

DOI:10.19951/j.cnki.1672-9331.20220519013

文章编号:1672-9331(2023)01-0112-09

引用格式:柳伍生,周清,李旺,等.重大公共卫生事件下通勤出行合乘车辆路径优化[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2023,20(1):112-120.

Citation: LIU Wusheng, ZHOU Qing, LI Wang, et al. Route optimization of commuter vehicles under major public health events[J]. J Changsha Univ Sci Tech (Nat Sci), 2023, 20(1): 112-120.

重大公共卫生事件下通勤出行合乘车辆路径优化

柳伍生, 周清, 李旺, 迭纤, 邓芳劼

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要:【目的】降低无车员工通勤出行风险,提高通勤效率。【方法】首先,以参与合乘人数最多为第一优化目标、通勤合乘时间最短为第二优化目标,并考虑车辆额定载客量、员工上班时限及绕行时间等因素,构建单位通勤合乘车辆路径优化模型;然后,基于遗传算法,进行最佳合乘路径求解;最后,进行算例分析、参数灵敏度分析及员工居住地分散程度的影响分析。【结果】与非合乘相比,单位组织员工内部合乘后,员工的平均通勤时间减少了24.77 min,合乘匹配成功率达到了97.14%;合乘小组人数和员工拥车率在一定范围内对合乘效果影响较大;员工居住地集中时,合乘效果更好。【结论】合乘可有效地为无车员工提供通勤帮助,减少员工通勤时间。

关键词:重大公共卫生事件;通勤合乘;路径优化;遗传算法

中图分类号:U491

文献标志码:A

0 引言

调查研究发现,在重大公共卫生事件期间我国居民选择步行或乘汽车(出租车或私家车)出行的人数的占比远高于其他时期,而选择公共交通的人数的占比与其他时期相比有所降低^[1]。公共交通作为我国居民主要的出行方式,在重大公共卫生事件期间无法发挥其重要作用,这主要是因为公共交通工具的空间相对密闭,乘客流动性高,易使病毒呈网络化扩散。邬少杰等^[2]建立了城市公共交通传播COVID-19的模型,并以武汉市为例进行了分析,结果表明公共交通会使城市疫情传播加速。在公共卫生事件持续期,各单位可在公益互助、健康管理前置、用户群体固定、人数控制和服务水平保障等原则下^[3],组织本单位员工通过通勤合乘来进行健康管理。

合乘这一概念由来已久。能源短缺、交通拥堵、车辆空驶率高等问题使许多国家纷纷推行合乘出行方式。CORREIA等^[4]建立了合乘仿真系统模型,研究结果表明合乘是改善日益恶化的城市交通环境、提高市区车辆满载率最有效的方式之一。与国外不同的是,我国汽车普及较晚,关于合乘问题的研究成果也就较少。边凯^[5]针对我国私家车的现状剖析了私家车合乘在我国的经济可行性以及社会可行性。随着小汽车与移动互联网的普及,合乘变得十分热门,如国外的Avego、Zimride、Carpooling、BlaBlaCar等,国内的滴滴、邻里合乘等^[6]。

对于不同的合乘对象,其合乘的目的也不尽相同。对于有车人,合乘可以分担出行费用;对于无车人,合乘可以减少通勤时间;对于全社会而言,合乘可以降低车辆空驶率。正确分析合乘影响因素,建立合适的车辆合乘模型,并进行路径优

收稿日期:2022-05-19;修回日期:2022-07-20;接受日期:2022-08-10

基金项目:湖南省教育厅重点项目(21A0202、19A014);长沙市自然科学基金资助项目(kq2202211);长沙理工大学大学生创新训练项目(202010536034)

通信作者:柳伍生(1976—),男,副教授,主要从事交通行为不确定性分析、综合交通枢纽规划与设计等方面的研究。

E-mail:lwusheng@163.com

投稿网址: <http://cslgxbzk.csust.edu.cn/cslgdxxbzk/home>

化,是合乘的基础。合乘影响因素主要有:经济收益、时间效率和信任程度等^[7]。在经济收益方面,KLEINER等^[8]以车辆行驶里程最小为目标,建立了提高拼车成功率的拼车系统。HOSNI等^[9]以司机总利润最大为目标,建立了混合整数规划模型以解决出租车合乘情况下乘客的匹配问题。在时间效率方面,ABDALLAH等^[10]开发了Business⁺通勤优化系统,该系统以社会成本最小和商务通勤者的总通勤时间最短为目标,可最大限度地减少与交通相关的空气污染和通勤时间。在信任程度方面,XIA等^[11]建立了具有社交和路线网络的拼车模型,以提高拼车小组内部的信任水平。

求解多车辆路径优化问题的算法主要有精确算法和启发式算法。HASAN等^[12]将通勤合乘问题形式化,并运用枚举算法和分支定界法对合乘问题进行了求解,结果表明这两种算法都能以最佳方式解决简单的合乘问题,但对于复杂的合乘问题,这两种算法需要的求解时间都过长。BEED等^[13]用混合遗传算法获得了拼车的最佳路线。郭羽含等^[14]提出了分布式复合变邻域搜索算法,以求解车辆的长期合乘问题。薛守强等^[15]提出了基于精英策略的人工蜂群算法。刘文彬等^[16]提出了一种基于绿色出行的贪婪式动态共乘匹配算法。

本研究从重大公共卫生事件期间通勤出行的需求出发,首先,考虑时间和车容量等因素,建立以参与合乘人数最多和总通勤时间最短为双目标的模型;然后,基于遗传算法,对该双目标进行优化,并进行参数灵敏度分析以探究不同参数组合下的合乘效果;最后,分析合乘人居住地的分散程度对合乘效果的影响,为重大公共卫生事件持续期通勤问题的解决提供参考。

1 模型构建

1.1 问题描述

本文所研究的重大公共卫生事件持续期通勤合乘问题可以理解多车辆的路径优化问题,可将该问题描述为:合乘对象同为某一个公司的员工,其出行时间相似且目的地相同,因此较易实现合乘;将愿意参与合乘的员工分为有车员工和无车员工并进行匹配,在满足一系列的约束条件下,

设计出合理的车辆行驶路线,使参与合乘的人数最多和员工总通勤时间最短。

1.2 模型假设

考虑现实情况的复杂性,对所研究的通勤合乘问题做如下假设:①所有参与此次通勤合乘的员工均为自愿,且前往的目的地相同;②合乘车辆车型相同,均符合合乘要求;③所有节点位置已知;④通勤者中有车员工数量已知;⑤忽略车辆制动所需的时间。

1.3 参数说明

模型中使用的参数如下: $C=\{1,2,\dots,K,\dots,W,\dots,S,p\}$ 为所有节点的集合; $C_1=\{1,2,\dots,K,\dots,W,\dots,S\}$ 为通勤者节点的集合; $C_2=\{1,2,\dots,K\}$ 为有车员工节点的集合; $C_3=\{K+1,\dots,K\}$ 为无车员工节点的集合; K 为有车节点总数; W 为无车节点总数; S 为有车节点加无车节点总数; s 为所有节点的总数; k 为有车员工的编号,也即其车的编号; w 为无车员工的编号; p 为公司节点; i,j 为节点编号; d_{ij} 为从节点 i 到节点 j 的距离; v_1 为有车员工的通勤速度,即车辆行驶速度; v_2 为无车员工的通勤速度(日常状态下采用其他交通方式的通勤速度); Q 为车辆容量; t_d 为有车员工所能接受的最长驾驶时间; t_r 为有车员工所能接受的车辆最长绕行时间; Z_1 为参与合乘人数; Z_2 为总通勤时间; k 车由节点 i 行驶到节点 j 时, x_{ijk} 取值为1,否则取值为0; w 员工由 k 车搭载时, y_{wk} 取值为1,否则取值为0。

1.4 数学模型

1.4.1 目标函数

重大公共卫生事件持续期通勤合乘应遵循公益互助的原则,这与以总成本最小或总通勤时间最短等为目标出租车合乘有所区别。但关键问题在于,在重大公共卫生事件持续期,由于乘坐公共交通工具存在暴露风险,因而需要合乘的无车员工数量增多。而搭乘的人数越多,员工的通勤时间也就越长。此外,对于有车员工,通勤时间过长也易使其疲劳,影响其工作效率。因此,本研究以参与合乘人数最多为第一优化目标、员工总通勤时间最短为第二优化目标,建立目标函数:

$$\max Z_1 = \sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^W y_{wk} \quad (1)$$

$$\min Z_2 = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \frac{d_{ij} x_{ijk}}{v_1} + \left(1 - \sum_{w=1}^W y_{wk}\right) \frac{d_{kp}}{v_2} \quad (2)$$

1.4.2 约束条件

1) 容量约束。

容量约束为:合乘小组总人数不能超过车辆的最大容量。

$$\sum_{w=K+1}^W y_{wk} \leq Q, \forall k \in C_2 \quad (3)$$

2) 时间约束。

时间约束有:有车员工驾驶的总时间不超过其所能接受的最长驾驶时间;有车员工在搭载无车员工时,其驾车绕行时间不能长于有车员工所能接受的车辆最长绕行时间(当绕行时间超过有车员工所能接受的时间长度时,合乘失败)。

$$\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \frac{d_{ij} x_{ijk}}{v_1} \leq t_d, \forall k \in C_2 \quad (4)$$

$$\left(\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S d_{ij} x_{ijk} - d_{kp} \right) / v_1 \leq t_r, \forall k \in C_2 \quad (5)$$

3) 节点约束。

节点约束有:一个节点的车辆合乘服务不超过一次;经过任意节点的合乘车辆只到一次目的地(终点约束);路线数不多于总节点数;参与合乘的总人数不多于总节点数。

$$\sum_{k=1}^K x_{ijk} \leq 1, i \in C, j \in C_3, i \neq j \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ijk} \leq 1, i \in C_3, j \in C, i \neq j \quad (7)$$

$$x_{ipk} = 1, \forall k \in C_2 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S x_{ijk} \leq 4, \forall k \in C_2 \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^W y_{wk} \leq S \quad (10)$$

4) 其他约束。

其他约束有:所有车辆都会去公司;一位无车员工只能乘坐一辆合乘车;流量守恒。

$$\sum_{i=1}^S x_{ij} \leq 2, j \in C_1 \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^S x_{ij} \leq 2, i \in C_1 \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{wk} \leq 1, \forall w \in C_3 \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^S x_{ij} = \sum_{j=1}^S x_{ji}, \forall i \in C \quad (14)$$

5) 决策变量约束。

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in C, k \in C_2 \quad (15)$$

$$y_{wk} \in \{0, 1\}, \forall w \in C_3, k \in C_2 \quad (16)$$

在重大卫生公共事件持续期,合乘出行的时间约束、节点约束中表示所有车辆都会去公司的约束,均与出租车合乘的约束有所不同,这也是出租车合乘模型不适用于重大卫生公共事件持续期通勤合乘分析的重要原因。出租车合乘中的时间约束一般是基于乘客固定时间窗的约束,而非是基于司机的时间约束。出租车合乘中关于目的地的约束大多与通勤合乘中的有所区别,出租车合乘中每位乘客的目的地不同,到达某个地点的次数也可能不止一次,且不需要所有车辆最后都在目的地。

2 模型求解

对于双目标优化问题大多采用加权法、约束法和线性规划法等进行求解,这些求解方法的实质都是将双目标优化问题转化成单目标优化问题。本研究使用遗传算法对上述的双目标优化问题进行求解,并重点考虑参与合乘的无车员工人数,优先考虑参与合乘人数最多这一目标,在此前提下再对员工总通勤时间最短这一目标进行优化。遗传算法流程如图1所示,图中 g 表示迭代次数, g_{\max} 表示最大迭代次数。

遗传算法的具体步骤为:

① 编码与种群初始化。车辆通勤合乘问题是一种路径组合优化问题,可对其采用整数排列的编码方法。在出行信息中可将有车员工表示为 $(1, 2, 3, \dots, K)$ 、无车员工表示为 $(K+1, K+2, K+3, \dots, K+W)$ 。在 $(1, 2, 3, \dots, K)$ 中插入 $(K+1, K+2, K+3, \dots, K+W)$,使两者组成一条类似于 $(1, K+1, K+m, K+n, 2, K+3, K+l, K+o, 3, \dots, K+W)$ 的染色体,这条染色体表示第1辆合乘车的路线为 $1-(K+1)-(K+m)-(K+n)-p$,第2辆合乘车的路线为 $2-(K+3)-(K+l)-(K+o)-p$,以此类推。其中, m, n, o, l 为 $1 \sim K$ 的任意数。

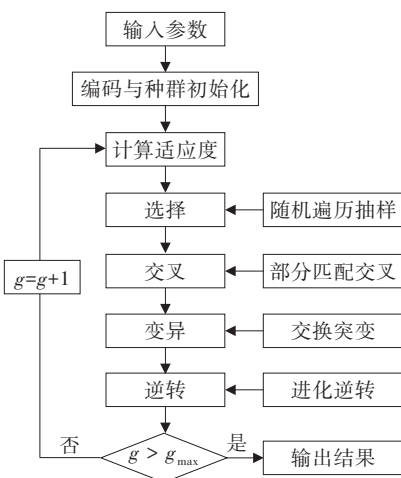


图1 遗传算法流程

Fig.1 Genetic algorithm flow

随机生成的初始解不一定是可行解,在此需引入惩罚系数来降低不可行解的适应度,具体操作方法为:在染色体对应的解中,若因为约束条件的限制而产生了抛弃点,则加入惩罚系数(抛弃点的倍数)来降低染色体的适应度,以优先满足第一优化目标。

② 计算适应度。用 Z_2 的倒数作为适应度函数:

$$F = \frac{1}{Z_2} \quad (17)$$

适应度越大,说明对应个体的基因遗传给下一代的概率就越大。

③ 选择。为提高算法的全局收敛速度,可依据个体适应度大小,以一定概率在原种群中进行选择并组成新的种群。为避免适应度较大的个体垄断后代,选择时可采用随机遍历抽样法。

④ 交叉。每个需求点只能被服务一次,即染色体中每一个整数只能出现一次。采用部分匹配交叉算子进行交叉,具体操作为:从种群中选择两个个体,在这两个个体上随机选取同一位置的两个片段作为交叉的基因片段,根据这两个基因片段之间的映射关系生成两个新的个体。交叉示意图见图2。

⑤ 变异。为提高遗传算法的局部搜索能力,维持种群的多样性,设置变异概率 P_m ,并对新产生的种群按一定概率随机选择个体进行变异,具体操作为:随机选取两个点并将其位置进行互换。变异示意图见图3。

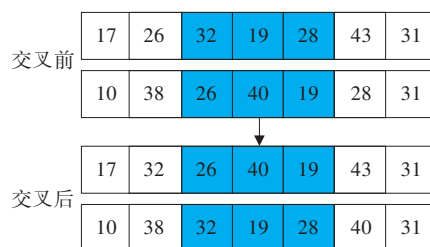


图2 交叉示意图

Fig.2 Cross diagram

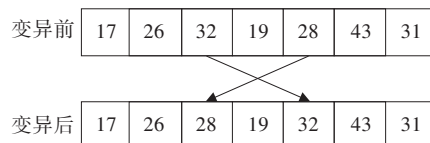


图3 变异示意图

Fig.3 Variation diagram

⑥ 逆转。为增强遗传算法的局部搜索能力,在选择、交叉、变异之后引入逆转。经逆转后适应度变大的染色体将会被保留下来;否则,该染色体将会被淘汰。逆转示意图见图4。

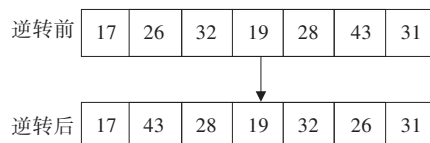


图4 逆转示意图

Fig.4 Reversal diagram

⑦ 终止算法。迭代判断,若计算次数达到设定的迭代次数,则终止计算;否则,转到步骤②。

3 算例分析

3.1 算例设计

由于缺少与路径优化问题相关的算例,本研究通过随机生成51个点的坐标的办法对模型进行求解及分析算法的性能。将遗传算法的参数设置为:种群大小100,最大迭代数500,交叉概率0.90,变异概率0.05,代沟0.9,染色体长度50。固定参数的设置见表1,通过计算得到的适应度变化过程如图5所示,合乘路线如图6所示。图5中的纵坐标值均为模型计算结果减去惩罚系数所得,即真实的通勤时长(线条波动的地方表示合乘人数的增加造成了通勤时长的增加)。通过计算得到的合乘与非合乘时间的对比见表2。

表1 固定参数
Table 1 Fixed parameters

$Q/\text{人}$	$v_1/(\text{km}\cdot\text{min}^{-1})$	$v_2/(\text{km}\cdot\text{min}^{-1})$	t_d/min
4	0.60	0.15	40
t_i/min	有车员工数	无车员工数	—
30	15	35	—

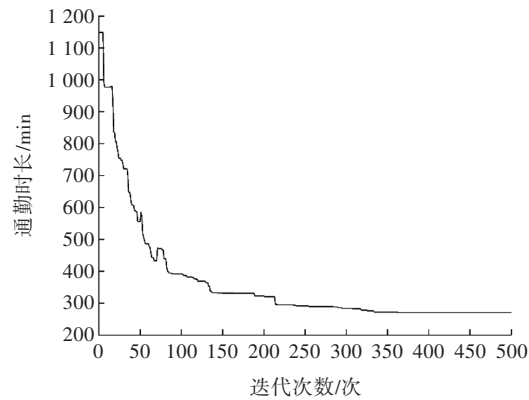


图5 通勤时长的变化过程

Fig. 5 The changing process of the commute duration

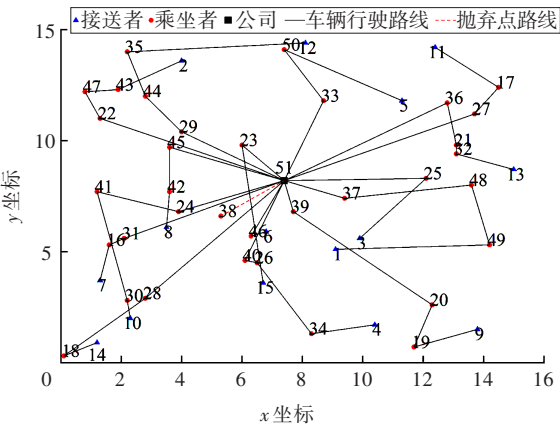


图6 合乘路线

Fig. 6 Roads for carpooling

分析表2可知,在有车员工为15人、无车员工为35人时,仅有一名无车员工未参与合乘,其余34名无车员工通过合乘解决了通勤问题,合乘后总共节省了1 238.55 min,平均每人节省了24.77 min,合乘率达到了97.14%。在所有合乘路线中,只有6-46- p 和15-23- p 这两条合乘路线合乘时间的减少幅度较小,其他合乘路线合乘时间的减少幅度都较大。对无车员工来讲,通过员工之间的内部合乘,可以有效地为无车员工提供通勤帮助,大大缩短员工的通勤时间;对有车员工来讲,合乘

不仅可以提高每辆车的使用率,节省了资源,还可以通过分担出行费用节约开支;对公司来讲,合乘可以降低员工在通勤中的移动暴露风险。

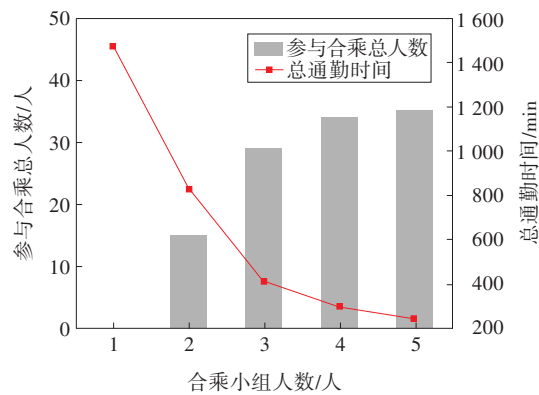
表2 合乘与非合乘时间对比
Table 2 Time comparison between carpooling and non-carpooling

路线	合乘所用总时间	非合乘所用总时间	节约的时间
1-49-48-37- p	23.78	120.75	96.97
2-43-47-22- p	19.31	163.22	143.91
3-25- p	13.64	36.04	22.40
4-34-26-40- p	16.75	111.89	95.14
5-50-33- p	18.33	74.58	56.25
6-46- p	5.45	20.94	15.49
7-16-31- p	13.52	94.97	81.45
8-42-45- p	12.81	60.71	47.90
9-19-20-39- p	19.83	134.31	114.48
10-30-41-24- p	20.70	134.06	113.36
11-17-27- p	18.64	116.74	98.10
12-35-44-29- p	23.42	136.51	113.09
13-32-21-36- p	17.97	139.38	121.41
14-18-28- p	20.03	136.27	116.24
15-23- p	13.94	16.30	2.36
38- p	4.40	4.40	0.00

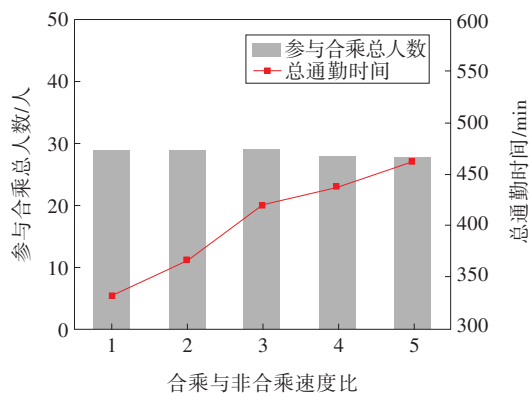
3.2 合乘参数的灵敏度分析

在现实中,每一位有车员工愿意搭载的人数不同,不同公司员工的拥车率(有车员工数与无车员工数的比)也不同,此外,合乘之所以能节省大量时间,是因为有车员工与无车员工的通勤速度不同。为探究合乘小组人数、合乘与非合乘速度之比及拥车率对合乘效果的影响,本研究针对这3个参数的不同组合,采用控制变量法对其灵敏度进行分析。结果如图7所示。

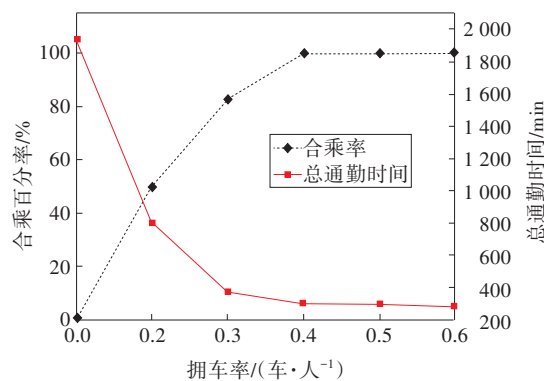
图7(a)反映了有车员工愿意搭载的人数对合乘效果的影响。从图7(a)可以看出,在有车员工数与无车员工数的比值取3:7、 $v_1:v_2=4:1$ 的条件下,随着合乘小组人数的增加,搭载的无车员工人数也在增加,但员工总通勤时间在减少。在合乘小组人数从1增加到3时,搭载的无车员工人数的增长速度明显较快,员工总通勤时间的降低速度也较快;在合乘小组人数从3增加到5时,合乘需



(a) 不同合乘小组人数下的合乘效果



(b) 不同合乘与非合乘速度比下的合乘效果



(c) 不同拥车率下的合乘效果

图7 参数的灵敏度分析结果

Fig. 7 The sensitivity analysis results of parameters

求逐渐降低,搭载的无车员工人数的增长速度及员工总通勤时间的下降速度趋于稳定。可以看出,在一定范围内有车员工愿意搭载的人数越多,合乘效果越好。

图7(b)反映了有车员工与无车员工通勤速度的比值对合乘效果的影响。从图7(b)可以看出,在拥车率与合乘小组人数不变的情况下,即当有

车员工数与无车员工数的比值取为3:7、合乘小组人数取为3时,随着 v_1 与 v_2 比值的增大,员工总通勤时间也在增长,在 $v_1:v_2$ 从2:1增大到5:1的过程中员工总通勤时间变化明显,而 v_1 与 v_2 的比值对于搭载无车员工人数几乎没有影响。因而 v_1 与 v_2 的比值仅对员工总通勤时间有影响, $v_1:v_2$ 的值越大,所节省的员工总通勤时间越多。

图7(c)反映了员工拥车率对合乘效果的影响。从图7(c)可以看出,在合乘小组人数及 v_1 与 v_2 的比值不变的情况下,即当合乘小组人数取为3、 $v_1:v_2=4:1$ 时,在拥车率从0到0.4的变化过程中,合乘率的增长速度与总通勤时间的降低速度均较快;在拥车率从0.4到0.6的变化过程中,合乘需求逐渐降低,合乘率的增长速度与总通勤时间的降低速度逐渐趋于稳定。这表明在一定范围内,拥车率越高,合乘效果越好。

综上所述,有车员工数与无车员工数的比值为3:7时,合乘效果较好,参照3.1节的算例,合乘率达到了97.14%;合乘小组人数越多,合乘效果就越好。考虑到有车员工的意愿,由4人组成一个合乘小组比较合适。 v_1 与 v_2 的比值对总通勤时间的影响较大,对于参与合乘的人数几乎没有影响。

3.3 员工居住地分散程度的影响分析

为验证本研究提出的模型与算法的普适性,将上述案例的计算结果与solomon数据集中3种代表员工居住地分散程度的C型、R型和RC型数据的计算结果进行对比分析,其中,合乘小组人数、 v_1 与 v_2 的比值、拥车率均与3.1节算例中的取值相同。对比结果见表3。

表3 员工居住地分散程度不同时合乘与非合乘结果对比

Table 3 Results comparison of carpooling and non-carpooling under different employee residence dispersion

数据来源/类型	非合乘		合乘	
	总通勤时间/min	合乘人数/人	总通勤时间/min	合乘人数/人
随机生成	1 501.07	0	262.52	34
R型	1 261.32	0	353.79	33
C型	1 269.06	0	236.87	34
RC型	1 953.39	0	319.01	32

分析表3可知,针对代表员工居住地分散程度的不同数据类型,本研究提出的模型及算法的计算结果均较好。与非合乘相比,合乘的总通勤时间明显减少,搭载的无车员工人数也较多。此外,由R型数据计算得到的合乘效果最好,说明员工居住地较集中时,合乘效果会更好。

4 讨论

在重大公共卫生事件持续期,传统出租车合乘中“N”对“N”的配对模式会使合乘人员存在较大的暴露风险,不能保证司机和乘客的健康。调查显示,在重大公共卫生事件持续期乘客和司机大多倾向于熟人之间的合乘^[3]。以往的出租车合乘研究在模型方面进行了不同的目标优化,包括时间、路程、费用及匹配成功率等。而在重大公共卫生事件持续期,首先需要考虑的是无车员工,因此首要的优化目标应是使合乘人数最多,然后才是其他优化目标;此外,其约束条件与出租车合乘的也有所区别,如通勤合乘的目的地通常为同一个公司,因此需要对终点进行约束。合乘研究中的算法大多针对单一优化目标,针对双目标优化问题的算法并不多见。在重大公共卫生事件持续期,员工内部互助式合乘的主要目的是为无车员工的通勤提供有效帮助,缩短通勤时间,而通过添加惩罚系数可以增加参与合乘的人数,即优先进行第一目标的优化。

暴露风险作为重大公共卫生事件下更加切合实际的优化目标,虽然难以被量化,但经过分析可知,不同合乘对象参与合乘前后的暴露风险是不同的。对于有车员工,单独出行是最安全、暴露风险最小的出行方式。虽然合乘在一定程度上不可避免地增大了有车员工的暴露风险,但本研究的合乘对象是同一公司的员工,即便是不合乘,有车员工在公司与其他同事也会不可避免地有所接触,从而增大暴露风险。对于无车员工,合乘使其避免了乘坐公共交通工具,其暴露风险将会降低。对于公司,无车员工的暴露风险降低了,全体员工在公司的暴露风险也会降低。

已有的研究成果^[7,14-16]仅对合乘目标进行了

优化,未系统分析影响合乘效果的因素。而本研究不仅用所提出的模型及算法较好地优化了合乘目标,达到了使通勤成本最小或乘客等待和绕行时间最短的目的,还分析了模型中的一些参数及员工居住地的分散程度对合乘效果的影响,这样可以更有针对性地提高合乘效果。

考虑到现实因素,在重大公共卫生事件持续期有些路网会被封闭,因此下一步的研究将在路网中加入阻抗,这样可以使研究结果更加贴近实际。

5 结论

1) 本研究针对重大公共卫生事件持续期无车员工的通勤问题,提出了以参与合乘人数最多为第一优化目标、总通勤时间最少为第二优化目标的模型,并优化了合乘车辆的行驶路径。通过增加车辆的上座人数、减少其他出行方式可以降低暴露风险。

2) 采用遗传算法对算例进行了计算,结果表明:单位组织的员工内部合乘与非合乘相比,员工的平均通勤时间减少了24.77 min,合乘匹配成功率达到了97.14%。

3) 对合乘参数进行了灵敏度分析,结果表明:增加小组合乘人数和提高员工拥车率可以提高合乘效果。

4) 当员工居住地的分散程度不同时,合乘的效果也会有所不同,在员工居住地较集中的情况下,合乘效果会更好。

〔参考文献〕

- [1] 姜楠,李赛,曹素珍,等.新冠肺炎疫情期间我国人群交通出行行为分析[J].环境科学研究,2020,33(7):1675-1682.DOI:10.13198/j.issn.1001-6929.2020.06.16.
JIANG Nan, LI Sai, CAO Suzhen, et al. Transportation activity patterns of Chinese population during the COVID-19 epidemic[J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33(7): 1675-1682. DOI: 10.13198/j. issn. 1001-6929.2020.06.16.
- [2] 鄢少杰,孙健.突发公共卫生事件下城市公交传播疫情模型研究[J].吉林大学学报(工学版),2023,53(1): 141-149.DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb20210587.

- WU Shaojie, SUN Jian. Modeling urban bus transit spreading the epidemic under public health emergencies [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2023, 53(1): 141–149. DOI: 10.13229/j.cnki.jdxgbx20210587.
- [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. DOI: 10.19721/j.cnki.1001-7372.2020.11.003.
- 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. DOI: 10.19721/j.cnki.1001-7372.2020.11.003.
- [4] CORREIA G, VIEGAS J M. A conceptual model for carpooling systems simulation[J]. Journal of Simulation, 2009, 3(1): 61–68. DOI: 10.1057/jos.2008.4.
- [5] 边凯. 基于城市交通拥堵的私家车共乘可行性分析[D]. 西安: 长安大学, 2012. DOI: 10.7666/d.D234413.
- BIAN Kai. Based on urban traffic congestion of cars carpool feasibility analysis[D]. Xi'an: Chang'an University, 2012. DOI: 10.7666/d.D234413.
- [6] 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. DOI: 10.7544/issn1000-1239.2017.20150729.
- 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. DOI: 10.7544/issn1000-1239.2017.20150729.
- [7] 陈爽. 考虑个体偏好的合乘服务多车辆路径优化研究[D]. 济南: 山东大学, 2019.
- CHEN Shuang. Research on multi-vehicle path optimization of carpooling service considering individual preference[D]. Jinan: Shandong University, 2019.
- [8] KLEINER A, NEBEL B, ZIPARO V A. A mechanism for dynamic ride sharing based on parallel auctions[C]// Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence. Washington DC: AAAI Press, 2011: 266–272. DOI: 10.5591/978-1-57735-516-8/IJCAI11-055.
- [9] HOSNI H, NAOUM-SAWAYA J, ARTAI H. The shared-taxi problem: formulation and solution methods [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2014, 70: 303–318. DOI: 10.1016/j.trb.2014.09.011.
- [10] ABDALLAH M, TAWFIK A M, MONGHASEMI S, et al. Developing commute optimization system to minimize negative environmental impacts and time of business commuters[J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2020, 14(2): 101–119. DOI: 10.1080/15568318.2018.1531184.
- [11] XIA J Z, CURTIN K M, HUANG J J, et al. A carpool matching model with both social and route networks[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2019, 75: 90–102. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.01.008.
- [12] HASAN M H, HENTENRYCK P V, LEGRAIN A. The commute trip-sharing problem[J]. Transportation Science, 2020, 54(6): 1640–1675. DOI: 10.1287/trsc.2019.0969.
- [13] BEED R S, SARKAR S, ROY A, et al. A hybrid multi-objective carpool route optimization technique using genetic algorithm and A* algorithm[J]. Computer Research and Modeling, 2021, 13(1): 67–85. DOI: 10.20537/2076-7633-2021-13-1-67-85.
- [14] 郭羽含, 伊鹏. 车辆合乘问题的分布式复合变邻域搜索算法[J]. 计算机科学与探索, 2019, 13(2): 330–341. DOI: 10.3778/j.issn.1673-9418.1802003.
- GUO Yuhan, YI Peng. Distributed hybrid variable neighborhood search algorithm for carpooling problem [J]. Journal of Frontiers of Computer Science and Technology, 2019, 13(2): 330–341. DOI: 10.3778/j.issn.1673-9418.1802003.
- [15] 薛守强, 宋瑞, 安久煜, 等. 感知乘客心理的出租车动态合乘优化方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(2): 205–210, 250. DOI: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.02.029.
- XUE Shouqiang, SONG Rui, AN Jiuyu, et al. Dynamic shared taxi optimization method considering passengers perceptions[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2021, 21(2): 205–210, 250. DOI: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2021.02.029.
- [16] 刘文彬, 杨波, 阎纲, 等. 面向绿色出行的一种贪婪式动态共乘匹配算法[J]. 宜宾学院学报, 2021, 21(6): 40–45. DOI: 10.19504/j.cnki.issn1671-5365.20201214.002.
- LIU Wenbin, YANG Bo, YAN Gang, et al. A greedy dynamic ride-sharing matching algorithm for green travel[J]. Journal of Yibin University, 2021, 21(6): 40–45. DOI: 10.19504/j.cnki.issn1671-5365.20201214.002.

Route optimization of commuter vehicles under major public health events

LIU Wusheng, ZHOU Qing, LI Wang, DIE Qian, DENG Fangjie

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

Abstract: [Purposes] The paper aims to reduce the commuting risk of car-free employees and improve commuting efficiency. [Methods] First, taking the largest number of people participating in carpooling as the first optimization goal, and the minimum commuting carpooling time as the second optimization goal, and considering factors such as the rated passenger capacity of the vehicle, staff working time restrictions and detour time, constructing a unit commuter carpooling vehicle path optimization model. Then, based on the genetic algorithm, the optimal ride-sharing path is solved. Finally, the case analysis, parameter sensitivity analysis and impact analysis of employees' residence dispersion degree are carried out. [Findings] The average commuting time of employees in carpooling is reduced by 24.77 minutes compared with non-carpooling employees, and the matching success rate of carpooling has reached 97.14%. The number of carpooling groups and the car ownership rate of employees have a great impact on the carpooling effect within a certain range. And the carpooling efficiency is better when employees live in concentrated locations. [Conclusions] Carpooling can effectively provide commuting assistance for car-free employees and reduce employees' commuting time.

Key words: major public health event; commuting rideshare; route planning; genetic algorithm

Manuscript received: 2022-05-19; **revised:** 2022-07-20; **accepted:** 2022-08-10

Foundation item: Projects (21A0202, 19A014) supported by Key Program of Hunan Provincial Department of Education; Project (kq2202211) supported by Changsha Natural Science Foundation; Project (202010536034) supported by Innovation Training Program of Changsha University of Science & Technology

Corresponding author: LIU Wusheng (1976—), male, associate professor, research interest: uncertainty analysis of traffic behavior, comprehensive transportation hub planning and design, etc. E-mail: lwusheng@163.com

(责任编辑:石月珍;校对:赵冰;英文编辑:刘至真)