

基于模拟退火算法的共享单车城市配送路径规划

康雯轩

(燕山大学经济管理学院, 河北 秦皇岛 066000)

摘 要: 自行车共享的出现解决了人们最后一公里出行困难的问题, 共享单车已经在全国各个城市投入使用。但是随着需求发展, 共享单车投放总量不断增加, 公众乱停乱放、违规使用及车辆无序投放等突出问题也随之出现。通过设立城市配送中心, 进行各地点共享单车数量集中管控以解决上述城市治理难题, 建立了 VRP 模型, 并设计模拟退火算法, 以北京为例进行论证, 通过数值实验表明, 该算法具有良好的收敛性, 可以在合理的迭代次数内找到问题的满意解。

关键词: 共享单车; 路径规划; 城市交通; 模拟退火算法

中图分类号: U491

文献标志码: A

DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2022.13.032

自行车共享企业在校园、地铁站、公交站、住宅区等提供服务, 其可以有效地解决市民在其出行过程中最后一公里的问题, 与其他公共交通组合, 共同完成市民出行的整个链条。自行车共享也是一种新型的绿色环保共享经济。

车辆路径优化是 DANTZIG 等^[1]提出的, 其后出现了集合分割的方法, 可以将整个路径集合进行分割, 创建了最初的 VRP 模型^[2], 此后李军^[3]通过启发式的方法求解了 VRP 问题, 张海刚等^[4]使用 PSO 算法求解带软时间窗的 VRP 问题。雷洪涛等^[5]构建了智慧物流路径优化的模型。王超^[6]根据城市配送同时取送货的车辆路径问题、带时间窗的同时取送货的车辆路径问题和配送网点优化的车辆路径问题, 给出了智能启发式求解算法。

由于城市内大量共享单车的存在, 导致了城市拥堵、道路上共享单车摆放无序等问题, 许多学者开始研究如何在共享经济的环境下研究城市合理治理。王婷等^[7]提出通过使用奖惩机制和押金的合理规划管理来合理规划共享单车。周建高^[8]针对上述城市治理问题提出对于公共场所的共享单车存放点实行缩小规模增加存放地点的观点。本文针对建立城市集中配送管理中心来进行城市共享单车的集中管理与配送。

1 建立模型

在本文运输网络中, 包括了共享单车存放点和线路, 其中每次共享单车配送量不能超过配送车辆的最大载重量。并且每辆共享单车配送车辆由共享单车配送中心出发, 完成配送任务后, 返回共享单车配送中心。

1.1 符号设定

1.1.1 参数符号

设有 n 个共享单车存放节点, 每个共享单车存放的需求量为 q_i ($i=1, 2, \dots, n$); 有 m 辆配送车辆 (型号种类完全一致), 每辆车的最大载重量为 Q 。客户 i 到客户 j 的距离为 d_{ij} , o 表示配送中心, 则共享单车配送中心到共享单车存放的距离为 d_{oi} ($i=1, 2, \dots, n$)。由于一条线路上所有共享单车存放由一辆车进行配送, 所以要求考虑货损量的前提下, 每条线路共享单车存放需求量之和不超过每辆车的最大载重量。

K : 配送中心车辆集合, $K=1, \dots, m$;

c_o : 车辆单位里程的行驶费用;

c_v : 单辆车的一次出车固定成本;

v_o : 车辆匀速行驶时的速度;

t_{ij} : 车辆从客户 i 到客户 j 的行驶时间;

Q : 配送车辆的最大载重量;

T : 在各共享单车存放点的装卸货时间;

β_1 : 在运输过程中单位时间内的损耗比例;

β_2 : 在运输过程中因路况因素造成的共享单车损耗比例;

β_3 : 在共享单车存放点装卸过程中单位时间内的损耗比例;

β_4 : 在共享单车存放点装卸过程中因装卸操作导致的损耗比例;

u_{ijk} : 配送车辆 k 在路径 i 到 j 上行驶时的载重量;

p : 单位重量货损价格;

f_v : 单次配送任务中, 配送中心派出的送货车辆总数;

f_T : 单次配送任务中, 所有配送车辆行驶里程数总和;

f_d : 单次配送任务中, 所有配送线路上产生的货损量总和。

1.1.2 决策变量

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{车辆 } k \text{ 从共享单车存放点 } i \text{ 行驶到共享单车存放点 } j \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$Y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{共享单车存放点 } i \text{ 的任务由车辆 } k \text{ 完成} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

1.2 模型建立

目标函数:

$$\min Z = \min(f_v \times c_v + f_t \times c_o + f_d \times p) =$$

$$\min(k \times c_v + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m d_{ij} \times X_{ijk} \times c_o) +$$

$$(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m (\beta_1 \times t_{ij} + \beta_2) \times u_{ijk} \times X_{ijk} +$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m (\beta_3 \times T + \beta_4) \times u_{ijk} \times Y_{ik} \times p)$$

约束条件:

$$\sum_{i=1}^n q_i \times Y_{ik} \leq Q, \quad k \in K$$

$$\sum_{i=1}^n X_{oik} = \sum_{i=1}^n X_{io k} \leq 1, \quad k \in K$$

$$\sum_{i=1}^n q_i = \sum_{k=1}^m Q, \quad i \in V$$

$$\sum_{k=1}^m Y_{ik} = 1, \quad i \in V$$

本文中的模型考虑了车辆使用数量、总行驶里程和运输共享单车不当而导致的耗损, 并且通过 3 个成本权重因子加权得到总成本。其中约束保证每个共享单车存放点的需求量需全部满足, 同时每个共享单车存放点只能有一辆车进行配送, 配送不能超出共享单车派送车辆的最大载重量, 配送完后返回共享单车配送中心。

2 算法设计

2.1 模拟退火算法

模拟退火模仿了金属退火的过程, 其内循环使用 Metropolis 法则, 通过一定概率接受相对劣解, 此方法可以有效跳出局部最优, 从而得到全局最优, 外层则是降温的过程, 具体步骤见算法流程设计。

2.2 算法流程设计

步骤 1: 令 $T=T_0$, 即开始退火的初试温度, 随机

生成一个初始解 S_1 , 并计算相应的目标函数值 $E(x_0)$ 。

步骤 2: 令 T 等于冷却进度表中的下一个值 T_i 。

步骤 3: 根据当前解 x_i 进行扰动, 产生一新解 x_j , 计算相应的目标函数值 $E(x_j)$, 计算两者之差。

步骤 4: 若 $df < 0$, 则接受 S_2 作为新的当前解, 即 $So1=So2$; 否则, 计算 $So2$ 的接受概率 $\exp(-df/T)$, 随机产生 $(0, 1)$ 区间上均匀分布的随机数 rand , 若 $\exp(-df/T) > \text{rand}$, 也接受 S_2 作为新的当前解 $So1=So2$, 否则保留当前解 $So1$ 。

步骤 5: 在温度 T_i 下, 重复 L 次的扰动和接受过程, 即执行步骤 3 和 4。

步骤 6: 判断 T 是否已达到了 T_{end} , 如果是, 则停止, 否则继续。

本文算法流程图如图 1 所示。

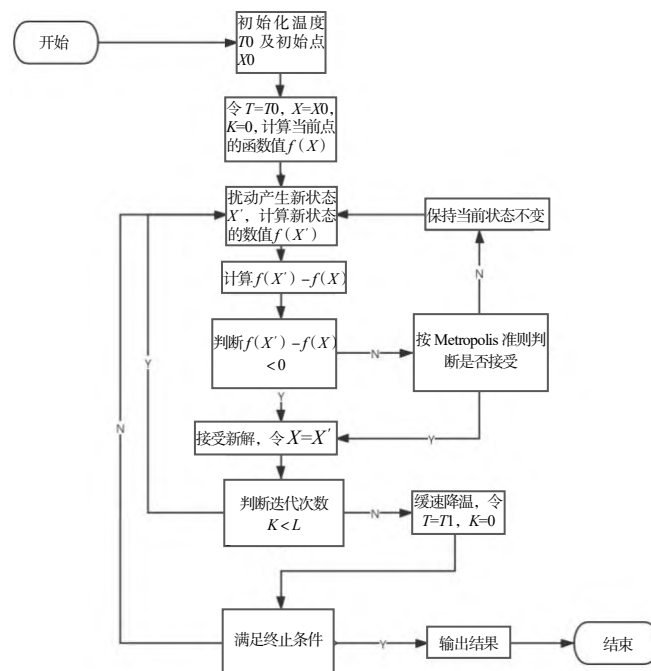


图 1 算法流程图

3 实验计算

3.1 问题数据

通过调查得出北京 48 个共享单车存放点的需求, 并且以北京国际机场为中心, 将共享单车存放点的坐标计算出来。

实验数据如表 1 所示。

表 1 实验数据表

| X | Y | q_i | X | Y | q_i | X | Y | q_i | X | Y | q_i | X | Y | q_i |
|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|
| 83 | 263 | 137 | 112 | 279 | 136 | 89 | 323 | 133 | 105 | 102 | 127 | 91 | 323 | 94 |
| 89 | 271 | 125 | 95 | 308 | 121 | 123 | 297 | 217 | 138 | 103 | 202 | 79 | 302 | 161 |
| 134 | 263 | 250 | 114 | 335 | 97 | 127 | 279 | 154 | 64 | 304 | 201 | 109 | 329 | 132 |
| 99 | 302 | 155 | 126 | 273 | 126 | 72 | 114 | 211 | 134 | 276 | 106 | 108 | 261 | 217 |
| 108 | 286 | 121 | 101 | 301 | 231 | 100 | 324 | 222 | 102 | 120 | 148 | 69 | 278 | 224 |
| 67 | 300 | 245 | 113 | 103 | 111 | 125 | 311 | 129 | 119 | 120 | 249 | 63 | 276 | 158 |

表 1 (续)

| X | Y | qi | X | Y | qi | X | Y | qi | X | Y | qi | X | Y | qi |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 87 | 320 | 109 | 66 | 70 | 136 | 71 | 332 | 123 | 74 | 337 | 156 | 108 | 283 | 196 |
| 92 | 138 | 121 | 83 | 290 | 214 | 75 | 307 | 189 | 125 | 277 | 153 | 77 | 274 | 206 |
| 109 | 283 | 128 | 129 | 72 | 242 | 69 | 311 | 80 | 86 | 261 | 98 | 97 | 136 | 173 |
| 66 | 339 | 93 | 121 | 292 | 128 | 85 | 268 | 137 | | | | | | |

对于调查的配送中心的车辆参数已知：配送中心坐标（97，297），车辆总数为 14 辆，单位行驶费用为 1 元/km，车辆一次出行固定成本为 150 元/辆，平均行驶速度为 40 km/h，最大载重量为 1 000 kg。运输过程损耗比例为 0.8%，路况损耗比例为 0.1%；装卸过程中损耗比例为 0.2%，装卸操作损耗比例为 0.2%。

3.2 实验结果

本文实验环境为 2 GHz，8 GB RAM，采用 MATLAB 编程。本文的数据实验结果如图 2 所示。

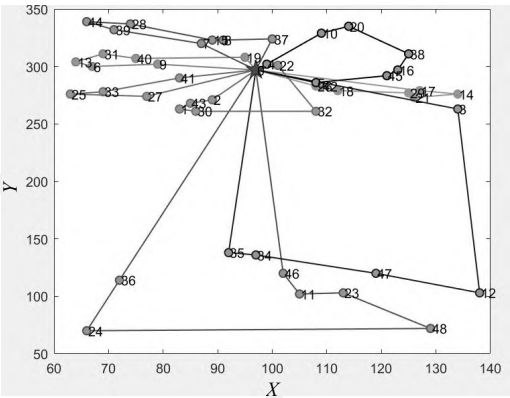


图 2 VRP 配送路线图

图 3 给出了模拟退火求解结果的目标函数优化曲线。目标函数最优值值在第 1 000 代即从最初的 5 300 元下降到最小值 2 800 元，显示了良好的收敛效果。目标中的车辆损耗降低了 26.03%，由此可见本模型可以大幅降低损耗的浪费。通过实例可以看出，模拟退火算法在计算实例过程中表现良好。计算结果如表 2 所示。

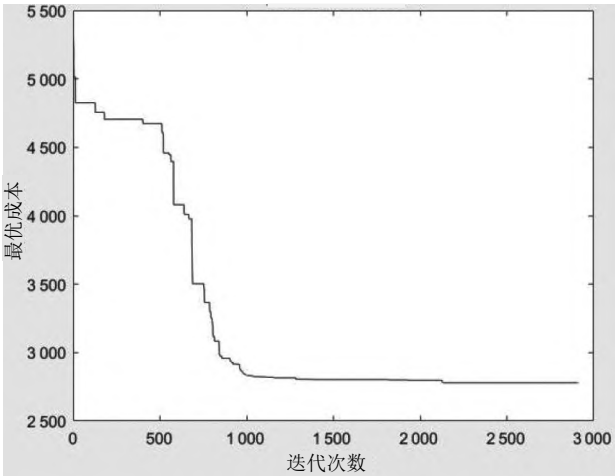


图 3 算法迭代次数图

表 2 实验结果

| 车辆编号 | 路径顺序 | 行驶里程/km | 装载重量/kg | 装载率/(%) | 车辆固定成本/元 | 行驶成本/元 |
|------|--------------------------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 1 | 0—46—11—23—48—24—36—0 | 530.405 | 975 | 0.975 | 150 | 534.649 |
| 2 | 0—17—14—21—29—18—42—26—0 | 92.226 | 999 | 0.999 | 150 | 92.964 |
| 3 | 0—35—34—47—12—3—0 | 427.461 | 995 | 0.995 | 150 | 430.881 |
| 4 | 0—2—43—1—30—32—22—0 | 109.458 | 945 | 0.945 | 150 | 110.334 |
| 5 | 0—9—6—13—31—40—19—0 | 82.866 | 997 | 0.997 | 150 | 83.529 |
| 6 | 0—4—10—20—38—16—45—5—0 | 117.790 | 979 | 0.979 | 150 | 118.732 |
| 7 | 0—7—39—44—28—15—8—37—0 | 120.668 | 930 | 0.930 | 150 | 121.634 |
| 8 | 0—41—33—25—27—0 | 85.038 | 802 | 0.802 | 150 | 85.718 |

本文设计的算法与搭建的模型可作为共享单车企业配送车辆路径规划工具，可灵活求解企业中不同情况问题，具有较高的实际应用价值。

参考文献：

[1] DANTZIG G B, RAMSER J H. The truck dispatching problem [J]. Management science, 1959, 6 (1) : 80-91.

[2] BALINSKI M L, QUANDT R E. On an integer program for a delivery problem [J]. Operations research, 1964, 12 (2) : 300-304.

[3] 李军. 有时间窗的车辆路线安排问题的启发式算法 [J]. 系统工程, 1996, 14 (5) : 45-50.

[4] 张海刚, 顾幸生, 吴燕翔. 改进的粒子群算法及其在带软时间窗车辆调度问题中的应用 [J]. 华东理工大学学报 (自然科学版), 2009, 35 (5) : 774-778.

[5] 雷洪涛, 刘亚杰, 张涛, 等. 物流配送路径优化与配送区域划分 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2015: 73-94.

[6] 王超. 配送企业车辆路径问题模型与算法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.

(下转第 109 页)

2.4 轴承选用与其结构设计

根据叶轮组合在 1 500 L/min 时的压力降,对叶片施加最大压力,并进行仿真,轴承内圈受力情况如图 7 所示,应力为 59 MPa,等效于叶轮轴向受力 215 N,根据分析可知叶轮组合轴向受力不大于 215 N。

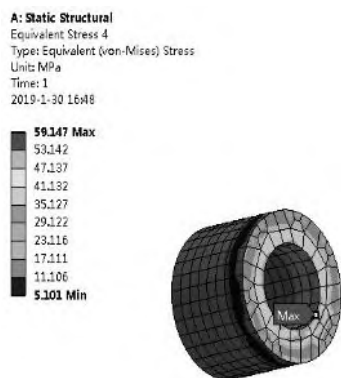


图 7 叶轮及轴承内圈受力分析

计算轴承在满足寿命要求下需选取的额定动载荷大小的公式为:

$$L = \frac{10^6}{n \left(\frac{C}{P} \right)} \quad (1)$$

式(1)中: L 为基本额定寿命, h; n 为转速, r/h; C 为额定动载荷; P 为当量动载荷, 小于 500 N。

耗量传感器转换系数 $K=6.6$, 斜齿轮传动比为 1:1, 在 $Q=1\ 500\ \text{L/min}$ 时叶轮转速 $n=K \times Q \times 60=594\ 000\ \text{r/h}$ 。耗量传感器寿命要求 15 000 飞行小时/3 000 吊舱工作小时, 根据寿命载荷谱要求乘以安全系数 1.73 折算为耗量传感器 1 500 L/min 工作 2 250 h, 1 200 L/min 工作 260 h, 800 L/min 工作 260 h。以 1 500 L/min 工作时间为要求, $L \geq 2\ 250\ \text{h}$, 则 $C \geq 2\ 369\ \text{N}$ 。结合导向器与叶轮轴结构选取轴承 (36 026 J) 额定动载荷 2 759 N, 能满足耗量传感器寿命要求。

因耗量传感器主要受力轴承仅出油端轴承, 结合成本与装配简易度, 其他支撑轴承选取常用型号 (623)。

2.5 三防设计

为保证耗量传感器在霉菌、盐雾及湿热环境下正常工作, 主要从以下几个方面进行“三防”设计: ①材

料方面。选用耐腐蚀、耐湿热、耐盐雾的材料, 选用不易吸湿和不易吸水的材料作为绝缘体, 如金属材料选用硬铝 2A12-T4、不锈钢 1Cr18Ni9Ti 和不锈钢 2Cr13 等, 非金属材料选用聚四氟乙烯、高压聚乙烯等。②设计方面。在传感器结构上, 采用密封结构设计, 存放配有专用包装盒及防尘盖, 防止水汽或者湿气进入传感器内部, 发生腐蚀; 另外在传感器的设计中尽量采用相同的金属材料, 不同的金属材料之间采用电绝缘设计, 避免发生接触腐蚀。③制造工艺。对零件、组件的外表面采用防霉涂层等涂覆工艺进行环境保护; 在产品的装配过程中, 严禁手汗、污物的污染, 并保持产品所处的环境干燥; 整流器等铝合金材料零件采用了瓷质阳极化处理, 叶轮等不锈钢材料零件采用化学钝化处理, 有效防止粗糙表面吸附盐分和水汽对金属部分造成腐蚀。

3 结论

本文根据某型耗量传感器的技术要求^[2], 分析了耗量传感器的实现方法以及在设计过程中需要注意的问题。在现有同口径耗量传感器的基础上, 改进其叶轮结构强度和防脱落方式以满足小口径大流量条件下的受力要求; 根据使用需求改变其传动方式, 采用新式斜齿轮与斜齿轮的配合方式, 相对于蜗杆与斜齿轮配合增大了传动比的选择范围; 结合其试验数据进行受力分析, 根据分析结果选取寿命符合苛刻使用条件的轴承。本文的设计方案为耗量传感器设计提供了新的传动结构思路、轴承选用思路与结构加强方案, 可为同类型耗量传感器的研制提供参考。

参考文献:

- [1] 长沙航空职业技术学院. 一种飞机燃油耗量表综合测试装置及方法: CN202110593197.4 [P]. 2021-08-27.
- [2] 易贤, 李维浩, 王应宇, 等. 飞机结冰传感器安装位置确定方法 [J]. 实验流体力学, 2018, 32(2): 48-54.

作者简介: 李彬 (1983—), 男, 四川崇州人, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为航空机电。

[编辑: 丁琳]

(上接第 106 页)

- [7] 王婷, 李帆. 基于 SWOT 分析的“共享单车”盈利模式的对策研究 [J]. 现代商业, 2017(14): 47-48.
- [8] 周建高. 共享单车爆棚与中国城市空间结构问题 [J]. 长安大学学报 (社会科学版), 2017, 19

(2): 20-29.

作者简介: 康雯轩 (2000—), 女, 河北邯郸人, 本科, 研究方向为工业工程。

[编辑: 张超]