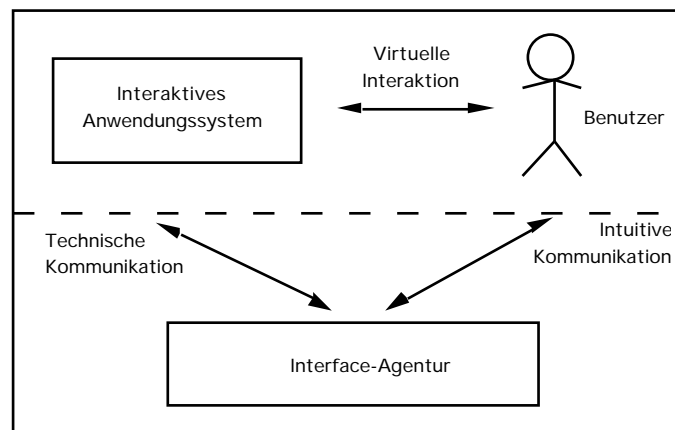


Abb. 2 Agenten-vermittelte Mensch-Maschine-Interaktion

Eine Fortsetzung des Szenarios sind gestaffelte Systeme, bei denen Leistungen eines Interface-Agenten verteilt durch Teams kooperierender Agenten ("Interface-Agentur") erbracht werden. Auf der obersten Ebene begegnen sich lediglich zwei Agenten: der menschliche Benutzer und das (interaktive) Anwendungssystem. Durch die Vermittlungsleistung der Interface-Agentur kommt eine virtuelle Interaktion auf der obersten Ebene zustande (Abb. 2), mit dem Ziel, die Kommunikation mit dem System nach außen hin möglichst intuitiv zu gestalten. Auf tieferen Ebenen ist die Agentur damit beschäftigt, komplexe Handlungsanweisungen des Benutzers aufgrund der Aufgabenkenntnis der beteiligten Agenten in Abfolgen zunehmend primitiver Aktionen zu dekomponieren und in technische Systemkommandos umzusetzen.

Mit diesen Überlegungen wurde im VIENA-Projekt der AG WBS – anknüpfend an die Idee des Interface-Agenten – das Szenario eines "intelligenten Mittlers" als neuartige Perspektive für die Mensch-Maschine-Schnittstelle zu Computergrafiksystemen entwickelt. Die Stoßrichtung für eine Unterstützung der Interaktion besteht darin, daß ein Interface-Agent Zugriff auf die Objekt- und Szenenbeschreibungen eines Grafiksystems erhält (d.h. sie inspizieren und manipulieren kann), beispielsweise um sprachlich mitgeteilte Änderungswünsche in der dargestellten Objektszene zu planen und umzusetzen. Die primitiven Aktionen setzen hierbei schließlich auf Basisoperationen einer funktionsorientierten Grafikschnittstelle auf. Der Interface-Agent kann in diesem Szenario als ein "vorgeschickter Mittler" verstanden werden, der mit einem Menschen in einer überlappenden Wahrnehmungssituation aufgabenbezogen kommuniziert und kooperiert.

Hamilton: Ein virtueller Interface-Agent

Im VIENA-Projekt wurde ein natürlichsprachlich und gestisch dirigierbarer anthropomorpher Agent entwickelt ("Hamilton"), mit dessen Hilfe sich ein Benutzer in der Szene "einbringen" und aus einer involvierten Sicht handeln kann. Der Kontext dieser Arbeiten ist die Kommunikation mit virtuellen Umgebungen, das sind Computergrafik-basierte dreidimensionale Szenen, die durch Benutzerinstruktionen interaktiv verändert werden können. Im Erprobungsbeispiel des Designs einer virtuellen Büroumgebung verarbeitet das VIENA-System Benutzerinstruktionen, um Änderungen der visualisierten Szene mit Hilfe des personifizierten Interface-Agenten Hamilton auszuführen. Hamilton kann seinen Standort in der Szene verändern, als Antwort auf ein 'hello' des Benutzers eine Grußgeste mit dem Arm machen, den Kopf hin und her drehen ('look left/right/up/down'), Benutzern die Szene aus seiner Sicht zeigen ('change the view'), sich größer und kleiner machen ('be taller/smaller'), auf Szeneneinheiten zeigen und darauf bezogenen Instruktionen aus- (aber nicht vor-) führen. Dabei kann sich Hamilton auf verschiedene Raumreferenzsysteme (Benutzer-deiktisch, Hamilton-deiktisch, objektintrinsic) einstellen und nicht akzeptierte Lösungen aufgrund des Benutzer-Feedbacks (z.B. 'wrong') korrigieren. Hiermit können Benutzerinstruktionen aus wechselnden räumlichen Positionen in der Szene und den sich daraus ergebenden Sichten auf Szenenelemente verarbeitet werden, z.B. bei der Errechnung von situierten Referenzen wie "links von", "hinter", "vorn" usw.

Die Instruktionen werden mit gesprochener Sprache eingegeben und durch Zeigegesten ergänzt, die über einen einfachen Datenhandschuh erfaßt werden. Die Aufnahme und Verarbeitung der Benutzereingaben wird als verteilte Funktion durch eine Agentur spezialisierter Software-Agenten realisiert. Der einzelne Agent ist ein autonomer Berechnungsprozeß, der mit anderen solchen Agenten auf Basis einer Variante des Kontraktnetz-Protokolls kommuniziert und kooperiert. Der Kern der VIENA-Agentur besteht aus einer Anzahl von Agenten, die an der Vermittlung von Benutzereingaben beteiligt sind, um die Szene – unter Zugriff auf die Grafikdatenbasis und mit Hilfe diverser Heuristiken – in Farbgebung und räumlicher Anordnung zu ändern. Dabei werden unterschiedliche Teilaufgaben auf verschiedene Agenten, die miteinander kooperieren, zu übertragen. Hiermit gelang die Entwicklung des Interfacesystems in modularer Weise, bei der einzelnen Agenten Teilzuständigkeiten zugeschrieben werden. Des weiteren ist unter anderem ein Lernansatz entwickelt worden, bei denen sich ein Mehragentensystem kurzschrittig an Benutzerpräferenzen adaptiert, ohne daß dabei explizites Wissen über die Benutzer gespeichert werden muß.

Die Funktionalität der einzelnen Agenten wird in einem SENSE–COMPUTE–ACT-Zyklus berechnet, betreffend die Aufnahme von Nachrichtendaten (SENSE), Berechnung der jeweiligen Funktion (COMPUTE) und schließlich das Senden entsprechender technischer Kommandos (ACT) an andere Agenten oder ein Effektorsystem wie hier das Grafiksysteem. Die für die Verarbeitung der multimodalen (sprachlich-gestischen) Eingaben zuständige Eingabe-Agentur enthält dedizierte Softwareagenten für sensorische und linguistische Eingabeanalyse und die Koordination und Integration multimodaler Information; im Hinblick auf die zeitliche Kopplung der sprachlichen und gestischen Eingaben arbeiten die Agenten der Eingabeagentur in einem getakteten SENSE–BUFFER–COMPUTE–ACT-Rhythmus.

Während die äußerliche Erscheinung des virtuellen Interface-Agenten Hamilton dem Anspruch der Glaubhaftigkeit standhalten konnte, waren die Bewegungsmöglichkeiten zunächst auf die Schnappschuß-artige Einnahme von Posturen beschränkt. Diese Arbeiten finden jetzt Fortsetzung mit einer artikulierten Figur, die sich natürlicher bewegen und gestisch artikulieren kann, z.B. wenn sie auf virtuelle Objekte zeigt.

Literaturhinweise zu Teil 8:

Minsky, M.L. (1986). *The Society of Mind*. New York: Simon & Schuster, Inc. (Deutsch unter dem Titel "Mentopolis" 1990 bei Klett-Cotta/Stuttgart erschienen)

Burkhard, H.-D.: Software-Agenten. Kap. 24 in Görz et al., *Handbuch der Künstlichen Intelligenz*, 3. Auflage, Oldenbourg-Verlag/München, 2000.