

Agentenwelten und Simulationsmodelle

Franziska Klügl
Frank Puppe

Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz und angewandte Informatik
Institut für Informatik
Universität Würzburg

Allesgrundweg 12
97218 Gerbrunn

1. Motivation

In diesem Beitrag soll ein Vergleich und eine Synthese zwischen dem Modellschema einer Agentenwelt zur Simulation emergenter Phänomene und einem komponentenbasierten Modellierungsparadigma, wie man es in technischen Domänen findet, dargestellt werden. Das Ziel dieser Überlegungen ist, die Grundlagen für eine Simulationsumgebung zu schaffen, in der gleichermaßen Agentenwelten und komponentenbasierte Maschinenmodelle bearbeitet werden können. Im folgenden beiden Abschnitten werden wir zuerst ein Modellierungsschema für Agentenwelten vorstellen und anschließend einen Rahmen für komponentenbasierte Modelle schaffen. Mit diesen Grundlagen werden wir in Abschnitt 4 zeigen, wo die Unterschiede und vor allem die Gemeinsamkeiten liegen. Am Ende wird noch eine Zusammenfassung und ein Ausblick auf unsere zukünftigen Vorhaben gegeben.

2. Agentenwelten

Ein Agent ist ein System, das bestimmte Ziele in einer komplexen dynamischen Umwelt verfolgt. Es empfängt Reize aus seiner Umgebung und verändert sie durch sein Verhalten (siehe dazu auch Maes 1994). Als Agentenwelt bezeichnen wir Systeme, in dem beliebig viele, auch unterschiedliche Agenten handeln. Neben diesen „aktiven Objekten“ gehören auch passive Objekte zur Welt, die für die Agenten Hindernisse oder benötigte Ressourcen, usw. darstellen können.

In der Literatur finden sich viele Vorschläge für Architekturen einzelner Agenten (z.B. Collins und Jefferson, 1991, oder Drogoul und Ferber, 1994), bzw. Mechanismen, wie ein Agent die zu tätigen Aktionen auswählen kann (z.B. Maes 1991). Wir wollen als Grundlage unserer Untersuchungen nicht nur einen einzelnen Agenten modellieren, sondern eine ganze „Welt“, also mehrere unterschiedliche Agenten und statische Objekte gleichzeitig. In Tyrell und Mayhew (1991) findet sich bereits ein derartiger Ansatz, der allerdings auf Tier-Agenten beschränkt bleibt.

Wir haben einen Modellrahmen für komplette Agentenwelten entwickelt, in dem eine konsequente Modellierung aller Bestandteile einer solchen Welt möglich ist. Dieses Schema dient zum Studium emergenter Phänomene und ist aus einer Anwendung in der Zoologie, der Simulation von Ameisenkolonien inspiriert (siehe dazu Klügl et al., 1996), ist aber auch in anderen Domänen anwendbar.

- Alle Objekte besitzen eine Position in einem „Bezugssystem“. Dieses liefert den geographischen Rahmen für die Simulation. Mittels an ein derartiges System gebundene Parameter, die sich ereignisbasiert oder „kontinuierlich“ verändern können, können allgemeine Verhältnisse, wie beispielsweise „Durchschnittliche Luftfeuchtigkeit“ oder „Tageszeit“ des Bezugssystems „Erdoberfläche“ modelliert werden. Es sollte auch möglich sein, auf dieser Ebene Ereignisse zu definieren, die alle Objekte, die sich in dem betrachteten Bezugssystem aufhalten, beeinflussen und unter bestimmten Bedingungen oder bestimmten Zeitintervallen stattfinden (Damit kann man dem Beobachter des Simulationslaufs eine definierte Möglichkeit geben, in das Experiment einzugreifen). Die Grundlage für einen derartigen Verortungsrahmen bildet eine zweidimensionale Karte aus „Gebietseinheiten“. Durch Verknüpfungen mehrerer derartiger Karten kann man die Dreidimensionalität der modellierten Welt nachbilden.
- Zu einer Agentenwelt gehören unterschiedliche passive Objekte. Sie stellen für die Agenten Hindernisse oder auch Ressourcen dar. Ein passives Objekt besitzt eine Position in einem Bezugssystem und entsprechend seiner Art bestimmte Parameter, z.B. kann eine Energiequelle einen Wert für noch vorhandene Energie aufweisen. Passive Objekte können ihre Umwelt nicht selbständig verändern, allerdings müssen ihre Eigenschaften nicht statisch sein, so kann beispielsweise ein Futterstück nicht bewegen, aber es könnte „kontinuierlich“ vermodern und so für einen Ameisen-Agenten unbrauchbar werden.
- Der größte Teil des Modellierungsaufwandes einer Agentenwelt wird für die aktiven Objekte und ihr Verhalten verwendet werden. Sie besitzen ebenso wie die passiven Objekte eine Art und dazu passende Eigenschaften, also Parameter, aus denen beispielsweise die Motivation für bestimmte Tätigkeiten gewonnen werden kann. Das Verhalten eines Agenten wird durch eine „Rolle“ bestimmt, die das aktive Objekt ein-

deutig verfolgt. Ein Beispiel für wechselnde Rollen wäre z.B. die Zugehörigkeit einer Ameise zu einer Kaste.

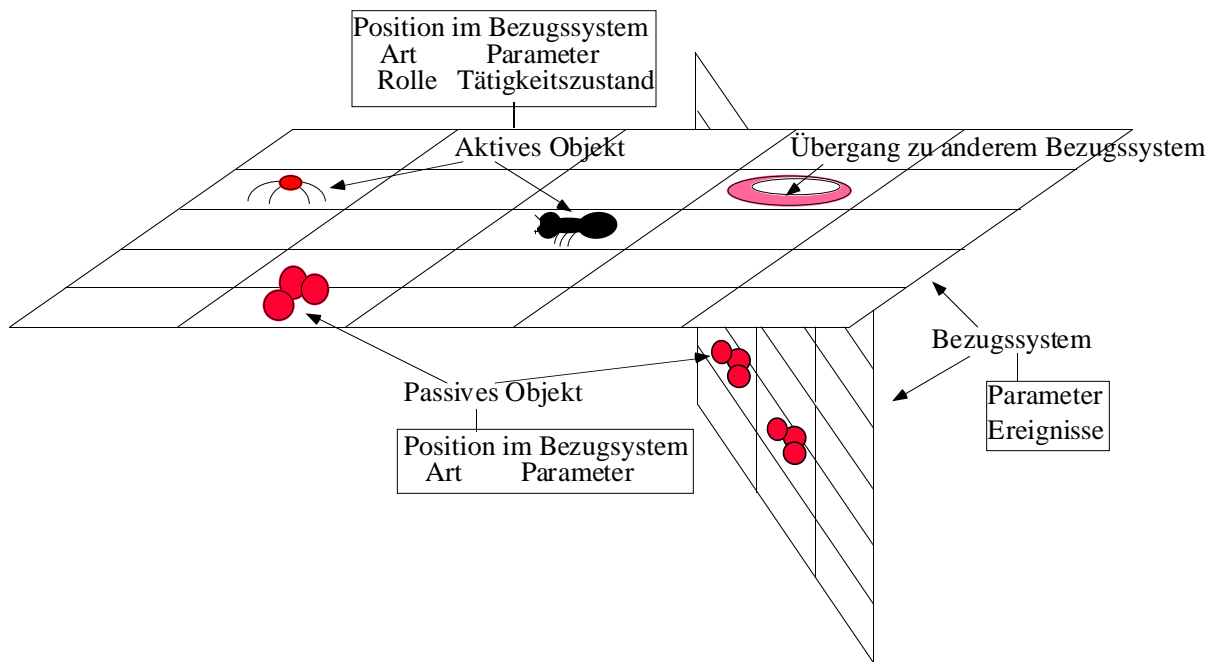


Abb.1: Modellierungsrahmen für eine Agentenwelt. Auf einem Bezugssystem, also einer zweidimensionalen Karte, die mit anderen Bezugssystemen verknüpft ist, können sich neben statischen, passiven Objekten unterschiedliche Arten von aktiven Objekten befinden.

Der interessanteste Punkt an einem Modellierungsrahmen für Agenten ist der Mechanismus mit dem die Aktion selektiert wird, mit der der Agent im nächsten Schritt seine Umwelt verändert. Dazu befindet sich der Agent einem „Tätigkeitszustand“, zusätzlich zu seinem internen Zustand, der sich aus den Werten der Parameter zusammensetzt. Einer solchen Tätigkeit sind Aktionen zugeordnet, die das aktive Objekt ausführt, wenn es sich im entsprechenden Zustand befindet. Dieser bestimmt auch, wie der Agent seine Umwelt wahrnimmt. Diese Abhängigkeit der Sensor-Empfindlichkeit vom aktuellen Zustand macht Sinn, wenn man beispielsweise annimmt, daß bei einer Ameise die Wahrnehmung bei der Tätigkeit „Schlafen“ niedriger sein, als beim „Erkunden“. Auch die Art der Objekte, nach denen das aktive Objekt Ausschau hält, kann je nach Zustand unterschiedlich sein (Beispielsweise interessiert im Alarmierungszustand ein Futterobjekt weniger als ein Feind). Auf der Basis der wahrgenommenen Reize und dem gesamten inneren Zustand wird mittels Regeln entschieden, ob der aktuelle endet, bzw. welcher der nächste Tätigkeitszustand ist. Das „Feuern“ einer Regel kann zusätzlich von einer Wahrscheinlichkeit abhängig gemacht werden, damit wird eine statische Zuordnung „Tätigkeit“ zu „Stimulus“ wie bei üblichen reaktiven Agenten (Drogoul und Ferber, 1994) umgangen und die Aktionsfolgen eines Agenten

erhalten somit einen nicht-deterministischen Charakter. Tätigkeitszustände können auch unterschiedliche Prioritäten haben, bis hin zur Unterbrechung gerade ausgeführter Tätigkeiten. Um Handlungsfolgen oder Handlungsalternativen ausführen zu können, um zum Beispiel abstraktere Ziele zu erreichen, kann man Verhaltensweisen auf verschiedenen Abstraktionsebenen definieren.

Die verschiedenen Aktionen, die ein Agent ausführen kann, sind domänenabhängig. Nicht jeder Agent kann sich apriori auf dem Bezugssystem bewegen oder mit anderen Agenten kommunizieren.

Mit diesem Repräsentationsschema einer Agentenwelt haben wir eine Simulationsumgebung realisiert und bisher auf die Nachbildung von verschiedenen Verhaltensweisen von Ameisen angewendet (siehe Klügl et al., 1996)

3. Simulationsmodelle

Wir wollen uns hier auf Modelle beschränken, wie sie in der funktionalen Diagnostik zur Feststellung von Diskrepanzen zwischen im realen System beobachteten Eigenschaften und durch Simulation festgestellte „Normalwerte“ verwendet werden (siehe dazu auch Puppe 1990). Das vorzustellende komponentenbasierte Modellbildungparadigma findet man vor allem in der Diagnostik von technischen Geräten, z.B. Druckmaschinen. Ein Modell besteht dabei aus Komponenten und Materialien.

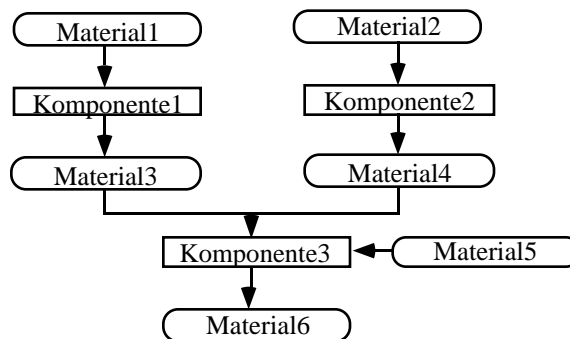


Abbildung 2: Beispielschema eines komponentenbasierten Modells

Eine Komponente kann man auf dieser Abstraktionsebene als eine „black-box“ sehen: Jedes dieser Systemteile besitzt Eingangs- und Ausgangsmaterialien mit bestimmten Eigenschaften („Parameter“). Die Eingangsmaterialien werden aufgrund eines inneren Zustands der Komponente in Ausgangsmaterialien überführt. Dabei können die Eigenschaften eines Materials oder das Material selbst verändert werden. Eine Komponente hat also nur Einfluß auf die direkt mit ihr verknüpften Materialien und deren Eigenschaften. Es muß also nur dieses lokale Verhalten der jeweiligen Komponenten beschrieben werden.

Diese Verarbeitung kann mittels Regeln oder Formeln geschehen, je nach Wertebereich der Materialeigenschaft.

Als Komponenten modelliert man üblicherweise die aktiven, oft „festen“ Systemteile, wie Maschinen, mit Materialien die passiven „beweglichen“, von außen beobachtbaren Systemteile, z.B. die Güter, die in den Maschinen bearbeitet werden. Die Simulation geschieht durch sukzessives Propagieren der Werte der Materialien-Eigenschaften durch das funktionale Modell.

4. Überlegungen

Die erste Überlegung, eine Verbindung zwischen den beiden oben beschriebenen Modellschemata zu schaffen, besteht darin, sie hierarchisch anzuordnen. Das bedeutet, man kann eine einzelne Komponente auf einer niedrigeren Abstraktionsebene als ein Agentensystem modellieren, um durch Simulation dieser Agenten ihren Einfluß auf die Eingangsmaterialien und ihre Parameter zu bestimmen. So kann man beispielsweise eine Fertigungslinie als funktionales Modell darstellen, die einzelnen Maschinen als Agentensysteme. Auf der anderen Seite könnte ein Agent ein funktionales Modell benutzen, um die Aktionen mit denen er seine Umwelt verändert, nachzubilden. Diese Hierarchie kann eine ähnliche Struktur besitzen, ähnlich wie ein Agent wiederum aus vielen kooperierenden Agenten, und eine Komponente aus mehreren weniger komplexen Teil-Komponenten bestehen kann.

Man kann aber auch eine etwas andere Sichtweise erlangen, wenn man die Struktur eines funktionalen Modells direkt mit dem oben darstellten Agentenwelt-Modell vergleicht:

- **Komponente und aktiver Agent:** Die Identifizierung einer Komponente als Agent ist naheliegend. Es sind im entsprechenden Modell jeweils die einzigen Bestandteile, die andere Teile des Systems auf der Basis ihres inneren Zustandes verändern können. Das funktionale Modell hat allerdings einige gravierende Einschränkungen: Es sollte aus Modellsicht keine direkte Kommunikation, keinen direkten Einfluß zwischen mehreren Komponenten geben. Dies geschieht immer über geteilte Materialien. Nun kann man die Stoffe, die aktive Objekte austauschen, auch als Materialien modellieren, dies bedeutet aber bei einem regen Austausch unterschiedlicher Informationen eine Redundanz. Ein weiterer großer Unterschied ist, daß in einem funktionalen Modell meist keine Bewegung der Komponenten vorgesehen ist, im Gegensatz zu Agentenwelt-Modellen, in denen sich Agenten sehr wohl bewegen können. Es existieren aber auch Systeme, die oft funktional modelliert wurden, bei denen Komponenten ihre Position wechseln konnten, z.B. in einem Transportsystem ein Wagen. Eine funktionale Modellierung entspricht dabei einer gefährlichen Abstrahierung, da ein Fehler, wie kollo-

dierte Transportwägen, nicht mehr nachgebildet werden kann. Also ist eine Erweiterung der funktionalen Komponenten um die Möglichkeit, ihre Position zu wechseln, sinnvoll.

- **Material und passives Objekt:** Analog zu der Verbindung zwischen Komponente und aktivem Objekt, existiert eine Vergleichbarkeit zwischen einem Material und einem passiven Objekt. Beide Modellstrukturen sind per definitionem nicht in der Lage auf andere Bestandteile des Systems zu wirken. Sie können aber beide die Werte ihrer Parameter auch ohne Komponenten-Agenten-Einfluß verändern. Bei einem Material muß dies modelliert werden, wenn es sich beim Transport von einer Komponente zur nächsten verändert, z.B. wenn es an Temperatur verliert.
- **Bezugssysteme:** Ein funktionales Modell besitzt apriori keine Modellierung der räumlichen Zusammenhänge. Die Modellstruktur spiegelt nur abstrahierte, rein funktionale Zusammenhänge, bei der im Idealfall die Anordnung und Distanz zwischen Komponenten keine Rolle spielen sollten. Verändert sich aber ein Material beim Transport von einer Komponente zur anderen, oder sind Effekte zu simulieren, die nur aufgrund der räumlichen Nähe oder Entfernung mehrerer Komponenten auftreten, ist die Modellierung der realen Anordnung notwendig. (Beispielsweise bei Brinkop et al. 1995). Deshalb scheint eine Bezugssystem-Modellierung in bestimmten Fällen eine Bereicherung der funktionalen Modellierung.
- **Zusammenhänge:** Es scheinen sich trotz der obigen Ausführungen noch Widersprüche aufzutun. Diese gründen in der extrem dynamischen Struktur einer Agentenwelt. Die feste Zuordnung zwischen einer Komponente und ihren Eingangs- und Ausgangsmaterialien paßt scheinbar nicht zu den zeit- und positionsabhängigen Verbindungen zwischen aktiven und passiven Objekten. Abstrahiert man diese aber, kommt man zu einem funktionalen Modell. So kann man unterschiedliche Futterobjekte, die eine Ameise ins Nest trägt, als ein Eingangsmaterial mit unterschiedlichen Eigenschaften, das an seiner Position verändert wird, betrachten. Ein weiterer, wichtiger Unterschied ist möglicherweise fehlende Persistenz eines Agenten. In der Domäne der Simulation von Tierpopulationen ist es oft der Fall, daß Agenten zerstört werden, bzw. neue Agenten entstehen. In funktionalen Modelle stellt dies mit seinen eigentlich fest „verdrahteten“ Zuordnungen von Materialien und Komponenten ein Problem dar. Eine Lösung durch selbständige Neuorganisation des Modells, also wie in einer Agentenwelt erwünscht, scheint nur mit zusätzlichem Strukturwissen in jeder Komponente möglich.

Das Konstrukt einer Agentenwelt ist demnach gerade durch die Strukturen, die eine räumliche Modellierung (Bezugssysteme) und so Bewegung auch von Komponenten ermöglichen, das mächtigere Paradigma. Funktionale Modelle aber verlieren durch ihren

hohen Abstraktionsgrad an Potential, solche räumliche Zusammenhänge darzustellen. Das ist aber oft notwendig, um bestimmte Fehler zu entdecken.

5. Stand der Entwicklung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden konzeptionelle Überlegungen, über die Gemeinsamkeiten von funktionalen Modellen, wie sie in der modellbasierten Diagnostik verwendet werden und Agentenwelt-Strukturen, die für die Simulation von Tierpopulationen entwickelt wurden, angestellt. Dabei bildete sich die Hypothese, daß ein funktionales Modell und ein Modell einer Agentenwelt viele gemeinsame Strukturen aufweisen und es deshalb möglich sein müßte, Anwendungen beider Paradigmen mit derselben Simulationsumgebung zu realisieren. Es existiert am Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz an der Universität Würzburg bereits ein Prototyp einer Shell für das oben beschriebene Agentenwelt-Schema und es wird auf der Basis der dargestellten Überlegungen geplant, diese Umgebung so zu erweitern, daß damit auch eine Simulation von funktionalen Modellen möglich ist. Da funktionale Modelle aber vor allem in der modellbasierten Diagnostik verwendet werden, wollen wir im Endeffekt versuchen auf der Basis dieser Abbildung der Modellstrukturen auch Diagnostik in Agentenwelten zu betreiben.

Literatur

- A.BRINKOP, S.KOCKSKÄMPER, M.SCHICK und M. ZIMMERMANN-STURM (1995): „Die Integration verschiedener Modellierungsarten für die Modellbasierte Diagnostik“ in *KI* 6/95, pp.46-50
- R.J.COLLINS and D.R.JEFFERSON (1991): „Representations for Artificial Organisms“ in J.-A. MEYER and S. WILSON (Hrsg.): *From Animals to Animats. Proceedings of the first International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour* Cambridge, MA: MIT Press, 1991, pp. 381-390
- A.DROGOUL and J. FERBER (1994): „Multi-Agent-Simulation as a Tool for Studying Emergent Processes in Societies.“ in: N.GILBERT and J.DORAN (Hrsg): *Simulating Societies - The Computer Simulation of Social Phenomena*, London, UCL Press, 1994: Seite 127-142.
- F.KLÜGL, F.PUPPE, U.RAUB und J.TAUTZ (1996): „Ein Simulationssystem zur Darstellung emergenten Verhaltens“ in ASIM (1996):*Proceedings zur Tagung Simulation und Animation '96*, (= ASIM-Mitteilungen Nr. 54), Magdeburg 1996
- P.MAES (1994): „Modeling Adaptive Autonomous Agents“ in: *Artificial Life*, Vol 1, Nr. 1/2, pp. 135-162

- P.MAES (1991): „A Bottom-up Mechanism for Behaviour Selection in an Artificial Creature“ in: J.-A. MEYER and S. WILSON (Hrsg.): *From Animals to Animats. Proceedings of the first International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour* Cambridge, MA: MIT Press, 1991
- F.PUPPE (1990): „Problemlösungsmethoden in Expertensysteme“, Springer, 1990
- T.TYRELL and J.E.W.MAYHEW (1991): „Computer Simulation of an Animal Environment“ in J.-A. MEYER and S. WILSON (Hrsg.): *From Animals to Animats. Proceedings of the first International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour* Cambridge, MA: MIT Press, 1991, pp. 263-272