

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

NGUYỄN QUANG THỌ

# THUẬT TOÁN ACO VÀ ỨNG DỤNG

LUẬN VĂN THẠC SĨ: KHOA HỌC MÁY TÍNH

Thái Nguyên - 2013

## MỤC LỤC

TRANG PHỤ BÌA

LỜI CẢM ƠN

MỤC LỤC ..... i

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT ..... ii

PHẦN MỞ ĐẦU ..... 1

Chương 1 - Giới thiệu hệ thống đàn kiến ..... 2

1.1 Tìm hiểu hệ thống đàn kiến ..... 2

1.2 Mô phỏng hành vi thực tế của đàn kiến trong tự nhiên ..... 3

1.2.1 Mô tả hành vi đàn kiến trong tự nhiên ..... 3

1.2.2 Thí nghiệm chiếc cầu đôi ..... 4

1.2.3 Mô hình ngẫu nhiên ..... 8

1.3 Phương pháp tìm đường đi theo mô phỏng hành vi đàn kiến ..... 10

1.3.1 Đàn kiến nhân tạo ..... 10

1.3.2 Kiến nhân tạo và chi phí tối thiểu trên đường đi ..... 12

1.3.3 Sự bay hơi của pheromones ..... 15

1.4 Một số ứng dụng của thuật toán ACO ..... 15

1.4.1 Giải thuật ACO giải bài toán TSP ..... 16

1.4.2 Bài toán lập lịch sản xuất trên một máy đơn (SMTWTP) .. 17

1.4.3 Bài toán lập lịch tổng quát (GAP) ..... 18

1.4.4 Bài toán phủ tập hợp (SCP) ..... 20

1.4.5 Bài toán định tuyến mạng ..... 21

1.5 Tổng kết chương 1 ..... 23

Chương 2 - Một số thuật toán tối ưu đàn kiến .....	24
2.1 Thuật toán AS .....	24
2.2 Thuật toán MMAS .....	28
2.3 Thuật toán ACS .....	31
2.4 Tổng kết chương 2 .....	35
Chương 3 - Ứng dụng thuật toán ACO giải bài toán TSP .....	36
3.1 Bài toán TSP .....	36
3.2 Thuật toán ACO giải bài toán TSP .....	37
3.2.1 Các bước của thuật toán ACO giải bài toán TSP .....	37
3.2.2 Thuật toán ACO giải bài toán TSP .....	38
3.3. Xây dựng chương trình Demo áp dụng thuật toán ACO giải bài TSP .....	43
3.3.1 Xây dựng cấu trúc dữ liệu .....	43
3.3.2 Một số thủ tục chính .....	45
3.3.3 Chương trình Demo .....	47
3.4 Tổng kết chương 3 .....	50
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN .....	51
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	53
PHỤ LỤC .....	54

## PHẦN MỞ ĐẦU

Thuật toán mô phỏng theo cách thức tìm đường của loài kiến dựa trên mật độ một loại chất hóa học (gọi là mùi) do kiến tạo ra trên đường đi đã được một số nhà khoa học nghiên cứu, thí nghiệm điển hình và cho kết quả vượt trội là thí nghiệm được xây dựng bởi Deneubourg và các đồng nghiệp của ông vào năm 1989.

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu này, nhiều nhà khoa học đã đi sâu nghiên cứu nhiều các hệ kiến khác nhau. Năm 1996, nhà khoa học người Bỉ Marco Dorigo đã xây dựng thuật toán đàn kiến (Ant Algorithm) đầu tiên ứng dụng vào giải bài toán người du lịch trong luận án tiến sĩ của mình.

Hiện nay, các thuật toán kiến đã được ứng dụng vào thực tế ở nhiều lĩnh vực khác nhau như: Áp dụng vào việc kinh doanh của một số hãng vận tải lớn tại Mỹ, ứng dụng trong ngành bưu chính tại Đan Mạch, tìm kiếm thông tin trên mạng internet, v.v..

Trong khuôn khổ đề tài này, em sẽ tìm hiểu về thuật toán tối ưu hóa đàn kiến ACO (Ant Colony Optimization) với tên đề tài: “**Thuật toán ACO và ứng dụng**”.

## CHƯƠNG 1

### GIỚI THIỆU HỆ THỐNG ĐÀN KIẾN

#### 1.1 Tìm hiểu hệ thống đàn kiến

Các công trình nghiên cứu về hệ thống đàn kiến (Ant System) đã thu được các kết quả thiết thực từ việc quan sát hành vi thực tế của loài kiến, quan sát các mô hình giả lập đàn kiến nhân tạo. Các nhà khoa học đã sử dụng các mô hình này như là một nguồn cảm hứng cho việc thiết kế các thuật toán, đưa ra giải pháp tối ưu hóa và phân phối kiểm soát các vấn đề trong thực tế.

Tối ưu hóa đàn kiến ACO (Ant Colony Optimization) lần đầu tiên được Marco Dorigo giới thiệu vào năm 1992, còn được gọi là Hệ thống đàn kiến AS (Ant System). AS ban đầu được áp dụng cho bài toán người bán hàng (TSP) [4], [9], [10].

Kể từ năm 1995 Dorigo, Gambardella và Stützle đã phát triển các sơ đồ AS khác nhau. Dorigo và Gambardella đã đề xuất Hệ thống bầy kiến - Ant Colony System (ACS) trong khi Stützle và Hoos đề xuất Max-Min Ant System (MMAS). MMAS là một hệ thống cải tiến hệ thống AS ban đầu và được đánh giá là hệ thống tính toán trong tương lai [4], [8], [9]. Tất cả đều áp dụng giải bài toán người bán hàng đối xứng hay không đối xứng và cho kết quả tối ưu.

Năm 1996, trong bài báo công nghệ của mình M. Dorigo và L.M. Gambardella đã công bố hệ thống Ant Colony System. Đây là hệ thống đề cập đến cách học phối hợp áp dụng cho bài toán TSP [1], [4], [10].

Sau đó, vào năm 1997, G. Di Caro và M. Dorigo đã đề xuất hệ thống AntNet. Đây là cách tiếp cận về định hướng sự thích nghi. Và phiên bản cuối cùng của hệ thống AntNet về điều khiển mạng truyền thông đã được công bố vào năm 1998 [4].

Vào năm 2001, C. Blum, A. Roli, và M. Dorigo đã cho công bố về hệ thống đàn kiến mới là Hyper Cube - ACO. Phiên bản mở rộng tiếp đó đã được công bố vào năm 2004 [4], [6], [9].

Hầu hết các nghiên cứu gần đây về ACO tập trung vào việc phát triển các thuật toán biến thể để làm tăng hiệu năng tính toán của thuật toán Ant System ban đầu để ứng dụng ngày càng nhiều vào các lĩnh vực cụ thể.

## **1.2 Mô phỏng hành vi thực tế của đàn kiến trong tự nhiên**

### **1.2.1 Mô tả hành vi đàn kiến trong tự nhiên**

Trong tự nhiên, từ sự cảm nhận một cách trực quan thì loài kiến được xem như là mù hoàn toàn và hành động của chúng mang tính chất mò mẫm. Một kết quả nghiên cứu hết sức quan trọng sớm được công nhận là mọi hành vi của đàn kiến như: quá trình trao đổi thông tin giữa các con kiến với nhau hoặc giữa các con kiến với môi trường bên ngoài đều dựa trên việc sử dụng một chất được chính mỗi con kiến tạo ra. Hóa chất có mùi này được gọi là Pheromones [1], [4], [6].

Theo phản xạ tự nhiên, trong quá trình di chuyển các con kiến đi đến đâu sẽ tự động xịt chất có mùi pheromones ra đến đó. Tại mỗi vị trí di chuyển, một con kiến sẽ quyết định lựa chọn hướng đi dựa trên nồng độ chất pheromones của hướng đó, ưu tiên lựa chọn hướng có nồng độ chất pheromones cao hơn. Trong trường hợp tại vị trí mà nồng độ chất pheromones bằng nhau hoặc nồng độ chất pheromones là không có thì con kiến sẽ quyết định lựa chọn hướng đi một cách ngẫu nhiên. Cứ như thế, các con kiến sẽ đi theo dấu chân của nhau và tạo nên một con đường đi của cả đàn kiến mà chúng ta thường quan sát thấy trong tự nhiên.

Các lĩnh vực nghiên cứu về “Thuật toán đàn kiến” đều dựa trên việc quan sát hành vi thực tế của đàn kiến, sau đó sẽ sử dụng có mô hình như một nguồn cảm hứng, làm nền tảng để xây dựng nên các thuật toán mới để giải

quyết các vấn đề về tối ưu hóa cũng như các vấn đề về điều khiển, xử lý phân tán.

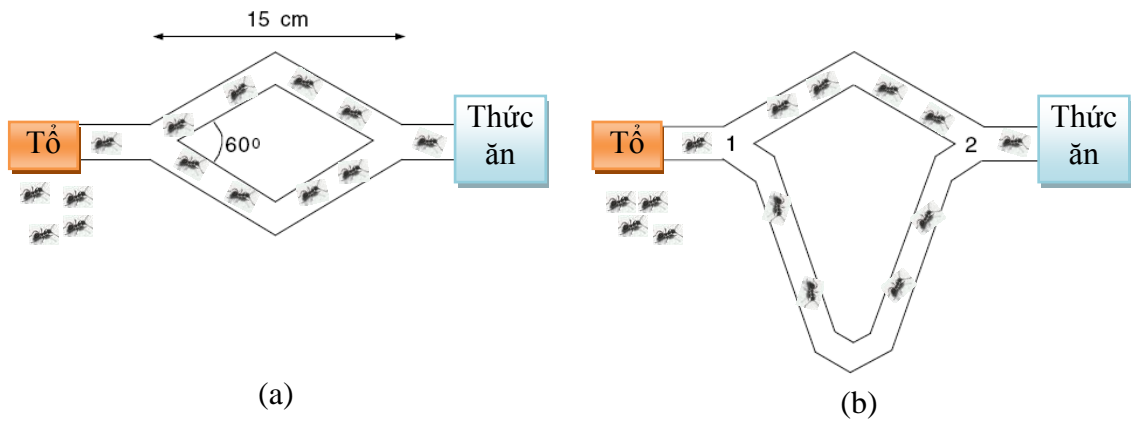
### 1.2.2 Thí nghiệm chiếc cầu đôi

Hành vi đi kiếm ăn của đàn kiến được quan sát cụ thể trong thực tế; ví dụ một số loài kiến thợ (nghiên cứu của Goss - năm 1989), kiến *Linepithema Argentina*, kiến *Lasius Germani* (nghiên cứu của Bonabeau - năm 1990) đều cho rằng quá trình giao tiếp, trao đổi thông tin của kiến đều dựa trên một yếu tố trung gian đó là nồng độ pheromones [4], [6].

Trong quá trình di chuyển từ tổ đến nguồn thức ăn và ngược lại, chúng đã lưu lại dấu tích của nồng độ pheromones trên đường đi, từ đó hình thành nên một “vết mùi pheromones”. Các con kiến có thể ngửi mùi pheromones, chúng có xu hướng sẽ lựa chọn đường đi theo xác suất, đường đi này sẽ được đánh dấu dựa trên hướng đi nơi có nồng độ chất pheromones cao.

Sự gửi vết mùi pheromone mô phỏng hành vi của một số loài kiến đã được kiểm tra trong các thử nghiệm của một số nhà nghiên cứu. Một trong những thí nghiệm nổi bật nhất là thí nghiệm chiếc cầu đôi được thiết kế bởi Deneubourg và các đồng nghiệp [4]. Họ tiến hành xây dựng một cây cầu kết nối tổ của đàn kiến với nguồn thức ăn của chúng. Các nhà khoa học đã thử nghiệm với các tỉ lệ  $r = l_l / l_s$  giữa độ dài hai nhánh của cây cầu (trong đó  $l_l$  là độ dài của nhánh dài và  $l_s$  là độ dài của nhánh ngắn hơn).

Trong lần thử nghiệm thứ nhất, tỉ lệ độ dài hai nhánh của cây cầu là  $r = 1$  ( $l_l = l_s$ ) (Hình 1.1a). Ban đầu, thì các con kiến được lựa chọn đường đi từ tổ đến nguồn thức ăn và ngược lại một cách ngẫu nhiên và với cùng một xác suất. Việc lựa chọn một trong hai nhánh của cây cầu được quan sát cẩn thận theo thời gian. Kết quả là: mặc dù khi khởi hành các con kiến lựa chọn đường đi một cách ngẫu nhiên. Sau đó theo thời gian, tất cả các con kiến đều sử dụng chung một nhánh của cây cầu.



**Hình 1.1** Thí nghiệm chiếc cầu đôi. (a) Hai nhánh có kích thước bằng nhau, (b) Một nhánh có kích thước gấp đôi nhánh kia

*Kết quả này được giải thích như sau:*

Khi khởi hành, trên 2 nhánh của cây cầu đều chưa có pheromones. Do đó, các con kiến có thể chọn một trong các nhánh với cùng một xác suất. Tuy nhiên, do sự lựa chọn là ngẫu nhiên lên sau một thời gian số lượng kiến đi trên những các nhánh sẽ khác nhau. Bởi vì loài kiến sẽ gửi chất pheromones trong khi di chuyển, dần dần số lượng pheromones trên những nhánh cũng sẽ khác nhau theo thời gian, điều này càng kích thích thêm đàn kiến sẽ lựa chọn nhánh có nồng độ chất pheromones cao hơn, và như vậy đến một thời gian nào đó tất cả các con kiến sẽ hội tụ về cùng một nhánh.

Quá trình này được gọi là “tự xúc tác” hay “phản hồi tích cực”. Trong thực tế, một ví dụ về tính tự tổ chức hành vi của đàn kiến: mô hình vĩ mô (tương ứng với sự hội tụ về một nhánh) được xây dựng từ các tiến trình và sự tham gia tương tác ở nơi được gọi là mức độ “hiển vi” (theo định nghĩa của Camazine, Deneubourg và các đồng nghiệp). Trong trường hợp của chúng ta, các con kiến cùng hội tụ về một nhánh thể hiện ở mức hành vi mang tính tập thể của bầy đàn, điều đó có thể được giải thích bởi hoạt động mang tính hiển vi của loài kiến, hoặc bởi quá trình tương tác cục bộ giữa các cá thể trong một đàn kiến. Đó cũng là một ví dụ về quá trình truyền thông tin một cách gián



tiếp thông qua sự tương tác với môi trường (*stigmergy communication*), các con kiến phối hợp các hoạt động của chúng, khai thác thông tin liên lạc một cách gián tiếp qua trung gian bằng những thay đổi của môi trường mà chúng di chuyển trong đó.

Trong thí nghiệm thứ hai, tỷ lệ về độ dài giữa hai nhánh của cây cầu được thiết lập là  $r = 2$ , do đó chiều đường đi của nhánh dài sẽ gấp 2 lần so với nhánh ngắn (*Hình 1.1b*). Trong trường hợp này, ở hầu hết các thử nghiệm thì sau một khoảng thời gian thì tất cả các con kiến chỉ lựa chọn đường đi ở nhánh ngắn hơn. Trong thí nghiệm thứ hai, các con kiến rời khỏi tổ để khám phá môi trường xung quanh và đến một điểm quyết định, tại đó chúng phải lựa chọn một trong hai nhánh. Vì lý do ban đầu hai nhánh của cây cầu đều xuất hiện như nhau trước lũ kiến nên chúng sẽ lựa chọn một cách ngẫu nhiên. Vì thế, có thể dự kiến rằng, trung bình thì một nửa số kiến sẽ chọn nhánh ngắn và nửa còn lại sẽ chọn nhánh dài, mặc dù các dao động ngẫu nhiên đôi khi có thể ưu tiên chọn một nhánh này hoặc nhánh khác.

Tuy nhiên, thí nghiệm này được thiết lập để trình bày một sự khác biệt đáng chú ý đối với thí nghiệm trước đó: bởi vì với một nhánh có chiều dài ngắn hơn nhánh còn lại thì các con kiến sẽ chọn nhánh ngắn đầu tiên để có thể đạt đến nguồn thức ăn và cũng là nhánh để bắt đầu quá trình quay ngược về tổ. Nhưng sau đó, khi chúng phải đưa ra quyết định lựa chọn giữa nhánh ngắn và nhánh dài, khi đó thì nồng độ chất pheromones ở nhánh nào cao hơn sẽ được ưu tiên lựa chọn làm quyết định của chúng. Vì thế, nồng độ chất pheromones sẽ được tích lũy ngày càng cao ở nhánh ngắn, và điều này sẽ được rút kinh nghiệm đối với các con kiến đi sau do quá trình “tự xúc tác” đã được mô tả phía trên.

Quá trình trao đổi thông tin gián tiếp qua sự biến đổi của môi trường, quá trình “tự xúc tác” và độ dài của con đường chính là nhân tố chính của việc lựa chọn đường. Điều thú vị có thể quan sát được như sau: ngay cả khi

nhánh dài gấp đôi nhánh ngắn thì không phải tất cả các con kiến đều chọn nhánh ngắn, mà một tỷ lệ nhỏ con kiến trong số chúng vẫn lựa chọn đường đi ở nhánh dài hơn. Trường hợp này có thể được diễn giải như là một loại “con đường khám phá” [4].

Khi đàn kiến hội tụ về một nhánh và xây dựng được một kết nối giữa tổ kiến và nguồn thức ăn. Chúng ta quan sát hiện tượng thú vị trong một thí nghiệm mở rộng: khi khởi đầu chỉ có nhánh dài được đưa vào phạm vi đàn kiến di chuyển qua; sau 30 phút thì một nhánh ngắn hơn được thêm vào (*Hình 1.2*). Trong trường hợp này thì nhánh ngắn không được lựa chọn thường xuyên và đàn kiến hiện đang mắc trên nhánh dài. Điều này có thể được giải thích bởi nồng độ chất pheromones ở nhánh dài cao và làm chậm tốc độ bay hơi của chất pheromones. Thực tế, đa số các con kiến đều chọn nhánh dài vì tại nhánh này nồng độ pheromones cao, và hành vi “tự xúc tác” của chúng tiếp tục được củng cố trên nhánh dài, ngay cả khi có sự xuất hiện của nhánh ngắn.

Quá trình bốc hơi của pheromones rất có lợi cho quá trình thăm dò, khám phá ra những con đường mới, tuy nhiên quá trình bốc hơi này diễn ra khá chậm: thời gian tồn tại của pheromones được so sánh với thời gian tiến hành cuộc thử nghiệm, có nghĩa là chất pheromones bốc hơi quá chậm để cho các con kiến có thể “quên” đi con đường không tối ưu mà chúng đã hội tụ để có thể khám phá ra con đường mới ngắn hơn và có thể “học được”.