

基于改进差分进化算法的出租车合乘问题研究

郑建国*,李园园

(东华大学 旭日工商管理学院,上海 200051)

摘要: 在现有出租车合乘问题研究基础上,考虑乘客模糊时间窗、合乘意愿等因素,建立更符合实际的多对多合乘模型,并使用改进的差分进化算法进行求解.该算法设计了一种分段实数编码方案、基于个体排序的缩放因子F与交叉概率CR及混合轮盘赌的半贪婪选择策略.仿真结果表明:所提算法的求解效果优于传统差分进化算法与遗传算法,是解决该类问题的有效方法;与非合乘模式相比,所建模型成本减少、服务乘客数增加,模型合理有效;同时分析了模糊时间窗、合乘意愿2个因素对模型求解结果的影响.

关键词: 城市交通;出租车合乘;差分进化算法;模糊时间窗;合乘意愿

Shared Taxi Problem Based on the Improved Differential Evolution Algorithm

ZHENG Jian-guo, LI Yuan-yuan

(The Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: A more realistic many-to-many dynamic shared taxi model is established, with considering the factors such as fuzzy time window and willingness to carpool, and the improved differential evolution algorithm is supposed. A segmented real number coding scheme is designed in this algorithm, as well as the scaling factor F and the crossover probability CR based on the individual ranking and a semi-greedy selection strategy mixed roulette. The simulation results indicate that the proposed algorithm could find higher quality solutions than the traditional differential evolution algorithm and the genetic algorithm; compared with the non-carpool mode, the total cost of the developed model is reduced, and the number of served passengers is increased; besides, the influence of the fuzzy time window and willingness to carpool on the solution of the model is also analyzed.

Keywords: urban traffic; taxi sharing; differential evolution algorithm; fuzzy time window; willingness to carpool

0 引言

有效的出租车合乘模式,可以提高座位利用率,缓解城市交通压力,降低能源消耗等,可产生社会、环境、经济等综合效益.近些年,一些国内外学者围绕出租车合乘问题展开了相关研究.

根据乘客需求是否变化,合乘可分为静态合乘与动态合乘.Lin等^[1]研究了静态有时间窗的出租车合乘路径优化模型;Tao等^[2]提出动态出租车合乘,但主要研究合乘匹配,并未解决路径问题,而

综合考虑合乘匹配与路径优化可以进一步实现系统成本最优.

同时,多数研究将乘客上车时间定义为硬时间窗,且所有请求必须满足,如Cordeau等^[3];部分学者假设在硬时间窗的约束下可以满足所有乘客,如Hosni^[4]、Jung^[5]等.而实际上,略超出时间窗,客户也可能接受,硬时间窗则限制了该情形.目前,部分VRP文献做了相关研究,如:刘家利等^[6]在开环VRP问题研究中以软时间窗在一定程度上避免

收稿日期:2017-06-30

修回日期:2017-11-18

录用日期:2017-12-01

基金项目:上海市自然科学基金/Shanghai Natural Science Foundation (15ZR1401600).

作者简介:郑建国(1962-),男,福建龙岩人,教授.

*通信作者:zjg@dhu.edu.cn

严格约束,但车辆到达时间可能过早或过晚;而杨翔等^[7]综合利用硬、软时间窗的特点,使时间窗模糊化.现实中,乘客对出行时间窗的认知也是非严格理性的,故模糊时间窗更符合实际.

另外,乘客对绕行、合乘等服务的偏好不尽相同.考虑乘客不希望绕行,Hosni H.等^[4]引入行驶时间约束,Jung J.等^[5]增加最大绕行约束;而在合乘意愿方面,当前研究存在“乘客均接受合乘”的一般假设,显然与实际不符,如何对合乘意愿进行量化、区分描述,还需进一步研究.

综上,鉴于当前出租车合乘模型与实际偏离的情况,本文定义模糊时间窗,考虑合乘意愿,建立更切实际的问题模型,并设计改进的差分进化算法求解,最后通过算例验证模型和算法的有效性.

1 基于模糊时间窗的出租车合乘问题描述及建模

1.1 出租车合乘问题描述

本文所研究的出租车合乘为多上车点到多下车点的多对多模式.具体描述为:多辆出租车在某区域行驶,车上可能有乘客;同时,有多名新的乘客预约,各有其上下车位置与时间要求.调度中心根据当前乘客与出租车的状态,在满足多种约束的条件下确定乘客与出租车的最佳匹配方案及行驶路径.

数学描述为:给定包含4个子集的点集 V , $V=V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup V_4$,其中, V_1 表示出租车坐标集, V_2 表示车上乘客的下车点集, V_3 、 V_4 分别表示预约乘客的上下车点集,乘客 p 的上下车点分别为 $s(p)$ 、 $f(p)$; T 、 O 、 S 分别表示出租车、车上乘客、预约乘客集合,乘客全集 $P=O \cup S$;乘客具有是否接受合乘2种态度,将其量化为占用座位数 $Q(p)$,取值为1或 q (出租车最大容量);乘客最早、最迟上车时间分别为 $U_{s(p)}^e$ 、 $U_{s(p)}^l$; U_p 表示 p 的出行时间上限; i 、 j 之间距离为 d_{ij} 、用时为 U_{ij} 、成本为 C_{ij} .决策变量,0-1决策变量 x_{ij}^p ,表示如果 p 乘车从 i 到 j 则为1,否则为0;0-1决策变量 y_{ij}^t ,表示若 t 车从 i 至 j 则 $y_{ij}^t=1$,否则为0;0-1决策变量 d_{pt} ,表示若 p 乘车则 $d_{pt}=1$,否则为0;非负决策变量 u_{it} 表示 t 车到达 i 的时间.

1.2 模糊时间窗

假定乘客上车时间在原时间窗 $[U_{s(p)}^e, U_{s(p)}^l]$ 的基础上,有一个容忍上限 $U_{s(p)}^{ee}$ 和下限 $U_{s(p)}^{ll}$,即定义 $[U_{s(p)}^{ee}, U_{s(p)}^e, U_{s(p)}^l, U_{s(p)}^{ll}]$ 为乘客上车的模糊时间窗.

根据模糊集理论,定义“及时度” $J_p(t)$,表征出租车到达上车点的及时程度.若 t 在原时间窗内,及时度为1;当 t 超出原时间窗且在 $[U_{s(p)}^{ee}, U_{s(p)}^e]$ 或 $[U_{s(p)}^l, U_{s(p)}^{ll}]$ 之内,导致车辆等待或客户满意度下降,及时度降低;当 t 超出容忍限度时,及时度为0.因此,梯形模糊数更加契合,故用其表征基于模糊时间窗的及时度隶属函数 $J_p(t)$ 为

$$J_p(t) = \begin{cases} \frac{t - U_{s(p)}^{ee}}{U_{s(p)}^e - U_{s(p)}^{ee}}, & t \in [U_{s(p)}^{ee}, U_{s(p)}^e]; p \in S \\ 1, & t \in [U_{s(p)}^e, U_{s(p)}^l]; p \in S \\ \frac{U_{s(p)}^{ll} - t}{U_{s(p)}^{ll} - U_{s(p)}^l}, & t \in [U_{s(p)}^l, U_{s(p)}^{ll}]; p \in S \\ 0, & t \notin [U_{s(p)}^{ee}, U_{s(p)}^{ll}]; p \in S \end{cases} \quad (1)$$

及时度为1时,惩罚费用为0;及时度为0时,出租车因到达过早产生车辆等待成本 μ ,或过晚而产生客户惩罚成本 ∂ ; t 超出原时间窗且在 $[U_{s(p)}^{ee}, U_{s(p)}^e]$ 或 $[U_{s(p)}^l, U_{s(p)}^{ll}]$ 之内时,产生相应比例成本.时间惩罚费用函数 $L_p(t)$ 为

$$L_p(t) = \begin{cases} \mu, & t \in [0, U_{s(p)}^{ee}]; p \in S \\ \frac{U_{s(p)}^e - t}{U_{s(p)}^e - U_{s(p)}^{ee}} \cdot \mu, & t \in [U_{s(p)}^{ee}, U_{s(p)}^e]; p \in S \\ 0, & t \in [U_{s(p)}^e, U_{s(p)}^l]; p \in S \\ \frac{t - U_{s(p)}^l}{U_{s(p)}^{ll} - U_{s(p)}^l} \cdot \partial, & t \in [U_{s(p)}^l, U_{s(p)}^{ll}]; p \in S \\ \partial, & t \in [U_{s(p)}^{ll}, +\infty]; p \in S \end{cases} \quad (2)$$

1.3 模型建立

$$\min Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} (C_{ij} \sum_{t \in T} y_{ij}^t) + \sum_{p \in S} \sum_{t \in T} (1 - d_{pt}) R + \sum_{p \in S} L_p(U_{s(p)} d_{pt}) \quad (3)$$

$$\text{s.t. } \sum_{p \in P} x_{ij}^p Q(p) \leq q y_{ij}^t, \forall t \in T; \forall i \in V; \forall j \in V \quad (4)$$

$$\sum_{t \in T} d_{pt} \leq 1, \forall p \in S \quad (5)$$

$$u_{s(p)} \geq U_{s(p)}^{ee} d_{pt}, \forall t \in T; \forall p \in S \quad (6)$$

$$u_{f(p)} \leq U_{s(p)}^{ll} d_{pt}, \forall t \in T; \forall p \in S \quad (7)$$

$$u_{f(p)} - u_{f(p)} \leq U_p + (1 - d_{pt}) M, \forall p \in P; \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{j \in V} x_{js(p)}^p = \sum_{j \in V} x_{s(p)j}^p - d_{pt}, \forall p \in S; \forall t \in T \quad (9)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij}^{\mu} = \sum_{j \in V} x_{f(p)j}^{\mu} + d_{\mu}, \forall p \in S; \forall t \in T \quad (10)$$

$$u_{ij} - u_{ii} \geq u_{ij} - M(1 - y_{ij}^t), \forall t \in T; \forall i \in V; \forall j \in V \quad (11)$$

$$\sum_{j \in V} x_{v(i(p))j}^{\mu} = 1, \forall p \in O \quad (12)$$

$$\sum_{j \in V} x_{j(i(p))}^{\mu} = 1, \forall p \in O \quad (13)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ji}^{\mu} = \sum_{j \in V} x_{ij}^{\mu}, \forall p \in P; \forall t \in T; \forall i \in V - V_1 - \{s(p)\} - \{f(p)\} \quad (14)$$

$$\sum_{j \in V} y_{ij}^t \leq 1, \forall t \in T; \forall i \in V \quad (15)$$

$$\sum_{j \in V} y_{ji}^t \leq 1, \forall t \in T; \forall i \in V \quad (16)$$

$$\sum_{j \in V} y_{ij}^t \leq \sum_{j \in V} y_{ji}^t, \forall t \in T; \forall i \in \{V_3, V_4\} \quad (17)$$

$$x_{ij}^{\mu} \in \{0, 1\}, y_{ij}^t \in \{0, 1\}, d_{\mu} \in \{0, 1\}, u_{ii} \geq 0, \forall t \in T; \forall i \in V; \forall j \in V; \forall p \in P \quad (18)$$

式(3)为目标函数,表示总成本最小化,成本项依次是路径成本、拒载成本、时间惩罚成本;式(4)为最大容量约束;式(5)表示任1位乘客最多被1辆车服务;式(6)和式(7)为乘客上车时间容忍限度约束;式(8)为绕行约束;式(9)~式(17)为节点流量及路径规则约束,详见文献[4],此不赘述;式(18)表示二进制变量和非负变量约束。

本模型参考文献[4]建立,主要区别有3点:①目标函数不同,文献[4]从出租车单方面考虑,以利

$$\left[\underbrace{x_1, x_2, x_3, \dots, x_s}_{\text{SO 部分}}, \underbrace{x_{s+1}, x_{s+2}, \dots, x_{2s}}_{\text{SD 部分}}, \underbrace{x_{2s+1}, x_{2s+2}, \dots, x_{2s+\sum_{i=1}^m o_i}}_{\text{OD 部}} \right]$$

其中,SO、SD的 x_i 取值范围为: $1 \leq x_i \leq m + 1$; OD的 x_i 取值范围为: $1 \leq x_i \leq m_i + 1$ (m_i 为该乘客所在车辆编号)。

按照上述编码,所有乘客节点数即为维度D,各维元素在其取值范围内随机生成,产生初始种群。

(2) 解 码。

将个体按如下步骤解码为 m 行的元胞矩阵 P ,表示各出租车服务乘客及行驶路径。

Step 1 根据SO的取值范围 $1 \leq x_i \leq m + 1$ 为每个预约乘客分配车辆,如 $1 \leq x_i \leq 2$,即 $m = 1$,该乘客由车1服务。

Step 2 根据Step1的分配结果,将各车服务的乘客节点编号按从小到大的顺序排列,构成该车辆的可能路径 R_i 。应注意,是否有乘客的下车点在其上车点之前,若有,则转Step3;否则,转Step4。

Step 3 路径调整,将下车点在上车点之前的

润最大化为目标,而本文考虑乘客服务因素(拒载、服务及时度等),量化其造成的客户损失及车辆等待成本等,从乘客与出租车两个角度考虑系统成本最小化。②时间窗定性不同,文献[4]为硬时间窗,而本文为模糊时间窗,并考虑因其匹配差异产生的相关成本。③文献[4]假设“乘客都愿意合乘”,本文对合乘意愿进行区分描述。

2 基于个体排序的差分进化算法设计

2.1 编码、解码及种群初始化

(1) 分段编码与初始化。

乘客分为车上和预约2种,故二进制编码无法直接应用^[8];而以实数编码、并用0间隔表示不同车辆^[9],计算复杂度增加,且在DE算法中会产生大量不可行解。因此,本文设计一种分段取值的实数编码方案。

假设有 m 辆车, s 个预约乘客(上车点SO、下车点SD), o_i 个车上乘客(下车点OD),将 $2s + \sum_{i=1}^m o_i$ 个乘客节点以{SO,SD,OD}的顺序编码,个体可表示为

乘客互换两点位置,构成路径 R_2 ,转step4。

Step 4 判断是否满足车辆到达时间的最大容忍限度及车的容量约束,若有任一条件不满足,则将该乘客的上下车节点从原有路径中去除,视为拒载;路径更新为 R_3 。

Step 5 按以上4个步骤完成所有车辆的路径解码,即构成元胞矩阵 P 。

2.2 适应度函数设计

本文模型为最小化问题,故将式(3)中Z的倒数作为适应度函数,即 $f = 1/Z = 1/(T_d + T_r + T_l)$,其中, T_d 、 T_r 、 T_l 分别为总路径成本、总拒载成本与总时间惩罚成本,目标函数越小、适应度越大,个体越优秀。

2.3 算子设计

(1) 基于个体排序的变异策略。

采用DE/rand/1变异策略,公式为

$$v_{i,G} = x_{r_0,G} + F \cdot (x_{r_1,G} - x_{r_2,G}) \quad (19)$$

式中: $r_0, r_1, r_2 \in [1, N_p]$, 为互不相同且与 i 不等的随机整数; 一般, 变异率 $F \in (0, 1)$. 本文利用种群信息, 设计基于个体适应度排序的变异率 F_i 为

$$F_i = \text{Rank}(x_i) / N_p \quad (20)$$

式中: $\text{Rank}(x_i)$ 为个体按照适应度从优到劣的排序值, 则个体从优到劣的 F_i 值从 $1/N_p$ 到 1 变化, 从而精英个体以较小缩放步长实现局部精确寻优, 而较差个体以较大缩放步长全局寻优.

(2) 基于个体排序的交叉策略.

$$\text{常用交叉方式: } u_{i,G}^j = \begin{cases} v_{i,G}^j, \text{rand}_j \leq \text{CR} \text{ 或 } j = \text{rand}_{ni} \\ x_{i,G}^j, \text{其他} \end{cases}$$

其中, $j = 1, 2, \dots, D$; $\text{CR} \in (0, 1)$ 为交叉率.

而 Gong 等^[10]根据当前种群的适应度排序按比例选择变异算子的基准向量与终点向量, 以实现较优个体的信息有更大机会被繁殖. 受此启发, 本文设计一种新的基于个体排序的交叉概率 CR_i 为

$$\text{CR}_i = \text{CR}_{\min} + (\text{CR}_{\max} - \text{CR}_{\min}) \cdot \text{Rank}(x_i) / N_p \quad (21)$$

由式(21), 越优秀个体的 CR_i 越小, 其携带信息越可能被选择贡献给试验个体; 其中, CR_{\min} 、 CR_{\max} 为 CR 的最小、最大值.

(3) 混合轮盘赌的半贪婪选择策略.

对于最小化问题, DE 算法的选择操作方程为

$$x_{i,G+1} = \begin{cases} u_{i,G}, f(u_{i,G}) < f(x_{i,G}) \\ x_{i,G}, \text{其他} \end{cases}$$

这种绝对贪婪的选择策略使算法易陷入局优. 本文设计一种混合轮盘赌的半贪婪选择策略: 对原始种群利用轮盘赌产生新种群, 使原个体以依次减小的概率变地更好、不变或更差, 与试验个体进行竞争. 优化后的试验个体以绝对概率进化到下一代, 而未得到优化的原个体以 3 种可能变体被选择到下一代. 通过这一选择策略, 最终实现整体上优秀的个体有更多机会遗传到下一代, 加速种群收敛; 同时, 较差个体也有机会遗传, 保证种群多样性.

具体步骤为:

Step 1 对第 G 代种群 X_G , 执行轮盘赌, 产生新种群 X_{G1} .

Step 2 比较 X_G 中个体 $x_{i,G}$ 与相应试验个体 $u_{i,G}$ 的适应度, 如果 $f(u_{i,G}) < f(x_{i,G})$, 则选择 $u_{i,G}$ 作为下一代

第 i 个个体; 否则, 选择 X_{G1} 种群中的 $x_{i,G1}$ 作为新一代个体.

2.4 改进的差分进化算法 (ISDE) 基本流程

算法步骤为:

Step 1 设置参数, 包括种群规模 N_p 、最大进化代数 G_M 及 CR_{\min} 、 CR_{\max} 等, 生成初始种群, 运行代数 $t = 0$.

Step 2 对第 t 代 $x_{i,G}$ 执行基于个体排序的变异操作产生 $v_{i,G}$, 详见 2.3 节(1)所述.

Step 3 对第 t 代 $v_{i,G}$ 执行基于个体排序的交叉操作产生 $u_{i,G}$, 详见 2.3 节(2)所述.

Step 4 对原种群进行轮盘赌选择产生新种群, 以半贪婪的选择方式产生新一代个体, 详见 2.3 节(3)所述.

Step 5 判断是否达到代数限制, 若是, 则停止, 输出最优解; 否则, $t = t + 1$, 转 Step 2 再次循环, 直到达到终止条件.

算法流程如图 1 所示.

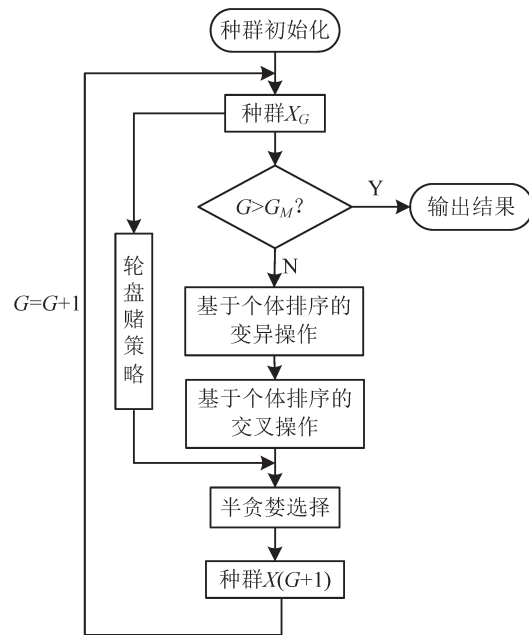


图 1 ISDE 算法的基本流程

Fig. 1 The basic flow of the ISDE algorithm

3 实验结果及分析

3.1 测试算例

参照文献[4]创建一个 20 辆出租车, 60 个预约乘客及 20 个车上乘客的测试算例: 出租车及乘客

接送点坐标根据均匀分布在 $[-10,10] \times [-10,10]$ 范围内随机产生,假设 U_{ij} 是 i 到 j 的欧氏距离, $C_{ij} = U_{ij}$,客容量为4; U_p^c 根据 $U(10,15)$ 随机生成, $U_p^1 = U_p^c + U(15,30)$, $U_p = 1.5 \cdot U_{s(p)/f(p)}$,模糊时间窗宽度 $W = U_p^c - U_p^{cc} = U_p^{ll} - U_p^1 = 10$, $R = 200$, $\mu = 1$, $\nu = 1$.前5组算例数据如表1和表2所示.

表1 出租车信息

Table 1 The information of taxis

出租车编号	位置		已占用座位
	X	Y	
1	6	4	1
2	1	-8	1
3	-6	-9	1
4	-9	-6	1
5	4	0	1

表2 乘客信息

Table 2 The information of passengers

乘客编号	上车点		下车点		出行状态	合成意愿	模糊时间窗			
	X	Y	X	Y			U_p^{cc}	U_p^c	U_p^1	U_p^{ll}
1	0	0	7	-7	0	1	0.6	10.6	35.5	45.5
2	0	-7	-3	4	0	1	2.2	12.2	40.7	50.7
3	-8	-8	2	-5	0	1	1.3	11.3	39.0	49.0
4	-3	7	-6	2	0	1	0.6	10.6	41.0	51.0
5	-2	1	7	0	0	1	2.5	12.5	38.4	48.4

3.2 算法有效性分析

分别独立运行10次DE、GA及ISDE算法求解本文算例, $N_p = 50$, $G_M = 200$,其他算法参数设置如表3所示;运行环境为win7、Intel(R) Pentium(R) CPU、2.13GHZ、matlab2012b.算法对比结果如图2和表4所示.

表4 算法求解结果对比

Table 4 The comparison of the algorithms solution results

算法	GA	DE	ISDE(本文算法)
最优解	6 491.5	6 238.6	4 904.6
最差解	7 240.6	6 587.2	5 428.1
平均解	6 799.78	6 448.64	5 161.46

表3 算法参数设置

Table 3 The parameter settings of the algorithms

算法名称	主要参数设置	参考文献
GA	变异率 $P_m = 0.1$,交叉率 $P_c = 0.6$	[8]
标准DE	交叉率 $CR = 0.1$,缩放因子 $F = 0.7$	[12]
本文的ISDE	交叉率范围 $CR_{min} = 0.3, CR_{max} = 0.9$	[11]

3.3 模型有效性分析

分别独立运行10次ISDE算法分别求解合乘与非合乘2种模式,结果对比如表5所示,所求最优解分别如表6和表7(仅列5组)所示.

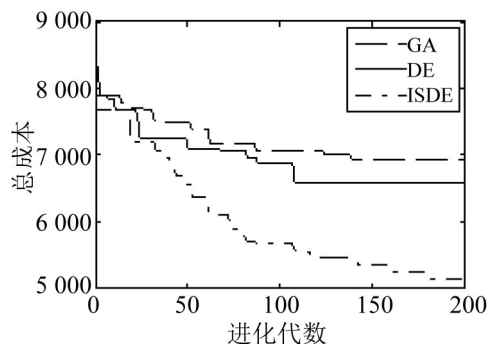


图2 算法收敛曲线

Fig. 2 The convergence curve of the algorithm

由图2和表4可知,求解效果由好到差依次为ISDE、DE、GA;与GA相比,DE收敛速度更快,但易陷入局优,而ISDE算法收敛较快,同时精度较优,说明该算法的优越性.

表5 合乘与非合乘模式的求解对比

Table 5 The comparison of solutions between the shared and non-shared model

是否合乘	合乘模式	非合乘模式
最优解	4 904.6	6 225.3
最差解	5 428.1	7 310.2
平均解	5 161.46	6 585.99
平均服务乘客数	76	54

表6 合乘模式所求最优解

Table 6 The best solution solved in the shared model

出租车编号	服务乘客	车辆路径
1	36、50、53、61	36—121—50—53—96—110—113
2	9、20、29、62	29—89—122—9—20—69—80
3	19、39、42、63	39—123—19—42—79—99—102
4	12、27、51、64	12—124—51—27—111—72—87
5	16、25、40、65	125—40—25—16—76—100—85
拒载人数	4	

表7 非合乘模式所求最优解
Table 7 The best solution solved in the non-shared model

出租车编号	服务乘客	车辆路径
1	49,61	121—49—109
2	4,62	122—4—64
3	5,54,63	123—54—114—5—65
4	52,53,64	124—53—113—52—112
5	27,65	125—27—87
拒载人数	24	

由表6可知,本文模型能保证出租车将车上乘客送至目的地的同时,接送新的预约乘客,且出现合乘;由表7可知,在非合乘模式中,出租车均是先将车上乘客送至目的地,再接送其他预约乘客,不出现合乘;而由表5可知,与非合乘模式相比,合乘模式能服务更多乘客,节约总成本,充分说明本文模型求解出租车合乘问题的有效性。

3.4 模糊时间窗宽度的影响分析

改变模糊时间窗的宽度 W ,10次求解结果如表8所示。

表8 不同时间窗宽度下的模型求解对比
Table 8 The comparison of solutions among models with various width of time window

W	0	5	10
最优解	5 919.1	5 281.5	4 904.6
最差解	7 141.0	6 479.8	5 428.1
平均解	6 600.95	5 970.79	5 161.46
平均服务乘客数	66	73	76

由表8可知,模糊时间窗的宽度越大,总成本越小,平均服务乘客越多。因此,在实际运营时,获取乘客的模糊时间要求,并通过一定措施放松其宽度,具有一定价值。

3.5 合乘意愿的影响分析

改变拒绝合乘的人数 N ,10次求解结果如表9所示。

表9 拒绝合乘人数不同的模型求解对比
Table 9 The comparison results of various number of people rejecting to share a taxi

N	0	5	10
最优解	4 681.3	5 288.1	5 458.8
最差解	5 479.3	5 857.9	6 164.6
平均解	5 080.82	5 602.64	5 847.26
平均服务乘客数	77	73	70

由表9可知,拒绝合乘的人数越多,总成本越大,平均服务乘客越少,说明接受合乘的人数越多,合乘模式越能节约成本,此外,考虑合乘意愿能提升乘客满意度。因此,在实际运营时,了解合乘意愿,并通过一定措施激励乘客接受合乘,也具有一定价值。

4 结论

为提高出租车的座位利用率,考虑模糊时间窗及合乘意愿,建立更切实际的出租车合乘模型,并设计改进的差分进化算法(ISDE)求解。该算法采用分段实数编码,设计一种基于个体排序的缩放因子 F 与交叉概率 CR ,并提出混合轮盘赌的半贪婪选择策略,使种群多样性与收敛速度得到有效平衡。仿真结果表明,所构建的问题模型及改进的差分进化算法均为求解带时间窗的多对多出租车合乘问题的有效方法,为后续研究奠定一定基础。动态环境下的仿真、时间窗设置、合乘意愿的影响因素等问题,还需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] LIN Y, LI W, QIU F, et al. Research on optimization of vehicle routing problem for ride-sharing taxi[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012(43): 494-502.
- [2] TAO C C. Dynamic taxi-sharing service using intelligent transportation system technologies[C]// International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. IEEE Xplore, 2007:3209-3212.
- [3] CORDEAU J-F. A branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem[J]. Operations Research, 2006, 54(3): 573-586.
- [4] HOSNI H, NAOUM-SAWAYA J, ARTAIL H. The shared-taxi problem: Formulation and solution methods[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2014(70): 303-318.
- [5] JUNG J, JAYAKRISHNAN R, PARK J Y. Dynamic shared-taxi dispatch algorithm with hybrid-simulated annealing[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2016, 31(4): 275-291.