面向大型场馆疏散的改进多蚁群算法*

段鹏飞, 熊盛武, 李　辉
(武汉理工大学 计算机科学与技术学院, 武汉 430205)

摘　要: 针对大型场馆应急疏散的路径优化问题,提出了一种基于遗传算法交叉变异算子的多蚁群算法。该算法通过引入多蚁群信息素组的概念,将遗传算法交叉和变异的思想应用到信息素更新模型中,解决了传统蚁群算法易陷入局部最优的问题。最后,将此模型应用在武汉体育馆及其周边路网集成环境中。实验结果表明,该算法能够为大型场馆中大规模人群提供一个有效可行的疏散方案。

关键词: 蚁群算法; 遗传算法; 紧急疏散
中图分类号: TP391.7　　**文献标志码**: A　　**文章编号**: 1001-3695(2013)02-0357-03
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.02.009

Improved multiple ant colony algorithm for emergency evacuation in large building

DUAN Peng-fei, XIONG Sheng-wu, LI Hui
(*School of Computer Science & Technology*, *Wuhan University of Technology*, *Wuhan* 430205, *China*)

Abstract: For the problems of emergency evacuation route optimization in large public building, this paper proposed an improved multi-ant colony algorithm based on crossover-mutation operator of genetic algorithm. By introducing the concept of multi-pheromone, the algorithm applied the idea of crossover and mutation of genetic algorithm to the pheromone update model and solved the problem of trapping in local optima of traditional ant colony algorithm. Finally, it applied this model to Wuhan Stadium to simulate the whole evacuation process. By simulating the process of pedestrian evacuation with this model, the results show the feasibility of this algorithm, so as to provide a scientific basis for guiding the real evacuation process.

Key words: ant colony algorithm; genetic algorithm; emergency evacuation

0　引言

对于大多数的大型场馆,人们对于周围的环境并不是很熟悉,一旦有灾害发生时,他们通常会产生紧张情绪。在这种情况下,他们通常会跟随大多数人从而选择了比较拥堵的路段,以至于错过了疏散的最好时间。因此,紧急疏散的路径规划对保证人们的生命财产安全来说至关重要[1,2]。目前,面向大型场馆应急疏散方面的研究主要有元胞自动机(CA)模型[3]、智能体模型[4]和格子气模型[5]等。这些模型主要是根据当前情况对下一步疏散路径作出分析,但在提供全局优化的个体时空路径分析方面并不是很理想。同时,在发生紧急情况下的疏散路径规划不同于传统的路径规划方法[6]。传统的群智能算法解决路径规划主要是针对一个或几个个体,寻找路径最短或其他目标的路径解决方案,在紧急疏散路径规划中,研究目标通常为大规模待疏散人群,由于恐慌或拥堵会造成人员速度的变化,因此在疏散路径规划中更需要着重考虑多疏散人员的路径组合优化,这样传统的路径规划方法很难直接应用于疏散规划中。因此需要一种从全局角度出发面向大规模疏散人员的疏散路径规划方法。

为了更好地从宏观上提供大型场馆应急疏散的全局路径优化分析,一些研究人员提出了将蚁群算法应用于疏散路径优化。Zong 等人[6]在 2010 年提出了用蚁群算法来解决人员疏散问题。蚁群算法可以很好地模拟大规模人群疏散时行人的速度变化情况,同时其正反馈特性和较强的局部搜索能力使得它适合解决紧急疏散中的路径规划问题。蚁群算法虽然能够比较好地解决紧急疏散中的路径优化问题,但自身方面也存在一些不足,如易出现停滞现象而陷入局部最优解等。为了克服蚁群算法的缺点,一些学者相继对蚁群算法进行了改进。其中包括:精英蚂蚁系统(elitist strategy for ant system, EAS)[7],它主要是对蚂蚁的寻路过程作出评价,然后改变散发的信息素;基于排列的蚂蚁系统(rank based version AS)[8],它主要是在每次信息素更新时,先对蚂蚁按经过的路径长度进行排列,只取前 w 个蚂蚁来更新信息素;还有就是最大最小蚂蚁系统(max-min ant system, MMAS)[9],它将信息素限制在一个区域内,避免某条路径上信息素过多算法出现停滞现象。刘萍等人[10]和 Damanafshan 等人[11]提出了遗传算法与蚁群算法结合的方法,该方法采用初始阶段利用遗传算法,后期利用蚁群算法,在一定程度上可以加速搜索过程,但在改进蚁群算法局部收敛性方面不是很突出。对于这种情况,本文提出了一种融合遗传算法的多蚁群算法,将交叉变异算子融合到蚁群算法的演化过程中,可以有效地改善蚁群算法局部收敛的问题。本文的创新点主要有:

a)提出了一种融合遗传算法的改进多蚁群算法,利用多蚁群算法来优化路径,而通过遗传算法交叉变异算子来优化多蚁群算法,增强了解的多样性,有利于为疏散决策者提供更优化的疏散方案。

b)结合疏散网络路径的特点,在信息素交叉操作中采用了直线交叉法,有利于保持信息素的合理布局。

收稿日期: 2012-07-02; **修回日期**: 2012-08-13　　**基金项目**: 国家自然科学基金资助项目(61170202)

作者简介: 段鹏飞(1985-),男,河北衡水人,博士研究生,主要研究方向为智能计算(meteordpf@sina.com);熊盛武(1967-),男,湖北咸宁人,教授,博士,主要研究方向为智能计算与机器学习;李辉(1984-),男,河南平顶山人,博士研究生,主要研究方向为智能算法与无线传感器网络.

1　基于交叉变异算子的蚁群算法

1.1　基本蚁群算法

蚁群优化算法(ant colony optimization, ACO)是一种启发于蚂蚁寻找食物过程的算法[12]。蚂蚁在寻找食物的过程中,会在经过的路径留下能够挥发的信息素,路径越短,信息素的积累会越多,它会指引蚂蚁寻找到一条最短路径。一个比较有代表性的就是双桥实验[13],如图 1 所示。

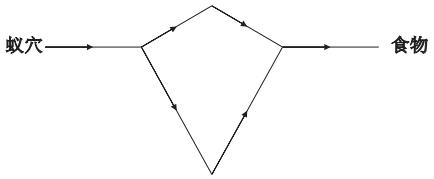

图1　双桥实验示意图

a)当两桥的路径长度相等时,蚂蚁最终会集中到其中一条路径上去;

b)当两桥长度不等时,蚂蚁最终会集中到那条较短的桥上去;

c)少量蚂蚁也会选择较长的路径;

d)当蚂蚁都集中在一条路径上时,即使再增加一条比较短的路径,蚂蚁也很难再走这条新的路,这也造成蚁群算法会陷入局部最优解。

受到蚂蚁觅食方式的启发,Maniezzo 等人[14]将蚁群算法应用于道路网络的路径优化问题中,所涉及的网络可以用一个带权图 $G(V,A)$ 来表示,其中 V 表示所有节点的集合,A 代表相邻两节点 (i,j) 之间的边,每一条边都有一定量的信息素浓度,代表这条路径对蚂蚁的吸引度,可以用 τ_{ij} 来表示。在蚁群算法中,有两个关键的算子:路径选择概率 p_{ij} 和信息素更新算子 Δ_{ij}。对于传统的蚁群算法,路径选择概率可以表示为

$$p_{ij}=\frac{\tau_{ij}}{\sum\tau_{ij}} \tag{1}$$

其中:τ_{ij} 表示当前点 i 到邻节点 j 的边上的信息素。

信息素的更新公式可以表示为

$$\tau_{ij}(t+1)=(1-\rho)\times\tau_{ij}(t)+\Delta_{ij} \tag{2}$$

$$\Delta_{ij}=\begin{cases}\dfrac{1}{L} & \text{如果经过路径}(i,j)\\ 0 & \text{否则}\end{cases} \tag{3}$$

其中:ρ 为信息素挥发速度,L 为蚂蚁经过的总路径长度。

基本的蚁群算法是将 N 个蚂蚁放在一个网络系统中,经过逐代演化,不断改变网络中路径的信息素浓度,用信息素浓度来作为蚂蚁选择路径的依据。随着蚁群算法的不断演化,网络中的信息素最终会趋向于一条路径。但这同时也影响了蚂蚁发掘新路径的能力,导致不能得到更好的解。基本的蚁群算法虽然能够比较好地解决紧急疏散中的路径优化问题,但其易陷入局部最优解使得在解决疏散问题时存在一些不足。针对这种情况,本文提出了一种基于交叉变异算子的多蚁群算法来解决疏散问题,对信息素更新模型进行调整,通过信息素组间相互影响和变异操作,可以增加路径的多样化,从而找到更好的解。

1.2　基于交叉变异算子的改进多蚁群算法

遗传算法主要是模拟生物界适者生存的原理形成的,对于每一代中的每一个个体,都会有一个适应度来表示其对外界的适应能力。在每一代针对每一个个体的适应度来进行淘汰选择,在这个过程中,使得个体的基因不断进行改进,如图 2 所示。

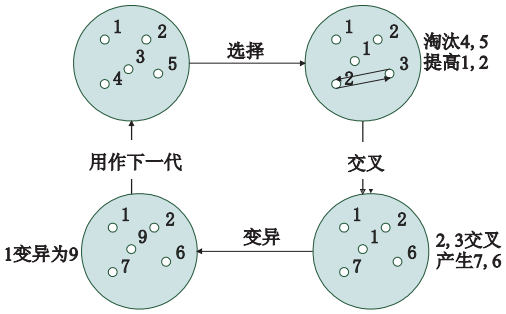

图2　遗传算法操作

针对蚁群算法易陷入局部最优解的问题,本文结合遗传算法并借鉴 MMAS 算法的一些优点,提出了一种基于遗传算法交叉变异算子的改进多蚁群算法。

根据遗传算法的流程,交叉操作可以产生个体层次的多样性,对于改变种群中个体的分布状态和搜索区域的转移有很大作用。变异操作可以增加种群基因的多样性,扩大搜索空间[15]。基于遗传算法交叉变异操作的这些特性,笔者用遗传算法来改进多蚁群信息素的更新,采用多个信息素组的模型,可以有效增强解的多样性。

本文中改进的多蚁群算法模型是将一个蚁群扩展为 M 个蚁群。为了将改进的蚁群算法应用到路径网络优化问题中,本文将每一条路径进行编号,然后将路径上的信息素的值作为基因值。因此,每一个蚂蚁种群中,都将会有一组自己的基因。在每一代中,不同的信息素组会进行信息素的交叉变异操作,具体流程如图 3 所示。

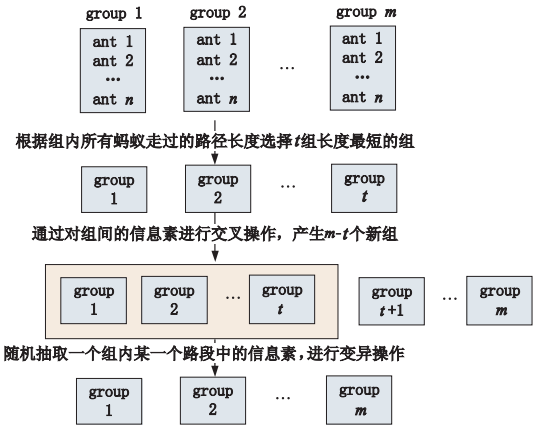

图3　基于遗传算法的多蚁群算法原理

对于改进的多蚁群算法,交叉操作主要是交换信息素,增加种群的多样性,从而避免蚂蚁长期走同一条路径。交叉操作首先是要找到一个交叉点,然后以交叉点为基准,对换交叉点前后两部分。针对疏散网络拓扑图结构,本文采用了直线交叉法,如图 4 所示。直线交叉法是指将 TSP 网络用一条直线区分为两部分,然后将直线上下两部分进行对换,从而产生新的信息素布局。

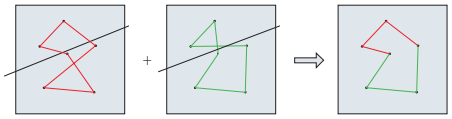

图4　信息素直线交叉方式

变异也主要是为了增加种群多样性。在本文中,主要是通过对路径上的信息素量按照概率 α 进行改变来进行变异操作。

$$\tau_{ij}(t+1)=\tau(t)+\varepsilon \tag{4}$$

其中:ε 为符合正态分布 $N(0,1)$ 的随机变量。

经过交叉变异之后,根据 MMAS 算法中的思想将信息素的范围规定在$[\tau_{\min},\tau_{\max}]$之间[9]。

改进的多蚁群算法由于组间信息素的相互影响和变异操作,避免了其路径的唯一化,提升蚁群算法找到更优路径的能力。

2　改进的多蚁群算法在疏散中的应用

在大型场馆中,其空间拓扑结构可以用网络 $G(V,A)$ 来表示。为了将人群尽快地疏散出去,行人所用的时间应该尽量短,因此将行人所用的总时间作为遗传算法的适应值。蚁群模型在场馆疏散中的应用可以表示为

路径的选择模型

$$p_{ij}=\frac{\tau_{ij}}{\sum\tau_{ij}} \tag{5}$$

信息素的更新公式

$$\tau_{ij}(t+1)=(1-\rho)\times\tau_{ij}(t)+\sum_{k=1}^{N}\Delta_{ij}^{k} \tag{6}$$

其中:ρ 为信息素挥发速度,

$$\Delta_{ij}=\begin{cases}\dfrac{1}{L} & \text{如果经过路径}(i,j)\\ 0 & \text{否则}\end{cases} \tag{7}$$

$$T_k=\sum\frac{l_{ij}}{v_{ij}^{k}} \tag{8}$$

其中:T_k 为行人所经过路径花费的总时间,l_{ij}为路径(i,j)的长度,v_{ij}^{k}为行人在路径(i,j)上的速度[7]。

$$v_{ij}^{k}=v_0^{k}\times e^{-\beta\times w_{ij}} \tag{9}$$

其中:v_0^{k} 为行人的初始速度;w_{ij}为路径(i,j)上的拥挤度;β 为常数,表示拥挤度对行人速度的影响。

$$w_{ij}=\frac{N_{ij}}{l_{ij}} \tag{10}$$

其中:N_{ij}为路径(i,j)上的人数。

根据以上模型,改进的多蚁群算法流程如下:

a)参数初始化,生成 M 个蚁群,并设置每个蚁群路径上的初始信息素。

b)对每组蚁群应用蚁群算法,并将疏散总时间作为该蚁群的适应值。

c)比较 M 个蚁群的适应值,将适应值比较大的淘汰。

d)在 t 个蚁群中随机寻找 2 个蚁群作为交叉的父代,进行交叉操作,交换路径上的信息素,由此产生新的蚁群。

e)对随机某个蚁群执行变异操作,改变其随机的某个区间路径上的信息素。

f)若满足终止条件,则停止;否则,回到操作 b)。

3　实验结果

为了测试算法的实用性,本文将算法应用到武汉体育馆疏散规划中,如图 5 所示。体育馆道路可以用如图 6 所示的网络结构来表示,图中共有 276 个节点和 8 个出口。算法采用 C++实现,使用 2.4 GHz CPU, 2 GB RAM 的计算机,参数设置为:信息素组种群规模 $M=32$,选择的种群组数 $t=16$,信息素变异概率 $\alpha=0.03$,信息素挥发系数 $\beta=0.01$。

在实验中,将行人分散到体育馆中,本文分别采用基本蚁群算法、最大最小蚁群系统和改进的多蚁群算法分别进行多次实验。实验开始后,行人按照相应的算法进行疏散。图 7 显示了 2 000 个行人在不同算法下疏散总时间与疏散代数的关系。

图5　武汉体育馆

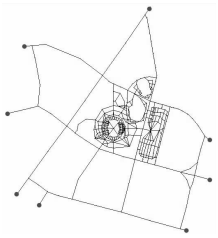

图6　道路网络结构

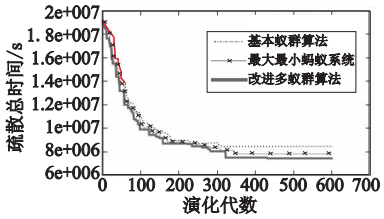

图7　2000个行人不同算法疏散总时间与疏散代数的关系

从图 7 的实验结果中可以看出,在开始的 0 ~ 200 代,不同算法下疏散总时间随着演化代数的增加而减小,在程序运行到 600 代时,疏散总时间趋于稳定,改进的多蚁群算法效果优于基本蚁群和最大最小蚁群算法,其疏散时间稳定在 7.4×10^{6} s。

通过表 1 可以看出,对于不同的疏散人数进行多次实验,相对于基本蚁群算法和最大最小蚁群系统,改进的多蚁群算法能找到相对比较好的解,而且疏散总时间比较稳定,节省了行人疏散的总时间,为疏散决策者提供了一个较好的疏散方案。

表 1　TSP 基本蚁群算法、MMAS、改进的多蚁群算法的对比结果

疏散人数	基本蚁群算法/s	最大最小蚁群系统/s	改进的多蚁群算法/s
2 000	8 403 871	7 816 424	7 427 006
2 000	8 503 725	7 815 326	7 532 019
2 000	8 413 093	7 731 853	7 428 329
20 000	3.46e+8	2.93e+8	2.51e+8
20 000	3.46e+8	2.92e+8	2.51e+8
20 000	3.45e+8	2.91e+8	2.51e+8

4　结束语

随着社会的发展,行人应急疏散规划在大型场馆中犹为重要。找到一种合理高效的疏散路径规划对保证人们的生命财产安全至关重要。本文结合遗传算法交叉变异操作,提出了一种改进的多蚁群算法模型。该算法可以有效地改善蚁群算法的多样性,为大型场馆疏散提供了有力的理论支持。由于在疏散过程中行人路径选择的因素很多,所以在这方面有待进一步研究。

参考文献:

[1] INOUE Y, IKEDA T, YAMAMOTO K, *et al*. Usability study of indoor mobile navigation system in commercial facilities[C]//Proc of the 2nd International Workshop on Ubiquitous Systems Evaluation. 2008: 45-50.

[2] AHMED A, FISAL N. A real-time routing protocol with load distribution in wireless sensor networks[J]. Computer Communications, 2008,31(14): 3190-3203.

[3] YUAN Wei-feng, TAN Kang-hai. An evacuation model using cellular automata[J]. Physica A,2007,384(2): 549-556.

[4] SHI Jian-yong, REN Ai-zhu, CHEN Chi. Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions[J]. Automation in Construction,2008,18(3): 338-347.

[5] 王梅,王叶婷,屠大维,等. 基于混合势场法的移动机器人路径规划[J]. 计算机应用研究,2012,29(7): 2447-2449.

(下转第 363 页)

表 1　两因素方差分析结果

变异来源	F	P
算法	139.32	0
算例	413 563.09	0
交互项	18.59	0

从表 1 中可以看出,三种算法计算所得的最优目标函数值均值存在显著差异。

从算例计算的统计结果中可以看到,在所有 20 个算例中,本文提出的算法求得的最优目标函数值的最大值、最小值和均值都不劣于算法 1 和 2;在 16 个算例中,本文提出算法所求得的最优目标函数值均值要优于算法 1 和 2。出于篇幅的考虑,仅列出当 $t_c=25$, $l_c=3$ 的算例统计结果,如表 2 所示。

表 2　$t_c=25$, $l_c=3$ 时三种算法对算例计算结果比较

最优目标函数值	算法 1	算法 2	本文提出的算法
最大值	501.30	501.30	501.30
最小值	501.30	501.30	492.60
均值	501.30	501.30	496.08
方差	0	0	4.49

这说明和算法 1、2 比较起来,本文提出的算法所求解的质量更高,也说明了向遗传算法中引入多种启发式算法并保持种群在可行区域内搜索是有效的,有利于种群探索新的解空间。

4　结束语

本文提出了一种新颖的应急抢修点选址模型,在保证对单个应急抢修需求点服务质量的同时,能让整个应急抢修系统的服务质量满足设定的标准。此模型具有较为复杂的约束条件,因此本文设计一种混合遗传算法来求解此模型。在该混合遗传算法中,采用带有随机化机制的启发式算法修复种群中的不可行个体,以保持种群中个体的可行性,在遗传算法中还嵌入了近邻搜索算法以提高种群个体质量。算例计算的结果表明了该混合遗传算法的有效性。

参考文献:

[1] 葛春景,王霞,关贤军. 重大突发事件应急设施多重覆盖选址模型及算法[J]. 运筹与管理,2011,20(5):50-56.

[2] FARAHANI R Z, ASGARI N, HEIDARI N, *et al*. Covering problems in facility location: a review[J]. Computers & Industrial Engineering,2012,62(1):368-407.

[3] LI Man, WANG Yan-hui, SUN Cai-hong. Research on the location allocation model for subway emergency service facilities under network operating conditions[C]//Proc of the 3rd Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System. [S. l.]: IEEE Press,2011: 1-6.

[4] INGOLFSSON A, BUDGE S, ERKUT E. Optimal ambulance location with random delays and travel times[J]. Health Care Management Science,2008,11(3):262-274.

[5] RAWLS C G, TURNQUIST M A. Pre-positioning of emergency supplies for disaster response[J]. Transportation Research Part B: Methodological,2010,44(4):521-534.

[6] 张玲,黄钧. 基于场景分析的应急资源布局模型研究[J]. 中国管理科学,2008,16(21):164-167.

[7] BERALDI P, BRUNI M E. A probabilistic model applied to emergency service vehicle location[J]. European Journal of Operational Research,2009,196(1):323-331.

[8] 陈鑫, 汪传旭, 石刘红. 模糊随机需求下应急救援中心排队选址模型及算法[J]. 上海海事大学学报,2011,32(1):74-79.

[9] RAWLS C G, TURNQUIST M A. Pre-positioning planning for emergency response with service quality constraints[J]. OR Spectrum, 2011,33(3):481-498.

[10] 郑宗汉,郑晓明. 算法设计与分析[M]. 北京:清华大学出版社, 2005:298-299.

[11] BEASLEY J E, CHU P C. A genetic algorithm for the set covering problem[J]. European Journal of Operational Research,1996, 94(2):392-404.

[12] MA Yun-feng, YANG Chao, ZHANG Min. A genetic algorithm for time-satisfaction-based set covering location problems[C]//Proc of International Conference on Communications, Circuits and Systems. [S. l.]: IEEE Press,2005:1037-1041.

[13] EL-MIHOUB T A, HOPGOOD A A, NOLLE L, *et al*. Hybrid genetic algorithms: a review[J]. Engineering Letters, 2006, 13 (2):124-137.

[14] LAN G, DePUY G W, WHITEHOUSE G E. An effective and simple heuristic for the set covering problem[J]. European Journal of Operational Research,2007,176(3):1387-1403.

[15] HAOUARI M, CHAOUACHI J S. A probabilistic greedy search algorithm for combinatorial optimisation with application to the set covering problem[J]. Journal of the Operational Research Society,2002, 53(7):792-799.

[16] http://dev.baidu.com/wiki/map/[EB/OL].

(上接第 359 页)

[6] ZONG Xin-lu, XIONG Sheng-wu, FANG Zhi-xiang. Multi-objective ant colony optimization model for emergency evacuation[C]//Proc of the 6th International Conference on Natural Computation. 2010: 2774-2778.

[7] DORIGO M, MANIEZZO V, COLORNI A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, Part B,1996,26(1): 29-41.

[8] BULLNHEIMER B, HARTL R F, STRAUSS 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.

[9] STUTZLE T, HOOS H. Improvements on the ant system: introducing max-min ant system[C]//Proc of International Conference on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms. [S. l.]: Springer-Verlag, 1997: 245-249.

[10] 刘萍, 高飞, 杨云. 基于遗传算法和蚁群算法融合的 QoS 路由算法[J]. 计算机应用研究,2007,24(9):224-227.

[11] DAMANAFSHAN M, KHOSROWSHAHI-ASI E, ABBASPOUR M. GASANT: an ant-inspired least-cost QoS multicast routing approach based on genetic and simulated annealing algorithms[J]. International Journal of Computers Communications & Control,2012,7 (3):417-431.

[12] COLORNI A, DORIGO M, MANIEZZO V. An investigation of some properties of an ant algorithm[C]//Proc of Parallel Problem Solving from Nature Conference. [S. l.]: Elsevier Publishing, 1992: 509-520.

[13] DENEUBOURG J L, ARON S, GOSS S, *et al*. The self-organizing exploratory pattern of the argentine ant[J]. Journal of Insect Behavior,1990,3(2):159-168.

[14] MANIEZZO V, COLORNI A. The ant system applied to the quadratic assignment problem[J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering,1999,11(5):769-778.

[15] 何琳,王科俊,李国斌,等. 遗传算法种群多样性的分析研究[J]. 哈尔滨工程大学学报,1999,20(4): 27-33.