

遗传算法与蚂蚁算法的融合

建立 陈增强 袁著祉
(南开大学信息技术科学学院 天津 300071)
(jianliding@yahoo.com.cn)

摘 要 遗传算法具有快速随机的全局搜索能力,但对于系统中的反馈信息利用却无能为力,当求解到一定范围时往往做大量无为的冗余迭代,求精确解效率低.蚂蚁算法是通过信息素的累积和更新收敛于最优路径上,具有分布式并行全局搜索能力.但初期信息素匮乏,求解速度慢.算法是将遗传算法与蚂蚁算法融合,采用遗传算法生成信息素分布,利用蚂蚁算法求精确解,优势互补.仿真表明取得了非常好的效果.

关键词 遗传算法; 蚂蚁算法; 融合;

中图法分类号 TP301; TP18

On the Combination of Genetic Algorithm and Ant Algorithm

DING Jian-Li, CHEN Zeng-Qiang, and YUAN Zhu-Zhi
(College of Information Technology and Science, Nankai University, Tianjin 300071)

Abstract Genetic algorithm has the ability of doing a global searching quickly and stochastically. But it can't make use of enough system output information. It has to do a large redundancy repeat for the result when solving to certain scope. So the efficiency to solve precision results is reduced. Ant algorithm converges on the optimization path through information pheromone accumulation and renewal. It has the ability of parallel processing and global searching. The speed at which the ant algorithm gives the solution is slow, because there is little information pheromone on the path early. The algorithm in this paper is based on the combination of genetic algorithm and ant algorithm. First, it adopts genetic algorithm to give information pheromone to distribute. Second, it makes use of the ant algorithm to give the precision of the solution. Finally, it develops enough advantage of the two algorithms. The simulation results show that very nice effects are obtained.

Key words genetic algorithm; ant algorithm; combination

1 引 言

启发式智能化方法近年来愈来愈引起了众多学者的关注和兴趣.诸如神经网络、模拟退火、禁忌搜索、遗传算法、蚂蚁算法、DNA 计算等,它们毫无争议地成为解决组合爆炸及 NP 类问题的锐利工具.然而,面对各种问题的特殊性和复杂性,每一种算法都表现其自身的优势和缺陷,都会面临时间性能和优化性能的双重挑战^[1].

遗传算法是由美国密执安大学的 John Holland 教授于 1975 年首先提出的一类仿生型优化算法.它是自达尔文的生物进化论“适者生存、优胜劣汰”和孟德尔的遗传变异理论“生物遗传进化主要在染色体上,子代是父代遗传基因在染色体上的有序排列”为基础,模拟生物界进化过程.其优点是:

- ① 具有大范围全局搜索的能力,与问题领域无关;
- ② 搜索从群体出发,具有潜在的并行性;可进行多值比较,鲁棒性强;

- ③ 搜索使用评价函数启发, 过程简单;
- ④ 使用概率机制进行迭代, 具有随机性;
- ⑤ 具有可扩展性, 容易与其他算法结合.

其缺点是: 对于系统中的反馈信息利用不够^[2], 当求解到一定范围时往往做大量无为的冗余迭代, 求精确解效率低

蚂蚁算法(ant algorithm, AA)是近年来刚刚诞生的随机优化方法, 它是一种源于大自然的新的仿生类算法. 它是意大利学者 M. Dorigo 等最早提出^[3,4]的, 蚂蚁算法主要是通过蚂蚁群体之间的信息传递而达到寻优的目的, 最初又称蚁群优化方法(ant colony optimization, ACO). 由于模拟仿真中使用了人工蚂蚁的概念, 因此亦称蚂蚁系统(ant system, AS). 其优点是:

① 其原理是一种正反馈机制或称增强型学习系统, 它通过信息素的不断更新达到最终收敛于最优路径上;

② 它是一种通用型随机优化方法, 但人工蚂蚁决不是对实际蚂蚁的一种简单模拟, 它融进了人类的智能;

③ 它是一种分布式的优化方法, 不仅适合目前的串行计算机, 而且适合未来的并行计算机;

④ 它是一种全局优化的方法, 不仅可用于求解单目标优化问题, 而且可用于求解多目标优化问题. 其缺点是: 初期信息素匮乏, 求解速度慢^[5].

本文算法是将遗传算法与蚂蚁算法的融合, 采用遗传算法生成信息素分布, 利用蚂蚁算法求精确解, 优势互补, 期望获得优化性能和时间性能的双赢.

2 蚂蚁算法的优化机理及模型描述

2.1 蚂蚁算法的优化机理

蚂蚁有能力在没有任何提示下找到从其巢穴到食物源的最短路径, 并且能随环境的变化而变化, 适应性地搜索新的路径, 产生新的选择. 其根本原因是蚂蚁在寻找食物源时, 能在其走过的路上释放一种特殊的分泌物——信息素(pheromone, 随着时间的推移该物质会逐渐挥发), 后来的蚂蚁选择该路径的概率与当时这条路径上该物质的强度成正比. 当一定路径上通过的蚂蚁越来越多时, 其留下的信息素轨迹也越来越多, 后来蚂蚁选择该路径的概率也越高, 从而更增加了该路径的信息素强度. 而强度大的信息素会吸引更多的蚂蚁, 从而形成一种正反馈机制. 通过这种正反馈机制, 蚂蚁最终可以发现

最短路径. 特别地, 当蚂蚁巢穴与食物源之间出现障碍物时, 蚂蚁不仅可以绕过障碍物, 而且通过蚁群信息素轨迹在不同路径上的变化, 经过一段时间的正反馈, 最终收敛到最短路径上^[6,7].

2.2 蚂蚁圈模型

蚂蚁圈模型是全局优化较好的蚂蚁算法, 假如路径 (i, j) 在 t 时刻信息素轨迹强度为 τ_{ij} , 蚂蚁 k 在路径 (i, j) 上留下的单位长度轨迹信息素数量 $\Delta\tau_{ij}^k$, 轨迹的持久性 $\rho(0 \leq \rho < 1)$, 则轨迹强度的更新方程^[6,8]为

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \sum \Delta\tau_{ij}^k(t).$$

设 Z_k 为第 k 只蚂蚁在本次循环中所走的路径的长度, 则 $\Delta\tau_{ij}^k(t) = Q/Z_k$, 其中 Q 是一个常数^[5,9]. 如果设 η_{ij} 为边路径 (i, j) 的能见度, 一般取为 $1/d_{ij}$, 这里 d_{ij} 为路径 (i, j) 的长度, 路径可见度的相对重要性 $\beta(\beta \geq 0)$, 路径轨迹的相对重要性 $\alpha(\alpha \geq 0)$, U 为可行顶点集, 蚂蚁 k 在 t 时刻的转移概率为 $p_{ij}^k(t)$, 则 $p_{ij}^k(t)$ 可定义^[6,8]如下

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in U} [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}, & j \in U, \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

2.3 MMAS(max-min ant system)算法

MMAS 算法是比利时学者 Thomas Stutzle 提出的^[8], 它对基本蚂蚁算法(AS)进行了 3 点改进^[9]: ①为了更加充分地进行寻优, 各路径信息素初值设为最大值 $\tau_{\max}$; ②一圈中只有最短路径的蚂蚁才进行信息素修改增加, 这与 AS 蚂蚁圈模型调整方法相似; ③为了避免算法过早收敛非全局最优解, 将各路径的信息素浓度限制在 $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$ 之间, 超出这个范围的值被强制设为 $\tau_{\min}$ 或者 $\tau_{\max}$. 从实验结果看, MMAS 算法在防止算法过早停滞及有效性方面对 AS 算法有较大的改进.

3 遗传算法与蚂蚁算法的融合(GAAA)

3.1 GAAA 算法的设计思想及总体框架

遗传算法与蚂蚁算法的融合(genetic algorithm-ant algorithm, GAAA), 其基本思想是汲取两种算法的优点, 克服各自的缺陷, 优势互补. 在时间效率上优于蚂蚁算法, 在求精解效率上优于遗传算法, 是时间效率和求解效率都比较好的一种新的启发式方法.

其基本思路是算法前过程采用遗传算法, 充分利用遗传算法的快速性、随机性、全局收敛性, 其结

果是产生有关问题的初始信息素分布. 算法后过程采用蚂蚁算法, 在有一定初始信息素分布的情况下, 充分利用蚂蚁算法并行性、正反馈性、求精解效率高等特点. 其总体框架如图 1 所示:

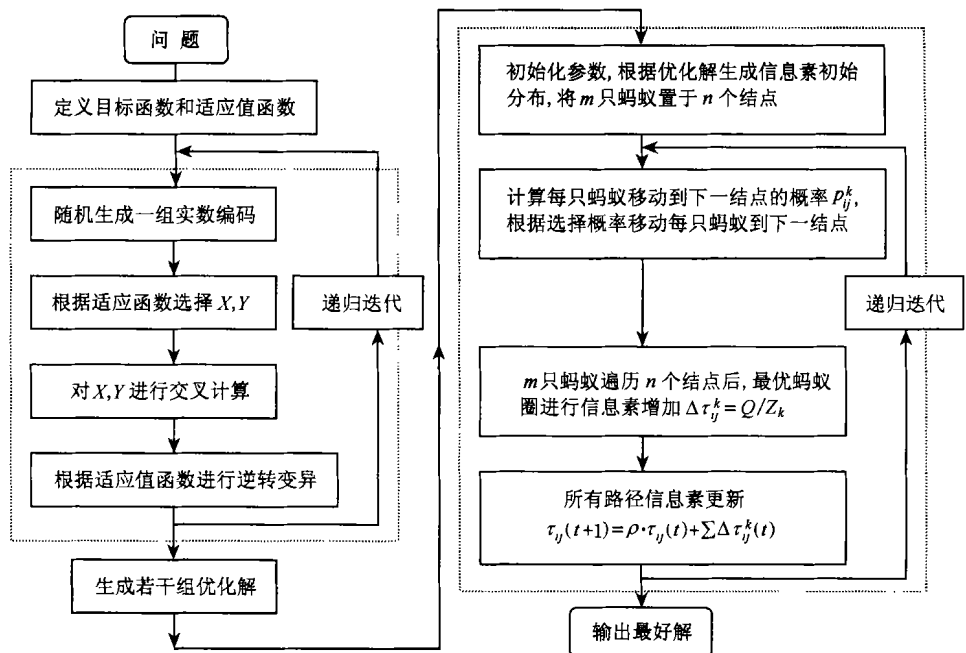


图 1 GAAA 算法总体框架

3.2 GAAA 中遗传算法的定义与设置

编码与适应值函数: 结合解决问题, 采用十进制实数编码, 适应值函数结合目标函数而定. 如 TSP 问题, 以城市的遍历次序作为遗传算法的编码, 适应度函数取为哈密顿圈的长度的倒数.

种群生成与染色体选择: 利用 rand 函数随机生成一定数量的十进制实数编码种群, 根据适应值函数选择准备进行交配的一对染色体父串.

交叉算子: 采用 Davis 提出的顺序交叉方法, 先进行常规的双点交叉, 再进行维持原有相对访问顺序的巡回路线修改. 具体交叉如下:

① 随机在父串上选择一个交配区域, 如两父串选定为

old1=12 | 3456 | 789,
old2=98 | 7654 | 321.

② 将 old2 的交配区域加到 old1 前面, 将 old1 的交配区域加到 old2 的前面:

old1'=7654 | 123456789,
old2'=3456 | 987654321.

③ 依次删除 old1', old2' 中与交配区相同的数码, 得到最终的两子串:

new1=765412389,
new2=345698721.

变异算子: 采用逆转变异方法^[5], 所谓“逆转”,

如染色体(1—2—3—4—5—6)在区间 2—3 和区间 5—6 处发生断裂, 断裂片段又以反向顺序插入, 于是逆转后的染色体变为(1—2—5—4—3—6). 这里的“进化”, 是指逆转算子的单方向性, 只有经逆转后, 适应值有提高的才接受下来, 否则逆转无效.

3.3 GAAA 中蚂蚁算法的改进与衔接

信息素的初值设置: MMAS 是把各路径信息素初值设为最大值 $\tau_{\max}$, 这里我们通过遗传算法得到了一定的路径信息素, 所以把信息素的初值设置为

$$\tau_s = \tau_c + \tau_g.$$

这里, τ_c 是一个根据具体求解问题规模给定的一个信息素常数, 相当于 MMAS 算法中的 $\tau_{\min}$, τ_g 是遗传算法求解结果转换的信息素值.

信息素更新模型: 采用蚂蚁圈模型进行信息素更新, 即一圈中只有最短路径的蚂蚁才进行信息素修改增加. 而所有路径的轨迹更新方程均采用:

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \sum \Delta \tau_{ij}^k(t).$$

4 仿真实验结果

我们采用典型的 NP-hard 问题 30 城市 TSP^[1] 进行实验, GAAA 中遗传算法迭代次数固定为 30 代, 蚂蚁算法中各路径信息素初值^[1] τ_c 设为 60, 遗传算法求解结果转换的信息素值是经过路径加 2, 轨迹更新 $\rho=0.8$, $Q=1000$.

表 1 反映 GAAA 算法优化解数据逼近过程, 图 2 形象说明了 GAAA 算法中经过遗传算法求解结果在信息素初值设置的表现. 从中可以看出本文算法是一个逐步收敛的过程, 从均值和分布来看, 其求精确解的精度非常高. 图 3 是应用 GAAA 算法得到的

最优解, 和目前得到的最好解一致. 图 4~图 7 找到的解与最优解非常接近, 是其他算法容易陷入局部最优的几个值, 本文算法因为在遗传阶段采用随机产生的种群, 因而有效地避免了陷入局部最优.

表 1 GAAA 算法优化解数据逼近过程

GAAA 过程	优化解分布										最大值	最小值	平均值
初始随机生成的一组优化解	1309	1333	1181	1119	1271	1256	1401	1216	1275	1293	1500	1046	1298.8
	1046	1385	1302	1263	1309	1347	1448	1227	1288	1283			
	1181	1289	1500	1387	1460	1364	1206	1217	1441	1303			
遗传算法后生成的一组优化解	961	918	993	888	938	939	922	838	834	868	987	817	912.3
	924	892	816	901	941	987	926	916	871	918			
	949	947	908	912	926	975	825	919	989	817			
蚂蚁算法后生成的一组优化解	436	430	431	439	426	437	433	429	434	439	452	424	433.7
	426	438	424	426	425	446	449	426	424	443			
	434	427	452	436	426	425	448	431	440	430			

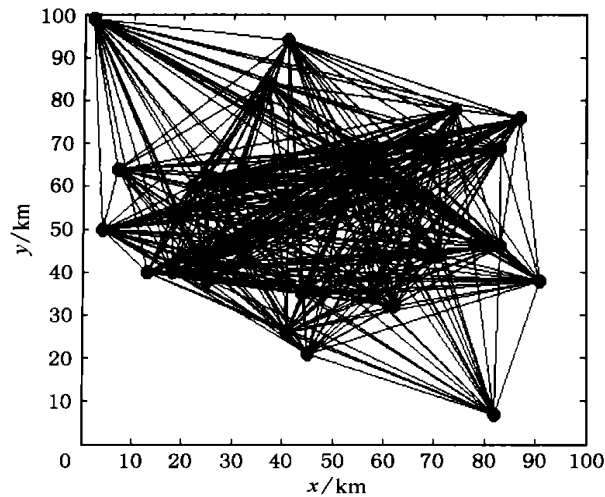


图2 GAAA 算法一次随机遗传变异后产生的信息素分布

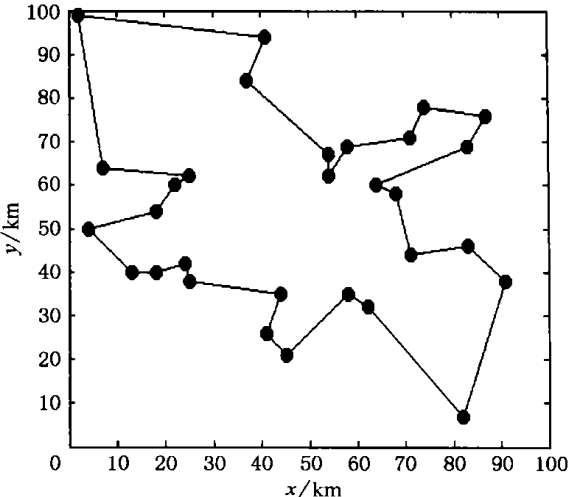


图3 GAAA 算法找到的最优路径($d^+=423.74$)

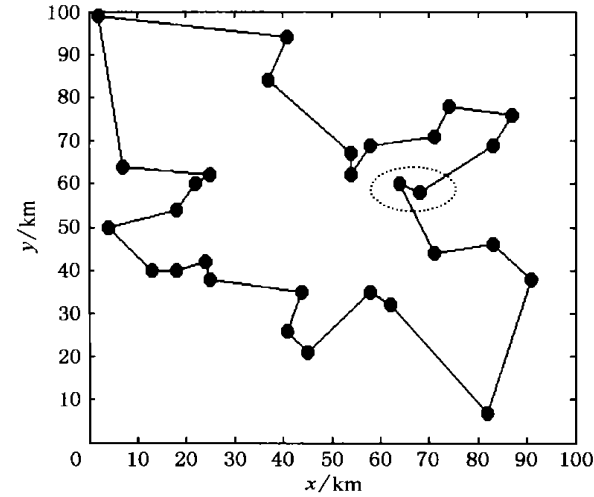


图4 GAAA 算法一次随机迭代求得最好结果($d=424.46$)

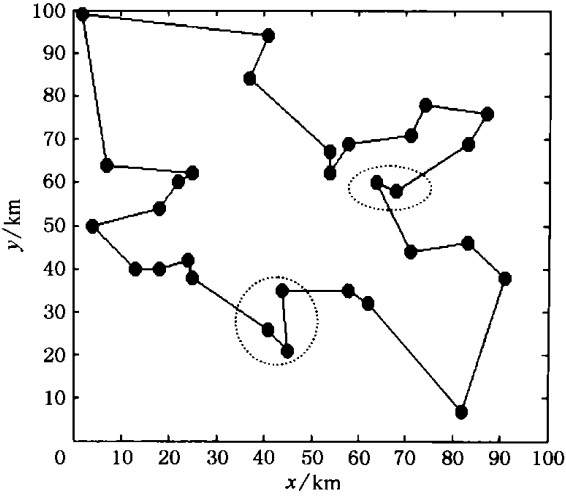


图5 GAAA 算法一次随机迭代求得最好结果($d=424.67$)

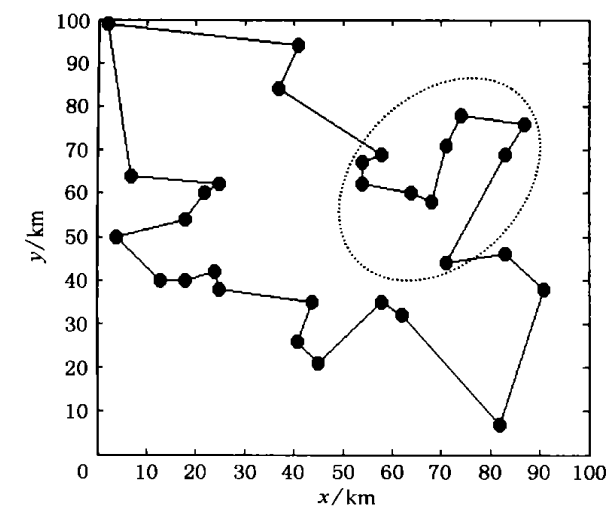


图 6 GAAA 算法一次随机迭代求得最好结果($d=424.69$)

表 2 是本文算法的实验结果, 它和表 3 基本蚂蚁算法(AA)的实验结果相比, 不仅进化代数大大减少, 而且在 ρ 固定的情况下, 可以反复迭代, 不会陷入局部最优, 并且求解精度也大大提高. GAAA 算法和表 4 遗传算法(GA)与模拟退火(SA)相比, 求解效率更是大大提高.

表 2 GAAA 算法的实验结果

α	β	ρ	最短 路径长度	GAAA 进化代数 遗传算法+蚂蚁算法
1	1	0.8	426.60	30+11
1	2	0.8	424.69	30+10
2	1	0.8	424.46	30+16
2	2	0.8	423.74	30+13
2	3	0.8	424.67	30+21
3	3	0.8	425.65	30+19
3	2	0.8	425.52	30+13
5	2	0.8	424.90	30+9
5	3	0.8	426.90	30+11
3	5	0.8	429.79	30+9
5	5	0.8	430.13	30+10

表 3 基本蚂蚁算法(AA)的实验结果^[5]

α	β	ρ	最短路径长度	蚂蚁算法进化代数
2	2	0.5	424.8	350
2	2	0.9	427.0	344
1	2	0.5	423.7	342
5	2	0.9	430.5	338
5	2	0.5	445.0	347

表 4 遗传算法(GA)与模拟退火(SA)^[1]

	收敛最优解平均进化代数	
GA	404	
SA	1018	同上
GASA 混合	554	同上
(并行 P)SA	1012	同上

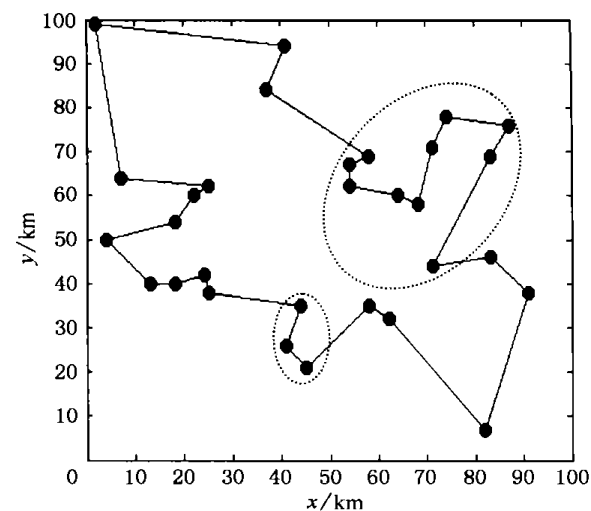


图 7 GAAA 算法一次随机迭代求得最好结果($d=424.90$)

5 结 论

从本文算法及实例仿真我们可以得到如下结论:

- (1) 本文算法无论是优化性能还是时间性能, 都取得了非常好的效果;
- (2) 本文算法由于在遗传算法中使用随机生成种群, 不仅加快了蚂蚁算法的速度而且避免求精确解阶段陷入局部最优;
- (3) 遗传算法与蚂蚁算法的融合, 对于蚂蚁算法中的参数调整大大减低, 减少了大量盲目的实验次数;
- (4) 本文算法对 TSP 问题进行了仿真应用, 对于其他 NP 问题也同样适用

参 考 文 献

1 王凌 智能优化算法及其应用 北京: 清华大学出版社, 2001. 154~159
(Wang Ling. Intelligent Optimization Algorithms with Application (in Chinese). Beijing: Tsinghua University Press, 2001. 154 ~ 159)

2 李敏强, 徐博艺, 寇纪淞. 遗传算法与神经网络的结合. 系统工程理论与实践, 1999, 19(2): 65~69
(Li Minqiang, Xu Boyi, Kou Jisong. On the combination of genetic algorithms and neural networks. Systems Engineering Theory & Practice (in Chinese), 1999, 19(2): 65~69)

3 Marco Dorigo, Gambardella, Luca Maria. Ant colonies for the traveling salesman problem. Biosystems, 1997, 43(2): 73~81

4 Marco Dorigo, Gambardella, Luca Maria. Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53~66

5 吴庆洪, 张纪会, 徐心和 具有变异特征的蚁群算法. 计算机研究与发展, 1999, 36(10): 1240~1245
(Wu Qinghong, Zhang Jihui, Xu Xinhe. An ant colony algorithm with mutation features. Journal of Computer Research and Development (in Chinese), 1999, 36(10): 1240~1245)

6 Marco Dorigo, Eric Bonabeau, Theraulaz Guy. Ant algorithms and stigmergy. Future Generation Computer System, 2000, 16(8): 851~871

7 张素兵, 刘泽民 基于蚂蚁算法的时延受限分布式多播路由研究. 通信学报, 2001, 22(3): 70~74
(Zhang Subing, Liu Zemin. A distributed delay-bounded constraint multicast routing algorithm based on ant-algorithm. Journal of China Institute of Communications (in Chinese), 2001, 22(3): 70~74)

8 Thomas Stutzle, Holger H Hoos *et al.* MAX-MIN ant system. Future Generation Computer System, 2000, 16(8): 889~914

9 吴斌, 史忠植 一种基于蚁群算法的 TSP 问题分段求解算法. 计算机学报, 2001, 24(12): 1328~1333
(Wu Bin, Shi Zhongzhi. An ant colony algorithm based partition algorithm for TSP. Chinese Journal of Computers (in Chinese), 2001, 24(12): 1328~1333)

10 Marcus Randall, Andrew Lewis. A parallel implementation of ant colony optimization. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2002, 62(9): 1421~1432



丁建立 男, 1963 年生, 博士, 副教授, 主要研究方向为智能仿生算法、智能决策、网络优化



陈增强 男, 1964 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能预测控制、智能网络管理



袁著祉 男, 1937 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为自适应控制、智能控制、智能决策系统

敬告作者:

目前, 本刊已被国内外多个重要检索机构所收录。一篇文章的中英文摘要是检索的重要内容, 因此, 中英文摘要写得如何, 直接关系到文章的宣传效果。从我们所接收的稿件来看, 一些文章的中英文摘要写得过于简单, 没有充分概括文章的重要内容。请广大作者再投稿时, 将中英文摘要写得充分些, 要将研究工作的目的、实验方法、结果和最终结论等写进摘要中, 形成一个完整的短文, 具体要求请参考下列写作规范。

编者注

科技论文的中英文摘要写作规范

- 1. 摘要是报告、论文的内容不加注释和评论的简短陈述
- 2. 报告、论文一般均应有摘要, 为了国际交流, 还应有外文(多用英文)摘要
- 3. 摘要应具有独立性和自含性, 即不阅读报告、论文的全文, 就能获得必要的信息。摘要中有数据、有结论, 是一篇完整的短文, 可以独立使用, 可以引用, 可以用于工艺推广。摘要的内容应包含与报告、论文同等量的主要信息, 供读者确定有无必要阅读全文, 也供文摘等二次文献采用。摘要一般应说明研究工作的目的、实验方法、结果和最终结论等, 而重点是结果和结论
- 4. 中文摘要一般不宜超过 200~300 字, 外文摘要不宜超过 250 个实词。如遇特殊需要字数可以略多(为了扩大国际影响, 英文摘要尽量写长一些, 可不与中文摘要一一对应——编辑部注)。
- 5. 除了实在无变通办法可用以外, 摘要中不用图、表、化学结构式、非公知公用的符号和术语
- 6. 报告、论文的摘要可以用另页置于题名页之后, 学术论文的摘要一般置于题名和作者之后、正文之前
- 7. 学位论文为了评审, 学术论文为了参加学术会议, 可按要求写成变异本式的摘要, 不受字数规定的限制

——引自《中华人民共和国国家标准》
科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式