

1. Agenten

Agenten sind klar identifizierbare Softwareentitäten mit wohldefinierten Abgrenzungen und Schnittstellen. Dennoch sind sie eingebettet in einer festgelegten Umgebung, sodass sie über Sensoren Informationen über ihre Umgebung erhalten und über Aktoren mit ihrer Umgebung interagieren können. Für einen speziellen Zweck entwickelt, verfolgen sie autonom ihre Ziele. Autonom heißt, dass sie die Kontrolle über ihren internen Zustand und ihrem eigenen Verhalten haben. Außerdem sind sie in der Lage, bei der Verfolgung ihrer Entwurfsziele ein flexibles Problemlösungsverhalten an den Tag zu legen. Sie müssen sowohl reaktiv (in der Lage, rechtzeitig auf Veränderungen in ihrer Umgebung zu reagieren) als auch proaktiv (in der Lage, opportunistisch neue Ziele zu verfolgen) sein. []

Eine von vielen Forschern akzeptierte Definition wird von M. Wooldridge angegeben:

“An agent is an encapsulated computer system that is situated in some environment, and that is capable of flexible, autonomous action in that environment in order to meet its design objectives.”
(dt.: Ein Agent ist ein gekapseltes Computersystem, das sich in einer bestimmten Umgebung befindet und in dieser Umgebung zu flexiblen, autonomen Handlungen fähig ist, um seine Planungsziele zu erreichen.) []

Agenten können in verschiedene Kategorien einsortiert werden, die ihr Verhalten beschreiben. Die simpelste Art der Agenten sind die reaktiven Agenten. Auf Grundlage von Sensorinformationen entscheiden sie nach festgelegten Regeln, welche Aktion sie durchführen. Eine Erweiterung davon sind beobachtende Agenten, die Informationen darüber sammeln, was ihre Aktionen in der Umwelt bewirken und daraufhin weitere Aktionen vornehmen.

Adaptive Agenten...

[...]

In der Welt der Agenten wird es schnell deutlich, dass die meisten Probleme mehrere Agenten erfordern oder einbeziehen: um den dezentralen Charakter des Problems, die vielfältigen Kontrollmöglichkeiten, die vielfältigen Perspektiven oder die konkurrierenden Interessen darzustellen. Außerdem müssen die Agenten miteinander interagieren: entweder um ihre individuellen Ziele zu erreichen oder um die Abhängigkeiten zu bewältigen, die sich aus der Lage in einer gemeinsamen Umgebung ergeben. Diese Interaktionen können von einem einfachen Informationsaustausch über die Aufforderung zu bestimmten Handlungen bis hin zu Kooperation, Koordination und Verhandlung reichen, um voneinander abhängige Aktivitäten zu organisieren.

2. Multi-Agenten System

Das Forschungsfeld von Multi-Agentensystemen beschäftigt sich unter anderem mit der Bildung von Koalitionen mehrerer autonomer Programme (Agenten), die verschiedene Präferenzen, Ziele und Fähigkeiten haben. Agenten sollen so konstruiert sein, dass sie mit anderen Teilnehmern in ihrem Multi-Agentensystem koordinierte Aktionen durchführen, um zum Beispiel ihre Leistung zu verbessern oder um Ziele zu erfüllen, die jenseits der Fähigkeiten eines individuellen Agenten liegen. Diese Art der Interaktion ist vor allem für kooperativ arbeitenden Agenten sinnvoll, kann aber auch für ein System nützlich sein, in dem Agenten egoistisch agieren. []

Ein Multi-Agenten System benötigt

Solche Agentenstrukturen geben an, wie die Teilnehmer auf lange Sicht miteinander interagieren und sind Leitfäden, die autoritäre Beziehungen, Datenfluss, Ressourcenzuteilung, Koordinationsmuster und eine Vielzahl an Systemcharakteristiken beeinflussen. Es hilft dabei, dass einfache Agenten besser mit den komplexen Verhaltensweisen hoch entwickelter Agenten zusammenarbeiten. Das impliziert die Annahme, dass die Organisation einem bestimmten Grund dient, sodass die Struktur, die Größe und die Charakteristik der Organisationsstruktur auch das Verhalten des Systems beeinflussen kann.

Generell gibt es keine Organisationsstruktur, die für alle Situationen geeignet ist []. In einigen Fällen reicht eine Organisationsstruktur nicht aus, sodass mehrere Strukturen miteinander verknüpft werden müssen. Klar ist, dass jede Herangehensweise für einige Probleme besser geeignet ist als für andere. Organisationen können dafür genutzt werden, um den Umfang der Interaktionen einzuschränken, die Leistung von vielen effizienter zu nutzen, Ungewissheit zu verringern oder zu bewältigen, Redundanz zu verringern oder sie ausdrücklich zu erhöhen oder um übergeordnete Ziele zu formalisieren, die kein einzelner Akteur kennen kann. Gleichzeitig können sich Organisationen aber auch negativ auf den Rechen- oder Kommunikationsaufwand auswirken, die Gesamtflexibilität oder Reaktionsfähigkeit verringern und dem System eine zusätzliche Komplexitätsebene hinzufügen.

Mehrere Organisationsparadigmen haben sich in der Vergangenheit herauskristallisiert. In den folgenden Unterkapiteln wird beschrieben, wie die Paradigmen generiert und verwendet werden und es werden die Stärken und Schwächen der einzelnen Paradigmen verglichen.

2.1 Hierarchie

Die hierarchische Organisationsform ist wahrscheinlich das früheste Beispiel eines strukturierten Designs, das an einem Multi-Agenten System angewandt wurde. Agenten sind konzeptionell in einer Baumstruktur angeordnet, bei der übergeordnete Agenten einen umfassenderen Blick über die unter ihnen haben. Streng betrachtet, interagieren Agenten in dieser Organisationsform nicht über die gesamte Baumstruktur, sondern nur mit den Agenten, die ihnen direkt unter- oder übergeordnet sind. Es ist allerdings möglich, dass eine strenge Hierarchie durch Querverbindungen zu ergänzen, um eine direktere Kommunikation zu ermöglichen, was einen Teil der Latenz verringern kann, die sich aus den wiederholten Durchläufen durch den Baum nach oben und unten ergibt. Die Daten, die von untergeordneten Teilnehmern erzeugt wird, wird nach oben gesendet und gibt übergeordneten Agenten eine breitere Sicht, damit sie unterschiedliche Befehle an die Agenten unter ihnen geben können.

2.1.1 Charakteristik

Eine hierarchische Struktur kann als Zuteilung verschiedener Rollen und Zusammenhänge gesehen werden. Die Effizienz der Hierarchie ergibt sich auch aus dem Begriff der Dekomposition, denn der daraus resultierende Ansatz von Divide-and-Conquer ermöglicht es dem System, größere Gruppen von Agenten effizienter zu nutzen und Probleme größeren Ausmaßes anzugehen. Diese Art der

Organisation kann die Agenten auf eine Anzahl von Interaktionen beschränken, die im Verhältnis zur Populationsgröße gering ist. Dadurch werden Kontrollmaßnahmen und Verhaltensentscheidungen überschaubarer, die Parallelität kann besser genutzt werden, und da es weniger potenziell ablenkende Daten gibt, können sie sich einen besseren Überblick über die für diese Entscheidungen relevanten Informationen verschaffen. Ein Problem der hierarchischen Organisationsstruktur ist, dass es nicht ausreicht, immer mehr Informationen zusammenzufassen, um einen höheren Nutzen oder eine bessere Leistung zu erzielen. Nur mit ausreichender Rechenleistung und Analysetechniken kombiniert, können die Informationen effektiv genutzt werden. Ansonsten werden unnötig Daten versendet und überflüssige Informationen stören Agenten bei wichtigeren Aufgaben, was die Leistung der Struktur verringert. Die Verwendung einer Hierarchie kann auch zu einer zu starren oder zerbrechlichen Organisation führen, die anfällig für punktuelle Ausfälle mit potenziell globalen Folgen ist. Wenn beispielsweise der oberste Agent ausfällt, könnte der Zusammenhalt der gesamten Struktur gefährdet sein. Natürlich könnte dieser Agent ersetzt werden, aber es könnte sich dann als kostspielig erweisen, die geballte Information seines Vorgängers wiederherzustellen. In ähnlicher Weise kann es zu Engpasseffekten kommen, wenn der Umfang der Kontrollentscheidungen oder des Datenempfangs nicht wirksam verwaltet wird.

2.1.2 Formierung

Obwohl der Algorithmus selbst keine strenge Hierarchie wie die zuvor beschriebene durchsetzt, bietet das Smith'sche Vertragsnetzprotokoll [1] einen einfachen Mechanismus, um eine Reihe von Verbindungen mit den meisten der gleichen Merkmale zu konstruieren. Die hierarchische Struktur, die durch den Prozess erzeugt wird, basiert implizit auf der Art und Weise, wie das übergeordnete Ziel zerlegt werden kann. Wenn ein Agent eine neue Aufgabe erhält, wählt er zunächst aus, ob er die Aufgabe selbst ausführen oder nach Agenten suchen will, die ihm bei der Erfüllung der Aufgabe helfen.

2.2 Holarchien

Der Begriff „Holon“ wurde von Arthur Koestler in seinem Buch „Der Geist in der Maschine“ benannt [2]. Im griechischen hat „Holos“ die Bedeutung „Ganzes“ und „on“ bedeutet „Teil“. Koestler beschreibt in seinem Buch, dass alles, was in unserem Universum existiert Teil von etwas größerem ist und dementsprechend auch alles die Summe seiner Teile entspricht. Ein Universum beinhaltet viele Galaxien, welche wiederum Sonnensysteme beinhalten und so weiter. [...]

2.3 Koalitionen

Das Konzept einer Koalition von Individuen wird in der Spieltheorie seit Jahrzehnten untersucht und hat sich sowohl in realen wirtschaftlichen Szenarien als auch in Multi-Agenten Systemen als nützliche Strategie erwiesen. Betrachtet man eine Menge A an Agenten so ist jede Teilmenge von A eine potenzielle Koalition. Koalitionen sind im allgemeinen zielorientiert und kurzlebig. Sie werden für einen bestimmten Zweck gebildet und lösen sich auf, wenn dieser Bedarf nicht mehr besteht, die Koalition ihren Zweck nicht mehr erfüllt oder zu viele Akteure ausscheiden, sodass die Koalition. Es können Gruppen gebildet werden, die sowohl aus kooperativen als auch aus eigennützigen Agenten bestehen.

Innerhalb von Koalitionen ist die Struktur in der Regel flach, doch es kann sein, dass es einen leitenden Agenten gibt, der als Repräsentant und Vermittler der ganzen Gruppe dient. [3] Obwohl Koalitionen keine explizite hierarchische Charakteristik besitzen, ist es möglich, eine solche Organisationsstruktur innerhalb einer anderen zu verschachteln. Überlappende Koalitionen sind auch möglich. Agenten in einer Gruppe koordinieren ihre Aktivitäten, sodass sie dem Zweck ihrer Koalitionen dienen. Eine Koordination zwischen Agenten, die sich in separaten Koalitionen befinden,

gibt es nur, wenn sich die Gruppen auf eine Deadline einigen, zu der die Ergebnisse erzeugt werden sollen. In diesem Fall vereinbaren sich nur die repräsentativen Agenten der Koalitionen miteinander.

Neben der Bildung von Koalitionsstrukturen muss auch festgelegt werden, wie das von der Koalition vorgegebene Ziel zu erreichen ist. Wenn die Teilnehmer eigennützig handeln, muss auch vereinbart werden, wie die erarbeiteten Ressourcen nach dem Erreichen des Ziels unter den Teilnehmern aufgeteilt werden.

2.3.1 Charakteristik

Die Motivation hinter der Koalitionsbildung ist, dass Teilnehmer in einer Gruppe produktiver sind, als wenn sie allein agieren. Das impliziert, dass durch die Arbeitsgruppe ein Nutzen gewonnen werden kann. In rechenintensiven Bereichen könnten wir eine effizientere Aufgabenzuweisung erwarten oder die Fähigkeit, Ziele mit Anforderungen zu lösen, die ein einzelner Agent nicht erfüllen kann. In physisch begrenzten Systemen werden Koalitionen eingesetzt, um den Umfang der Interaktionen zwischen Agenten gegen die Effektivität des Systems als Ganzes abzuwägen.

Eine falsche Annahme ist, dass es sinnvoll wäre, wenn alle Agenten in der Umgebung immer eine allumfassende Superkoalition bilden. Unter bestimmten Umständen ist dieser Ansatz geeignet, da die Struktur Zugriff auf die Ressourcen aller Agenten hat, die ihr zugrunde liegen, und somit den maximalen Nutzen bietet. Eine solch große Struktur zieht allerdings auch hohe Erzeugungs- und Instandhaltungskosten mit sich, sodass es in realen Szenarien ein eher grober und unpraktischer Ansatz ist. Deswegen ist das Problem bei der Bildung von Koalitionen die richtigen Teilmengen $S \subseteq A$ zu finden, die der Nutzen (Wert minus Kosten) ihrer Koalition maximiert. Der Wert und die Kosten der Koalition sind allgemeine Begriffe, die tatsächlich Funktionen anderer bereichsabhängiger- und unabhängiger Merkmale der Struktur sein können.

2.3.2 Bildung

Die Komplexität der Koalitionsbildung ist abhängig von den Begebenheiten, unter denen die Koalitionen existieren sollen und welche Arten von Koalitionen erlaubt sind. Wie bei allen Organisationen, die in dynamischen Umgebungen arbeiten, ist schwieriger zu pflegen als in statischen Umgebungen. Zusätzliche Komplexität entsteht auch, wenn die Partitionierung der Agenten nicht disjunkt ist, d.h. die Agenten können gleichzeitig Mitglied in mehr als einer Koalition sein können. Zweifelhafte Ergebnisse, eigennützige Agenten und ein potenzieller Vertrauensmangel beim Koordinieren fügen weitere Hindernisse zu dem Prozess hinzu.

Koalitionen können dazu verwendet werden, um Aufgaben