

SIF-VW: Eine integrierte Systemarchitektur für Agenten und Benutzer in virtuellen Welten

J. Lind, C. Gerber, P. Funk, M. Schillo, A. Burt und C. Jung
Deutsches Forschungszentrum für
Künstliche Intelligenz,
DFKI GmbH, Saarbrücken

Zusammenfassung

Ein jüngster Trend in Forschungsbereich um virtuelle Umgebungen zeigt sich in der Verknüpfung von Techniken und Forschungsergebnissen aus den Gebieten *Verteilte Künstliche Intelligenz*, *Verteilte Interaktive Simulation* und *Virtual Reality* zu einem neuen Paradigma, das wir als *Co-habited Virtual Worlds (CHVW)* bezeichnen. Dieses Paradigma beschreibt die Interaktion von künstlichen Agenten und benutzerkontrollierten Avataren in einer vernetzten künstlichen Umgebung. Künftige Anwendungsgebiete von CHVW werden von lebensechten virtuellen Konferenzen, virtuellen Marktplätzen, Unterhaltung bis hin zu intuitiven Visualisierungen von Interaktionen komplexer Multi-Agenten-Systeme reichen.

Die Multiagentensystemgruppe am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) arbeitet in einem mehrjährigen Projekt sowohl an der Erstellung einer CHVW-Plattform, als auch an der Architektur von Avataren und autonomen Agenten, die eine solche virtuelle Welt mit Leben erfüllen sollen. In diesem Papier stellen wir mit *SIF-VW (Social Interaction Framework for Virtual Worlds)* Architektur eine offene Basis für CHVW vor und geben einen Überblick über die Forschungsarbeiten der Gruppe im Bereich emotional-gesteuerter Agenten und Avatare.

1. Einleitung

Neueste Entwicklungen in Virtual Reality setzen an, die Mensch-Maschine-Interaktion zu revolutionieren. In *gemeinsam-bewohnten virtuellen Welten (Co-Habited Virtual Worlds – CHVW)* werden autonome Agenten auf von menschlichen Benutzern gesteuerte Programme – sogenannte *Avatare* - treffen, mittels denen der

Benutzer zum einen Zugang zu einer solchen Welt hat und zum anderen möglichst adäquat in der Welt repräsentiert wird. Aufgrund der zunehmenden Vernetzung kann eine solche virtuelle Welt in einem globalen Netzwerk, etwa dem Internet, realisiert werden. Anwendungen von CHVW liegen beispielsweise in virtuellen Konferenzen, oder im Bereich des ständig wachsenden Electronic Commerce. Hierbei ist sowohl der Einsatz von Avataren als auch von autonomen Agenten denkbar. Die Unterhaltungsbranche ist wahrscheinlich das größte Einsatzgebiet: auf spielerische Art werden virtuelle Welten in die Wohnzimmer gebracht werden. Eine effiziente CHVW-Plattform muss den folgenden Anforderungen genügen:

- **Mehrbenutzerbetrieb:** Eine CHVW-Plattform muss in der Lage sein, mehreren menschlichen Benutzern Zugang zur virtuellen Welt zu ermöglichen. Dabei sind intuitive Benutzerschnittstellen und Visualisierungen erforderlich. Aus der Perspektive eines Benutzers sollten autonome Agenten von Avataren anderer Benutzer nicht unterscheidbar sein. Avatare sollten ein gewisses Maß an Selbständigkeit besitzen, d.h. der Benutzer soll nach Möglichkeit nur Richtlinien an den Avatar geben, die dieser dann geeignet umsetzt.
- **Universelle Plattform:** Prinzipiell wird ein CHVW-System umso attraktiver, je mehr Benutzer sich anmelden können. Der Einsatz von offenen und plattform-unabhängigen Standards wie etwa Java, RMI, VRML oder Java^{3D} sind daher essenzielle Voraussetzungen, um Benutzer auf heterogenen Plattformen zusammen zu bringen und mit künstlichen Agenten kommunizieren zu lassen.

- **Autonomie und transparente Verteilung:** Eine populäre Definition beschreibt einen Agenten als eine *Entität, die ihre Umgebung mittels Sensoren aufnimmt und in dieser Umgebung mittels Effektoren handelt* (Russell+96). Agenten sind also per Definition autonom, d.h. sie sind frei in ihren Aktionen (natürlich nur im Rahmen der Möglichkeiten) und insbesondere wird ihr interner Zustand nur durch ihre Wahrnehmung und *nicht* durch direkte Speicheranpassung von außen beeinflusst (vgl. (Castelfranchi 95)).
- **Feingranulare Aktionen und Perzeptionen:** In vielen Simulationsumgebungen erhalten Agenten pragmatische und abstrahierte Perzeptionen von der künstlichen Umgebung. Diese Wahrnehmung enthält meist schon Informationen höherer Art, die sich der Agent in einer realistischen Umgebung erst mittels seiner kognitiven Fähigkeiten erschließen muss. Ähnlich verhält es sich mit den Aktionsmöglichkeiten des Agenten: Wenn diese zu grobgranular konzipiert wurden, werden dem Agenten ganze Planungsschritte abgenommen, die er in einer realistischen Umgebung durchführen müsste. Feingranularität von Aktionen und Perzeptionen sind daher für ein realistisches CHVW unverzichtbar.
- **„Rapid Prototyping“:** Ein weiterer wichtiger Aspekt von CHVW ist die Möglichkeit, sehr schnell erste Simulationsumgebungen zu erstellen, die dann nach Bedarf verfeinert und erweitert werden können. Dazu ist es allerdings notwendig, dass der Abstraktionsgrad der Simulation nicht a priori festgelegt ist, sondern variabel modifiziert werden kann.

In diesem Papier stellen wir unseren Ansatz *SIF-VW (Social Interaction Framework for Virtual Worlds)* (Schillo+99b) vor, der einen ersten Schritt in Richtung CHVW geht. SIF-VW basiert auf der sogenannten *Effektor-Medium-Sensor (EMS)*-Architektur, die in Abschnitt 2 vorgestellt wird. In Abschnitt 3 stellen wir eine Integration von Benutzeragenten als Avatare in SIF-VW vor. Anschließend erläutern wir in Abschnitt 4, welche Projekte das SIF-System verwenden und welche Ziele damit verbunden sind. Unter anderem betrachten wir eine explizite Modellierung von Vertrauen einzelner Agenten untereinander. Des Weiteren stellen wir kurz die

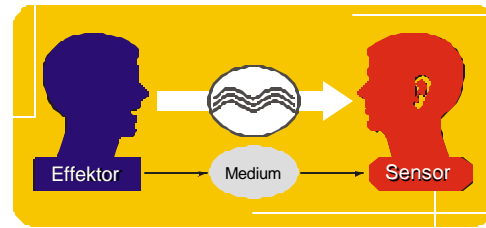


Abbildung 1: Verbale Kommunikation

Forschungsziele und erste Ergebnisse des Projekts CoMMA-Cogs am DFKI vor.

2. Die EMS Architektur

Das Ziel der *Effektor-Medium-Sensor* Architektur (Lind 98) ist die softwaretechnische Umsetzung der schon erwähnten Agentendefinition nach Russell und Norvig (Russell+96). Die Grundidee der EMS Architektur orientiert sich stark an einer natürlichen Abbildung der Vorgänge in der „realen“, d. h. der physikalischen Welt die uns umgibt. Ein Beispiel dafür ist verbale Kommunikation wie in Abbildung 1 dargestellt. Der Agent auf der linken Seite der Abbildung benutzt seinen Sprechapparat (Effektor) um die Luft (Medium) in Schwingungen zu versetzen. Diese Schwingungen werden dann vom Gehör (Sensor) des rechten Agenten aufgenommen und können von diesem weiterverarbeitet werden. Die Interaktion zwischen mehreren Agenten erfolgt also durch Zustandsänderungen des Mediums, die von den Agenten wahrgenommen werden können. Der Begriff „Medium“ wird in diesem Sinne als Abstraktion für jedwede Art von Informationstransport verwendet. Neben dem hier als Beispiel vorgestellten Medium für verbale Kommunikation sind auch beliebig viele

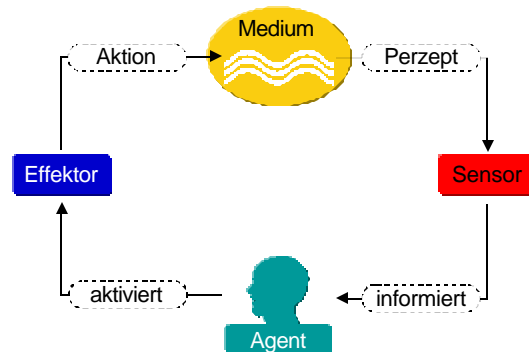


Abbildung 2: Die EMS-Architektur

andere Medien denkbar, etwa für physikalische Interaktion zwischen Agenten oder zwischen Agenten und Objekten der virtuellen Welt.

Die zentrale Aufgabe eines jeden Mediums ist die Kapselung eines Datenmodells für bestimmte Aspekte der virtuellen Umgebung. Die Manipulation des Datenmodells erfolgt über im Medium implementierte Transitionsregeln, die den Übergang von einem Weltzustand in einen anderen steuern. Diese Zustandsübergänge werden in der Regel durch Aktionen der Agenten ausgelöst, es gibt allerdings auch die Möglichkeit von intern ausgelösten Transitionen, z. B. bei zeitabhängigen Ereignissen.

Jeder Agent verfügt über verschiedene Effektoren und Sensoren, mit denen er den Zustand des Mediums ändern bzw. erfassen kann (Abbildung 2). Bevor dies jedoch geschehen kann, muss sich jeder Effektor bzw. Sensor beim Medium registrieren. Ein Medium kann bestimmte Effektoren oder Sensoren auch ablehnen wenn es deren spezifische Funktionalität nicht unterstützt.

Nachdem eine erfolgreiche Registrierung stattgefunden hat, wird der jeweils neu hinzugekommene Agent in den in Abbildung 2 dargestellten Kontrollzyklus integriert. Nun kann er über Effektoren Aktionen absetzen, die das Medium manipulieren und mittels Sensoren Informationen über seine Umgebung erhalten. Im ersten Schritt aktiviert der Agent einen seiner Effektoren, um eine bestimmte Aktion auszulösen. Diese Aktivierung wird von Effektor an das Medium weitergeleitet, welches die sich aus der Aktion ergebenden Konsequenzen, d. h. die Änderung des internen Zustands des Mediums berechnet. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass Aktionen abgewiesen werden können, wenn sie nicht mit dem internen Zustand des Mediums kompatibel sind, d. h. falls es keine entsprechende Transitionsregel gibt. In diesem Fall erhält der Agent allerdings keine direkte Rückmeldung über das Fehlschlagen der Aktion, sondern er ist selbst dafür verantwortlich, den Erfolg oder Misserfolg festzustellen. Dies geschieht durch eine Interpretation der Sensordaten die von Medium übermittelt werden und die eine Projektion des aktuellen internen Zustands des Mediums auf die für den Agenten relevanten Aspekte darstellen. Diese Information übermittelt das Medium in Form von Perzepten, die von einem Sensor des Agenten aufgenommen und an diesen weitergeleitet werden.

Neben der Verwaltung des Weltmodells kommt einem Medium auch noch die Aufgabe zu, die Kontrollflüsse der Agent zu entkoppeln und so

ein pseudo-paralleles Ausführungsverhalten der Agenten zu ermöglichen.

Diese Entkopplung erfolgt innerhalb eines Mediums in Form einer Warteschlange, welche die Effektor-Aktivierungen der Agenten puffert und auf diese Weise die Reihenfolge der Aktivierungen erhält. Der vollständige Kontrollfluss eines Mediums ist in Abbildung 3 dargestellt. In jedem Zyklus entnimmt das Medium die nächste auszuführende Aktion aus der Warteschlange und berechnet auf der Basis des aktuellen Weltzustandes die Effekte der Aktivierung und die sich daraus ergebenden Perzepte. Diese werden anschliessend an die Sensoren der Agenten weitergeleitet.

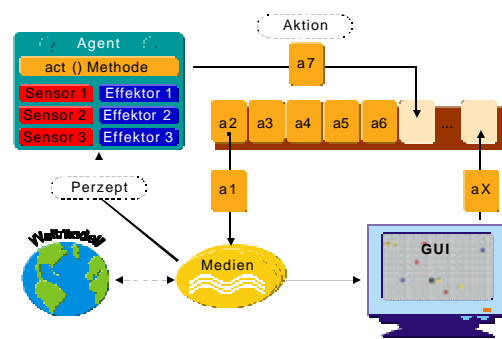


Abbildung 3: Kontrollfluss in SIF

3. Integration von Benutzern als Avatare

Ein wesentlicher Vorteil der EMS Architektur ist die Unterstützung von verschiedenen subjektiven Sichten. Die Sicht eines einzelnen Agenten auf die Welt wird dabei von den individuellen Sensoren des Agenten determiniert. So stellt sich zum Beispiel die Welt für einen Agenten der einen GPS Sensor besitzt wesentlich anders dar, als für einen Agenten, der nur einen optischen Sensor für seine unmittelbare Umwelt verfügt. Neben den subjektiven Sichten der Agenten gibt es in SIF aber noch eine zusätzliche Benutzer-Sicht. Diese Sicht stellt eine zweidimensionale, JAVA-basierte bzw. dreidimensionale VRML-basierte Visualisierung (siehe Abbildung 5) des Gesamtsystems bereit, die vom Benutzer zur Überwachung und Steuerung genutzt werden kann. Neben der globalen Sicht kann sich der Benutzer aber auch jederzeit in die lokale Sicht eines Agenten einschalten und den jeweiligen Agenten mittels spezieller Kommando-perzepte steuern; der Agent fungiert dann als Avatar. Die indirekte Steuerung eines solchen Avatars wie sie in Abbildung 4 dargestellt ist, ermöglicht es den Agenten, teilweise autonom auf ihre Umwelt zu reagieren und gleichzeitig Befehle vom

Benutzer entgegenzunehmen, die das Gesamtverhalten des Agenten beeinflussen. Die Kommunikation zwischen Benutzer und Avatar erfolgt dabei ausschließlich über das Kommando-Medium. Diese Art der Steuerung ermöglicht eine flexible Erweiterung des Agenten, falls neue Kommandos implementiert werden sollen. In diesem Fall wird einfach ein neuer Kommandoeffektor zur graphischen Benutzeroberfläche (GUI) und ein neuer Kommandosensor zum Agenten hinzugefügt.

4. Anwendungen

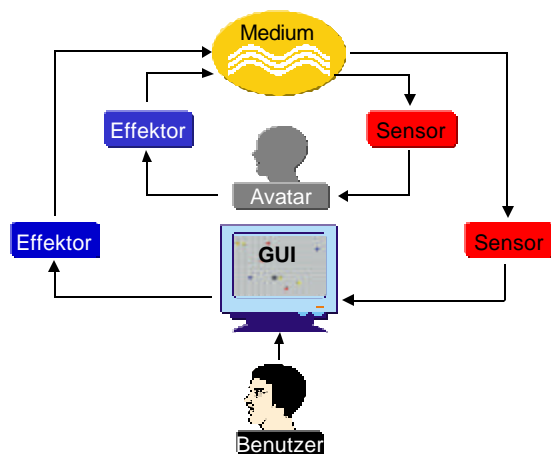


Abbildung 4: Integration von Benutzern über Avatare

SIF wird zur Zeit in verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt, die wir in den folgenden Abschnitten kurz dargestellt wollen.

Sozionik

Ende des Jahres 1999 hat das Schwerpunktprogramm *Sozionik* (Malsch+96) der Deutschen Forschungsgemeinschaft begonnen, in dem der Wissensaustausch zwischen der Verteilten KI und der Soziologie gefördert werden soll. In diesem Projekt wird SIF als Simulationsumgebung für Multiagentensysteme eingesetzt.

In unserer Arbeitsgruppe untersuchen wir mit Hilfe von SIF Interaktionen in sozialen Feldern und wie die *Lebensstile* von Agenten und die Regeln der sozialen Felder sich gegenseitig beeinflussen.

SIF und Electronic Commerce

SIF wird in einer Reihe von Projekten zur Untersuchung von CHVWs auch im Zusammenhang mit dem Electronic Commerce (e-commerce) verwendet. Wir untersuchen, inwiefern Kaufentscheidungen und Auswahl

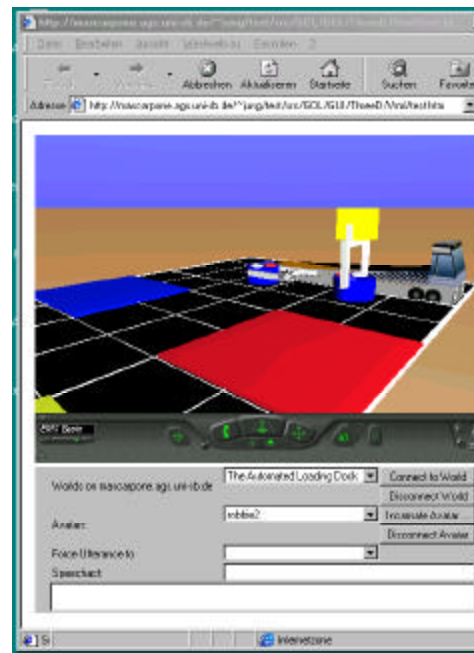


Abbildung 5: 3-dimensionale VRML-basierte Visualisierung

eines Händlers oder Dienstleisters automatisiert werden können. Solche Szenarien zeichnen sich dadurch aus, dass zwischen einem gegebenen Paar von Agenten relativ wenige Interaktionen stattfinden (etwa im Vergleich zu Systemen im Verteilten Workflow). Dies liegt zum einen daran, dass die Menge der Agenten, aus denen die Interaktionspartner auswählen können, sehr groß ist und damit die Wahrscheinlichkeit, auf den selben Partner zu treffen sehr niedrig ist bzw. nicht davon ausgegangen werden kann, dass die exakt selben Kaufinteressen häufig auftreten. Zum anderen liegt es aber auch daran, dass die potentiellen Kosten einer Interaktion sehr hoch sind und ein exzessiv exploratives Verhalten nicht finanzierbar ist. Typisch für diese Szenarien ist, dass zwar die Möglichkeit der Kommunikation gegeben ist, aber wie in jedem offenen System auch hier nicht davon ausgegangen werden kann, dass ein Kommunikationspartner ehrlich, d. h. unter Offenlegung aller relevanten Informationen und Ziele antwortet. Aufgrund der Größe der Menge der Agenten und ihrer Ressourcenbeschränkung ist die Beobachtungsfähigkeit eingeschränkt und es fehlt eine ausreichende Datenbasis, um selbstständig ein Modell potentieller Interaktionspartner zu erstellen. Deshalb ist in diesem Umfeld das Lernen von höchster Bedeutung. Allerdings sind die Bedingungen

dafür außerordentlich schlecht. Eine Lösung dieses Problems besteht in der Möglichkeit der Evaluation der Ehrlichkeit anderer Agenten (wenn man so will ihre "Vertrauenswürdigkeit"). Hat ein Agent die Möglichkeit, Vertrauen in andere Agenten zu berechnen, so ist er in der Lage die Menge der Daten, die für die Erstellung eines Modells anderer Agenten notwendig sind, in kürzester Zeit extrem zu vergrößern. Dadurch wird die Verlässlichkeit der Automatisierung wesentlich erhöht und das Risiko minimiert. Vertrauen spielt eine zentrale Rolle in diesen Szenarien.

Die Berechnung des Vertrauens ist jedoch nicht trivial. Es gibt bereits eine Reihe von Arbeiten zu diesem Thema: Die Arbeit von Zacharia (Zacharia 99) geht von benevolenten Agenten aus, Stephen Marsh (Marsh 94) benutzt ein Modell, dessen kognitive Adäquatheit nicht überzeugen kann. Das Modell von Castelfranchi und Falcone (Castelfranchi+98) (Castelfranchi+99) hat diese Mängel nicht, benötigt aber weitere Verfeinerung für den praktischen Einsatz.

Wir haben kürzlich eine solche Verfeinerung mithilfe von SIF fertiggestellt. Es handelt sich dabei um die Modellierung von Vertrauen in andere Agenten und Schutzmechanismen vor betrügerischen Agenten. Zu diesem Zweck werden Agenten mit Berechnungsmodellen für zwei Konzepte von "Vertrauen" ausgestattet. Einerseits berechnen sie Vertrauen in ihre Interaktionspartner und deren Commitments. Andererseits benutzen sie eine Modellierung von Vertrauen, mit der sie Aussagen über das Verhalten von unbekanntem Agenten evaluieren können. Als Interaktion dient ein spieltheoretisches Modell (das offene gespielte Gefangenendilemma). Die Regeln der Interaktion, die Agenten und ihre kognitiven Leistungen sind in SIF realisiert. Die Erwartungen an die Verbesserung der Approximation der Lernmodelle mit Hilfe eines solchen Vertrauensmodells in e-commerce Szenarien konnten experimentell bestätigt werden (Schillo+99a).

Eine kognitive Architektur für soziale Agenten: Das Projekt CoMMA-Cogs

Innerhalb des CoMMA-Cogs-Projekts (Cooperative Man Machine Applications: Cognitive Architecture for Social Agents) (COGS99) entwickeln wir eine Architektur für Multi-Agentensysteme, die zwei neuartige Merkmale enthält:

Einerseits bauen wir mit Hilfe rekursiver

Agentenstrukturen Agentengesellschaften, die *Holonen* (Gerber+99) genannt werden; andererseits erweitern wir die InteRRaP-Agenten-Architektur (Müller 96) um ressourcenorientierte Konzepte, deren Parallelen in den kognitiven Motivations-Modellen zu finden sind (Burt 98). Die Hauptanwendung, von Cogs ist die Unterstützung animierter Figuren in virtuellen Welten. In Presence (Andre+99), einem Cogs begleitenden Projekt, entwickeln wir zusätzlich Emotions- und Persönlichkeitsprofile für animierte Agenten mit Sprachverständnis, die die Benutzer durch eine Web-Site führen.

Als Implementierungsplattform für die Entwicklung animierter Agenten setzen wir SIF ein. Dazu entwickeln und erweitern wir das System in drei Richtungen: Erstens erneuern wir die 3-D-Visualisierung in SIF-VW. Zweitens verwenden wir den Voyager Object Request Broker, um SIF transparent über ein Computernetzwerk zu verteilen. Drittens konstruieren wir eine Schnittstelle (API) zur Integration von Agenten, die in anderen Programmiersprachen entwickelt und gesteuert werden, um ein offeneres verteiltes System zu realisieren. Die Kommunikation dieser Agenten mit dem SIF-Simulations-Kernel bzw. dem Medium wird durch XMLRPC (XMLRPC) ermöglicht¹.

Neben der Unterstützung von animierten virtuellen Charakteren im Allgemeinen, untersuchen wir RoboCup-Rescue als eine spezielle Anwendung. Dies ist eine Erweiterung der populären RoboCup-Soccer-Idee (Noda 95), die die Unterstützung und Simulation einer Rettungsoperation nach einer größeren urbanen Katastrophe zum Ziel hat. Ein solches komplexes, dynamisches Szenario stellt hohe Anforderungen an Simulationssoftware. Schadensvorhersage, wie die Ausbreitung von Feuer, der Zusammenbruch von Häusern oder Straßennetzen erfordert die Integration von mehreren physikalischen Modellen und die Rechnerleistung, die nur von einem offenen fehlertoleranten Computernetzwerk geliefert werden kann. Eine RoboCup-Rescue-Simulationsmaschine ist nicht nur als Trainings- und Planungsunterstützung für zukünftige Notfälle gedacht, sondern soll auch eine Schlüsselrolle bei der Unterstützung von Rettungsmannschaften in einer tatsächlichen Katastrophe spielen.

¹ Dies ist eine einfache, auf XML und HTTP basierende Möglichkeit, sog. RPCs (remote procedure calls) einzusetzen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im diesem Papier wurden die Grundlagen der am DFKI entwickelten Basisarchitektur für intelligente virtuelle Umgebungen präsentiert. Den Kern der generischen Architektur bildet dabei das an den Vorgängen in einer physikalischen Umgebung orientierte EMS Modell. Ausgehend von diesem Modell wurden verschiedene Anwendungsszenarien skizziert.

Diese Anwendungsszenarien, vor allem RoboCup-Rescue, erfordern die Entwicklung neuer Methoden und Technologien, insbesondere sind spezielle Schnittstellen zwischen Simulationsumgebung und Sensoren sowie zwischen menschlichen Benutzern und Agenten notwendig. Die Bereitstellung der benötigten Infrastruktur in Form von Soft- und Hardware zur Unterstützung dieser Art von *augmented reality* stellt eine besondere Herausforderung dar.

6. Literaturverzeichnis

- [Andre+99] E. André, M. Klesen, P. Gebhard, S. Allen, and T. Rist. Integrating models of personality and emotions into lifelike characters. In A. Paiva, editor, *Affect in Interactions Towards a New Generation of Interfaces*. 1999.
- [Burt 98] A. Burt. Modelling motivational behaviour in intelligent agents in virtual worlds. In C. Landauer and K. L. Bellman (eds.), *Proceedings of Virtual Worlds and Simulation Conference (VWSIM'98)*, *Simulation Series vol. 2*, The Society for Computer Simulation International, 1998.
- [Castelfranchi 95] C. Castelfranchi. *Guarantees for autonomy in cognitive agent architecture*. In M. Wooldridge and N.R. Jennings (eds.), *Intelligent Agents: Theories, Architectures and Languages*, LNAI 890, pp. 45—70. Springer, 1995.
- [Castelfranchi+98] C. Castelfranchi and R. Falcone. Principles of Trust for MAS: Cognitive Anatomy, Social Importance, and Quantification. In Y. Demazeau (Hrsg.), *Proceedings of the Third International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS 98)*, 1998.
- [Castelfranchi+99] C. Castelfranchi, Y. Tan, R. Falcone, B. S. Firozabadi. Deception, Fraud and Trust in Agent Societies. Proc. of the Workshop at the Autonomous Agents Conference 1999.
- National Research Council, Institute of Psychology, Rom, Italien, 1999.
- [COGS99] www.dfki.de/mas/projects/cogs.html
- [Gerber+99] C. Gerber, J. Siekmann und G. Vierke. *Holonic Multi-Agent Systems*. DFKI Technical Report TR-99-01, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH) 1999.
- [Lind 98] J. Lind. *The EMS model*. DFKI Technical Memo TM-98-09, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH), 1998.
- [Malsch+96] T. Malsch, M. Florian, M. Jonas und I. Schulz-Schäfer. Expeditionen ins Grenzgebiet zwischen Soziologie und Künstlicher Intelligenz. In *Künstliche Intelligenz 2*, S. 6-12, 1996.
- [Marsh 94] S. P. Marsh. *Formalising Trust as a Computational Concept*. Phd Thesis, Department of Computing Science and Mathematics, University of Stirling, 1994.
- [Müller 96] J. P. Müller. *The Design of Intelligent Agents: A Layered Approach*. Springer-Verlag, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1996.
- [Noda 95] I. Noda. Soccer Server: A Simulator of Robocup. In *Proceedings of AI symposium 1995*, Japanese Society for Artificial Intelligence, 1995.
- [Russell+96] S. Russell, and P. Norvig. *Artificial Intelligence, A Modern Approach*. Prentice-Hall, 1996.
- [Schillo+99a] M. Schillo und P. Funk. Learning from and about other Agents in Terms of Social Metaphors. In J. M. Vidal und S. Sen (Hrsg.), *Proceedings des Workshops "Agents Learning About, From and With other Agents"* der 16. International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 1999.
- [Schillo+99b] M. Schillo, J. Lind, P. Funk, C. Gerber and C. G. Jung. *SIF - The Social Interaction Framework System Description and User's Guide to a Multi-Agent System Testbed*. DFKI Research Report RR-99-02, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH), 1999.
- [XMLRPC] www.xmlrpc.com
- [Zacharia 99] G. Zacharia. *Trust Management through Reputation Mechanisms*. In (Castelfranchi et al., 1999).