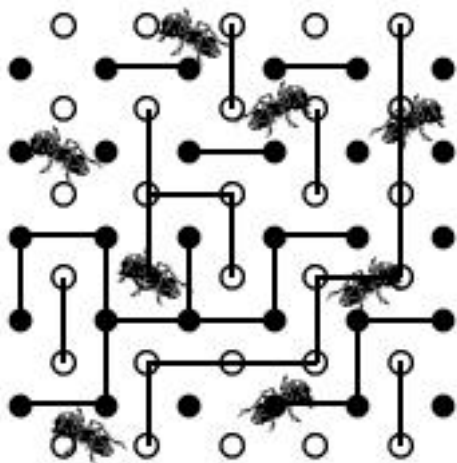


Beitrag zum  
Programmierwettbewerb  
**CONNECTIONS**



von Heiko Stamer<sup>1</sup>

▼ **Spielen Ameisen Connections ?**

Biologische Heuristiken in der Spieltheorie

Die Natur ist uns in vielen Dingen ein ausgezeichnetes Vorbild. Nicht nur zum Bau von Flugmaschinen oder Amphibienfahrzeugen haben biologische Kreaturen Modell gestanden, vielmehr sind mittlerweile auch ihre komplexen Verhaltensweisen für die Wissenschaft interessant geworden. So werden beispielsweise von der Informatik die soziale Organisation und die Kommunikationsmethoden von Insektenstaaten für schwierige kombinatorische Optimierungsprobleme [2] verwendet. Untersuchungen und Experimente mit sogenannten Agentensystemen zeigen dabei erstaunlich gute Resultate.

Warum sollte man diese natürlichen Mechanismen also nicht auch in der Spieltheorie „gewinnbringend“ einsetzen können? In den folgenden Abschnitten beschreiben wir eine Spielstrategie für das kombinatorische Spiel **CONNECTIONS**, welche auf dem Verhalten von Ameisenkolonien bei ihrer Futtersuche basiert.

<sup>1</sup>Student am INSTITUT FÜR INFORMATIK der UNIVERSITÄT LEIPZIG, eMail: [stamer@informatik.uni-leipzig.de](mailto:stamer@informatik.uni-leipzig.de)  
<http://stinwww.informatik.uni-leipzig.de/~mai97ixb>

**Ameisenalgorithmen**

Den Begriff *Ameisenalgorithmen* führte 1991 maßgeblich der italienische Forscher MARCO DORIGO in seiner Dissertation [1] ein. Es handelt sich dabei um eine Klasse von Verfahren, deren Kommunikationsstrukturen denen von richtigen Ameisenvölkern sehr ähnlich sind. Einzelne und unabhängige Softwareagenten werden dadurch in die Lage versetzt, bei der Lösung einer gestellten Aufgabe kooperativ zusammenzuarbeiten. Werfen wir zum besseren Verständnis einen Blick auf den biologischen Prozeß der Futtersuche: Anfangs verläuft die Suche vom Nest aus zufällig. Falls endlich ein Futterplatz gefunden wird, sollen auch weitere Individuen davon profitieren. Also wird der Weg dorthin durch chemische Botenstoffe (Pheromone) markiert. Andere Ameisen erkennen diese Spur, folgen ihr und verstärken die gelegte Markierung mittels eigener Botenstoffausschüttung. Sobald das Futter aufgenommen wurde, kehren die Insekten selbständig zum Nest zurück, wodurch eine in beide Richtungen bewanderte „Ameisenstraße“ (a) entsteht.

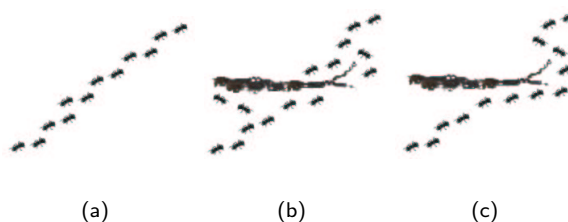


Abbildung 1: Ameisen finden kurze Wege

Noch interessanter wird das Verhalten, wenn sich plötzlich ein Hindernis auf dem markierten Pfad befindet. Die Ameisen suchen sich dann vorerst irgendeinen Weg (b) um diesen Gegenstand herum. Da aber im gleichen Zeitraum mehr Ameisen den kürzeren Weg zurücklegen können, verstärkt sich dort auch die Pheromonkonzentration, was wiederum mehr Tiere gerade diesen Weg wählen läßt. So wird eine möglichst kurze Umgehung (c) i.A. recht zügig gefunden.

Ameisenalgorithmen nutzen diesen Ansatz in Kombination mit Gütebewertung der „Futterquelle“, um schwierige Probleme, z.B. das Problem des Handelsreisenden (TSP), zu lösen. Zwar wird dabei meist nicht das Optimum gefunden, für viele Anwendungen ist eine gute Approximation jedoch ebenso brauchbar.

## Globale Spielstrategie der Insekten

Beim kombinatorischen Spiel **CONNECTIONS** (siehe graue Box) versuchen wir, mit Hilfe solcher Algorithmen (genauer mit dem *Ant System*<sup>2</sup>) „gute“ globale Züge zu finden. Alle erlaubten Möglichkeiten bilden hierbei eine „Karte“, auf der kurze Wege zum Sieg (Kreis oder Seitenverbindung) erreicht werden sollen. Anfangs verläuft die Suche der  $m$  Ameisen zufällig, wobei immer abwechselnd ein Spielzug pro Spieler gemacht wird. Falls dieser Zug zum Gewinn führt, werden alle Zwischenzüge mit den Botenstoffen des Siegers markiert. Folgende Ameisen wählen diese Möglichkeiten dann mit höherer Wahrscheinlichkeit. Der gesamte Prozeß wird  $T$ -mal wiederholt, um eine hinreichende Konvergenz gegen gute Lösungen zu erhalten. Einer Übersättigung - und der damit verbundenen Stagnation des Verfahrens - kann durch Einführung eines Flüchtigkeitskoeffizienten  $\rho$  vorgebeugt werden. Dieser wirkt, ähnlich der natürlichen Flüchtigkeit, beschränkend auf die Ansammlung der Botenstoffe. Die endgültige Zugauswahl wird dann durch Maximumbildung getroffen, wobei allerdings die gegnerischen Pheromonwerte vorher abzuziehen sind. Das Verfahren ist aufgrund der Auswahlsteuerung natürlich *nicht-deterministisch* und sollte i.A. mit folgenden Parameterschranken (Erfahrungswerte bei Spielfeldgröße 5) betrieben werden:  $m \geq 32$  (Anzahl der Ameisen),  $T \geq 15$  (Iterationen).

## Lokale Verfahren unterstützen die Ameisen

Da (wie oben beschrieben) unsere Ameisen eher global gute Lösungen liefern, sind zusätzlich noch exakte Strategien für lokale Entscheidungen notwendig. In unserer Implementierung kommen dafür verschiedene Ansätze zum Einsatz: Die *Zugzwang-Spielbaumsuche* untersucht, ob gegnerische und/oder eigene Züge sofort zum Gewinn oder weiteren Zugzwangssituationen führen. Unterstützend kann auch die *Patternsuche* wirken. Ihre Aufgabe ist es, Muster, die unweigerlich zu einem Sieg führen würden, frühzeitig zu erkennen. Dazu muß allerdings erst eine umfangreiche Musterbibliothek geschaffen werden.

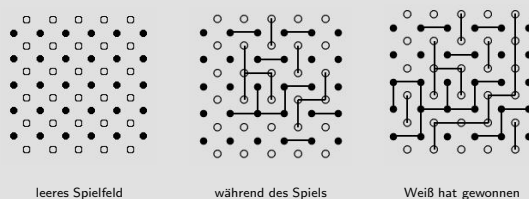
<sup>2</sup>Ant-cycle Parameter:  $\tau_0 = 0.01$ ,  $\rho = 0.5$ ,  $Q = 10.0$ ,  $m$  und  $T$  variabel, keine Ausgangsheuristik

Für spezielle Fragen und implementierungstechnische Details sei hier auf die Datei `ConnectPlayer_AntSys.hh` der Quelltexte verwiesen, welche allesamt der GNU GENERAL PUBLIC LICENSE [4] unterliegen.

## Die Spielregeln von CONNECTIONS [3]

**CONNECTIONS** ist ein Spiel für zwei Personen auf einem quadratischen Gitterfeld, wobei ggf. auch drei (Sechseck) oder mehr Spieler denkbar wären. Die Spieler verbinden jeweils abwechselnd zwei benachbarte Steine ihrer Spielfarbe mit einer Linie, falls dies kreuzungsfrei möglich ist.

Spielverlauf auf einem Feld der Größe 5



Ziel des Spieles ist es, beide „eigenen“ Seiten durch einen Linienzug zu verbinden *oder* einen Kreis (geschlossener Linienzug) herzustellen. Diese zweite Bedingung ist wesentlich, da es sonst eine einfache Gewinnstrategie für den beginnenden Spieler gibt.

## Zusammenfassung und Ausblick

Weitere Anwendungen von *Ameisenalgorithmen* im Rahmen der Spieltheorie sind sicherlich denkbar. Unsere Experimente und Testspiele zeigen, daß hier ein erstaunliches Potential besteht, welches ggf. auch für weitere Spiele (Schach, Go) ausgenutzt werden könnte. Aber während andere biologische Heuristiken (z.B. Genetische Algorithmen, Simulated Annealing, Neuronale Netze) in diesem Zusammenhang häufig Gegenstand der aktuellen Forschung sind, müssen sich Ameisenalgorithmen die Beachtung der wissenschaftlichen Gemeinschaft erst noch „erkämpfen“.

## Referenzen

- [1] M. Dorigo: *Optimization, Learning and Natural Algorithms* Dip. Elettronica, Politecnico di Milano, PhD thesis, 1992
- [2] H. Stamer: *Ant Algorithmen für kombinatorische Optimierungsprobleme* Universität Leipzig, Fachseminar „Artificial Life“, 2001
- [3] J. Waldmann: *Webseiten zum CONNECTIONS-Wettbewerb* <http://www.informatik.uni-leipzig.de/~joe/connections>
- [4] GNU GENERAL PUBLIC LICENSE, Version 2 <http://www.gnu.org/copyleft/>



This work was supported by FreeBSD and L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. BSD gives you the power of an Open Source OS without the hype.

**L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X**