



Forschungsprojekt 2004

Professur Virtuelle Realität, Fakultät Medien Projektleitung: Hendrik Wendler, Prof. Bernd Fröhlich Teilnehmer: Andrea Lahn, Christian Nitschke, Nicolai Marquardt

Die Swarm- bzw. Multi-Agenten-Systeme haben das Ziel, die evolutionär gewonnenen Erfahrungen von natürlichen Agentensystemen zu extrahieren und nutzbar zu machen.

So besteht beispielsweise ein Ameisenschwarm aus vielen autonom handelnden, wenig spezialisierten Individuen, die nur einen lokalen EIndruck von ihrer Umgebung erhalten. Sie handeln nach ihren vorgegebenen Regeln und so entwickelt sich implizit eine globale Problemlösung; getreu dem Motto:

"Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile." (Aristoteles).

In dem Forschungsprojekt wurden mehrere Schwarmsysteme, z.B. der Acluster Algorithmus nach V. Ramos, implementiert und durch zahlreiche Ergänzungen modifiziert. Insbesondere wurden Anwendungen zur Sortierungen von Objekten entwickelt und die Entstehung von Gruppierungen dieser Objekte sowie die Bildung eines Pheromon-Netzwerkes analysiert.

Über die Suche nach einem geeigneten Messinstrument für Entropien und Ordnung in den Systemen wurden auch spezielle Problemstellungen bei der Parallelisierung dieser scheibar schon parallelen Systeme betrachtet.

Auf den folgenden Seiten werden die Grundlagen der Schwarm-Systeme und der Algorithmen erläutert um anschließend einen Überblick über die entwickelten Systeme zu geben.



Swarm Intelligence: Grundlagen, Theorie

Einordnung in Artificial Systems



Unter Artificial Intelligence (AI) versteht man die Übertragung biologischer Phänomene und natürlicher Prinzipien auf ein anderes physisches Medium (z.B. Computer). Einen verteilten Ansatz für AI stellt Distributed Artificial Intelligence (DAI) dar. Hier ordnet man beispielsweise Multi-Agenten-Systeme (MAS) zur Simulation menschlicher Gesellschaften ein. Die Agenten sind komplex strukturiert und verfolgen meist ein Eigenwohl. Interaktionen erfolgen auf einem hohen Niveau. Von einfachen Partikelsystemen bis hin zu künstlichen Ökosystemen erstreckt sich das Gebiet des Artificial Life (AL). Die Agenten bzw. Entitäten sind einfach gehalten. Interaktionen erfolgen auf einem niedrigen Niveau, meistens indirekt über die Reaktion auf wahrgenommene Zustände der Umgebung. Swarm Intelligence (SI) vereinigt AL und AI.



Unter Distributed Problem Solving versteht man einen Ansatz zur Lösung npharter, dekompositierbarer Probleme mit Hilfe dezentral organisierter Agenten. SI-Systeme erreichen durch die Nachbildung einfacher Konzepte aus Insektenkolonien ein intelligentes globales Problemlöseverhalten, welches als Emergenz bezeichnet wird.

Prinzipien Swarm Intelligence



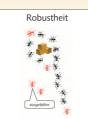
Ein SI-System kommt ohne eine zentrale Kontroll- und Koordinationsinstanz aus. Die Aufgabe der globalen Instanz liegt einzig und allein in der Wahrnehmung einer Scheduler-Funktionalität, so daß ieder Agent Zeitfenster erhält, in denen er seine Arbeit erledigen kann. Die Agenten handeln eigenverantwortlich und regelbasiert. Die Dezentralisierung führt zu einer einfachen Skalierbarkeit des Systems, da kein zentraler Verwaltungsaufwand betrieben werden muß.



Die entstehende Anordnung von Agenten und Objekten ist nicht vordefiniert und wird nicht zentral gesteuert. Sie bildet sich durch lokale regelbasierte Interaktionen der Agenten mit der Umgebung. Besitzt die Selbstorganisation Problemlösecharakter auf einer höheren Ebene – d.h. es gilt der Ausspruch: "Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile" – so spricht man nicht einfach nur von "Swarming" sondern von "Swarm Intelligence".

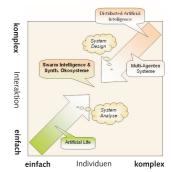


SI-Systeme sind nicht nur fähig, vorgegebene Aufgaben wib beispielsweise Futtersuche oder Sortierung durchzuführen. Neben diesem offensiven Verhalten können sie auch defensiv auf unvorhersehbare Störungen des Systems reagieren. Alles funktioniert durch die Anwendung einfacher Verhaltensregeln.



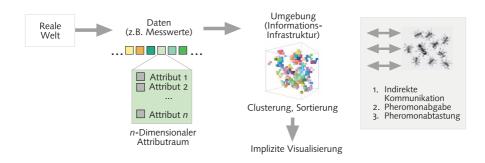
Die Bewältigung der Aufgaben funktioniert im Allgemeinen auch bei Ausfall einzelner Agenten. Dafür ist keine Anpassung des Systems erforderlich.

Einordnung zwischen System-Design und -Analyse



Bei der Arbeit mit SI-Systemen sind top-down System-Design (AI) und bottom-up System-Analyse (AL) gleichermaßen von Bedeutung. Der Design-Aspekt bezieht sich dabei auf das Erstellen von Verhaltensregeln für die Insekten, so dass sich ein gewünschtes globales Verhalten einstellt. Der Analyse-Aspekt bezeichnet die Interpretation der entstehenden globalen Strukturen.

Aufbau eines SI-Systems zur Clusterung n-dimensionaler Datenobjekte



Ein SI-System wird auf einer künstlichen Welt (R², R³) ausgeführt. Diese bezeichnet man auch als Umgebung oder Informations-Infrastruktur. Agenten mit Eigenschaften natürlicher Ameisen bewegen sich von Zelle zu Zelle und können jeweils nur in ihrer lokalen Nachbarschaft Zustände wahrnehmen und darauf reagieren. Das Prinzip der lokalen Interaktion der Agenten mit ihrer Umgebung bezeichnet man als Stigmergy (indirekte Kommunikation). Dabei wird ein Botenstoff, das sog. Pheromon ausgeschieden. Lokale Pheromon-Konzentrationen werden wahrgenommen und beeinflussen die Entscheidungen der Agenten. Des Weiteren erfolgt die Interaktion durch den Transport von Datenobjekten. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Objekt aufgenommen wird ist umso größer, je weniger Objekte sich in dessen Nachbarschaft befinden (Anzahl) und je mehr dieser Objekte andere Eigenschaften aufweisen (Ähnlichkeit). Umgekehrt verhält sich die Wahrscheinlichkeit für die Ablage von Objekten.

Die Verteilung von Pheromon und Datenobjekten stellt das gesamte Wissen der künstlichen Kolonie dar. Die Agenten haben keine Vorstellung dieser globalen Verteilung, können jedoch lokal mit ihr interagieren. Der Begriff "Datenobjekt" bezeichnet ein Datum aus einem n-dimensionalen Attributraum. Wichtig für die Arbeit der Agenten mit den

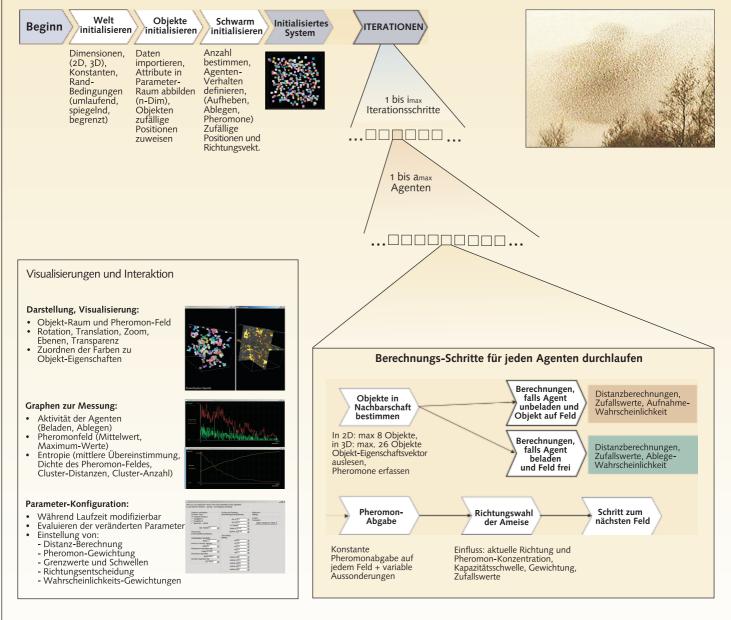
Der Begriff "Datenobjekt" bezeichnet ein Datum aus einem n-dimensionalen Attributraum. Wichtig für die Arbeit der Agenten mit den Objekten ist, dass eine Distanzfunktion auf dem Attributraum definiert ist. Anschaulich bedeutet dies, dass es möglich ist, für jeweils zwei Objekte zu bestimmen, wie ähnlich sie sich bzgl. der Werte ihrer Attribute sind. Während der Ausführung des SI-Systems soll sich durch die dezentralen lokalen Interaktionen der Agenten eine räumliche Clusterung/Sortierung der Datenobjekte in der Umgebung einstellen. Die Ergebnisse der Clusterung können für die Informationsvisualisierung eingesetzt werden. Dabei stellt die Visualisierung der künstlichen Welt mit der Anordnung der Datenobjekte implizit schon die eigentliche Informationsvisualisierung dar. Dadurch entfällt der normalerweise notwendige Arbeitsschritt der Berechnung des Layouts.



Aufbau des Algorithmus

Eine wichtige Aufgabe bei der Implementierung der SI-Algorithmen liegt in der Beschreibung des Agentenverhaltens und seinen auf die lokale Umgebung eingeschränkten Aktionen. Die Lösung der Probleme ergibt sich jedoch (für den Agenten nur indirekt feststellbar) erst auf globaler Ebene, ohne dass jemals eine solcher Top-Down-Algorithmus angegeben werden musste.

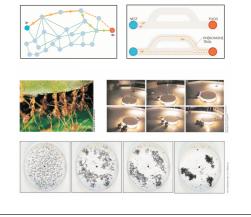
Die wesentlichen Bestandteile des SI-Algorithmus sind in den Grafiken näher erläutert:

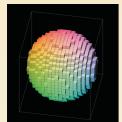


Anwendungen von Swarm Intelligence und Multi-Agenten Systemen

Es existieren zahlreiche Anwendungsfälle, in denen die Vorteile der SI-Systeme eine wichtige Rolle zur Lösung der Probleme darstellen. Eine Auswahl davon ist in der folgenden Liste aufgeführt.

- Ant Colony Optimization (ACO)
 Mathematische Optimierungsprobleme (Travelling salesman problem, QAP, JSP etc.)
- Ant-based Control (ABC) Verteilung von Produktionslast, Ant-based Routing, Netzwerk-Optimierungen
- Robotik Dynamische Arbeitsteilung, Skalierung, Team-Work
- **Dezentralisierung** Strukturen in Firmen, Ubiquitous Comp.
- Ant-based Clustering / Sorting Strukturierung großer Datenmengei





Die zu sortierenden Objekte sind Volumenpixel (Voxel) einer gefüllten Kugel. Die Eigenschaften der Objekte sind jeweils ihre Positionen bezüglich der x-, y- bzw. z-Achse.
Damit man die Güte der Clusterung einfach erkennen kann, wurden die Objekte entsprechend ihrer Position eingefärbt.

Dann werden die Objekte zufällig in der Welt abgelegt.



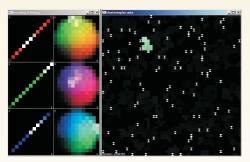


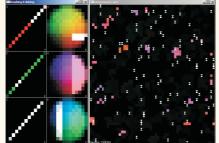
Die Ameisen handeln nach ihren vorgegebenen Regeln und sortieren die Objekte. Implizit entsteht dadurch eine Abbildung eines 3D- Objektes in einem zweidimensionalen Raum.



Brushing & Linking

Um die Interpretation des Systems zu vereinfachen, gibt es noch das Brushing und Linking. Man kann dabei Objekte mit bestimmten Eigenschaften gezielt auswählen und sich deren Position in der Welt anzeigen lassen. Ebenso ist es möglich sich die jeweiligen Eigenschaften von Objekten in einem Cluster anzeigen zu lassen





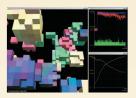
Simulationen, Anwendungen

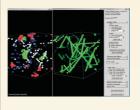


Objekt-Sortierung

Die Objekte werden zu Clustern zusammenfasst. Zu sehen ist die Abbildung in den 3D-Raum und die sich entwickelnde Pheromon-Karte (in der Ebenen-Ansicht).

Gruppierung, Entropie Links: Sortierte Objekte aus einem Datensatz mit Parametern nach der 3D-Gauss-Verteilung. (Algorithmus: Dense-Packing). Rechts sind zwei Graph-Plots zu sehen: Im oberen wird die mittlere Pheromonfeld-Dichte (blau), die abgelegten Objekte (grün) und die transportierten Objekte (rot) die drafsportierten zu sehen sind die Objektgruppierung (gelb) und die mittlere euklidische Distanz (orange).

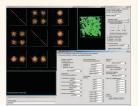




Pheromonkarte

Agenten bilden die Pheromonpfade, mit denen große Cluster verbunden sind (aufgrund der dynamischen Pheromon-Aussonderung sind Konzentrationen der Pheromone bei den Clustern besonders hoch). Rote und grüne Objekte sind bereits in Clustern zusammengefasst, die blauen Objekte wurden erst im letzten Iterationsschritt hinzugefügt: Prinzip Continous Data)

Scatter-Plot Die Werte der Parameter aller Objekte werden auf jeden der anderen Parameter abgebildet, und somit lassen sich Verteilungen, Konzentrationen u.a. ablesen. Durch Gewichtung der Distanzfunktion wird somit eine Algorithmus-Optimierung möglich.

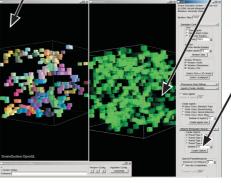


Scatter-Plot-Visualisierung

Anordnung der Objekte im Parameter-Raum. Matrix-Anordnung für alle Parameter. Funktion: Parameter-Optimierungen durch Gewichtung.

Welt

In der Welt positioniert befinden sich alle Objekte mit ihren Eigenschaften (Farben durch Attributwerte) und die Agenten (grau-beladen, weiß-unbeladen)



Pheromon-Karte

Dreidimensionale Ansicht der ausgesonderten Pheromone. Zwei Ansichten: Drei-Ebenen-Ansicht oder Transparenz-Volumen-Ansicht. Die Pheromon-Karte bildet das globale Wissen/Informationen des Schwarms ab.

Einstellungen

Die wesentlichen Parameter der Simulation lassen sich hier konfigurieren:

- Ansichten
- Fenster-Auswahl
- Agenten erzeugenObjekte initialisieren
- Visualisierung - Ebenen
- Pheromon-Karten-Ansicht

Aktivitäts-Plot

Distanz-Plot

Mittlere euklidische Distanz und Gruppierung der Objekte

(Zusammenhang der Objekte im Raum)

Visualisierung: Pheromon-Mittelwert, Abgelegte Objekte, Transportierte Objekte

Algorithmen-Konfiguration

Die Parameter der Ant-Algorithmen lassen sich hier konfigurieren, so z.B. die Pheromon-Erfassung, Objekt-Ablage oder -Aufnahme