

Machen wir's den Ameisen nach

Von Elsbeth Heinzelmann*



Ein besonders grosser Brocken wird zum Nest transportiert.

Mit klugen Algorithmen, die das intelligente Kollektivverhalten von Ameisen in der Futterbeschaffung nachahmen, realisieren Forscher am IDSIA in Manno für industrielle Partner Problemlösungen, die mit herkömmlichen Methoden bisher undenkbar waren.

Hand aufs Herz: Wer von uns hat nicht schon fasziniert das muntere Treiben rund um einen Ameisenhaufen beobachtet? Echt geschickte Geschöpfe, wie sie rasch und zielsicher die kürzeste Distanz zur nächsten Futterquelle aufspüren. Gemeinsam packen sie an, um Hindernisse aus dem Weg zu räumen, und legen spontan zusammen «Hand an», wenn es heisst, einen besonders grossen Brocken zum Nest zu transportieren. Und dies funktioniert selbst in riesigen Massen, können doch gewisse Ameisenarten Kolo-

nien von mehreren Hundert Millionen Individuen bilden. Kann der Homo sapiens von solch sozial agierenden Insekten lernen?

Ameisenkolonien als Vorbild.

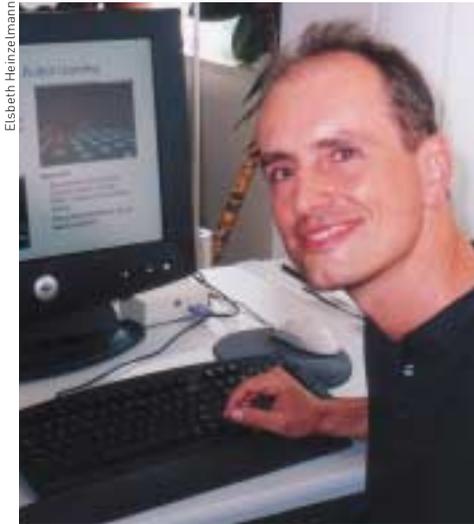
Ja, er kann. Zu diesem Schluss kam Marco Dorigo, als er Anfang der 90er-Jahre am Politecnico di Milano über seiner Doktorarbeit brütete. Der heutige Forschungsdirektor am IRIDIA-Labor der Université Libre de Bruxelles hatte sich eingehend mit dem Verhalten von Ameisen auseinandergesetzt und bemerkt, dass die als einzelne Individuen kaum mit einem Top-IQ gesegneten Tierchen in der Gemeinschaft aufgabenspezifisch eine erstaunliche kollektive Intelligenz an den Tag legen. Und diese lässt sich für gewisse Optimierungsaufgaben der menschlichen Gesellschaft nutzen. Damit schlug die Geburtsstunde für ACO (Ant Colony System

Optimization), von Ameisen inspirierte Systeme für die kombinatorische Optimierung. Solche Ameisenalgorithmen orientieren sich am Verhalten echter Ameisenkolonien, wahre Meister der Selbstorganisation. Wie funktioniert das?

Ameisen verlassen den Bau auf Futtersuche und markieren ihre jeweilige Route mit chemischen Substanzen, so genannten Pheromonen. Diejenige, die zuerst fündig geworden ist, kehrt schnurstracks retour und verstärkt dabei ihre Duftspur. Die im Nest zurückgebliebenen Genossen sind von der Substanz angelockt und folgen ihr, schlagen damit automatisch den kürzesten Weg zur Nahrung ein.

Ähnlich wie die Natur Pheromone als Signalstoffe der Informationsübertragung ausgestaltet hat, versehen Spezialisten im Bereich künstlicher Intelligenz ihre Ameisenalgorithmen

PD Dr. Jürgen Schmidhuber, einer der drei Direktoren des IDSIA Manno, spezialisiert auf generelle Such- und Lernalgorithmen.



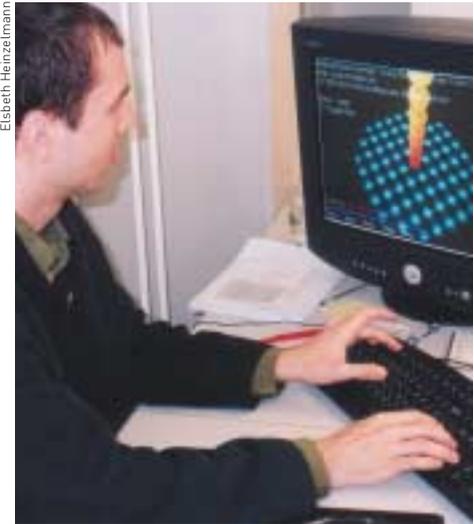
Elsbeth Heinzelmänn



IDSIA Manno

Dr. Luca Maria Gambardella, IDSIA-Direktor, befasst sich besonders mit kombinatorischer Optimierung und ACO (Ant Colony System Optimization).

Viktor Zhumatiy, Doktorand in der Gruppe von Dr. Jürgen Schmidhuber, an einer realistischen 3D-Physiksimulation.



Elsbeth Heinzelmänn

men mit verteilten numerischen Informationseinheiten. Diese werden von den künstlichen Ameisen modifiziert, um deren Erfahrung in der Problemlösung zu repräsentieren. ACO dient einerseits zur Lösung statistischer Probleme, in denen Topologie und Kosten während der Problemlösung konstant bleiben. Ein Beispiel dafür ist das Problem des Handlungsreisenden: Er soll zwischen Start- und Zielort eine Anzahl Städte besuchen, dabei den kürzesten Weg einschlagen und keinen Ort zweimal betreten. Das klingt trivial, doch steigt die mögliche Routenzahl rasch ins Millionenfache. Hingegen eignet sich die Methode für dynamische Probleme, in denen Topologie und Kosten im Lösungsprozess wechseln. So machten sich beispielsweise France Télécom und British Telecom ACO zu Nutze. In der Telekommunikation gehen Anrufe rund um den Erdball, machen dabei Umwege über diverse Zwischenknoten. Dank den raffinierten Algorithmen spüren die «Ameisen» ungestörte Pfade auf und markieren sie mit Informations-Bits, denen die nächsten Anrufe folgen.

Lastwagen als Insektenschwarm.

Um allerdings die Idee der Pheromone in solche Algorithmen umzusetzen, brauchte es einen echten Innovationssprung. Diesen steuerte Dr. Luca Maria Gambardella bei. Der

ehemalige Computerwissenschaftler der Universität Pisa und heutige Forschungsdirektor am IDSIA (Istituto dalle Molle di Studi sull’Intelligenza Artificiale) in Manno hatte den Geistesblitz, Marco Dorigo’s «Ameisen» mit lokalen Suchtechniken zu verbinden. Erst damit wurde das Prinzip der Lockstoffe zur bahnbrechenden Technologie. Und diese wollte Luca Maria Gambardella an einem praktischen Beispiel in Logistik und Transport umsetzen. Gelegenheit dazu bot ihm Piero Pina, Chef der Heizöl-Distributionsfirma PINA Petroli AG in Grancia. Piero Pina’s Anliegen war, seine rund 20 000 Köpfe zählende Kundschaft im Tessin noch effizienter und vor allem bedarfsorientiert zu beliefern, die Routen seiner Tankwagen optimal zu planen und Kosten zu senken. Der Fall war wie geschaffen für kollektive Ameisenintelligenz, komplizierten doch verschie-

dene Faktoren die Verteilung: Die Lastwagen waren unterschiedlicher Grösse, ebenso Länge und Durchmesser der Tankschläuche, die Fahrten wegen hohem Verkehrsaufkommen oft problematisch. Auch das Wetter konnte Streiche spielen. Zudem liessen sich die Bestellungen meist nicht im Voraus planen, die Kunden konnten nur zu bestimmten Zeiten die Ware in Empfang nehmen.

Knacknuss schrittweise lösen.

Luca Maria Gambardella und seine Equipe analysierten die Situation in drei Schritten:

KTI – Schützenhilfe für innovative Köpfe

Die hier beschriebenen Anwendungen neuartiger «Ameisenalgorithmen» auf aktuelle Probleme der Wirtschaft erfolgte im Rahmen von KTI-Projekten. Die KTI (Kommission für Technologie und Innovation) fördert im Auftrag des Bundes den Innovationsprozess, indem sie Kooperationen angewandter Forschung und Entwicklung mit echtem Marktpotenzial zwischen öffentlichen Forschungsinstitutionen und der Privatwirtschaft finanziert. Dabei bestreitet die KTI die Saläre der Forschenden, führt Patentrecherchen durch und finanziert Machbarkeitsstudien, um Fehlschläge zu vermeiden. Der Wirtschaftspartner übernimmt in der Regel 50% der Projektkosten, was Gewähr für die Umsetzung der Resultate im Markt bietet. Die Wahl der Themen erfolgt nach dem Bottom-up-Prinzip. Die KTI-Unterstützung versteht sich als Investition in die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Industrie, mit der sie attraktive Ausbildungsmöglichkeiten bieten und neue Arbeitsplätze schaffen kann.

Ameisen: echt geschickte Geschöpfe.

Prisma/Firstlight



Zuerst galt es, die Nachfrage von Transporten abzuschätzen, um die Fahrzeugrouten zu planen und Touren aufzubauen, in denen die Abnahmestellen näher beieinander lagen. Mit Algorithmen, speziell konzipiert für die kombinatorische Komplexität, optimierten die Forscher darauf die Touren mit dem Ziel, dem Operateur ein interaktives Planungswerkzeug zu geben. Schliesslich diente eine Simulation dazu, den Verteilprozess virtuell durchzuspielen und ungewisse Einflussfaktoren wie Verkehrsaufkommen und Wetter-unbilden zu modellieren.

Inzwischen ist zusammen mit der Crew von PINA Petroli und den Informatikern der Tessiner Fachhochschule SUPSI ein Softwarepaket mit verschiedenen Modulen entstanden. Das Kunden-Prognosemodul schätzt den Heizölverbrauch jedes Kunden ab, unter Berücksichtigung diverser Parameter wie Aussentemperatur, früheres Bestellverhalten und Tankgrösse des Kunden. Dank dieser Vorausschau gingen die dringenden Lieferungen zurück, der Kontakt mit den Kunden verstärkte sich positiv. Das Offline-Touren-Planmodul, basierend auf Ameisen-

algorithmen, berechnet die optimalen Zustellrouten mit einer gegebenen Anzahl Lieferungen und vorhergehenden Bestellungen je in einem Zustell-Zeitfenster. Dieses Modul hilft dem Operateur, Entscheidungen zu fällen, die er aber jederzeit selbst gestalten und ändern kann. Das Routen-Simulationsmodul erlaubt ihm, die Nützlichkeit der Routen zu testen im Hinblick auf unterschiedliche Wetter- und Strassenbedingungen. Das Online-Touren-Planmodul verfolgt den Status quo der Tankwagen, zeigt ihren genauen Standort. Ergänzt durch GSM/GPS-Geräte erleichtert es die Disposition dringender Lieferungen, die am Bestelltage auszuführen sind. Das ganze System ist voll kompatibel mit der firmeneigenen Datenbank und dem im Erdölgeschäft gängigen Petrodat-System, was eine sichere Kommunikation mit den Lastwagenfahrern gewährleistet. In lediglich zwei Minuten können die Tourenplaner von PINA Petroli heute die Lieferungen für eine ganze Woche mit über hundert Bestellungen disponieren.

«Eine effiziente Güterverteilung wird angesichts zunehmend verstopfter Strassen immer wichtiger. Die Reduktion von Fahrkilometern bringt nicht nur wirtschaftliche Vorteile für die Transportunternehmer, sie entlastet den Strassenverkehr und mindert die Umweltbelastung», erklärt Luca Maria Gambardella. «Eine wirksame Fahrzeugplanung ist eine echte Herausforderung, da die Anzahl möglicher Lösungen kombinatorisch mit der Anzahl zu besuchender Kunden wächst. Die von uns entwickelte Softwarelösung ist zwar spezifisch für die Bedürfnisse von Brennstoffverteiler konzipiert, Algorithmen und Basisstruktur sind jedoch flexibel genug für eine Anwendung auf andere Bereiche.»

Ameisenintelligenz für Containerdisposition.

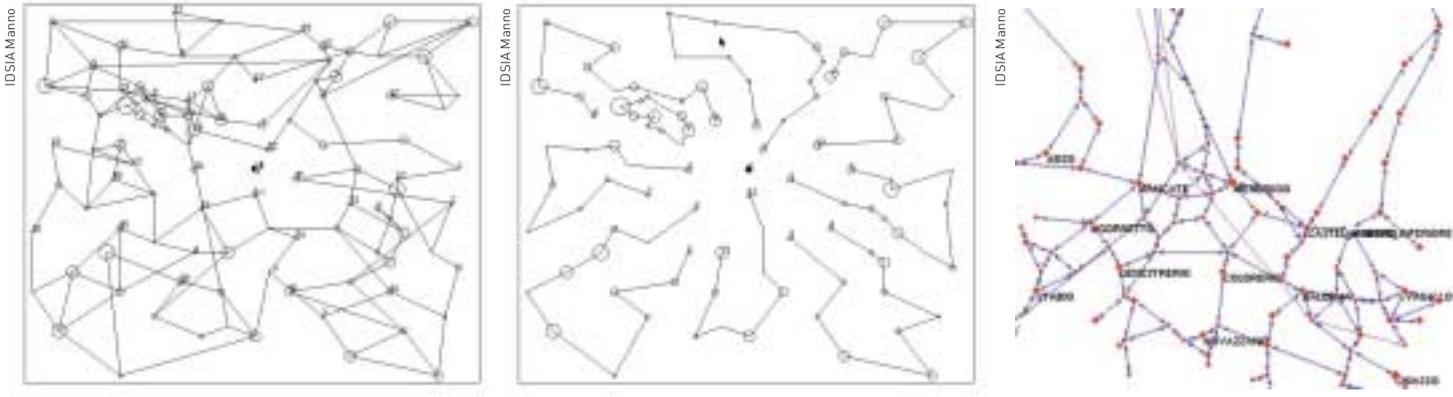
Ameisenalgorithmen standen ebenfalls Pate, um ein effizientes Abfertungsverfahren von Containern in La Spezia auszutüfteln. Der Hafen an der ligurischen Küste ist mit fast 600 000 m² Arealfäche der grösste Contai-

(v.l.n.r.)

Beispiel einer schlechten Routenführung mit grossem Zeitaufwand.

Das mit «Ameisen-Intelligenz» optimierte Routenführungssystem.

Routing Solution: Beispiel einer optimalen Routenplanung mit Software, entwickelt für die PINA Petroli AG in Grancia.



nerumschlagplatz am Mittelmeer. Für Industriepartner ContShip Italia, das intermodale Transportunternehmen mit Sitz im La Spezia Container Terminal (LSCT), bot sich eine komplexe Situation, da mehrere Entscheidungsträger wie Lagerplatzmanager, Schiffsplaner und Ressourcenzuteiler ihr Wörtchen in der Abfertigung mitredeten. Die IDSIA-Crew packte das Problem an, indem sie es in verschiedene Ebenen und Zeiträume aufteilte. Zuerst ging es darum, die historischen Daten – also den Containerverkehr der letzten zwei Jahre im Hafen von La Spezia – zu analysieren, um künftige Ereignisse vorauszusagen. Dann galt es, die Aktivitäten für die Container-Lokalisierung sowie die Lade- und Entladeoperationen optimal zu planen. Dazu wurde abgeklärt, wie viele Quai- und Lagerplatzkrans nötig sind für den Containerfluss vom Schiff zum Lagerplatz und retour, um das Schiff in einem definierten Zeitraum zu ent- und beladen. Schliesslich wurde der Terminal modelliert und in Bezug auf Grösse und Abläufe simuliert. «Entstanden sind ein Prognose-, ein Planungs- und ein Simulationsmodul», bilanziert Luca Maria Gambardella. «Sie unterstützen nun die Planer von ContShip Italia in der Organisation der Containerabfertigung durch Fokussierung auf zwei Szenarien: einerseits auf kurze Sicht im Hinblick auf die täglichen Lade- und Entladeoperationen, andererseits längerfristig betreffend den Belegungsgrad und die Politik des Lagerplatzes.»

Scheduling Solution: Ausschnitt aus dem für die PINA Petroli AG entwickelten Planungswerkzeuge.



Neuland für Logistik und Geschäftsprozesse.

In diesen so genannten metaheuristischen Methoden steckt ein grosses Potenzial für Logistik und Geschäftsprozesse, da sie wesentliche Erfolgsfaktoren von sozialen Insekten kopieren: – Flexibilität, kann sich doch ein Insektenschwarm ausserordentlich rasch verän-

derten Umweltbedingungen anpassen, – Robustheit, denn fällt ein Mitglied der Kolonie aus, übernehmen seine Artgenossen sofort dessen Tätigkeit.

Diese beiden Charakteristiken drücken einen hohen Grad von Selbstorganisation aus, da die Aktivitäten ja nicht zentral gesteuert oder lokal überwacht werden. Besonders



Dyvo-Tool: das von den IDSIA-Forschern entwickelte Software-Paket für dynamische Fahrtenplanung der Tessiner Heizöl-Distributionsfirma PINA Petroli AG.

Die Crew der PINA Petrol AG, Partner im KTI-Projekt.



Blick auf den Container-Terminal in La Spezia. Grösster Containerumschlagplatz am Mittelmeer, für den die IDSIA-Forscher mit von Ameisen inspirierten Algorithmen ein effizientes Abfertungsverfahren entwickelten.



zeigt sich diese auch im Fall von Termiten, die als einzelne Individuen kaum intelligent handeln, jedoch im Verbund wahre architektonische Meisterwerke errichten. Für Professor Dr. Rüdiger Wehner, Leiter des Zoologischen Instituts der Universität Zürich und Experte für Neurobiologie und Verhaltensforschung von Insekten, sind solche fast unvorstellbaren Leistungen das Resultat eines Supraorganismus. «Insektensozietäten wie die Staaten der Bienen und Wespen, Ameisen und Termiten sind hoch kooperative Strukturen, bei denen manchmal Millionen von Individuen so koordiniert zusammenwirken, bei Nestbau, Brutpflege, Nahrungsbeschaffung und Feindabwehr derart ganzheitlich reagieren, dass eine biologische Einheit höherer Ordnung entsteht. Ohne über ein durchgehendes Nervensystem zu verfügen, das die einzelnen Individuen miteinander verkabelt, kann diese Insektensozietät in jedem Moment mehr Informationen über die Aussenwelt aufnehmen, verarbeiten und in Verhaltensprogramme umsetzen, als es jedem seiner Guppenmitglieder möglich wäre.» Sehen wir uns einen Bienenstaat an: Wohl nehmen gewisse Individuen darin spezielle Aufgaben wahr, doch ist die Arbeitsteilung trotzdem flexibel. «Wächst der Bienenstock zu sehr an, wird er in zwei geteilt. Welchen Regeln Bienen dabei folgen, bleibt ein

Künstliche Intelligenz vom Labor in den Markt

Das im Jahr 1988 gegründete Istituto dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale (IDSIA) in Manno ist ein Institut der Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI) und der Università della Svizzera Italiana. Die IDSIA-Forscher erarbeiten Problemlösungen im Bereich künstlicher Intelligenz mit Schwerpunkt auf Maschinenlernen (neuronale Netze, Reinforcement Learning), Unternehmensforschung, Komplexitätstheorie und Robotik und wirken als Dozenten für Weiterbildung im Departement für Informatik und Elektrotechnik des SUPSI. Um die am IDSIA realisierten Algorithmen und theoretischen Resultate in die Wirtschaft zu tragen, gründeten die Forscher im Jahr 2001 das Spin-off AntOptima. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Umsetzung am Markt ist CADIS-OPT-FLEET, ein Softwaresystem für die Distribution von Lebensmitteln im neuen Migros-Verteilzentrum in Suhr.

Rätsel», meint Eric Bonabeau, Wissenschaftler einer Strategieberatungsfirma, die Werkzeuge der Komplexitätswissenschaft auf Geschäftsmodelle anwendet. «Dieses Wissen könnte Unternehmen helfen, den Zeitpunkt zu bestimmen, wann sie Geschäfte in ein Spin-off ausgliedern sollen. Interessanterweise kennen jedoch soziale Insekten keine Mergers, sondern nur Spin-offs.»

Obschon das IDSIA-Team mit seinen Ameisenalgorithmen auf Erfolgskurs ist, gibt sich Luca Maria Gambardella realistisch: «ACO erzielt gute Resultate, aber es gibt immer wieder Fälle, in denen diese Algorithmen – wie auch andere metaheuristische Techniken – nicht mit spezialisierten lokalen Suchme-

thoden konkurrieren können. Der Trend geht deshalb dahin, Metaheuristik mit lokalen Optimierungsverfahren zu so genannten Hybridmethoden zu verbinden; dies scheint der zukunftsträchtigste Weg zu sein.» ■

Info: Dr. Luca Maria Gambardella, Direktor IDSIA, E-Mail: luca@idsia.ch, Homepage: www.idsia.ch; Dr. Jürgen Schmidhuber, Direktor IDSIA, E-Mail: juergen@idsia.ch, Homepage: www.antoptima.ch, Galleria 2, CH-6928 Manno-Lugano, Telefon 091 610 86 66.

* Elsbeth Heinzelmänn, Journalistin
Technik + Wissenschaft, Basel