

【交通物流 / Transportation Logistics】

公共卫生事件下的通勤合乘路径规划方法

柳伍生¹, 李旺¹, 周清¹, 曾青², 刘天意¹

1) 长沙理工大学交通运输工程学院, 湖南长沙 410114; 2) 长安大学运输工程学院, 陕西西安 710064

摘要: 在重大公共卫生事件下, 为减小暴露风险, 通勤者愿意在所能接受范围内, 采用互助合乘的方式前往工作地点. 针对通勤合乘路径规划问题, 构建整数线性规划模型, 在使尽可能多的通勤者合乘配对成功的前提下, 减少前往公司的总路程距离. 提出一种改进的模拟退火算法, 加入路径交换和节点插入操作, 对无限制合乘、不合乘及限制合乘3种场景进行案例仿真, 并测试了接送者所能接受的最大行驶距离和最大绕行距离在不同组合下的合乘效果. 结果表明, 不同场景下所设计的通勤合乘模型均能达到较高成行率, 并同时减少总路程距离. 当最大绕行距离大于10 km, 最大行驶距离大于30 km时, 除远离接送范围的搭乘者外, 案例中90%以上节点都能完成合乘配对. 研究结果有助于在重大公共卫生事件持续期, 保证员工安全出行, 提高公司通勤效率.

关键词: 交通工程; 通勤合乘; 路径规划; 模拟退火算法; 重大公共卫生事件; 新型冠状病毒肺炎疫情

中图分类号: U491; TP39

文献标志码: A

DOI: 10.3724/SP.J.1249.2023.05546

Commuting rideshare route planning method under public health events

LIU Wusheng¹, LI Wang¹, ZHOU Qing¹, ZENG Qing², and LIU Tianyi¹

1) School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, Hunan Province, P. R. China

2) College of Transportation Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi Province, P. R. China

Abstract: Considering the major public health events, in order to reduce the exposure risk, commuters are willing to go to the work places by mutual assistance and rideshare within an acceptable range. Aiming at the problem of commuter rideshare route planning, we construct an integer linear programming model to reduce the total driving distance of commuters to the company on the premise of successful ridesharing and pairing commuters as many as possible. We propose an improved simulated annealing algorithm by adding path exchange and node insertion operations, and then conduct case simulations for three scenarios: unlimited rideshare, non-rideshare, and restricted rideshare, and test the maximum travel distance and maximum detour distance that pickers could accept, as well as the rideshare effect under different combinations. The results show that in different scenarios, the designed commuter ride-sharing model can achieve a higher commuting rate and reduce the total driving distance at the same time. When the maximum detour distance is greater than 10 km and the maximum travel distance is greater than 30

Received: 2022-07-26; **Accepted:** 2022-10-20; **Online (CNKI):** 2023-04-03

Foundation: Natural Science Foundation of Changsha (kq2202211); Research Foundation of Education Bureau of Hunan Province (21A0202); Hunan Provincial Social Science Achievement Review Committee Project (XSP2023GLC090); Postgraduate Scientific Research Innovation Project of Changsha University of Science & Technology (CXCLY2022025)

Corresponding author: Associate professor LIU Wusheng (lwusheng@163.com)

Citation: LIU Wusheng, LI Wang, ZHOU Qing, et al. Commuting rideshare route planning method under public health events [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2023, 40(5): 546-553. (in Chinese)



km, more than 90% of the nodes in the case can complete the ride-sharing pairing, except for passengers who are far away from the pick-up range. The research results help to ensure safe travel of employees and improve the commuting efficiency of the company during the duration of major public health events.

Key words: traffic engineering; commuting rideshare; route planning; simulated annealing algorithm; major public health event; corona virus disease 2019 (COVID-19) epidemic

2020年初, 因为人员的大量聚集和流动, 突发的新型冠状病毒肺炎迅速蔓延至中国多地, 地方政府启动重大突发公共卫生事件1级响应, 停产停工, 防止病毒进一步扩散. 在重大公共卫生事件影响下, 日常出行存在暴露风险^[1], 为避免接触传播, 许多出行者降低了公共交通工具的乘坐频率, 现有数据也表明, 疫情持续期间公共交通客流量相比于2020年以前有明显下降, 出行者普遍担心人流汇集可能造成交叉感染^[2], 这也给通勤者出行带来了巨大挑战. 在疫情的防控过程中, 如何减少通勤人员的接触和流动, 同时保证正常的通勤出行, 使公司正常运转, 一直是公共卫生事件下的研究热点.

吴娇蓉等^[3]在对中国上海复工人员通勤群体的调查中发现, 70%以上的通勤者愿意与同单位员工合乘出行. 合乘, 也即“拼车”、“顺风车”^[4], 指多位乘客自愿共同搭乘同一车辆前往同方向目的地, 由于合乘者上车位置存在不确定性, 路线规划是其核心问题之一^[5]. GUPTA等^[6]基于最小合乘距离, 使用 k 森林近似算法求解此路径问题. ASCHENER等^[7]则考虑了1对多的合乘问题, 以最小完成时间为目标, 分析了多种拼车合乘算法. WAISANEN等^[8]为使乘客等待时间最小, 基于先到先服务策略进行路径规划, 有效减少了动态合乘的匹配延迟时间. ZHENG等^[9]通过对乘客的绕行距离和等待时间进行限制, 使合乘服务平台利润更高. 相对于乘坐出租车而言, 合乘能更好地降低出行成本, 提高社会效益, 但现有的合乘研究大多针对出租车^[10-11]和网约车^[12].

在合乘的应用场景上, 研究发现, 出行者更愿意接受熟人之间的合乘^[13]. 汤黎明等^[14]为促进邻里合乘模式, 针对现有拼车问题提出建议, 推动社区合乘向全民化、常态化发展. ERDOĞAN等^[15]以大学校园为背景, 采用有序logit模型对通勤数据进行分析, 认为居住距离、停车成本、应用程序、匹配偏好和服务灵活性都会显著影响乘车人的乘车倾向. MA等^[16]考虑多种交通工具的衔接合乘问题, 认为当出行需求较高时, 合乘可以大量缩短出行时

间. 由于上班工作的规律性, 且同公司人员间相对熟悉, 合乘能较好应用于通勤出行^[17].

目前, 针对公共卫生事件下的通勤合乘路径规划研究较少. 同单位员工对于通勤合乘存在较高意愿, 这有利于提高合乘配对的成功率. 同一单位内人员的健康状态较为稳定, 单位人员间合乘出行, 可以有效减少外部传染. 本研究以合乘成行率为目标, 构建整数线性规划模型, 尽可能让更多通勤者配对成功. 考虑到通勤者的实际情况, 常规合乘基于经济利益, 司机能够花费足够的时间来接送乘客, 但通勤合乘与常规合乘不同, 接送者不可能花费大量的自身时间来免费服务于搭乘者, 因此, 接送者会存在一定限度的最大行驶距离和绕行距离. 采用改进的模拟退火算法求解合乘模型, 并对接送者的最大行驶距离和绕行距离进行灵敏度分析, 以研究在不同限度下通勤者的合乘情况.

1 数学模型

1.1 问题描述

在重大公共卫生事件下, 出行者更重视安全问题, 通勤者采取自愿合乘方式, 其成本效益相对较低^[18]. 在同公司的通勤合乘中, 所有通勤者存在相同的目的地, 但并非所有通勤者都拥有私家车, 且出行起始点位置各不相同, 拥有车辆的人员(接送者)需在车辆容量限制内, 满足自身最大行驶距离和绕行距离的情况下, 接送对应的无车人员(搭乘者), 接送者和搭乘者合乘同一车辆前往目的地. 通勤者在公司的统一组织下, 能够实现每天实时动态匹配, 定时统计能够参与合乘的人员, 通过模型快速规划好合乘路径, 便于参与者提前了解自己的合乘情况和路线, 并及时做出安排, 减少不必要的等待.

根据问题描述, 本研究做如下假设: ①所有节点位置已知; ②接送者和搭乘者数量已知, 且前往地点相同; ③接送者均拥有车辆, 且所有车辆车型相同, 容量已知; ④接送者所能接受的最大行驶距离和绕行距离已知; ⑤搭乘者均提前等

待车辆到来, 不考虑搭乘者的上下车时间.

1.2 参数说明

模型中使用的参数定义如下: C 为所有节点集合, C_1 为接送者集合, $C_1 = \{1, 2, \dots, n\}$, n 为接送点总数; C_2 为搭乘者集合, $C_2 = \{n+1, n+2, \dots, n+m\}$, m 为搭乘点总数; $C = \{1, 2, \dots, n, \dots, n+m, N\}$, N 为节点总数; C_3 为公司节点集合, $C_3 = \{N\}$; d_{ij} 为节点 i 到节点 j 的距离; Q 为车辆最多乘坐人数; D_i 为接送者所能接受的最大行驶距离; D_r 为接送者所能接受的最大绕行距离; t_{ih} 为节点 i 在车辆 h 中的行驶顺序; D 为总路程距离; P 为总搭载人数; x_{ij} 为决策变量, 当车辆从节点 i 行驶至 j 时, $x_{ij} = 0$, 当车辆未从节点 i 行驶至 j 时, $x_{ij} = 1$.

1.3 模型构建

本研究构建的多目标模型如下.

目标函数为

$$\min D = \sum_{i \in C} \sum_{\substack{j \in C \\ i \neq j}} x_{ij} d_{ij} \quad (1)$$

$$\max P = \sum_{i \in C} \sum_{\substack{j \in C \\ i \neq j}} x_{ij} \quad (2)$$

约束条件为

$$t_{jh} - t_{ih} \leq 1 + (m+1)(1 - x_{ij}), \forall i, j \in \{C: i \neq j\}, \quad (3)$$

$$\forall h \in \{C_1: h \neq j, h \neq i\}$$

$$t_{jh} - t_{ih} \geq 1 - (m+1)(1 - x_{ij}), \forall i, j \in \{C: i \neq j\}, \quad (4)$$

$$\forall h \in \{C_1: h \neq j, h \neq i\}$$

$$0 \leq t_{ih} \leq Q, \forall i \in C_2, \forall h \in \{C_1: h \neq i\} \quad (5)$$

$$t_{Nh} \geq 2, \forall h \in C_1 \quad (6)$$

$$t_{ih} \leq t_{Nh}, \forall i \in C_2, \forall h \in \{C_1: h \neq i\} \quad (7)$$

$$t_{ih} = 1, \forall i, h \in \{C_1: h = i\} \quad (8)$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{\substack{j \in C \\ i \neq j}} (t_{jh} - t_{ih}) x_{ij} d_{ij} \leq D_i, \forall h \in C_1 \quad (9)$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{\substack{j \in C \\ i \neq j}} (t_{jh} - t_{ih}) x_{ij} d_{ij} - d_{hN} \leq D_r, \forall h \in C_1 \quad (10)$$

$$\sum_{\substack{j \in C \\ i \neq j}} x_{ij} = 1, \forall i \in C_1 \quad (11)$$

$$\sum_{\substack{i \in C \\ i \neq j}} x_{ij} = 0, \forall j \in C_1 \quad (12)$$

$$n \leq \sum_{\substack{i \in C \\ i \neq N}} x_{iN} \leq n + m \quad (13)$$

$$\sum_{\substack{j \in C \\ i \neq j}} x_{ij} \leq 1, \forall i \in C_2 \quad (14)$$

$$\sum_{\substack{i \in C \\ i \neq j}} x_{ij} \leq 1, \forall j \in C_2 \quad (15)$$

$$\sum_{\substack{i \in C \\ i \neq h}} x_{ih} = \sum_{\substack{j \in C \\ i \neq h}} x_{hj}, \forall h \in C_2 \quad (16)$$

$$N = n + m + 1 \quad (17)$$

$$C = C_1 \cup C_2 \cup C_3 \quad (18)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in C \quad (19)$$

其中, 式(1)为最小化总路程距离; 式(2)为最大化合乘搭载人数. 在满足尽可能多的人员合乘配对成功前提下, 减少车辆前往公司的总行驶路程. 约束条件(3)至式(10)确保所有节点的合乘路线顺序一致. 其中, 式(3)和式(4)保证各节点在合乘过程中前后顺序一致; 式(5)表示每辆车的合乘人数不会超过车辆的最大容量; 式(6)保证所有车辆必定前往公司; 式(7)确保搭乘者不会作为合乘中经过的最后 1 个节点; 式(8)表示接送者必定为对应合乘路线的第 1 个节点; 式(9)保证每辆车的合乘总距离不会超过接送者所能接受的最大行驶距离; 式(10)保证每辆车的合乘绕行距离不会超过接送者所能接受的最大绕行距离.

约束条件(11)至(16)对决策变量做出限制. 其中, 式(11)和式(12)保证接送者所在节点车辆只出不入; 式(13)表示所有接送者和搭乘者均需前往公司; 式(14)和式(15)表示进出搭乘者所在节点不会超过 1 次; 式(16)保证搭乘者所在节点出入流量守恒. 式(17)和式(18)表示所有节点的集合包括接送点、搭乘点以及公司所在节点. 式(19)给出决策变量的取值范围.

2 模型求解方法

合乘问题已被证明属于非确定性多项式难(nondeterministic polynomial - hard, NP-hard)问题, 求解过程异常复杂. 模拟退火算法基于物理中固体物质退火过程, 其计算过程简单、鲁棒性较强、通用性较好, 适用于并行处理和求解较为复杂的非线性优化问题, 能够较好求解通勤合乘问题. 但缺点是执行时间长, 收敛速度相对较慢, 对问题优化的初始条件要求较高. 因此, 本研究设计一种改进的模拟退火(simulated annealing, SA)算法, 通过对算法的解空间和变换进行设计, 以提高算法的求解性能.

2.1 解的空间

由于不同类型节点的出入会受到严格限制, 且接送点只出不进, 公司只进不出, 决策变量为稀疏

矩阵, 存在大量0元素. 为提高解码效率, 构建新的解空间 X_{ij} 为

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} [E]_{n \times n} & [x_{i(j-h)}]_{(n+m) \times (m+1)} \\ [t_{ih}]_{(m+1) \times n} & [O]_{1 \times (m+1)} \end{bmatrix}_{N \times N} \quad (20)$$

其中, E 为单位矩阵; O 为零矩阵.

2.2 求解步骤

步骤1 设置控制参数. 初始温度 $T_{\text{start}} = 1000$; 结束温度 $T_{\text{end}} = 0.001$; 链长 $L = 200$; 降温速率 $q =$

0.9.

步骤2 解的空间初始化, 生成初始解 S_i .

步骤3 编码和解码. 采用整数编码, S_i 记录了节点 i 的下一节点编号, 通过解码映射到对应的解空间 X_{ij} . 以包含2个接送者、6个搭乘者, 共9个节点的 $C = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ 为例, 其随机生成的 $S_i = \{8, 7, 4, 9, 9, 9, 3, 5, 0\}$ (为消除子回路, 限制 $S_i \neq i$, 且 $S_N = 0$), 编码和解码过程如图1.

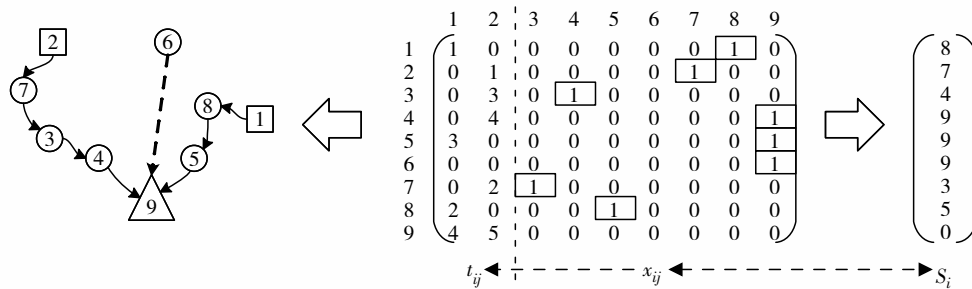


图1 编码和解码过程示意

Fig. 1 Encode and decode process. Taking the $C = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ with 9 nodes including 2 pickers and 6 passengers as an example.

步骤4 路径交换. 将任意2个非0元素的数值进行交换, 使对应的路径接送顺序互换. 以图1中 S_i 交换 $i = 3$ 和 $i = 5$ 为例, 交换后 $S_i = \{8, 7, 9, 9, 4, 9, 3, 5, 0\}$, 其解码后路径如图2(a).

步骤5 节点插入. 取 $S_i = 9$ 的元素, 将其值修改为 S_i 中不包含的 $n + 1$ 至 $n + m$ 的数值, 使未参与合乘的搭乘者能够加入到其他路径中. 以图1中 S_i 修改 $S_5 = 6$ 为例, 修改后 $S_i = \{3, 7, 4, 9, 6, 9, 8, 5, 0\}$, 其解码后路径结果如图2(b).

步骤6 解变换得到新解 S'_i , 根据 Metropolis 准则判断是否接受新解.

步骤7 重复步骤3至步骤6, 直至达到最大链长.

步骤8 降温. 判断当前温度是否小于结束温度, 是则停止迭代, 输出当前最优解.

3 算例分析

在 $50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$ 的空间范围内, 以35个节点的数据集进行算例分析, 其节点坐标如表1, 取前15个节点为接送者所在节点, 使用 Matlab R2019a 编程计算.

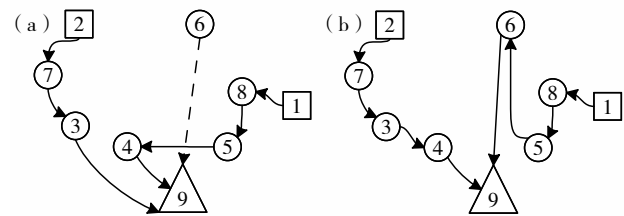


图2 (a)路径交换及(b)节点插入后的更新解

Fig. 2 Update solution after (a) route exchange and (b) node insertion.

3.1 案例仿真

为验证本研究通勤合乘路径模型的可行性, 取车辆最多乘坐人数 $Q = 5$, 分别设置了3种不同场景.

场景1 无限制合乘, 即接送者所能接受的最大行驶距离和最大绕行距离无限制, 接送者不计成本, 在搭载容量限制内, 愿意接送所有搭乘者.

场景2 不合乘, 即接送者所能接受的最大绕行距离为0 km, 所有接送者均不愿意参与合乘.

场景3 限制合乘, 取接送者所能接受的最大行驶距离 $D_l = 40 \text{ km}$, 最大绕行距离 $D_r = 15 \text{ km}$, 即接送者愿意在一定范围内接送搭乘者.

采用设计算法进行求解, 并与传统 SA 算法进行比较, 3种场景的迭代结果如图3, 最小行驶路

表1 算例节点坐标

Table 1 Case node coordinates

序号	x/km	y/km	序号	x/km	y/km	序号	x/km	y/km	序号	x/km	y/km	序号	x/km	y/km
1	27.5	41.0	8	0	20.0	15	4.0	22.5	22	2.5	2.5	29	7.5	40.0
2	18.0	5.0	9	42.5	17.5	16	31.0	40.0	23	26.5	21.5	30	12.5	15.0
3	19.0	7.5	10	12.5	42.5	17	21.0	7.5	24	45.0	17.5	31	18.5	23.5
4	10.0	40.0	11	13.5	21.5	18	43.0	32.5	25	29.0	37.5	32	15.5	26.0
5	46.0	15.0	12	5.0	20.0	19	32.5	17.5	26	11.0	37.5	33	23.5	23.5
6	30.0	42.5	13	47.5	15.0	20	32.5	42.5	27	36.0	17.5	34	20.5	18.5
7	43.5	15.0	14	2.5	22.5	21	21.0	2.5	28	9.0	37.5	35	20.0	25.0

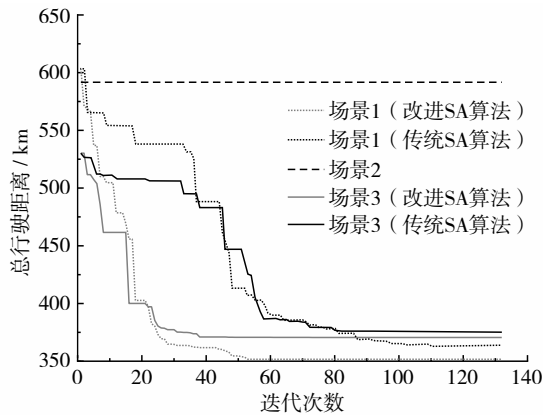


图3 改进SA与传统SA算法在3种场景的迭代结果

Fig. 3 Iterative results of improved SA algorithm in non-restricted rideshare scenario (gray dotted line) and restricted rideshare scenario (gray solid line). Iterative results of traditional SA algorithm in non-restricted rideshare scenario (black dotted line) and restricted rideshare scenario (black solid line). Iterative results of improved SA and traditional SA algorithm in non-rideshare scenario (black dashed line).

径如图4, 仿真结果分别如表2至表4.

由图3可见, 改进SA算法及传统SA算法均能在几秒内给出计算结果, 改进SA算法在迭代40次后趋于稳定, 而传统SA算法在迭代80次后才趋于稳定. 改进SA算法在不同场景下的求解结果均优于传统SA算法, 并能很好跳出局部最优解, 提高了求解效率. 由于场景2严格限制了合乘配对, 所有通勤者均不参与合乘, 直接前往公司, 改进SA算法的路径结果与传统SA算法一样, 总路程距离不变.

表2至表4中的总路程距离为所有通勤者前往公司路径距离之和, 接送者路程距离和搭乘路程距离分别在括号中给出. 可见, 场景1下所有搭乘者均能参与合乘, 配对成功率最高, 其中, 有8位接送者搭载了至少1位搭乘者, 但8号接送者在搭载3位搭乘者后, 其绕行距离占其行驶距离的55.39%,

表2 场景1合乘行驶路径

Table 2 Unlimited rideshare scenario rideshare driving route

序号	行驶路径	路径距离/km	绕行距离/km	绕行比例/%	总路程距离 ¹⁾ /km
1	1→35	17.67	0	0	
2	2→21→17→34→35	26.44	6.34	23.97	
3	3→35	17.53	0	0	
4	4→29→28→26→35	22.82	4.79	20.99	
5	5→27→33→35	27.98	0.12	0.44	
6	6→20→16→25→35	24.02	3.86	16.09	
7	7→19→23→35	25.87	0.33	1.29	351.62 (351.62 + 0)
8	8→22→30→31→35	46.21	25.60	55.39	
9	9→35	23.72	0	0	
10	10→35	19.04	0	0	
11	11→35	7.38	0	0	
12	12→35	15.81	0	0	
13	13→24→18→35	42.86	13.60	31.73	
14	14→32→35	18.07	0.40	2.19	
15	15→35	16.19	0	0	

1) 括号内分别为接送者路程距离和搭乘路程距离.

导致8号接送者的上班路程增加了1倍. 与之相反, 场景2中所有通勤者均选择不参与合乘, 独自前往公司, 成行率为0. 场景3中大部分搭乘者均参与合乘, 而由于18和22号节点与其他节点的距离相对较远, 在有限行驶距离和绕行距离条件下, 无法得到接送者响应. 随着合乘人数增加, 总路程距离逐渐下降, 因此, 本研究设计的通勤合乘模型有助于重大公共卫生事件中的通勤效率提高.

表3 场景2合乘行驶路径

Table 3 Non-rideshare scenario rideshare driving route

序号	行驶 路径	路径距 离/km	绕行距 离/km	绕行比 例/%	总路程 距离 ¹⁾ /km
1	1→35	17.67	0	0	
2	2→35	20.10	0	0	
3	3→35	17.53	0	0	
4	4→35	18.03	0	0	
5	5→35	27.86	0	0	
6	6→35	20.16	0	0	
7	7→35	25.54	0	0	591.70
8	8→35	20.62	0	0	(296.58 +
9	9→35	23.72	0	0	295.13)
10	10→35	19.04	0	0	
11	11→35	7.38	0	0	
12	12→35	15.81	0	0	
13	13→35	29.26	0	0	
14	14→35	17.68	0	0	
15	15→35	16.19	0	0	

1) 括号内分别为接送者路程距离和搭乘路程距离。

表4 场景3合乘行驶路径

Table 4 Restricted rideshare scenario rideshare driving route

序号	行驶 路径	路径距 离/km	绕行距 离/km	绕行比 例/%	总路程 距离 ¹⁾ /km
1	1→35	17.67	0	0	
2	2→21→ 17→34→35	26.44	6.34	23.97	
3	3→30→ 31→35	22.45	4.92	21.92	
4	4→29→ 28→26→35	22.82	4.79	20.99	
5	5→27→ 23→35	28.00	0.14	0.50	
6	6→20→ 16→25→35	24.02	3.86	16.09	370.44 (317.74 + 52.7)
7	7→19→35	25.86	0.32	1.23	
8	8→35	20.62	0	0	
9	9→33→35	23.73	0.02	0.07	
10	10→35	19.04	0	0	
11	11→35	7.38	0	0	
12	12→35	15.81	0	0	
13	13→24→35	29.64	0.37	1.26	
14	14→32→35	18.07	0.40	2.19	
15	15→35	16.19	0	0	

1) 括号内分别为接送者路程距离和搭乘路程距离。

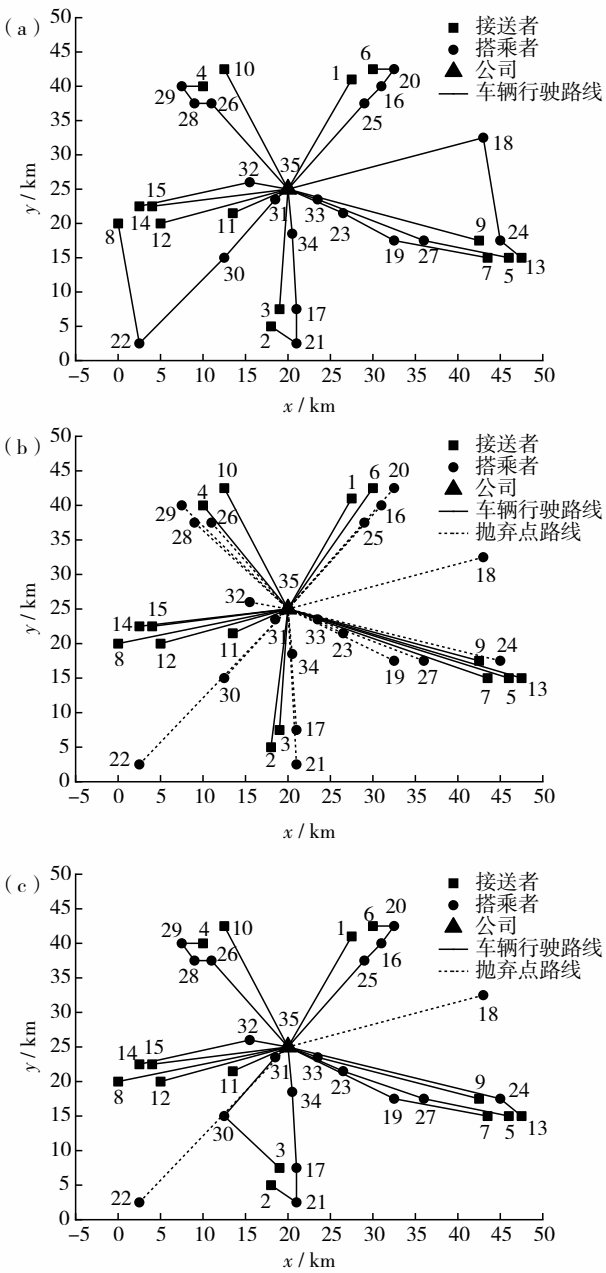


图4 (a)场景1、(b)场景2及(c)场景3的行驶路径
Fig. 4 Driving routes of (a) non-restricted rideshare scenario, (b) non-rideshare scenario, and (c) restricted rideshare scenario.

The square indicates the picker, the circle indicates the passenger, the triangle indicates the company, the solid line indicates the vehicle driving route, and the dotted line indicates the abandoned node route.

3.2 灵敏度分析

考虑到合乘效果会受到接送者所能接受的最大行驶距离和最大绕行距离的影响, 取最大行驶距离为30、60、90、120、150 km, 最大绕行距离为0、10、20、30、40 km进行模型灵敏度分析, 测试20 (5×4)种组合下的合乘效果. 合乘配对结果中未搭

载的人数如图 5(a), 总路程距离如图 5(b).

由图 5 可见, 未搭载人数和总路程距离均在最大绕行距离为 0~10 km 时迅速下降, 与表 2 和表 4 的结果相符. 大部分车辆的绕行距离均小于 10 km, 接送者会在限制范围内, 优先接送“顺路”节点和附近节点, 以达到更高成行率, 同时降低总路程距离. 由图 5(a) 可见, 随着接送者的限制放宽, 未搭载的人数不断下降, 更多搭乘者得到车辆配对. 而在图 5(b) 中, 总路程距离存在一定起伏, 在接送者可接受范围内, 合乘过程会优先满足搭载人数最大化, 即使总路程距离会有所增多, 在满足尽可能多的人员合乘配对成功后, 才会选取前往公司总行驶路程最少的合乘方案.

综合 3.1 与 3.2 节分析来看, 当最大绕行距离

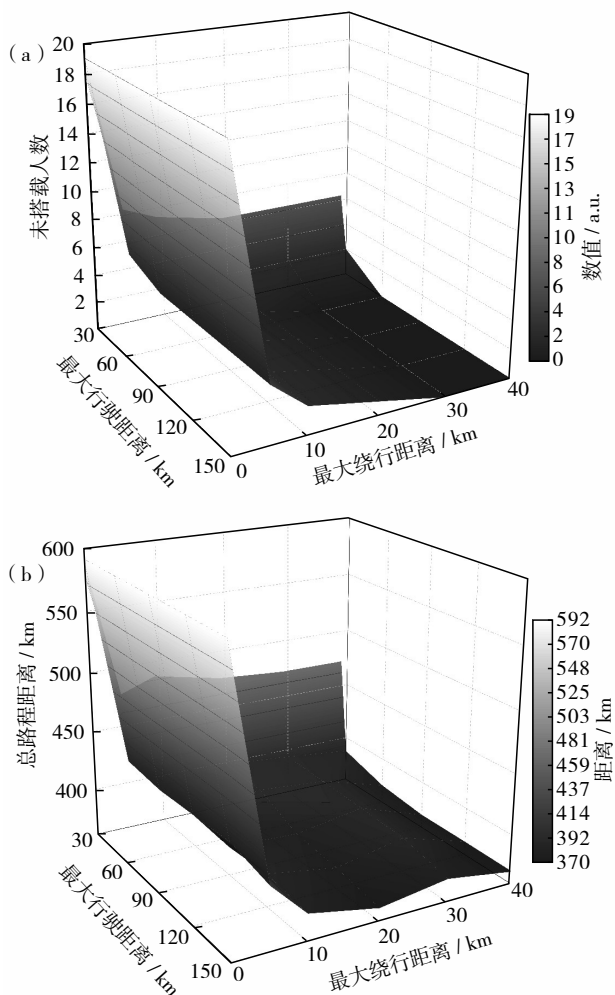


图 5 不同最大行驶距离和最大绕行距离组合下的合乘效果 (a) 未搭载人数; (b) 总路程距离

Fig. 5 Rideshare effect under different combinations of maximum travel distance and maximum detour distance. (a) Number of passengers not picked and (b) total distance.

$D_r \geq 10$ km, 最大行驶距离取 $D_l \geq 30$ km 时, 除距离过远的 2 位搭乘者外(图 4 中 18 和 22 号节点), 绝大部分节点均能完成合乘配对. 而当 $D_r \geq 30$ km、 $D_l \geq 50$ km 时, 所有搭乘者都能被接送送到公司, 完成此次通勤合乘.

结 语

针对通勤合乘路径规划问题, 以最大化搭载人数为首要目标, 构建多目标整数线性模型, 在满足尽可能多的人员合乘配对成功后, 选取总路程距离最少的合乘方案. 为提高求解效率, 减少不必要元素的计算, 重新构建了解的空间, 并采用路径交换和节点插入更新当前解, 结合模拟退火算法对模型进行求解. 使用 35 个节点的案例对无限制合乘、不合乘、限制合乘 3 种场景进行分析, 设计算法均能在几秒内得到求解结果, 本研究通勤合乘模型可以在达到较高成行率的同时, 降低总的路程距离. 对接送者所能接受的最大行驶距离和最大绕行距离进行灵敏度分析, 测试了不同组合下的合乘效果, 除极个别节点因为远离接送行驶范围外, 绝大部分节点都能在较小绕行下完成合乘配对.

基金项目: 长沙市自然科学基金资助项目(kq2202211); 湖南省教育厅重点研究资助项目(21A0202); 湖南省社会科学成果评审委员会基金资助项目(XSP2023GLC090); 长沙理工大学研究生科研创新资助项目(CXCLY2022025)

作者简介: 柳伍生(lwusheng@163.com), 长沙理工大学副教授、博士. 研究方向: 交通行为不确定分析、综合交通枢纽规划与设计等研究.

引 文: 柳伍生, 李旺, 周清, 等. 公共卫生事件下的通勤合乘路径规划方法[J]. 深圳大学学报理工版, 2023, 40(5): 546-553.

参考文献 / References:

- [1] 王惠队, 谭倩, 潘自翔, 等. 重大公共卫生事件下通勤出行行为研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(7): 1919-1927.
WANG Huidui, TAN Qian, PAN Zixiang, et al. Commuting behavior study under major public health events [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2021, 18(7): 1919-1927. (in Chinese)
- [2] CURRIE G, JAIN T, ASTON L. Evidence of a post-COVID change in travel behaviour - self-reported expectations of commuting in Melbourne [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2021, 153: 218-234.

- [3] 吴娇蓉,王宇沁,陈小鸿. 公共卫生事件持续期通勤合乘设计及组织效率影响分析[J]. 中国公路学报, 2020, 33(11): 20-29.
WU Jiaorong, WANG Yuqin, CHEN Xiaohong. Impact analysis of commuting rideshare design and organizational efficiency during public health emergencies [J]. China Journal of Highway and Transport, 2020, 33(11): 20-29. (in Chinese)
- [4] 徐毅,童咏昕,李未. 大规模拼车算法研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2020, 57(1): 32-52.
XU Yi, TONG Yongxin, LI Wei. Recent progress in large-scale ridesharing algorithms [J]. Journal of Computer Research and Development, 2020, 57(1): 32-52. (in Chinese)
- [5] 沈弼龙,赵颖,黄艳,等. 大数据背景下动态共乘的研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2017, 54(1): 34-49.
SHEN Bilong, ZHAO Ying, HUANG Yan, et al. Survey on dynamic ride sharing in big data era [J]. Journal of Computer Research and Development, 2017, 54(1): 34-49. (in Chinese)
- [6] GUPTA A, HAJIAGHAYI M, NAGARAJAN V, et al. Dial a ride from k -forest [C]// The 15th Annual European Symposium (ESA 2007). Eilat, Israel: Springer-Verlag, 2007: 241-252.
- [7] ASCHEUER N, KRUMKE S O, RAMBAU J. Online dial-a-ride problems: minimizing the completion time [C]// The 17th Annual Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2000). Lille, France: Springer-Verlag, 2000: 639-650.
- [8] WAISANEN H A, SHAH D, DAHLEH M A. A dynamic pickup and delivery problem in mobile networks under information constraints [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2008, 53(6): 1419-1433.
- [9] ZHENG Libin, CHEN Lei, YE Jieping. Order dispatch in price-aware ridesharing [J]. Proceedings of the VLDB Endowment, 2018, 11(8): 853-865.
- [10] HOU Yunfei, ZHONG Weida, SU Lu, et al. TASeT: improving the efficiency of electric taxis with transfer-allowed rideshare [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(12): 9518-9528.
- [11] SANTI P, RESTA G, SZELL M, et al. Quantifying the benefits of vehicle pooling with shareability networks [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(37): 13290-13294.
- [12] 贺剑,柳伍生,周向栋,等. 区间阻抗下的网约车合乘鲁棒有效路径[J]. 长沙理工大学学报自然科学版, 2017, 14(3): 41-47.
HE Jian, LIU Wusheng, ZHOU Xiangdong, et al. Robust valid paths of internet private hire vehicles ride-sharing under interval-valued impedance [J]. Journal of Changsha University of Science & Technology Natural Science, 2017, 14(3): 41-47. (in Chinese)
- [13] CETIN T, DEAKIN E. Regulation of taxis and the rise of ridesharing [J]. Transport Policy, 2019, 76: 149-158.
- [14] 汤黎明,刘其华. 邻里合乘——社区拼车常态化的探索[J]. 城市交通, 2010, 8(6): 29-33.
TANG Liming, LIU Qihua. Neighborhood carpool practice: a case study on community carpool [J]. Urban Transport of China, 2010, 8(6): 29-33. (in Chinese)
- [15] ERDOĞAN S, CIRILLO C, TREMBLAY J M. Ride-sharing as a green commute alternative: a campus case study [J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2015, 9(5): 377-388.
- [16] MA Taiyu, RASULKHANI S, CHOW J Y J, et al. A dynamic ridesharing dispatch and idle vehicle repositioning strategy with integrated transit transfers [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2019, 128: 417-442.
- [17] AMIRKIAEE S Y, EVANGELOPOULOS N. Why do people rideshare? An experimental study [J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2018, 55: 9-24.
- [18] BROWN A E. Who and where rideshares? Rideshare travel and use in Los Angeles [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2020, 136: 120-134.

【中文责编: 方圆; 英文责编: 淡紫】