

# 双因素约束下动态共乘成功率仿真研究\*

王晞诺, 侯立文

(上海交通大学 安泰经济与管理学院, 上海 200030)

**摘要:** 研究在时间窗与信任机制共同作用下, 动态共乘系统对于出行个体供给与需求的匹配建模及仿真结果分析。建立动态共乘模型及相应规则, 并通过系统仿真的方式获得运行数据, 以此评价时间窗长度、信任水平, 以及两者共同作用下对系统运行的影响。时间窗与信任机制对 DR 系统的有效性有着重要影响, 参与人数等其他因素也影响系统运行的有效性。在动态共乘系统运行时, 使用户的时间窗到达合适的范围, 同时提高参与人员的信任感, 以此来完善动态共乘系统的运行效率。

**关键词:** 时间窗; 信任; 动态共乘; 匹配; 仿真

**中图分类号:** TP391.9      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2018)05-1331-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-3695.2018.05.011

## Matching modeling & simulation of dynamic ridesharing with dual-factor constraint

Wang Xinuo, Hou Liwen

(Antai College of Economics & Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** Under the influence of dual factors such as time window and trust mechanism, this research built the dynamic ride-sharing system model, and analyzed simulation results. This research established a dynamic ridesharing model and its corresponding; gained continuing data via system simulation; thus evaluated the co-impact of the three factors. The three factors included length of time window, trust level and their interaction impact. The time window had an important impact on the effectiveness of the DR system, the number of participants and other factors also affected the validity of the system running. The efficiency of dynamic ridesharing system depends on the user's time window reaching a suitable range, while improving the system of participation.

**Key words:** time window; trust; dynamic ridesharing(DR); matching; simulation

## 0 引言

动态共乘(DR)是对传统合乘(carpool, ridesharing, 我国称为拼车)研究的进一步拓展, 是利用手机和互联网为个体的出行需求提供及时相匹配的共乘服务, 从而缓解城市交通压力, 改善环境状况, 降低出行成本。传统合乘研究已有40年历史, 与传统合乘研究相比, DR是一个新事物, 没有固定的时间、线路, 同时需要不断评估并即时满足拼车需求的可能性与可行性。1996年, 美国西雅图等城市推出了基于互联网的Smart Traveler项目, DR研究才开始有起色, 2005年后, 特别是近五年, DR研究开始活跃。Burris等人<sup>[1]</sup>研究了休斯敦共乘者的人口特征, 对选择DR的概率进行估计。Tao等人<sup>[2]</sup>分析了台北出租车共乘的可能性, 总结了内外影响因素以及对私车的替代性。Deakin等人<sup>[3]</sup>在伯克利的案例研究中指出, 共乘者希望形成稳定关系, 经济刺激会大大增加使用比例。汤黎明等人<sup>[4]</sup>提出邻里合乘的发展建议, 扩大活动影响, 建立由政府支持的社区合乘试点计划, 逐步将社区合乘模式推广。王茂福<sup>[5]</sup>从多个方面比较分析了中外共乘、政府和民间对共乘的态度以及互联网在共乘中的作用, 探讨了共乘出行所具有的积极效应。Minett等人<sup>[6]</sup>比较了美国三个城市实施DR的效果, 从节能和行驶速度方面肯定了DR的优越。

在此基础上, 不同的方法为DR研究的持续进展提供了思路。Calvo等人<sup>[7]</sup>基于互联网和通信技术设计了DR系统。Tao等人<sup>[8]</sup>针对DR中多对一和一对多两种情形设计启发式算法, 使匹配率和行程节省都比较理想。马华伟等人<sup>[9]</sup>基于模拟退火算法设计了多时间窗车辆调度问题的建模与求解。Morency采用计量经济模型分析了人们加入DR系统的决策和使用DR的频率, 实证分析结果揭示了许多行为因素的影响。Selker等人就出行目的对选择DR的影响进行了研究, 发现目的多样性会带来选择的多样性。丁晓安<sup>[10]</sup>设计基于智能搜索功能的Android平台手机拼车系统, 使拼车更加简便。

时间窗自江恩提出以来, 不但在股市分析中得到学者们的应用, 在交通领域也备受研究者的青睐, 如在路径选择方面就运用颇多, 其次时间窗与各种数学算法结合产生的新算法对交通研究都大有裨益。蔡延光等人<sup>[11]</sup>建立带时间窗的多重运输调度问题(MVRPTW)的转换模型, 在此模型基础上提出车辆的自适应Tabu Search算法以获得问题的最优解。雋志才等人<sup>[12]</sup>提出基于时间窗的保守性同步策略并用于交通网络分布式仿真的时钟同步问题, 实现了保守时间窗同步算法在交通网络模拟中的应用。Lin等人<sup>[13]</sup>以时间窗为限制条件, 依据模拟退火算法对供应链中运输环节的路径选择进行计算分析, 降低运输成本。蔡延光等人<sup>[14]</sup>利用改进的蚁群算法求解多层次交通网络的软时间窗联盟运输调度问题。俞雪雷等人<sup>[15]</sup>在目标

**收稿日期:** 2016-12-31; **修回日期:** 2017-02-20      **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(71372108); 国家教育部人文社科资助项目(12YJC630059)

**作者简介:** 王晞诺(1992-), 女, 辽宁沈阳人, 硕士, 主要研究方向为动态共乘(wangxinuo77@163.com); 侯立文(1972-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为互联网服务匹配研究、在线搜索行为研究和系统仿真。

函数中以阈值的形式引入时间窗约束,解决配送中客户的时间窗限制和车辆在运行过程中的交通条件约束。袁二明等人<sup>[16]</sup>结合改进的穷举法、SDOT 算法及遗传算法定义时间窗函数,建立相位差协调控制模型,以此模拟各路口信号灯控制。Chu 等人<sup>[17]</sup>基于时间窗约束对高速网络交通流量分配进行仿真分析。Zulvia 等人<sup>[18]</sup>在模糊出行时间和需求条件下,基于时间窗建立数学模型,并通过混合蚁群算法和遗传算法进行计算分析,解决有约束的车辆路径问题。陈飞飞等人<sup>[19]</sup>建立了基于风险最小和成本最少的有时间窗限制的双目标运输路径选择模型,借此分析危险品的运输路径选择问题。Shao 等人<sup>[20]</sup>基于时间窗提出有别于传统的散装粮食运输新模式,以降低运输成本和违约成本。赖志柱<sup>[21]</sup>针对多式联运运输路径上运输方式选择问题进行分析,建立了多个中间节点带软时间窗的运输方案优化模型。朱晓峰等人<sup>[22]</sup>以客户服务的时窗为约束条件,研究了带时变交通流的 VRP 问题。Wang 等人<sup>[23]</sup>研究了不确定性条件下的任何时段,基于自动匹配时间窗的车辆再识别系统能够很好地估计高速公路实际出行时间。

另一方面,对供需双方而言,对共乘者的信任感是 DR 能否可行的关键,Correia 等人<sup>[24]</sup>提出成立 DR 俱乐部的建议,用于避免信任度差造成的匹配率低。汪漩等人<sup>[25]</sup>在上下游信息不对称的企业间构造了信任机制策略。Liu 等人<sup>[26]</sup>设计了一个 DR 提供者和需求者之间的沟通系统,实验表明,该系统能显著提高 DR 效率。Chaube 等人<sup>[27]</sup>的调查研究也重申了信任的重要性,并给出了信任水平和共乘意愿的关系。

当前的 DR 已与传统合乘研究大相径庭,根据以上综述,并结合我国国情,可以发现这些研究尚存在不少局限性,主要表现在:虽然网络信任研究已相当深入,但在 DR 环境下缺乏同时考虑客观时间窗和主观信任风险。我国网民和手机用户数量巨大,DR 发展的网络条件已经具备,因此在低碳出行,节能减排与经济发展存在矛盾的背景下,如何借助计算机技术与网络平台提高共乘率成为当前 DR 研究热点。有鉴于此,本文将基于已有研究成果,依据 DR 运行规则,通过系统仿真的方式,探索时间窗和信任这两个主客观双因素的限定下 DR 的动态匹配问题。

## 1 DR 仿真服务系统构建

上文分析了时间窗与信任对于出行选择的影响,这两个关键因素也在影响着人们对 DR 服务的接受意愿,时间窗对系统的响应能力提出了要求,信任水平和信任机制的建立影响了 DR 的参与度。因此,下面 DR 仿真服务系统的构建在部分假设运行规则的基础上主要考虑时间窗与信任的影响作用。

### 1.1 DR 仿真系统运行规则假设

DR 系统基于移动设备(如智能手机等)和互联网对拼车需求及供给进行匹配。个体在出行时将出行信息以及时间窗限制发送至 DR 系统服务器端,DR 系统通过匹配算法,在考虑时间窗因素和信任机制的共同约束限制条件下,对合适的拼车出行需求和供给进行匹配。为了使 DR 模型更为明晰,提出以下系统运行规则:

- 整体模型建立的基础是时空网络模型(time-space network-model)。
- 个体以一定的时间间隔进入 DR 系统,其到达速度满足参数为  $\lambda$  的泊松分布。
- 出行个体进入系统时包含位置信息和时间信息。
- 有拼车需求的驾驶员和乘客的产生是随机的,在不同

小区的产生位置也是随机的,并以一定的概率被随机分配为驾驶员或者乘客的身份。驾驶员集合 driver-pool,  $d$  属于驾驶员集合  $D$ ,  $d \in D$ , 每个驾驶员可以提供  $q$  个空座位,仿真时假定每个驾驶员仅提供 1 个空座位。乘客集合 rider-pool,  $r$  属于乘客集合  $R$ ,  $r \in R$ 。

e) 个体进入系统的时间信息包括最早出发时间、时间窗和最晚到达时间。假设个体最早出发时间即为其进入系统的时间,实际出发时间为匹配完成时间。从 0 开始计时,  $E(d)$ 、 $E(r)$  分别表示驾驶员和乘客的最早出发时间(earliest\_departure\_time),  $L(d)$ 、 $L(r)$  分别表示驾驶员和乘客的最晚出发时间(latest\_departure\_time)。最晚到达时间表示个体需要到达目的地的临界值,对于每个个体,按一定车速从起点行驶至终点的时间为行程时间。最晚出发时间一般由最晚到达时间(latest\_arrival\_time)和实际出行时间(actual\_travel\_time)决定。

f) 拼车需求得到响应后,乘客即原地等待,驾驶员行驶至乘客所在位置。 $t_{ij}$  表示已达成共乘的匹配对之间的出行时间,  $d_{ij}$  表示匹配对之间的出行距离。 $i, j$  属于地点集合  $P$ 。

g) 根据上述系统运行规则,绘制系统运行图。

图 1 描述了 DR 仿真系统的运行框架。

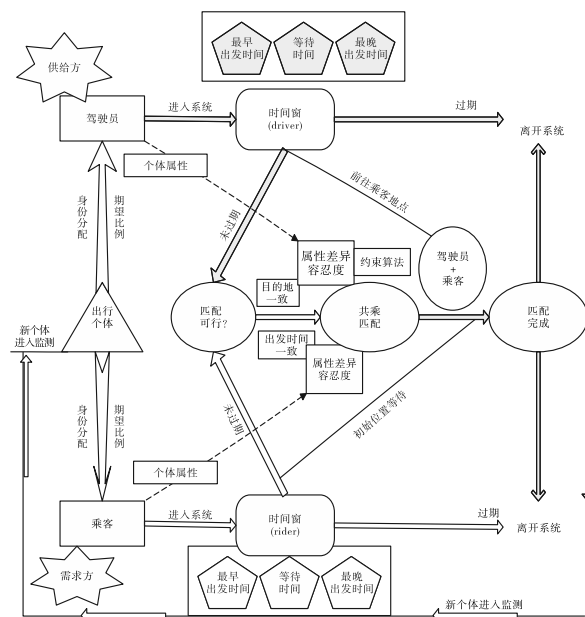


图1 DR仿真系统的运行框架

### 1.2 时间窗因素的影响

出行个体的时间窗表示个体在起始位置最长的等待时间,超过该时间后即认为时间窗过期,个体会自动离开 DR 系统。每当新的出行个体进入 DR 系统时,都进行一次全局匹配,如果没有得到匹配或者匹配没有成功,则会进入相应的等待池直到获得匹配或者等待时间窗过期。匹配成功前,出行个体都将在各自的起点等待。不考虑出行个体的角色分配,从系统节点的角度考虑,节点对之间  $(i, j)$ ,  $(i, j) \in N$ ,  $N$  表示节点对集合,节点对之间的出行时间和出行距离分别用  $t_{ij}$  和  $d_{ij}$  表示。节点  $n(p, t)$ , 其中  $p$  表示地点,构成地点集合  $P$  (position), 位置信息包括出发地和目的地,以系统运行区域内的直角坐标  $(x, y)$  表示,DR 系统区域平面上的点  $O_i(x, y)$ 、 $D_i(x, y)$  分别表示节点的起点(origin)和终点(destination)。其中:  $x, y$  服从  $(0, L)$  内的均匀分布;  $t$  表示时间,构成时间集合  $T$  (time)。节点对  $N_{p,t}$ , 其中  $p \in P$  (地点集合),  $t \in T$  (时间集合),  $t \in T \setminus \{0, 1, 2, \dots, T\}$ , 将时间离散化。节点  $N_{((p,t),(p,t+1))}$  表示在地点  $p$  允许等待的时间从  $t$  到  $t+T, t+0$  表示最早出发时间,  $t+T$  表示最晚出

发时间。节点对  $N_{((p_i, t_i), (p_j, t_i + t_{p_i \cdot p_j}))}$  表示从地点  $p_i$  到地点  $p_j$ ,  $p_i$  的出发时间  $T_i$ ,  $p_j$ 、 $p_i$  之间的出行时间为  $T_{p_i \cdot p_j}$ , 所以到达  $p_j$  的时间为  $T_i + T_{p_i \cdot p_j}$ 。其中, 节点满足

$$\begin{aligned} \sum_j n_{j,i}^r &= \sum_j n_{i,j}^r, \forall r \in R \\ i &\in N \setminus \{ (O(r), E(r)), (D(r), L(r)) \} \\ \sum_j n_{j,i}^d &= \sum_j n_{i,j}^d, \forall d \in D \\ i &\in N \setminus \{ (O(d), E(d)), (D(d), L(d)) \} \end{aligned}$$

假定  $m_r$  是一个  $(0,1)$  变量, 当  $m_r = 0$  或者  $m_d = 0$  时, 表示乘客或驾驶员拼车没有成功, 出行由自己一人完成, 当  $m_r = 1$  或者  $m_d = 1$  时, 表示乘客或驾驶员拼车成功, 出行不是自己一人完成; 当匹配成功, 有  $m_r = 1$ , 其中  $\forall r \in R$ 。当匹配不成功, 有  $m_r = 0$ , 乘客自己完成出行, 同时  $\sum_j n_{(O(r), E(r)), j}^r + m_r = 1$ , 即  $\sum_j n_{(O(r), E(r)), j}^r = 1$ ,  $\sum_j n_{i, (D(r), L(r))}^r = 1$ , 其中  $\forall r \in R$ ; 当匹配成功, 有  $m_d = 1$ , 其中  $\forall d \in D$ 。当匹配不成功, 有  $m_d = 0$ , 驾驶员自己完成出行, 同时  $\sum_j n_{(O(d), E(d)), j}^d + m_d = 1$ , 即  $\sum_j n_{(O(d), E(d)), j}^d = 1$ ,  $\sum_j n_{i, (D(d), L(d))}^d = 1$ , 其中  $\forall d \in D$ 。对于出行个体  $Z_{(i,j)}$ , 表示  $Z_{(i,j)}$  一个驾驶员  $d_{(i,j)}$  (拼车供给方) 或一个乘客  $r_{(i,j)}$  (拼车需求方), 出行个体进入 DR 系统时服从  $(0,1)$  内均匀分布的随机变量  $r$ 。系统预设的拼车供给方比例为  $s$ , 若  $r < s$  则分配  $Z_{(i,j)}$  为拼车供给方, 否则分配为拼车需求方。  $t_{o,d}^{rd}$  表示共乘匹配成功时, 出行个体由起点至终点的必要行驶时间, 得到

$$t_{o,d}^{rd} = \sqrt{(x_o^{rd} - x_d^{rd})^2 + (y_o^{rd} - y_d^{rd})^2} / \text{car\_speed}$$

其中:  $\text{car\_speed}$  为系统确定的车辆行驶速度。系统仿真时, 假定所有共乘车辆的行驶速度是相同的。当驾驶员与乘客分别单独出行, 则出行个体由起点至终点的必要行驶时间为

$$\begin{aligned} t_{o,d}^d &= \sqrt{(x_o^d - x_d^d)^2 + (y_o^d - y_d^d)^2} / \text{driver\_speed} \\ t_{o,d}^r &= \sqrt{(x_o^r - x_d^r)^2 + (y_o^r - y_d^r)^2} / \text{rider\_speed} \end{aligned}$$

时间窗  $\text{time\_window}$  用变量  $W$  表示, 表示出行个体的时间窗长度;  $W_{O(i,j)}^r$ 、 $W_{O(i,j)}^d$  分别表示拼车需求方和拼车供给方的时间窗范围;  $T_{O(i,j)}^{E(r)}$ 、 $T_{O(i,j)}^{E(d)}$  表示起点在  $O(i,j)$  的出行个体最早出发时间;  $T_{O(i,j)}^{L(r)}$ 、 $T_{O(i,j)}^{L(d)}$  表示起点在  $O(i,j)$  的出行个体最晚出发时间;  $T_{O(i,j)}^{LA(r)}$ 、 $T_{O(i,j)}^{LA(d)}$  表示起点在  $O(i,j)$  的出行个体最晚到达时间, 则最晚到达时间有如下关系:

$$\begin{aligned} T_{O(i,j)}^{LA(r)} &= T_{O(i,j)}^{E(r)} + W_{O(i,j)}^r + T_{OD}^{rd} \\ \text{或 } T_{O(i,j)}^{LA(r)} &= T_{O(i,j)}^{E(r)} + W_{O(i,j)}^r + T_{OD}^{rd} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} T_{O(i,j)}^{LA(d)} &= T_{O(i,j)}^{E(d)} + W_{O(i,j)}^d + T_{OD}^{rd} \\ \text{或 } T_{O(i,j)}^{LA(d)} &= T_{O(i,j)}^{E(d)} + W_{O(i,j)}^d + T_{OD}^{rd} \end{aligned} \quad (2)$$

时间窗范围有如下关系:

$$W_{O(i,j)}^r = T_{O(i,j)}^{L(r)} - T_{O(i,j)}^{E(r)} \quad (3)$$

$$W_{O(i,j)}^d = T_{O(i,j)}^{L(d)} - T_{O(i,j)}^{E(d)} \quad (4)$$

$$t_{\text{cur}} \in W^r \quad (5)$$

$$t_{\text{cur}} \in W^d \quad (6)$$

$$t_{\text{cur}} + T_{o,o}^{d,r} \leq t_{ld}^r \quad (7)$$

$$T_{\text{cur}} + T_{o,o}^{d,r} + T_{o,d}^{r,d} \leq t_{la}^d \quad (8)$$

$$T_{o,d}^{r,d} + T_{o,d}^d \geq T_{o,o}^{d,r} + T_{o,d}^{r,d} + T_{o,d}^{r,d} \quad (9)$$

其中:  $t_{\text{cur}}$  表示当前时间, 即系统匹配的時刻; 式(8)(9)分别表达了时间窗的限制。

$$\text{saving}(r, d) = T_{o,d}^r - T_{o,o}^{d,r} - T_{d,d}^{r,d} \quad r \in R, d \in D$$

表示拼车供给方与需求方的某个共乘配对  $(r, d)$  所获得的时间节省, 对于新进入系统的拼车供给方节点  $d$ , 系统匹配的目标就是找到拼车需求方节点  $r \in RP$ , 使得  $\text{saving}(d, r) = \max \{ \text{saving}(d, r) \}$ 。记  $\text{match}(d, r) = 1$  或者  $\text{match}(r, d) = 1$ , 表示拼车供给方节点  $d$  和拼车需求方节点  $r$  是一组成功的配对, 否

则  $\text{match}(r, d) = 0$ 。匹配成功后, 从集合  $RP$  中去除节点  $r$ , 其余节点等待下一次匹配。

## 2 时间窗因素与信任机制共同作用下 DR 系统服务仿真

### 2.1 时间窗约束下的仿真运行与结果分析

利用 Netlogo 仿真平台进行系统仿真。其中几个关键变量包括: a)  $\lambda$  为出行个体的到达速率, 泊松流中单位时间 (min) 进入系统的平均人数,  $\lambda$  决定了系统参与者的数量, 从而影响了整体 DR 系统匹配的基数; b)  $W$  为出行个体的时间窗长度; c)  $Tr$  为个体对共乘匹配对象的信任程度。

仿真过程中每个时间单位 tick 相当于 1 s, 同时也是系统处理循环的时间单位。将仿真系统运行的区域设定为典型的路网结构, 区域范围设定为方形, 范围大小由仿真系统实际运行时的界面大小定义。系统循环处理的流程主要包含新出行个体进入系统监测、匹配的可行性处理、时间窗过期检查。

图 2(a) 上侧和左侧边缘部分是 DR 仿真运行的参数设置和部分变量运行结果的实时监测数据。参数设置主要包括: a) 按钮, 用于仿真系统的初始化设置和程序运行的暂停与终止; b) 滑动条, 用于部分变量参数最低值、最高值和初始值的设定, 如车辆行驶速度、驾驶员所占比例等; c) 开关变量, 主要用于 0-1 变量的设定, 如性别偏好等; d) 数据监视器, 是针对部分离散变量运行结果的实时监测值。图中间方形区域是仿真系统的运行界面, 里面划分若干大小的区域表示街区, 褐色条形区域表示分割街区的道路, 绿色方块表示道路交叉口 (见电子版)。图 2(b) 六幅图是系统运行的实时结果, 这些结果是对 DR 系统有效性评估的重要内容。其主要包括: a) 平均匹配成功率, 即已经获得成功匹配的对数占所有进入系统的出行个体总量的比例; b) 时间节省比率, 即系统全局因共乘所获得的时间节省占系统内个体单独出行所需时间总和的比例; c) 平均等待时间, 即所有出行个体等待时间的平均值。对于未能获得匹配的个体, 等待时间即为整个时间窗长度, 否则等待时间从进入系统开始计时到获得匹配所经历的时间, 这一指标用于描述出行个体为了共乘所付出的时间成本。上述三个指标均为系统实时运行结果的累计值。

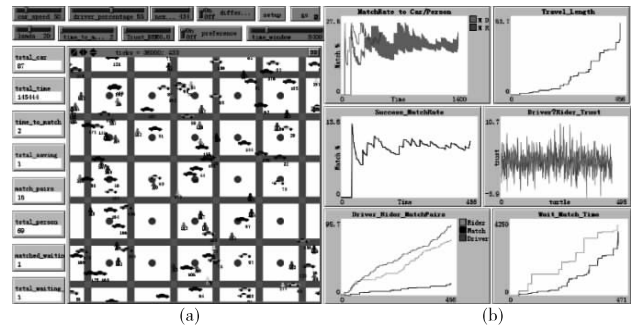


图2 DR仿真运行及运行实时结果( $W=8400$ )

首先, 选取不同的时间窗取值: 当  $\lambda = 20$ ,  $W$  分别取值 8 400、14 400 和 36 000 时, 系统共乘匹配成功率依次提高, 由平均值 9%、10% 到 14%; 当时间窗值设定较小时, 匹配成功率很低, 甚至 DR 系统长时间无法启动; 当时间窗长度依次增加时, 系统的匹配成功率也在逐步提高, 得到图 3、4 所示的结果。改变  $\lambda$  的值,  $\lambda = 50$ , 同样,  $W$  分别取值 8 400、14 400 和 36 000 时, 仿真结果如图 5 所示。

仿真结果分析: 当  $W$  分别取值 8 400、14 400 和 36 000 时, 系统共乘匹配成功率依次提高, 由平均值 10%、12.5% 和 14.5%。与  $\lambda = 20$  的仿真结果一样, 当时间窗值设定较小时,

匹配成功率较低,当时间窗长度依次增加时,系统的匹配成功率也在逐步提高。同样也可以看出,出行个体的到达速率 $\lambda$ 对匹配成功率存在影响,如表1所示,但 $\lambda$ 的影响强度远低于时间窗的影响强度, $\lambda$ 对匹配率的增长作用需要一定时间窗长度的支持。一般来讲,时间窗范围越大,出行个体能够等待共乘选择的时间范围越长,匹配成功率应当越高,反之亦然。但依然会出现时间窗范围小、匹配成功率高的个别案例,如当时间窗在8 400时,会产生匹配成功率13.6%的高比例值。这样的结果表明时间窗是影响共乘匹配成功率的重要因素,但并不是唯一因素。从仿真结果还可以看到,其他诸如出行个体到达速率,即系统的参与人数、车辆行驶速度、驾驶员期望比例等因素对于匹配成功率也都存在不同程度的影响。

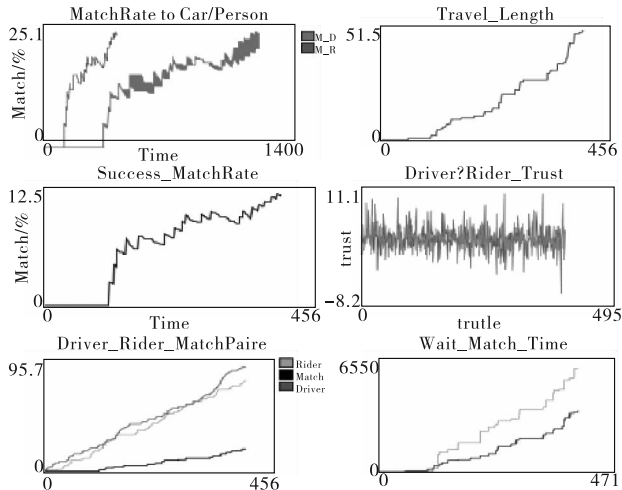


图3 选取不同时间窗值的结果( $W=14\ 400$ )

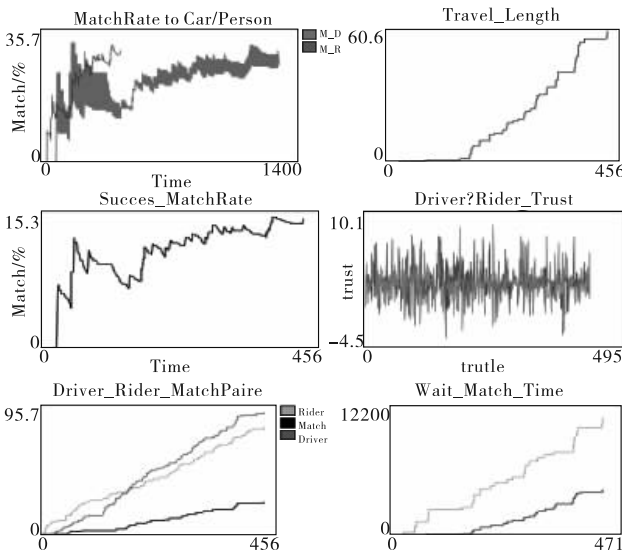


图4 选取不同时间窗值的结果( $W=36\ 000$ )

表1  $\lambda$ 与 $W$ 对系统匹配结果的影响

参数设置		匹配成功率/%		等待共乘 匹配时间	系统 总节省时间
		平均值	最高值		
1	$\lambda = 20, W = 8\ 400$	9.0	13.8	4 050	4 250
2	$\lambda = 20, W = 14\ 400$	10.0	12.5	4 850	6 550
3	$\lambda = 20, W = 36\ 000$	14.0	15.3	5 920	12 200
4	$\lambda = 50, W = 8\ 400$	10.0	16.8	7 350	22 500
5	$\lambda = 50, W = 14\ 400$	12.5	15.9	7 500	21 600
6	$\lambda = 50, W = 36\ 000$	14.5	16.2	8 800	19 200

## 2.2 时间窗与信任机制共同约束下的仿真运行与结果分析

大量研究表明,信任是影响人们对产品或服务接受程度的

关键因素,DR服务也不例外。信任对象同时包括社会媒体服务组织和DR服务参与者,而每个参与者都对这两者具有一定的信任水平,在服务体验会产生新的信任水平。由于DR是一个社会参与的系统,资源供给方与需求方存在信息不对称,DR出行服务的参与意愿会受到彼此间信任度的影响。信任机制与时间窗同样都对共乘匹配设置了限制条件,如图4所示。依据图6所示时间窗和信任的双重制约,分别按照时间窗长短和信任水平的高低共四种情况分析其对共乘系统匹配成功率的影响。

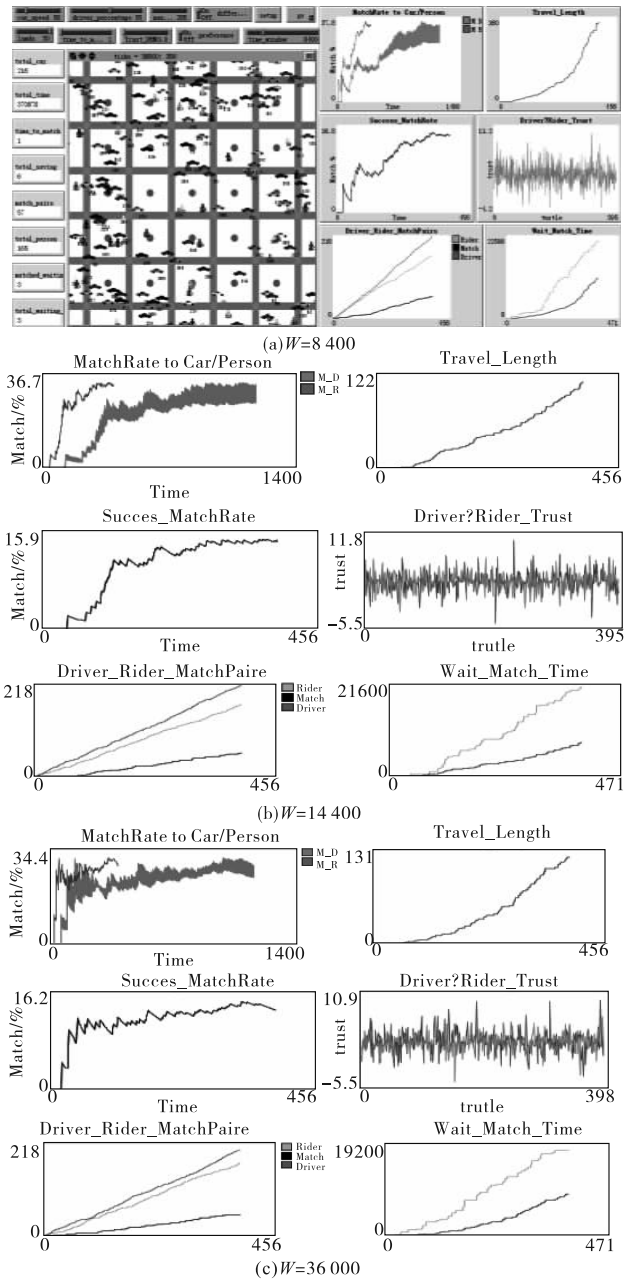


图5 仿真结果图

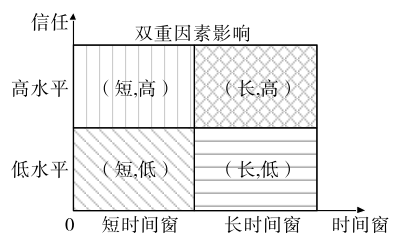


图6 双因素的影响

将时间窗的长短设定为15~45 min,即900~2 700 ticks,

信任水平取值高低分别设定为 0.3 和 0.8。同时假设驾驶员和乘客的信任值分布服从(0.5,1.5)的正态分布。以下按照图 6 所示四种情况分别进行分析。a)短时间窗和低信任水平,  $W=900, Tr=0.3$ , 仿真运行时间 ticks = 1 200, 仿真结果如图 7 (a)所示;b)短时间窗和高信任水平,  $W=900, Tr=0.8$ , 仿真运行时间 ticks = 1 200, 如图 7 (b)所示;c)长时间窗和低信任水平,  $W=2\ 700, Tr=0.3$ , 为了保证与情况 a) b) 有类似比较, 首先将仿真运行时间在 ticks = 1 200 时暂停, 输出此时的运行结果如图 7 (c1)所示, 然后仿真程序继续运行至 ticks = 3 000 时输出图 7 (c2)结果;d)长时间窗和高信任水平,  $W=2\ 700, Tr=0.8$ , 同情况 c)一样, 仿真程序运行至 ticks = 1 200 时暂停给出输出结果如图 7 (d1)所示, 然后继续运行至 ticks = 3 000 时给出结果输出如图 7 (d2)所示。上述四种情况的仿真运行结果列在表 2。

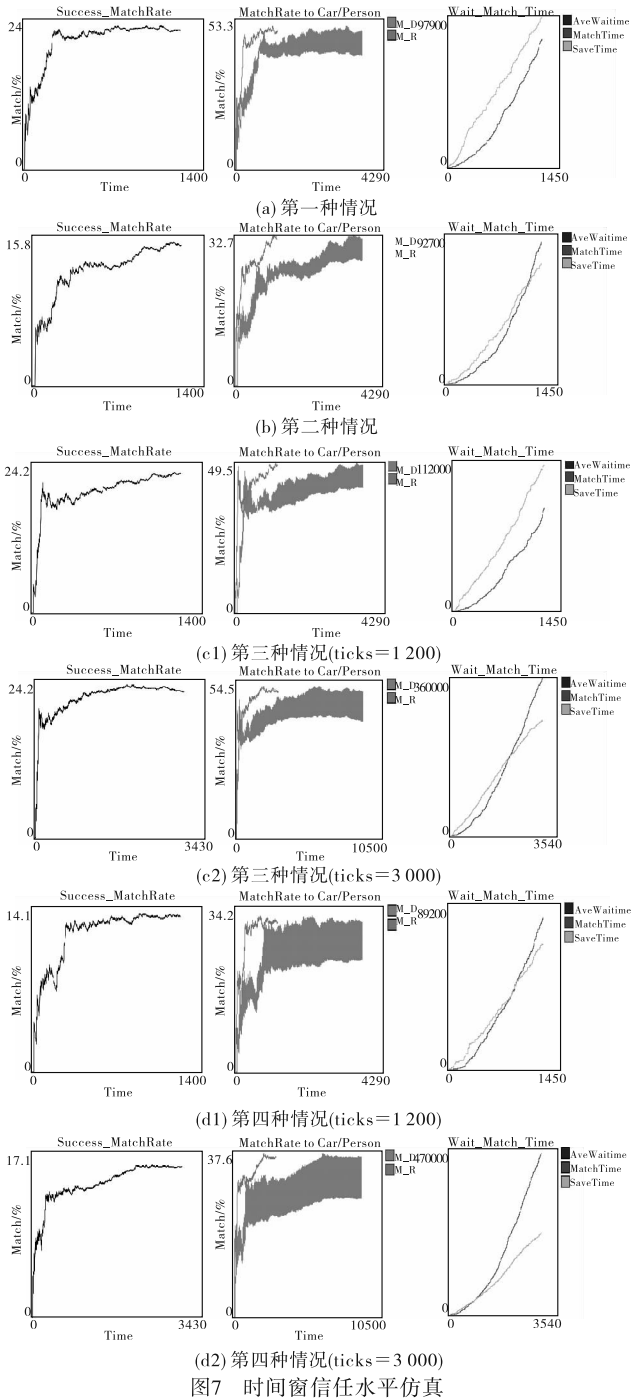


表 2 中时间窗设定范围越大,即出行个体能够接受的等待

时间越长,拼车成功率越高。另一方面,对共同参与拼车对象的信任程度也会影响成功率,信任临界值设定越高,成功率越低。最后一列根据具体时间窗和信任程度的参数值,依据经验给出成功率高低的判断,时间窗越长,信任临界值越低,成功匹配率越高。表 2 可以看出仿真程序的运行结果显示第 1 和第 4 的排序与经验值一样,但排序 2、3 的排序值仿真结果与实践经验值相反,这一点表明,信任程度对动态拼车选择的影响程度要大于时间窗因素对于拼车选择的影响,继而影响了最终的匹配成功率。同时,关于信任水平期望的更新以及信任本身的动态变化都会对参与者的最终决策产生影响。

表 2 时间窗与信任机制共同约束下的仿真运行结果

driver 和 rider 服从 (0.5,1.5) 正态分布	匹配成功率 平均值/%	匹配成功率 最高值/%	系统节省 时间	经验排序/ 仿真排序
$W=900; Tr=0.3; \text{ticks}=1\ 200$	20.2	24.0	97 900	3/2
$W=900; Tr=0.8; \text{ticks}=1\ 200$	12.9	15.8	92 700	4/4
$W=2\ 700; Tr=0.3; \text{ticks}=1\ 200$	21.2	24.2	112 000	1/1
$W=2\ 700; Tr=0.3; \text{ticks}=3\ 000$	21.2	24.2	360 000	
$W=2\ 700; Tr=0.8; \text{ticks}=1\ 200$	10.9	14.1	89 200	2/3
$W=2\ 700; Tr=0.8; \text{ticks}=3\ 000$	14.6	17.1	470 000	

作为社会服务的 DR,由于信任度、便利性和文化等原因,很难在陌生人之间开展服务,往往是在特定的居住社区、工作单位、或者熟悉的环境内部服务比较活跃。由于没有一定的担保机制,对供需双方而言,DR 服务过程几乎不可控,所以需要针对 DR 参与者的信任水平评级,建立信任激励机制,对信誉度好的参与者给予奖励,对失信方采取一定的惩罚措施,提高人们的参与意愿,帮助社会媒体实现 DR 服务的规范化。

DR 作为一种联系交通出行和社会媒体的新型服务模式,其应用范围需要进一步拓展,同时其潜在社会价值还有待挖掘。建立具有完善的信任激励机制、适应短时动态时间窗的快速匹配响应的 DR 系统,实现 DR 服务整体健康发展。

3 结束语

本文对网络动态共乘问题进行了初步分析,建立了基于时间窗限制和匹配规则的动态共乘模型,利用 Netlogo 仿真平台对模型进行数据仿真。由仿真结果可以看到,时间窗对 DR 系统的有效性有着重要影响。DR 系统启动需要赋予用户一定的时间窗长度,伴随时间窗增加,匹配成功率和出行时间节省比率有大幅增长。即使参与人数较少,较长的时间窗长度仍能增加匹配成功率。另一方面,时间窗对于匹配成功率和系统时间节省的有效作用随时间窗增加而逐步减弱。出行个体平均等待时间针对时间窗长度呈现出先减少后增加的变化趋势,当时间窗到达某个范围后,继续增加其长度反而会增加出行个体的平均等待时间。因此,在 DR 系统运行时,使用户的时间窗到达某个合适的范围,同时提高系统参与度,以此来提高 DR 系统的运行效率。

此外,本文的研究仍需进一步完善:a)仿真过程中需要增加不同的参数,如车速、出行时间、交通状况、行驶路线、个体时间窗差异等,使得仿真更逼近现实环境,仿真结果更具说服力;b)细化拼车供给方与拼车需求方的多样化共乘关系,如一对多(一位驾驶员多位乘客)、多对一、多对多(多名驾驶员多名乘客)等。由于 DR 服务出现时间还非常短,与其他互联网服务相比有自己的特点,如何促进 DR 服务的多样化、多元化以及服务的有效性,其需要解决的问题更具挑战性。

参考文献:

[1] Burris M W, Winn J R. Slugging in Houston-Casual carpool passen-

- ger characteristics [J]. *Journal of Public Transportation*, 2006, 9 (5): 23-40.
- [2] Tao Chichung, Wu Chungjung. Behavioral responses to dynamic ride-sharing services-the case of taxi-sharing project in Taipei [C]//Proc of International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2008: 1576-1581.
- [3] Deakin E, Frick K T, Shively K M. Markets for dynamic ridesharing, case of Berkeley, California [EB/OL]. <https://dio.org/10.3141/2187-17>.
- [4] 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.
- [5] 王茂福. 拼车的发展及其效应[J]. *中国软科学*, 2010(11): 54-61.
- [6] Minett P, Pearce J. Estimating the energy consumption impact of casual carpooling[J]. *Energies*, 2011, 4(1): 126-139.
- [7] Calvo R W, De Luigi F, Hastrup P, et al. A distributed geographic information system for the daily carpooling problem [J]. *Computers and Operations Research*, 2004, 31(13): 2263-2278.
- [8] Tao C C, Chen Chunying. Dynamic rideshare matching algorithms for the taxipooling service based on intelligent transportation system technologies [C]//Proc of the 14th International Conference on Management Science and Engineering. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2007: 20-22.
- [9] 马华伟, 左春荣, 杨善林. 多时间窗车辆调度问题的建模与求解[J]. *系统工程学报*, 2009, 24(5): 607-613.
- [10] 丁晓安, 徐伯夏. 基于智能搜索功能的 Android 平台手机拼车系统设计 [C]//全国第五届信号和智能信息处理与应用学术会议专刊(第一册). 2011: 89-92.
- [11] 蔡延光, 钱积新, 孙优贤. 带时间窗的多重运输调度问题的自适应 Tabu Search 算法[J]. *系统工程理论与实践*, 2000, 20(12): 42-50.
- [12] 隗志才, 孙剑. 基于保守时间窗的交通分布式仿真同步算法研究与实现[J]. *公路交通科技*, 2004, 21(6): 84-87.
- [13] Lin S W, Ying K C, Lee Z J, et al. Vehicle routing problems with time windows using simulated annealing [C]//Proc of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2006.
- [14] 蔡延光, 师凯. 带软时间窗的联盟运输调度问题研究[J]. *计算机集成制造系统*, 2006, 12(11): 1903-1908.
- [15] 俞雪雷, 周俊红, 杨俊琴. 有交通条件约束与软时间窗约束的配送配载模型算法研究[J]. *交通与运输*, 2007(7): 26-29.
- [16] 袁二明, 蔡小强, 涂奉生. 基于时间窗的随机时变交通网络信号相位协调[J]. *计算机工程*, 2008, 34(5): 17-19.
- [17] Chu Weibo, Guan Xiaohong, Cai Zhongmin, et al. A time window based analytical approach for splitting high-speed network traffic [C]//Proc of IEEE International Conference on Information Theory and Information Securing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010: 294-300.
- [18] Zulvia F E, Kuo R J, Hu Tunglai. Solving CVRP with time window, fuzzy travel time and demand via a hybrid ant colony optimization and genetic algorithm [C]//Proc of IEEE Congress on Evolutionary Computation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2012: 1-8.
- [19] 陈飞飞, 刘斌. 有时间窗的危险品道路运输路径选择研究[J]. *兰州交通大学学报*, 2013, 32(3): 109-111, 117.
- [20] Shao Kaili, Li Fengting. An optimization model and its algorithm of bulk grain transportation with time windows [C]//Proc of International Conference on Cyberspace Technology. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2013: 496-499.
- [21] 赖志柱. 和声搜索算法优化多时间窗多式联运运输方案[J]. *计算机应用*, 2013, 33(9): 2640-2642, 2693.
- [22] 朱晓峰, 林灼强. 基于时变交通流带时间窗的运输调度问题研究[J]. *中国储运*, 2014(3): 112-115.
- [23] Wang Jiankai, Indra-Payong N, Sumalee A, et al. Vehicle re-identification with self-adaptive time windows for real-time travel time estimation [J]. *IEEE Trans on Intelligent Transportation Systems*, 2014, 15(2): 540-552.
- [24] Correia G, Viegas J M. Carpooling clubs: solution for the affiliation problem in traditional & dynamic ridesharing systems [C]//Proc of the 10th Euro Working Group Transportation Meeting. 2005: 493-498.
- [25] 汪璇, 仲伟俊, 梅姝娥. 合作型企业间电子商务中信任机制设计研究[J]. *系统工程学报*, 2006, 21(1): 34-39.
- [26] Liu Nianbo, Liu Ming, Cao Jiannong, et al. When transportation meets communication: V2P over VANETs [C]//Proc of the 30th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 567-576.
- [27] Chaube V, Kavanaugh A L, Perez-Quinones M A. Leveraging social networks to embed trust in rideshare programs [C]//Proc of the 43rd Hawaii International Conference on Systems Science. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 1-8.
- [28] Habib K M N, Morency C, Islam M T, et al. Modeling users' behavior of a carsharing program: application of a joint hazard and zero inflated dynamic ordered probability model [J]. *Transportation Research: Part A*, 2001, 46(2): 241-254.

(上接第1306页)均取得了最优收敛性和多样性的相互平衡,表明它是一种高效的多目标算法。未来将在一些工程问题中检验 MOPSO 算法的性能,寻找更高效的优化模式,提高算法在求解多目标优化问题的综合性能。

#### 4 结束语

在多目标粒子群算法的基础上,提出了可行性规则动态调整的多目标粒子群算法。在算法中,根据粒子与群体最优粒子之间的相似度值动态非线性地更新算法的惯性权重,使得算法可以有效地平衡全局搜索和局部搜索两者的矛盾;采用动态加权法解决随机性抽取群体最优粒子的缺陷,保证了种群的多样性;动态改变可行性规则的阈值,使得算法可以充分利用某些不可行解包含的有效信息,提高算法收敛到 Pareto 前沿的能力。与其他四种算法的数值实验结果表明,在解决多目标优化问题时,本文算法可以获得更好的收敛性及 Pareto 解的均匀分布性。

#### 参考文献:

- [1] Konak A, Coit D W, Smith A E. Multi-objective optimization using genetic algorithms: a tutorial [J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2006, 91(9): 992-1007.
- [2] Meo S, Zohoori A, Vahedi A. Optimal design of permanent magnet flux switching generator for wind applications via artificial neural network & multi-objective particle swarm optimization hybrid approach [J]. *Energy Conversion and Management*, 2016, 110(2): 230-239.
- [3] Li Xiaodong. A non-dominated sorting particle swarm optimizer for multi-objective optimization [C]//Genetic and Evolutionary Computation. Berlin: Springer, 2003: 37-48.
- [4] Lei Deming. Pareto archive particle swarm optimization for multi-objective fuzzy job scheduling problem [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2008, 54(4): 960-971.
- [5] Tavakkoli-Moghaddam R, Azarkish M, Sadeghnejad A. A new hybrid multi-objective Pareto archive PSO algorithm for a bio-objective job shop scheduling problem [J]. *Expert Systems with Application*, 2010, 38(9): 10812-10821.
- [6] Liu Dasheng, Tan K C, Goh C K, et al. A multiobjective memetic algorithm based on particle swarm optimization [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 2007, 37(1): 42-50.
- [7] 陈民铨, 张聪蓉, 罗辞勇. 自适应进化多目标粒子群优化算法[J]. *控制与决策*, 2009, 24(12): 1851-1855.
- [8] 焦李成. 多目标优化免疫算法、理论和应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 57-60.
- [9] Deb K, Pratap A. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II [J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2002, 6(2): 182-197.
- [10] 高圣国, 吴忠, 李旭芳, 等. 带两类正态变异的多目标粒子群算法[J]. *控制与决策*, 2015, 30(5): 939-942.
- [11] 胡旺, Yen G G, 张鑫. 基于 Pareto 熵的多目标粒子群优化算法[J]. *软件学报*, 2014, 25(5): 1025-1050.
- [12] 雷瑞龙, 侯立刚, 曹江涛. 基于多策略的多目标粒子群优化算法[J]. *计算机工程与应用*, 2016, 52(8): 19-24.