

4-16-2019

Multi-chromosome Genetic Algorithm for Multiple Traveling Salesman Problem

Duofu Ye

Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China;

Liu Gang

Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China;

He Bing

Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Multi-chromosome Genetic Algorithm for Multiple Traveling Salesman Problem

Abstract

Abstract: A multi-traveling salesman model with time window is established, and two objective functions for the number of traveling salesmen and the sum of travel time are designed. A multi - chromosome coding method is designed to develop complex mutation operator tree, which overcomes the problem of large searching space of traditional genetic algorithms. The performances of algorithms are compared by simulation, and the simulation results show that the genetic algorithm with complex multi-chromosome mutation tree can balance the two objective functions of the number of TSP and total travel time well, improve the algorithm of travel speed, and reduce the total travel time by 15.8%.

Keywords

multi-traveling salesman problem, time window, coding, multi-chromosome genetic algorithm, mutation operator tree

Recommended Citation

Ye Duofu, Liu Gang, He Bing. Multi-chromosome Genetic Algorithm for Multiple Traveling Salesman Problem[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(1): 36-42.

一种多染色体遗传算法解决多旅行商问题

叶多福, 刘刚, 何兵

(火箭军工程大学, 陕西 西安 710025)

摘要: 建立带时间窗口的多旅行商问题模型, 设计旅行商数量和旅行时间总和主次两个目标函数, 设计一种多染色体编码的编码方式, 开发复杂突变算子树进化操作, 克服了传统遗传算法搜索空间大的问题。仿真比较了算法的性能, 仿真结果表明带复杂突变树的多染色体遗传算法均衡了旅行商数量与旅行时间总和两个目标函数, 提高了算法的运行速度, 减少旅行时间总和 15.8%。

关键词: 多旅行商问题; 时间窗口; 编码; 多染色体遗传算法; 突变算子树

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 01-0036-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0046

Multi-chromosome Genetic Algorithm for Multiple Traveling Salesman Problem

Ye Duofu, Liu Gang, He Bing

(Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China)

Abstract: A multi-traveling salesman model with time window is established, and two objective functions for the number of traveling salesmen and the sum of travel time are designed. A multi-chromosome coding method is designed to develop complex mutation operator tree, which overcomes the problem of large searching space of traditional genetic algorithms. The performances of algorithms are compared by simulation, and the simulation results show that the genetic algorithm with complex multi-chromosome mutation tree can balance the two objective functions of the number of TSP and total travel time well, improve the algorithm of travel speed, and reduce the total travel time by 15.8%.

Keywords: multi-traveling salesman problem; time window; coding; multi-chromosome genetic algorithm; mutation operator tree

引言

多旅行商问题(multiple Traveling Salesman Problem, mTSP)是经典旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP)的泛化和推广, 是指多个旅行商从同一个城市出发(或不同城市), 分别走一条旅行路线, 使得每个城市(起点城市除外)有且仅

有一个旅行商经过, 且总路程最短^[1]。相比 TSP, mTSP 的工程意义和应用前景更加广阔, 如快递员送货、车辆的路径规划、战场应急物资调度、多无人机任务分配等, 所以, 如何快速、有效的解决 mTSP 问题具有很高的实际应用价值。

mTSP 问题属于组合优化问题, 其求解过程包含了城市分组以及组内遍历次序两个环节^[2], 是典型的 NP-Hard 问题, 因此相应的算法大都计算复杂, 过于依赖问题本身的特征, 容易发生早熟收敛^[3]。近年来, 提出的多种启发式算法和进化算法能够有效的解决 mTSP 问题, 如遗传算法^[4]、人工蜂群算法^[5]、蚁群算法^[6]等。



收稿日期: 2017-01-10 修回日期: 2017-05-04;
基金项目: 国家自然科学基金(61403399);
作者简介: 叶多福(1992-), 男, 安徽阜阳, 硕士生, 研究方向为多无人机协同任务规划; 刘刚(1963-), 男, 安徽阜阳, 博士, 教授, 研究方向为任务规划。

<http://www.china-simulation.com>

由于遗传算法简单通用、鲁棒性强、具有较强的全局搜索能力, 在解决 mTSP 问题应用较为广泛。针对遗传算法的研究的焦点也大都集中在如何用染色体编码表达 mTSP, 并且在遗传算法的基础上进行改进, 以达到尽可能高效地得到最优解得目的。目前, 对于 mTSP 的染色体编码方法包括单染色体^[7-8]、双染色体^[9]和组合染色体^[10] 3 种。但是这些编码策略将城市分组以及组内遍历次序两个环节融合在一起, 使得遗传进化算子的设计更加复杂, 同时产生了大量的冗余解, 扩大了搜索空间, 降低了算法的求解效率。文献[11]提出了一种染色体分组遗传算法求解 mTSP, 其基本思想是将旅行商进行分组, 对每个旅行商执行交叉、变异操作, 结果优于早前算法。Singh 和 Baghel 在文献[12]提出在遗传算法的每个步骤中对每个个体应用高度复杂的交叉或者变换算子, 使用来自父母的最佳可能路线来迭代地生成新的个体, 得到了目前相对较好的结果。但是上述算法仍有较大问题: 搜索空间仍有较大冗余, 遗传进化算子效率不高。

本文研究的是带时间窗口的多旅行商问题 (mTSPTW)^[13], 目的是找到在满足各城市时间窗口约束的条件下, 完成遍历任务且旅行商数量和旅行时间相对均衡的解决方案, 提出了一种带复杂突变树的多染色体遗传算法, 设计了一种多染色体编码的编码方式, 将可行解的搜索范围大幅缩小, 同时还能根据染色体数量可以自适应调节旅行商数量; 基于这种编码方式, 定义了一组新的突变进化算子能够准确地修改个体, 减少了算法的运行时间。同时, 为了提高算法的收敛性, 还设计了一种复杂突变树进化算子, 进一步提高了算法的收敛速度。仿真结果表明, 该算法能够有效的解决 mTSPTW 问题, 减少算法运行时间, 优化旅行商数量, 计算结果比目前同类算法结果更优。

1 带时间窗口的多旅行商问题模型

通常多旅行商问题为整数线性规划模型, 但是在实际应用中, 还应当考虑最少旅行商数量、旅行

商旅行城市数量限制和每个旅行城市的时间窗口等。本文针对的就是带时间窗口的多旅行商问题 (mTSPTW), 建立数学模型。

1.1 符号

记 $G = \{1, 2, \dots, n\}$ 为城市集合, 共有 n 个城市, 其中第一个城市为所有旅行商的出发城市。 $S = \{1, 2, \dots, M\}$ 为旅行商集合, 共有 M 个旅行商, 实际参与的旅行商个数记为 m 。

C_{ij} 表示为旅行商从城市 i 至城市 j 途中消耗时间, 通常情况下 $C_{ij} \neq C_{ji} (i \neq j)$; 记 e_j, f_j 分别为旅行商允许到达第 j 个城市的最早和最晚时间, C_j^{dw} 为旅行商在城市 j 所保持停留的时间, C_{ij}^t 为从城市 i 到城市 j 的消耗时间, 则 $C_{ij}^t = C_{ij} + C_j^{dw}$, 记 S 为旅行商的最大旅行时间。

t_j 表示旅行商到达城市 j 的时间, 则满足时间窗口约束下, 若旅行商提前到达城市 j , 则 $t_j = e_j$, 若旅行商在城市 j 的时间窗口内到达, 则 $t_j = C_{ij}$ 。

x_{ijk} 表示第 k 个旅行商从城市 i 旅行至城市 j 。

1.2 决策变量

若第 k 个旅行商从城市 i 旅行至城市 j , 则二元决策变量 $x_{ijk} = 1$, 否则为 0, 记为:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{第 } k \text{ 个旅行商从城市 } i \text{ 到城市 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

1.3 目标函数

综合考虑带时间窗口的多旅行商问题 (mTSPTW), 将实际参与的旅行商数量作为主目标函数, 其次选取旅行商旅行时间总和作为次目标函数, 对方案按主次目标函数进行排序。

记 C 为旅行商旅行总时间, m 为实际参与的旅行商数量, 即

$$C = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n C_{ij}^t \times \sum_{k=1}^m x_{ijk}$$

则 mTSPTW 问题模型的优化目标为

$$\min J = (m, C)$$

式中: m 为主目标函数; C 为次目标函数, 对方

案按主次目标函数进行排序,即旅行商数量越少越好,旅行商数量相同,旅行时间总和越小越好。

1.4 约束条件

(1) 遍历所有城市

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m x_{1jk} = m, \quad \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m x_{j1k} = m。$$

(2) 每个城市只经过一次

$$\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad i = 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad j = 2, \dots, n$$

(3) 旅行商旅行时间约束

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij}^t \cdot x_{ijk} \leq S, \quad k = 1, 2, \dots, m$$

(4) 旅行时间窗口约束

$$t_j \leq f_j$$

(5) 其他约束

$$i, j \in G; x_{ijk} \in \{0, 1\}; 1 \leq k \leq m; 1 \leq i \leq M$$

2 改进多染色体遗传算法解决 mTSP 问题

基本遗传算法中,染色体编码采用整数编码,而且大多为单个染色体的编码方式,将染色体根据

染色体1 (旅行商1)	2	7	18	12	16
染色体2 (旅行商2)	1	6	13	10	
染色体3 (旅行商3)	20	8	9		
染色体4 (旅行商4)	4	11	15	3	7
染色体5 (旅行商5)	14	5	19		

城市数量进行分段,每一段为对应城市的编号,而后进行遗传算法的操作。本文以此为切入点,突破单个染色体进行遗传进化的框架,引入多个染色体同时进行优化搜索的思路,任意两个染色体之间通过被随机选择的基因序列进行交换,将简单的运算符进行组合,设计复杂的运算符,提高算法的收敛速度和收敛精度。下面以5个旅行商、20个城市为例介绍该算法步骤。

2.1 编码

将20个城市随机分成5组,每组对应一条染色体,每条染色体代表旅行商本身。因此染色体的上每个基因表示一个城市,以城市的编号对每个基因进行编码,其中出发城市没有在染色体中表示出来。如图1所示。

通过多染色体的编码方式,可降低可行解的搜索空间。单染色体、双染色体和多染色体的编码方式产生的可行解对比如表1。

2.2 适应度函数

在这种情况下,适应度函数值是旅行商旅行时间总和。适应度函数要能够计算每个染色体的总长度,并且总结每个染色体的值。适应度函数是将每个染色体的值求和得到的。优化的目标就是选择能够使适应度函数值尽可能小的多个染色体。

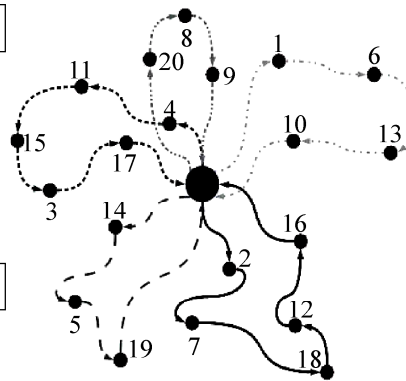


图1 多染色体编码方式
Fig. 1 Multi-chromosome coding

表 1 搜索空间比较
Tab. 1 Comparison of search space

染色体编码方式	搜索空间可行解数量
单染色体编码	$(n+m-1)!$
双染色体编码	$n!m^n$
多染色体编码	$n!$

2.3 遗传进化算子设计

由于编码方式的不同, 必须设计新的遗传进化算子操作符, 当前的操作符大多数是衍生自其它操作符, 如从单染色体突变序列构建多染色体突变。本文所采用的操作符是结合简单的操作符设计了复杂的操作符, 加快了进化过程, 提高了遗传算法的效率。

(1) 路径突变算子(Flip)

单条染色体内的任意两个基因片段相互交换, 突变算子只在一个染色体内进行操作, 如基因序列倒位, 但这样仅仅交换了染色体内的两个基因序列片段。

(2) 跨越突变算子(Swap)

任意两条染色体通过交换随机选择的两个基因片段序列, 构成了简单的“交换”突变方式, 如图 2 所示。

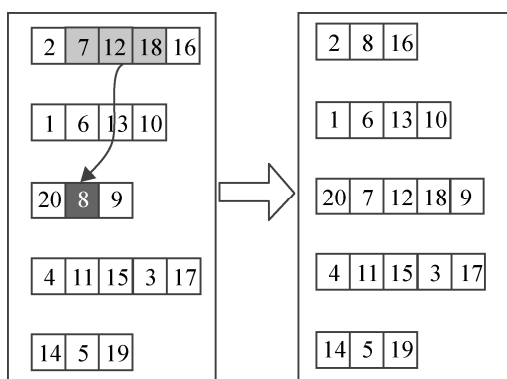


图 2 “交换”突变方式
Fig. 2 “Swap” mutations

如果基因序列之一是空的, 操作者将被实现为将非空序列插入另一染色体中随机选择的位置。

(3) 滑动突变算子(Slide)

将最后一个基因从每个染色体移动到另一个染色体的开始, 构成了滑动突变算子, 如图 3 所示。

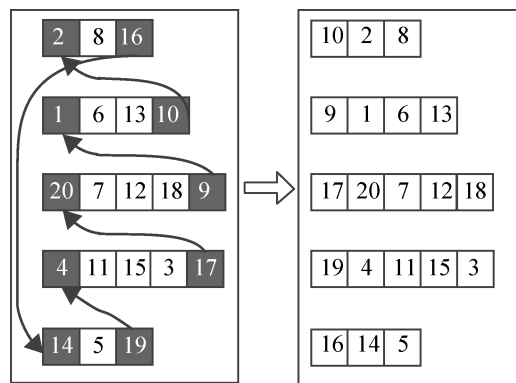


图 3 滑动突变方式
Fig. 3 Slide mutations

(4) 复杂突变算子设计

将“交换”突变算子与滑动算子结合, 设计复杂突变算子, 可以提高遗传算法的收敛速度和收敛精度, 如图 4 所示。

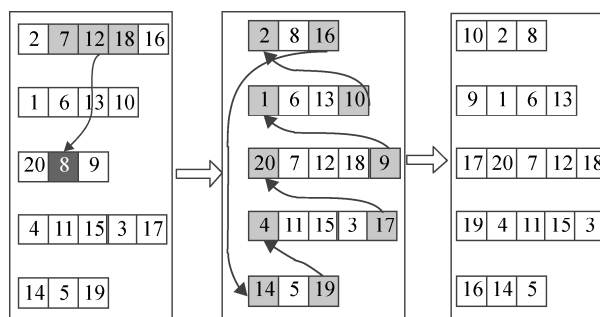


图 4 “交换+滑动”突变算子
Fig. 4 “Swap+Slide” mutation operator

(5) 创建突变算子树

通过将简单的突变算子进行结合, 构造突变算子, 划分突变算子的层次结构, 创建了突变算子树, 能够大幅提高进化速度, 同时还可以测试新颖的编码方式。

2.4 算法流程图

以旅行商数量作为主目标函数, 以旅行商旅行时间总和作为次目标函数, 建立比较准则, 采用本文提出的改进多染色体遗传算法解决 mTSP 问题, 算法流程图如图 5 所示, 其中突变算子树采用“路径突变+交换突变+滑动突变”的突变方式, 并结合逆转, 提高染色体突变的准确性。

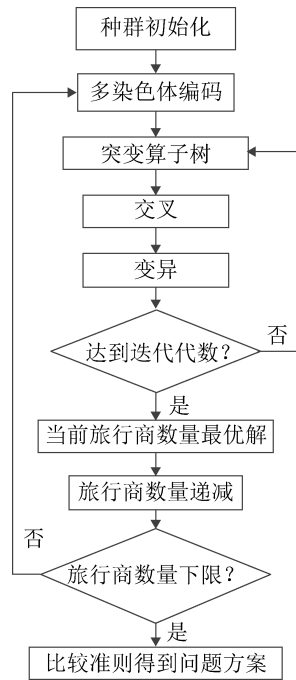


图 5 多染色体遗传算法流程图

Fig. 5 Multi-chromosome genetic algorithm flow chart

3 仿真结果与分析

3.1 问题模型求解仿真

本文采用 Matlab 语言编写程序实现算法, 设置旅行商数量为 8, 旅行城市数量为 40 (包含出发城市), 其中每个旅行商至少旅行 5 个城市, 设置算法种群规模为 80, 迭代代数为 5 000。

首先采用带复杂突变树的多染色体遗传算法对多旅行商问题问题进行仿真求解, 仿真结果如图 6 所示。

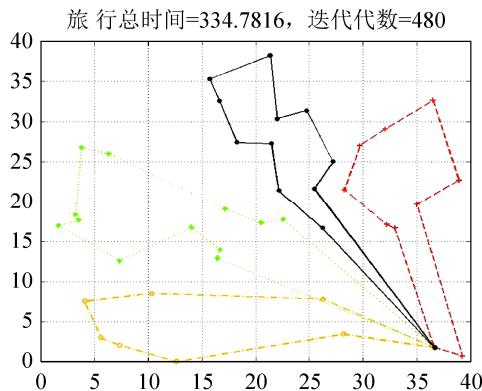


图 6 带复杂突变树的多染色体遗传算法仿真结果
Fig. 6 Simulation results of multi-chromosome genetic algorithm with complex mutant trees

通过仿真结果图, 可以看出实际参与的旅行商数量为 4, 旅行时间总和为 334.781 6, 迭代 480 代得到最优解。

当前, 遗传算法中对于求解 mTSP 问题结果较好的为 Singh 和 Baghel^[12]提出的两部分染色体方法, 采用两部分染色体遗传算法对问题进行求解, 仿真结果如图 7 所示。

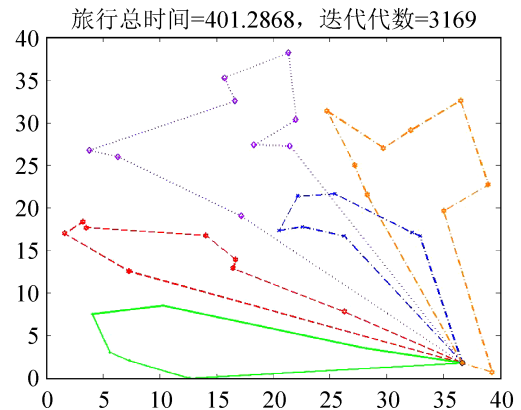


图 7 两部分染色体遗传算法仿真结果
Fig. 7 Simulation results of two-part chromosome genetic algorithm

通过仿真结果图, 可以看出实际参与的旅行商数量为 5, 旅行时间总和为 401.286 8, 迭代 3 169 代得到最优解。

采用经典的蚁群算法求解 mTSP 问题, 设置蚂蚁数量为 80, 信息素重要程度因子为 1, 启发函数重要程度因子为 5, 信息素挥发因子为 0.1, 仿真结果如图 8 所示。

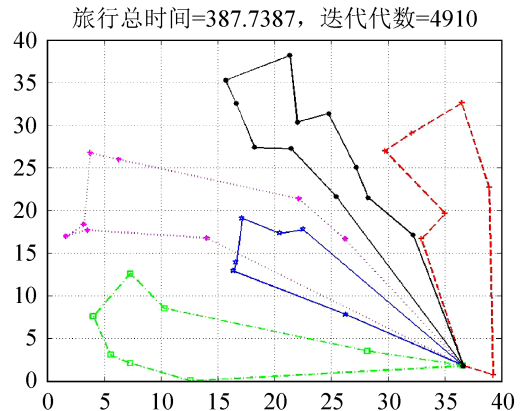


图 8 蚁群算法仿真结果
Fig. 8 Simulation results of ant colony algorithm

通过仿真结果图,可以看出,实际参与的旅行商数量为 5,旅行时间总和为 387.738 7。迭代代数 为 4 910。

3.2 结果分析

将多染色体遗传算法与两部分染色体遗传算法、蚁群算法的仿真结果进行比较可以得到表 2。

表 2 3 种算法计算差异性对比
Tab. 2 Comparison of three algorithms

算法	实际参加 旅行商数量	旅行时间 总和/s	算法运行 时间/s
多染色体遗传算法	4	334.781 6	31
两部分染色体遗传算法	5	401.286 8	60
蚁群算法	5	387.738 7	93

通过表 2 可以看出对于解决 mTSP 问题,多染色体遗传算法可以提高算法的运算速度,在多染色体遗传算法的基础上,增加复杂突变算子树,可以提高问题求解的针对性,同时减少了实际参加旅行商的数量,相比较算法性能较优的蚁群算法,旅行时间总和减少了 15.8%,3 种算法的最优值收敛曲线如图 9 所示。可以发现多染色体遗传算法收敛速度更快,迭代次数更少。

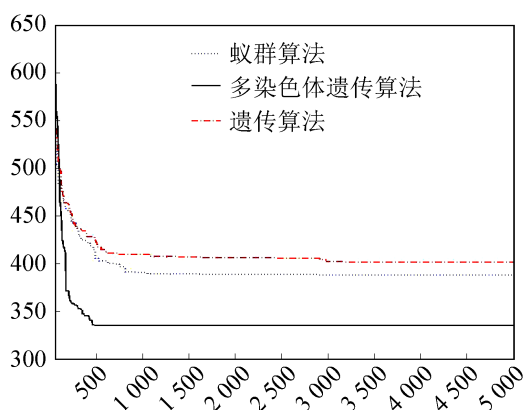


图 9 最优值收敛曲线

Fig. 9 Optimal value convergence curve

4 结论

本文提出了一种多染色体遗传算法,用于求解

mTSPTW 问题。根据实际应用需要,设计了主次两个目标函数,并使用本文的算法对问题进行了求解,仿真结果分析表明,本文提出的多染色体遗传算法具有比当前解决该问题较好的两部分染色体遗传算法、蚁群算法更优的性能和结果,更能够适应实际问题需要。今后工作仍需对染色体编码方式进行研究,对复杂算子树作进一步改进,以提高算法准确性和运算速度,并将该算法运用于多无人机协同任务分配这种典型的大规模的 mTSP 问题中。

参考文献:

- [1] 王勇臻, 陈燕, 于莹莹. 求解多旅行商问题的改进分组遗传算法[J]. 电子与信息学报, 2017, 39(1):198-205. doi: 10.11999/JEIT160211.
Wang Y Z, Chen Y, Yu Y Y. Improved Grouping Genetic Algorithm for Solving Multiple Traveling Salesman Problem[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2017, 39(1): 198-205. doi:10.11999/JEIT160211.
- [2] KASHAN A H, AKBARI A A, OSTADI B. Grouping Evolution Strategies: an Effective Approach for Grouping Problems[J]. Applied Mathematical Modelling (S0307-904X), 2015, 39(9): 2703-2720. doi: 10.1016/j.apm.2014.11.001.
- [3] BEKTAS T. The Multiple Traveling Salesman Problem: an Overview of Formulations and Solution Procedures[J]. Omega (S0305-0483), 2006, 34(3): 209-219. doi: 10.1016/j.omega.2004.10.004.
- [4] SINGH A, BAGHEL A S. A New Grouping Genetic Algorithm Approach to the Multiple Traveling Salesperson Problem[J]. Soft Computing (S1432-7643), 2009, 13(1): 95-101. doi: 10.1007/s00500-008-0312-1.
- [5] 于宏涛, 高立群, 田卫华. 求解 TSP 的离散人工蚁群算法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2015, 36(8): 1074-1079. doi: 10.3969/j.issn.1005-3026.2015.08.003.
Yu H. T, Gao L. Q and Tian W. H, Discrete Artificial Bee Colony Algorithm for TSP[J], Journal of Northeastern University (Natural Science), 2015, 36(8): 1074-1079. doi: 10.3969/j.issn.1005-3026.2015.08.003.
- [6] 贾燕花. 蚁群算法在旅行商问题(TSP)中的应用研究[J]. 计算机与数字工程, 2016, 44(9): 1664-1667.
Jia Yanhua. Application of the Ant Algorithm in TSP [J]. Computer and Digital Engineering, 2016, 44(9): 1664-1667.

- [7] Tang L, Liu J, Rong A, et al. A Multiple Traveling Salesman Problem Model for Hot Rolling Scheduling in Shanghai Baoshan Iron & Steel Complex[J]. *European Journal of Operational Research (S0377-2217)*, 2000, 124(2): 267-282.
- [8] Zhao F, Dong J, Li S, et al. An Improved Genetic Algorithm for the Multiple Traveling Salesman Problem[C]// *Chinese Control and Decision Conference*. Yantai, China: IEEE Press, 2008: 1935-1939.
- [9] Koh S P, Aris I B, Ho C K, et al. Design and Performance Optimization of a Multi-TSP (Traveling Salesman Problem) Algorithm[J]. *AIML Journal (S1687-4846)*, 2006, 6(3): 29-33.
- [10] 刘明, 张培勇. 求解多旅行商问题的新混合遗传算法: 以应急物资配送为例[J]. *系统管理学报*, 2014, 23(2): 247-254.
- Liu M, Zhang P Y. New hybrid Genetic Algorithm for Solving the Multiple Traveling Salesman Problem: an Example of Distribution Emergence Materials[J]. *Systems Engineering Theory Methodology Applications*, 2014, 23(2): 247-254.
- [11] SINGH A, BAGHEL A S. A New Grouping Genetic Algorithm Approach to the Multiple Traveling Salesperson Problem[J]. *Soft Computing (S1432-7643)*, 2009, 13(1): 95-101.
- [12] Kara I, Bektas T. Integer Linear Programming Formulations of Multiple Salesman Problems and its Variations[J]. *European Journal of Operational Research (S0377-2217)*, 2006, 174(3): 1449-1458.
- [13] Andras K, Janos A. Redesign of the Supply of Mobile Mechanics based on a novel Genetic Optimization Algorithm using Google Maps API[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence (S0952-1976)*, 2015, 38(2): 122-130.