Overview

The complex social behaviors of ants have been much studied by science, and computer scientists are now finding that these behavior patterns can provide models for solving difficult combinatorial optimization problems. The attempt to develop algorithms inspired by one aspect of ant behavior, the ability to find what computer scientists would call shortest paths, has become the field of ant colony optimization (ACO), the most successful and widely recognized algorithmic technique based on ant behavior. This book presents an overview of this rapidly growing field, from its theoretical inception to practical applications, including descriptions of many available ACO algorithms and their uses.The book first describes the translation of observed ant behavior into working optimization algorithms. The ant colony metaheuristic is then introduced and viewed in the general context of combinatorial optimization. This is followed by a detailed description and guide to all major ACO algorithms and a report on current theoretical findings. The book surveys ACO applications now in use, including routing, assignment, scheduling, subset, machine learning, and bioinformatics problems. AntNet, an ACO algorithm designed for the network routing problem, is described in detail. The authors conclude by summarizing the progress in the field and outlining future research directions. Each chapter ends with bibliographic material, bullet points setting out important ideas covered in the chapter, and exercises. Ant Colony Optimization will be of interest to academic and industry researchers, graduate students, and practitioners who wish to learn how to implement ACO algorithms.

About the Authors

Marco Dorigo is a research director of the FNRS, the Belgian   
  
National Funds for Scientific Research, and co-director of IRIDIA, the artificial intelligence laboratory of the Université Libre de Bruxelles. He is the inventor of the ant colony optimization metaheuristic. His current research interests include swarm intelligence, swarm robotics, and metaheuristics for discrete optimization. He is the Editor-in-Chief of Swarm Intelligence, and an Associate Editor or member of the Editorial Boards of many journals on computational intelligence and adaptive systems. Dr. Dorigo is a Fellow of the ECCAI and of the IEEE. He was awarded the Italian Prize for Artificial Intelligence in 1996, the Marie Curie Excellence Award in 2003, the Dr. A. De Leeuw-Damry-Bourlart award in applied sciences in 2005, the Cajastur "Mamdani" International Prize for Soft Computing in 2007, and an ERC Advanced Grant in 2010.

Thomas Stützle is Assistant Professor in   
  
the Computer Science Department at Darmstadt University of   
  
Technology.

Endorsements

"Inspired by the remarkable ability of social insects to solve problems, Dorigo and Stützle introduce highly creative new technological design principles for seeking optimized solutions to extremely difficult real-world problems, such as network routing and task scheduling. This is essential reading not only for those working in artificial intelligence and optimization, but for all of us who find the interface between biology and technology fascinating."--Iain D. Couzin, University of Oxford"—

Научная работа под названием “Ant Colony Optimization” раскрывает еще несколько областей применения уже известного алгоритма. Эта статья включает в себя краткое описание истории научных конференций посвященных ACO. Оптимизационный алгоритм рассматривается как часть большей области – Искусственного Интеллекта. ACO относится к области ИИ, которая называется “Групповой Интеллект”. В то время как ИИ применяется во многих областях, можно выделить три основных класса подходящих задач:

* “Обычные”: зрение, речь, понимание человеческой речи, способность осознавать окружающий мир
* “Формальные”: игры (шахматы, шашки), математика (геометрия или логика), доказательство свойств программ (правильность)
* “Экспертные”: инженерия (дизайн, изготовление), планирование, научный анализ

В статье данная классификация представлена более подробно в виде дерева. Далее статья описывает методы сравнения систем группового интеллекта, а также их основные принципы. Перечислены некоторые принципы этих систем:

* Самоорганизация (базируется на обратной связи, случайных составляющих и множественном взаимодействии)
* Стигмергия (косвенные коммуникации посредством воздействия на окружающую среду)

В статье также представлены достоинства и недостатки группового интеллекта. Статья завершается перечислением нынешних (Задача коммивояжёра и задачи планирования) и описанием возможных будущих применений алгоритма ACO.

Впервые статья была опубликована в журнале “International Journal of Scientific & Engineering Research” в июле 2011 года. Авторами этой статьи являются Utkarsh Jaiswal (университет неизвестен) и Shweta Aggarwal (студентка New Delhi Institute of Management).

# Scheduling of flexible manufacturing systems: an ant colony optimization approach

Данная статья описывает задачу планирования для FMS (Flexible Manufacturing Systems – Гибкие Производственные Системы). Такие системы состоят из некоторого количества контролируемых машин с автоматической системой обработки материалов, соединенных в компьютерную сеть. Системы называются гибкими так как позволяют решить задачу многими способами (маршрутами). В таком сценарии важно выбрать машину, которая решит задачу быстрее всего с минимальными затратами. Полное решение такой задачи в теории позволит достичь значительной экономии в ресурсах (в том числе временных). Постановка задачи сводится к определению задачи (процесса, выполнение которого нужно запланировать), ее параметризации (неких параметров, позволяющих варьировать процесс), этапов процесса (каждый из которых может выполнятся на отдельной машине) а также доступных машин и их особенностей (аналог параметров процесса).

В статье приводится попытка решения данной задачи путем применения оптимизационного алгоритма муравьиных колоний. Задача представляется в виде графа (это обязательно для применения ACO), в котором узлы являются машинами, которые выполняют части процессов (представляемых путешествующими муравьям – реализацией ACO). Статья предоставляет результаты в виде графиков зависимости качества финального решения от количества итераций ACO.

В заключении статьи приводится вывод об эффективности применения ACO для данной проблемы. Как и множество задач, для которых применялся алгоритм ACO, данная задача получила “достаточно хорошее” решение с его помощью. В большинстве случаев в реальных условиях, получение лучшего возможного решения не представляется возможным (в силу ограничения вычислительных ресурсов), в то время как решение, полученное итеративными методами обычно не сильно отличается от лучшего, но может быть получено с использованием намного меньшего количества ресурсов.

# Ant Colony Optimization routing algorithm for selecting Multiple Feasible Paths for Packet Switched Networks

Эта статья была опубликована в журнале “IJCSI International Journal of Computer Science Issues” в 2012 году. Эта статья является рецензией на статью, описывающую применение алгоритма ACO в проблеме маршрутизации сети. Применение ACO к проблеме маршрутизации получило отдельное название – AntNet и было предложено оригинальным автором ACO Marco Dorigo в 1996 году.

Основной проблемой, требующей решения в маршрутизации компьютерных сетей является “TCP congestion”. Эта задача состоит в том, как максимально эффективно использовать сетевые ресурсы (мощность и пропускную способность маршрутизаторов), чтобы удовлетворить нужды клиентов, подключенных к сети. Помимо ACO для этой задачи применяется множество алгоритмов “машинного обучения”, результаты были встроены в во множество доступных комплектов сетевого взаимодействия операционных систем. В исходной статье описывается применение ACO, для нахождения параметров TCP congestion. Задача определяется характеристиками маршрутизаторов в сети (узлами графа ACO). Решением будут являться наборы параметров для каждого маршрутизатора, которые позволят достичь лучшей пропускной способности при меньшей нагрузке.

В статье описывается множество вариантов применения ACO к этой задаче (IMACO, antBalance – варианты с множеством колоний). Основной проблемой применения этого алгоритма является так называемая “стагнация”. Стагнация возникает когда большинство муравьев выбирают один и тот же маршрут (основная особенность ACO) и это приводит к уменьшению шанса выбора других маршрутов графа. Такой сценарий в реальных условиях вызовет перегрузку маршрута (при этом другие маршруты будут в состоянии простоя).

Статья завершается выбором алгоритмов множественных колоний как решения проблемы стагнации и возможности оптимизировать сетевую пропускную способность.

# An Ant Colony Optimization Algorithm for maximizing the lifetime of Heterogeneous Wireless Sensor Network

Беспроводная Сенсорная Сеть определяется как сеть небольших встраиваемых устройств (в большинстве случаев, микроконтроллеров), передающих данные друг другу по сети с технологией ad hoc (все устройства в сети равноправны и могут обмениваться данными напрямую с любым другим устройством). Такая сеть предназначена для очень низкой пропускной способности (несколько бит в день) и нацелена на максимизацию времени работы от батареи для каждого индивидуального устройства. Сама задача нацелена на уменьшение стоимости каждого индивидуального устройства (узла сенсорной сети).

Статья описывает уже применяемые в данный момент методы планирования передач для такой сети. Они включают в себя специальные приемы для уменьшения нагрузки на батарею (такие, как ограничение окна передачи во времени и его синхронизация с другими устройствами, таким образом все устройства знают когда нужно ожидать данных и включают режим приема или прослушивания только иногда, вместо того чтобы находиться в нем постоянно). Далее описан подход к минимизации стоимости, включающий использование PSO (Particle Swarm Optimization – оптимизационный алгоритм “Роя Частиц”), использующий некоторый набор частиц, каждая из которых представляет возможное решение задачи. На каждой итерации этого алгоритма частицы имеют некие ускорения, направленные в стороны уже известных лучших решений. Значение целевой функции вычисляется на каждой итерации и ускорения обновляются. Также имеется метаэвристика, предназначенная для предотвращения схода всех точек в одной области (что увеличивает возможность найти новые, более лучшие решения).

Статья завершается описанием применения ACO для этой же задачи и дает описание некоторых его преимуществ по отношению к планированию времени передачи.

# Ant colony optimization with re-initialization

Множество проблем могут быть сведены к графу (что позволит применить ACO). В реальных ситуациях не всегда резонно находить лучшее возможное решение. Вместо этого, в большинстве случаев “достаточно хорошее” решение предпочтительно. Данная статья фокусируется на описании возможных модификаций алгоритма муравьиных колоний и их эффектов.

В обычной ситуации баланс между использованием предпочтительных путей и исследованием новых (так называемое “многообразие путей”) в ACO достигается введением глобального правила обновления феромона (имитирующего испарение со временем). Помимо такого механизма контроля был предложен ввод полностью случайного выбора следующего узла вместо обычного способа (случайная составляющая совмещенная с количеством феромона на ребре графа). При таком выборе многообразие путей возможно даже при ситуации, где один маршрут полностью доминирует остальные по количеству феромона.

Следующим подходом к увеличению многообразия путей является введение лимита на феромон на каждом доступном пути. Таким образом, разность между минимальным и максимальным значением феромона никогда не превышает некое выбранное значение. Так как это значение имеет прямое отношение к выбору муравьем маршрута, такое ограничение уменьшает максимально возможную долю количества феромона в этом выборе.

Статья также описывает подход ре-инициализации работы алгоритма для увеличения многообразия путей. Процедура ре-инициализации состоит в изменении количества феромона в некоторой изменяемой по размеру области. Изменение производится в сторону уменьшения с использованием формулы, включающей среднее арифметическое значение феромона по графу. Это изменение делается таким образом, чтобы не потерять уже полученную информацию о графе.

Статья приводит результаты, которые показывают, что данные модификации улучшают результаты в тех ситуациях, где задача, как и ее лучшее решение изменяется со временем.

# Applying Ant Colony Optimization Algorithms to Solve the Traveling Salesman Problem

Этот источник является страницей на популярном ресурсе Code Project. Code Project является веб-сайтом, на котором легко найти достаточно простые для понимания примеры реализации проектов на различных языках программирования. Ресурс позволяет скачать исходный код проектов, а также каждая страница проекта содержит подробное описание принципов проекта и сопровождается частями исходного кода с коментариями. Также, страница проекта имеет рейтинги и комментарии пользователей ресурса, эти комментарии не редко содержат дополнительную полезную информацию.

Проект, описанный на данной странице является программой на языке С++ с использованием ACOTSP как ядра реализации ACO. Также в список используемых библиотек входит MFC (библиотека графического интерфейса от Microsoft), MS Visual Studio (интегрированная среда разработки), Boost (библиотека общего назначения для C++) и GDI+ (библиотека графического интерфейса, позволяющая создавать собственные элементы графики и контроля).

Программа предназначена для расчета кратчайшего пути через все вершины графа и предоставляет способ создания графа и изменения параметров алгоритма через графический интерфейс. Страница проекта содержит математическое описание принципов работы программы, примеры исходного кода, снимки экрана некоторых частей программы в действии и может служить полным руководством к использованию данной программы.

Доступность исходного кода позволяет исследовать реализацию алгоритма оптимизации муравьиной колонии, а описание на странице проекта позволяет скомпилировать и воспользоваться самой программой на компьютере под управлением Windows.