

# 个性化诱导下的居住区共享停车泊位分配模型

段满珍<sup>1,2</sup>, 杨兆升<sup>1</sup>, 张林<sup>2</sup>, 田秀娟<sup>1</sup>  
(1. 吉林大学 交通学院, 吉林 长春 130022; 2. 华北理工大学 建筑工程学院, 河北 唐山 063009)

**摘 要:** 针对停车资源有限条件下群体式停车诱导容易产生局部拥堵的问题,研究居住区参与的个性化共享停车服务模型. 提出了个性化共享停车诱导服务策略,定义了居住区停车位共享管理指标,建立了居住区共享停车泊位分配模型. 通过对高峰泊位空闲指数差异均值和驾驶员停车后步行距离目标的双重约束,在满足驾驶员停车选择目标的同时实现了停车资源的均衡有效利用. 研究表明,个性化诱导方式下,居住区停车场利用自身泊位的闲置时间可以有效缓解周边建筑的停车吸引,减少局部停车拥挤,成为毗邻建筑的最佳共享停车合作伙伴.

**关 键 词:** 城市交通; 停车; 个性化停车诱导; 居住区; 共享停车; 双层规划

**中图分类号:** U 491      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-3026(2017)02-0174-06

## Parking Spaces Allocation Model of Residential Areas Sharing Parking Based on Personalized Guidance

DUAN Man-zhen<sup>1,2</sup>, YANG Zhao-sheng<sup>1</sup>, ZHANG Lin<sup>2</sup>, TIAN Xiu-juan<sup>1</sup>  
(1. School of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. School of Civil and Architectural Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063009, China. Corresponding author: YANG Zhao-sheng, E-mail: 1033838477@qq.com)

**Abstract:** In view of the local congestion caused by public parking guidance under the condition of limited parking resources, a personalized sharing parking guidance service model was proposed, with residential parking space joined. Personalized parking guidance strategy was discussed, several sharing parking indexes were defined, and then a bi-level design model of sharing parking guidance with residential joined was established. By controlling the mean value of unoccupied parking difference index in peak time and walking distance, the driver's parking choice goal could be met and the balance and effective use of parking resources were achieved. The research shows that by the way of personalized parking guidance, the unoccupied time of residential parking lots can effectively alleviate the attraction of their adjacent buildings and the local parking congestion in peak time can be reduced. So the parking lots of residential areas will be the best sharing partner of the adjacent buildings in sharing parking.

**Key words:** urban traffic; parking; personalized parking guidance; residential area; sharing parking; bi-level design

VMS(variable message sign)群体式诱导虽然可以一定程度上帮助驾驶员进行停车选择,但却容易导致局部车辆集聚,引发寻泊交通流. 随着城市停车矛盾的升级和各种 APP 服务模式的推广,以个性化停车诱导为基础的共享停车问题逐渐引起重视,尤其是商业中心等交通吸引强度较大的区域,具有近距离毗邻关系的居住区泊位参与的共享停车成为云停车时代发展的主题<sup>[1]</sup>. 国内外的创客团队也纷纷开始了相关尝试,如意大利的 Monkey Parking 推出一款“泊位竞拍”软件; 泰国曼谷 Paruey Anadirekkul 开发停车场出租信息平台,使拥有停车泊位的人或将自己的车位空

闲时间租给有需求的人;国内的安居客、丁丁停车等利用智能车位锁尝试共享停车. 学术研究方面, 陈永茂等<sup>[2]</sup>认为居住区泊位共享具有很大的优越性, 并对居住区泊位的对外共享能力进行分析<sup>[3]</sup>; Ommeren 和 Molenda 等<sup>[4-5]</sup>也分别对居住区停车场利用情况和停车泊位共享问题进行了不同程度的研究. 但是现有的成果还主要集中在群体式诱导方面, 很少涉及个性化诱导, 如 Thompson 等<sup>[6]</sup>研究了 VMS 优化显示模式, 讨论了诱导信息对停车选择的影响; 杨晓芳等<sup>[7]</sup>建立了 VMS 优化显示双层规划模型. Robert 等<sup>[8]</sup>在对停车泊位容量分析和预测基础上, 也建立了停车选择模型; Sarangi 和 Lini 等<sup>[9-10]</sup>分别提出自动停车优化算法和多目标优化控制模型.

综上, 居住区共享停车虽然只处于探索阶段, 但已在理论和实践方面引起关注. 本文从城市停车资源有效利用和驾驶员个性化停车需求出发, 定义居住区参与的个性化共享停车服务模式, 探讨居住区参与共享停车社会化的基本条件, 研究居住区共享停车泊位分配模型和算法, 为实施居住区共享停车提供理论依据.

## 1 个性化停车诱导定义

所谓个性化停车诱导指通过移动终端 APP 等模式为驾驶员提供有针对性的个性化服务, 主要流程包括: ①驾驶员发出停车请求; ②停车管理系统根据掌握的停车场实时信息进行逻辑计算, 生成满足驾驶员个人需求的停车场分配方案, 并进行发布(包括停车场名称, 位置, 收费标准, 停车步行距离, 预计空闲泊位数等信息); 当目的地停车场进入高峰时, 停车管理系统提供共享停车方案; 如果是居住区提供的对外共享泊位, 还会附带停车时间限制或简要违约说明等信息, 方便驾驶员进行停车选择; ③驾驶员通过 APP 接收诱导信息, 根据自身感知的停车效用进行停车方案选择; ④若能接受其中一个停车方案, 则为诱导停车; 否则, 为自主停车.

## 2 居住区共享停车泊位分配模型

居住区共享停车的前提条件是保证居民活动空间安全, 不影响居民正常停车的条件下, 将有条件的居住区停车场或停车泊位纳入共享停车的范畴.

### 2.1 基本假设

1) 假设参与共享的居住区停车场出入口以

人车分流的外向型设计为主, 业主停车后通过安全道闸进入小区, 外来驾驶员从步行通道离开.

2) 参与共享的居住区停车场均纳入城市停车联网服务系统, 作为毗邻建筑物的高峰备用停车场, 实施统一管理.

3) 业主车辆遵守提前预约规定, 事先约定车辆计划返回时间.

4) 假设共享车辆了解并遵守居住区共享停车的相关规定, 在居住区停车高峰之前离开, 否则将采取阶梯式惩罚计费方式.

5) 假设居住区共享停车场收费标准与驾驶员目的停车场差异不大, 不作为影响出行者停车选择的因素.

### 2.2 模型符号及评价指标定义

$D_i$  为停车场  $i$  的泊位总数;  $D_i^{\text{idle}}$  为停车场  $i$  初始空闲泊位数;  $D_{jk}^{\text{idle}}$  为停车场  $i$  在  $k$  时刻的初始空闲泊位数;  $D_{jk}^{\text{res}}$  表示  $k$  时刻居住区  $j(j=1, 2, \dots, M)$  的实际空闲泊位数;  $D_j$  为居住区  $j$  的实际泊位总数;  $P_i^{\text{over}}$  为高峰时停车场溢出的停车数. 根据上述定义, 停车场泊位空闲指数  $R_i = D_i^{\text{idle}}/D_i$ ; 高峰泊位溢出指数  $\Delta_{\text{peak}} = P_i^{\text{over}}/D_i$ ; 居住区停车场实际泊位空闲率  $R_{jk}^{\text{res}} = D_{jk}^{\text{res}}/D_j$ . 为建模需求, 定义评价指标如下.

**定义 1** 将某时刻区域范围停车场泊位空闲指数排序,  $R_1 \leq R_2 \leq \dots \leq R_i \leq \dots \leq R_N (i=1, 2, \dots, N)$ , 称  $\Delta R_i = R_i - R_1$  为泊位空闲指数差值.  $\theta_{\text{peak}}$  为高峰判别指数, 当  $R_1 \leq \theta_{\text{peak}}$  时,  $\overline{\Delta R}_{R_1 \leq \theta_{\text{peak}}} = \frac{1}{N-1} \times \sum_i \Delta R_i$  称为高峰泊位空闲指数差异均值, 用于衡量停车高峰期各停车场泊位资源的均衡利用情况,  $\overline{\Delta R}_{R_1 \leq \theta_{\text{peak}}}$  越小, 说明各停车场利用越趋于均衡.

**定义 2** 居住区泊位高峰对外共享率  $S_{jk}^{\text{res}} = \text{SP}_{jk}^{\text{res}}/D_j$ ,  $\text{SP}_{jk}^{\text{res}}$  表示分担的周边建筑物吸引的车辆数, 即高峰期接收的外来共享车辆数.  $S_{jk}^{\text{res}}$  表示居住区停车场  $k$  时段对外共享率, 用于衡量对外服务情况.

### 2.3 模型构建

根据出行目的地为  $z(z=1, 2, \dots, Z)$  的驾驶员停车申请, 停车管理者主要考虑如何决策停车分配方案, 才能使停车资源均衡有效利用, 减少高峰停车拥堵; 对于下层驾驶员, 忽略停车费用差异的情况下, 主要考虑停车步行距离. 据此构建共享停车双层规划服务模型.

上层规划模型:

$$\min \{ \overline{\Delta R} \} = F[ (S_{iz}, S_{jz}), (X_{iz}, X_{jz}) ]; \quad (1)$$

$$\text{s. t. } D_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{flat}} \leq D_{ik}^{\text{idle}} - Z_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{nguid}}, \quad (2)$$

$$D_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{peak}} \leq D_{ik}^{\text{idle}} - Z_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{nguid}} + \Delta_{\text{peak}} \cdot D_i$$

$$\text{or } D_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{peak}} \leq D_{ik}^{\text{idle}} - Z_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{nguid}} + P_i^{\text{over}}, \quad (3)$$

$$S_{jk}^{\text{res}} < R_{jk}^{\text{res}}, R_{jk}^{\text{res}} \in \max S_{\text{service}}, \quad (4)$$

$$T_k^{\text{share}} \in (K \cap T), \quad (5)$$

$$Z_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{nguid}} + \sum_z \lambda_1 S_{iz(k \rightarrow k+1)}^{L_{iz} \leq L_{\text{max}}} (X_{iz}) \leq D_{ik}^{\text{idle}}, \quad (6)$$

$$\sum_i \lambda_1 S_{iz(k \rightarrow k+1)}^{L_{iz} \leq L_{\text{max}}} (X_{iz}) + \sum_j \lambda_2 S_{jz(k \rightarrow k+1)}^{L_{jz} \leq L_{\text{max}}} (X_{jz}) = P_{z(k \rightarrow k+1)}^{\text{request}}, \quad (7)$$

$$\sum_z P_{iz(k \rightarrow k+1)}^{\text{request}} + Z_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{nguid}} = P_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{arrive}}. \quad (8)$$

式中:  $S_{iz}, S_{jz}$  是上层规划的决策变量, 分别表示停车场  $i$  和居住区停车场  $j$  的分配方案;  $X_{iz}, X_{jz}$  是下层规划决策变量;  $Z_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{nguid}}$  表示  $k \rightarrow k+1$  时段预测的非诱导停车数;  $T_k^{\text{share}}$  表示高峰共享时间集;  $K$  表示停车场停车高峰时间集;  $T$  表示居住区停车空闲时间集;  $S_{iz(k \rightarrow k+1)}^{L_{iz} \leq L_{\text{max}}} (X_{iz}), S_{jz(k \rightarrow k+1)}^{L_{jz} \leq L_{\text{max}}} (X_{jz})$  分别表示在驾驶员可接受的步行距离内, 停车管理系统给定的分配方案, 即目的地为  $z$  的停车请求被分配到停车场  $i$  或居住区停车场  $j$  的共享方案;  $\lambda_1, \lambda_2$  分别为公共停车场和居住区停车场的诱导服从率;  $P_{z(k \rightarrow k+1)}^{\text{request}}, P_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{arrive}}$  表示  $k \rightarrow k+1$  时段建筑物  $z$  吸引的诱导停车数和实际到达总数;  $P_{iz(k \rightarrow k+1)}^{\text{request}}$  表示停车场  $i$  由建筑物  $z$  吸引而产生的诱导停车数。

式(1)是上层规划的目标函数, 通过对高峰泊位空闲指数差异均值的控制, 实现停车资源均衡有效利用, 减少局部停车拥堵。式(2)、式(3)分别表示公共停车场平峰、高峰的泊位供应限制; 式(4)表示居住区泊位对外共享率不超过泊位空闲率, 居住区泊位空闲率小于该时段内空闲泊位最大服务能力<sup>[11]</sup>; 式(5)表示共享时间属于居住区空闲时间与毗邻建筑物停车需求高峰时段的交叉时段; 式(6)表示计算周期内预期到达停车场的车辆总数满足泊位限制; 式(7)表示被分配到各停车场的车辆等于总的停车请求; 式(8)表示建筑物吸引的诱导停车与自由停车。

下层规划模型:

$$\min_{L_{iz} \text{ or } L_{jz} \leq L_{\text{max}}} \left( \frac{\sum_i \sum_z \lambda_1 X_{iz} L_{iz} + \sum_j \sum_z \lambda_2 X_{jz} L_{jz}}{\sum_i \sum_z \lambda_1 X_{iz} + \sum_j \sum_z \lambda_2 X_{jz}} \right) =$$

$$f[ (S_{iz}, S_{jz}), (X_{iz}, X_{jz}) ]; \quad (9)$$

s. t.

$$\sum_z X_{iz(k \rightarrow k+1)} \leq D_{i(k \rightarrow k+1)}^{\text{sup}}, \quad (10)$$

$$\sum_z X_{jz(k \rightarrow k+1)} \leq D_{j(k \rightarrow k+1)}^{\text{res}}, \quad (11)$$

$$X_{iz}(1 - X_{iz}) = 0 \text{ or } X_{jz}(1 - X_{jz}) = 0, \quad (12)$$

$$L_{iz} \text{ or } L_{jz} \leq L_{\text{walking}}^{\text{max}}, \quad (13)$$

$$X_{iz}, X_{jz}, D_i^{\text{idle}}, P_i^{\text{request}}, P_i^{\text{arrive}}, Z_i^{\text{nguid}}, P_i^{\text{over}} \text{ 属于整数空间. } L_{\text{walking}}^{\text{max}} \text{ 表示最大可接受的停车步行距离;}$$

$L_{iz} \text{ or } L_{jz}$  表示共享停车步行距离, 即建筑物  $z$  到附近停车场  $i$  或居住区停车场  $j$  的步行距离。  $X_{iz}, X_{jz}$  是下层规划的决策变量, 分别表示由建筑物  $z$  吸引的车辆接受分配方案, 到停车场  $i$  或居住区停车场  $j$  共享的车辆数, 是下层规划对上层规划解的最优反映。

式(9)是下层规划的目标函数, 表示共享停车诱导方案总的平均步行距离最短, 实现驾驶员出行效益的最大化; 式(10)、式(11)分别表示被分配到停车场  $i$  或居住区停车场  $j$  的由各建筑物  $z$  吸引的车辆总数应在其泊位供应限制内; 式(12)决策变量  $X_{iz} \text{ or } X_{jz} = 1$  或 0; 等于 1 表示驾驶员接受诱导方案, 等于 0 表示放弃诱导方案; 式(13)表示共享停车步行距离限制。

## 2.4 模型算法设计

模型上层是停车管理者目标, 通过对区域内各公共停车场和居住区停车场停车资源的合理分配, 引导车辆实施共享停车, 实现停车资源均衡有效利用, 减少高峰期车辆局部集聚。下层规划中考虑了目的地建筑物配建停车场, 附近公共停车场和毗邻居住区停车场等资源的共享, 属于资源有效利用问题, 同时又要考虑驾驶员可接受的停车步行距离限制。因此, 下层模型可以转化为产销不平衡的运输问题, 采用表上作业法求解。基于粒子群算法的思想<sup>[12]</sup>, 设计基于变形粒子群算法的嵌套优化算法, 具体步骤如下。

步骤 1 系统初始化。获取各停车场初始空闲泊位信息  $D_i$  和  $D_i^{\text{idle}}$ , 赋值  $\theta_{\text{peak}}, \Delta_{\text{peak}}$  和  $P_i^{\text{over}}$ , 计算  $R_i$  和  $\overline{\Delta R}$ 。

步骤 2 粒子群算法初始化并给参数赋值。

步骤 3 判断是否需要泊位共享协调。

当  $R_i \leq \theta_{\text{peak}}$  时, 给出泊位供应限制条件, 利用表上作业法求解最优分配方案, 进行停车资源均衡控制。否则转步骤 7。

步骤 4 粒子群属性更新, 根据分配的停车方案, 计算下层规划最优解。

$$\min_{L_{iz} \text{ or } L_{jz} \leq L_{\max}} \left( \frac{\sum_i \sum_z \lambda_1 X_{iz} L_{iz} + \sum_j \sum_z \lambda_2 X_{jz} L_{jz}}{\sum_i \sum_z \lambda_1 X_{iz} + \sum_j \sum_z \lambda_2 X_{jz}} \right).$$

步骤 5 判断此最优解是否达到预期目标或者达到迭代次数. 如满足, 转步骤 7; 否则, 转步骤 6.

步骤 6 根据差异程度重新调整分配方案, 给出新的最优解, 转步骤 3.

步骤 7 给出最优分配方案, 算法结束.

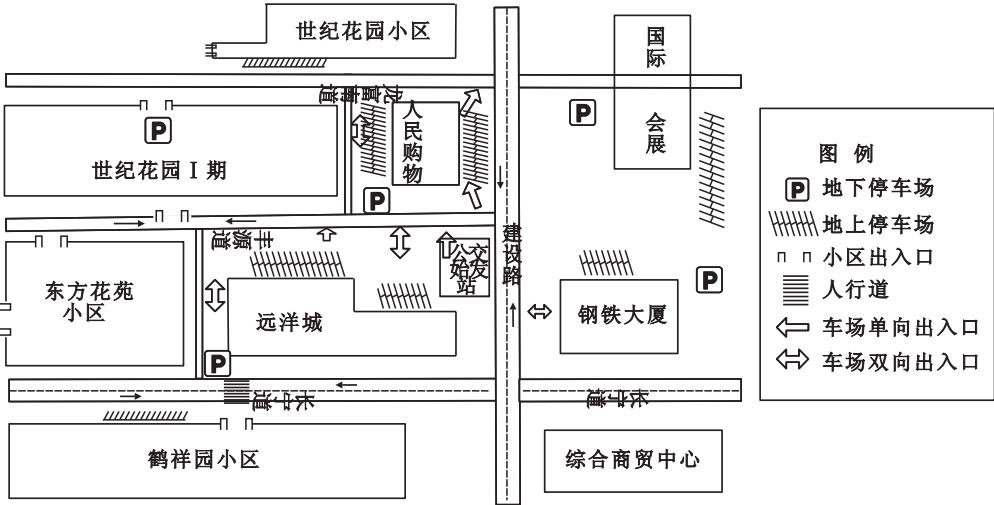


图 1 仿真区域抽象图  
Fig. 1 Abstract figure of the simulation area

图 1 为唐山市北部商业中心主要建筑物, 各建筑物间距离见表 1, 其中主要吸引点是远南城和人民购物. 由于丰源道和龙富南道两侧出入口众多, 加上大量车辆违规停放, 形成常发性交通拥堵; 而国际会展中心停车场除大型活动期外一般不会饱和, 周边居住区停车位工作时间大部分闲置. 结合唐山城市规模和停车难度, 假设共享停车可接受的步行距离限制为 400 m, 仿真验证停车需求总量不变的条件下, 有居住区参与的个性化共享停车诱导模式在城市停车管理中的效果.

表 1 各建筑物间距离							
Table 1 Distances of the buildings m							
吸引点	建筑物配建停车场				居住小区停车场		
	人民购物	远南城	国际会展中心	钢铁大厦	世纪花园 I 期	东方花苑	鹤祥园
人民购物	20	81	219	160	256	310	476
远 洋 城	81	20	630	186	200	280	50
国际会展中心	219	630	20	370	431	532	471
钢铁大厦	160	186	370	10	429	505	469
泊位数	373	573	380	86	525	216	572

### 3 案例仿真及结果分析

#### 3.1 仿真区域与仿真参数设置

利用唐山市综合交通大调查的相关数据对上述模型和算法进行仿真实验和实验结果对比分析, 仿真区域抽象图如图 1 所示.

粒子群嵌套优化算法实验参数如下: 学习因子  $c_1 = c_2 = 2$ , 加权系数  $\omega$  取值范围  $[0.1, 0.9]$ ,  $\omega_{\text{初始}} = 0.9$ ,  $\omega_{\text{终值}} = 0.4$ , 变异概率  $\lambda = 0.4$ , 收敛精度  $\delta = 10^{-10}$ , 群体规模  $n = 30$ , 最大迭代次数 100 次. 考虑实际交通状况, 设置  $\Delta_{\text{peak}} = 0$ ,  $\theta_{\text{peak}} = 0.1$ ; 居住区停车场的共享时间为 9:00—16:00; 根据调研统计, 鹤祥园最大泊位对外共享率取 0.40, 世纪花园取 0.30, 东方花苑取 0.47; 诱导服从率设为 100%, 数据统计时间间隔为 10 min, 以矩阵形式循环读入. 初始泊位空闲指数以调查日泊位实际利用数据为准, 车辆停放时间服从 Gamma 分布<sup>[11]</sup>. 模型算法在 Matlab2013 下实现, 仿真时间 640 min.

#### 3.2 实验结果分析

图 2 纵坐标负值表示由于停车场吸引过多而被调整走的车辆, 正值表示接收的车辆. 从图中看出, 远南城和人民购物吸引的过多车辆被诱导到鹤祥园小区和会展中心进行共享停车. 从图 2 可以看出, 鹤祥园小区是远南城的最佳共享停车合作伙伴, 虽然只在上下午两个时段共享, 却成为分担过饱和和车辆最多的毗邻建筑.



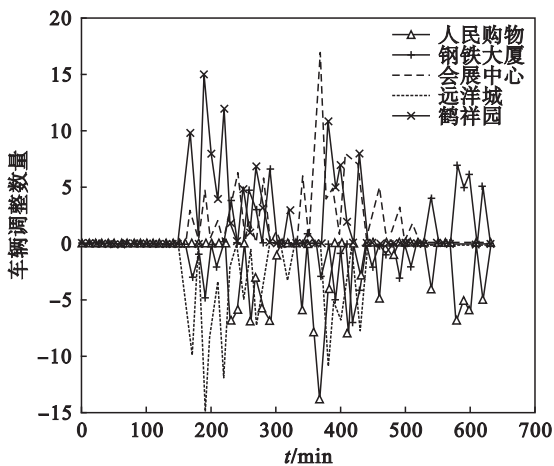


图 2 基于诱导方案的车辆调整情况  
Fig. 2 Vehicles adjustment of the guidance plan

图 3 中诱导方案的平均步行距离与总步行距离和调整车辆数有关. 由于仿真设置了步行距离限制,输出的平均步行距离基本都在 230 m 以内,只有仿真时间 410 ~ 510 min 时才超出 350 m. 结合图 2 和表 1 分析,主要是因钢铁大厦停车场达到饱和,车辆被诱导到距离较远的会展中心停车场所致. 仿真输出的总的平均步行距离为 162. 37 m,按照步行速度 1. 3 m/s 折算,意味着共享停车后平均步行时间为 2. 08 min 左右,基本能被大多数驾驶员接受.

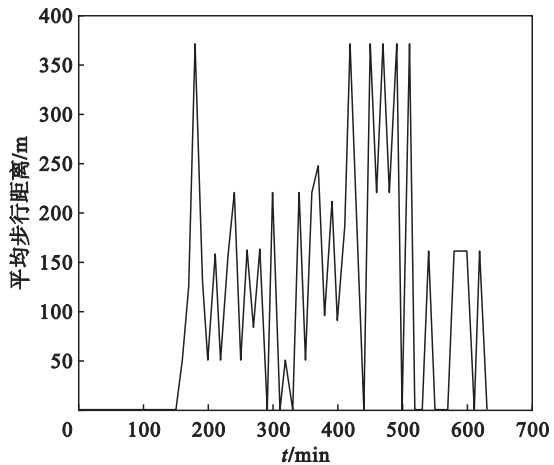


图 3 分配方案的平均步行距离  
Fig. 3 Average walking distance of the guidance plan

由图 4 知,虽然有三个居住区,但因设置了步行距离限制,只有鹤祥园小区参与了共享,对外共享时间为 9:00—16:00,所以图中仅在这一时段有共享车辆. 由于仿真中采用的是调查日数据,没有考虑因找不到位置而离开的车辆,因此,仿真中的共享车辆会小于实际情况. 图中居住区泊位对外共享率最高不足 0. 1,与实际中 0. 3 的泊位空闲率相比,意味着居住区仅仅利用不足三分之一

的服务能力就很好地缓解了停车拥挤问题.

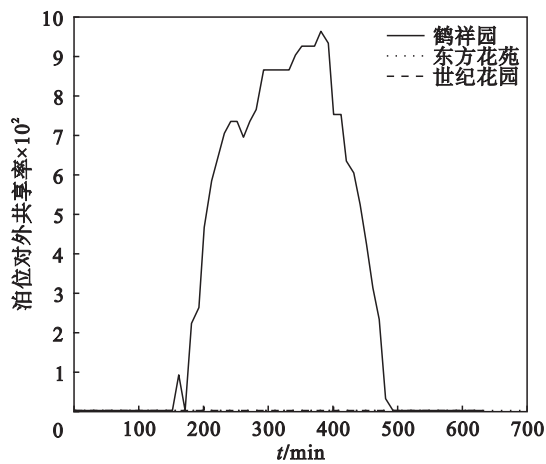


图 4 高峰期居住区泊位对外共享率  
Fig. 4 Sharing rate of the residential parking space in peak time

图 5 是由居住区共享分担后四栋建筑物配建停车场高峰泊位空闲指数差异均值的变化情况,图中曲线呈整体下降趋势,表明实施共享后,各建筑物停车场泊位利用率趋于一致,停车资源得到了均衡利用. 但是仿真后期曲线有上升趋势,结合调研分析,应是钢铁大厦办公时间结束,短时间内大量车辆离开导致各系数差值增加.

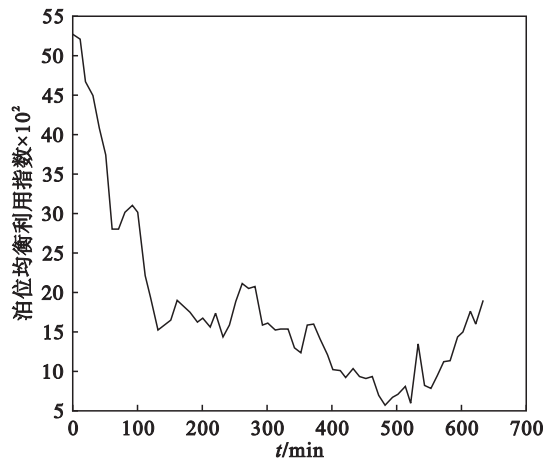


图 5 高峰期泊位空闲指数差异均值  
Fig. 5 Mean values of parking unoccupied index difference in peak time

由图 6 的结果可知,经过共享停车后,人民购物和远洋城等容易拥堵的区域停车泊位溢出情况明显改善,只有个别时段偶有溢出,但基本控制在比较理想的范围.

综上所述,具有毗邻关系的居住区参与共享停车,可以充分发挥其在时间互补性和空间位置方面的优势,比单纯的公共停车场能够更好地分担过饱和停车,减少因停车造成的交通拥堵,明显改善停车环境.

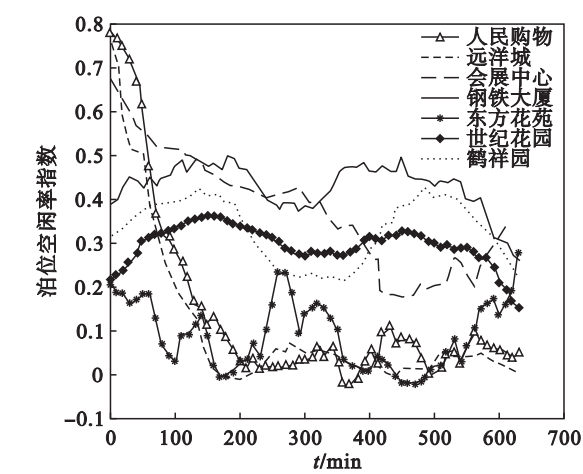


图 6 仿真输出的泊位空闲率  
Fig. 6 Unoccupied rate of the simulation plan

## 4 结 论

- 1) 针对群体式诱导的不足,提出了基于个性化停车诱导的居住区共享停车模式,建立了居住区共享停车分配模型。
- 2) 案例仿真表明:当居住区与停车吸引较强的建筑物间有较近的毗邻关系和方便的出入口时,居住区停车场是最佳的共享停车合作伙伴,文中的鹤祥园小区在自身闲置时间内利用不足 1/3 的服务能力却很好地缓解了远洋城的停车拥挤状况,使得两大吸引点的停车状况明显改善。
- 3) 居住区参与共享停车比单纯的公共停车场更能改善城市整体停车状况,尤其是随着云停车技术的发展,基于个性化诱导的居住区共享停车更加具有现实意义。

### 参考文献:

[ 1 ] 段满珍,陈光,米雪玉,等. 居住区停车泊位需求预测二步骤法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2016,35(1): 152 – 155.  
(Duan Man-zhen, Chen Guang, Mi Xue-yu, et al. Two steps method of residential area parking demand forecast [ J ]. *Journal of Chongqing Jiaotong University ( Natural Science )*, 2016, 35 ( 1 ) : 152 – 155. )

[ 2 ] 陈永茂,过秀成,冉江宇. 城市建筑物配建停车设施对外共享的可行性研究[J]. 现代城市研究,2010(1):21 – 25.  
(Chen Yong-mao, Guo Xiu-cheng, Ran Jiang-yu. The shared parking feasibility of appertaining parking facilities to the building in cities [ J ]. *Modern Urban Research*, 2010 ( 1 ) : 21 – 25. )

[ 3 ] 段满珍,杨兆升,张林,等. 居住区泊位对外共享能力评估模型[J]. 交通运输系统工程与信息,2015,15(4):106 – 112,117.  
(Duan Man-zhen, Yang Zhao-sheng, Zhang Lin, et al. Residential parking spaces shared capability assessment model [ J ]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2015, 15 ( 4 ) : 106 – 112, 117. )

[ 4 ] Ommeren J V, Groote J D, Mingardo G. Residential parking permits and parking supply[J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2014, 45 ( 1 ) : 33 – 44.

[ 5 ] Molenda I, Sieg G. Residential parking in vibrant city districts [ J ]. *Economics of Transportation*, 2013, 2 : 131 – 139.

[ 6 ] Thompson R C, Takada K, Kobayakawa S. Optimization of parking guidance and information systems display configurations[ J ]. *Transportation Research: Part C*, 2001, 9 ( 1 ) : 69 – 85.

[ 7 ] 杨晓芳,付强,牛兆雨. 基于停车诱导信息板的最优停车场推荐的双层目标模型[J]. 计算机应用研究,2014,31(10): 3017 – 3019,3040.  
(Yang Xiao-fang, Fu Qiang, Niu Zhao-yu. Bi-level objective model of optimal parking lot recommendation based on parking guidance signs [ J ]. *Application Research of Computers*, 2014, 31 ( 10 ) : 3017 – 3019, 3040. )

[ 8 ] Robert M, Drago P. Applicability of information technologies in parking area capacity optimization [ J ]. *Interdisciplinary Management Research*, 2010, 6 : 143 – 151.

[ 9 ] Sarangi M K, Pati D, Parida A, et al. Optimization of the accuracy of automotive parking for the car-type mobile robot [ J ]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, 436 : 358 – 365.

[ 10 ] Lini G, Piazzi A, Consolini L. Multi-optimization of  $\eta_3$ -splines for autonomous parking [ C ] // Proceedings of the 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference. New York: IEEE, 2011 : 6367 – 6372.

[ 11 ] Duan M Z, Yang Z S, Zhang L. Residential parking service model based on resource sharing [ J ]. *Journal of Donghua University ( English Edition )*, 2015, 32 ( 5 ) : 1 – 7.

[ 12 ] Ran J Y, Guo X C, Tang L, et al. Bi-level model for shared parking decision-making based on parking lot assignment simulation [ J ]. *Journal of Southeast University ( English Edition )*, 2011, 27 ( 3 ) : 322 – 327.