

Hermann Stever

Schwarmintelligenz bei Hautflüglern

Impulsreferat zum UmacForum

13. Mai 2006



universitaere manufactur com-position (umac) e. v.

0. Definition:

Unter dem Begriff *Schwarmintelligenz* versteht man Algorithmen und Lösungsansätze, die durch das Kollektivverhalten von Insekten und anderen Tieren inspiriert sind. Ameisenalgorithmen sind ein Teilbereich der Schwarmintelligenz, die auf dem Verhalten von einzelnen Ameisen basieren.

Es hat sich gezeigt, dass einfache Individuen wie Ameisen und Insekten in einer Kolonie hoch komplexe Aufgaben effizient lösen können. Die Besonderheit an diesem Phänomen ist, dass die Ameisen für die Kooperation keine zentrale Steuerung benötigen. Zur Lösung eines Problems organisieren sich die Ameisen „automatisch“. Diese Selbstorganisation ist nicht zuletzt daher so faszinierend, da sie für die Lösung von mathematisch-technischen Problemen eingesetzt werden kann.

Literatur:

- 1.) J. Kennedy; R. C. Eberhart:
Swarm Intelligence
Morgan Kaufmann Publ. (Academic Press)
San Francisco usw. 2001
- 2.) E. Bonabeau u. a.
Swarm Intelligence – From Natural to Artificial Systems
Santa Fe Institute, Oxford Univ. Press, 1999

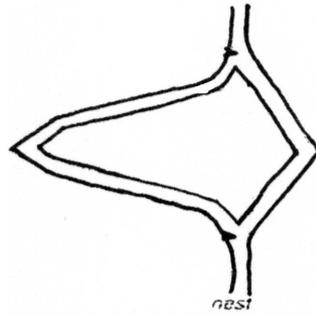


Abbildung 2

Einer der zwei begehbaren Pfade ist doppelt so lang wie der andere. Ziel des Experiments war, eine Strategie zu finden, wie die Ameisen den kürzeren der beiden Wege ausfindig machen, ohne zu wissen, welcher der beiden Wege der optimale (kürzere) ist.

Im Modell wird davon ausgegangen, dass zu jedem Zeitpunkt t_i mit $i \in \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$ Ameisen vom Bau zur Futterquelle und umgekehrt von der Futterquelle zum Nest unterwegs sind. Die graphische Darstellung (Abbildungen 3-5) veranschaulicht das Verhalten der Ameisen während des Experiments.

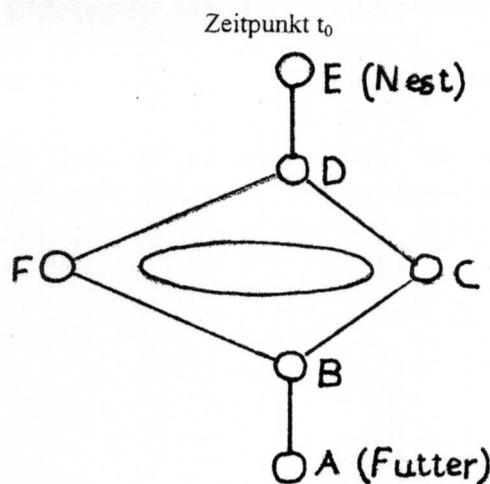


Abbildung 3

Zum Zeitpunkt t_0 (siehe Abbildung 3) befindet sich angenommen eine Generation G_1 von 30 Ameisen am Startknoten E (Nest), sowie eine Generation G_2 von 30 Individuen am Zielknoten A (Futterquelle). Beim Start des Experiments bewegen sich die beiden Generationen G_1 und G_2 zur gleichen Zeit t_1 (Abbildung 4) von Punkt E zu A bzw. von Punkt A zu E. Erreichen die Ameisen die entsprechende Weggabelung, d. h. den Knoten D bzw. B, so müssen sie sich für eine der beiden Abzweigungen entscheiden. Eine Voraussetzung ist, dass die Länge der Strecke ED gleich der Streckenlänge AB ist, sodass die Ameisen zum gleichen Zeitpunkt die Weggabelung erreichen. Zu Beginn des Experiments ist nun jeder Weg für die Ameise gleich gut, d.h. die Entscheidung für einen der beiden Wege erfolgt zunächst rein zufällig, da noch keine Pheromonspur auf den Strecken existiert. Daher wählt etwa die Hälfte einer jeden Generation, d.h. jeweils 15 Individuen von G_1 und G_2 den linken bzw. rechten Weg aus. Alle Ameisen geben kontinuierlich

Pheromone ab und markieren damit ihre genutzten Wege. Diese Ameisen, die sich für den kürzeren der Wege entschieden haben, erreichen natürlich die Futterquelle bzw. das Nest als erstes, d. h. in der Hälfte der Zeit. Auf dem Rückweg vom Futter zum Nest bzw. vom Nest zum Futter verteilen die Ameisen wieder Pheromon auf der Strecke. Diejenigen Ameisen, die den kürzeren der beiden Pfade gewählt haben, haben schon eine komplette Tour beendet, wohingegen die Ameisen, die den längeren Weg bevorzugten, in der gleichen Zeitspanne erst die halbe Tour vollendet haben.

Damit ist die Pheromonkonzentration auf dem kürzeren Weg nun doppelt so hoch im Vergleich zu dem langen Weg, (der das 2-fache der Länge des kürzeren Weges beträgt), da die Ameisen noch gar nicht wieder an ihrem entsprechenden Ziel angekommen sind.

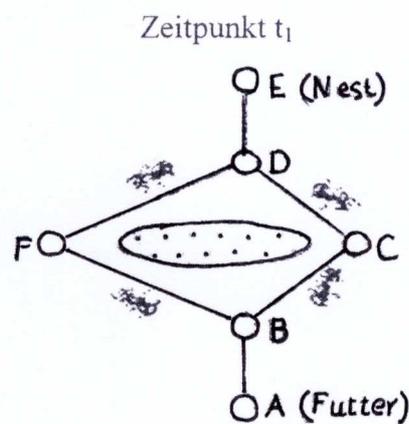


Abbildung 4

Zum Zeitpunkt t_2 (Abbildung 5) starten zwei weitere Generationen G_3 und G_4 von jeweils 30 Individuen. Da die Pheromonkonzentration auf dem kürzeren Weg pro Zeiteinheit doppelt so hoch ist, erfolgt die Entscheidung nun nicht mehr ganz zufällig für einen der beiden Pfade an den Weggabelungen. Man kann nun von einer angepassten Entscheidung sprechen, die von dem Faktor Pheromonkonzentration abhängig ist. Das bedeutet, die Wahrscheinlichkeit, einem bestimmten Weg zu folgen, wird höher je stärker die Duftspur auf diesem ist. Die Ameisen orientieren sich an der Duftstoffkonzentration ihrer Vorgänger. Es entscheiden sich nun entsprechend mehr Ameisen für den stärker frequentierten Pfad. Wir nehmen an, 20 Ameisen folgen dem kurzen Weg und 10 Ameisen dem langen. Diese Ameisen hinterlassen ihrerseits ebenfalls Pheromonspuren, sodass der kürzere Weg mit der Zeit eine höhere Konzentration an Duftstoff im Vergleich zum langen Weg besitzt. So ergibt sich eine positive Rückkoppelungsschleife. Je mehr Ameisen einem Pfad folgen, desto attraktiver wird dieser für die Nachfolgegeneration. Ein wichtiger zu erwähnender Aspekt ist, dass das Pheromon einer sehr raschen Verdunstung ausgesetzt ist. Nach etwa 100 Sekunden sinkt die Duftstoffkonzentration unter die verhaltensauslösende Schwelle. Kaum frequentierte Pfade besitzen daher mit fortschreitender Zeit immer weniger Anziehungspotential. Schließlich setzt sich der Weg als „Ameisenstraße“ durch. Nach einer kurzen Einschwingphase ist so sehr eindeutig der optimale Weg identifiziert.

Zeitpunkt t_2

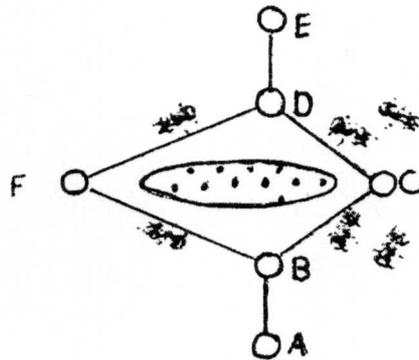
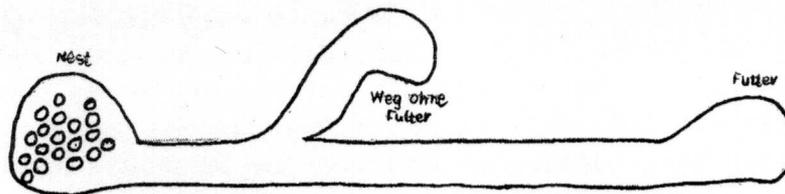


Abbildung 5

Ein weiterer interessanter Aspekt wäre nun: „Was passiert, wenn auf dem Weg zum Futterplatz eine Sackgasse ohne Futter existiert und die Distanz zur Sackgasse erheblich kürzer ist als zum Futterplatz?“ (Abbildung 6)

Eine spontane Vermutung läge nahe, dass die Ameisen durch eine anfänglich zufällige Entscheidung, den kürzeren Weg in die Sackgasse mit der Zeit stärken. Dies trifft jedoch nicht zu, da Ameisen, die mit Nahrung zum Nest zurückkehren, eine höher konzentrierte Pheromonspur hinterlassen als Ameisen ohne Futter. So wird eine positive Verstärkung wertloser Pfade verhindert.



Ameisen auf der Futtersuche mit naher Sackgasse auf dem Weg

Abbildung 6

II. Definition von Schwarmintelligenz (Gemeinsam sind wir schlau)

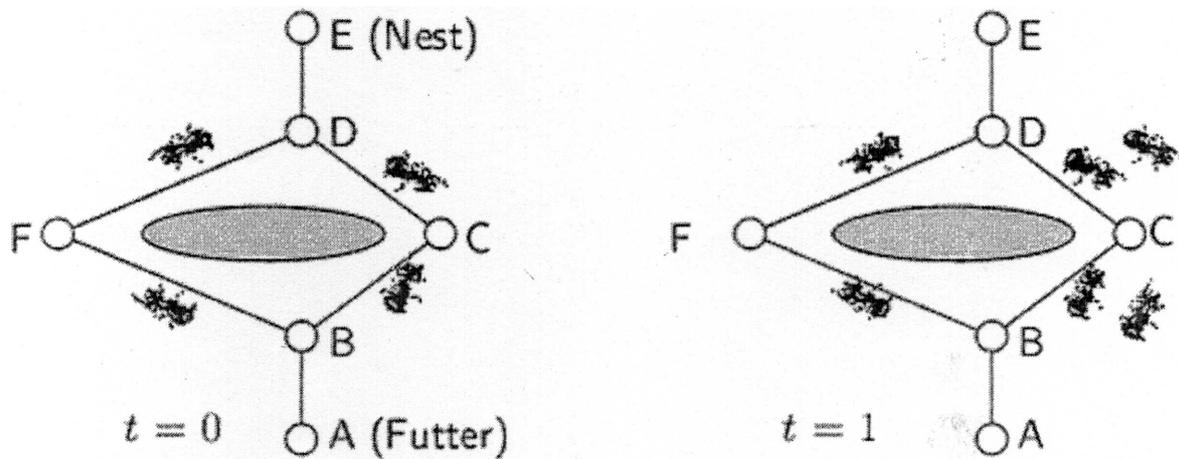
An diesem Beispiel der optimalen Pfadsuche der Ameisen wird sehr deutlich, welche enormen Fähigkeiten diese und auch andere Insektenschwärme, wie z. B. Bienen, besitzen. Sie sind in der Lage, komplizierte und komplexe Aufgaben aus einer Zusammensetzung von individuellen, sich gegenseitig verstärkenden Teillösungen zu lösen. Einzelne Individuen wären dazu nicht in der Lage.

Dieses Agieren in selbstorganisierten Gruppen ohne zentrale Steuerinstanz wird auch als *Schwarmintelligenz* bezeichnet.

Von diesem Phänomen versuchen Mathematiker und Informatiker zu lernen und zu profitieren, indem sie diese Strategie auf Optimierungsprobleme zu übertragen versuchen.

Mit sogenannten Ameisenalgorithmen, welche dem Verhalten natürlicher Ameisen nachempfunden sind, werden so Lösungssätze für z. B. das bekannte TSP-Problem gesucht. Die Idee des Handelsreisenden wurde schon in Netzwerken umgesetzt, um den kürzesten Pfad zwischen zwei Knotenpunkten zu finden. Man erhofft sich auch mit dieser Methode, Computersysteme ausfallsicherer und fehlertoleranter zu machen.

Betrachte Ameisen bei der Futtersuche:



Kommunikation durch Pheromone (Duftstoffe):
Zufällige Entscheidungen → angepasste Entscheidungen

Künstliche Ameisen

- lösen Optimierungsprobleme durch Sequenzen von Entscheidungen
- treffen einzelne Entscheidungen zufällig, aber gesteuert durch Pheromone und weitere Kriterien
- besitzen Gedächtnis, können daher zulässige Optionen erkennen
- verteilen Pheromone proportional zur Güte der gefundenen Lösungen