

# 基于远缘杂交的精英进化算法

周 飞, 罗 杰

(南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京 210046)

**摘 要:**文中主要以提高进化算法求解 TSP 问题的效率为研究目标,借鉴人类社会进化中具有远缘杂交优势的理论和进化算法中的精英策略,提出一种基于远缘杂交的精英进化算法。该算法在初始阶段将种群分为精英种群和普通种群,对精英种群则不经过交叉直接进入下一代,对普通种群则基于远缘杂交原则进行交叉,并将子代与精英种群一同组成新子代。仿真实验证明算法能增强优秀个体遗传的机会,提高种群基因的多样性,在深度搜索和广度寻优之间取得了平衡。针对 TSP 实验结果表明,算法具有可靠的全局收敛性及较快的收敛速度。

**关键词:**进化算法;远缘杂交;精英策略;TSP

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)02-0093-04

doi:10.3969/j.issn.1673-2013.02.023

## Elite Evolutionary Algorithm Based on Distant Hybridization

ZHOU Fei, LUO Jie

(College of Automation, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** In this paper, the aim of the research is to improve the efficiency of solving TSP with evolutionary algorithm. The elite evolutionary algorithm which is based on distant hybridization was proposed on the distant hybridization theory and elitist strategy. At the initial stage, the algorithm population is divided into elite populations which are directly into the next generation without crossover and general populations who deliver the offspring by crossover based on the principle of distant hybridization. And the total offspring is made by the elite population and the offspring which is delivered by general populations. The simulation results show that the opportunities for elite individual genetic, and the population diversity of genetic was enhanced by the algorithm. And the balance between in the depth and breadth of the search optimizing was acquired. The TSP experimental results show that the algorithm has reliable global convergence and faster convergence rate.

**Key words:** evolutionary algorithm; distant hybridization; elite strategy; TSP

## 0 引 言

进化算法是一种以达尔文的进化论思想为基础的新兴人工智能技术,主要原理是通过模拟生物进化过程与机制来求解问题。生物物种的进化主要由繁殖、变异、竞争和选择等四个过程来实现,而进化算法则主要通过选择、重组和变异这三种操作来求解实际问题。

进化算法包括遗传算法、进化程序设计、进化规划和进化策略等等<sup>[1]</sup>。遗传算法是建立在自然选择和自然遗传学机理基础上的迭代自适应随机搜索算法,其基本思想是由美国 Michigan 大学 Holland<sup>[2]</sup>教授在

1962 年首先提出来的。遗传算法在搜索最优解时,可以避免解空间中的局部最优解,因而具有很好的全局搜索能力。文献[3~5]介绍了遗传算法在数值优化、组合优化、图像处理等领域的应用。但遗传算法并非完美无缺,早熟收敛就是一个重要缺点<sup>[6]</sup>。由于局部搜索能力不强,会导致搜索中费时较多,影响收敛速度。出现早熟收敛的主要原因是种群的多样性没有得到很好的维持。为了解决这些问题,人们从遗传算法的三种基本遗传算子(选择算子,交叉算子和变异算子)入手,这些参数的选择将直接影响算法的性能和搜索速度,所以选择合适的遗传算子是算法能高效地收敛到全局最优解的关键所在<sup>[7]</sup>。

文献[8]提出了一种基于多样化成长策略的遗传算法来保持种群的多样性。为提高多目标空间下种群的多样性,可以利用信息熵来度量多样性<sup>[9]</sup>。生物遗传学也有很好的借鉴意义,利用杂交,文献[10]提出了一种多群体阶段性杂交遗传算法。在搜索中如果能

收稿日期:2012-06-03;修回日期:2012-09-06

基金项目:江苏省高校自然科学基金项目(04KJB110097,08KJB520023)

作者简介:周 飞(1987-),男,硕士,研究领域为智能机器人、模式识别与人工智能等;罗 杰,博士,教授,研究领域为分布式智能控制、群体智能。

动态地改变种群的规模,就能缩小搜索的区域,提高搜索效率,文献[11]正是在这方面做了相应的研究工作。

根据生物学家对人类基因的研究,人的许多特征如性格、相貌、体态、动作等与基因遗传有着密切的关系。通过遗传,人类可以继承许多来自前辈的品质和特征,诸如智力、情感、寿命等。

因此,两个基因差距大的个体杂交后,产生的子代会具备更丰富的基因类型,也就会更充分地继承父辈基因中的优秀部分。所以远缘杂交优势是十分突出的,可通过基因重组将父代个体的优秀基因重新组合,更充分地保持基因的多样性。

精英策略是指种群中适应度最大的一部分个体可以不经过交叉、变异等遗传操作直接进入下一代<sup>[12]</sup>,精英进化算法能以较快的速度收敛到最优解<sup>[13]</sup>。这说明适应度较高的个体(以后称作精英个体)对于种群的进化有着重要的推动作用<sup>[12]</sup>。

文中将远缘杂交的概念引入到进化算法中,借鉴人类和其他生物基因具有远缘杂交优势思想和进化算法中的精英策略,提出了一种基于远缘杂交的精英进化算法。最后通过经典的 TSP 问题验证了该算法能以较快的速度收敛到最优解,具有较强的鲁棒性,在性能上优于标准遗传算法。

## 1 基于远缘杂交的精英进化算法

### 1.1 遗传算法

Holland 教授提出的遗传算法是将问题的解用二进制位串来表示的<sup>[1]</sup>,每一个个体都有一个反映自身适应能力强弱的适应度值。具有较高适应度值的个体将获得较大的生存和繁殖机会,以及在下一代中占有更大的份额。

Holland 教授提出的遗传算法的步骤如下:

- (1) 群体的初始化;
- (2) 评价群体中每一个体的适应度;
- (3) 选择下一代个体;
- (4) 执行遗传操作(交叉、变异);
- (5) 评价下一代群体的性能;
- (6) 判断终止条件是否终止,若不,则转(3)继续,若满足,则结束。

### 1.2 基于远缘杂交的精英进化算法

基于远缘杂交的精英进化算法的算法流程图如图 1 所示。

基于远缘杂交的精英进化算法与传统遗传算法在种群划分上采用的标准不同,在选择机制和更新方式上也存在很大差异。

- (1) 种群初始化阶段,首先随机产生  $M$  个体,然后

按适应度值排序,选出前  $N$  个适应度最大的个体(称为精英个体)组成精英种群,其余个体则组成普通种群。 $N$  一般取为  $\lfloor M/4 \rfloor$ 。

(2) 在个体选择交叉对象时,不再是随机选择,而是选择与本个体具有最大远缘杂交优势的个体进行交叉。

规定两个个体  $A = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  和  $B = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$  之间的远缘杂交优势  $D$  为:

$$D = \sum_{i=0}^n d_i, \text{ 其中 } d_i = \begin{cases} 1, & A_i \neq B_i \\ 0, & A_i = B_i \end{cases}$$

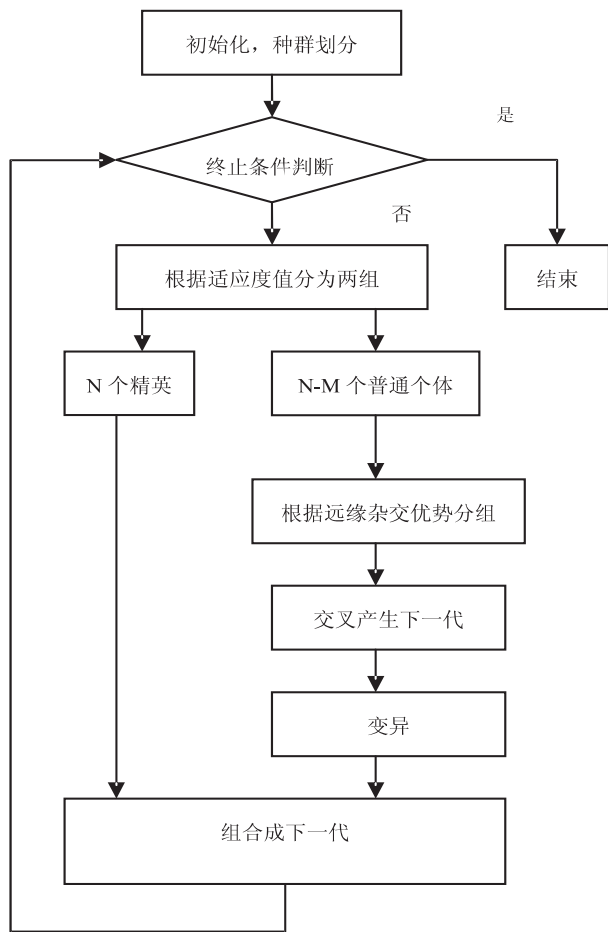


图 1 基于远缘杂交的精英进化算法流程图

在选择阶段,适应度最大的  $N$  个精英个体组成精英种群,而其余个体组成普通种群。规定精英种群不经过交叉直接进入下一代,普通种群中的个体则选择与自己具有最大远缘杂交优势的个体组成最大远缘杂交优势对,每个最大远缘杂交优势对进行交叉,产生下一代,最后精英群体与通过最大远缘杂交优势交叉得到的子代共同组成新子代。

(3) 文中的进化算子主要使用交叉算子和变异算子。其中交叉算子是在两父代的基因中随机地选择两个点,进行两点交叉,产生两个子代。变异算子则采用一定的变异概率进行均匀变异。文中的算法将先对父代进行交叉操作产生子代,然后对子代进行变异操作。

徐宗本<sup>[14]</sup>等运用鞅收敛定理证明:在父代种群参与竞争的条件下,遗传算法能以概率1 确保在有限步内收敛到全局最优解,且与种群规模无关<sup>[12]</sup>。基于以上证明,可认为本算法是必然收敛的。

## 2 基于远缘杂交的精英进化算法的 TSP 问题求解

### 2.1 TSP 问题模型

旅行商问题(traveling salesman problem,TSP)是一个典型的组合优化问题,可描述为:已知  $N$  个城市之间的相互距离,现有一推销员必须走遍这  $N$  个城市,在每个城市只能访问一次的前提下,如何用最短的行程回到出发城市。TSP 问题是一个 NP 完全问题,属于经典的组合优化问题,其可能的搜索路径随着城市数目的增加,呈指数增长,很难求得最优解<sup>[15]</sup>。有很多实际问题最后都可以简化为旅行商问题,因此,对旅行商问题的求解方法的研究具有重要的应用价值。

### 2.2 求解 TSP 问题的远缘杂交精英进化算法

step1 参数编码和种群初始化。一般的遗传算法采用的编码方式大多是二进制形式,出于问题特殊性的考虑,文中采用  $N$  进制的编码形式。其中  $N$  为城市的个数,每个基因是从 1 到  $N$  的整数里取值,对应到达的城市编号。

step2 适应度函数设计。评价种群的适应度主要采用适应度函数的形式。每一个优化问题都与一个目标函数紧密相关,为了使算法与所求问题的本身无关,需要将目标函数做适当的变换。变换后的函数称为适应度函数。这样既能准确地反应目标函数值的变化,又能便于遗传算法的计算。在此文中用距离的总和的倒数来作为适应度函数。这样既能反映距离的远近,又将较大的数值计算变成了分数计算,减少了计算量。

step3 选择算子。为避免采用“轮盘赌”等<sup>[16]</sup>随机选择机制给算法增加的复杂度,文中在选择时采用两种选择算子。第一种是使用精英策略,选出部分精英直接作为子代。第二种是远缘杂交策略,即普通种群个体在选择交叉对象时根据与本个体的远缘杂交优势来决定。为避免出现混乱,将从普通种群中依次随机选出个体,然后从剩余的个体中找与被选中个体具有最大远缘杂交优势的个体,选出后,将这两个个体分为一组,并从普通种群中剔除。连续执行上述过程,直到种群中没有个体为止。

step4 交叉算子。交叉算子在进化算法中起着核心作用,交叉算子的主要作用是将两个个体配对,通过交换某些基因,形成下一代个体。文中使用的交叉算子是两点交叉。步骤如下:

1)随机选择两个交叉点 C1 和 C2。

2)两个子代 X1 和 X2 分别复制父代中两个交叉点之间的基因 A1 和 B1。

3)交换父代中两个交叉点之外的基因,如果在 X1 子代中有重复的城市,则将重复的城市与另 X2 子代中对应位置的交换,直到没有重复的城市为止。

step5 变异算子。变异操作是以变异概率  $p$  来对子代中的基因做随机的改变,可以进一步改变种群的基因多样性。若变异后的子代的适应度值更加优异,则保留该变异,否则,仍保留原个体。

### 2.3 仿真实验及结果分析

本实验的仿真环境:Windows7 系统旗舰版,2.2GHz 主频的 INTEL 双核处理器,2G 内存,仿真软件是 MATLAB R2010。

文中选取的实验测试实例是国际标准数据库 TSPLIB 中的部分算例。参数设定为:初始种群个数  $s = 500$ ,交叉概率  $p1 = 0.90$ ,变异概率  $p2 = 0.20$ 。为了更全面地表明算法的有效性,文中用标准遗传算法(SGA)与提出的基于远缘杂交的精英进化算法(EADH)进行对比,表 1 中是两种算法对比得到的结果。

表 1 算法实验结果对比

问题	已知最优解	算法	最优解	平均值	平均迭代数
Eil51	426	SGA	493	540	89
		EADH	428	431	56
A280	2579	SGA	2704	2850	180
		EADH	2601	2679	156
Tsp225	3859	SGA	4020	4170	375
		EADH	3838	3978	315
Koral100	21282	SGA	21746	22220	500
		EADH	21285	21353	465
Att48	33524	SGA	33666	34568	192
		EADH	33523	33830	37

从表 1 中可以看出,用基于远缘杂交的精英进化算法求解 TSP 问题时,获得的最优值更接近现有的最优解。图 2 和图 3 显示了 Eil51 和 A280 的进化过程,从图中可以看出,文中算法的收敛性和收敛速度都优于标准遗传算法。

## 3 结束语

文中提出了基于远缘杂交的精英进化算法。该算法借鉴人类社会进化中远缘杂交优势的理论和精英策略,使得种群的基因多样性得到保持,从而避免了陷入局部最优值,提高了算法的效率。从结果中也可以看出基于远缘杂交的精英进化算法,在整体性能和收敛

速度上都较标准遗传算法有一定程度的提高。因此,改进后的遗传算法能够避免陷入局部最优解,更高效地收敛于最优策略。

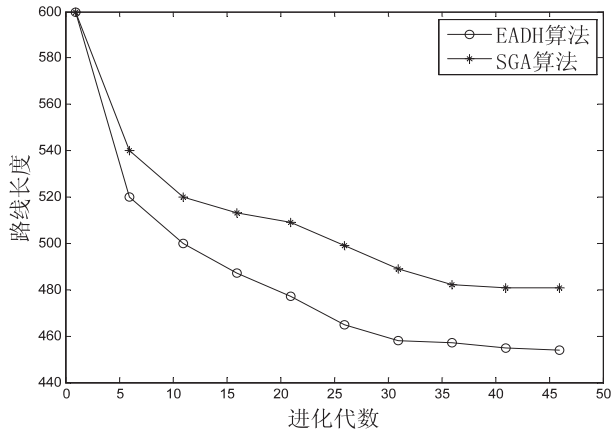


图 2 SGA 和 EADH 求解 Eil51 收敛过程图

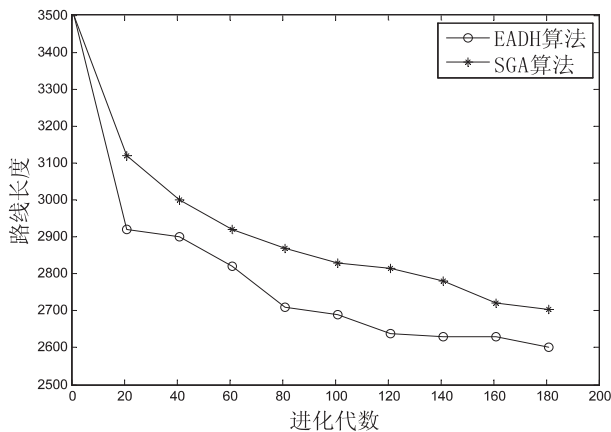


图 3 SGA 和 EADH 求解 A280 收敛过程图

#### 参考文献:

- [1] 徐宗本. 计算智能(第一册)模拟进化计算[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [2] Holland J H. Adaptation in Natural and Artificial Systems [M]. Michigan:University of Michigan Press,1975.
- [3] 张 铃,张 钺. 佳点集遗传算法[J]. 计算机学报,2001,24(9):917-922.
- [4] 缙水平,焦李成,田小林. 基于免疫克隆聚类协同神经网络的图像识别[J]. 电子与信息学报,2008,30(2):263-266.
- [5] 李阳阳,焦李成. 求解 SAT 问题的量子免疫克隆算法[J]. 计算机学报,2007,30(2):176-183.
- [6] 王小平,曹立明. 遗传算法-理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.
- [7] 曹道友,程家兴. 基于改进的选择算子和交叉算子的遗传算法[J]. 计算机技术与发展,2010,20(2):45-47.
- [8] 袁煜明,范文慧,杨雨田,等. 一种基于多样化成长策略的遗传算法[J]. 控制与决策,2009,24(12):1801-1804.
- [9] 申晓宁,郭 毓,陈庆伟,等. 一种保持群体多样性的多目标遗传算法[J]. 控制与决策,2008,23(12):1435-1440.
- [10] 王伟玲,李俊芳,王 晶. 求解多目标作业车间调度问题的双种群遗传算法[J]. 计算机集成制造系统,2011,17(4):808-815.
- [11] 巩敦卫,孙晓燕. 变搜索区域多种群遗传算法[J]. 控制理论与应用,2006,23(2):256-260.
- [12] 慕彩红,焦立成,刘 逸. M\_精英进化算法及其在 V-BLAST 系统中的应用[J]. 电子与信息学报,2009,31(10):2443-2448.
- [13] Wook A C, Ramakrishna R S. Elitism-based compact genetic algorithms[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation,2003,7(4):367-385.
- [14] 徐宗本,聂赞坎,张文修. 父代种群参与竞争遗传算法几乎必然收敛[J]. 应用数学学报,2002,25(1):167-175.
- [15] 丁华福,刘晓路,唐远新,等. 面向旅行商问题的一种改进遗传算法[J]. 计算机技术与发展,2011,21(6):51-54.
- [16] 汪松泉,程家兴. 遗传算法和模拟退火算法求解 TSP 的性能分析[J]. 计算机技术与发展,2009,19(11):98-100.

(上接第 92 页)

- [8] 刘 靛. 企业声誉的构成及其驱动因素测量研究[D]. 杭州:浙江大学,2005.
- [9] 韩伟杰,阎 慧,王 宇. 航天测控系统容灾能力评估方法研究[J]. 计算机技术与发展,2011,21(8):223-227.
- [10] Xing T, Liu D C, Zhao G Q. Study on System Analyst Comprehensive Capacity Evaluation Method[C]//Collected Papers of 10th Conference on Man-Machine-Engineering. USA: Scientific Research Publishing,2010:48-52.
- [11] Saunders S, Ross M, Staples G, et al. Prediction of Microscopic Remaining Oil Distribution Using Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Transport in Porous Media,2011,89(3):533-545.
- [12] 百度百科. 模糊综合评价法[EB/OL]. 2011-11-20. <http://baike.baidu.com/view/3636909.htm>.
- [13] 中国电子商务评价中心. 电子商务及电子商务诚信的意义[EB/OL]. 2011-11-11. <http://www.ectrustpc.org.cn/>.

# 基于远缘杂交的精英进化算法

作者: [周飞](#), [罗杰](#)  
作者单位: [南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京 210046](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)  
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2013 (2)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201302025.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201302025.aspx)