

基于优胜劣汰规则的异类多种群蚁群算法

张 鹏¹, 魏云霞², 薛宏全¹, 王永忠³

(1. 西安理工大学经济与管理学院, 西安 710048; 2. 陕西省银行学校财经商贸部, 西安 710065;
3. 内蒙古兰太实业股份有限公司, 内蒙古 阿拉善盟 750336)

摘 要: 提出一种基于优胜劣汰规则的异类多种群蚁群算法, 该算法由多类不同特性的蚁群构成, 彼此间具有潜在的合作性和对抗性。根据蚁群间定期信息交换的结果, 引入自然界优胜劣汰准则, 设定蚁群间的合作规则、竞争规则、裂变规则。以旅行商问题为例进行相关实验和比较。通过多个种群间的相互合作与竞争, 保留优势种群, 淘汰劣势种群, 提高求解效率, 改善解的多样性, 使算法更容易收敛到全局最优解。

关键词: 蚁群; 优胜劣汰规则; 蚁群算法; 旅行商问题; 合作规则; 竞争规则

Heterogeneous Multiple Colonies Ant Colony Algorithm Based on Survival of Fittest Rules

ZHANG Peng¹, WEI Yun-Xia², XUE Hong-quan¹, WANG Yong-zhong³

(1. College of Economic and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;
2. Department of Finance and Commerce, Shaanxi Banking School, Xi'an 710065, China;
3. Inner Mongolia Lantai Industry Co., Ltd., Alashanmeng 750336, China)

【Abstract】 A Heterogeneous Multiple Ant Colony algorithm based on Survival of Fittest rules(HMACSF) is presented. This algorithm introduces more than one type of ant colony. All types of ant colonies with different pheromone updating mechanism and searching traits have mutual compensation of advantages, as well as mutual competitive exclusion. According to the results of the exchanging, HMACSF retains the dominant colonies, weeds out the inferiors, and improves the solving efficiency and diversity of solutions, to easily converge the global optimal solution. A series of Traveling Salesman Problem(TSP) experiments show that this algorithm can generate solutions with better quality and faster speed.

【Key words】 ant colony; survival of fittest rules; ant colony algorithm; Traveling Salesman Problem(TSP); collaboration rule; competition rule

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.18.049

1 概述

蚁群算法^[1-2]有很强的全局优化能力和本质上的并行性, 是解决 NP-完全问题的有效方法。然而, 蚁群算法存在搜索时间过长、易于停滞的问题。为了克服这些缺点, 不少学者提出了改进算法。但这些改进算法都是基于单一种群、单种信息素更新机制的算法。实际上蚁群是有组织、有分工的, 这种分工组织方式对蚁群完成复杂任务具有重要意义^[3]。为提高蚁群算法的速度和保持种群的多样性, 学者们又提出了多种群蚁群算法。这些算法可使多个种群充分加速收敛^[4-6], 有利于并行处理^[7]。

目前多种群蚁群算法主要有 2 种: (1) Gambardella 提出的专门用于解决多目标规划的基于层次结构的多种群蚁群算法; (2) 同类多种群蚁群算法。这 2 种算法的核心内容是种群间信息交流规则的设计, 通过种群间信息交流规则保证种群的多样性和合作性^[8-10]。但这些规则存在共同

的缺点, 首先是群体间的信息交流缺乏一定的导向, 没有根据自身进化的特点选择能给自己提供启发信息的群体进行交换; 其次, 不能自适应控制从其他子群体引入启发信息来引导本群体的寻优工作, 使某些路径上的信息量积累过多, 容易形成早熟^[9-10]; 再次, 目前构成多种群算法的种群都是同类多种群, 各种群的算法完全相同, 只是蚂蚁选择从一个城市到另外一个城市的转移概率不同。多个种群在并行计算时, 使所有的蚂蚁都做同一种任务。

本文提出基于竞争淘汰规则的多种群蚁群算法, 在保证蚂蚁总数不变的前提下, 通过不同种群的行为差异化, 保障种群的生物多样性。算法引入自然界优胜劣汰机制, 通过种群间竞争淘汰, 充分发挥各种群的优势, 动态调整蚁群搜索资源的分配, 将蚂蚁的有限蚁力资源分配给那些搜索效率高的蚁群, 有效地缓解传统多种群蚁群算法容易早熟、停滞的问题。

基金项目: 西安市科技计划基金资助项目“基于智能视频行为识别的城市公共安全决策支持系统研究”(CXY11191(4))

作者简介: 张 鹏(1975—), 男, 讲师、博士, 主研方向: 智能算法, 决策支持系统, 人工智能; 魏云霞, 硕士; 薛宏全, 讲师、博士研究生; 王永忠, 工程师

收稿日期: 2011-10-08 **修回日期:** 2012-01-11 **E-mail:** zhanghawk@163.com

2 基于竞争淘汰规则的异类多种群蚁群算法原理

基于优胜劣汰规则的异类多种群蚁群算法(Heterogeneous Multiple Colonies Ant Colony Algorithm Based on Survival of Fittest Rules, HMACSF)中参加搜索的多个蚁群主要采用了2种蚁群:精英蚂蚁^[11]和蚁群系统,但这2种蚁群算法的运行机理和搜索的行为特征差异大,运行机理差异体现在:(1)蚂蚁转移规则不同;(2)全局更新规则不同;(3)蚁群系统新增了对各条路径信息量调整的局部更新规则。搜索的行为特征差异体现在:精英蚂蚁搜索速度很快,能快速收敛到最优解,但是易陷入局部最优;蚁群系统相对搜索速度慢,但由于增加了局部更新规则,不易陷入早熟,所求得解的质量较好。这2种蚁群算法间具有较强的互补性,将其结合起来便于充分发挥各自优势,提高算法性能。

本文算法借鉴了组织进化理论^[12-13]的基本思想,依据自己和同伴的搜索经验,采用全局和局部搜索相结合的搜索模式得到下一位置。算法流程如图1所示。

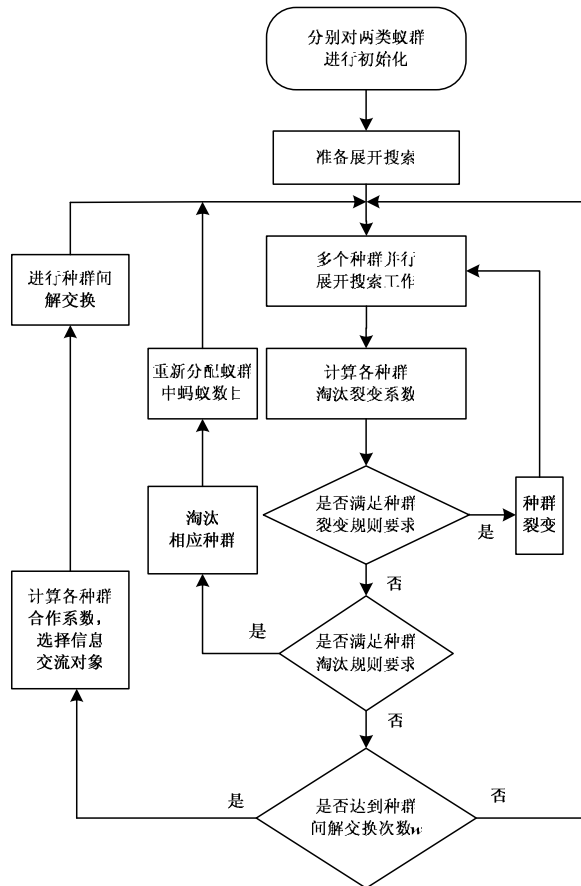


图1 基于竞争淘汰规则的多种群蚁群算法流程

首先按照蚁群类型的不同分别初始化,并展开搜索;经若干次迭代,计算各种群的淘汰系数,并根据预先设定的淘汰系数阈值,将满足淘汰标准的那些搜索效率差的种群淘汰掉,同时将这些被淘汰种群的蚂蚁数量平均分配到其他效率高的蚁群中去,加大这些未被淘汰蚁群的搜索力度。如果没有达到淘汰标准,进一步判断是否达到种群分裂标准,对现有达到分裂标准的停滞蚁群进行裂

变,将一个种群分割为2个种群,每个种群的数目都为裂变前的一半,分裂后的种群各自独立继续进行工作,扩展搜索方向,提高搜索效率。所有种群在搜索中,每隔一定迭代次数 w ,种群间就要根据解交换规则,进行种群间的解交换,继续展开搜索。

3 基于竞争淘汰规则的异类多种群蚁群算法实现

基于竞争淘汰规则的异类多种群蚁群算法实现的核心是建立种群间的竞争淘汰规则,以各种群的搜索效率为核心,建立一个种群间的竞争环境,种群间合作而且竞争,从而提高整体的求解速度。竞争淘汰规则包括三部分内容:合作规则,淘汰规则,裂变规则。

3.1 合作规则

合作规则的基本内容是:为各蚂蚁子群体定义一个合作系数,在子群体间交流信息时,各蚂蚁子群体不是根据随机选择的一个子群体上的解进行解交换,而是根据反映自身进化特点的合作系数来选择;对于合作系数较大的子群体倾向于选择系数较小的子群体来进行解交换。这样既避免了随机性,又确保信息素不会聚集在某些路径上,有效防止了算法早熟。

第1个子蚁群定义一个合作系数 $cvg(l) \in [0,1]$ 如式(1)所示:

$$cvg(l) = \frac{L_{best}^l}{L_{avg}^l} \quad (1)$$

其中, L_{best}^l 是指蚁群1截止目前所发现的最短路径长度; L_{avg}^l 是指所有发现路径的平均长度,由 $cvg(l)$ 的定义可知,若子群体 l 对应的信息素 τ_{ij}^l 值分布比较集中, $cvg(l)$ 的值就比较大,此时子群体1所找到的解可能比较集中,容易导致局部收敛;反之,当 τ_{ij}^l 值比较分散时, $cvg(l)$ 的值就比较小,此时应该向信息量较大的路径上集中以加速收敛。因此,合作系数是自适应调节收敛速度、信息量更新及群体之间交流信息的依据。

当满足一定的时间间隔 w 后,各蚂蚁子群体根据合作系数选择进行信息交流的对象。用 $p'(i,j)$ 表示子群体 i 选择与子群体 j 交流的概率,如式(2)所示。 H 为子群体的个数。公式表明,合作系数大的子群体选择合作系数小的子群体来交流信息的概率比较大,避免了随机选择的盲目性。合作系数大的子群体路径上的信息素过于集中,可以根据合作系数较小的子群体上的信息来平衡自己的信息素分布,使大多数的路径都有被选择的机会;反过来,合作系数较小的子群体的路径上信息素较分散,通过与合作系数较大的子群体的交流,适当地将信息素集中。这样有利于互相交流的多个子群体进一步进化,提高寻求最优解的潜力。

$$p'(i,j) = \frac{|cvg(i) - cvg(j)|}{\sum_{k=1}^H |cvg(i) - cvg(k)|} \quad (2)$$

当根据式(2)确定子蚁群 i 的信息交流对象子蚁群 j 之后,将子蚁群 j 目前所寻得的最佳解加入到子蚁群 i 中,

替换子蚁群 i 的最差解。

$$Solution_{colony(i)}^{worst} = Solution_{colony(j)}^{best} \quad (3)$$

其中, $Solution_{colony(i)}^{worst}$ 表示子蚁群 $colony(i)$ 的一个截至目前的最差解; $Solution_{colony(j)}^{best}$ 表示子蚁群 $colony(j)$ 的截至目前的最佳解。

3.2 淘汰规则

种群间进行淘汰裂变的主要依据是以各蚁群搜索效率为依据建立的种群淘汰裂变系数, 淘汰裂变系数的定义如下所示:

$$ElimandFission_{colony(i)} = \begin{cases} iternum(i) / \sum_{i=1}^H iternum(i) & \text{if } iternum(i) > numlimit \\ 0 & \text{if } iternum(i) \leq numlimit \end{cases} \quad (4)$$

其中, $numlimit$ 表示进行淘汰裂变系数计算的阈值, 如果 $colony(i)$ 最近一次获得历史最优解到现在的迭代次数小于阈值, 则认为该种群还有发现最优解的机会, 不会被淘汰或者裂变; $ElimandFission_{colony(i)}$ 表示种群 i 的淘汰裂变系数; $iternum(i)$ 表示种群 i 自最近一次获得历史最优解到现在所经历的迭代次数; H 表示所有的种群数目。淘汰裂变系数描述了种群在竞争中的求解的相对停滞程度。其值越大, 停滞程度越高, 越有可能被淘汰裂变。

多个蚁群经过一定迭代次数后, 当种群数目大于为了保证多种群蚁群最低搜索方向所需要的最小种群数目时, 即 $colonynum > colonymin$, $colonynum$ 是指现有种群数目, $colonymin$ 指所需最小种群数目, 且淘汰裂变系数大于裂变淘汰阈值 $EliminationMax$ 时, 则该种群被淘汰, 即 $Elimination_{colony(i)}$ 值为 TURE, 如下式所示:

$$Elimination_{colony(i)} = \begin{cases} \text{TURE} & \text{if } (Elimandfission_{colony(i)} \geq \\ & EliminationMax) \text{ and } (colonynum > colonymin) \\ \text{FALSE} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

被淘汰种群的蚂蚁数目将会平均分配到现存蚁群中, 现存蚁群在不改变各自路径信息素浓度的基础上, 追加新的蚂蚁参与搜索, 提高搜索速度, 体现效率导向的资源分配原则。

3.3 裂变规则

经过若干次迭代搜索, 淘汰了一定的种群后, 当剩下蚁群数目小于等于为维持多种群蚁群最低搜索方向所需蚁群最小数目时, $colonynum \leq colonymin$, $colonynum$ 是指

现有种群数目, $colonymin$ 指所需最小种群数目, 即当淘汰裂变系数大于淘汰阈值 $EliminationMax$ 时, 该种群将被一分为二, 裂变为 2 个类型一样的蚁群, 即种群 $colony(i)$ 的裂变判断值 $Fission_{colony(i)}$ 为 TURE, 分裂后的 2 个子蚁群中的一个将继承分裂前蚁群的路径信息素浓度信息, 另一个种群则对分裂前的蚁群的路径信息素浓度进行归一化处理, 加大其他方向的搜索力度, 减小现有路径搜索停滞的可能性。2 个分裂后的蚂蚁数目与分裂前蚁群数目相同。

$$Fission_{colony(i)} = \begin{cases} \text{TURE} & \text{if } (Elimandfission_{colony(i)} \geq \\ & EliminationMax) \text{ and } (colonynum \leq colonymin) \\ \text{FALSE} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

4 实验结果与分析

本文采用 ASelitist 和 ACS 作为 2 种蚁群的算法。ASelitist 参数: $a=1$, $\beta=5$, $r=0.5$, $Q=100$, ACS 参数: $a=1$, $\beta=5$, $\rho=\omega=0.1$, 其他参数: 蚁群间每隔 $w=10$ 代进行通信, 初始种群量为 4, 其中, ACS 种群 3 个, ASelitist 1 个。 $EliminationMax$ 一般取值在 0.30~0.45 内比较合适; 为便于对实验结果进行对比, 此次实验中取 $numlimit=80$, $EliminationMax=0.35$, $colonymin=6$, 所有蚂蚁个数之和 m 等于所进行寻优的 TSP 城市数, 总迭代次数为 500 次。以 TSPLIB(<http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/compot/software/TSPLIB95/tsp>)中的 eil51、eil76、eil101 等问题为对象进行测试。首先将 HMACSF 和传统多种群性能进行对比。传统多种群的信息交换方法参照文献[8]总结的子群体之间进行信息交流的环形局部最优解交换方法^[8]。

表 1 显示的是在不同种群数量下, 对于 CH150 城市问题, 使用传统同类多种群蚁群算法与 HMACSF 的求解结果对比, 从表中很明显看出, 当种群数量为 4 时, 有最好的结果。表 2 显示的是 ACS 与 HMACSF 的求解对比。可以明显看出, HMACSF 具有更高的解精度。图 2 显示的是 HMACSF 所求得 CH150 城市问题最优解的路径。

表 1 HMACSF 算法与传统多种群算法最佳解对比

种群数量	同类精英蚁群多种群算法	同类 ACS 蚁群算法	HMACSF 算法
2	6 678.35	6 617.83	6 567.75
4	6 691.63	6 589.17	6 530.91
6	6 673.35	6 561.32	6 532.28
9	6 686.87	6 594.84	6 695.41

表 2 基本蚁群算法与 HMACSF 算法实验结果对比

TSP 问题	公布的 最优解	ACS 最优解	ASelite 最优解	HMACSF 最优解	ACS 平均解	ASelite 平均解	HMACSF 平均解
eil51	428	429.53	436.69	428.87	430.45	439.34	430.69
eil76	538	553.95	664.25	539.31	547.83	540.29	544.31
eil101	629	654.92	659.84	644.63	656.76	665.04	648.96
CH130	6 110	6 260.91	6 300.41	6 122.79	6 271.33	6 322.54	6 185.76
D198	15 780	16 057.67	16 208.67	15 800.56	5 723.82	16 254.32	15 854.22
tsp225	3 919	4 352.06	4 467.84	4 135.29	4 470.36	4 497.67	4 254.88

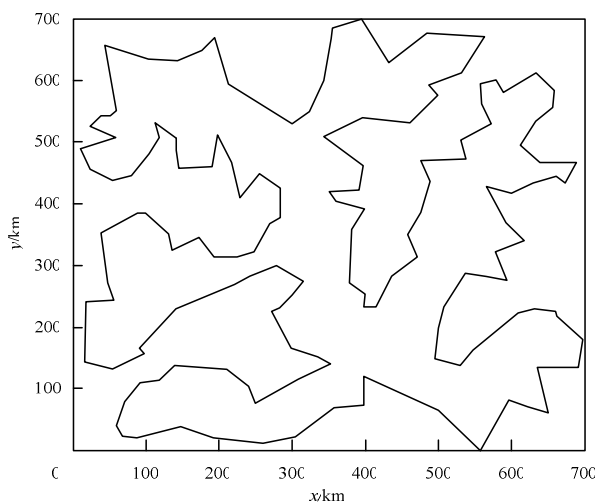


图2 HMACSF 算法求得的 CH150 TSP 最优路径

5 结束语

本文提出一种基于优胜劣汰规则的异类多种群蚁群算法,引入具有不同个性和特点的多个种类蚁群共同进行寻优,同时结合优胜劣汰的自然准则,利用不同种类蚁群先天搜索特性的多样性确保了所有多种群蚁群整体解的多样性,使得多个种群保持了竞争与合作的平衡,提高了整体的求解效率。实验结果表明,该算法能在解的多样性和收敛性之间保持较好的平衡,寻优能力也有明显改进。

参考文献

- [1] Dorigo M, Maniezzo V, Colomni A. Positive Feedback as a Search Strategy[D]. Philadelphia, USA: The Pennsylvania State University, 1991.
- [2] Dorigo M. Optimization, Learning and Natural Algorithms[D]. Philadelphia, USA: The Pennsylvania State University, 1992.
- [3] Dorigo M, Gambardella L M. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem[D].

Philadelphia, USA: The Pennsylvania State University, 1996.

- [4] Stutzle T. Parallelization Strategies for Ant Colony Optimization[M]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.
- [5] Ellabib I, Basir O A, Calamai P. A New Ant Colony System Updating Strategy for Vehicle Routing Problem with Time windows[C]//Proc. of the 5th Metaheuristics International Conference. Kyoto, Japan: [s. n.], 2003: 25-28.
- [6] Ellabib I, Calamai P, Basir O. Exchange Strategies for Multiple Ant Colony System[J]. Information Sciences, 2007, 177(5): 1248-1264.
- [7] Talbi E G, Roux O, Fonlupt C, et al. Parallel Ant Colonies for Combinatorial Optimization Problems[C]//Proc. of Conf. on Parallel and Distributed Processing. Berlin, Germany: Springer, 1999: 239-247.
- [8] Middendorf M, Reischle F, Schmeck H. Multi Colony Ant Algorithms[J]. Journal of Heuristics, 2002, 8(3): 305-320.
- [9] Guntsch M, Middendorf M. Pheromone Modification Strategies for Ant Algorithms Applied to Dynamic TSP[C]//Proc. of Conf. on Applications of Evolutionary Computing. [S. l.]: Springer-Verlag, 2000.
- [10] Chug Shu-Chuan, Riddick J F, Pan Jeng-Shyang. Ant Colony System with Communication Strategies[J]. Information Science, 2004, 167(1-4): 63-76.
- [11] Bullnheimer B, Hartl R F, Strauss C C. A New Rank-based Version of the Ant System: A Computational Study[J]. Central European Journal for Operations Research and Economics, 1999, 7(1): 25-38.
- [12] 张一方, 欧阳志勤. 生物协同学 Lorenz 模型和种群动力学[J]. 生物数学学报, 2003, 18(2): 218-223.
- [13] 刘 静, 钟伟才, 刘 芳, 等. 组织协同进化分类算法[J]. 计算机学报, 2003, 26(4): 446-453.

编辑 张正兴

(上接第 181 页)

5 结束语

本文结合碰撞检测的基本原理,提出一种基于视线的智能碰撞检测方法。实验结果表明,该方法对碰撞检测中视点速度的控制优势明显,虚拟人在离设备远时,漫游速度快;离设备近时,漫游速度慢。解决了由于视点移动速度固定带来的难以捕捉较小监控设备、观察仪表数据的问题,避免了视线“穿墙而过”的现象发生,提高了监控和浏览效率,增强了操作的真实感。今后尝试将该方法应用于虚拟漫游系统中,以增强漫游系统的逼真性,同时,减少漫游系统对计算机 CPU 的占有率,使得漫游系统运行更流畅。

参考文献

- [1] 党保生. 虚拟现实及其发展趋势[J]. 中国现代教育装备, 2007, 50(4): 94-96.

- [2] 王雅丽. 虚拟现实交互技术[N]. 中国计算机报, 2007-09-10(C04).
- [3] 和 莉, 刘惠义. 碰撞检测技术在三维交互漫游系统中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(6): 92-94.
- [4] Trajkovic M, Hedley M. Fast Corner Detection[J]. Image and Vision Computing, 1998, 16(1): 75-87.
- [5] Christer E. 实时碰撞检测算法技术[M]. 刘天慧, 译. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [6] 李志强, 李郝林, 包园园. 一种自适应模糊算法[J]. 精密制造与自动化, 2008, 4(1): 22-24.
- [7] 王正盛, 陈 征. VRP11 虚拟现实编辑器标准教程[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2011.
- [8] 王正盛. VRP11/3ds Max 虚拟现实制作标准实训教程[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2011.

编辑 刘 冰

