

# 连续优化问题的蚁群算法研究进展

肇 勇<sup>1</sup>, 卢晓刚<sup>2</sup>

(1. 西南石油学院 机电院, 四川 新都 610500; 2. 西南石油学院 石工院, 四川 新都 610500)

**【摘 要】**介绍了蚁群算法用于连续优化问题的发展现状, 对蚁群算法的特点进行了分析研究, 并提出了进一步的研究方向。

**【关键词】**蚁群算法; 信息素; 连续优化问题

**【中图分类号】**O224

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1008-4886(2004)05-0041-03

## 0 前言

自 1991 年 Marco Dorigo 等人提出了第一个蚁群算法——蚂蚁系统(AS)以来,<sup>[1]</sup> 蚁群算法已成功用于一系列复杂组合优化问题: 旅行商问题(TSP),<sup>[2]</sup> 二次分配问题,<sup>[3]</sup> 调度问题,<sup>[4]</sup> 车辆路径问题等 NP-完全问题。<sup>[5]</sup> 由于许多工程优化问题属于连续优化问题的范围, 所以最近用于连续优化问题的蚁群算法又成为人们研究的重点。本文介绍并分析了用于连续优化问题的蚁群算法的发展现状, 并提出了今后的研究方向。

## 1 蚁群算法的基本原理

**1.1 基本原理。**蚁群算法最初是模拟蚂蚁的觅食行为与 TSP(旅行商问题)的相似性提出的, 蚂蚁的觅食行为与组合优化问题的对比, 见表 1:

组合优化问题	蚂蚁觅食
各个状态解	要环游的各个城市
最优解	蚂蚁的环游
各状态的吸引度	最短环游
状态更新	信息素的数量
目标函数	信息素更新
	路径长度

蚂蚁之间是通过一种叫做信息素(外激素)的物质进行交流的, 蚂蚁运动时在所走路径上释放出信息素, 路径越长信息素密度越小, 反之越大, 而蚂蚁有朝着信息素密

度大的方向运动的倾向, 所以最终整个蚁群会找到食物源到巢穴之间的最短路径。蚂蚁的这种觅食行为是一种正反馈机制, 即路径越短信息素密度越大, 信息素密度越大路径越短。

以 TSP 为例, 蚁群算法中蚂蚁是通过选择概率来选择下一个要移动的城市, AS 采用的选择概率为:

$$p_j^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in N^k} [\tau_{ij}(t)]^a \cdot [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{如果 } j \notin N^k \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中,  $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ ;

$d_{ij}$  为城市  $i$  与城市  $j$  的距离;

$N^k$  为记忆表, 置放蚂蚁  $k$  已走过的城市。

每只蚂蚁环游完所以城市后, 通过信息素( $\tau$ )更新规则对路径上的信息素进行更新:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{kij}(t)$$

其中:

$$\Delta\tau_{ijk}(t) = \begin{cases} 1/L^k(t) & \text{如果弧}(i,j) \text{被蚂蚁 } k \text{ 使用} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$L^k(t)$  是蚂蚁  $k$  环游的长度。

## 1.2 算法描述

### 1.2.1 初始化:

①将蚂蚁分布于各个城市(开始城市);

②初始化  $\tau_{ij}$  和  $\Delta\tau_{ij}$ 。

### 1.2.2 局部更新信息素:

①对每只蚂蚁用转移概率选择要移动的下一个城市, 并更新记忆表;

②每只蚂蚁环游一圈后, 用信息素更新规则更新信息

\* 【收稿日期】2004—04—20

【作者简介】肇 勇(1975—), 男, 辽宁抚顺人, 西南石油学院机电学院硕士研究生, 研究方向: 现代设计方法及理论; 卢晓刚(1973—), 男, 辽宁铁岭人, 西南石油学院石工院硕士研究生, 研究方向: 石油天然气储运工程。

素。

### 1.2.3 全局更新信息素:

所有蚂蚁环游一圈后, 用信息素更新规则更新信息素。

### 1.2.4 不断迭代直至满足停止条件。

## 2 连续优化问题的蚁群算法研究现状

在工程优化中, 所遇到的大都是连续优化问题, 即函数优化问题。因此研究蚁群算法在连续优化问题中的应用很有价值。传统的优化方法对于目标函数的要求条件较多, 例如可微、可导、凸函数等, 在实际的工程优化问题中这些条件的要求就很苛刻了, 而蚁群算法没有对于函数的上述要求。目前蚁群算法的较为成功的应用是在组合优化问题中, 对于连续优化问题的研究才刚刚起步。虽然蚁群算法在连续优化问题中的应用起步较晚, 但已取得了一些令人鼓舞的成果。

### 2.1 用于连续优化问题的蚁群算法概述

最早, Bilechev 等人将蚁群算法用来配合遗传算法解决连续优化问题。<sup>[6]</sup> 陈峻等人提出了一种进行连续参数优化的一种方法,<sup>[7]</sup> 在算法中引入了遗传机制。除了上述用于连续问题的基于传统蚁群算法上改进的方法外, 还出现了模仿一种不使用信息素而使用可见标志的蚂蚁的蚁群算法 (API)。<sup>[8]</sup> 带有记忆的蚂蚁的巢穴是移动的, 蚂蚁在巢穴附近进行局部搜索目标, 将各只蚂蚁搜索的目标进行比较, 采用最好值作为新的巢穴, 围绕新巢穴再进行搜索。实际上该方法是一种与禁忌搜索法结合的自适应动态随机搜索法。怎样将用于组合优化问题的蚁群算法的模型用于连续优化问题是蚁群算法用于连续优化问题需要解决的首要问题。归纳起来, 目前用于连续优化问题的蚁群算法主要有两种:

#### 2.1.1 直接搜索解空间中的点。<sup>[8][9]</sup>

设有  $m$  只蚂蚁, 初始巢穴位置为  $x_0$ 。在巢穴周围一定的区域内, 即  $x_0$  为中心以某一长度  $A_{nest}$  为半径的球体内, 将  $m$  只蚂蚁分布于球体内, 然后每只蚂蚁以半径  $A_{ant}$  进行搜索。将每只蚂蚁搜索到的新点的适应值进行比较, 取适应值最大的点  $F(x_i)$ , 更新信息素。所有蚂蚁完成一次搜索后, 将  $F(x_i)$  与巢穴位置点的适应值  $F(x_0)$  进行比较, 如果  $F(x_i) > F(x_0)$ , 则将  $x_i$  作为新的巢穴位置, 否则, 随机选择一个点作为新的巢穴, 并更新信息素。

整个搜索过程分为两部分: 全局搜索和局部搜索。全局搜索是通过移动巢穴来完成, 而局部搜索是通过蚂蚁的个体搜索行为来完成。可以采用信息素更新原则对搜索点进行信息素更新, 这里所谓的信息素更新不同于基本蚁群算法, 基本蚁群算法中的信息素是分配在各条路径上, 而前者的信息素是作用在各个点上, 实际上是点的吸引度。整个蚁群的移动是随着巢穴坐标的移动进行。

这种方法实际上是在传统的随机搜索法的基础上, 采用蚁群的群体并行策略和信息素强度分布的规则实现的一种并行随机搜索策略, 使搜索的方向多样化, 而蚁群算法本身是一种随机搜索方法, 所以算法的全局搜索性能有所加强。

#### 2.1.2 通过搜索解空间中各点的每个变量形成新的点(或区域)。<sup>[7][10]</sup>

由于组合优化问题和连续优化问题的解空间的形式不一样, 组合问题的解空间是有限的离散点空间, 而连续优化问题的解空间是连续的区域, 所以要将蚁群算法应用到函数优化问题中首先要解决的就是建立连续优化问题的模型。如图 1, 其中  $m$  为蚂蚁的数量,  $n$  为优化变量的数目。

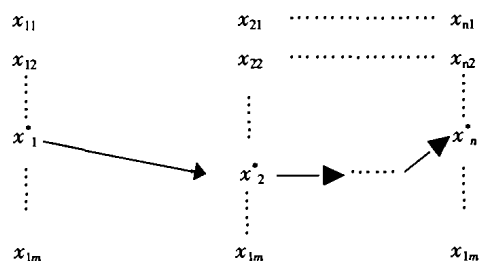


图 1

$m$  只蚂蚁从初始变量出发, 每只在下一个变量的  $m$  个值中选择一个值作为下一要选择的变量, 依次选遍  $n$  个变量, 比较所有蚂蚁环游一次所有变量后的适应值, 并更新信息素。在适应值最大的解的基础上使用邻域算子或划分网格布点进行下一步搜索。如此循环直至满足停止条件。

陈峻等人在用蚁群算法得到初始种群的解后,<sup>[7]</sup> 再用遗传算法进行进一步邻域搜索, 这实际上是一种串行结构的混合优化方法。这种方法使用两种不同的解的邻域结构对解空间进行搜索, 使解呈现多样化, 增加了算法的全局性能。

基于网格法的蚁群算法是一种确定型全局优化方法与随机型全局优化方法的结合,<sup>[10]</sup> 使整个算法的确定性因素和随机性因素共同作用, 也即局部搜索的优势与全局搜索优势相结合, 提高了算法的性能。

## 3 结论

目前, 蚁群算法的连续空间优化问题是蚁群算法研究者重点研究的问题之一。由于蚁群算法在理论上不如遗传算法、模拟退火法等元启发式算法那样成熟, 所以蚁群算法的发展大都围绕算法性能进行, 而用于连续空间优化问题的蚁群算法更是如此。但经过测试函数的测试可以得到较好的结果, 初步从性能上说明蚁群算法在连续空间问题上的可行性。

对于低维函数优化问题,蚁群算法的测试结果是较好的,而对于多维函数优化问题应该是今后蚁群算法的一个研究重点。连续优化问题的蚁群算法的理论收敛性还未得到证明,因此研究理论收敛性也是今后的研究重点之一。随着蚁群算法的理论及连续优化问题的理论与应用研究的进一步发展,将蚁群算法用于连续空间优化问题将取得更大的发展。

#### 参考文献:

- [1] Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. IEEE Trans on SMC, 1996, 26, (1): 29 ~ 41.
- [2] Dorigo M, Gambardella L M. Ant Colony System: A Cooperative learning approach to the traveling salesman problem. IEEE Trans on Evolutionary Computing, 1997, 1, (1): 53 ~ 56.
- [3] Maniezzo V. , A. Colomi and M. Dorigo. The Ant System Applied to the Quadratic Assignment Problem. Tech. Rep. IRIDIA/94 ~ 28, 1994, Belgium.
- [4] Colomi A. , M. Dorigo, V. Maniezzo and M. Trubian(1994). Ant system for Job - shop Scheduling. JORBEL - Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer science, 34(1): 39 ~ 53.
- [5] Bullnheimer B. , R. F. Hartl and C. Strauss. An Improved Ant system Algorithm for the Vehicle Routing Problem. Annals of operations Research; Nonlinear Economic Dynamics and Control, 1999.
- [6] G. Bilchev, I. C. Parmee. The Ant Colony Metaphor for Searching Continuous Design Spaces. Proceedings of the AISB Workshop on Evolutionary Computation University of Sheffield, UK, April 3 - 4, 1995.
- [7] 陈 峻,沈 洁,秦 玲. 蚁群算法进行连续参数优化的新途径[J]. 系统工程理论与实践, 2003(3), 48 ~ 53.
- [8] N. Monmarche, G. Venturini, M. Slimane. On how Pachycondyla apicalis ants suggest a new search algorithm. Future Generation Computer Systems 16 (2000): 937 ~ 946.
- [9] 汪 镭,吴启迪. 蚁群算法在连续空间寻优问题求解中的应用[J]. 控制与决策, 2003, 18(1): 45 ~ 48
- [10] 高 尚,钟 娟,莫述军. 连续优化问题的蚁群算法研究[J]. 微机发展, 2003, 13(1): 21 ~ 22.

[责任编辑 张志远]

## A Research Progress of Ant Colony Algorithm for Continuous Optimization Problem

ZHAO Yong<sup>1</sup>, LU Xiao-gang<sup>2</sup>

( Faculty of Machinery & Electronic Engineering, Southwest Petroleum Institute, Xindu Sichuan 610500, China)

**Abstract:** The actuality of study on the ant colony algorithm for continuous optimization problem is discussed. Its main characteristics including their advantages and disadvantages are analyzed. On the basis of the above, the future studies are considered.

**Key words:** ant colony algorithm; pheromone; continuous optimization problem