

文章编号:1672-9331(2020)02-0046-08

与共享单车相互竞争的响应型接驳公交的票价研究

王正武,谭海婷,刘 杰

(长沙理工大学 交通运输工程学院,湖南 长沙 410114)

摘 要: 研究了与共享单车相互竞争情况下响应型接驳公交的票价问题。首先构建了包含基础票价、乘客出行延误惩罚的收益模型,模型中响应型接驳公交、共享单车的基础票价分别是需求点到地铁站距离、租用时间的函数;然后分析了响应型接驳公交、共享单车相互竞争条件下的定价博弈过程,并构建了嵌套双层规划定价模型;最后基于灵敏度分析和遗传算法设计了求解算法。算例结果表明:本研究方法能有效地确定响应型接驳公交、共享单车的单位票价和客流分担率。单车运行时:响应型接驳公交单位票价为 0.8 元/km,分担率为 72.7%,共享单车单位票价为 1.2 元/0.5 h,分担率为 27.3%;双车运行时:响应型接驳公交单位票价为 0.5 元/km,分担率为 89.1%,共享单车单位票价为 1.5 元/0.5 h,分担率为 10.9%。与单车运行的响应型接驳公交相比,双车运行的响应型接驳公交的基础票价降低了 37.5%,分担的客流量增加了 22.5%,显著地增加了社会效益,但运营商的总收益显著减少,需政府增大财政投入;双车运行时共享单车的社会效益、运营商的总收益均显著减少,随着响应型接驳公交系统运行方式的改进,共享单车的竞争力有相对下降的趋势。

关键词: 交通工程;票价;响应型接驳公交;双层规划;博弈;共享单车

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

Pricing study on responsive feeder transit considering the competitive relationship with shared bikes

WANG Zheng-wu, TAN Hai-ting, LIU Jie

(School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: The pricing problem of Responsive Feeder Transit (RFT) considering the competitive relationship with shared bikes was studied. Firstly, the revenue model including basic fare and passenger travel delay penalty was constructed, in which the basic fare of RFT and shared bikes was the function of distance from demand point to transfer station and rental time, respectively. Then, the pricing game process under the condition of competition between RFT and shared bikes was analyzed, and a nested bi-level programming pricing model was constructed. Finally, a solution algorithm was designed based on sensitivity analysis and genetic algorithm. The results show that the proposed method can effectively determine the unit fare and passenger flow sharing rate of RFT and shared bikes. When running with single-vehicle RFT: the unit fare of RFT is 0.8 yuan/km, the sharing

收稿日期: 2019-11-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51678075);湖南省重点领域研发计划项目(2019SK2171)

通讯作者: 王正武(1973-),男,湖南长沙人,长沙理工大学教授,主要从事交通运输规划与管理方面的研究。

E-mail: zhengwu. wang@126. com

rate is 72.7%, and the unit fare of shared bikes is 1.2 yuan/0.5 h, the sharing rate is 27.3%; when running with double-vehicle RFT: the unit fare of RFT is 0.5 yuan/km, the sharing rate is 89.1%, and unit fare of the shared bikes is 1.5 yuan/0.5 h, the sharing rate is 10.9%. Compared with the single-vehicle RFT, the basic fare of the double-vehicle RFT is decreased by 37.5%, and sharing passenger flow of the double-vehicle RFT is increased by 22.5%. The double-vehicle RFT can significantly increase the social benefits. However, the total revenue of operators has been significantly reduced, which requires the government to increase financial input. The social benefits of shared bikes and the total benefits of the operators are significantly reduced in the case of double-vehicle operation mode. With the improvement of the operation mode of the RFT system, the competitiveness of shared bikes has a relatively declining trend.

Key words: traffic engineering; fare; RFT; bi-level programming; game; shared bike

响应型接驳公交(Responsive Feeder Transit, RFT)是一种需求响应公交(Demand Responsive Transit, DRT),其接驳车辆在服务区域内运行,为枢纽站附近的居民提供公交出行服务,是出行“最后一公里”问题的有效解决措施。目前对响应型接驳公交的相关研究主要集中在服务范围确定^[1,2]、服务性能^[3-5]、运行路径^[6-8]、车辆调度^[9-12]、站点选址^[13]、票价^[14-19]等方面。杨得婷^[14]从开通条件、票制票价、车辆配置等方面探讨了定制公交的定价及运营问题;肖鹏^[15]构建了定制公交双层规划定价模型,确定了不同乘客的最优票价;龚华炜等^[16]考虑定制公交与普通公交的竞争合作关系,构建了双矩阵定价博弈模型;黄琦^[17]考虑三种交通方式并存时的混合交通流分配问题,描述了定制公交票价水平对网络平衡配流和社会福利的影响;黄玮琪等^[18]分析了不同市场策略下的定制公交定价问题;孙建萌^[19]提出了基于分时段定价的定制公交双层规划定价模型;Gao等^[20]在 Dial-A-Ride(DAR)的动态路径与调度模型中考虑了票价对系统收益的影响;Pei等^[21,22]考虑灵活线路公交乘客支付意愿、站点动态评分及分级,进行了不同等级站点的差异定价;Furuhata等^[23]设计了一种需求响应公交用户比例在线成本的分摊机制;卞长志等^[24,25]、钟宇航^[26]、韦凌翔等^[27]分别探讨了特定方式内部、多方式间票价与客流的相互影响关系;高自友等^[28]、四兵锋等^[29]基于灵敏度方法分析了公共交通票价与客流量之间的相互影响关系。

迄今为止,国内外对需求响应公交的研究取得了一些成果,但仍存在以下几点不足:(1) 票价

的研究对象多为定制公交,很少涉及响应型接驳公交的票价研究,因响应型接驳公交与定制公交的服务对象、运行方式、竞争对手存在较大差异,定制公交的票制票价方法不适用于响应型接驳公交,需进一步研究响应型接驳公交的票制票价问题;(2) 需求响应公交的票制主要是一票制,忽略了乘客出行的个性化需求,如出行时间要求、时间窗要求、延误要求、舒适性要求等,而且不同出行距离的乘客被要求支付相同费用,社会公平性差;(3) 制定票价时没有充分考虑出行“最后一公里”问题的两种主要解决措施——响应型接驳公交和共享单车之间的竞争关系。

本研究针对上述不足,考虑基础票价、延误惩罚,分别构建响应型接驳公交、共享单车的收益模型;考虑出行“最后一公里”问题的两种主要解决措施——响应型接驳公交和共享单车(Shared Bike, SB)的相互竞争关系,基于博弈论构建两种方式相互竞争条件下的嵌套双层规划定价模型,从而科学合理地制定响应型接驳公交的票价,合理提高响应型接驳公交的分担率水平。

RFT系统、SB系统之间相互竞争共同确定各自的单位票价。在竞争环境下,RFT根据自身乘客需求量、SB乘客需求量和单位票价,调整自身的单位票价。RFT单位票价的调整将引起自身乘客需求量和SB乘客需求量的变化,SB根据这些变化调整单位票价。SB单位票价的调整又将引起自身乘客需求量和RFT乘客需求量、单位票价的变化,如此重复,直到均衡。

RFT系统、SB系统在进行单位票价调整时,

除了相互间的竞争外,各自内部的运营商和管理者也存在竞争。RFT 或 SB 系统的运营商均通过单位票价的调整使总收益最大,管理者均希望 RFT 乘客、SB 租赁者的总费用最小,因 RFT 和 SB 共同完成各需求点的所有出行需求,故系统管理者通过各需求点分担率的调整来达到系统总费用最小的目的(见图 1)。

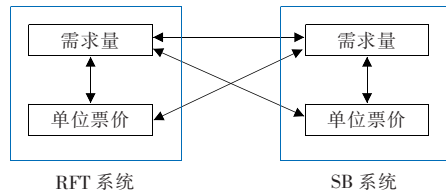


图 1 RFT 与 SB 的定价博弈过程

Fig. 1 Pricing game process between RFT and SB

根据上述分析,RFT 系统与 SB 系统之间及其内部的相互竞争关系均是非合作博弈关系,均可用双层规划模型来描述,二者之间及内部的相互竞争关系可用嵌套双层规划模型刻画(如图 2 所示)。二者之间的竞争关系由外层的双层规划模型表示,而内层的双层规划模型 I、II 分别表示 RFT 系统、SB 系统内部的竞争关系。

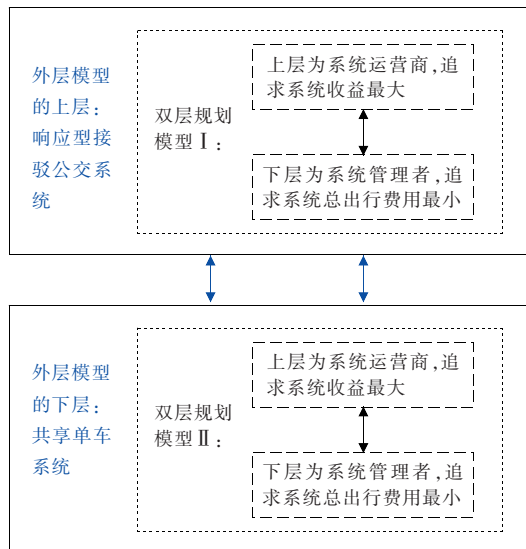


图 2 嵌套双层规划模型

Fig. 2 The nested bi-level programming model

1 与共享单车相互竞争的定价博弈模型

1.1 模型假设

为便于建模表示 RFT 系统、SB 系统之间及

其内部的博弈关系,本研究做如下假设:

1) 在 RFT 的服务范围内,RFT 和 SB 的总需求固定,而且仅考虑 RFT 与 SB 的相互竞争,双方都能及时准确地了解市场信息。

2) RFT、SB 的运营收入均来自票价,不包括政府财政补贴和其它商业行为等收入;SB 仅考虑时间计费收入,站点保有足够多的共享单车;RFT 仅考虑单位里程计费收入。

3) RFT 的需求均为预约需求,需求点的坐标、乘客时间窗均已知,乘客能准时到达需求点;每个需求点乘客的时间窗相同,时间窗不同的乘客分属不同的需求点;预约需求一旦被响应就不可取消,且乘客中途不许下车。

4) 服务区域内地铁站到需求点间车辆和单车的最短路径距离、运行速度均为定值。

5) 网络中的出行者在需求点可以选择 RFT 和 SB 两种交通方式到达换乘站。

6) 路网中有公交专用道和非机动车专用道,公交车和单车均走各自的专用道,因此公交与单车之间不存在流量间的相互影响。

1.2 模型构建

因出行者具有出行时间要求,如在出行过程中产生了时间延误,则应给予一定的补偿,即对运营商进行延误惩罚。因此,系统运营商的总收益是基础票价收入与需求点的延误惩罚、系统总运营费用之差。响应型接驳公交和共享单车运营商总收益 F_1 、 F_2 表示为:

$$F_1 = \sum_{i=1}^m (q_{1i} P_1 d_{1i} - T_{1i} \pi_1) - f_1. \quad (1)$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^m \left\{ q_{2i} (P_2 - c_2) \text{int} \left(\frac{d_{2i}}{T v_2} \right) \right\}. \quad (2)$$

式中: P_1 、 P_2 分别为 RFT 和 SB 的单位票价; q_{1i} 、 q_{2i} 分别为需求点 i 选择 RFT、SB 的乘客数; d_{1i} 、 d_{2i} 为需求点 i 的乘客分别选择 RFT 和 SB 到换乘站的最短路径距离; T_{1i} 、 π_1 、 f_1 分别为 RFT 系统需求点 i 乘客延误时间、延误时间惩罚系数、总运营费用; T 、 c_2 分别为 SB 系统的单位计费时间、单位计费时间的损耗成本; v_2 为单车的平均骑行速度; $\text{int} \left(\frac{d_{2i}}{T v_2} \right)$ 为取整函数。

出行者的路段出行费用采用广义出行费用函数,为出行时间、票价、舒适性的函数。因公交、单

车均在各自的专用道上通行,其出行阻抗的相互影响可以忽略,故 RFT 乘客、SB 骑行者的总出行费用 $U_1(q_1)$ 、 $U_2(q_2)$ 分别为:

$$U_1(q_{1i}) = \sum_i q_{1i} t_{1i} \xi + \sum_i q_{1i} d_{1i} P_1 - a \mu_1. \quad (3)$$

$$U_2(q_{2i}) = \sum_i q_{2i} t_{2i} \xi + \sum_i q_{2i} P_2 \text{int}\left(\frac{d_{2i}}{T v_2}\right) - a \mu_2. \quad (4)$$

式中: ξ 为出行者的时间价值系数; μ_1 、 μ_2 分别为 RFT、SB 的舒适度取值; a 为出行者舒适度的转换系数; t_{1i} 、 t_{2i} 分别为 RFT、SB 从需求点 i 到换乘站的车上时间、骑乘时间。

式(3)、(4)右边第 1 项为出行时间费用,第 2 项为票价费用,第 3 项为舒适性效用。

1) 双层规划模型 I。

图 2 所示的双层规划模型 I 是 RFT 系统运营商与管理者的博弈模型,其上层运营商根据出行需求分布和出行量决定单位票价和路径方案;下层管理者根据单位票价、出行时间、舒适性等调整各需求点的客流分担率,实现出行者总出行费用最小。若其他条件不变,流量与票价是负相关的,可用下式表示:

$$q_{1i} = q_{1i}^0 - \gamma_1 (P_1 - P_1^0).$$

式中: P_1^0 、 q_{1i}^0 、 γ_1 分别为初始票价及其对应的初始流量、调整系数,初始流量由下层模型决定。在 RFT 和 SB 相互竞争的情况下,分担率服从 logit 分布,则调整系数 γ_1 按如下规则确定: $\gamma_1 = \frac{\partial q_{1i}}{\partial P_1} \Big|_{P_1=P_1^0} = \frac{e^{P_1^0}}{(1+e^{P_1^0})^2} Q$, Q 为前往换乘站的乘客总数,本研究假定 Q 为定值。

反映 RFT 系统内部博弈关系的双层规划模型 I 可表示为:

上层模型:

$$\max F_1 = \sum_{i=1}^m \{ [q_{1i}^0 - \gamma_1 (P_1 - P_1^0)] P_1 d_{1i} - T_{1i} \pi_1 \} - f_1. \quad (5)$$

$$s. t. \quad P_1^{\min} \leq P_1 \leq P_1^{\max}. \quad (6)$$

式中: P_1^{\min} 、 P_1^{\max} 分别为 RFT 票价的下限、上限。

式(5)表示 RFT 运营商根据客流情况制定票价策略,尽可能获取最大利润。式(5)中的 T_{1i} 、 f_1 由 RFT 系统在 q_{1i}^0 已知条件下车辆路径优化模

型^[30]决定,而 q_{1i}^0 由下层模型根据 P_1^0 决定。

下层模型:

$$\min Z_1(q_{1i}^0) = U_1(q_{1i}^0) + U_2(q_{2i}^0). \quad (7)$$

$$s. t. \quad q_{1i}^0 + q_{2i}^0 = Q_i; \quad (8)$$

$$\sum_i Q_i = Q, \sum_i q_{1i}^0 = q_1^0, \sum_i q_{2i}^0 = q_2^0; \quad (9)$$

$$q_{1i}^0, q_{2i}^0 \geq 0. \quad (10)$$

式中: Q_i 为需求点 i 前往换乘站的乘客数; q_1^0 、 q_2^0 分别为选择 RFT 和 SB 前往换乘站的乘客数。

式(7)表示系统管理者通过流量调整,使乘客的广义出行费用最小。

2) 双层规划模型 II。

与上层规划模型 I 类似,图 2 所示的双层规划模型 II 可表示为:

上层模型:

$$\max F_2 = \sum_{i=1}^m \left\{ [q_{2i}^0 - \gamma_2 (P_2 - P_2^0)] (P_2 - c_2) \text{int}\left(\frac{d_{2i}}{T v_2}\right) \right\}. \quad (11)$$

$$s. t. \quad P_2^{\min} \leq P_2 \leq P_2^{\max}. \quad (12)$$

式中: P_2^{\min} 、 P_2^{\max} 分别为共享单车票价的下限、上限, $\gamma_2 = \frac{e^{P_2^0}}{(1+e^{P_2^0})^2} Q$ 。

式(11)表示共享单车运营商根据客流情况调整票价策略,尽可能获取最大利润。式(11)中的 q_{2i}^0 由下层模型根据 P_2^0 决定。

下层模型:

$$\min Z_2(q_{2i}^0) = U_1(q_{1i}^0) + U_2(q_{2i}^0). \quad (13)$$

$$s. t. \quad q_{1i}^0 + q_{2i}^0 = Q_i; \quad (14)$$

$$\sum_i Q_i = Q, \sum_i q_{1i}^0 = q_1^0, \sum_i q_{2i}^0 = q_2^0; \quad (15)$$

$$q_{1i}^0, q_{2i}^0 \geq 0. \quad (16)$$

3) 嵌套的双层规划模型。

上层模型:由式(5)~(10)所示的双层规划模型 I 构成。

下层模型:由式(11)~(16)所示的双层规划模型 II 构成。

其中,上层模型中的共享单车系统的流量 q_{2i}^0 和票价 P_2^0 由下层模型决定;下层模型中的 RFT 系统的流量 q_{1i}^0 和票价 P_1^0 由上层模型决定。

2 定价博弈模型的求解算法

上述嵌套双层规划问题是一类 NP-hard 问题,

不存在多项式求解算法。目前用于求解双层规划问题的方法主要有以下几种:库恩-塔克法、极点搜索法、下降法、直接搜索法、罚函数法以及非数值优化法。本研究结合模型特点,选用迭代法求解嵌套的双层规划模型,其求解流程如图3所示。

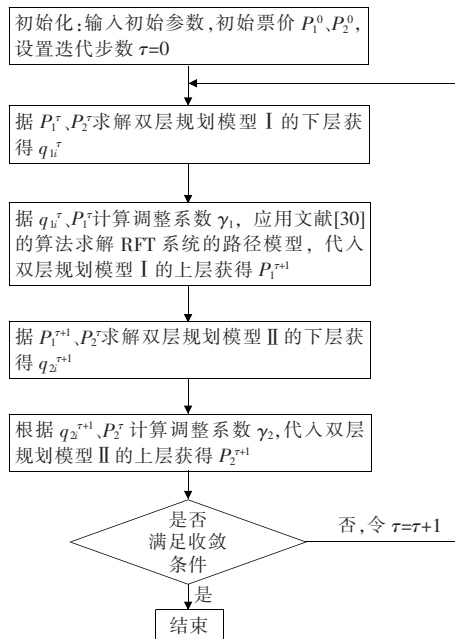


图3 求解流程
Fig. 3 Algorithm flow

图3中的收敛判断条件包括: $|P_1^{i+1}-P_1^i|\leq \zeta$, $|P_2^{i+1}-P_2^i|\leq \zeta$, 其中 ζ 为计算精度要求的正数。

3 案例分析

设研究时段为8:00~8:40,服务范围为半径3 km的圆形区域,地铁站O坐标为(3,2.5)。公交车为A型,额定载客数为20人,单位运输成本 C_1 为0.4元/km,启动成本 g 为3元,时间为5 s/人。共享单车单位运输成本 C_2 为0.3元/h,平均骑行速度 v_2 为6 km/h,单位票价上下限为[0.5元/0.5 h,1.5元/0.5 h], ξ 取0.35元/min, a 取2, π_1 取0.5元/min。服务区域共有随机分布在11个需求点内的55位出行者需要接驳服务,出行者通过RFT或SB到达地铁站。各需求点的坐标、出行者的预约时间见表1。

3.1 单车运行RFT与SB的博弈结果

当RFT系统中公交车仅1辆时,在上述出行者信息下,基于MATLAB编程求解嵌套双层规划模型,得到仅保有1辆A型车时的计算结果,见表2,3,6。

表1 出行者的相关信息
Table 1 Information of travelers

需求点	横坐标	纵坐标	到地铁站 距离/km	站点人数	预约上车 时间窗	预约下车 时间窗
1	3.07	1.24	1.3	6	[8:30,8:32]	[8:38,8:40]
2	0.64	3.39	2.5	4	[8:17,8:19]	[8:23,8:25]
3	4.57	3.79	2.0	5	[8:07,8:09]	[8:16,8:18]
4	3.16	3.72	1.2	7	[8:04,8:06]	[8:08,8:10]
5	1.49	1.96	1.6	6	[8:18,8:20]	[8:24,8:26]
6	1.39	3.28	1.8	5	[8:16,8:18]	[8:24,8:26]
7	2.73	0.86	1.7	5	[8:32,8:34]	[8:38,8:40]
8	4.23	3.53	1.6	4	[8:10,8:12]	[8:18,8:20]
9	1.82	2.26	1.2	6	[8:17,8:19]	[8:23,8:25]
10	1.49	0.98	2.1	4	[8:33,8:35]	[8:37,8:39]
11	3.55	1.23	1.4	3	[8:29,8:31]	[8:37,8:39]

3.2 双车运行RFT与SB的博弈结果

在上述出行者信息下,求解嵌套双层规划模型,得到RFT系统保有2辆A型车时的计算结果,见表4~6。

由表2~6可知,无论是考虑单车运行还是双

车运行的RFT系统,应用本研究的嵌套双层规划模型,均能获取相互竞争条件下RFT系统、SB系统的基础票价和客流分担率,说明了本研究方法和算法的有效性。与单车运行时相比,双车运行时RFT的基础票价降低了37.5%、车辆总运行时

表 2 单车运行时 RFT 的运行路径

Table 2 Running route of single-vehicle RFT

班次	发出时间	发出车型	发出车场—运行 线路—到达车场	返回时间
1	8:00	A	O-4-3-8-O	8:12
2	8:12	A	O-2-6-5-9-O	8:26
3	8:26	A	O-11-1-7-10-O	8:39

响应型接驳公交系统的总费用 $f=13.3$ 元
延误率=27%

表 3 单车运行时 RFT 的实际票价

Table 3 Actual fare of single-vehicle RFT

需求点	最短路径 离/km	基础票 价/元	需求点的延 误时间/min	实际票 价/元
1	1.3	1.0	0	1.0
2	1.7	1.4	1	0.9
3	2.0	1.6	0	1.6
4	1.2	1.0	2	0.0
5	1.6	1.3	0	1.3
6	1.8	1.4	0	1.4
7	1.7	1.3	0	1.3
8	1.6	1.3	0	1.3
9	1.2	1.0	1	0.5
10	0.9	0.7	0	0.7
11	1.4	1.1	0	1.1

表 4 双车运行时 RFT 的运行路径

Table 4 Running route of double-vehicle RFT

车辆编号	发出时间	发出车型	发出车场—运行 线路—到达车场	返回时间
1	8:00	A	O-4-3-O	8:10
2	8:07	A	O-8-6-2-5-9-O	8:24
1	8:26	A	O-11-1-7-10-O	8:36

响应型接驳公交系统的总费用 $f=12.1$

间减少了 5.1%、分担的客流量增加了 22.5%、延误率降低了 66.7%，有效地降低了 RFT 的客流分担率和票价，社会效益显著。但运营商的总收益降低了 16.9%，且运营商需要投入更多资金用于购买接驳车辆，因此需要政府加大财政投入用以补贴运营商。与单车运行时相比，双车运行时 SB 的基础票价虽然增加了 25.0%，但因分担的客流量大幅减少，导致运营商的总收益减少了 45.5%。

说明随着 RFT 系统运行方式的改进,SB 的竞争力相对下降,需要进一步提升 SB 的竞争力。

表 5 双车运行时 RFT 的实际票价

Table 5 Actual fare of double-vehicle RFT

需求点	最短路径 离/km	基础票 价/元	需求点的延 误时间/min	实际票 价/元
1	1.3	0.6	0	0.6
2	1.7	0.9	0	0.9
3	2.0	1.0	0	1.0
4	1.2	0.6	0	0.6
5	1.6	0.8	0	0.8
6	1.8	0.9	0	0.9
7	1.7	0.8	0	0.8
8	1.6	0.8	4	0.0
9	1.2	0.6	0	0.6
10	0.9	0.4	0	0.4
11	1.4	0.7	0	0.7

表 6 单车和双车运行时嵌套双层
规划模型计算结果的比较

Table 6 Comparison of results between single-vehicle
and double-vehicle RFT

运行方式	单位	单车运行	双车运行
公交车运行时间	min	39	37
RFT 分担的客流量	人	40	49
RFT 运营商的总收益	元	25.5	21.2
RFT 的基础票价	元/km	0.8	0.5
RFT 的延误率	%	27	9
SB 分担的客流量	人	15	6
SB 运营商的总收益	元	13.4	7.3
SB 的基础票价	元/30 min	1.2	1.5

4 结论

本研究构建了嵌套双层规划模型来研究响应型接驳公交系统、共享单车系统的博弈定价行为，构建了响应型接驳公交基于单位出行距离的、共享单车基于单位租赁时间的基础票价优化模型。算例结果表明：

1) 本研究构建的嵌套双层规划模型能有效地获取相互竞争条件下响应型接驳公交系统、共享

单车系统的单位票价和客流分担率,单车运行时:响应型接驳公交单位票价为0.8元/km,分担率为72.7%,共享单车单位票价为1.2元/0.5h,分担率为27.3%。双车运行时:响应型接驳公交单位票价为0.5元/km,分担率为89.1%,共享单车单位票价为1.5元/0.5h,分担率为10.9%。

2) 与单车运行相比,双车运行方式响应型接驳公交的基础票价降低了37.5%、分担的客流量增加了22.5%,有效地降低了响应型接驳公交的客流分担率和票价,获得了显著的社会效益,但需要政府加大财政投入用以补贴运营商。随着响应型接驳公交系统运行方式的改进,共享单车的竞争力相对下降,虽然大幅度增加了基础票价,但运营商的总收益仍显著降低,需进一步提升共享单车的竞争力。

3) 进一步的研究应是更多种出行方式竞争条件下,考虑拥挤影响的动态博弈定价问题。

〔参考文献〕

- [1] 芒烈. 面向轨道交通站点的需求响应型接驳公交系统调度方法[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
MANG Lie. Scheduling method of railway transit station oriented demand responsive connector system [D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [2] Chandra S, Quadrifoglio L. Critical street links for demand responsive feeder transit services[J]. Computers and Industrial Engineering, 2013, 66(3): 584-592.
- [3] Dessouky M, Rahimi M, Weidner M. Jointly optimizing cost, service, and environmental performance in demand-responsive transit scheduling[J]. Transportation Research Part D, 2003, 8(6): 433-465.
- [4] Engelen M V, Cats O, Post H, et al. Enhancing flexible transport services with demand-anticipatory insertion heuristics[J]. Transportation Research Part E, 2017, 110(1): 110-121.
- [5] Frei C, Hyland M, Mahmassani H S. Flexing service schedules: assessing the potential for demand-adaptive hybrid transit via a stated preference approach[J]. Transportation Research Part C, 2017, 76(3): 71-89.
- [6] Kirchler D, Calvo R W. A granular tabu search algorithm for the dial-a-ride problem[J]. Transportation Research Part B, 2013, 56(10): 120-135.
- [7] Schilde M, Doerner K F, Hartl R F. Integrating stochastic time-dependent travel speed in solution methods for the dynamic dial-a-ride problem[J]. European Journal of Operational Research, 2014, 238(1): 18-30.
- [8] 范文豪. 需求响应式接驳公交路径优化模型研究[D]. 南京: 东南大学, 2017.
FAN Wen-hao. Research on routing optimization model of demand-responsive connector [D]. Nanjing: Southeast University, 2017.
- [9] Lu X, Pan S, Zou N. Flexible feeder transit route design in complex road network[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016, 16(6): 128-134.
- [10] Rahimi M, Amirgholy M, Gonzales E J. System modeling of demand responsive transportation services: evaluating cost efficiency of service and coordinated taxi usage[J]. Transportation Research Part E, 2018, 112(4): 66-83.
- [11] 高煦明. 固定站点需求响应式接驳公交调度模型研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.
GAO Xu-ming. Research on dispatching system of demand-responsive connector with on-demand stations[D]. Nanjing: Southeast University, 2015.
- [12] 王正武, 易童翔, 高志波. 响应型接驳公交运行路径与车辆调度的协调优化[J]. 交通科学与工程, 2018, 34(1): 68-73.
WANG Zheng-wu, YI Tong-xiang, GAO Zhi-bo. Coordinated optimization of running route and vehicle scheduling for responsive feeder transit[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2018, 34(1): 68-73.
- [13] Razi I, Muhammad G U. Intelligent bus stops in the flexible bus systems[J]. Journal of Engineering Science & Technology Review, 2014, 7(4): 59-65.
- [14] 杨得婷. 定制公交票价制定与运营相关问题研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.
YANG De-ting. The study on issues related customized city bus fare and operation [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.
- [15] 肖鹏. 定制公交票价研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
XIAO Peng. Study on the fare of customized bus [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [16] 龚华炜, 靳文舟, 郝小妮, 等. 定制公交的博弈定价方法[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2017, 45(8): 70-76.

- GONG Hua-wei, JIN Wen-zhou, HAO Xiao-ni, et al. Customized bus pricing method[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2017, 45(8): 70-76.
- [17] 黄琦. 基于双层规划模型的定制公交票价制定研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- HUANG Qi. Customized city bus fare pricing based on bi-level programming model [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [18] 黄玮琪, 靳文舟, 黄靖翔, 等. 不同市场策略下的定制公交定价问题[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2018, 36(2): 8-17.
- HUANG Wei-qi, JIN Wen-zhou, HUANG Jing-xiang, et al. Pricing problem of customized bus under different market strategies[J]. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition, 2018, 36(2): 8-17.
- [19] 孙建萌. 城市定制公交定价分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- SUN Jian-meng. The analysis of fare setting of city customized shuttle bus [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.
- [20] Gao H, Oliver S, Hamid R. A scalable non-myopic dynamic dial-a-ride and pricing problem for competitive on-demand mobility systems[J]. Transportation Research Part C, 2018, 91(6): 192-208.
- [21] Pei M Y, Lin P Q, Liu R, et al. Flexible transit routing model considering passengers' willingness to pay [J]. Transportation Science & Technology, 2019, 13(5): 841-850.
- [22] Pei M Y, Lin P Q. Flexible transit scheduling model based on dynamic bus stops rating and differential tickets pricing[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science, 2018, 46(11): 150-156.
- [23] Furuhashi M, Daniel K, Koenig S, et al. Online cost-sharing mechanism design for demand-responsive transport systems[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 16(2): 692-707.
- [24] 卞长志, 陆化普. 城市轨道交通和常规公交的票价博弈研究[J]. 公路工程, 2009, 34(1): 49-51.
- BIAN Chang-zhi, LU Hua-pu. Analysis of price game between urban railway and bus[J]. Highway Engineering, 2009, 34(1): 49-51.
- [25] 卞长志, 陆化普, 尉欣欣. 城际铁路和公路长途客运的定价博弈[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(1): 184-189.
- BIAN Chang-zhi, LU Hua-pu, WEI Xin-xin. Price game between intercity railway and bus[J]. Journal of Transportation on Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(1): 184-189.
- [26] 钟宇航. 基于组合定价策略的城际铁路客票动态定价模型研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
- ZHONG Yu-hang. Research on the dynamic pricing model of intercity railway based on the combination of pricing strategy [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [27] 韦凌翔, 陈红, 蒋金亮, 等. 基于广义费用函数的高铁票价双层规划模型研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2015, 12(2): 250-256.
- WEI Ling-xiang, CHEN Hong, JIANG Jin-liang, et al. Study on bi-level programming model of high-speed rail fares based on generalized cost function[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2015, 12(2): 250-256.
- [28] 高自友, 四兵锋. 市场竞争条件下铁路旅客票价制定的模型与算法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2001(1): 50-55.
- GAO Zi-you, SI Bing-feng. Optimal model and solution algorithm for railway passenger-fare pricing in the market competition[J]. Journal of Transportation on Systems Engineering and Information Technology, 2001(1): 50-55.
- [29] 四兵锋, 高自友. 城市间公路客运的客票票价与其客流量之间的灵敏度分析[J]. 中国公路学报, 2000(2): 93-97.
- SI Bing-feng, GAO Zi-you. Sensitivity analysis for the relationship between highway prices and passenger demands for different services[J]. China Journal of Highway and Transport, 2000(2): 93-97.
- [30] 王正武, 宋名群. 多换乘点响应型接驳公交运行线路的协调优化[J]. 中国公路学报, 2019, 32(9): 164-175.
- WANG Zheng-wu, SONG Ming-qun. Coordinated optimization of operation routes for responsive feeder transit systems with multiple transfer points[J]. China Journal of Highway and Transport, 2019, 32(9): 164-175.