

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2020.02.016

考虑共享单车的城市轨道交通社区接驳 规划与公交调度综合优化

靳爽, 庞明宝

(河北工业大学 土木与交通学院, 天津 300401)

摘要: 共享单车的快速发展给城市交通系统带来了极大改变, 特别是在城市轨道社区接驳方面, 出行者可选择的接驳方式增多, 城市接驳服务水平也得到极大提高。但因此也出现了许多问题, 首先, 共享单车停靠点位置与停靠点规模未进行统一规划, 部分停靠点服务范围重叠, 共享单车占道现象频生。其次, 共享单车接驳方式的出现, 对现阶段存在的常规、通勤公交接驳产生了很大影响, 有关部门未就此现状进行一体化调整。针对以上问题, 提出确定共享单车停靠点、接驳公交线路规划和调度综合调整优化方法, 在有限可供选择的公交站、单车停靠点和容量限制的单车停靠点建立综合接驳规划和公交调度综合调整的双层规划模型, 其中上层为政府适当兼顾公交与共享单车企业利益追求出行者广义出行成本最小化规划模型, 下层为出行者在不同接驳方式中选择的 logit 模型。采用遗传算法优化求解, 以天津市地铁一号线瑞景新苑站的瑞景家园社区为例予以验证, 结果表明: 优化后广义出行成本降低 15.6%, 共享单车数量减少 41%, 公交企业收入提高 177 元, 通勤公交与轨道交通平均换乘时间 4.8 min。该方法可解决共享单车停放混乱和接驳公交困境问题, 降低出行者接驳成本, 最大限度方便出行, 提高接驳综合服务水平。

关键词: 城市交通; 城市轨道交通社区接驳规划; 遗传算法; 共享单车; 双层规划

中图分类号: U491.17

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2020)02-0123-07

Integrated Optimization of Community Connection Planning and Bus Dispatching for Urban Rail Transit Considering Shared Bicycle

JIN Shuang, PANG Ming-bao

(School of Civil and Transportation Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: The rapid development of Shared bicycle has brought great changes to the urban transport system, especially in connection planning of urban rail community. The ways of connection that travelers can choose have been increased, and the service level of urban connection has also been greatly improved. However, there are also many problems. First, the location and scale of the stops of shared bicycles are not unified planning, some of the service scope of the stops overlaps, and the phenomenon of shared bicycle occupying road is frequent. Second, the emergence of shared bicycle has a great impact on the existing routine and commuter bus connection at the present stage, relevant departments have not made integrated adjustment on the current situation. To solve the above problems, an integrated optimization method of setting the stops of shared bicycles, adjusting the plan and dispatch for the connection bus lines is proposed. A bi-level programming model of integrated connection planning and bus dispatching adjustment for bus stops with limited options, single vehicle stops and single vehicle stops with limited capacity is established. The upper level is the planning model that government gives due consideration to the interests of public transport

收稿日期: 2019-01-10

基金项目: 天津市交通运输科技发展计划项目(2018-36)

作者简介: 靳爽(1994-), 男, 河北石家庄人, 硕士。(Jinshuang1994@163.com)

enterprise and shared bicycle enterprise to minimize the total travelers' generalized cost. The lower level is the logit model for travellers to choose different connection modes. Genetic Algorithm is used to optimize the solution. The effect is verified by the example of Ruijing Jiayuan community at Ruijing Xinyuan station of Tianjin Metro Line 1. The result shows that the optimized generalized cost can be reduced by 15.6%, the number of shared bicycles can be reduced by 41%, the revenue of public traffic enterprise increased by 177 yuan, the average transfer time of the commuter bus and rail transit is 4.8 min. This method can solve the problems of random chaotic parking of shared bicycles and bus connection dilemma, reduce the cost of traveler connection, and enhance the convenience of travellers and improve the integrated connection service level utmost.

Key words: urban traffic; connection planning of urban rail transit station; genetic algorithm (GA); shared bicycle; bi-level programming

0 引言

近年来以共享单车为主的公共租赁自行车的快速发展,给市民短距离出行带来了极大便利,从而提高了城市综合出行效率和服务水平,而这一便利性在公交特别城市轨道交通社区接驳(微循环)中尤为明显。但仍存在一些问题:(1)停放场地与规模问题。虽然在城市交通特别是轨道交通社区接驳等规划中对自行车停放点予以考虑,但主要面向私人自行车,规模偏小且集中于大型公建场地,仅部分城市轨道交通站设置。而共享单车快速发展使其规模和影响远远超过规划时的预期,已有的停放场点远远不够,产生共享单车停放混乱(如大量占用人行道)等严重问题,特别是共享单车需求量较大的已有城区、中心城区。针对这一现象,一些城市政府、单车企业和相关利益各方,已对停放点进行了规划,如居民区和轨道交通站在已有可供使用的场地上设置专门停放点,但如何在从可供停放场地受约束的角度综合其他因素,进行统一的规划调整尚未深入。(2)对其他接驳方式影响。共享单车在轨道交通社区接驳中承担了大部分客流,分担比例高,常规接驳公交特别是社区通勤公交,面临着客流急剧下降收入减少的困境,若这些线路取消,给还需要公交出行的市民带来了很大不便。如何针对这些问题,以不影响和继续鼓励共享单车发展为前提,在已有城区社区接驳规划基础上,考虑到“自行车停放点设置是在有限可供选择的基础上进行,其规模、场地等不能影响其他必须的城市功能正常实现”这一实际和要求,结合客流需求时空特点,对接驳规划和调度进行一体化的调整(如通勤接驳公交汽车线路是否需要保留,若保留,线路和调度如何优化)成为一个迫切需要解决的问题。

理论研究分3部分:(1)轨道交通社区接驳规划^[1-8]。以需求响应式公交为主,以“追求乘客出行成本最小、公交出行量最大等为目标,建立以线路和站点布设为决策变量”的优化规划模型。这些是在尚未出现“共享单车”下的研究,自行车分担比例较少,不涉及共享单车停靠点设置,不涉及与汽车接驳公交调度的协同优化。(2)轨道交通接驳规划与公交调度综合优化^[9-11]。以公交站点、线网规划为主,包含发车调度规划的部分主要对发车间隔进行优化,未考虑与轨道交通发车结合。(3)公共自行车规划^[12-15]。包括站点设施规划、规模确定等,规划目标主要为停靠固定的有桩公共自行车,由于停放灵活的共享单车所占公共自行车比例达90%以上,规划方法与结论不完全适用,不涉及其他出行方式分担问题,不涉及与接驳公交调度协同优化;规划时未兼顾共享单车企业利润;没有和城市用地规划结合,即较少涉及“共享单车停放点设置需在已有可供选择用地基础上确定”。与单一选址模型和公交调度模型相比,双层规划模型具有“上层决策者目标的实现需考虑下层决策者策略”的博弈关系,该博弈关系与政府“根据出行者选择确定规划目标”的行为相符,同时也可进行多目标规划。基于此,本研究以城市轨道交通社区接驳为研究对象,建立综合接驳规划和汽车公交调度调整的双层规划模型,采用遗传算法(genetic algorithm, GA)优化求解,通过实例予以分析验证。

1 接驳规划与公交调度综合调整双层规划模型

政府作为城市轨道交通社区接驳规划主体和公交接驳调度的监督管理者,是在已有用地基础上调整规划选择可供使用的共享单车停靠点(容量受限)、选择社区公交线路和公交站,同时指导和协调

公交企业调度,追求社会效益最大化。而出行者在接驳规划和接驳汽车公交调度调整后,进行接驳出行方式和时间的重新选择,形成主从博弈,可用双层规划模型描述。其中参数含义为:

出行小区 i, i' , (分别代表早晚高峰,下同), 集合 N ; 候选通勤接驳公交站 m, m', v, v' , 集合 M ; 常规公交站 n ; 候选共享单车停靠点 e, e' , 集合 E ; 早、晚高峰时段 $[T_1, T_2], [T'_1, T'_2]$, 总时段 T ; 车辆 o , 研究时段发车总次数 O 。

变量: B_k^e 为共享单车停靠点 e 共享单车配属数量(辆)^[16]; h_{ie} 为从出行小区 i 到轨道交通站在共享单车停靠点 e 使用共享单车人数; $a_{b,k}$ 为自行车周转率(%); TA_{mo}, TL_{mo} 为车辆 o 到达、离开公交站 m 时间; TA_{vo} 为到达 m 站前一个选中站 v 时间; TS_{mo} 为车辆 o 在公交站 m 驻留时间(h); TS_{vo} 为车辆 o 在公交站 v 驻留时间(h); TR_{mvo} 为车辆 o 从公交站 m 到 v 行驶时间(h)。

决策变量: $y_m, y_{m'}$ 为 0-1 变量(分别代表早晚高峰,下同), 1 表示 m 站设为公交站, 否则不设; $a_e, a_{e'}$ 为 0-1 变量, 1 表示 e 点设为共享单车停靠点, 否则不设; $b_e, b_{e'}$ 为 0-1 变量, 1 表示共享单车停靠点 e 的单车配属数量小于容量则设站, 否则不设; $k_{io}, k_{io'}$ 为 0-1 变量, 值为 1 表示车辆 o 在 t 时刻发车, 否则不发车。

上层模型为:

$$\min C = \sum_T [\eta_1 \times (C_{bus} + C_{rbus} + C_{bike} + C_{walk}) + \eta_2 \times D_1 - \eta_3 \times P_b - \eta_4 \times P_v] \quad (1)$$

约束:

$$\sum_{m \in M} y_m \geq ZD_1, \quad \sum_{m \in M} y'_{m'} \geq ZD_1, \quad (2)$$

$$B_k^e = \sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{e \in E} \frac{h_{ie}^e}{a_{b,k}}, \quad (3)$$

$$\Delta B_k^e \leq ZD_2, \quad e \in E, \quad B_k^{e'} \leq ZD_2, \quad e \in E, \quad (4)$$

$$\sum_{e \in E} B_k^{e'} \leq ZD_3, \quad (5)$$

$$k_i^o \in \{0, 1\}, \quad t \in [T_1, T_2] \quad o \in O, \quad k_{i'}^{o'} \in \{0, 1\}, \quad t \in [T'_1, T'_2] \quad o \in O, \quad (6)$$

$$TA_m^o = TA_v^o + TS_v^o + TR_{mv}^o, \quad o \in O, m, v \in M, \quad (7)$$

$$TL_m^o = TA_m^o + TS_m^o, \quad o \in O, m \in M, \quad (8)$$

$$y_m \in \{0, 1\}, \quad m \in M,$$

$$a_e \in \{0, 1\}, \quad e \in E,$$

$$b_e \in \{0, 1\}, \quad e \in E, \quad (9)$$

$$y'_m \in \{0, 1\}, \quad m \in M,$$

$$a'_e \in \{0, 1\}, \quad e \in E,$$

$$b'_e \in \{0, 1\}, \quad e \in E, \quad (10)$$

$$\eta_1 > \eta_3 > \eta_4. \quad (11)$$

多目标问题可通过多种方式转化予以处理,本研究采用转化为单目标优化的方式,式(1)为具体目标,即最小化出行成本、调整通勤公交调度、兼顾企业利润。 $C_{bus}, C_{rbus}, C_{bike}, C_{walk}$ 分别为通勤公交、常规公交、共享单车、步行出行者出行成本, D_1 为通勤公交调度调整目标函数, P_b 为公交企业利润(或亏损), P_v 为共享单车企业利润(或亏损), ZD_1 为通勤公交站最小数量, ZD_2 为非轨道交通站共享单车停靠点容量, ZD_3 为轨道交通站共享单车停靠点容量, $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ 分别为各目标权重。

以下计算式以早高峰为例,晚高峰出行方向与早高峰相反,但各接驳方式的出行成本组成、通勤公交调度调整及利润计算与早高峰相同,因此可用相同计算式表示。

(1) 通勤公交出行者出行成本 C_{bus}

通勤公交出行者出行成本由前往公交站的步行成本、候车成本、乘车成本及乘车费用组成。其中 λ_1 为公交出行者时间价值(元/h), h_{im} 为早高峰 t 时从出行小区 i 到轨道交通站在通勤公交站 m 乘车人数, $D_{i,m}$ 为出行小区 i 出行者到通勤公交站 m 的步行距离, l_m 为通勤公交站 m 到轨道交通站的距离, V_{walk} 为步行速度, V_{bus} 为公交车速度, δ 为公交票价,计算见式(12)。

$$C_{bus} = \lambda_1 \left(\sum_{t \in [T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{m \in M} \frac{D_{i,m}}{V_{walk}} h_{im}^m y_m + \sum_{t \in [T_1, T_2]} \sum_{o \in O} \sum_{i \in N} \sum_{m, v \in M} (TL_m^o - TL_m^{o-1}) h_{im}^m y_m k_{io}^o + \sum_{t \in [T_1, T_2]} \sum_{o \in O} \sum_{i \in N} \sum_{m \in M} \frac{l_m}{V_{bus}} h_{im}^m y_m k_{io}^o \right) + \delta \sum_{t \in [T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{m \in M} h_{im}^m \quad (12)$$

(2) 常规公交出行者出行成本 C_{rbus}

常规公交出行者出行成本由前往公交站的步行成本、候车成本、乘车成本及乘车费用组成。其中, h_{in} 为早高峰从出行小区 i 到轨道交通站在常规公交站 n 乘车人数; $D_{i,n}$ 为第 i 个出行小区出行者到第 n 个常规公交站的步行距离; t_{wait} 为出行者乘坐常规公

交车平均候车时间; l_n 为第 n 个常规公交站到轨道交通站的距离。计算见式 (13)。

$$C_{rbus} = \lambda_1 \left(\sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{n=1} D_{i,n} h_i^n + \sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{n=1} t_{wait} h_i^n + \sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{n=1} \frac{l_n}{V_{bus}} h_i^n \right) + \delta \sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{n=1} h_i^n \quad (13)$$

(3) 共享单车出行者出行成本 C_{bike}

共享单车出行者出行成本由前往停靠点的步行成本、用车成本及用车费用组成。其中, λ_2 为共享单车出行者时间价值 (元/h), $D_{i,e}$ 为出行小区 i 出行者到第 e 个共享单车停靠点的步行距离 (m), l_e 为共享单车停靠点 e 到轨道交通站的距离 (m), V_{bike} 为共享单车速度 (m/h), u 为共享单车单次使用价格 (元), 计算见式 (14)。

$$C_{bike} = \lambda_2 \left(\sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{e \in E} \frac{D_{i,e} h_i^e a_e b_e}{V_{walk}} + \sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{e \in E} \frac{l_e}{V_{bike}} h_i^e a_e b_e \right) + u \sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{e \in E} h_i^e \quad (14)$$

(4) 步行出行者出行成本 C_{walk}

步行出行者出行成本由步行至轨道交通站的成本组成。其中, λ_3 为步行出行者时间价值 (元/h), l_i 为从出行小区 i 到轨道交通站步行出行者出行距离 (m), h_{iw} 为早高峰从出行小区 i 到轨道交通站步行出行人数, 计算见式 (15)。

$$C_{walk} = \lambda_3 \sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \frac{l_i}{V_{walk}} h_{iw} \quad (15)$$

(5) 通勤公交调度调整目标函数 D_t

通勤公交调度考虑公交出行者候车时间、乘车时间。计算见式 (16)。

$$D_t = \lambda_1 \sum_{t \in [T_1, T_2]} \sum_{o \in O} \sum_{i \in N} \sum_{m \in M} (TL_m^o - TL_m^{o-1}) h_{ii}^m y_m k_i^o + \lambda_1 \sum_{t \in [T_1, T_2]} \sum_{o \in O} \sum_{i \in N} \sum_{m \in M} \frac{l_m}{V_{bus}} h_{ii}^m y_m k_i^o \quad (16)$$

(6) 公交企业利润 (或亏损) P_b

$$P_b = \delta \left(\sum_{t \in [T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{m \in M} h_{ii}^m + \sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{n=1} h_i^n \right) - C_b, \quad (17)$$

式中 C_b 为通勤公交与常规公交运营成本 (元)^[10]。

(7) 共享单车企业利润 (或亏损) P_v

$$P_v = u \sum_{[T_1, T_2]} \sum_{i \in N} \sum_{e \in E} h_i^e - C_o, \quad (18)$$

式中 C_o 为共享单车运营成本 (元)^[13]。

式 (2) ~ (5) 为通勤公交站数量与共享单车停靠点单车配属数量约束。共享单车停靠点单车配属数量原则: 计算非轨道交通站停靠点单车配属数量

时, 应用早高峰各停靠点共享单车出行人数分别计算, 为便于调度管理, 各非轨道交通站停靠点单车配属数量统一, 为各停靠点中计算得最大配属车辆数, 计算轨道交通站停靠点单车配属数量时, 应用晚高峰共享单车出行总人数计算。

式 (6) ~ (8) 为通勤公交发车时刻约束。公交调度优化原则: 在考虑与站点设置协同优化的同时, 结合轨道交通时刻表, 即早高峰通勤公交到达轨道交通站时间与轨道交通发车时间、晚高峰通勤公交发车时间与轨道交通到达时间大致吻合。

式 (9)、(10) 为设站约束。通勤公交站选站原则: 由于通勤线路较短, 公交出行可通过其他出行方式替代, 所以候选通勤公交站点早晚高峰优化方案中均设站时此站点被选, 候选公交站点在早晚高峰优化方案中有一方案不设站此站点不被选。共享单车停靠点选站原则: 出于节省调度成本、单车出行利于环保等方面考虑, 只要在早晚规划方案中有一方案设立停靠点, 该候选停靠点即被选。

式 (11) 为权重约束。权重确定原则: 减少出行成本项权重最大, 政府在保证社会效益的同时应适当兼顾共享单车与公交企业利益, 且共享单车企业利益权重偏低。

下层模型为:

$$P_j = \frac{\exp(-\alpha c_j)}{\sum_j \exp(-\alpha c_j)}, j = \{bus, rbus, bike, walk\} \quad (19)$$

对于有多种接驳方式可选择的出行者而言, 其通常会选择总体费用最少的出行方式。该选择行为实际为多交通方式的交通划分问题, 可用求解速度快、应用方便的 logit 模型表示^[17-18]。因此, 基于广义出行成本最小化原则建立出行者下层 logit 模型, 出行者在通勤公交、常规公交、共享单车和步行 4 种出行方式中选择, 若选择通勤公交与共享单车出行, 在已设定的候选停靠点中选择。其中 P_j 为选择出行方式概率, c_j 为出行者以 j 方式出行的单位出行成本, 计算式见式 (19)。

2 GA 优化求解

考虑到本模型中上层决策变量有 0-1 变量, 采用 GA 求解, 步骤为:

Step1: 参数设置。设置种群大小、代沟、交叉、变异概率与最大迭代次数。确定适应度函数。其中 MM 为极大的数。

$$Fitness = MM - C. \quad (20)$$

Step2: 产生初始种群, 染色体编码。随机生成优化方案, 对于 0-1 变量 $y_m, y_{m'}, a_e, a_{e'}$, 1 表示设站点, 0 表示不设; 对于 0-1 变量 $b_e, b_{e'}$, 1 表示共享单车停靠点 e 的单车配属数量小于容量则设站点, 0 表示不设; 对于 0-1 变量 $k_i^o, k_i^{o'}$, 1 表示该时刻发车, 0 表示不发车。

Step3: 将上层模型求得的优化方案代入式 (19) 求解。

Step4: 将 Step3 求得的解代入式 (1) 求解并计算适应度值, 依据遗传算法选择、交叉、变异, 生成新种群。

Step5: 迭代。通过选择适应度最好的种群进行迭代, 得出的方案为最优值。

3 算例

3.1 算例说明

以图 1 所示的天津市地铁一号线瑞景新苑站的瑞景家园社区通勤时段 7:00—8:30 与 18:00—19:30 接驳为例, 以 0 所在点为基点, 横坐标 (x) 为西-东方向, 纵坐标 (y) 为南-北方向, 为使图像效果表达清晰, 略去相关道路, 部分节点属性如表 1 所示。该社区用地为居住区和少量商业附属, 通勤时间段绝大部分出行者为“需通过地铁瑞景新苑站上下班”的接驳乘客。现社区公交接驳包含一条通勤公交线路与两条常规公交线路, 其中通勤公交发车方式采用等时间间隔发车, 无法完全满足出行者迅速换乘需求, 部分停靠点配属数量过多。由于该区域由若干封闭出行小区组成, 共享单车不能进入,

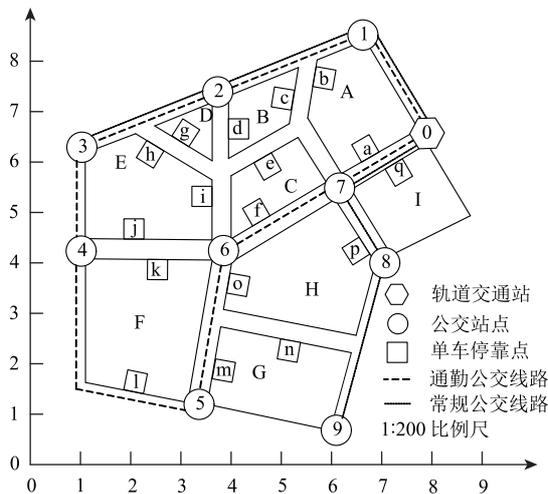


图 1 出行小区和可供选择的站点
Fig. 1 Trip area and alternative stations

共享单车停靠点位于出行小区出入口, 通勤线路为环线, 始发站和终点站均为轨道交通站, 线路长度为 5.2 km。0 为城市轨道交通站, 1~7 为候选通勤公交站点, 8、9 为常规公交站点, a~q 为候选共享单车停靠点, A-I 为出行小区, 通勤公交从轨道交通站出发按照 0-1-2-3-4-5-6-7-0 顺序运行, 常规公交线路按照 3-2-1-0、9-8-7-0 运行, 多出入口小区使用共享单车人数按出入口数量平均分配, 彼此不影响。

相邻两公交站点的最小距离和最大距离分别为 300 m 和 1 500 m, $ZD_1=3, ZD_2=30, ZD_3=80$ ^[16], $\lambda_1=12$ 元/h, $\lambda_2=12$ 元/h, $\lambda_3=10$ 元/h, 按照权重约束 $\eta_1:\eta_2:\eta_3:\eta_4=4:4:2:1$ 。

表 1 部分出行节点属性

Tab. 1 Features of partial trip nodes

公交 站点	站点坐标		单车停 靠点	停靠点坐标	
	西-东	南-北		西-东	南-北
0	7.907 3	6.587 9	a	6.618 9	6.248 5
3	1.027 9	6.293 0	j	2.064 1	4.689 1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
6	3.849 3	4.243 8	p	6.452 7	4.274 9
9	6.095 5	0.681 3	m	3.676 5	1.863 8

3.2 算例结果及分析

采用遗传算法进行优化求解, 其中 GA 参数: 种群 40, 代沟 0.8, 交叉概率 0.7, 变异概率 0.7, 最大迭代次数 200。双层规划中上层规划的种群均值变化和最优解的变化如图 2 所示, 上层目标函数值迅速达到最优。

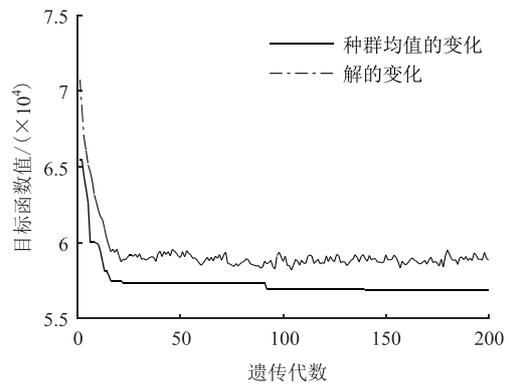


图 2 前 200 代上层目标函数最优值、均值的变化
Fig. 2 Change of optimal value and mean value of upper objective function before the 200th generation

优化后通勤公交站数量为 4 个, 通勤公交从轨道交通站出发按照 0-3-4-6-7-0 顺序运行, 共享单车停靠点数量为 13 个, 总出行成本为 17 602

元,减少3 259元。出行者进行优化后出行方式重现选择后:共享单车出行人数1 258人,减少163人;公交出行人数为960人,增加237人。共享单车企业利润为1 394元,减少398元;汽车公交企业利润为517元,增加177元。轨道交通站共享单车停靠点单车数量为75辆,非轨道交通站共享单车停靠点单车数量为15辆,总单车数减少188辆。优化后通勤公交站与共享单车停靠点如图3所示。表2为指标优化前后对比,表3为共享单车单车数量优化前后对比,表4为优化后通勤公交发车、抵达时刻。

表2 指标优化前后对比

Tab. 2 Comparison of indicators before and after optimization

	公交出行 人数/人	单车出行 人数/人	出行成 本/元	公交利 润/元	共享单车 利润/元
优化前	723	1 421	20 861	340	1 492
优化后	960	1 258	17 602	517	1 394
减少值	-237	163	3 259	-177	398

表3 部分共享单车停靠点优化前后对比

Tab. 3 Comparison of parking lots for partially shared bicycles before and after optimization

	0	b	c	f	g	...	p	q	总量
优化前	87	24	30	18	22	...	37	20	458
优化后	75	15	15	15	15	...	15	15	270
减少值	13	9	15	3	7	...	22	5	188

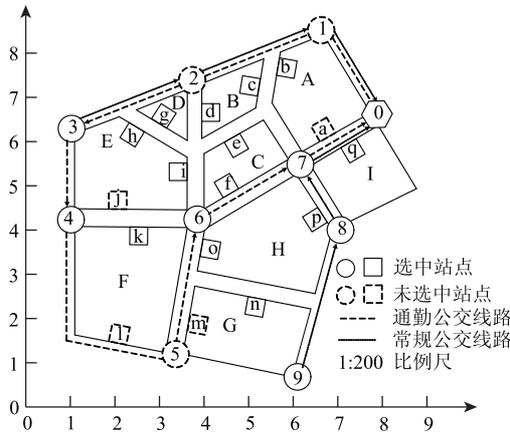


图3 优化后出行小区和站点

Fig. 3 Optimized trip area and stops

4 结论

通过对政府、企业、出行者的博弈分析,建立接驳规划与公交调度综合调整双层规划模型,模型中上层为政府追求社会效益,下层为出行者选择交通方式,从政府与出行者间的博弈关系出发,对共

表4 优化后通勤公交发车、抵达时刻表

Tab. 4 Optimized departure and arrival time schedule of commuter buses

车次	始发	抵达	地铁始发	车次	始发	抵达	地铁抵达
1	6:32	6:56	7:01	11	18:08	18:29	18:03
2	6:41	7:02	7:07	12	18:16	18:40	18:11
3	7:49	7:08	7:13	13	18:23	18:49	18:18
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
9	7:53	8:14	8:19	19	19:24	19:43	19:19
10	7:59	8:20	8:25	20	19:32	19:52	19:27

享单车停靠点及其规模,通勤公交站及其发车时刻表进行优化,全面考虑各目标,进行综合规划调整。最后以天津市地铁一号线瑞景新苑站的瑞景家园社区为例验证,优化后总出行成本降低3 259元,达15.6%;区域内共享单车减少188辆,达41.0%;公交企业利润提高177元;共享单车企业利润下降98元;通勤公交发车到站时刻与轨道交通到达时间大致吻合,平均换乘时间4.8 min。社会效益提高,并解决共享单车停放混乱、占地现象严重的问题。但本文只是共享单车下轨道交通接驳规划和调度的初步研究,尚需结合已有接驳大数据,对其动态需求数据挖掘、OD预测,进行接驳规划和调度的深入研究。

参考文献:

References:

[1] 许得杰,毛保华,雷莲桂,等.城市轨道交通大小交路列车开行方案优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17 (1): 120-126.
XU De-jie, MAO Bao-hua, LEI Gui-lian, et al. Optimization for Train Plan of Full-length and Short-turn Routing in Urban Rail Transit [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2017, 17 (1): 120-126.

[2] 熊杰,关伟,黄爱玲.社区公交接驳地铁铁路径优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2014, 14 (1): 166-173.
XIONG Jie, GUAN Wei, HUANG Ai-ling. Research on Optimal Routing of Community Shuttle Connect Rail Transit Line [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2014, 14 (1): 166-173.

[3] 刘华胜,赵淑芝,朱永刚,等.基于有效路径的轨道交通接驳线路设计模型[J]. 吉林大学学报:工学版, 2015, 45 (2): 371-378.
LIU Huai-sheng, ZHAO Shu-zhi, ZHU Yong-gang, et al.

- Feeder Bus Network Design Model Based on Effective Path [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2015, 45 (2): 371-378.
- [4] SZETO W Y, JIANG Y. Transit Route and Frequency Design: Bi-level Modeling and Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm Approach [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2014, 67: 235-263.
- [5] 柳伍生,周向栋,贺剑,等.基于多需求响应的定制公交绿色线网优化[J].公路交通科技,2018,35(3):132-142.
- LIU Wu-sheng, ZHOU Xiang-dong, HE Jian, et al. Optimization of Green Customized Public Transport Network Based on Multiple Demand Response [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development 2018, 35 (3): 132-142.
- [6] 陈源.轨道交通接驳的社区公交线路优化研究[D].重庆:重庆交通大学,2017.
- CHEN Yuan. Research on Community Bus Route Optimization of Rail Transit Connection [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2017.
- [7] 龚晓芳.现代城市轨道交通站点地区规划研究[D].西安:长安大学,2009.
- GONG Xiao-fang. Research on Regional Planning of Modern Urban Rail Transit Stations [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [8] 朱震军.城市微型公交需求特性分析及线路站点规划方法研究[D].西安:长安大学,2015.
- ZHU Zhen-jun. Analysis of Demand Characteristics of Urban Minibus and Route Site Planning Method [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015.
- [9] ZHANG J, LI W Q. Bi-level Programming Model and Algorithm for Optimizing Headway of Public Transit Line [J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2010, 26 (3): 471-474.
- [10] 张思林.城市轨道交通接驳公交线网规划与运营方案优化方法研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- ZHANG Si-lin. Approaching Feeder Bus Network Design and Operating Scheme Linked with the Urban Rail Station [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.
- [11] 庞明宝,张思林,李春霞.城市公交站设置双层规划[J].公路交通科技,2013,30(3):118-124.
- PANG Ming-bao, ZHANG Si-lin, LI Chun-xia. Bi-level Programming of Urban Bus Stop Locating [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30 (3): 118-124.
- [12] 孙文霞,赵晓娟,马晓静.基于复杂网络理论的互联网租赁自行车-公交系统站的优化配置[J].公路交通科技,2018,35(10):111-116.
- SUN Wen-xia, ZHAO Xiao-jian, MA Xiao-jing. Optimal Configuration of Station of Internet Rental Bicycle-transit System Based on Complex Network Theory [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2018, 35 (10): 111-116.
- [13] LIN J R, YANG T H. Strategic Design of Public Bicycle Sharing Systems with Service Level Constraints [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2011, 4 (47): 284-294.
- [14] ERDOGAN G, BATTARRA M, CALVO R W. An Exact Algorithm for the Static Rebalancing Problem Arising in Bicycle Sharing Systems [J]. European Journal of Operational Research, 2015, 245 (3): 667-679.
- [15] KADRI A A, KACEM I, LABADI K. A Branch-and-bound Algorithm for Solving the Static Rebalancing Problem in Bicycle-sharing Systems [J]. Computers & Industrial Engineering, 2016, 95: 41-52.
- [16] 朱从坤,韩晓玉,何承韡.基于城市轨道交通接驳的公共自行车租赁点规模确定方法[J].城市轨道交通研究,2018,21(9):23-25,31.
- ZHU Cong-kun, HAN Xiao-yu, HE Cheng-wei. On the Scale of Public Bicycle Rental Point Based on Rail Transit Connection Mode [J]. Urban Rail Transit Research, 2018, 21 (9): 23-15, 31.
- [17] GENTILE G. New Formulations of the Stochastic User Equilibrium with Logit Route Choice as an Extension of the Deterministic Model [J]. Transportation Science, 2018, 52 (6): 1297-1588.
- [18] 张新洁,关宏志,赵磊,等.有限理性视野下出行者出行方式选择分层Logit模型研究[J].交通运输系统工程与信息,2018,18(6):110-116.
- ZHANG Xin-jie, GUAN Hong-zhi, ZHAO Lei, et al. Nested Logit Model on Travel Mode Choice under Boundedly Rational View [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18 (6): 110-116.