

文章编号:1672-9331(2011)01-0020-05

出租车合乘路径选择与费率优化模型

周和平¹, 钟璧樯¹, 彭霞花², 夏西¹

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004; 2.株洲市规划设计院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 在现有的出租车合乘研究工作中,对合乘者的费用分担与路径选择基本不进行同时优化,且较少考虑驾驶员的收益.以公平性为原则,综合考虑驾驶员与出行者利益,以出行者时间费用成本最小为目标函数,以保障驾驶员合理收益为约束,构建出租车合乘路径选择与费率优化模型.并针对模型特点,设计相应的遗传算法对其进行求解.算例分析表明,模型计算的路径与费率能保障驾驶员和出行者双方的利益.

关键词: 出租车合乘; 路径选择; 混合整数规划; 遗传算法

中图分类号: U471.3

文献标识码: A

The route choice and rate optimization model of taxi-pooling

ZHOU He-ping¹, ZHONG Bi-qiang¹, PENG Xia-hua², XIA Xi¹

(1.School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 41004, China; 2.Zhuzhou Planning and Designing Institute, Zhuzhou 412007, China)

Abstract: In present researches on taxi-pooling, few model is adopted to optimize fare share and route choice simultaneously, and the driver earnings are not considered. In this paper, benefits of both sides are taken into account on the principle of equity. Taking the minimum time cost of travelers as an objective and the drivers' reasonable income as constraint, we establish a route choice and fare optimization model for taxi-pooling. According to the characteristics of the model, an algorithm is designed. Using an example, the model is tested and the result shows the rate and route choices can satisfy both sides.

Key words: taxi-pooling; route choice; mixed integer programming; genetic algorithm

由于能源的日益紧缺,在城市未来交通的发展中,需要注重提高城市道路的运输效率,节约能源消耗.出租车运输作为城市道路运输的一个重要组成部分,应该提高自身的运输效率,协助城市公交缓解城市交通压力.而鼓励推广出租车合乘模式,可以有效提高出租车的运输效率,相对于非合乘模式,在一定程度上提升了出租车的运力,能有效缓解城市出租车出行需求与供给的不平衡.

目前,国内外学者主要研究的是合乘的基本

理论,如:合乘的发展现状与趋势、组织模式等.对于合乘的许多方面都是定性的分析,丰富了车辆合乘理论^[1-4].虽然部分研究者对合乘做了定量的分析^[5],但对于合乘路径选择方面的研究,几乎都是针对一对多组织模式建立的数学模型,且考虑的因素与约束比较单一.对于模型的计算,主要采用启发式算法与贪婪式算法来解决车辆的行驶路径问题^[6-10].其次,对合成费用方面的研究内容比较少,基本上是采用固定的费率,如:每个乘客交

收稿日期:2011-02-20

基金项目:湖南省教育厅科研资助项目(08C105)

作者简介:周和平(1971-),男,湖北监利人,长沙理工大学副教授,主要从事交通规划与管理方面的研究方向.

付路程费用的百分之几十^[11], 这固然解决了费用的分摊, 但是没考虑合乘路径的绕行问题, 所以这种计费方式欠周全.

作者针对多起点到多终点的出租车合乘, 构建合乘模型, 综合考虑出行者与驾驶员的利益, 确定合理的路径选择与费率, 在保障系统整体效益的同时, 又不损害驾驶员的利益.

1 模型的建立

从系统最优的角度考虑, 模型应合理进行路径安排, 提高运输组织效率, 尽可能地降低所有出行者时间费用总成本, 并保障驾驶员收益. 因此以全部出行者时间费用总成本最低作为系统最优的目标, 以费率制定的合理性做为公平性指标.

1.1 目标函数

人们在出行中选择出租车作为出行方式, 主要是方便、快捷. 而在合乘时, 对于单个出行而言, 合乘时间消耗未必是最低, 但是对整体要保证全部合乘出行者的时间费用成本最低. 在合乘中主要是优化资源配置, 提高系统运行效率和服务水平, 使得系统资源效益最大化.

1) 时间成本.

目标函数中的时间成本由系统中全部合乘出行者的时间成本共同构成. 这里的时间成本主要是指车辆运行中的时间:

$$\sum_{k \in K} \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} \sum_{i \in G} \sum_{j \in G} x_{ij}^k t_{ij} q_{uv}^k. \quad (1)$$

式中: $k \in K$, K 表示车辆的集合; $u, v \in H$, H 为乘客各需求点的集合; $i, j \in G$, G 为路网中各节点的集合; t_{ij} 为 $(i-j)$ 的运行时间; q_{uv}^k 为 u 点上第 k 台车至 v 的客流量.

2) 总费用最小.

目标函数中的费用成本是指出行者乘坐出租车需要支付的费用. 但是在合乘时, 由于出租车搭

载多个乘客, 各个乘客出行目的各异, 合乘费用应由合乘者共同分担. 对于不同出行者需要制定不同的费率, 保障出行者之间的公平性.

$$\sum_{k \in K} \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} R_{uv}^k q_{uv}^k P_w; \quad (2)$$

$$P_w = r_0 (D_w - L_0) + C_0; \quad (3)$$

$$R_{uv}^k = f(D_w^{kr}, (D_w^{kr} / \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} D_w^{kr})),$$

$$N_k, (r_0 (\sum_{i \in G} \sum_{j \in G} x_{ij}^k D_{ij} - L_0) + C_0 N_k)); \quad (4)$$

$$D_w^{kr} = D_w^k - D_w. \quad (5)$$

式中: P_w 为常规出租车的价格; C_0 为起步价; L_0 为起步价公里数; r_0 为公里单价; D_w^{kr} 为第 k 辆车在需求点 $(u-v)$ 的绕行距离.

为了将两者统一起来, 设定一个时间费用转化系数 α , 通过转化系数 α 的转化, 最终构成以时间费用总成本为目标的目标函数:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{k \in K} \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} \sum_{i \in G} \sum_{j \in G} x_{ij}^k t_{ij} q_{uv}^k + \\ & \alpha \sum_{k \in K} \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} R_{uv}^k q_{uv}^k P_w. \end{aligned} \quad (6)$$

1.2 决策变量

1) 路径变量.

设 x_{ij}^k 为路径变量, 为 1 时, 表示第 k 台车经过边 $(i-j)$; 为 0 时, 表示不经过.

2) 费用变量.

设 R_w^k 为费用决策变量, 表示第 k 台车在 u 点上车到 v 点下车的乘客的合乘费率.

1.3 约束条件

1) 驾驶员收益约束.

合乘既要满足乘客的成本利益, 同时也要考虑驾驶员或运营者的盈利情况. 如果合乘只顾乘客利益而不顾运营者的盈利, 则驾驶员的积极性会被打消. 所以通过合乘, 驾驶员的收入情况至少要等于或者大于非合乘时的收入, 这样才能保证运营者的盈利, 促使合乘顺利实施.

$$\begin{cases} r_0 (D_k^0 - N_k^0 L_0) + C_0 N_k^0 \leq \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} R_{uv}^k q_{uv}^k P_w \\ \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} R_{uv}^k q_{uv}^k P_w \leq r_0 (\sum_{u \in H} \sum_{v \in H} D_w^k - N_k L_0) + C_0 N_k \end{cases}, \quad \forall k. \quad (7)$$

式中: N_k^0 为第 k 辆车在当前路径距离下非合乘载客人数; D_k^0 为第 k 辆车在当前路径距离下非合乘载客距离; N_k 为第 k 辆车接受预约的乘客总数;

D_w^k 为第 k 辆车经过需求点 $(u-v)$ 的距离.

2) 乘客合乘收益约束.

对于单个合乘出行乘客, 最后的总费用要低

于自己独自打车出行的费用,如果不能满足这一点,合乘对于乘客而言就没有明显的吸引力,同时还可能花费更多的时间成本.所以,每一辆车的每一位乘客在合乘时的费用要小于非合乘时的费用,即折扣率小于1:

$$R_w^k \leq 1. \quad (8)$$

3) 时间窗约束.

在车辆到达之前,乘客等待时间过长或者车辆未准时到达都会影响服务质量.目前乘客对服务要求越来越高,通过对时间的限制要求既能保证其服务质量,又能提高出租车的运输效率.所以,合乘车辆须满足乘客要求,在其要求的时间范围内到达乘客候车地点:

$$e_w \leq W_w^k \leq l_w, \quad \forall k. \quad (9)$$

式中: e_w 为出租车最早抵达时间; l_w 为出租车最晚抵达时间.

4) 运行时间约束.

合乘车辆在满足乘客时间要求的同时,在行驶过程中也需要高效快速地运行.即使车辆存在绕行,其行驶时间都不得超过规定的最长运行时间,只有这样才能满足快速的要求.同样,在出租车等待乘客的同时也提高了对乘客的要求,即等待时间不能过长,否则就会影响其后乘客的正常时间.车辆必须在下一乘客规定的等候时间内完成等待、载客等任务:

$$A_w^k \leq a_w; \quad (10)$$

$$B_j^k \geq (B_i^k + d_i + t_{ij})x_{ij}^k. \quad (11)$$

式中: A_w^k 为搭乘第 k 台出租车从 u 至 v 的运行时间; a_w 为最长运行时间; B_j^k 为第 k 台车在 j 载客点上的开始服务时间; d_i 为车在 i 点的停留时间.

5) 容量约束.

在车辆运行过程中,出租车的载客量为小于等于最大载客容量,所以在调度系统实行出租车的调度与管理的时候,要确定出租车剩余的载客容量.只有保证当前服务的情况下才能满足下一组乘客的需求:

$$Q_j^k \geq (Q_i^k + q_j^k)x_{ij}^k; \quad (12)$$

$$\max \{0, q_u^k\} \leq Q_u^k \leq \min \{Q_k, Q_k + q_u^k\}. \quad (13)$$

式中: Q_j^k 为第 k 台车从 j 出发时的载客量; Q_k 为出租车的最大容量.

6) 车辆合理路径约束.

车辆在运行过程中可以存在绕行,但是不允

许在一次服务中到达一个地点两次,即在所有需求点有且只能有一辆车访问一次:

$$\sum_j x_{ij}^k = 1, \quad \forall k; \quad (14)$$

$$\sum_j x_{ij}^k = \sum_i x_{ji}^k, \quad \forall k. \quad (15)$$

7) 可行域约束:

$$x_{ij}^k = \{0, 1\}. \quad (16)$$

1.4 数学模型

综上所述,其路径与费用的优化模型可以表达如下.

1) 目标函数为:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{k \in K} \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} \sum_{i \in G} \sum_{j \in G} x_{ij}^k t_{ij} q_w^k + \\ & \alpha \sum_{k \in K} \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} R_w^k q_w^k P_w. \end{aligned} \quad (17)$$

2) 约束条件为:

$$\begin{aligned} r_0 (D_k^0 - N_k^0 L_0) + C_0 N_k^0 \leq \\ \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} R_w^k q_w^k P_w, \quad \forall k; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \sum_{u \in H} \sum_{v \in H} R_w^k q_w^k P_w \leq \\ r_0 \left(\sum_{u \in H} \sum_{v \in H} D_w^k - N_k L_0 \right) + C_0 N_k, \quad \forall k; \end{aligned} \quad (19)$$

$$R_w^k \leq 1; \quad (20)$$

$$e_w \leq W_w^k \leq l_w, \quad \forall k; \quad (21)$$

$$A_w^k \leq a_w; \quad (22)$$

$$B_j^k \geq (B_i^k + d_i + t_{ij})x_{ij}^k; \quad (23)$$

$$Q_j^k \geq (Q_i^k + q_j^k)x_{ij}^k; \quad (24)$$

$$\max \{0, q_u^k\} \leq Q_u^k \leq \min \{Q_k, Q_k + q_u^k\}; \quad (25)$$

$$\sum_j x_{ij}^k = 1, \quad \forall k; \quad (26)$$

$$\sum_j x_{ij}^k = \sum_i x_{ji}^k, \quad \forall k; \quad (27)$$

$$x_{ij}^k = \{0, 1\}. \quad (28)$$

2 算法设计

由于出租车合乘问题是一个混合整数规划问题,涉及到的约束较多.一般的方法虽然能够对其求解,但往往结果不够理想.通常对于这样的 NP 问题,采用启发式算法容易编程求解.作者采用遗传算法,虽然计算时间比较长,但能够得到理想结果.

2.1 变量编码与遗传算子

采用实数编码的方式,编码主要是给出各辆

出租车经过需求点和需求点上客数量. 如图 1 所示, 每个初始解包含按照出租车顺序所排列的各个出租车所经过的出行需求点和搭载出行者人数. 如图 1 中的初始解 1, 第一行中的 2 表示出租车 1 经过 3 号需求点, 搭载 2 名出行者. 对于遗传算法中的选择计算, 采用轮盘赌的方式, 交叉计算采用两点交叉的方式, 变异采用单点变异的方式. 同时, 为了更好地求得最优解, 采用自适应交叉变异概率, 通过设定目标函数最大累计未变化代数, 提高交叉变异概率, 加速种群的进化, 避免陷入局部最优解.

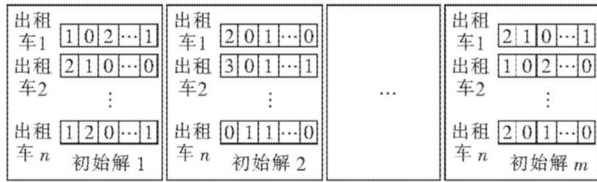


图 1 编码示意图
Fig. 1 Code diagram

2.2 约束处理

在计算中, 首先考虑容量约束, 如果该约束不满足, 则不需继续计算, 让该个体的适应度函数值直接排在最后一位. 其次要考虑公平性约束, 即驾驶员的收益约束与乘客合乘收益约束, 如果不能满足约束条件, 要对目标函数给予惩罚, 使其在进化过程中自动被淘汰掉. 而对于不能满足时间窗约束、运行时间约束以及车辆路径合理性约束的个体, 给予适当的惩罚.

2.3 算法步骤

步骤 1: 输入路网结构、路网特性以及出租车最初位置等基础数据.

步骤 2: 设置初始进化代数 $GEN=0$ 和累计目标函数未变化代数 $n=0$, 设置最大进化代数 GEN_{max} 和最大累计目标函数未变化代数 n_{max} , 并设定选择、交叉、变异概率和其他计算参数, 根据 OD 出行需求矩阵, 随机产生初始种群.

步骤 3: 利用 Floyd 计算最短路径, 确定个体中各辆出租车运行路径.

步骤 4: 判断个体方案是否满足约束条件, 如果不满足要给予目标函数惩罚.

步骤 5: 计算种群中各个个体目标函数以及适应度函数, 对比前后 2 次的目标函数, 如果相等, 则 $n=n+1$; 否则, $n=0$.

步骤 6: 运用轮盘赌方式进行选择操作, 如果 $n > n_{max}$, 则提高交叉和变异概率; 否则, 就按照初始设定交叉和变异概率进行交叉、变异操作, 更新种群.

步骤 7: 如果 $GEN=GEN_{max}$, 转到步骤 8; 否则, $GEN=GEN+1$, 转到步骤 3.

步骤 8: 结束, 输出结果.

3 算例分析

算例路网如图 2 所示. 设定现在网络中存在着 9 个出行需求点对 (如表 1 所示). 路网中有 3 辆出租车, 初始位置分别为 2, 6, 3. 出租车的起步价为 3 元, 起步距离为 1 km, 起步距离之后是每千米 1 元, 出租车运行速度为 40 km/h, 每台出租车最多载 4 位乘客. 设置初始交叉概率为 0.4, 变异概率为 0.1, 目标函数值累计进化 80 代中没变化, 将提高交叉变异概率.

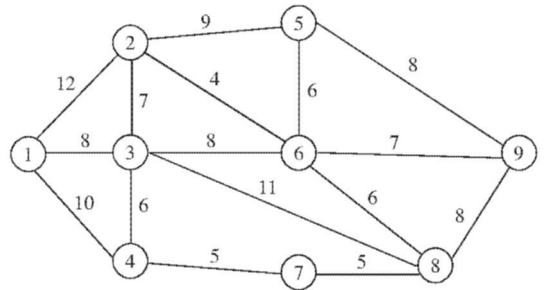


图 2 算例路网
Fig. 2 A test road network

表 1 OD 表

Table 1 The OD table

| 需求点对 | 乘客数量 | 需求点对 | 乘客数量 |
|------|------|------|------|
| 1-6 | 2 | 6-4 | 1 |
| 2-8 | 1 | 7-3 | 1 |
| 3-9 | 1 | 8-7 | 1 |
| 4-5 | 2 | 9-2 | 2 |
| 5-1 | 2 | | |

利用 Matlab 编程计算, 仿真过程如图 3 所示.

3 辆出租车经过网络路径的顺序如下.

出租车 1: 2-6-8-7-4-3-6-5;

出租车 2: 6-5-2-1-4-3-6;

出租车 3: 3-6-9-6-2.

合乘前后费用与距离对比结果如表 2 所示. 经过计算, 3 辆出租车在非合乘状态、行驶相同距

离的情况下,司机收入分别是 36, 51, 28 元;而在合乘状态下,司机收入为 36.54, 51.46, 28.50 元,相比分别增长了 0.54, 0.46, 0.5 元. 这表明合乘能够增加司机的收入.

对于社会来说,本来当前网络中有 9 个需求点,如果不采用合乘的方式,需要 9 辆出租车才能满足全部需求,而现在通过合乘,只采用了 3 辆出租车就能完成其出行,减少了 6 辆出租车的需求,节约了社会资源.

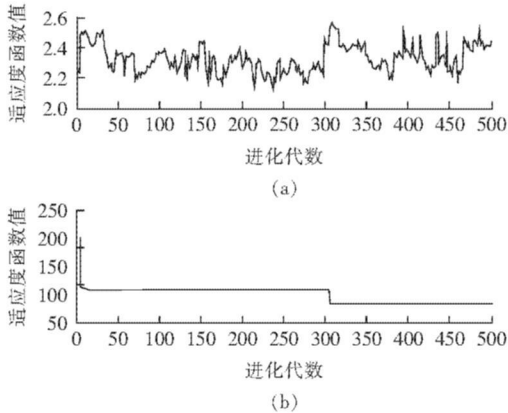


图3 算例仿真图

Fig. 3 Simulation test

表2 合乘前后费用与距离对比

Table 2 Comparison of cost and distance between taxi-pooling and traditional taxi service

| 乘客组 | 非合乘 费用/ 元 | 合乘后 费用/ 元 | 减少 费用/ 元 | 合成 后费 率 | 非合乘 行驶距 离/km | 合乘行 驶距离 /km | 增加的 距离/ km |
|-----|-----------------|-----------------|----------------|---------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 1-6 | 18 | 16.07 | 1.93 | 0.89 | 16 | 24 | 8 |
| 2-8 | 12 | 8.10 | 3.90 | 0.68 | 10 | 10 | 0 |
| 3-9 | 17 | 16.15 | 0.85 | 0.95 | 15 | 15 | 0 |
| 4-5 | 22 | 14.85 | 7.15 | 0.68 | 20 | 20 | 0 |
| 5-1 | 23 | 22.60 | 0.40 | 0.98 | 21 | 21 | 0 |
| 6-4 | 16 | 12.79 | 3.21 | 0.80 | 14 | 37 | 23 |
| 7-3 | 13 | 8.78 | 4.22 | 0.68 | 11 | 11 | 0 |
| 8-7 | 7 | 4.73 | 2.27 | 0.68 | 5 | 5 | 0 |
| 9-2 | 13 | 12.35 | 0.65 | 0.95 | 11 | 11 | 0 |

4 结论

作者综合考虑出行者与驾驶员的收益,在保证出行者合乘在时间费用可接受的范围内,制定合理费率,使驾驶员的收益比非合乘有所增加,以此来解决合乘费用问题.通过算例对比了乘客与驾驶员的合乘与非合乘的成本与收益,证明了合

乘的可行性与科学性,对出租车行业的管理具有指导价值与实际意义.

〔参考文献〕

- [1] Philip L Winters, Francis Cleland. Vanpool pricing and financing guide[D]. Florida: University of South Florida, 2001: 3-11.
- [2] Susan A Shaheen, Adam P Cohen, J Darius Roberts. Car sharing in north america: market growth, current developments, and future potential [J]. Institute of Transportation Studies, 2005(5): 4-6.
- [3] Catherine Morency. The ambivalence of ridesharing [J]. Transportation, 2007(34): 245-251.
- [4] Franz E Prettenhaler, Karl W Steininger. From ownership to service use lifestyle: the potential of car sharing[D]. Graz: University of Graz, 1998: 10-14.
- [5] 彭霞花. 出租车合乘的关键技术研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2009.
PENG Xia-hua. Study on the pivotal techniques of taxi-pooling [D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2009.
- [6] Matthew Barth, Michael Todd. Simulation model performance analysis of a multiple station shared vehicle system[J]. Transportation Research, 1999(6): 238-243.
- [7] Jean-Francois Cordeau Gilbert Laporte. A branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem [J]. Operations Research, 2006, 3(26): 573-586.
- [8] Jean-Francois Cordeau Gilbert Laporte. The dial-a-ride problem: models and algorithms [J]. Ann Oper Res, 2007(153): 29-46.
- [9] 边样, 王伟, 陆建. 城市出租车运营网络平衡模型 [J]. 交通运输工程学报, 2007(7): 93-98.
BIAN Yang, WANG Wei, LU Jian. Equilibrium model of urban taxi service network [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007(7): 93-98.
- [10] TAO Chi-chung, CHEN Chun-ying. Dynamic ride-share matching algorithms for the taxipooling service based on intelligent transportation system technologies [A]. International Conference on Management Science and Engineering [C]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007: 400-402.
- [11] 覃运梅, 石琴. 出租车合乘模式的探讨 [J]. 合肥工业大学学报, 2006(29): 77-79.
QIN Yun-mei, SHI Qin. Research on the combined-taxi mode [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2006(29): 77-79.