

文章编号: 1001-0920(2005)01-0069-04

# 基于混合行为蚁群算法的研究

胡小兵<sup>1</sup>, 黄席樾<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 数理学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学 自动化学院, 重庆 400044)

**摘 要:** 为在加快算法收敛速度的同时又能避免停滞现象, 提出一种基于混合行为的蚁群算法. 首先就蚂蚁行为对算法性能的影响进行了分析, 在此基础上提出了该算法的模型; 然后定义了蚂蚁行为, 并为该算法设计了 4 种具体的蚂蚁行为, 根据模型实现了该算法. 实验结果表明, 该算法在性能上远优于蚂蚁系统.

**关键词:** 蚁群算法; 混合行为; 旅行商问题

**中图分类号:** TH18

**文献标识码:** A

## On hybrid behavior based ant colony algorithm

HU Xiao-bing<sup>1</sup>, HUANG Xi-yue<sup>2</sup>

(1. School of Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. School of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China. Correspondent: HU Xiao-bing, E-mail: iamhxb@sina.com)

**Abstract:** In order to accelerate the convergence rate of the algorithm while avoiding the stagnation behavior, a hybrid behavior based ant colony algorithm (HBACA) is proposed. The influence of ant behavior on performance of algorithm is analyzed and a model of ant colony algorithm is proposed. The ants behavior and four kinds of concrete ants behaviors are defined for HBACA algorithm and the algorithm is implemented based on the model. The experimental results show that HBACA algorithm is better than ant systems.

**Key words:** ant colony algorithm; hybrid behavior; traveling salesman problem

## 1 引 言

针对蚂蚁系统(AS)<sup>[1]</sup>中存在的缺点, 人们提出了许多改进的蚁群算法<sup>[2~7]</sup>. 文献[3]通过只增加最优路径上信息素的浓度, 更好地利用了过去积累的知识, 从而加快了算法的收敛速度; 文献[4]将信息素的值限制在 $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ 内, 极大程度地避免了算法陷入局部最优; 文献[5]根据算法搜索的情况动态修改需要增加的信息素量, 即采用时变函数 $Q(t)$ 来代替 AS 算法中的常数 $Q$ , 使得算法跳离局部最优解; 文献[6]提出一种自适应改变蒸发系数的策略来避免算法陷入停滞状态; 文献[7]则通过引入变异算子来避免算法出现停滞现象.

经分析不难看出, 以上算法主要从 3 个方面对 AS 作了改进:

1) 将信息素限制在一定区间内, 避免某些边上的信息素为零;

2) 加强对过去历史知识的利用;

3) 通过算法的内部状态, 或根据定性的分析来判断蚁群当前的搜索能力, 从而通过对信息素更新、蒸发系数的改变以及释放的信息素量 $Q$ 等的改变来避免停滞现象.

本文则从完全不同的角度, 提出一种基于混合行为的蚁群算法(HBACA). 实验结果表明, 该算法具有较好的性能.

## 2 HBACA 算法的原理、模型及实现

### 2.1 蚂蚁行为对蚁群算法的影响

蚁群算法实际上是一种正反馈原理和某种启发式相结合的产物. 在算法早期迭代过程中, 因各路

收稿日期: 2004-03-11; 修回日期: 2004-05-27.

基金项目: 重庆大学基础及应用基础研究项目(717411061).

作者简介: 胡小兵(1975—), 男, 湖北京山人, 讲师, 博士, 从事计算智能、机器人控制技术的研究; 黄席樾(1943—), 男(回族), 重庆奉节人, 教授, 博士生导师, 从事机器人控制技术、人工智能及机器视觉的研究.

径上信息素量差别不大,蚂蚁主要根据城市之间的距离信息(启发式信息)来寻找较好解,这时的蚁群算法等价于贪婪算法.当算法迭代到一定代数后,较好路径上的信息素明显高于其他边上的信息素,此时,蚁群主要通过信息素的交互及通信来寻找较好解,即信息素越强的路径成为最优路径的可能性越大.算法在此阶段的搜索过程主要利用了正反馈原理.然而该过程在强化性能较好解的同时,却容易导致停滞现象.

AS算法在寻优过程中,很大程度上受早期发现的较好解的影响,这些较好解以极大的概率引导蚁群走向局部最优解,这正是AS算法容易出现停滞现象的主要原因.解决AS算法中的停滞现象和保证其具有较强的探索能力的方法就是在“探索”和“利用”之间建立一个平衡点.也就是说,既要使算法的搜索空间尽可能的大,以寻找那些可能存在最优解的解空间,同时也要充分利用有效的历史知识,使算法搜索的侧重点放在那些可能具有最优解的空间,从而以更大的概率收敛到全局最优解.

## 2.2 HBACA 算法的模型及实现

HBACA 算法采用具有不同行为特征的蚂蚁相互协作来发现问题的解.如图1所示,HBACA模型由4部分组成.图中的①为蚂蚁,每只蚂蚁可以拥有自己的行为特征,该行为由规则集(rule set)④,储存在环境(environment)③中的知识以及状态空间(state space)②一起决定.状态空间与待求解问题具有一一映射关系,蚂蚁在其中移动,逐步构造问题的可行解.图中蚂蚁间的虚箭头表示蚂蚁之间不能进行直接通讯,而是在移动过程中通过环境间接通讯.蚂蚁利用通道(channel)读取/写入信息到环境.环境储存了蚁群过去行动中获取的历史知识.下面首先给出蚂蚁行为的定义.

**定义1** 蚂蚁行为:蚂蚁在前进过程中,用以决定其下一步移动到哪一个状态的规则集合.通常情

况下,蚂蚁行为可表示为  $\text{action} = \{\Omega_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ , 其中  $\Omega_i$  为影响蚂蚁行为的第  $i$  个因素.

由于HBACA算法中影响蚂蚁行为的因素有规则集、环境、状态空间等,针对待求解的TSP问题,由定义1定义如下4种类型的蚂蚁行为.

**行为1(action1)** 蚂蚁以随机方式选择下一座要到达的城市.

**行为2(action2)** 蚂蚁以贪婪方式选择下一座要到达的城市,即

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \eta_{ij} / \sum_{s \in J_k(i)} \eta_{is}, & j \in J_k(i); \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

其中:  $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ ,  $d_{ij}$  为城市  $i$  与城市  $j$  之间的距离;  $J_k(i)$  为位于城市  $i$  的蚂蚁  $k$  下一步可行城市的集合.

**行为3(action3)** 蚂蚁按下式选择下一座要到达的城市:

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \tau_{ij} / \sum_{s \in J_k(i)} \tau_{is}, & j \in J_k(i); \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $\tau_{ij}$  为边  $i$  与  $j$  之间信息的强度.

**行为4(action4)** 蚂蚁按下式选择下一个要到达的状态:

$$j = \arg \max (\tau_{is} \eta_{is}), s \in J_k(i), \quad (3)$$

其中  $\tau_{is}, \eta_{is}, J_k(i)$  与式(1)和式(2)中的相同.

当所有蚂蚁完成解的构造过程后,计算本次迭代的最优解(IFS);然后将IFS与当前最优解(GBS)进行比较,如果IFS的值小于GBS,则用IFS替换GBS;之后将所有边上的信息素按下式进行更新:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + Q/L^{gb}, \quad (4)$$

其中:  $L^{gb}$  为当前最优解,  $\rho$  ( $0 < \rho < 1$ ) 为信息素蒸发系数.

HBACA 算法可描述如下:

Step1: 初始化 HBACA 算法的参数  $r_1: r_2: r_3: r_4, \rho, Q, NC_{\max}, \tau_{ij}(0)$ .

Step2: 生成  $m$  只蚂蚁, 其中:  $\frac{mr_1}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}$

只蚂蚁按 action1 行动, 另外  $\frac{mr_2}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}$  只、

$\frac{mr_3}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}$  只和  $\frac{mr_4}{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}$  只蚂蚁分别以 action2, action3, action4 行动.

Step3: 将 4 群蚂蚁随机地放到  $n$  座城市, 并将该城市的索引添加到该蚂蚁的禁忌表中.

Step4: for 每只蚂蚁

repeat

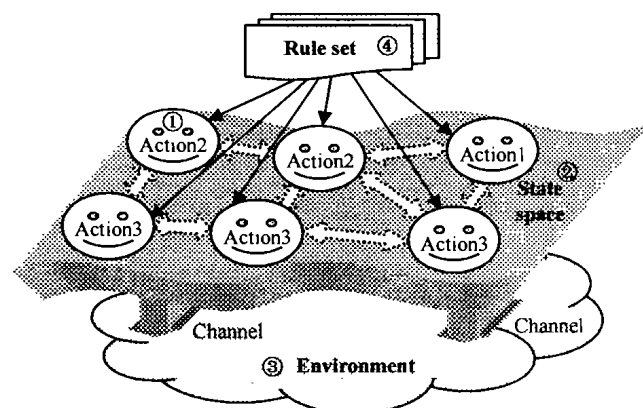


图1 HBACA 算法的模型

按自己的行为规则选择下一座城市;  
移动到下一座城市;  
将该城市的索引加入自己的禁忌表.  
until 不能再向前移动  
end for

Step5: 计算每只蚂蚁的路径长度并找出 IBS,  
如果 IBS 比 GBS 优, 则用 IBS 替代 GBS.

Step6: 由式(4)更新边上的信息素.

Step7: 置  $NC := NC + 1$ ;

if  $NC > NC_{\max}$  then

输出最优解;

退出算法.

else

清空所有蚂蚁的禁忌表;

转 Step 4.

end if

### 3 实验结果

实验数据来自 TSP 库 (<http://www.iwr.uni-heidelberg.de/iwr/comopt/soft/TSPLIB95/TSPLIB.html>) 中的 benchmark 实例, 采用编程语言 VC++ 6.0 在奔腾 III 处理器(733 MHz)上进行.

#### 3.1 HBACA 算法的参数研究

由于参数  $Q$  对大多数蚁群算法的影响不大, 在实验中  $Q$  取 100. 实验分别针对蒸发系数  $\rho$  和不同行为群体的比例  $r_1 : r_2 : r_3 : r_4$  进行. 首先在固定蒸发系数  $\rho$  的情况下, 采用不同群体比例  $r_1 : r_2 : r_3 : r_4$  求解 eil51 问题, 实验结果如表 1 所示. 其中的“Best”, “Avg”, “Worst”, “Std Dev” 分别表示 15 次运行的最好解、平均值、最差解和标准方差.

从表 1 可以看出, 蚁群中  $r_1$  (随机搜索) 所占比例不能太大, 否则对算法的搜索不利; 另外, 启发式因子在算法后期所起的作用减弱,  $r_2$  也不应该太大. 从表中的 4 个统计量来看,  $r_1 : r_2 : r_3 : r_4$  取  $0.05 : 0.1 : 0.4 : 0.45$  时, 算法具有较好的性能.

表 2 是参数  $\rho$  对 HBACA 算法的影响.

对参数  $\rho$  的实验结果显示, 当  $\rho = 0.02$  和  $0.05$

表 1 参数  $r_1 : r_2 : r_3 : r_4$  对 HBACA 算法的影响

$r_1 : r_2 : r_3 : r_4$	Best	Worst	Avg	Std Dev
0.05 : 0.1 : 0.25 : 0.6	426	436	429.263	1.950
0.05 : 0.1 : 0.4 : 0.45	426	432	428.731	1.259
0.05 : 0.2 : 0.5 : 0.25	427	441	431.379	2.826
0.1 : 0.1 : 0.2 : 0.6	427	443	433.175	3.084
0.1 : 0.1 : 0.4 : 0.4	428	442	432.943	3.183
0.1 : 0.2 : 0.4 : 0.3	428	443	432.691	3.329
0.2 : 0.1 : 0.2 : 0.5	434	452	446.385	6.845
0.2 : 0.2 : 0.3 : 0.3	432	449	448.578	7.073
0.2 : 0.3 : 0.3 : 0.2	436	472	451.658	11.546

表 2 参数  $\rho$  对 HBACA 算法的影响

$\rho$	Best	Worst	Avg	Std Dev
0.02	426	439	429.316	1.831
0.05	426	432	427.931	1.173
0.1	428	446	432.732	2.332
0.2	428	451	436.427	7.084
0.3	431	459	438.372	8.578
0.4	431	455	437.691	9.839
0.5	432	461	442.462	11.364
0.6	434	489	444.537	16.456
0.7	435	472	441.473	12.463
0.8	439	469	446.578	13.863

时, 算法的性能较好.

#### 3.2 对比实验研究

下面利用 HBACA 的最优参数, 通过不同规模的 TSP 问题, 比较 HBACA 算法与 AS 算法的性能. 其中: AS 算法的参数设置为  $\alpha = 1.5, \beta = 4, \rho = 0.5, Q = 100$ ; HBACA 算法的参数为  $\rho = 0.05, r_1 : r_2 : r_3 : r_4 = 0.05 : 0.1 : 0.4 : 0.45, Q = 100$ . 两种算法的蚂蚁数均为 35. 表 3 为运行结果, 其中对每个 TSP 实例, 两种算法都运行 15 次后取其平均值, 每次迭代次数为 3 000.

从表 3 中最优解和平均结果可以看出, HBACA 算法明显优于 AS 算法, 标准方差也显示 HBACA 算法比 AS 算法更加稳定.

表 3 HBACA 算法与 AS 算法的比较 (\* 代表 HBACA, # 代表 AS)

TSP Instance	Best		Avg		Worst		Std Dev	
	*	#	*	#	*	#	*	#
E151	428.1	434	431.2	439.3	433	456	3.45	9.24
Eil75	535	546	539.2	556.8	545	569	4.61	12.17
d198	15 974	16 608	16 032.9	16 832.3	16 156	17 123	79.43	249.73
KroA100	21 282	21 429	21 453.7	21 980.4	21 763	22 848	213.69	692.92
att532	28 131	29 064	28 293.5	30 071.6	28 512	31 927	192.36	1 212.67

## 4 结 论

本文提出一种基于混合行为的蚁群算法. 该算法通过定义具有不同行为特征的蚂蚁, 并通过调整不同行为蚁群的比例, 保证了蚁群算法在避免停滞现象的同时具有较高的搜索较好解的能力. 仿真实验表明了该算法的有效性, 其性能远优于蚂蚁系统.

## 参考文献(References)

- [1] Dorigo M, Maniezzo V, Colorni A. The ant system; Optimization by a colony of cooperating agents [J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics — Part B*, 1996, 26(1): 29-41.
- [2] Bullnheimer B, Hartl R F, Strauss C. A new rank-based version of the ant system; A computational study [J]. *Central European J for Operations Research and Economics*, 1999, 7(1): 25-38.
- [3] Dorigo M, Gambardella L M. Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman

problem [J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computations*, 1997, 1(1): 53-66.

- [4] Stützle T, Hoos H H. Max-min ant system [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2000, 16(8): 889-914.
- [5] 覃刚力, 杨家本. 自适应调整信息素的蚁群算法[J]. *信息与控制*, 2002, 31(3): 198-201.  
(Qin G L, Yang J B. An improved ant colony algorithm based on adaptively adjusting pheromone [J]. *Information and Control*, 2002, 31(3): 198-201.)
- [6] 王颖, 谢剑英. 一种自适应蚁群算法及其仿真研究[J]. *系统仿真学报*, 2002, 14(1): 32-33.  
(Wang Y, Xie J Y. An adaptive ant colony optimization algorithm and Simulation [J]. *J of System Simulation*, 2002, 14(1): 32-33.)
- [7] 吴庆洪, 张纪会, 徐心和. 具有变异特征的蚁群算法[J]. *计算机研究与发展*, 1999, 36(10): 1240-1245.  
(Wu Q H, Zhang J H, Xu X H. An ant colony algorithm with mutation features [J]. *J of Computer Research and Development*, 1999, 36(10): 1240-1245.)

(上接第 64 页)

## 参考文献(References)

- [1] 廖成林, 靳军. 信用缺失现象的博弈分析[J]. *中国流通经济*, 2003, (1): 59-62.  
(Liao C L, Jin J. A games analysis on discredit [J]. *China Currency Economic*, 2003, (1): 59-62.)
- [2] 杨万铭. 市场秩序与信用机制的构建基础[J]. *经济体制改革*, 2002, (6): 151-153.  
(Yang W M. The base of establishing market system and credit mechanism [J]. *Reform of Economic System*, 2002, (6): 151-153.)
- [3] 李必强. 市场经济中的信用、信用资源和信用机制[J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2002, 2(2): 24-30.  
(Li B Q. Credit, credit resources and credit mechanism in market economy [J]. *J of China University of Geosciences(Social Sciences Edition)*, 2003, 2(2): 24-

30).

- [4] 范晓屏, 陆韶文. 信息不对称下销售者信号传递的策略选择[J]. *企业经济*, 2002, (7): 83-85.  
(Fan X P, Lu S W. Seller strategic choice for signaling in asymmetric information [J]. *Firm Economic*, 2002, (7): 83-85.)
- [5] 张维迎. *博弈论与信息经济学* [M]. 上海: 上海人民出版社, 1996: 397-413, 544-554.
- [6] Yun Jungyoll. On the efficiency of the rank order contract under moral hazard and adverse selection [J]. *J of Labor Economics*, 1997, 15(3): 466-494.
- [7] Yun Jungyoll. Simple rank order contracts under moral hazard and adverse selection [R]. Alifornia: Stanford University, 1990: 17-38.

## 下 期 要 目

- |  |          |
|--|----------|
| 粗集神经网络及其在智能信息处理领域的应用 .....             | 张东波, 等   |
| 基于混合微粒群优化的多目标柔性 Job-shop 调度 .....      | 夏蔚军, 吴智铭 |
| Web 信息查询优化的遗传算法 .....                  | 王自强, 冯博琴 |
| 基于遗传算法的混合 $H_2/H_\infty$ 状态反馈控制器 ..... | 潘伟, 等    |
| 基于 Tent 映射的混沌优化算法 .....                | 单梁, 等    |
| 基于欧氏距离和精英交叉的免疫算法研究 .....               | 郑日荣, 等   |
| 交通信号自适应模糊控制器的设计及稳定性分析 .....            | 樊晓平, 李艳  |
| 切换系统的不变性原理与不变集的状态反馈镇定 .....            | 林相泽, 田玉平 |
| 农业剩余劳动力转移的适度规模及优化控制 .....              | 聂荣, 潘德惠  |
| 不对称竞争条件下的集团转移定价决策 .....                | 慕银平, 等   |