

蚁群算法概述

田 清 华

(石家庄职业技术学院 实训中心, 河北 石家庄 050081)

摘 要: 蚁群算法是一种新型模拟进化算法, 广泛应用于求解组合优化问题. 对蚁群算法的原理、模型的建立及此算法的发展前景进行了剖析.

关键词: 蚁群算法; 组合优化; 外激素

中图分类号: TP301.6 **文献标识码:** A

1 引言

20 世纪 50 年代中期创立了仿生学, 人们从生物进化的机理中受到启发, 提出了许多用以解决复杂优化问题的新方法, 如进化规划、进化策略、遗传算法等, 这些算法成功地解决了一些实际问题. 20 世纪 90 年代意大利学者 M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi 等从生物进化的机制中受到启发, 通过模拟自然界蚂蚁搜索路径的行为, 提出一种新型的模拟进化算法——蚁群算法^[1]. 用该方法求解 TSP 问题^[2]、分配问题^[3]、job-shop 调度问题, 取得了较好的试验结果. 虽然研究时间不长, 但是现在的研究显示出, 蚁群算法在求解复杂优化问题^[4-5]方面有一定优势, 表明它是一种有发展前景的算法.

2 蚁群算法的原理

研究表明: 蚂蚁在觅食途中会留下一外激素. 蚂蚁利用外激素与其他蚂蚁交流、合作, 找到较短路径. 经过某地的蚂蚁越多, 外激素的强度越大. 蚂蚁择路偏向选择外激素强度大的方向. 这种跟随外激素强度前进的行为会随着经过蚂蚁的增多而加强, 因为通过较短路径往返于食物和巢穴之间的蚂蚁能以更短的时间经过这条路径上的点, 所以这些点上的外激素就会因蚂蚁经过的次数增多而增强. 这样就会有更多的蚂蚁选择此路径, 这条路径上的外激素就会越来越强, 选择此路径的蚂蚁也越来越多. 直到最后, 几乎所有的蚂蚁都选择这条最短的路径. 这是一种正反馈现象.^[6-8]

3 蚁群算法的模型

我们以求解 n 个城市的 TSP 问题(用 $0, 1, \dots, n-1$ 表示城市序号)来说明蚁群系统模型(稍加改动即可解决其他问题). TSP 问题是一个著名的 NP-hard 问题. 即给定 n 个城市的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$ 及城市之间的环游花费 $C_{ij} (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n, i \neq j)$, 找到一条经过每个城市一次且回到起点的最小花费的环游. 若将每个顶点看成是图上的节点, 花

费 C_{ij} 为连接点 V_i, V_j 边上的权, 则 TSP 问题就是在一个具有 n 个节点的完全图上找一条花费最小的哈密顿回路.

引进如下记号: m 为蚁群中蚂蚁的数量; $d_{ij}(i, j = 0, 1, 2, \dots, n-1)$ 为 i 城和 j 城之间的距离 $\tau_{ij}(t)$ 为 t 时刻在 ij 连线的路径上残留的信息量. 初始时刻, 各条路径上的信息量相等. 设 $\tau_{ij}(0) = \text{常数}$, 蚂蚁 $k (k = 1, 2, \dots, m)$ 在择路时按信息素的量来决定转移方向, P_{ij}^k 为 t 时刻蚂蚁 k 由 i 城转移到 j 城的概率.

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{n \in \text{allowed}_k} \tau_{in}^\alpha(t) \eta_{in}^\beta(t)}, & j \in \text{allowed}_k \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中的 $\text{allowed}_k = [0, 1, \dots, n-1] - \text{tabu}_k$ 表示蚂蚁 k 下一步允许选择的的城市. α 表示残留信息的相对重要程度; β 表示期望值的相对重要程度; η_{ij} 表示由城市 i 转移到城市 j 的期望度, 可以由某种启发式算法确定. 人工蚁群系统有记忆功能, 这是实际蚁群所不具备的功能. 经过 n 个时刻, 蚂蚁完成一次循环, 各条路径上的信息素量要根据下式调整: $\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}$. 其中 ρ 表示轨迹的持久性; $1-\rho$ 表示轨迹衰减度, 即信息的消逝程度.

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k.$$

$\Delta\tau_{ij}^k$ 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中留在路径 ij 上的信息量, $\Delta\tau_{ij}$ 表示本次循环中路径上的信息量的增量. $\Delta\tau_{ij}$ 采用 M. Dorigo 提出的 ant-cycle system 模型中的取值方法, 即

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁在时刻 } t \text{ 和} \\ & \text{时刻 } t+1 \text{ 之间经过 } i, j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中 Q 是常数, L_k 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中走的路径长度. 在初始时刻, $\Delta\tau_{ij} = 0 (i, j = 0, 1, \dots, n-1)$.

参数 α, β, Q 对算法的性能有很大的影响. α 值的大小

表明留在每个节点上的信息量受重视的程度, α 值越大, 蚂蚁选择以前经过的点的可能性越大, 过大会使搜索过早陷于局部最小点; β 的大小表明启发式信息受重视的程度; Q 值会影响算法的收敛速度, Q 过大会使算法收敛于局部最小值, 过小又会影响算法收敛速度, Q 随着问题规模的增大而变化; 蚂蚁的数目越多, 算法的全局搜索能力越强, 数目加大使算法的收敛速度减慢, 且在蚂蚁数目相同时, 随着问题规模的增大, 算法的全局搜索能力降低。^[3]

4 蚁群算法的发展

自从 1991 年 M. Dorigo 等人首先提出蚁群算法以来, 有许多研究人员对该算法进行研究, 并成功地应用于解决复杂组合优化问题. 在研究该算法的过程中, 研究人员提出一些改进的算法. 如:

(1) MMAS (Max-Min ant system) 最大最小蚁群算法. 其基本思想是: 只让最佳路径的外激素增加, 加快收敛速度; 为了避免算法过早收敛于非全局最优解, 将各条路径可能的的外激素浓度限于 $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$, 超出这个范围的值被强制设为 τ_{\min} 或 τ_{\max} , 可以有效地避免某条路径上的信息量远大于其余路径, 使蚂蚁都集中到同一条路径上, 这样使算法不再扩散; 将各条路径上外激素的起始浓度设为 τ_{\max} , 这样便可以更加充分地进行寻优.

(2) 具有变异特征的蚁群算法. 当群体的规模较大时, 需要较长时间才能搜索到最佳路径. 为了克服此缺点, 受遗传算法中的变异算子的启发, 提出具有变异特征的蚁群算法. 算法中使用逆转变异方式, 即设某个体走的路径是:

$i_0 i_1 i_2 \cdots i_{(n-1)}$, ($i_0, i_1, \cdots, i_{(n-1)} \in \{0, 1, 2, \cdots, n-1\}$), 如果满足 $d_{[i_1][i_2]} + d_{[i_{(s_1+1)\%n}][i_{(s_2+1)\%n}]} < d_{[i_1][i_{(s_1+1)\%n}]} + d_{[i_2][i_{(s_2+1)\%n}]}$, 其中, $s_1, s_2 \in \{0, 1, \cdots, (n-1)\}$, % 表示整除. 将 $s_1 + 1$ 和 s_2 这一段颠倒过来. 此算法引入变异算子, 经较少的进化代数就可以找到较好的解.

(3) 自适应蚁群算法. 在此算法中采用确定性选择和随机选择相结合的选择策略, 并在搜索过程中动态调整确定性选择的概率. 当进化到一定代数后, 进化方向已经基本确定, 对路径上的信息量进行动态调整, 缩小最好和最差路径上的信息量的差距, 并适当加大随机选择的概率, 以利于对空间的完全搜索, 可有效地克服基本蚁群算法进化速度慢及易陷入局部最优解的缺陷.

5 结论

蚁群算法是一种源于自然界中生物的新的仿生类模拟进化算法, 对求解复杂组合优化问题有如下的优势: ①较强的鲁棒性, 对蚁群算法模型稍加改动, 便可应用于其他问题. ②分布式计算, 蚁群算法是一种基于种群的进化算法, 具有并行性. ③蚁群算法易于与其他启发式算法结合, 从而改善算法的性能. 但是蚁群算法的研究才刚起步, 不像其他启发式算法那样已有系统的分析方法和坚实的数学基础. 因此参数的选择依靠实验和经验, 且计算时间长, 这些有待进一步研究. 随着研究的深入, 蚁群算法也将同其他模拟进化算法一样, 获得越来越多的应用.^[4-6]

参考文献:

- [1] COLORNI ALBERTO, DORIGOM, MANIEZZO. Distributed optimization by ant colonies [C]. Proc. of the First European Conf. on Artificial Life. Paris: Elsevier Publishing, 1991. 134-142.
- [2] DORIGO M, MANIEXXO VITTORIO, COLORNI ALBERTO. The Ant system; Optimization by a colony of cooperating agents [J]. IEEE Transaction Systems, Man, and Cybernetics-Part B, 1996, 26(1): 1-12.
- [3] DORIGO M, GAMBARDILLA LM. Ant colonies for the traveling salesman problem [J]. Biosystem, 1997, 43(2): 73-81.
- [4] 忻斌健, 吴启迪. 蚁群算法的研究现状及其应用 [A]. 中国控制与决策学术年会论文集 [C]. 2001. 340-344.
- [5] 马良, 项培军. 蚂蚁算法在组合优化中的应用 [J]. 管理科学学报, 2001, (4).
- [6] 游道明, 陈坚. 用蚂蚁算法解决多目标 TSP 问题 [J]. 小型微型计算机系统, 2003, (10): 1808-1811.
- [7] 胡小兵, 黄席樾, 张著洪. 一种新的自适应蚁群算法及其应用 [J]. 计算机仿真, 2004, (6): 108-111.
- [8] 侯立文, 蒋馥. 一种基于蚂蚁算法的交通分配方法及其应用 [J]. 上海交通大学学报, 2001, (6): 930-933.

责任编辑: 金 欣

A general analysis of the ant colony algorithms

TIAN Qing-hua

(Experiment and Training Center, Shijiazhuang Vocational Technology Institute, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: An colony algorithm is a new kind of simulated evolutionary algorithm, which is widely applied to optimization problems, An analysis is made on its principle, construction of the model and its future prospect.

Key words: ant colony algorithm (ACS); complicate optimization; pheromone