

# 快递服务中的取件路线研究\*

朱兴亮<sup>1</sup>, 胡勇<sup>2</sup>, 鄢文波<sup>3</sup>

(1. 重庆交通大学 管理学院; 2. 重庆交通大学 应用技术学院, 重庆 400074;  
3. 重庆市公安局九龙坡区分局 科技信息化科, 重庆 400039)

**摘要:**对快递企业来说,只有在规定时间内取走客户需要快递的物品才能保证物品的快速运送,而取件作业的效率 and 取件路线的选择息息相关,因此为运务员设计一条恰当的取件路线至关重要。本文分析了在划分运务员责任区的情况下,责任区内顾客需求呈随机分布情形下的取件路线规划问题,建立了相应的数学模型:  $\text{Min}_x P\{T(x) > D\}$ , s. t. 1)  $\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ); 2)  $\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ); 3)  $\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \forall S \subset \{1, 2, \dots, n\}$ ; 4)  $x_{ij} \in \{0, 1\}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ), 并提出一种自适应遗传算法对该问题进行求解。最后,本文针对重庆某快递企业的一个运务员责任区进行了线路规划。结果表明,算法避免了早熟收敛,具有较强的全局寻优能力,所规划的线路提高了运务员的取件效率,使得运务员在绝大多数情况下都能在规定时间内返回服务中心。

**关键词:**路线规划;随机旅行销售商问题;遗传算法;自适应

**中图分类号:**C931.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2014)06-0102-05

对快递服务企业来说,要使顾客满意必须提高运送物品的时效性,而运务员的取件作业是其中重要一环。只有高效率的取件作业才能实现晚截件、早送达的服务承诺。目前快递业的取件作业,多采用个人服务区责任划分制,由每位运务员根据自己的责任区,负责该区所有的取件作业。取件作业的效率 and 运务员取件路线安排、个人责任区划分、工作负荷量等密切相关。由于顾客的快递需求并非每天固定不变,使得运务员取件路线会随着每天不同的顾客需求点,呈现不同的取件路线。

出于规范管理的原因,快递企业通常会规定一条固定的取件路线,要求运务员按此路线在规定时间内完成取件任务。另外考虑到一个运务员的个人责任区需求点多达为30~40个点,每天都为所有运务员计算取件路线也不切实际。因此,有必要事先规划一条最佳路线,以满足各种顾客需求时,都能维持取件服务水准。在顾客需求呈随机分布的情况下,运务员在面临不同顾客需求分布时仍依照事先规划的路径取件,唯独不经过没有需求的顾客点,按此方式完成取件作业后返回服务中心。本文将就此条件下单一责任区内运务员的取件路线规划问题进行研究。

## 1 问题模型

根据前面的分析,问题描述如下:单一运务员责任区中,有 $N$ 位顾客,但顾客的需求随一已知概率出现。笔者希望事先设计一条最佳取件路线,运务员在服务时段开始时由服务中心出发,到达责任区后按序服务有需求的 $K$ 位顾客( $0 < K \leq N$ )后,在规定时间内返回服务中心。这里假定取件任务在规定时间内完成是基于快递企业的管理实际情况。对于一批快递业务,快递企业通常会安排一个航班来负责运送,只要在规定时间内完成取件就不会影响物品的运送,而超过规定时间则只能在下一批快递业务中运送物品,从而影响服务质量。

由上述描述可知,该问题属于具有时间限制的随机旅行商问题(Probabilistic traveling salesman problem)<sup>[1]</sup>。对于任一事先规划的取件路线,当运务员取件时各个顾客是否具有服务需求已经确定(按一定概率发

\* 收稿日期:2013-06-09 修回日期:2013-10-07 网络出版时间:2014-11-19 21:49

资助项目:重庆市自然科学基金(No. CSTCJJA00021)

作者简介:朱兴亮,男,副教授,研究方向为电子商务与物流管理,E-mail: zhuxingliang69@163.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20141119.2149.022.html>

生),运务员会跳过没有需求的顾客点而行经一条实际的取件路线,因此该实际线路发生的概率和相应的某种顾客需求分布相关,下面举例说明。

假设有 5 位顾客,其位置如图 1 所示(图中数据表示顾客编号及坐标)。

相关假设如下:1)各顾客之间的距离直接取两点之间的直线距离;2)除了编号为 1 和 3 的需求概率为 1 外,其余各顾客需求的概率为 0.3;3)将距离直接视为旅行时间,总的旅行时间限制为 8。

先采用穷举法来考虑该问题。首先旅行商的旅行线路总共有  $(5-1)!/2=12$  种组合,而顾客需求的组合有  $2^3=8$  种。以旅行线路  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 5$  为例来计算按该线路旅行超过规定时间的概率,计算过程如表 1 所示。

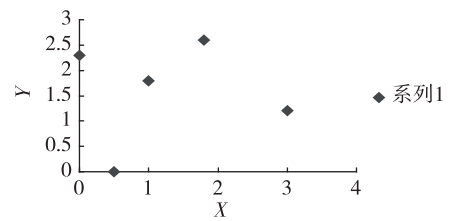


图 1 顾客分布举例

表 1 线路旅行时间超过规定时间的概率的计算

需求情况	有需求的顾客编号	实际旅行线路	路线发生概率	旅行时间	超出规定时间概率
情况 1	1、2、3、4、5	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 5$	$0.3^3$	10.16	0.027
情况 2	1、3、4、5	$1 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 5$	$0.7^1 * 0.3^2$	8.9	0.063
情况 3	1、2、3、5	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5$	$0.7^1 * 0.3^2$	8.33	0.063
情况 4	1、2、3、4	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3$	$0.7^1 * 0.3^2$	7.17	
情况 5	1、2、3	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$	$0.7^2 * 0.3^1$	5.34	
情况 6	1、3、4	$1 \rightarrow 4 \rightarrow 3$	$0.7^2 * 0.3^1$	5.91	
情况 7	1、3、5	$1 \rightarrow 3 \rightarrow 5$	$0.7^2 * 0.3^1$	6.73	
情况 8	1、3	$1 \rightarrow 3$	$0.7^3$	3.74	

在需求情况 1、2、3 情形下,按旅行线路  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 5$  旅行均会超过规定时间,因此该旅行线路超过规定时间的概率为这 3 种情况发生的概率之和,即  $0.027+0.063+0.063=0.153$ 。

笔者的目标是寻找一条旅行线路,使其旅行时间超过规定时间的概率最小,该问题的数学模型如下:

$$\text{Min}_x P\{T(x) > D\} \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \tag{3}$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subset \{1, 2, \dots, n\} \tag{4}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \tag{5}$$

模型中(1)式为目标函数,(2)、(3)、(4)、(5)式为限制式。 $n$ 表示需要服务的结点(顾客)数, $x$ 代表某一旅行线路, $x_{ij}$ 表示决策变量, $x_{ij}=1$ 表示该旅行线路包含从结点*i*到结点*j*的路段,(2)、(3)限制式说明每个结点只能经过一次,限制式(4)是为了避免旅行线路中产生子回路,限制式(5)说明  $x_{ij}$ 只能取 0 或 1。 $D$ 为限制时间, $T(x)$ 表示线路  $x$ 的实际旅行时间,它和顾客的需求分布有关。目标函数表示寻求一条线路  $x$ ,它的实际旅行时间大于  $D$ 的概率最小。

## 2 模型求解

虽说通过穷举法可以求得上述问题的解,但当问题规模增大时求解则相当耗时。如需要服务的结点数为 40,则必须考虑  $(40-1)!/2$  种线路组合,这在计算时间上是不可接受的<sup>[2]</sup>。由上面的模型可以看出,该问题和随机旅行商问题(PTSP)问题比较类似,而 PTSP 问题已被证明为 NP 问题,目前多采用启发式算法来求解。遗传算法是一种典型的启发式算法,最早用于人工智能领域,经过多年的发展,现已成功用于组合优化问题<sup>[3]</sup>。遗传算法具有全局搜索的能力,能够对解空间的不同区域进行搜索。但是遗传算法的局部搜索能力较差,因此进化后期搜索效率较低。另外,遗传算法在实际应用中容易早熟收敛,陷入局部极值<sup>[4]</sup>。为了克服遗传算法的缺点,一些学者提出自适应遗传算法加以改进。下面简单介绍遗传算法及自适应遗传算法的主要思想。

1) 基本遗传算法。遗传算法主要是借鉴达尔文生物进化论思想,用程序模拟生物基因的复制、交叉、变异产生下一代生物基因的演化过程,用以解决优化问题。遗传算法计算流程如图 2 所示,主要包括如下几个方面:

① 染色体编码。遗传算法中,一条染色体代表问题的一个合法解,在使用遗传算法前必须对问题的解进行编码。这里所求解问题的解是运务员的取件路线,直接按线路顺序将结点编号排列即形成染色体,如取件线路 1→2→4→3→5,染色体编码为 1,2,4,3,5,染色体中每个数据又称为基因。

② 初始群体。初始群体指第一代的染色体群体,代表求解问题的初始解集合。产生初始群体方法有两种:一种是以随机方式产生,另一种是根据问题的特性人为设定。初始群体的大小根据解空间大小设定,初始群体的种群数将影响遗传算法的执行速度和求解效率<sup>[5]</sup>。本文采取的是随机产生初始群体。

③ 适应函数。适应函数用来衡量群体中每个染色体的优劣,适应值越高,生存能力越好,更容易保留下来繁衍后代;反之则容易被环境淘汰。求解最大化问题时可将解的目标值直接定为适应函数,求解最小化问题是需要根据目标值进行转换。就本文所研究的问题模型,作者把取件线路的目标值定义为该线路实际旅行时间超过规定时间的概率,适应函数定义为:适应函数值=群体中最大目标值-染色体的目标值。

④ 基因运算。基因运算是遗传算法的核心,由此产生下一代种群,主要包括选择、交叉和变异操作。选择操作的目的是选择种群中优秀的个体,使其得以保留并繁衍优良的后代。选择方法常用轮盘式选择和竞争式选择两种。本文使用轮盘赌策略,并采用最优保存策略保留上一代若干个较优的个体作为下一代的样本,以保证算法的收敛<sup>[6]</sup>。

交叉操作是指随机选取父代种群中的两个染色体,彼此交换基因信息,以产生下一代染色体的过程。交叉操作中最重要参数是交叉概率  $P_c$ ,它决定了随机选取的两个父代染色体是否进行交叉操作。交叉操作常用的方式有单点交叉和两点交叉,本文采用的是两点交叉。

变异操作是为了避免在演算过程中落入局部最优解,它能够增加种群的多样性,以扩大问题的搜索空间。变异操作最重要的参数是变异概率  $P_m$ ,它决定一条染色体的基因是否产生变异。

⑤ 终止条件。遗传算法对初始群体进行基因运算产生第一代种群,再对第一代种群进行基因运算以产生第二代种群,如此反复运算。终止条件可以使用最大世代数,也可以对种群中最优解进行判断,如已达到要求即终止运算。本文使用最大世代数,演算代数达到最大世代数即终止运算。

2) 自适应遗传算法。在基本遗传算法的运行过程中,选取固定的交叉概率和变异概率控制参数易产生早熟现象,陷入局部极值。为了克服传统遗传算法的弱点,M. Srinivas 等提出了自适应遗传算法<sup>[7]</sup>,其思想是当种群适应度比较集中时,使交叉概率  $P_c$  和变异概率  $P_m$  增大,从而提高群体的多样性;当种群适应度分散时,使  $P_c$  和  $P_m$  减小,以免破坏优良个体。 $P_c$  和  $P_m$  的定义如下:

$$P_c = \begin{cases} k_1 \frac{f_{\max} - f'}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, & f' \geq f_{\text{avg}} \\ k_2, & f' < f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (6)$$

$$P_m = \begin{cases} k_3 \frac{f_{\max} - f}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, & f \geq f_{\text{avg}} \\ k_4, & f < f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (7)$$

其中,  $f_{\text{avg}}$  为种群平均适应度,  $f_{\max}$  为种群中的最大适应度,  $f'$  为进行交叉操作的两个个体中适应度较高个体的适应度,  $f$  为进行变异操作的个体的适应度,  $0 < k_1, k_2, k_3, k_4 < 1$ , 为常数<sup>[11]</sup>。

自适应遗传算法通过(6)式、(7)式实现根据染色体适应度大小来自适应调整其交叉概率和变异概率。从(6)式可以看出,当个体适应度较差时(低于平均适应度),交叉概率取较大值( $k_2$ ),这样较差个体被破坏的可能性增大,种群多样性增加。当个体适应度较高时(高于平均适应度),依据  $(f_{\max} - f') / (f_{\max} - f_{\text{avg}})$  确定交叉概率,当算法陷入局部最优时,  $f_{\max} - f_{\text{avg}}$  将减小,交叉概率  $P_c$  将增大,于是种群的多样性增加,搜索空间扩大;当搜索空间内解的差异度较大时,  $f_{\max} - f_{\text{avg}}$  将增大,于是交叉概率  $P_c$  会变小,种群的多样性会减少,算法将尽快收

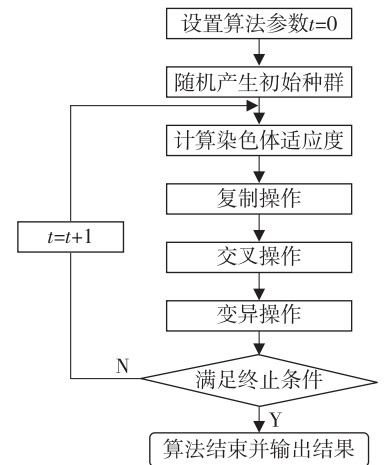


图 2 遗传算法流程框架图

敛。变异概率的调整和交叉概率的调整方式大致相同,不再赘述。

增大交叉概率  $P_c$  和变异概率  $P_m$  的值,将增大算法的运行时间,通常使用中等大小的交叉概率  $P_c(0.5 \sim 1.0)$  和小的变异概率  $P_m(0.01 \sim 0.15)$ ,根据本文所求解的问题模型,作如下设定: $k_2 = 0.9, k_1 = 0.5, k_4 = 0.12, k_3 = 0.05$ 。

### 3 应用实例

重庆某快递企业其中一个运务员责任区有 12 个顾客点,顾客之间的距离如表 2 所示。由于责任区内存在多条单行道,因此从  $i$  点到  $j$  点的距离一般不等于从  $j$  点到  $i$  点的距离。另外,责任区内的每位顾客并非每天都有需求,根据该公司最近两年的资料,统计出该责任区内各顾客每天具有快递需求的概率(表 3)。

表 2 某责任区顾客点之间距离

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	7
1	0	1 200	1 160	1 080	900	980	1 500	1 200	1 400	900	521	629	1 500
2	850	0	940	800	1 000	630	920	890	850	360	411	348	920
3	1 160	700	0	750	950	580	720	310	720	680	762	696	720
4	1 080	580	200	0	620	560	880	480	900	850	714	756	880
5	900	1 200	780	660	0	900	1 650	280	1 650	1 360	842	938	1 650
6	980	920	380	250	540	0	1 050	840	1 100	1 050	662	658	1 050
7	1 500	920	942	900	1 380	980	0	724	628	1 088	1 088	1 088	0
8	988	371	667	528	826	326	728	0	766	636	549	484	728
9	1078	482	852	716	988	529	738	268	0	668	724	657	738
10	1 189	980	1 080	986	1 560	989	626	760	669	0	824	759	626
11	521	924	858	730	841	549	1 089	828	1 088	632	0	168	1 089
12	629	859	796	667	948	486	998	765	997	571	168	0	998

表 3 各顾客的需求概率

顾客编号	需求概率	顾客编号	需求概率	顾客编号	需求概率	顾客编号	需求概率
1	0.08	4	0.34	7	0.62	10	0.33
2	1	5	0.30	8	0.38	11	0.39
3	0.28	6	1.00	9	0.68	12	0.85

根据前面介绍的自适应遗传算法寻求最佳取件路线,相关参数设定如下:群体大小取 30,染色体长度为 12,最大进化代数取 200,总旅行时间取 4 500 m(直接将距离视为时间)。经过演算

求得最佳取件路线为 12→6→5→4→3→8→10→7→9→2→1→11,超过总旅行时间的概率值为 0.074。

针对该应用实例,作者也采用标准遗传算法进行了搜索。搜索过程中的群体大小、染色体长度、最大进化代数和上述自适应遗传算法相同,交叉概率取 0.6,变异概率取 0.1,求得的最佳取件路线为:10→7→1→9→5→8→6→3→4→2→11→12,超过总旅行时间的概率值为 0.316。由此可见,利用自适应遗传算法得到的取件路线明显优于采用标准遗传算法求得的取件路线,前者超过总旅行时间的概率值(0.074)远低于后者超过总旅行时间的概率值(0.316),采用该取件路线有助于提高运务员的取件效率,使运务员在大多数情况下,都能及时返回服务中心,不至于耽误截止收件后到航班起飞前的各项作业。

### 4 结论

本文探讨在划分运务员责任区的情况下,当责任区内顾客需求不确定时,如何规划最佳取件路线,使运务员在规定时间内完成取件作业并返回服务中心。本文明确定义了该问题的数学模型,并采用自适应遗传算法进行求解。应用实例表明,由本文设计的算法求得的取件路线,同采用标准遗传算法求得的取件路线相比具有明显的优势,能够满足快递企业对取件作业时效性的要求。

#### 参考文献:

[1] 汪爱娇. 配送中随机型车辆路线优化研究[D]. 上海:上海海事大学,2004.

- Wang A J. Study on stochastic vehicle routing optimization in distribution[D]. Shanghai: Shanghai Maritime University, 2004.
- [2] Leonora B C, Luca M G, Marco D. Solving the homogeneous probabilistic traveling salesman problem by the ACO metaheuristic[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2002, 2463:176-187.
- [3] 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.  
Wang X P, Cao L M. Application and software implementation of genetic algorithm theory[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2002.
- [4] 陈明杰, 刘胜. 改进自适应遗传算法在函数优化中的应用研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28(8):875-879.  
Chen M J, Liu S. An improved adaptive genetic algorithm and its application in function optimization[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2007, 28(8):875-879.
- [5] Grefenstette J J. Optimization of control parameters for genetic algorithms[J]. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, 1986, 16(1):122-128.
- [6] 姜灵敏. 基于改进遗传算法的动态聚类方法及其应用[J]. 科技管理研究, 2005, 11:217-219.  
Jiang L M. Dynamic clustering method and application based on an improved genetic algorithm[J]. Science and Technology Management Research, 2005, 11:217-219.
- [7] 王越, 许全文, 黄丽丰. 基于改进遗传算法的连续函数优化[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学, 2011, 25(2):62-67.
- Wang Y, Xu Q W, Huang L F. Continuous function optimization based on improved genetic algorithm[J]. Journal of Chongqing University of Technology; Natural Science.
- [8] 晏刚, 王力, 周俊, 等. 基于改进型遗传算法的 AUV 路径规划[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学, 2010, 24(5):81-85.  
Yang G, Wang L, Zhou J, et al. Path planning based on improved genetic algorithm for AUV[J]. Journal of Chongqing University of Technology; Natural Science.
- [9] 贾满满, 朱景全. 基于自适应遗传算法的 EPS 路感研究[J]. 电子设计工程, 2014(8):169-171.  
Jia M M, Zhu J Q. The road feel research of EPS based on adaptive genetic algorithm[J]. SAMSON, 2014(8):169-171.
- [10] 关旭, 张春梅, 王尚锦. 一种改进的自适应遗传算法[J]. 微机发展, 2003, 13(11):41-42, 44.  
Guan X, Zhang C M, Wang S J. An improved adaptive genetic algorithm[J]. Microcomputer Development, 2003, 13(11):41-42, 44.
- [11] 栾远飞, 黄大庆, 黄文才. 降低 OFDM 系统峰均功率比的新算法研究[J]. 电子设计工程, 2014(7):140-142.  
Luan Y F, Huang D Q, Huang W C. New research of PAPR reduction algorithm in OFDM system[J]. SAMSON, 2014(7):140-142.
- [12] 金晶, 苏勇. 一种改进的自适应遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 18:64-69.  
Jin J, Su Y. An improved adaptive genetic algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2005, 18:64-69.

## Study on Pick-up Route in Express Service

ZHU Xingliang<sup>1</sup>, HU Yong<sup>2</sup>, YAN Wenbo<sup>3</sup>

(1. School of Management, Chongqing Jitaotong University; 2. School of Application Technology, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074; 3. Technology Information Technology Division, Jiulongpo District of Chongqing Municipal Public Security Bureau, Chongqing 400039, China)

**Abstract:** For express company, only when a courier picks up customers' goods within the given time, the companies can delivery goods rapidly. However, the efficiency of pick-up work is related to the route, so it is very important to design an inadequate pick-up route for a courier. This paper analyzes the problems of pick-up route planning when the demands of customers appear as random distribution in courier duty area. And then, we build up a mathematical model:  $\text{Min}P\{T(x) > D\}$ , s. t. 1)  $\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ); 2)  $\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ); 3)  $\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1$ ,  $\forall S \subset \{1, 2, \dots, n\}$ ; 4)  $x_{ij} \in \{0, 1\}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ), and propose an adaptive genetic algorithm to plan such pick-up route. Finally, the paper plans the route for a courier duty area of some express company in Chongqing. The result demonstrates that the algorithm can avoid premature convergence and has global optimization capability, and the planned route increases the efficiency of pick-up work and makes a courier can return service center with the given time in most cases.

**Key words:** route planning; probabilistic traveling salesman problem; genetic algorithm; adaptive

(责任编辑 游中胜)