

基于双目标规划的共享汽车停车点布局优化研究

吴亚伦 段满钦 高天禹 刘毅 孟宪泽

沈阳航空航天大学 航空发动机学院, 中国·辽宁 沈阳 110136

【摘要】随着时代的进步,人们的出行方式更加多样化。共享汽车的出现,方便了人们的出行,解决了资源浪费等问题。然而,因为共享汽车产业起步的比较晚,目前还存在诸多问题亟待解决。共享汽车停车点布局的合理性直接影响到使用该交通模式的便捷性。由此,本文首先构建一个使得企业利润的最大化和用户使用最便捷的双目标规划模型,通过设计改进型遗传算法进行求解,得到网点的合理布局方式。

【关键词】共享汽车; 布局优化; 双目标规划; 改进型遗传算法

1 概述

新能源共享汽车改变了传统汽车的动力与驱动方式,有力的提升了能源安全和社会可持续发展的水平。本文根据以色列的特拉维夫市的数据为基础,根据数据集中提供的时间,经纬度等位置信息,并参考该城市的人口、交通状况、消费能力等相关情况,对停车点规划布局问题进行研究,同时考虑共享汽车盈利与用户使用共享汽车时取还车的便捷性,通过建立以企业利润最大化、用户取还车距离最短为目标的双目标停车点布局优化模型。在共享汽车停车点布局优化研究中,本研究利用改进型遗传算法进行求解得到的网点布局方式可为实际布局策略提供参考。

2 模型的建立与求解

2.1 数据预处理介绍

本文分别选取工作日和节假日各四个高峰出行时段的共享汽车位置数据集作为研究的基础数据集,进而进行后续讨论。各高峰时期时间片段选取15分钟作为数据统计的基础,样本集如下表1所示。

表1 各时段共享汽车位置数据组数

数据组数	8:00-8:15	12:00-12:15	17:00-17:15	21:00-21:15
节假日	418	429	480	464
工作日	397	395	442	440

2.2 共享汽车停车点描述

我们首先依据共享汽车的停车点分布,将研究区域划分为了5个区块,如图1所示。

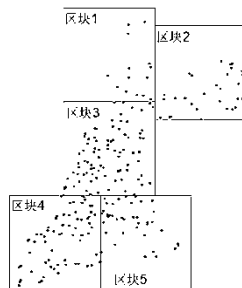
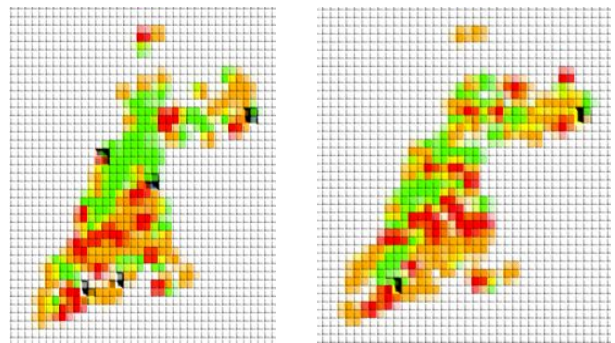


图1 研究区域停车点区块划分

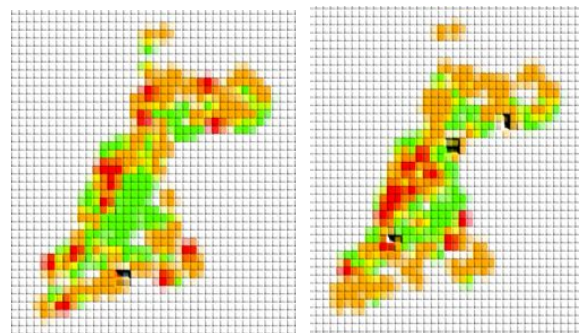
下图2和图3分别显示了节假日和工作日各早中晚高峰时段研究区域的共享汽车分布图。在区块3的东南部为研究区域人们的主要工作和活动区,不论在节假日还是工作日,在早高峰期

和中午高峰段共享汽车的流入量均为最大。研究区域的边沿地区,可推测出为人们的主要生活区,在下午高峰时期和晚高峰段,共享汽车不断地流入该区域。由此,可以推断出区块3为研究区域的商业集工作中心地带,区块2的东部为工业区,其他区域主要为生活住宅功能性区域,各区块共享汽车停放点的车辆使用分布数据也验证了研究区域的功能性用地分布情况。



(a) 早上

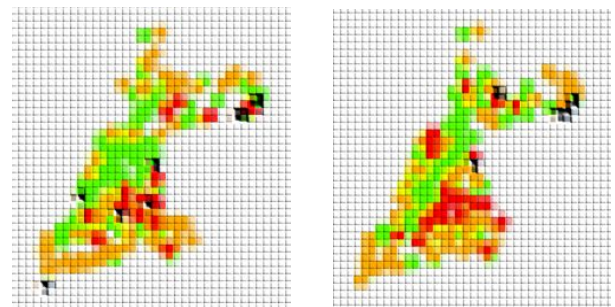
(b) 中午



(c) 下午

(d) 晚上

图2 节假日研究区域共享汽车使用分布图



(a) 早上

(b) 中午

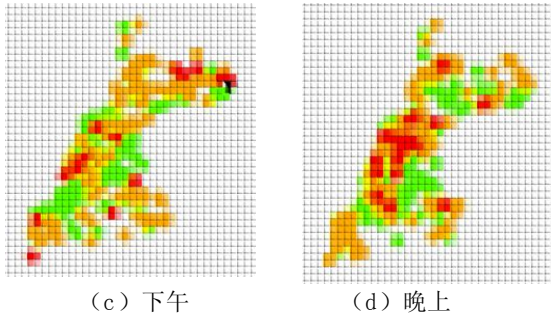


图3 工作日研究区域共享汽车使用分布图

2.3 共享汽车停车点布局优化模型

2.3.1 用户取还车距离

用户在使用共享汽车时，产生的需求路径共分为三段距离，分别是取车步行距离，行驶距离和还车步行距离。由此共享汽车用户将会产生两个费用，步行费用和行驶费用。其中对于步行费用，定义单位步行费率为 f ，出发点（到达点）到取车点（还车点）的距离分别为 $L_{ij}^{k_0}$, $L_{ji}^{k_0}$ ，则用户的步行费用为公式 1：

$$C_k^s = f(L_{ij}^{k_0} + L_{ji}^{k_0}) \quad (1)$$

对于用户行驶费用 C_k^q ，模型中假设仅与行驶距离有关，设行驶单位费率为 η ，则：

$$C_k^q = \eta L_{ij}^k \quad (2)$$

2.3.2 企业利润

对于企业而言，主要分共分为三部分考虑，分别是车辆使用成本，网点建设成本和运营调度成本。

1) 关于车辆成本，对于共享汽车公司来说，车辆的成本由车辆的采购成本和车辆的运营成本组成。其中，车辆的采购成本为企业投入的初始费用，与采购的汽车数量有关，令每单位共享汽车采购成本为 ψ ，本研究设定共享汽车的车辆规模与停车位数量一致，故固定总成本为 $\sum \psi C_j P_j$ 。运营成本即由车辆使用产生的费用，定义车辆的运营成本与车辆行驶距离相关，单位距离产生的运营成本为 λ ，故每一次车辆使用产生的成本为 λL_{ij}^k 。

2) 网点建设成本为共享电动汽车网点的租金费用以及改造成本，定义每个备选网点的单位租金费用为 W_j ，与网点的停车位数量成比例，每个备选网点的停车位数量表示为 C_j ，所以每个网点的停车位租金总费用为 $W_j C_j$ 。改造成本主要包括充电桩等基础设施的建设费用，是企业最初投入的固定成本，一旦选择该停车网点，就会产生的费用 M_j ；

3) 对于车辆营运调度成本，考虑调度运营成本与车辆数量成比例关系，比例系数为 μ ，故调度运营费用为 $\mu \sum C_j P_j$ 。

由以上分析可知，共享汽车企业规划网点时需要考虑的总成本主要由网点改造成本和车辆采购成本组成，由此，企业固定总成本 C_1 为：

$$C_1 = \sum_{j \in J} \psi C_j P_j + \sum_{j \in J} M_j P_j \quad (3)$$

此外，共享汽车企业还需要承担每日运作所产生的运营费用 C ，由三部分组成，分别是车辆使用费用、网点的单日租金费用以及车辆调度费用，可由公式 4 表示：

$$C_2 = \sum \lambda L_{ij}^k + \sum_{j \in J} W_j C_j P_j + \mu \sum_{j \in J} C_j P_j \quad (4)$$

企业单日利润为企业单日收入减去企业单日成本，模型中的用户行驶费用即为企业单日收入，减去企业单日成本：

$$Z = \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} (\eta - \lambda) L_{ij}^k x_k - \sum_{j \in J} W_j C_j P_j - \mu \sum_{j \in J} C_j P_j \quad (5)$$

2.3.3 双目标函数的表达

共享汽车布局优化模型以“企业利润最大化”和“用户取还车最便捷”为目标，分别得到企业利润最大和用户取还车便捷度最高的两个目标函数，企业利润最大表达式为：

$$\max \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} (\eta - \lambda) L_{ij}^k x_k - \sum_{j \in J} W_j C_j P_j - \mu \sum_{j \in J} C_j P_j \quad (6)$$

用户使用共享汽车的便捷度最高的表达式为：

$$\min \sum_k f(L_{ij}^{k_0} + L_{ji}^{k_0}) \quad (7)$$

同时，本研究对于模型有以下约束条件：

1) 约束 1 是对于给定预算的约束，给定的预算为 G ，共享汽车企业需要投入的初始固定成本，由停车点改造费用和汽车购买费用构成；

2) 其次是对需求路径是否能够满足的约束，约束 2 表示这一次需求路径 k 的出发地和目的地均在共享汽车停车网点的覆盖范围内；

3) 约束 3 表示行驶距离大于覆盖半径；

4) 约束 4 表示模型总共有 m 个停车网被选择，最少有两个网点备选点被选择，且选择数量不能多于备选点数量 M ；

5) 约束 5 表示若备选点被选择，则其必然存在可用车辆，即服务半径大于零；

6) 约束 6 表示最少需要被满足的需求路径；

7) 约束 7 排除了当需求路径中的出发点和终点距离过近的情形；

8) 约束 8 表示备选网点和需求点均在路网节点 N ；

综合以上目标函数和约束，关于共享汽车停车网点布局优化的模型如下所示：

$$\begin{aligned} & \max \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} (\eta - \lambda) L_{ij}^k x_k - \sum_{j \in J} W_j C_j P_j - \mu \sum_{j \in J} C_j P_j \\ & \min \sum_k f(L_{ij}^{k_0} + L_{ji}^{k_0}) \end{aligned}$$

s. t.

$$\begin{aligned} & \sum_{j \in J} \psi C_j P_j + \sum_{j \in J} M_j P_j \leq G \\ & \max(L_{ij}^{k_0}, L_{ji}^{k_0}) < (L_{ij}^{k_0}, L_{ji}^{k_0}) P_j P_j \leq R_j + R_{j'} (i \neq j, j' \neq j) \\ & L_{ji}^{k_0} > R (j' \neq j) \\ & P_j = \{0, 1\} \\ & \sum_j P_j = m (2 \leq m \leq M) \\ & P_j R_j > 0, P_j = 1 \\ & k_{\min} \geq QK \\ & \forall (i, j) \in N \end{aligned}$$

2.4 模型求解

2.4.1 遗传算法设计

(1) 编码规则。遗传算法的解编码一般是二进制编码。由于共享汽车停放点模型中的需求点和备选点之间是有方向的路径连接。本文用需求矩阵来表示需求点、备选点之间的连接关系。

(2) 适应度函数值。本文利用适应性权重方法对多目标及其约束进行处理。针对共享汽车停车点布局优化模型,本研究令个体 k 的适应度函数值为 $F(k)$:

$$F(k) = f(k)r(k) \quad (8)$$

其中, $F(k)$ 表示多个目标函数的标准化加权形式; $r(k)$ 表示适应性罚函数。

$$f(k) = \sum_{i=1}^2 \lambda_i f_{ik}(x) \quad (9)$$

$$r(k) = 1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta b_{ik} f_{ik}(x)}{\Delta b_{ik, \max}} \right] \quad (10)$$

2.4.2 遗传算法的改进

与标准的遗传算法相比,本节做了如下的两点改进。

(1) 交叉操作。采用改进型交叉。对父代以适应度函数(目标函数)值进行排序,目标函数值小的与小的配对,目标函数值大的与大的配对。然后利用混沌序列确定交叉点的位置,最后对确定的交叉项进行交叉。这种单点交叉对原来的解改动很小,可以削弱避免遗传算法在组合优化应用中产生的寻优抖振问题,提高算法收敛精度。

(2) 变异操作。变异算子设计如下:首先根据给定的变异率(选为0.02),随机地取两个在 $2 \sim 101$ 之间的整数,对这两个数对应位置的基因进行变异,变异时利用混沌序列把这

两个位置的基因换成新的基因值,从而得到新的染色体。

3 模型的评价与改进

传统优化算法是从单个初始值迭代求最优解的,易误入局部最优解。而本文采用的遗传算法从串集开始搜索,覆盖面大,利于全局择优;遗传算法同时处理群体中的多个个体,即对搜索空间中的多个解进行评估,减少了陷入局部最优解的风险,同时易于实现并行化。

然而在共享汽车网点布局优化方面,本研究在考虑用户使用共享汽车费用时,仅考虑与行驶距离有关的费用,而现实中的共享汽车计费模式往往同时考虑时间和距离,关于共享汽车使用费率的参数设定需要进一步的讨论;另外遗传算法收敛速度慢、局部搜索能力差,需要控制的变量多,增加了工作的复杂度。

本文所建立的模型结构清晰而简单,实用性强,对数据进行归类统计后,能够可靠的反应结果,为构建的共享汽车布局和调度与该市汽车的实际行驶情况提供了一定的参考作用,该模型也可以用于解决其他相关性问题的。

参考文献:

- [1] 赵永全,朱兴和.共享新能源汽车分时租赁网点的选址优化分析[J].科技视界,2018(12):223-224.
- [2] 司守奎.孙兆亮.数学建模算法与应用[M].北京:国防工业出版社,2015.4 ISBN 978-7-118-10037-2.
- [3] 王静娜.共享电动汽车租赁网点选址和车辆调度联合优化研究[D].北京交通大学,2019.
- [4] 吴阳,杨晓芳,郑喆.基于改进型遗传算法的共享汽车停放点布局优化研究[J].物流科技,2017,40(12):78-82+91.

作者简介:

吴亚伦(2002.06.18—)男,满族,辽宁省沈阳市,学生,本科生。