

Optimierungsalgorithmen für die Multiagentensimulation in der betriebswirtschaftlichen Anwendung

Dipl.-Kfm. Ingmar Ickerott
Ingmar.Ickerott@Uni-Osnabrueck.de
IMU Institut, Universität Osnabrück
Katharinenstr. 1-3, 49069 Osnabrück

Kurzfassung

Die Multiagentensimulation geht in ihrer Grundkonzeption von einem anderen Verhältnis von Simulation und Optimierung aus als die herkömmliche Simulation. Der Beitrag hat zum Ziel, die Unterschiede zwischen dem zentralen Optimierungsansatz in der objektorientierten Simulation und der dezentralen Lösungssuche in der agentenorientierten Simulation deutlich zu machen. Ein interessanter Aspekt der agentenbasierten Lösungssuche besteht in der Integrierbarkeit von sehr unterschiedlichen Optimierungs- bzw. Verbesserungsverfahren in einem Modellierungsansatz. Für eine sinnvolle Unterstützung betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme fehlt den agentenorientierten Simulationssystemen jedoch eine systemweite Verbesserungskomponente. Es wird ein Konzept vorgestellt, wie die Lösungssuche in der Multiagentensimulation weiterentwickelt werden kann.

1 Einleitung

Aus Sicht der Betriebswirtschaftslehre ist die Simulation eine etablierte Methode des Operations Research, deren Anwendungsgebiet sich über Problemstellungen erstreckt, die durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet sind und in Folge dessen weder in einem Optimierungsmodell abgebildet noch exakt mit mathematischen Methoden gelöst werden können. Bei der Simulation wird versucht, im Sinne heuristischer Verfahren durch systematisches Probieren eine hinreichend gute Lösung zu finden. Das Simulationsmodell bildet eine Parameterkonstellation auf den zur Vorteilhaftigkeitsbeurteilung vorgesehenen Zielerreichungsgrad ab. Die systematische Suche nach guten Systemstrukturen und Parameterkonstellationen kann durch den Einsatz von algorithmischen Verfahren der Lösungssuche automatisiert werden.

Die Anwendung des Agentenparadigmas als Strukturkonzept für die Simulation betriebswirtschaftlicher Systeme, z.B. in Produktion und Logistik, findet in der Literatur und Praxis zunehmend Beachtung. Softwareagenten sind insbesondere für die Modellierung von Systemen geeignet, die eine raumbezogene und zeitliche Verteilung von interdependenten Ressourcen (Personen, Material und Informationen) sowie deren Kontrolle aufweisen. Ein für diese Charakteristika typisches Anwendungsgebiet stellt das Supply Chain Management dar. In einer Supply Chain sind die Produktionsfaktoren auf verschiedene autonom agierende Akteure verteilt, die auf der Basis wirtschaftlicher Eigenständigkeit miteinander kooperieren und um den besten individuellen Zielerreichungsgrad konkurrieren.

Das Verhältnis von Simulation und Optimierung stellt sich in der agentenbasierten Simulation grundsätzlich anders dar als in dem klassischen Ansatz. Der Beitrag hat zum Ziel, die Unterschiede zwischen dem zentralen Optimierungsansatz in der objektorientierten Simulation und der dezentralen Lösungssuche in der agentenorientierten Simulation deutlich zu machen. Ein interessanter Aspekt der agentenbasierten Lösungssuche besteht in der Integrierbarkeit von sehr unterschiedlichen Optimierungs- bzw. Verbesserungsverfahren in einem Modellierungsansatz. Probleme des agentenorientierten Optimierungsansatzes werden aufgezeigt. Abschließend wird ein Konzept vorgestellt, wie die Lösungssuche in der Multiagentensimulation weiterentwickelt werden kann.

2 Grundkonzepte der objektorientierten Simulation und Optimierung

Die objektorientierte Simulation wendet in der Regel die Methode der ereignisorientierten bzw. prozessorientierten Simulation an. Der hier dargestellte datenbankgetriebene Ansatz ist in den neunziger Jahren von Witte und Claus auf der Basis älterer Ansätze von Goldberg und Robson entwickelt worden [1].

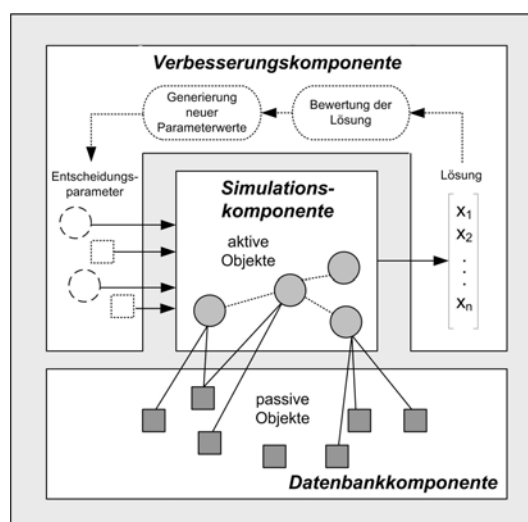


Bild 1: Objektorientierter Simulator mit Verbesserungskomponente

Die Modellierung unterscheidet passive und aktive Objekte (s. Bild 1). Passive Objekte stellen Informationen oder physische Dinge dar, die keine Veränderungen ihrer selbst und ihrer Umgebung veranlassen können. Sie sind reine Datenspeicher und können aus diesem Grund idealerweise in einer Datenbank verwaltet werden. Aktive Objekte sind handelnde Objekte. Angestoßen durch das Versenden von Nachrichten können sie passive Objekte verändern und andere aktive Objekte zu Handlungen auffordern. Eine der Methoden des aktiven Objekts fungiert als ein fest definierter Lebensplan, der zu Beginn einer Simulation aktiviert wird. Dieser steuert den Ablauf der Handlungen (Prozesse) des Objektes während eines Simulationslaufes. Zur Parametrisierung der aktiven Objekte

können Daten als Attribute beim Objekt gespeichert und mit Hilfe von Nachrichten manipuliert werden. Die Differenzierung in passive und aktive Objekte ist natürlich abhängig von der untersuchten Problemsituation. Ziel der Simulation ist es, auf experimentellem Wege zu guten Parameterkonstellationen der aktiven Objekte zu gelangen. Ein gutes Simulationssystem sollte eine Optimierungskomponente enthalten, die automatisch gute Konstellationen der Entscheidungsparameter generiert. Hinter dieser Forderung steht der Wunsch, den Anwender der Simulation bei der Durchführung von Experimenten und der Suche nach einer guten Lösung zu entlasten. Optimierung ist ein Suchvorgang nach optimalen Lösungen innerhalb einer Menge von Varianten einer gegebenen Probleminstanz, wobei eine Lösung in Form eines Vektors eine mögliche Kombination konkreter Ausprägungen aller Entscheidungsvariablen einer Probleminstanz beschreibt. Die Menge aller Lösungen bildet den Lösungsraum. In der Regel wird das Optimierungsproblem durch Nebenbedingungen erschwert, die den Suchraum in zulässige und unzulässige Lösungen teilen. Ob und welche zulässige Lösung zu einer optimalen Lösung wird, entscheidet die Zielfunktion, die eine Lösung aus dem Suchraum im Zielfunktionsraum abbildet.

Leider existieren nur für sehr spezielle Aufgabenstellungen Optimierungsverfahren. Daher werden anstatt exakter Verfahren für gewöhnlich heuristische Verfahren eingesetzt, die den Anspruch der Optimierung fallenlassen und sich mit der Ermittlung einer hinreichend guten Lösung zufrieden stellen. Der Begriff Optimierung wird durch Verbesserung oder Lösungssuche ersetzt. Welche Heuristik bzw. Meta-Heuristik dabei am effektivsten und effizientesten ist, bleibt trotz vieler wissenschaftlicher und nicht wissenschaftlicher Versuche eine offene Frage. Realisiert wird die Heuristik in einer zentralen und dem Simulationsmodell übergeordneten Verbesserungskomponente. Das Simulationssystem setzt sich damit aus einer Datenbank-, einer Simulations- und einer Verbesserungskomponente zusammen.

Erschwert wird die Lösungssuche, wenn ein mehr- bzw. multikriterielles Entscheidungsproblem vorliegt, d.h. ein mehrdimensionaler Zielfunktionsraum gegeben ist. Viele betriebliche Entscheidungsprobleme, z.B. die Maschinenbelegungsplanung bei Werkstattfertigung, weisen parallel zu verfolgende Ziele auf. Typischerweise sind diese Ziele nicht komplementär, sondern stehen teilweise oder vollständig in Konflikt zueinander. Sofern der Entscheidungsträger über alle entscheidungsrelevanten Informationen verfügt und alle entscheidungsrelevanten Parameter beeinflussen kann, ist eine integrierte Lösung des Problems möglich. Innerbetriebliche Probleme, die sich gut abgrenzen lassen, können diese Prämisse erfüllen. Für die Ermittlung von guten Lösungen eröffnen sich dann zwei Wege. Zum einen besteht die Möglichkeit, die verschiedenen Zieldimensionen in einer skalaren Ersatzzielfunktion zusammenzufassen. Hierzu muss der Entscheidungsträger a-priori Gewichtungen der Ziele festlegen. In der Praxis stößt dieses Vorgehen jedoch wegen der Schwierigkeit der Festlegung von Gewichten häufig auf Ablehnung. Zum anderen kann unter Verwendung des Pareto-Effizienzkriteriums nach einer Menge effizienter (pareto-optimaler) Lösungen gesucht werden, die a-posteriori dem Entscheidungsträger zur Auswahl gestellt werden.

Die Komplexität betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme erweitert sich um ein Vielfaches, wenn die Prämisse vollständiger Information und Entscheidungskompetenz aufgegeben wird. Im Supply Chain Management kooperieren in der Regel wirtschaftlich eigenständige Unternehmen mit konkurrierenden Zielsetzungen und verteilter Ressourcenkontrolle. Prämissen, die typisch für die neue Institutionenökonomik sind,

müssen berücksichtigt werden, damit in der Simulation realitätskonforme Ergebnisse erzeugt werden können. Hierzu gehören der methodologische Individualismus, opportunistisches Handeln, asymmetrische Information bzw. eine beschränkte zentrale Kontrolle [2]. Es liegt nahe, für diese Art von Problemstellungen das Konzept der Softwareagenten bei der Modellierung von Simulationssystemen zu verwenden.

3 Optimierung und agentenorientierte Simulation

Das Grundkonzept der agentenorientierten Simulation, wie es in dem Prototypen JASSi (Java Agentbased Supply Chain Simulator) realisiert ist, basiert im Wesentlichen auf den Klassen Simulation(sagent), Agent und Plan. Es erweitert den Ansatz für die objektorientierte Simulation, der in Abschnitt 2 dargestellt worden ist. Einführende Arbeiten zum Thema Multiagentensimulation finden sich z.B. bei Klügl [3].

Der Simulationsagent (kurz SimAgent) organisiert den Gesamtprozess. Er übernimmt die logische und zeitliche Koordination der Zustandsänderungen, die dezentral auf der Ebene der Agenten veranlasst werden. Damit stellt er sicher, dass sich die Handlungen der Agenten in der Simulationszeit auf realitätsentsprechende Weise parallel weiterentwickeln können. Hierzu wird ein spezielles Interaktionsprotokoll eingesetzt. Zusätzlich zu den genannten Aufgaben speichert der SimAgent relevante Informationen für systemweite Auswertungen.

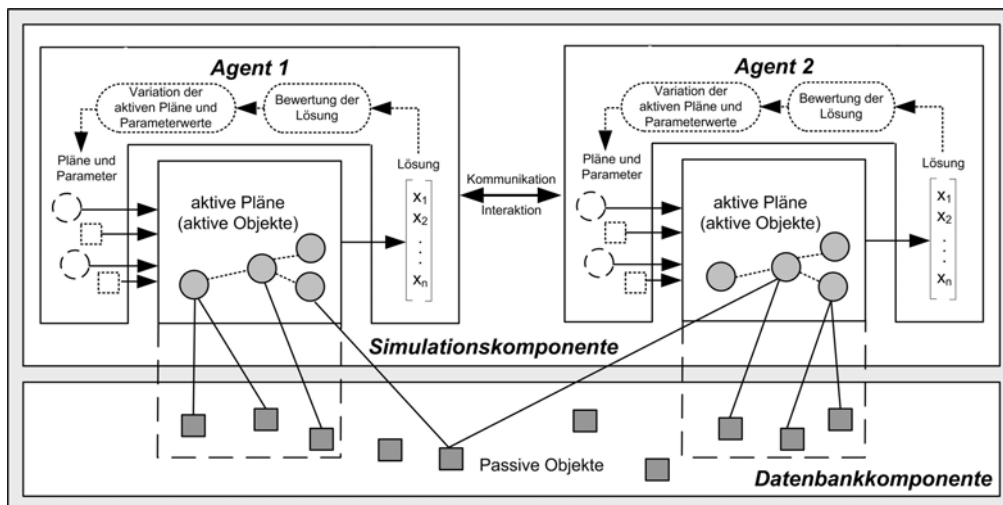


Bild 2: Agentenbasierter Simulator mit dezentraler Lösungssuche

Die Agenten sind selbständig handelnde Elemente des Simulationssystems. Sie verwalten eine persönliche Ereignisliste, wählen selbständig Handlungen aus, die als Pläne modelliert sind, und terminieren diese. Analog zu den aktiven Objekten des objektorientierten Ansatzes haben Pläne die Funktion, den Zustand des Simulationsmodells fortzuschreiben (s. Bild 2). Pläne sind etwa einzelne Aktivitäten oder Aktivitätenfolgen. Im Gegensatz zur objektorientierten Simulation haben Agenten keine feste Abarbeitungsreihenfolge für Pläne. Diese werden entsprechend der Ziele bzw. der Zielfunktion des Agenten aktiviert, modifiziert und deaktiviert. JASSi-Agenten besitzen

eine hybride Architektur, d.h. sie haben sowohl eine reaktive Komponente für sofortige Reaktionen in relativ klar definierten Situationen, als auch eine deliberative Komponente, die komplexere Planungsalgorithmen ermöglicht. Pläne werden demnach etwa direkt aufgrund einer wahrgenommenen Umweltsituation, oder nach einem umfangreicheren Berechnungsvorgang, der Interaktionen mit anderen Agenten einschließen kann, aktiviert. Agenten verfügen über nur für sie zugängliches Wissen und besitzen die Fähigkeit, Ressourcen in ihrer Umwelt zu verändern. Beide Konzepte, Wissen und Ressourcen der Umwelt, können als passive Objekte aufgefasst werden und in einer Datenbank verwaltet werden. Die Koordination mit anderen Agenten erfolgt zum einen durch die Veränderung der gemeinsamen Umwelt, d.h. der für mehr als einen Agenten manipulierbaren passiven Objekte, und zum anderen durch den direkten Austausch von Nachrichten.

Ein Agent hat begrenzte Informationen über die entscheidungsrelevanten Aspekte (Informationsasymmetrie) seiner Aufgaben und ist deshalb auf die Interaktion mit anderen Agenten angewiesen. Grundlage der Verhaltensbestimmung sind, entsprechend der Prämisse des opportunistischen Handelns, ausschließlich die Ziele des Agenten. Die Lösungssuche findet in der Multiagentensimulation auf der Ebene des einzelnen Agenten statt. Entscheidungen werden während des simulierten Prozessablaufs getroffen. Die Verbesserungskomponente(n) sind, anders als bei der objektorientierten Simulation, der Simulationskomponente untergeordnet. Da methodologischer Individualismus vorherrscht, können Agenten individuell rational entscheiden und dabei unterschiedliche Heuristiken einsetzen, um bessere Pläne bzw. bessere Parameterkonstellationen zu generieren. Der Ansatz ist offen für eine Kombination von klassischen Suchalgorithmen der Künstlichen Intelligenz (KI) mit konnektionistischen Ansätzen oder verschiedenen rekombinations- und mutationsbasierten Metaheuristiken. Zur Koordination der Agentenhandlungen können Interaktionsprotokolle für bi- und multilaterale Verhandlungen eingesetzt werden. Eine Kombination unterschiedlicher Verfahren zur Lösungssuche auf Agentenebene führt zu Agenten, die sowohl KI-Methoden als auch numerische Verfahren (insbesondere OR-Verfahren) beherrschen. Einen solchen Ansatz verfolgt Falk mit dem Konzept Teilintelligenter Agenten [4]. Die KI-Komponente der Agenten hat zwei Aufgaben. Sie lässt sich einerseits zur Restriktionsprüfung nutzen, wo Nebenbedingungen nicht als mathematische Funktionen ausgedrückt werden können. Andererseits wird sie eingesetzt, um entsprechend der Situation und den Benutzeranforderungen geeignete Algorithmen auszuwählen. Der Ansatz zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität aus.

Das vordringliche Ziel von Multiagentensimulationen betrieblicher Systeme ist, Lösungen für verteilte Planungsprobleme zu erzeugen, in denen das Verhalten der autonom planenden Akteure (Unternehmen) durch Anreize (Rabatte, Strafen, Verhaltensregeln etc.) so manipuliert wird, dass die Ergebnisse einer zentralen Planung (annähernd) erreicht werden. Die Simulation ist ein probates Mittel, um eine hinreichend gute Ausgestaltung der Anreizinstrumente zu ermitteln, damit z.B. die Rahmenbedingungen für die Zusammenarbeit in Supply Chains verbessert werden. Sie dient quasi als Instrument zur Meta-Verhandlung. Der bisher vorgestellte Ansatz bietet jedoch keinerlei Unterstützung für den Simulationsanwender, um systematisch zu solchen Lösungen zu gelangen. Erst die Einführung einer übergeordneten Verbesserungskomponente macht die Multiagentensimulation für die betriebswirtschaftliche Anwendung interessant. Diese Komponente muss dem Anwender Heuristiken anbieten, um systematisch und zielgerichtet Variationen der Interaktionsprotokolle, der Art der

Lösungsbewertung, Planaktivierung und Parametergenerierung auf Agentenebene, sowie der passiven Objekte des Simulationsmodells zu ermöglichen (s. Bild 3).

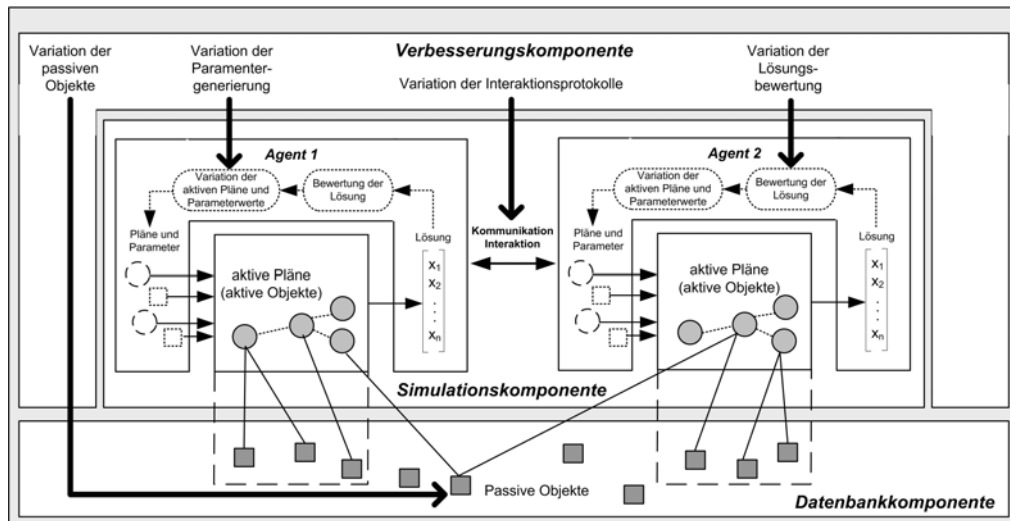


Bild 3: Agentenbasierter Simulator mit übergeordneter Verbesserungskomponente

4 Fazit

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht hat die agentenbasierte Simulation und Optimierung dann deutliche Vorteile, wenn Entscheidungsprobleme auf dezentralem Wege gelöst werden (sollen). Die große Flexibilität des Ansatzes erzeugt jedoch Unsicherheiten bei der Anwendung. Es besteht stets die Gefahr, sich in einer unstrukturierten Suche nach guten Lösungen zu verlieren, oder, um ersteres zu verhindern, den (manuellen) Aufwand bei der Durchführung der Experimente so zu erhöhen, dass die Simulation unrentabel wird. Das Potential der agentenbasierten Simulation kann erst voll ausgeschöpft werden, wenn eine übergeordnete Verbesserungskomponente eingeführt wird, die Heuristiken zum Zwecke der Verbesserung systemweiter Entscheidungsparameter anbietet.

Literatur

- [1] Witte, T.: Datenbankgetriebene objektorientierte Simulation, in: Biethahn et al. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe, Physica-Verlag, Heidelberg (1999), S. 22-49.
- [2] Richter, R.; Furubotn, E.G.: Neue Institutionenökonomik, 3. Aufl., Tübingen, 2003.
- [3] Klügl, F.: Multiagentensimulation – Konzepte, Werkzeuge, Anwendung, Addison-Wesley, 2001.
- [4] Falk, J.: Ein Multi-Agentensystem zur Transportplanung und -steuerung bei Speditionen mit Trampverkehr: Entwicklungen und Vergleich mit zentralisierten Methoden und menschlichen Disponenten, Sankt Augustin (Infix), 1995.