Rechnergestützte Simulation autonomer Agenten in einer sozionischen Welt

V. Avrutin, R. Lammert, D. Lippold, P. Levi, M. Schanz

Institut für Parallele und Verteilte Höchstleistungsrechner (IPVR)
Universität Stuttgart, Breitwiesenstr. 20-22, 70565 Stuttgart

---

1 Einleitung

Bei der rechnergestützten Simulation von sozionischen Welten bestehend aus mehreren autonomen Agenten befasst man sich hauptsächlich mit der Entwicklung einer geeigneten Simulationsumgebung sowie dem Entwurf und der Erweiterung der internen Agentenarchitektur.

Das zu entwickelnde Simulationssystem soll Wechselwirkungen zwischen komplexen Einheiten (Agenten, dynamische Objekte) ermöglichen und gleichzeitig graphisch darstellen. Informationsaustausch sowie Zustandsänderungen in der simulierten Welt sollen ereignisgesteuert erfolgen, wobei diese Welt aus einer Vielzahl einzelner Kanäle (optisch, akustisch, Kanal für die Inter-Agenten-Kommunikation) besteht. Der Austausch von Ereignissen, der innerhalb dieser Kanäle stattfindet, stellt die Wechselwirkung zwischen Agenten untereinander sowie zwischen Agenten und sonstigen Objekten (statisch, dynamisch) der Umwelt dar. Dabei sollen Ereignisse möglichst lokal abgearbeitet werden, wobei dies durch die Unterteilung der global existierenden Kanäle in kleinere Einheiten realisiert wird (analog zum Zellenprinzip der Mobilkommunikation).

Die interne Architektur von Agenten ist ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten zum Simulationssystem, wobei bekannte Ansätze aus dem Bereich der

VKI (Autonomiezyklus, Entscheidungsnetze) um eine emotionale, die Entscheidungsfindung steuernde Komponente erweitert werden soll. Neuartig dabei ist die Kombination von klassischen Agentenzielen (Bewegungen, Manipulationen, etc.) mit internen Restriktionen (Hunger, Durst, Affiliationsbedürfnis, etc.) und kognitiven Motiven (Bestimmtheit, Kompetenz, etc.) und deren Modulation durch eine Reihe von Parametern wie Motivstärke, Wichtigkeit, Dringlichkeit, etc.

2 Realisierung eines Simulationssystems für autonome Agenten

Das Ziel von Simulationen liegt in der Erforschung der sozialen Strukturen in Gruppen intelligenter, multimotivierter, emotionaler Agenten. Es soll beispielsweise untersucht werden, was zur Entstehung und Änderung dieser Strukturen führt, welche Auswirkungen einzelne Eigenschaften der Agenten auf die Eigenschaften, und insbesondere die Stabilität dieser Strukturen haben, inwieweit die Einführung von Emotionen in das Agentenmodell das Verhalten der Agenten in einer Agentengesellschaft beeinflusst. Es hat sich herausgestellt, dass die Aufgabenbereiche sich in drei große Blöcke einteilen lassen:

- Block 1: Emotionale Agenten.
- Block 2: Simulationsumgebung und die Kommunikation zwischen Agenten.
- Block 3: Makroskopische Ordnungstrukturen und die Untersuchungsmethoden dafür.

Da die zu untersuchenden Agenten nicht isoliert, sondern in einer Agentengesellschaft existieren, sollen sie in der Lage sein, nicht nur die Umgebung wahrzunehmen, sondern auch miteinander zu kommunizieren. Es hat sich herausgestellt, dass dies keinesfalls als ein einfaches Hinzufügen noch einer Komponente (Kommunikationskomponente) in eine bereits bestehende Architektur angesehen werden kann. Vielmehr geht es darum, einen neuen Agententyp zu entwickeln, welcher dann in der Lage ist, in großen Agentengesellschaften zu agieren und zu interagieren (Abschnitt 3).

Ein weiterer wesentlicher Punkt betrifft die Konzeption und Entwicklung einer dynamischen Umgebung, in der die Agenten ihre Ziele zu erfüllen versuchen. Es handelt sich natürlich um eine Simulationsumgebung, die insbesondere eine soziale Einbindung einzelner Agenten in Agentengruppen bzw. in eine Agentengesellschaft ermöglichen soll. Es ist wichtig zu betonen, dass es sich dabei nicht nur um eine Visualisierungsumgebung handelt (obwohl die Visualisierungsfunktionalität natürlich auch bereitgestellt werden muss), sondern hauptsächlich um eine komplexe, weitgehend realistische, virtuelle Welt, die den intelligenten Agenten erlaubt, ihre Fähigkeiten zu entfalten. Die Visualisierung dieser Welten spielt dabei eine wichtige, jedoch nicht primäre Rolle.

Um den Zielen dieses Vorhabens gerecht zu werden, muss man in der Lage sein, die in den Agentengesellschaften auftretenden Selbstorganisationsphänomene nicht nur zu beobachten, sondern auch analysieren zu können. Mit anderen Worten, man benötigt Analysemethoden, die es erstens erlauben, das Auftreten von makroskopischen Ordnungsstrukturen in den simulierten Agentengesellschaften qualitativ festzustellen, und zweitens quantitativ zu charakterisieren. Somit spielt die Frage nach adäquaten Analysemethoden eine durchaus zentrale Rolle, gehört jedoch nicht zu den hier erörterten Themen.

3 Das Agentenmodell

Das von Prof. Levi entwickelte Konzept eines Autonomiezyklus kann für die Modellierung einzelner Agenten verwendet werden und bildet die Grundlage der von uns verwendeten Agentenarchitektur.

Die Architektur eines Agenten umfasst demnach drei Schichten:

- strategische Ebene
- taktische Ebene
- reflexive Ebene

Mehrere Ziele, die ein Agent besitzt entsprechen mehreren Motiven (vgl. PSI–Architektur von Prof. Dörner), die sich in drei Gruppen einteilen lassen:

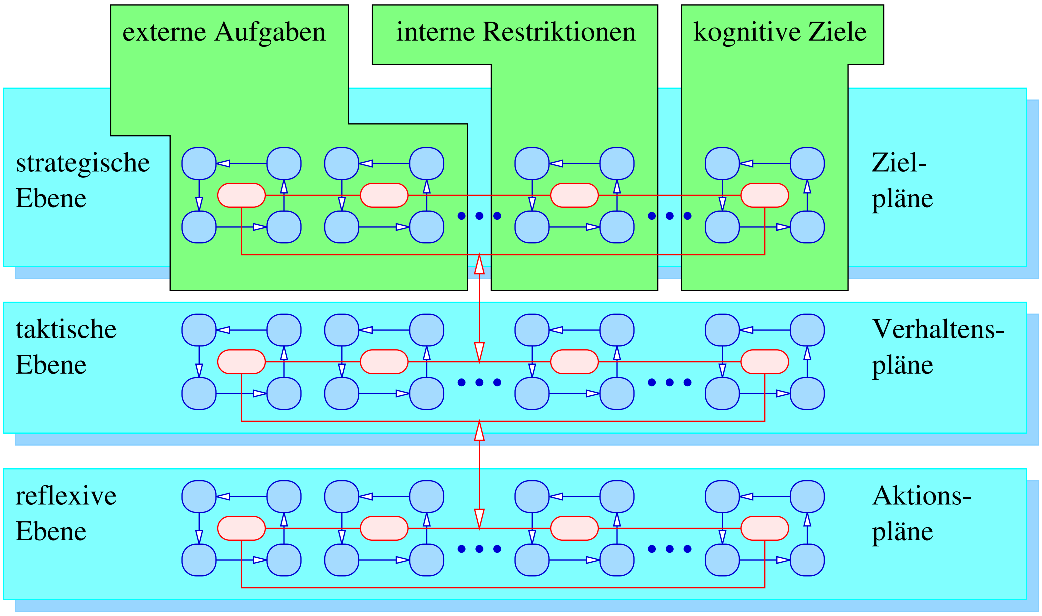

Abbildung 1. *Architektur eines einzelnen Agenten (Schichtenmodell)*

- externe Aufgaben (beispielsweise „Suche nach Ressourcen“,)
- interne Restriktionen (beispielsweise „Hungerbefriedigung“, „Schmerzvermeidung“, etc.)
- kognitive Fähigkeiten (beispielsweise „Kompetenzsteigerung“, „Bestimmtheitserhöhung“, etc.)

Jedes einzelne Motiv kann intern durch einen Autonomie–Zyklus repräsentiert werden, wobei die ausgelagerte Entscheidungseinheit alle typischen Modulationsparameter beinhaltet (Motivstärke, Wichtigkeit, Dringlichkeit, etc.). Die Entscheidungseinheiten sind miteinander gekoppelt, was die Bestimmung des jeweils handlungsleitenden Motivs ermöglicht. Die dabei entstehenden Entscheidungsnetze aller drei oben genannten Schichten sind ihrerseits miteinander verbunden, was die Plandurchsetzung und die entsprechende Rückkopplung ermöglicht.

4 Konzeptionelle Anforderungen

Im Laufe unserer Arbeit haben wir die folgenden konzeptionellen Anforderungen an das zu entwickelnde Simulationsmodell identifiziert:

- *Die Komplexität des Modells soll der Komplexität der sozionischen Problemstellungen entsprechen.* Insbesondere bedeutet es, dass die Umgebung, in der die Agenten agieren und interagieren, weitgehend realistisch modelliert werden soll.
- *Das Modell soll so ausgelegt werden, dass es mit vertretbarem Aufwand erweiterbar ist.* Nur auf diesem Weg ist es möglich, das Modell langfristig zu verwenden, wobei die Komponenten, die in späteren Phasen der Entwicklung ins Spiel kommen, heute noch nicht abzusehen sind. Diese bei der Entwicklung von Software–Systemen relativ übliche Forderung spielt insofern eine besonders wichtige Rolle, weil das Modell möglicherweise permanent zu erweitern ist, wobei die Erweiterungsrichtung am Anfang prinzipiell nicht identifiziert werden kann. Um dem beschriebenen Problem gerecht zu werden, wurde ein einheitliches Kommunikations– und Umgebungsmodell entwickelt und bereits eingesetzt, das sich mit abschätzbarem und vertretbarem Aufwand für beliebige, neu hinzukommende Komponenten erweitern lässt.
- *Das Modell soll die Erforschung des Skalierungsproblems unterstützen.* Die Größe der zu simulierenden Umgebung muss sich im Laufe des Projektes qualitativ ändern können. Während anfangs nur relativ kleine Agentengesellschaften betrachtet werden (Größenordnung: unter 10 Agenten), wobei man primär an den Auswirkungen der Einführung von Emotionen in das Agentenmodell auf das Verhalten der Agenten interessiert ist, sollen in späteren Phasen größere (Größenordnung: 100 Agenten) und vor allem offene Agentengesellschaften untersucht werden. Eben in diesen Gesellschaften sollen dann die Auswirkungen der Einführung von Emotionen in das Agentenmodell auf die Ausbildung makroskopischer Ordnungstrukturen in den Agentengesellschaften untersucht werden. Es muss dann überprüfbar sein, ob die Affiliationsbedürfnisse in solchen Agentengesellschaften die gleiche Rolle spielen wie in kleineren Agentengruppen, bzw. wie sich ihre Auswirkung auf die Zuverlässigkeit und Robustheit des Gesamtsystems ändert.
- *Das Modell soll analysierbar sein.* Um makroskopische Ordnungstrukturen innerhalb von Agentengesellschaften untersuchen zu können, muss man in der Lage sein, diese Strukturen nicht nur zu beobachten, sondern auch zu beschreiben, und nach Möglichkeit quantitativ zu bemessen.

Eine notwendige (wenn auch nicht unbedingt hinreichende) Bedingung um das zu entwickelnde Modell untersuchbar zu machen verlangt, dass man die große Vielfalt von Ereignisse, die im Modell stattfinden können, möglichst einheitlich darstellt. Die Forderung ist nicht trivial, wenn man bedenkt, dass die Ereignisse in einer realistisch modellierten Umgebung von prinzipiell verschiedener Natur sind, angefangen mit den Interaktionen zwischen Agenten bis hin zu variierenden Umweltbedingungen, und muss deshalb bereits in den früheren Entwurfsphasen berücksichtigt werden. Dieser Anforderung wurde durch die Entwicklung eines einheitlichen, da ereignisbasierten Kommunikations– und Umgebungsmodells Rechnung getragen.

5 Technische Anforderungen

Neben den konzeptionellen Anforderungen an das Simulationsmodell müssen bei dessen Konzeption auch einige technische Anforderungen berücksichtigt werden sowie eine passende, modulare und erweiterbare Software-Architektur erarbeitet werden.

- Es muss bei der Konzeption des Simulationsystems eine Entwurfsmethodik verwendet werden, die es ermöglicht, ein großes und höchst dynamisches System mit einem vertretbaren Aufwand zu entwickeln. Bereits in der Architektur einzelner Teile des Systems sollen die Einbindungsmöglichkeiten in ein Gesamtsystem entsprechender Komplexität inhärent vorhanden sein; die Architektur darf also nicht von einem relativ kleinen geschlossenen Zielsystem ausgehen.
- Das Simulationsprogramm soll so ausgelegt sein, dass es verteilt auf mehreren Rechnern ausgeführt werde kann. Die Komplexität des Modells eines einzelnen Agenten, die bereits bei dem von Prof. Dörner in Bamberg entwickelten PSI–Modell erreicht ist, macht es nahezu unmöglich, eine Agentengesellschaft bestehend aus mehreren solchen Agenten auf einem Rechner innerhalb einer akzeptablen Zeit zu simulieren.

  Mit der geplanten Einführung von Emotionen in das Agentenmodell verschärft sich das Problem noch mehr. Auch die angestrebte Komplexität der Umgebung, in der die Agenten agieren sollen, steigert die Anforderungen an die zur Verfügung zu stellende Rechnerleistung. Daher ist es zwingend notwendig, das Simulationssystem als verteilte Anwendung zu realisieren.

6 Ereignis–Konzept und Kommunikationskanäle

Es hat sich im Laufe der Arbeit herausgestellt, dass es mehrere Vorteile hat, wenn man das Modell der zu entwickelnden Simulationsumgebung als ereignisbasierte Anwendung konzipiert. Es ist uns gelungen, dieses klassische Konzept so abstrakt zu formulieren, dass nicht nur der Nachrichtenaustausch, sondern auch alle anderen Phänomene, die man als Interaktion zwischen Agenten bzw. zwischen Agenten und ihrer Umgebung auffasst, ereignisorientiert modelliert werden können. Das Sehen von Agenten wird demnach als Empfangen von optischen Ereignissen modelliert, der Austausch von Affiliationssignalen – als Senden und Empfangen von Affiliationsereignissen, etc. Selbst die Bewegung der dynamischen Objekte (sowohl der Agenten als auch die der anderen beweglichen Einheiten) im Raum erfolgt ereignisbasiert [1].

Die Ereignisse – so, wie dieser Begriff in dem Projekt verwendet wird – sind also durch folgende Merkmale charakterisiert:

- Es sind diskrete, in sich abgeschlossene Einheiten.
- Es handelt sich dabei um abstrakte Objekte, die bestimmte Informationen beinhalten.
- Es sind Objekte, die einen kontrollierten Zugriff auf die Daten unterstützen (dies ist insofern wichtig, weil die Wartbarkeit des Systems dadurch erhöht wird).

Es hat sich herausgestellt, dass gerade die Verwendung des Ereignis–Konzeptes die im Abschnitt 4 angesprochenen Anforderungen an die zu entwickelnde Simulationsumgebung optimal zu erfüllen vermag. Wir wollen hier einige konkrete Vorteile nennen:

[1] Das kann man sich darin begründet vorstellen, dass eine Bewegung in einer dynamischen Umgebung zwangsweise eine Kommunikation mit der Umgebung und anderen Objekten der Umgebung erfordert, siehe Abschnitt 6.1.

- Erweiterbarkeit des Modells. Durch die Verwendung eines einheitlichen Modellierungsmittels ist es möglich, das Modell um neue Komponenten zu erweitern, ohne dabei etwas an der Struktur des Modells ändern zu müssen. Somit wird es auch möglich, ausgehend von einfacheren Szenarien, sich mit vertretbarem Aufwand an weitgehend realistischere Modelle heranzuwagen.
- Skalierbarkeit des Modells. Da das Ereignis–Konzept prinzipiell nicht an die eine oder andere technische Realisierung gebunden ist, ist es durchaus realistisch zu vermuten, dass das auf dieser Basis entwickelte Modell auch funktioniert, wenn man es nicht nur innerhalb eines lokalen Subnetzes, sondern auch in größeren Rechnernetzen einsetzt (Internet).
- Sicherheitsaspekte können berücksichtigt werden. Beim Betrieb innerhalb eines lokalen Subnetzes spielen sie zwar keine wesentliche Rolle, gewinnen dafür aber beim Übergang zu größeren Umgebungen immer mehr an Bedeutung und sind schließlich in solchen offenen Agentengesellschaften wie dem Internet von primärer Bedeutung.

Es ist auch wichtig zu betonen, dass das Ereigniskonzept eine Abbildung des bewährten und praktisch einsetzbaren Agentenmodells in einer Simulationsumgebung darstellt. Von den fünf Komponenten des Autonomiezyklus (Sensorik, Weltmodell, Entscheidungseinheit, Planungseinheit und Aktorik) sind drei (Weltmodell, Entscheidungseinheit, Planungseinheit) reine Software–Komponenten und zwei (Sensorik und Aktorik) mehr an die Hardware gebunden. Das Ereigniskonzept repräsentiert in dem Simulationsmodell gerade diese zwei Komponenten, wobei das Senden eines Ereignisses der Aktorik eines autonomen Agenten und das Empfangen eines Ereignisses der Sensorik entspricht.

Nun kommen wir zu dem Begriff der Kommunikationskanäle. Es ist offensichtlich, dass alle Sensoren eines Agenten als Empfänger an jeweils einem Kommunikationskanal betrachtet werden können. Die optische Information, die einem Agenten zukommt, bekommt er über einen optischen Kanal in Form von optischen Ereignissen [2]; die akustische Information – über einen akustischen

[2] Man stellt sich natürlich sofort die Frage, wer der Absender dieser optischen Ereignisse sein kann. Es sind in unserer Realisierung alle sichtbaren – d.h. an den optischen Kanal angeschlossenen – Objekte der Umgebung, die sich innerhalb des Sichtfeldes des Agenten befinden. Es besteht also auch die Möglichkeit, unsichtbare

Kanal. Es handelt sich dabei natürlich nicht um echte Geräusche, sondern um akustische Ereignisse, die beispielsweise bei der Bewegung eines Agenten entstehen können (Reaktion der Umgebung auf eine von dem Agenten selbst ausgelöste Aktion).

Auch die Affiliationssignale werden als Affiliationsereignisse an entsprechende Affiliationskanäle gesendet (welche möglicherweise eine Unterklasse einer anderer Klasse von Kanälen darstellen, z.B. den „Akustischen“). Eine interessante, aber noch zu klärende Frage ist, ob solche Kanäle in dem System nur temporär existieren, oder ob sich langfristig bestehende eventuell makroskopische Affiliationskanäle ausbilden, deren soziologische Interpretation dann noch erarbeitet werden muss. Man sieht also bereits jetzt deutlich, dass die Verwendung von Affiliationskanälen in eine der drei folgenden Varianten resultieren kann:

- kurzfristig existierende Affiliation beschränkt auf wenige (eventuell zwei) Agenten. (Menschliche Analogie: Anlächeln eines Unbekannten auf der Straße).
- langfristig existierende Affiliation beschränkt auf relativ wenige (eventuell zwei) Agenten. (Menschliche Analogie: Freundschaft).
- langfristig existierende Affiliation zwischen vielen Agenten (eventuell innerhalb der gesamten Gesellschaft). In diesem Fall kann man auch von makroskopischen Affiliationsstrukturen in der Agentengesellschaft sprechen.

6.1 Ereignisbasierte Bewegung von Objekten

Die Verwendung des Ereignis–Konzeptes für die Simulation der Bewegung von Objekten in einer dynamischen Umgebung erlaubt eine einheitliche und für einen äußeren Beobachter übersichtliche Darstellung aller Phänomene, die bei der Bewegung eine Rolle spielen. Demnach wird dem Raum, in dem sich die dynamischen Objekte bewegen sollen, ein Kommunikationskanal zugeordnet, an dem alle mobilen Objekte angedockt sind[3].

Objekte in das Modell einzubringen.

[3] Bei der technischen Realisierung des Konzeptes wurde beschlossen, den Raum in mehrere Unterräume – d.h. den Kanal in mehrere Unterkanäle – zu untertei-

Zu beachten ist, dass einem Objekt seine eigene Koordinaten nicht unbedingt bekannt sein müssen um sich bewegen zu können. Tatsächlich sollen intelligente Agenten, wie es auch bei der bestehende PSI–Realisierung der Fall ist, zumindest am Anfang keine globale Karte ihrer Welt besitzen, sondern die Welt explorieren. Um sich in Bewegung zu setzen, muss ein Agent die Bewegungsrichtung angeben und eine gewisse Energie für die Ausführung der Aktion bereitstellen. Ein derartig formulierter Bewegungswunsch wird in Form eines Bewegungsereignisses (Move–Event) umgesetzt, das über den Bewegungskanal an alle im Raum existierenden – d.h. an dem Kanal angemeldeten – Objekte weitergeleitet wird, die dem sich bewegenden Objekt unterwegs begegnen (Kollision). Diese ziehen dann den Teil der bereitgestellten Energie ab, der erforderlich ist, um sie zu passieren (Falls die Energie nicht ausreicht, wird die gesamte bereitgestellte Energie abgezogen). Dieses Verhalten der Objekte hat unterschiedliche Interpretationen. An der Oberfläche wird z.B. immer Energie abgezogen, was einer einfachen Reibung entspricht, wobei unterschiedliche Oberflächen, wie beispielsweise Sand, Gras oder Straße, unterschiedliche Reibungskoeffizienten haben (was ein Agent am Anfang allerdings noch nicht weiß, d.h. erst explorieren soll). Es können auch andere Objekte, wie beispielsweise ein kleiner Stein auf der Straße oder ein Ameisenhaufen passiert werden. Dabei können die Objekte ihre Eigenschaften ändern: während mit einem Stein nichts passiert, wenn ein Agent darauf tritt, wird ein Ameisenhaufen vermutlich zertreten. Auch dem Agenten kann bei der Bewegung etwas passieren (er kann von Ameisen gebissen werden, was ihm Schmerzen verursacht). Es existieren aber auch feste Gegenstände, durch die keine Bewegung möglich ist (Bäume, Felsbrocken, etc.). Diese sind dadurch charakterisiert, dass sie die gesamte Bewegungsenergie absorbieren, ohne den Agenten weiter in die gewünschte Richtung durchzulassen. Somit endet die Bewegung eines Agenten entweder neben einem solchen Objekt (die Agenten sollen im Laufe der Zeit lernen, solche Kollisionen zu vermeiden) oder an einer neuer Position.

---

len. Dies steigert die Effizienz der Simulationsumgebung und hat keine weiteren – insbesondere konzeptionellen – Konsequenzen.

Beim Entwurf der Kommunikationskanäle (Abbildung 2) stand von Beginn an der Sicherheitsaspekt im Vordergrund. Die Kommunikation zwischen verschiedenen Komponenten erfolgt (zumindest hypothetisch) paketorientiert (Datagramme), wobei ein solches Paket die Daten eines bestimmten Ereignisses aufnehmen kann. Dabei werden gewisse Forderungen an das Kommunikationssubsystem gestellt, die wir allerdings als erfüllt betrachten wollen. So gehen wir einfach davon aus, dass die Kommunikation sicher ist, d.h. die versendeten Ereignisse (Pakete) erreichen die adressierte Instanz ohne Zwischenfälle (Verlust bzw. Zugriff durch nicht autorisierte Instanzen).

Eine gewisse Unsicherheit besteht jedoch in Zusammenhang mit dem Urheber eines versendeten Ereignisses. Instanzen verfügen potentiell über die Möglichkeit, den Kontext eines Ereignisses zu verfälschen, z.B. indem sie falsche Angaben zum Sender (Urheber) machen. Diese Sicherheitslücke könnte beispielsweise dadurch geschlossen werden, dass man den Kanal damit beauftragt, das Senden von Ereignissen zu überwachen. Er müsste also bei jedem Senden überprüfen, ob die den Sender betreffenden Angaben tatsächlich korrekt sind.

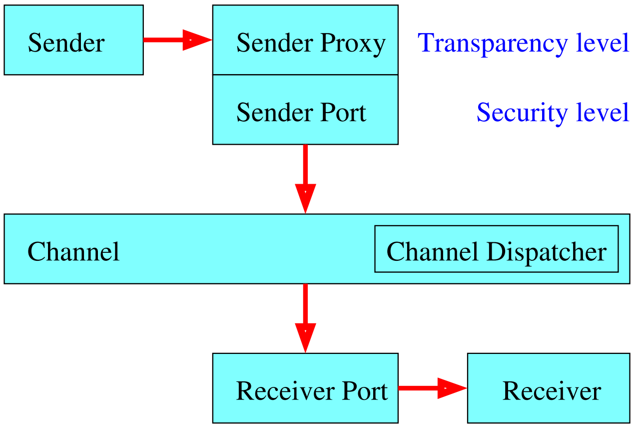

Abbildung 2. *Allgemeine Architektur der Kommunikationskanäle*

Man erkennt sofort, dass diese Vorgehensweise mit Effizienzverlust behaftet ist und es stellt sich natürlich die Frage, ob es keine bessere Lösung für dieses Problem gibt. Die gibt es tatsächlich und beruht auf der Erkenntnis, dass die Sender nur einmal überprüft werden müssen.

Die Senderüberprüfung geschieht beim ersten Kontakt zwischen Sender und Kanal. Man könnte diesen ersten Schritt als Verbindungsaufbau bezeichnen. Diese Prozedur läuft folgendermaßen ab:

(1) Der Sender veranlasst die Erstellung einer Verbindungsinstanz (genannt "SenderProxy") und benennt die zwei Kommunikationspartner: sich selbst und den Kanal, in dem die Kommunikation erfolgen soll.
(2) Eine Kontrollinstanz nimmt die Überprüfung des Senders vor, indem es eine Anfrage an die ihm als Argument übergebene Senderinstanz sendet.
(3) Der Sender bekommt (mit Sicherheit, laut unseren Annahmen) die Anfrage und kann den Verbindungsaufbau bestätigen aber auch abbrechen, wenn ein Täuschungsversuch vorliegt. Der Sender erkennt einen Täuschungsversuch daran, dass eine Bestätigungsanfrage hereinkommt obwohl kein Verbindungswunsch geäußert wurde. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine andere Instanz versucht, in die Rolle dieses Senders zu schlüpfen (Maskerade).
(4) Die Kontrollinstanz bekommt anschließend die Antwort auf seine Anfrage. Ist sie negativ, so wird keine Verbindung hergestellt. Ansonsten wird der Verbindungswunsch von der Kontrollinstanz an den entsprechenden Kanal weitergeleitet, zusammen mit den Daten des Senders.
(5) Der Kanal entscheidet anhand der Daten, ob er die Verbindung zulässt oder nicht. Stimmt er der Verbindung zu, so erzeugt er eine entsprechende "SenderProxy"–Instanz und überreicht sie dem Sender. Soll die Verbindung nicht zustandekommen, so wird dem Sender eine Fehlermeldung (Exception) mitgeteilt.

Das Senden von Ereignissen kann jetzt nur noch indirekt über entsprechende "SenderProxy"–Instanzen abgewickelt werden (Abbildung 3). Dies setzt voraus, dass die angegebene Verbindung aktiv ist, denn sonst bekommt der Sender eine Fehlermeldung von dem beteiligten "SenderProxy"–Objekt.

Die "SenderProxy"–Instanz leitet also den Sendewunsch an den entsprechenden Kanal weiter (die Indirektion lässt sich leider nicht vermeiden), wo das Ereignis bearbeitet, d.h. an bestimmte (selektiv) oder an alle Empfänger gesendet wird. Dabei behält der Kanal die volle Kontrolle über die zugehörige

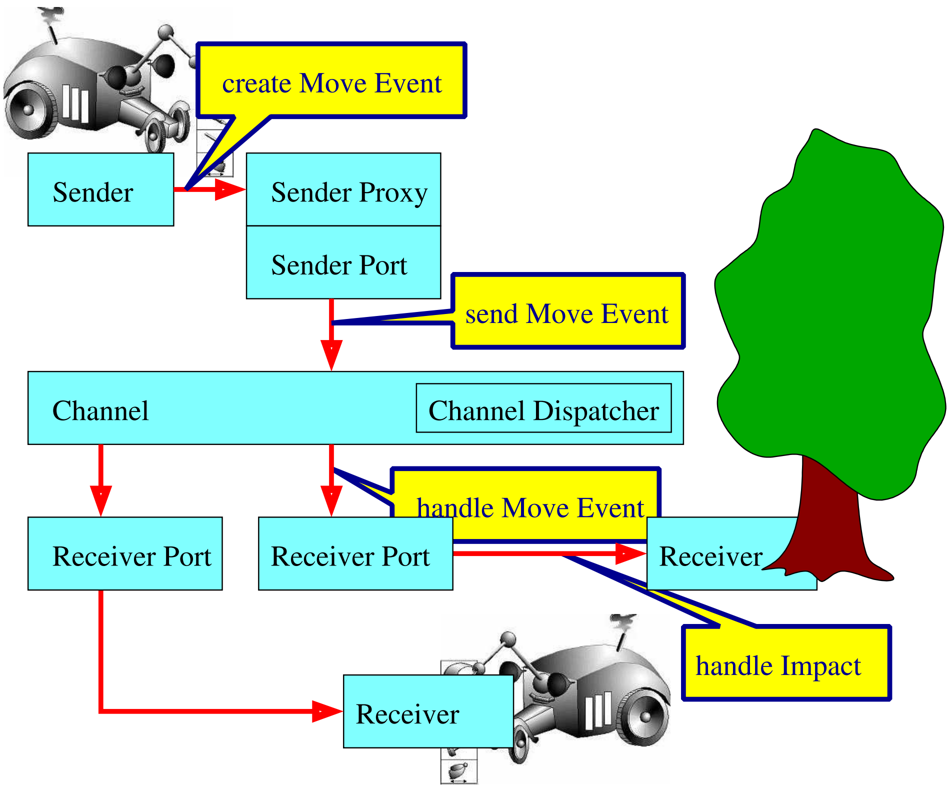

Abbildung 3. *Architektur der Kommunikationskanäle am Beispiel eines „räumlichen“ Kanals*

Verbindung. Somit kann er beispielsweise die bestehende Verbindung jederzeit beenden oder sie auf einen anderen Kanal umleiten.

Der Kanal behält auch die Kontrolle über alle angeschlossenen Empfänger und kann somit jede Verbindung, die er mit einem Empfänger eingegangen ist, wieder auflösen.

7 Ausblick

Neben den sozionischen Fragestellungen, die mit Hilfe von Simulationen von bestimmten Agenten bzw. Agentengruppen untersucht werden können, soll in Zukunft auch die Fähigkeit der Agenten analysiert werden, bestimmte Aufgaben zu lösen und dadurch Ziele zu erreichen. Dabei spielt auch die Kommunikation der Agenten untereinander sowie deren Fähigkeiten zur zielgerichteten Gruppenbildung (Teamfähigkeit) eine entscheidende Rolle. Es ist also zu berücksichtigen, dass nicht nur das Problemfeld der klassischen KI (Problemlösen, Lernfähigkeit, etc.) betrachtet werden muss sondern auch Aspekte, die sich aus dem Vorhandensein mehrerer Agenten ergeben (VKI-Ansatz).

So kann man sich beispielsweise die Frage stellen, welche Kommunikations– und Verhandlungsarten zur gemeinsamen Bewältigung von bestimmten Situationen eingesetzt werden sollen. Zudem sind bestimmte Rollenverteilungen zu analysieren sowie das Verhalten von Agenten unter besonderen Bedingungen, die sich beispielsweise durch Konkurrenz (um gemeinsam zu verwendende Ressourcen) auszeichnen.

Rechnergestützte Simulationen sollen dazu beitragen, die allgemeine Entwicklung in einer gegebenen Umgebung zu veranschaulichen und die Frage nach den Beweggründen der Agenten bei der Planung ihrer Aktionen zu beantworten. Aus diesem Grund ist die Entwicklung, Wartung und Erweiterung eines Simulationssystems, das die Zustände der Agenten und der ihnen zugeordneten Umwelt sowie deren zeitlichen Wandel beschreibt, zu befürworten.

8 Literatur

V. Avrutin, M. Becht, R. Lafrenz, P. Levi, M. Muscholl und M. Schanz: *CoMRoS - Eine Multi-Agenten Architektur für intelligente Robotersysteme.* In Proceedings of the KI 98, Bremen, 1998.

M. Becht, R. Lafrenz, N. Oswald, M. Schule and P. Levi: *A Cooperative Architecture to Control Multi-agent Based Robots.* In Proceedings of the PRICAI 2000, Topics in Artificial Intelligence. Melbourne, Springer, 2000.

Detje, F.: *PSI – Erste Schritte in Richtung sozialen Verhaltens.* Bamberg: Institut für Theoretische Psychologie, Memorandum Nr. 39, 2001.

Dörner, D.: *Bauplan für eine Seele.* Reinbek: Rowohlt, 1999.

E. Hoffmann und P. Levi: *Transparentes Management von Mobilkommunikation.* In R. Dillmann et al., editor, Autonome Mobile Systeme 2000, Universität Karlsruhe, Springer, 2000.

S. Russel, P. Norvig: *Artificial Intelligence – A Modern Approach.* Prentice Hall, 1994.