

最后 1000 米物流末端配送路径优化研究

万福媛 金辉 王迪 郭宇 王晓丽

辽宁工业大学汽车与交通工程学院, 辽宁 锦州 121001

[摘要] 文章对物流配送过程的路径选择进行建模, 通过遗传算法, 得到车辆运输过程中的不同路径, 分析不同路径选择最短距离的路径, 路径的选择上要充分考虑顾客等因素, 然后通过 MATLAB 仿真对配送路径进行择优选择, 实验结果表明, 使用遗传算法选择运输路径, 能够减少相应的碳排放量, 实现运输的绿色化。

[关键词] 路径优化; 物流配送; 绿色物流; 遗传算法

DOI: 中图分类号: F259.2 文献标识码: A

Research on Optimization of Terminal Distribution Path of Last 1000m Logistics

WAN Fuyuan, JIN Hui, WANG Di, GUO Yu, WANG Xiaoli

College of Automobile and Traffic Engineering, Liaoning University of Technology, Liaoning Jinzhou, 121001 China

Abstract: In this paper, the path selection of logistics distribution process is modeled, and the different paths in the process of vehicle transportation are obtained by genetic algorithm, and the factors such as customers should be fully taken into account in the path selection of different paths, and then the optimal selection of distribution path is carried out by MATLAB simulation. The experimental results show that using genetic algorithm to select the transportation path can reduce the corresponding carbon emissions. Realize the green of transportation.

Keywords: Path optimization; Logistics distribution; Green logistics; Genetic algorithm

引言

在物流配送的过程中, 物流末端配送“最后 1000 米”主要指商品由配送员从配送点交至消费者签收的阶段, 也是整个物流配送的最后一个步骤。目前我国物流“最后 1000 米”配送花费时长大约是 5 小时, 占据快递业务市场 45%, 运输距离却不足整个运输距离的 5%。由此可见, 如何提高“最后 1000 米”的运输效率是当前物流运输的重要难题。快递末端的配送效率的受很多因素的影响, 其中最重要的就是快递车辆配送路径的选择, 在日渐激烈的市场竞争中, 选择合理的配送路径可以使企业以最小成本实现最大的配送范围。在提高服务质量和客户满意度的同时节约成本, 需要通过路径优化实现。因此合理选择配送路径使企业提高竞争力节约成本的重要途径。

本文调研了锦州市多家快递公司网点的快递配送情况, 发现客户满意度和工作效率并不理想, 各个快递公司的配送情况和服务质量不尽相同, 因此本文选择了其中的某一快递公司进行研究。很多因素都可以导致运行成本过高, 如采取人工经验和人工安排的方式进行车辆调度的方法仍被应用在大部分物流配送中心^[1], 但随着物流信息的加强, 顾客对时间的要求越来越高, 各快递公司把减少费用成本与提高客户服务质量作为重要目标, 而这些目标的实现主要体现在合理规划快递配送路径上^[2]。本文以总路线最小为目标函数根据遗传算法综合客户差异与距离等因素, 完成最优配送方案的探索。可以提高运输效率, 有效保护自然环境, 帮助快递行业提高市场竞争力, 对快递业发展具有非常重要的现实意义。

1 VRP 数学模型的建立

1.1 问题描述

VRP 即车辆路径问题是指由物流配送中心(快递网点)出发向各个客户节点进行货物的配送, 其中各客户节点的需求量已知, 各网点及客户点的数量、位置已知, 通过合理的设计快递进行配送的路线, 可以使快递车辆从网点开始, 有序的对各个已知的客户位置进行派件, 与此同时满足很多线性约束条件如: 各客户点的需求量, 顾客可以接受货物的时间、车辆的满载系数、配送时行驶路线的距离等, 然后返回快递网点(配送中心), 达到燃油量最少, 运输效率最高, 成本花费最低, 客户满意度最高等目的^[4]。通过对物流公司(顺丰速运)的调研和数据采集, 数据显示配送效率受很多因素影响, 其中其重要的就是快递车辆的路径选择, 在配送任务制定和配送任务执行过程中, 快递车辆由配送中心出发, 为已知位置坐标和需求量的顾客送货, 规定一辆车在本质上只为一个客户服务, 在合理规划车辆行驶路径的同时要保证货物的承载量不能超过车辆限定的载荷, 得以实现宏观上保证总排放量最小, 耗时时间少等, 从而提高

车辆的配送效率。

1.2 基本假设和符号说明

对于物流配送车辆的路径优化问题进行模型建立，路径问题最终的优化目标是计算出一组配送总路程最短的车辆行驶路线并能满足所有客户需求，在以最小成本找到满足限制和需求的车辆路线时需要遵循以下的假设条件^[7]：

- (1) 车辆行驶距离和成本之间存在线性关系；
- (2) 已知每个客户配送地址的坐标；
- (3) 针对每个客户节点由目标车辆进行配送；
- (4) 配送车辆的最大载重量不作限制；
- (5) 物流配送车辆的行驶距离不可以大于规定的该车辆的最大行驶距离；
- (6) 需要满足所有客户有关配送的要求；
- (7) 一个客户能且仅能被访问一次；

P_0 ：代表配送中心即快递网点；

P_i ：表示各客户节点 ($i = 1, 2, \dots, N$)；

N ：代表本文调查的范围内需要进行物流配送服务的顾客的数目；

x_{ij} ：作为决策变量，表示了快递车辆从顾客 i 到顾客 j 需要进行的配送次数；

d_{ij} ：代表从顾客 i 到顾客 j 的距离差距；

d_{10} ：表示运输车辆从快递网点到第 1 个客户节点间的距离；

d_{n0} ：表示快递运输车辆派件后回到快递网点的距离；

L ：表示配送车规定行驶的最远距离。

1.3 建立模型

经过上文的具体描述和条件的假设，针对配送路径优化问题建立所需的数学模型，最断运输距离为目标函数，在保证绿色物流的前提下设计出最优的配送路径，如下所示为目标函数和约束条件。

$$S = \min \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} x_{ij} + d_{10} + d_{n0} \quad (1.1)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ij} = 1 \quad (i \neq j, j = 1, 2, \dots, N) \quad (1.2)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{ij} = 1 \quad (j \neq i, i = 1, 2, \dots, N) \quad (1.3)$$

$$S < L \quad (1.4)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{配送车辆由点 } i \text{ 行驶到点 } j; \\ 0, & \text{否则;} \end{cases} \quad (1.5)$$

约束条件：

目标函数 (1)：表示能够对车辆可行驶的最短路径进行计算的函数；

约束条件 (2)、(3)：代表每个客户被访问有且仅有一次；并确保运输车辆出发并返回配送中心。

约束条件 (4)：代表配送车辆在进行配送途中每次的行驶距离要应该小于本文所规定的车辆行驶距离 L ；

约束条件 (5)： x_{ij} 是本文建立模型的决策变量^[3]。

2 基于遗传算法的 VRP

遗传算法通过随机的方式产生第一代初始解（称为“种群”），在进行搜索的过程中，第一代染色体中的每一个个体都是解决车辆路径问题的一个初始解。而关于此后各代染色体品质的优劣，一般选择用“适应度函数”来计算，然后前一代的染色体经过交叉，变异形成新的后代。根据 Darwin 强者生存的自然选择学说，在形成后代的过程中，适应度较高的个体得以存活，而适应度较低的个体被淘汰。若染色体的适应值高则被选中的概率较大。很多代以后，遗传

算法最后会收敛于适应度最好的染色体，这个染色体很大概率是遗传问题的最优解^[6]。

通过如下几个步骤可以对遗传算法进行求解：

2.1 编码

染色体的确定办法及其重组编码是解决遗传算法最为关键的问题，将各个顾客点顺序进行排列是解决车辆路径问题的核心。在进行编码操作时把每个客户点视作一个染色体的基因，将 n 个客户点进行排列处理，然后进行编码使之成为染色体。本文对于遗传算法问题采用的编码方式为通过序号对染色体进行编码，随机选取 8 个客户点进行快递配送，编码为 (1 2 3 4 5 6 7 8)，当编码串为 (1 2 3 4 5 6 7 8) 时代表：配送车辆从快递网点 0 出发，按照上述顺序依次经过按照顺序依次经过这 8 个顾客点，最终回到快递网点 0 的一条行驶路线。

2.2 适应度函数

当研究车辆行驶路径问题时 (VRP)，通过适应度函数可以准确计算出任两个顾客点的距，总距离则可以通过顾客点的排列顺序进行准确的计算。本文把顾客点随机排列的总距离的倒数视为适应度函数，总距离越短，适应度函数越好。

2.3 选择操作

本文选择使用遗传算法对 VRP 问题进行求解，根据适应度的比例做出相应的抉择，即物流配送车辆行驶路径越长，被选中进入下一代的概率越低，物流配送的车辆行驶路径越短，被选中进入下一代的概率越高。

2.4 交叉操作

为了实现对所有客户点进行最优的配送路径，本文选择采用部分匹配交叉 (PMX) 的算法。首先随机产生两个交叉点，把两个交叉点内的区域定义为匹配区域，再将父代的随机产生的两个匹配区域进行交换，最后依次去除原来个体中与交叉基因相同的基因片段，可以得到交叉后的个体。比如：现在随机的选取 8 个顾客点，并对这 8 个客户点进行物流配送 (其中 0 表示快递网点)：

(1) 随机的在父代个体中选择一个交叉区域，如下所示可以将两个交叉区域及父代个体定为 A, B 所示：

A (1 2 5 | 8 3 7 0 | 4 6)

B (3 0 8 | 5 1 4 2 | 6 7)

(上文中“| |”代表的是交叉的区域)

(2) 将 A、B 的交配区域分别加到 B、A 的前面，从而得到两个中间个体：

A₁ (5 1 4 2 | 1 2 5 8 3 7 0 4 6)

B₁ (8 3 7 0 | 3 0 8 5 1 4 2 6 7)

(3) 在 A₁ 和 B₁ 中，逐个删除那些基因 (与交叉区域相同)，最终可以得出两个个体为：

A₂ (8 3 7 0 5 1 4 2 6)

B₂ (5 1 4 2 8 3 7 0 6)

为了实现在两个相同的个体进行交叉的同时可以得到新的个体，需要在这个过程中尽可能的避免发生早熟等现象，目的是降低局部最优解产生的可能。^[5]

2.5 变异操作

通过改变基因码的位置改变现有个体，得到新的个体，需要进行变异操作，该操作的目的是使进化具有更多的可能性。倒位变异算子是本篇文章采用的关于变异类型的操作方法，变异操作是指求解配送车辆路径优化问题时染色体上的两个客户点视为变异点，最后进行倒位处理染色体上的变异区域可以获得新个体。倒位变异可以防止在进化过程中的早熟收敛问题，并可以加强遗传操作过程中的全局寻优性能。比如：现随机取 8 个客户点，对其进行快递配送服务 (其中 0 表示配送中心)：

(1) 对于任意一个新个体，如：M (2 8 1 0 3 6 4 7 5)，其变异点为 1 和 7，即 M₁ (2 8 | 0 3 6 4 | 5)，其中“| |”表示进行变异的区域。

(2) 将变异区域的基因按逆序的排列方式放到原位置，从而得到了一个新个体：m² (2 8 | 4 6 3 0 | 5)^[5]。

2.6 解码操作

对于任意一个个体，例如 (0 1 2 3 4 5 6 7 8 0)，将每两个相邻基因的距离进行求和，所得到的结果即为该车辆行驶路径的总距离。通过前一代染色体交叉、变异等过程，得到收敛度较好的新种群，再保证最优的个体前提下选

择最短的行驶路径。

以最少配送成本和最大配送服务质量为目标，利用遗传算法求解路径优化问题，基本流程如图 2.1 所示。

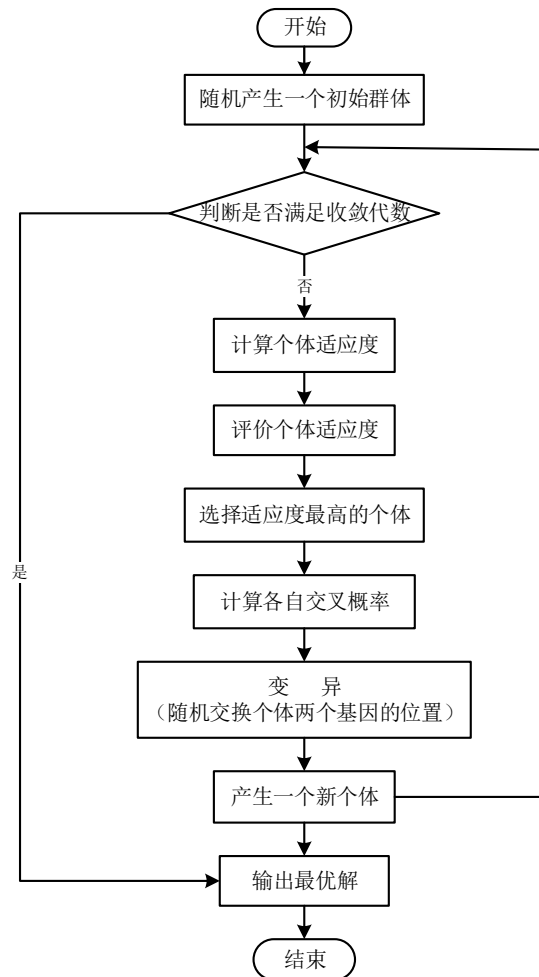


图 2.1 遗传算法求解车辆路径问题示意图

3 实验结果分析

3.1 背景及数据来源

本文调研了锦州市多家快递公司的快递配送情况，但是客户满意度和工作效率并不理想，各个快递公司的配送情况和服务质量不尽相同，因此本文选择了顺丰速运公司进行研究。通过调查顺丰速运万年里配送中心发现通过合理谨慎的安排物流配送方式和运输路径可以有效提高配送效率。根据锦州万年里实例分析结果可以得到，基于客户满意度的快递配送方式不但可以有效的提高服务质量，增加市场竞争力，提高物流配送的效率和顾客满意度还可以减少碳排放。本篇文章数据均来自实地调研，通过收集万年里区域快递员所驾驶的配送车辆在其负责区域内工作一周的业务数据。由于调查的数据极其庞大，所以选取其中一个快递员所驾驶的一辆车在一天中配送的 34 个客户点作为本文的研究对象。

3.2 数据处理

根据调查的 34 个客户点的位置信息利用百度地图可以将各个客户位置节点的经纬度信息找出来，然后利用高斯坐标转化器输入 34 个客户点经纬度位置，顾客点的经纬度信息通过高斯投影法进行换算，最后把 34 个顾客位置的经纬度信息转化成高斯平面 34 个顾客点在平面直角坐标系中的 x, y 坐标，其中的椭球参数使用了 WGS1984 参考椭球， $a=6378137$, $alfa=298.2572235635$ 对于经历上述过程得到的平面直角坐标系内的 x, y 坐标，经过合适的处理和变换将其储存为本文用到的运算坐标。图 3.1 是有关数据处理的详细流程。

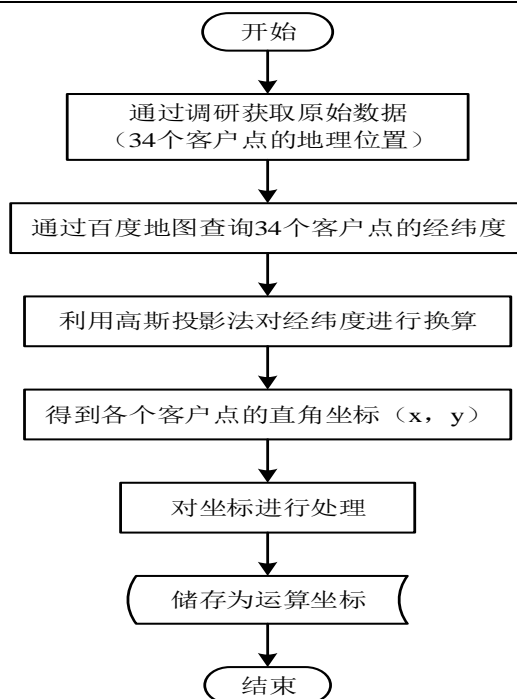


图 3.1 数据处理流程图

如图 3.2 所示为顺丰公司某快递员负责的锦州城区配送的区域，负责 34 客户点。



图 3.2 快递配送区域图

通过调查得到原始数据后，找到各个客户点位置在百度地图上对应的经纬度信息。如图 3.2 所示。例如：原始数据中 1 号客户点为锦州前进电缆厂，在百度地图 API 中寻找 1 号客户点，确定该点的经纬度坐标为 (121.151953, 41.14411)。在利用高斯投影法将 1 号经纬度坐标换算为平面直角坐标为 (4558224.07872955, 21344849.7108733)。表 3.1 表示该快递员负责的 34 个客户的经纬度坐标。

表 3.1 客户经纬度坐标表

客户编号	1	2	3	4	5
经纬度坐标	121.151953, 41.14411	121.151675, 41.145027	121.152065, 41.146164	121.152209, 41.146439	121.152613, 41.146633
客户编号	6	7	8	9	10

经纬度坐标	121.153655, 41.146582	121.153817, 41.146168	121.15428, 41.145642	121.154226, 41.146545	121.156714, 41.146884
客户编号	11	12	13	14	15
经纬度坐标	121.158416, 41.145499	121.160123, 41.144239	121.159229, 41.14301	121.15856, 41.141886	121.159988, 41.139801
客户编号	16	17	18	19	20
经纬度坐标	121.158708, 41.13881	121.157509, 41.137968	121.154356, 41.138066	121.153121, 41.138195	121.15145, 41.140117
客户编号	21	22	23	24	25
经纬度坐标	121.156157, 41.143353	121.155573, 41.14285	121.157464, 41.141689	121.156211, 41.14064	121.153938, 41.140558
客户编号	26	27	28	29	30
经纬度坐标	121.154926, 41.138962	121.153067, 41.140321	121.151243, 41.139224	121.15145, 41.138341	121.149972, 41.143832
客户编号	31	32	33	34	
经纬度坐标	121.155852, 41.139696	121.154926, 41.138962	121.154113, 41.138307	121.155304, 41.145051	

3.3 实例数据

图 3.3 是 34 个客户点在百度地图中所在的具体位置。锦州子午线经纬度 121:09E, 41.09N。



图 3.3 客户位置图

因为配送地址范围较小，所以各客户点之间经纬度坐标的差异值也较小，通过高斯投影法得到的位置信息在平面直角坐标差异主要从横、纵坐标的千位开始，因此需要把处理过的经纬度坐标取整从而得到客户点的新坐标（如：客户点 1（8224，4849））作为运算坐标。

通过以上的数据处理，可得到经过换算后的 34 个客户节点的位置信息，并能在平面直角坐标系中将客户节点的坐标表示出来，如下表 3.2 各客户节点位置坐标所示，假设其中所有顾客要求进行配送时间窗均为 11:00—12:30。

表 3.2 各顾客位置节点坐标

客户编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x	8224	8326	8452	8482	8503	8495	8449	8390	8490	8523
y	4849	4828	4863	4876	4911	4998	5011	5048	5046	5255
客户编号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x	8366	8223	8088	7965	7731	7623	7532	7548	7565	7781
y	5395	5535	5458	5399	5514	5404	5301	5037	4933	4798
客户编号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
x	8132	8077	7945	7831	7826	7647	7801	7682	7182	8167
y	5200	5150	5306	5199	5008	5087	4934	4778	5084	6082
客户编号	31	32	33	34	各客户要求的时间窗为 11:00-12:30 送达					
x	7726	7647	7575	8322						
y	5166	5087	5017	5133						

为了更直观的观察数据，通过 MATLAB 将表 3.2 中 34 个客户节点的位置分布根据坐标信息绘制二维平面内直角坐标系中的散点图，由图 3.4 可以看出，本文选定的 34 个客户具有分区域集中的特征。

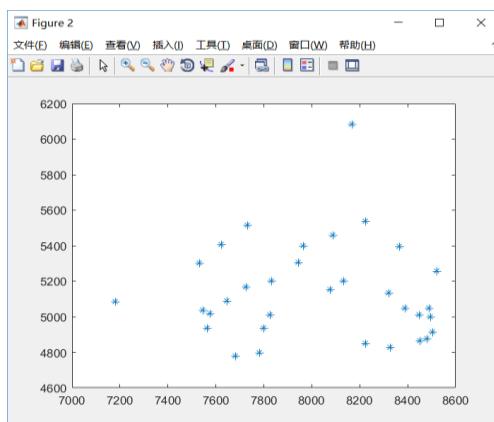


图 3.4 客户分布散点图

3.4 基于路径最短的 VRP 的实例分析结果

在本文实例中，顺丰速运公司（万年里点部）的电动三轮车每天中午 11 点从点部出发，假设并不考虑电动三轮车从点部出发到第一个客户的距离和快递服务时间，即把第一个物流服务点同时视为配送出发点。通过遗传算法对上述问题进行求解，得到该电动三轮车的最优配送路径如图 3.5 所示。

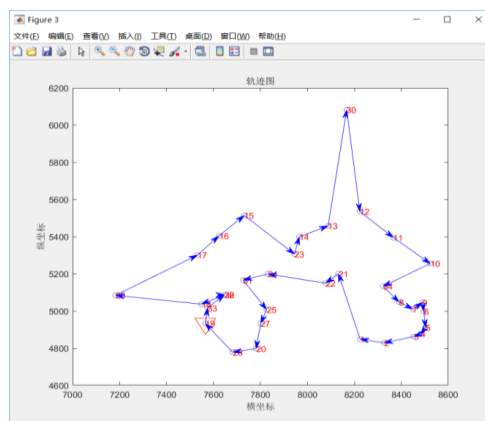


图 3.5 配送车辆行驶路径图

```

初始种群中的一个随机值:
32->22->34->6->3->16->11->30->33->7->28->17->14->8->5->29->21->25->31->27->26->19->15->1->23->2->4->18->24->13->9->20->10->12->32
总距离: 19292.3759
-----
最优解:
19->33->26->32->18->29->17->16->15->23->14->13->30->12->11->10->34->8->7->9->6->5->4->3->2->1->21->22->24->31->25->27->20->28->19
总距离: 5895.0485
    
```

图 3.6 随机值和最优解

初始种群中的一个随机值:

32—>22—>34—>6—>3—>16—>11—>30—>33—>7—>28—>17—>14—>8—>5—>29—>21—>25—>31—>27—>26—>19—>15—>1—>23—>2—>4—>18—>24—>13—>9—>20—>10—>12—>32

总距离: 19292.3759

最优解:

19—>33—>26—>32—>18—>29—>17—>16—>15—>23—>14—>13—>30—>12—>11—>10—>34—>8—>7—>9—>6—>5—>4—>3—>2—>1—>21—>22—>24—>31—>25—>27—>20—>28—>19

得到最优解总距离: 5895.0485

利用遗传算法求解路径最短的车辆配送问题（即路径优化），并使用 MATLAB 仿真软件构建的模型进行求解，从而得到快递末端配送的最优最短路径，从而提高快递配送的客户满意度。

4 结论

本文主要研究了锦州某一顺丰快递配送员的某段配送区域，并对路径进行分析，MATLAB 仿真求解，最终得到了一条基于整体最优的配送路线，从而提高配送的效率，以达到运输绿色化的目的。利用 MATLAB 仿真模拟来验证基于遗传算法的路径优化模型在锦州万年里区域可行性，分析仿真结果发现上文所建立的路径优化模型一方面有助于提高快递公司的配送效率及节约成本，提高快递公司竞争力；另一方面保证客户更加便捷，短时地接收到快递，同时减少了车辆行驶里程，有助于缓解城市交通压力和减少大气污染，以实现运输绿色化。但本文考虑的因素较为单一，在今后的研究中我们会多研究关于混合路径配送方面的问题，使研究更加符合目前局部地区内品种各异、需求零星的终端用户物流综合服务的要求。

基金项目：1. 辽宁工业大学 2019 年大学生创新创业训练计划项目

2. 2017 年辽宁省教育厅重大科技平台科技项目（JP2017009）

[参考文献]

- [1] 陈火根, 丁红钢, 程耀东. 物流配送中心车辆调度模型与遗传算法设计[J]. 浙江大学学报(工学版), 2003(05): 16-20.
- [2] 吴聪, 杨建辉. 基于改进粒子群算法的物流配送车辆调度优化[J]. 计算机工程与应用, 2015(13): 259-262.
- [3] 申艳光, 张玲玉, 刘永红. 基于混合遗传算法的物流路径优化方法研究[D]. 河北: 河北工程大学信息与电气工程学院, 2018.
- [4] 刘建非. 食品企业物流配送问题研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- [5] 蒋波. 基于遗传算法的带时间窗车辆路径优化问题研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [6] 彭北青. 第三方物流配送车辆路径问题模型及算法研究[D]. 湖北: 华中科技大学, 2009.
- [7] 陈成. 基于改进遗传算法的带时间窗的多目标配送路径优化[J]. 信息技术与信息化, 2018(10): 48-51.

作者简介: 万福媛 (1998-), 辽宁工业大学物流工程, 学生。