

基于预约需求的共享停车平台泊位分配方法

张水潮¹, 蔡逸飞^{*2}, 黄锐³, 周竹萍³

(1. 宁波工程学院 建筑与交通工程学院, 浙江 宁波 315016; 2. 东南大学 交通学院, 南京 211189;
3. 南京理工大学 自动化学院, 南京 210094)

摘要: 为解决在预约需求下, 考虑预约时刻、时长及延时需求的共享停车分配问题, 提出一种共享停车泊位分配模型. 以平台收益和停车步行距离为优化目标, 将需求分为基本及延时两种情况, 确定停车预约请求的分配策略. 根据模型结构, 设计随机解集生成方法, 利用蒙特卡洛法确定模型的最优解. 以医院停车场及周边停车场为案例, 测试模型. 结果表明, 模型能较好地服务于共享停车泊位的分配, 实现平台收益与满足需求之间的平衡.

关键词: 系统工程; 共享泊位分配; 蒙特卡洛算法; 延时需求

Shared Parking Space Allocation Method Considering Reservation Demand

ZHANG Shui-chao¹, CAI Yi-fei², HUANG Rui³, ZHOU Zhu-ping³

(1. School of Civil and Transportation Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo 315016, Zhejiang, China; 2. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 211189, China;
3. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: This paper proposed a parking space allocation model to solve the parking allocation problem with reservation demand and the booking time, parking time and delay time are given. The profit of the system and walking distance users were set as the objectives. The demands were divided into basic request and delay request, and the model was then developed by collecting users' requests to determine the optimal allocation strategy. A random solution set generation method was proposed and a Monte Carlo algorithm was used to solve the problem. An example of a hospital and surrounding parking lots was used to test the model performance. The results illustrate that the proposed model can serve the parking space allocation problems and realize the balance between the system profit and user' demands.

Keywords: system engineering; parking space allocation; Monte Carlo algorithm; delay demand

0 引言

停车难是影响城市交通有序运行的一大问题, 尤其是城市中心区乱停车所带来的交通秩序问题十分严重. 共享停车为解决停车问题提供了一个新思路, 利用停车需求时空分布的差异性, 将闲置停车资源共享给需求者, 使停车资源最大化

被利用.

平台回购停车位空闲时段, 租用给其他用户的方法是实现共享停车的有效手段. 然而实际中存在诸多问题^[1]: ①从哪些停车场购买, 购买多少车位, 回购价格, 租用价格等如何确定; ②收到停

收稿日期: 2019-12-27

修回日期: 2020-02-09

录用日期: 2020-02-24

基金项目: 浙江省哲学社会科学规划课题/Philosophy and Social Science Program of Zhejiang Province, China(19NDJC119YB); 江苏省自然科学基金面上项目/Natural Science Foundation of Jiangsu Province, China(BK20171426); 中国—保加利亚科技合作委员会第16届例会交流项目/16th Regular Meeting Communication Program of China-Bulgaria Science and Technology Cooperation Committee (16-4).

作者简介: 张水潮(1985-), 男, 浙江绍兴人, 教授, 博士.

*通信作者: 13675102961@163.com

车需求后,怎样判断是否接受需求,分配至哪个车位,用户目标停车场没有车位时是否分配至临近停车场等问题;③如何处理用户的违约停放,用户提出延长停放需求时,如何处理延时和普通需求的关系.这些问题涉及供给方,平台及用户三方利益,决定共享停车能否可持续发展.问题①涉及用户停车行为选择的研究,问题②和③涉及车位分配问题.

停车行为的研究:Dell^[2]等建立混合Logit模型,发现收入水平等个体差异是影响停车收费接受程度的重要因素;Simicevic^[3]等根据SP调查建立logistic回归模型,分析停车收费标准和停车时长限制对出行者停车行为的影响;唐伯明^[4]采用BL模型,建立了平日、节假日城市中心区路外公共停车场停车选择行为模型.

现有车位分配问题的研究,通过构建多目标优化模型确定车位分配.Guo等^[5]采用仿真构建停车泊位回购模型,以泊位需求者利益最大为目标,在停车时间约束下获得停车泊位最优使用策略;Shao等^[6]提出二元整数线性规划问题描述共享停车泊位分配问题;张文会^[7]建立共享停车泊位利用率最大化和步行距离最小化的双目标泊位分配模型,采用粒子群算法确定需求分配方案.

上述研究把需求作为一个单独的数值,忽视预约需求包含诸多特定属性,如进入时间,停车时长及延时时长.平台实际运作时,需要根据每一时刻停车场的具体占用情况,判断是否存在车位,哪些需求应该被接受,使平台利益最大化.本文从平台角度出发,提出一种基于停车需求的分配方法;以平台收益及用户的步行距离作为目标函数,提出随机可行解的生成方法,使用蒙特卡洛法求解.

1 泊位分配模型

1.1 基本请求下的分配模型

假设如下:

(1) 适当步行范围内存在多个停车场,用户需求集中于该范围内.

(2) 区域内各停车场根据以往停车占用情况,确定开放时段及可出售车位数.

(3) 平台向区域内停车场购买空闲车位.

(4) 平台收集预约需求,根据平台收益判断需求分配策略.

(5) 停车需求分为基本和延时两种.基本请求时,用户提供驶入时间和停车时长;延时情况,用户提供延长时间.

集合、变量、参数的定义如表1所示.

表1 集合、变量、参数定义
Table 1 Definitions of sets, variables and parameters

符号	定义
集合	S 停车场泊位集合, $S = \{1, 2, \dots, N\}$, $n \in S$, n 为车位编号, N 为停车场总泊位数
	D 停车需求集合, $D = \{1, 2, \dots, M\}$, $m \in D$, m 为需求编号, D 为总需求数
	T 共享停车时段集合, $T = \{1, 2, \dots, K\}$, $k \in T$, k 为时段, T 为总时间
参数	b 车位的购入价格
	p 车位的租用价格
	l 停车后的步行距离
	α 请求被拒后的惩罚因子
	α_1 目标1的权重
	α_2 目标2的权重
变量	s_{nk} k 时段泊位 n 的状态, 车位可用时 $s_{nk} = 1$, 否则 $s_{nk} = 0$
	r_{mk} k 时段请求 m 的状态, k 时段请求 m 存在时 $r_{mk} = 1$, 否则 $r_{mk} = 0$
	x_{nm} 泊位 n 与请求 m 的状态关系, 需求 m 被停车位 n 接受时 $x_{nm} = 1$, 否则 $x_{nm} = 0$
	$z_{nk} = \sum_{m=1}^M x_{nm} r_{mk}$ k 时段泊位 n 是否被占用, 已被占用 $z_{nk} = 1$, 反之 $z_{nk} = 0$
	t_m 需求 m 的驶入时间
p_m 需求 m 的停车时长	

1.2 模型构建

(1) 目标函数1:平台效益最大化.

$$\max w_1 = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (p \cdot z_{nk} - b \cdot s_{nk}) - \alpha \left(M - \sum_{m=1}^M x_{nm} \right) \quad (1)$$

式(1)第1项是租用车位利润减去回购车位的成本,第2项是停车请求被拒引起的潜在惩罚损失. 约束条件为

$$\sum_{n=1}^N x_{nm} \leq 1 \quad (2)$$

$$z_{nk} \leq s_{nk} \quad (3)$$

$$z_{nk}, s_{nk}, x_{nm} \in \{0, 1\} \quad (4)$$

式(2)表示任一请求至多分配一个车位,式(3)表示单个泊位同一时刻至多容纳一辆车.

(2) 目标函数2:停车步行距离最短.

用户被分配至非初始目标停车场时,需考虑该停车场与目标停车场的距离.

$$w_2 = \min \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M x_{nm} \cdot l_p \quad (5)$$

式(5)表示用户停车步行距离总和最小. 设最大停车步行距离 $l_{\max} = 350 \text{ m}$. 则

$$l \leq l_{\max} \quad (6)$$

采用权重法处理多目标优化问题,最终目标函数为

$$\max w_3 = \alpha_1 \left[\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (p \cdot z_{nk} - b \cdot s_{nk}) - \alpha \left(M - \sum_{m=1}^M x_{nm} \right) \right] - \alpha_2 \left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M x_{nm} \cdot l_p \right) \quad (7)$$

约束条件为式(2)~式(4)及式(6).

1.3 延时情况下模型假设与变量表达

实际应用中会出现用户延长停放时间的情况. 假设:用户只能进行1次延时申请;延时请求至少提前1 h,即申请停车时长结束前1 h. 延时情况下集合、参数与变量如表2所示.

表2 延时情况集合、变量、参数定义

Table 2 Definitions of sets, variables and parameters under delay situation

符号	定义
集合 D	延时需求初始分配后所占泊位的集合, $D = \{d_1, d_2, \dots, d_a\}$, d_a 为第 a 个延时需求在非延时情况下分配的车位编号
A	延时需求集合, $a \in A$
参数 p^*	延时车位租用价格
k_a^*	延时需求 a 的开始时段
Δk_a^*	延时需求 a 需要延长的时段
变量 c_{d,k^*}	延时需求 a 在 k^* 时刻能否被第 d_a 个车位接受, $c_{d,k^*} = 1$ 可占用, $c_{d,k^*} = 0$ 则不能

1.4 模型构建

延时需求分配前,使用本文构建泊位分配模型进行初始分配,得到平台初始利润 w_1 ,以及各泊位占用情况 z_{nk} . 在此基础上,以平台收益最大化为目标,对延时需求进行分配,即

$$\max w_4 = w_1 + \sum_{k^*=k_a^*}^{k^*+ \Delta k_a^*} p^* \cdot c_{d,k^*} \quad (8)$$

式(8)第2项是延时停车增加的利润.

约束条件为

$$z_{d_a,k^*} + c_{d_a,k^*} \leq s_{d_a,k^*}, \forall d_a \in D; a \in A; k^* \in [k_a^*, k_a^* + \Delta k_a^*] \quad (9)$$

$$z_{d_a,k^*}, s_{d_a,k^*}, c_{d_a,k^*} \in \{0, 1\}, \forall d_a \in D; a \in A; k^* \in [k_a^*, k_a^* + \Delta k_a^*] \quad (10)$$

式(9)表示只有当车位 d_a 在延时时段全空时,

延时请求才可被接受.

2 求解算法

假设平台从区域内部停车场 $h(h \in H)$ 购买 n_p 个停车位,总计在 P 个停车场购买 N 个车位. 在初始时刻,车位均为空闲状态,区域内共有 m 个待分配的停车需求,需求解变量为 x_{nm} ,即确定需求 m 是否被分配至车位 n ,为 $n \times m$ 的0-1矩阵. 每一列至多有一个1,表示一个需求至多被分配至一个车位中;若该列都为0,表示该需求被拒绝. 不同于传统最优问题,该分配问题没有明显的下降梯度,且当前阶段的分配结果受制于上一阶段残留的车辆,故采用蒙特卡洛法计算.

随机生成解集未考虑车位是否被上一时段残余车辆占据,故先确定合理的解集生成条件,以缩小解集范围,使蒙特卡洛法更容易找到最优解.

2.1 生成解集

Step 1 $k=1$ 时刻,初始化 X_{nm} 矩阵为 $n \times m$ 的 $\mathbf{0}$ 矩阵, $x_{nm} \in X_{nm}$, Z_{nk} 为 $n \times K$ 的 $\mathbf{0}$ 矩阵, $z_{nk} \in Z_{nk}$. v_k 为 k 时刻的空闲车位编号,将矩阵 X_{nm} 第 m_k (表示 k 时段进入停车场的需求)列的任意空闲车位 n 设为1,表示时刻1时第 m_k 需求被分配至任意空闲车位 n .更新 v_k ,剔除车位 n .将 $k=1$ 时刻所有需求随机分配至车位,会出现两种情况:

情况1 $k=1$ 时刻仍有空位,且没有车辆被分配至同一车位.

情况2 $k=1$ 时车位已满,且有需求被分配至同一车位.

当需求大于供给时任意分配车位,无法判断哪些需求应该被拒绝,先将所有需求随机分配至一个车位,可能出现情况2.

Step 2 若出现情况1,进入 Step 3;若出现情况2,寻找 k 时刻 X_{nm} 同一空位出现多个需求的情况,更新 X_{nm} 使 k 时刻的任意空位至多容纳一个需求,进入 Step 3.

Step 3 根据 k 时刻的 X_{nm} 矩阵,读取需求 m_k 的停车时长,更新 Z_{nk} 矩阵,计算 $k+1$ 时刻的空闲车位编号,更新 v_{k+1} ,进入 Step 4.

Step 4 设 $k=k+1$,将矩阵 X_{nm} 第 m_k 列的任意空闲车位 n 设为1,更新 v_k ,剔除车位 n .同样出现 Step 1 中两种情况,进入 Step 2.

Step 5 若 $k=K$,结束算法,生成随机解 X_{nm} .

此时的 X_{nm} 为将 k 时刻的需求随机分配至任意空位的结果,且不存在同一时刻任一空闲车位被分配两个以上需求的情况.

2.2 确定分配结果

随机解生成后,蒙特卡洛法进行 L 次循环.随机解集已涵盖式(2)~式(4)和式(6),只需带入式(7),找出目标函数最优的解集即可.延时情况与非延时情况大致相同,不同在于 Step 3 设置 Z_{nk} 矩阵变量时,要根据每一时刻的延时需求修正 Z_{nk} 的取值.

3 实验

以宁波妇女儿童医院停车场为共享停车目标对象,现阶段难以收集平台预约停车信息,故以周边3个不同用地性质(酒店、住宅、办公)的停车场作为需求来源,医院作为泊位供给方为其余3个地块的过量停车需求提供泊位.

3.1 停车共享条件判定

(1) 泊位占用特性.

整理医院1星期内的泊位变化数据,如图1所示.

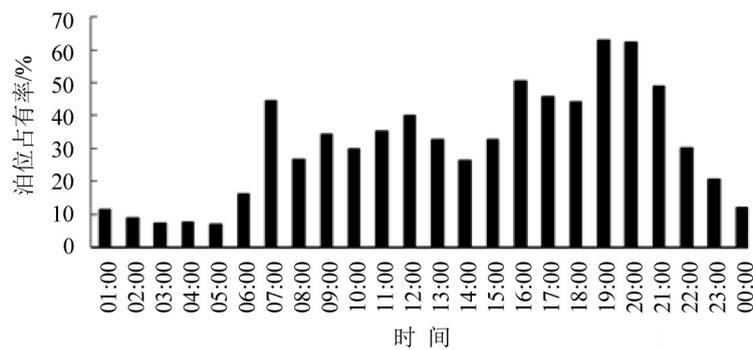


图1 日均泊位占用率变化

Fig. 1 Average daily occupation rate

由图1可知:①白天停车高峰集中在07:00与16:00;夜间停车高峰集中在19:00.②13:00停车需求减少,出现低谷;21:00之后停车需求急剧减少,[22:00, 06:00]停车需求一直处于较低水平.

(2) 车辆驶入/驶离特性.

图2为日均车辆净增长量变化.

由图2可知:①车辆驶入高峰期为06:00、19:00.②车辆驶离有3个高峰期,即[11:00, 13:00],[17:00, 18:00],[21:00, 22:00].③夜间22:00开始,驶出量降低,[00:00, 06:00]驶离车辆数较少,几乎不存在车辆驶入.夜间车辆驶入/驶离特征与泊位占有率在低水平相符合.

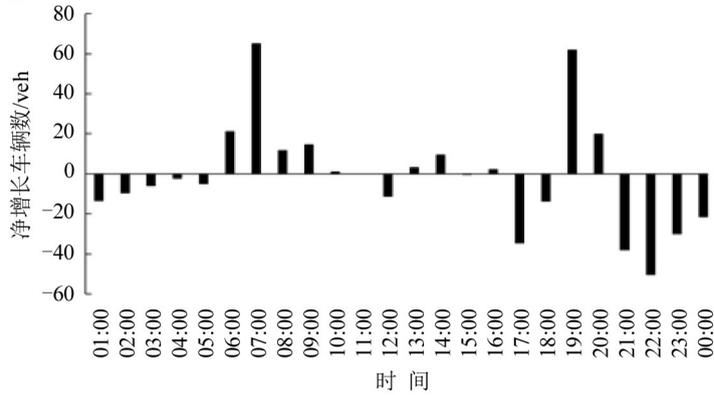


图2 日均车辆净增长量变化

Fig. 2 Average daily net increase of vehicles

(3) 停放时长特性.

车辆停放时长概率分布如图3所示.大部分车辆停放时长在1.5 h以内,超过4 h极少.

综上,将[11:00, 13:00],[17:00, 18:00]作为短时泊位共享时段,[22:00, 07:00]作为长时泊位共享时段.

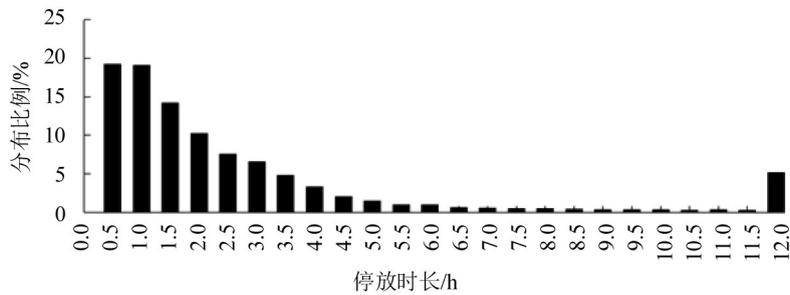


图3 停放时长概率分布

Fig. 3 Distribution of parking time

3.2 共享泊位分配计算

假设酒店、住宅、办公楼泊位已满,到3个目的地的车辆均通过共享停车平台分配至医院.各时段的共享泊位,各目的地在共享开放窗口的停车需求如表3所示.

表3 各时段共享泊位供给及停车需求
Table 3 Parking berth supply and demand under different time periods

共享性质	共享时段	共享泊位数/个	停车需求/veh		
			酒店	住宅	办公楼
短时共享	[11:00, 13:00]	87	33	0	129
	[17:00, 18:00]	92	51	63	27
长时共享	[22:00, 07:00]	100	67	103	0

短时共享时间太短,故以长时共享为例.变量取值为:时段为1 h, $p=6$ 元/h, $b=2.5$ 元/h;惩罚因子 $\alpha=0.5$, 权重 $\alpha_1=0.8, \alpha_2=0.2$;酒店距离医院348 m,住宅区距离医院300 m;各需求驶入时间服

从负指数分布,停车时长服从标准正态分布,需求总时长为898 h,如图4所示;延时模型中,延时需求为停车总需求的10%,平均延时2 h;用户至少提前1 h提交延时请求,且延时停放结束时间不能超过共享时间窗口.

Guo^[5]的研究中,采用3 000次循环确保蒙特卡洛法得到最优解.为确保准确性,本文分别对非延时及延时进行了10 000、20 000及30 000次实验.对各次实验得到的目标值从小到大排序,结果如图5所示.

不同实验次数下平台效益最大值一致,说明10 000次实验已能得到最优值.效益值呈阶梯状上升,模型目标是在需求已知的情况下,寻找最优的车位和需求的配对组合,使停车场容纳尽可能多的停车时长.因此,当一种新组合能多容纳一个时长时,效益值会上升,将随机解效益值排序后,形成阶梯状的形式.

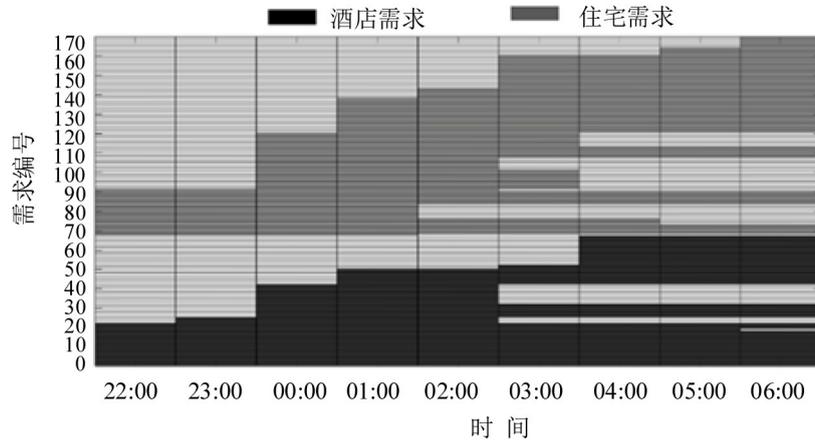


图4 酒店及住宅停车场的初始停车需求分布

Fig. 4 Distribution of parking demands when first destination are hotel and residence

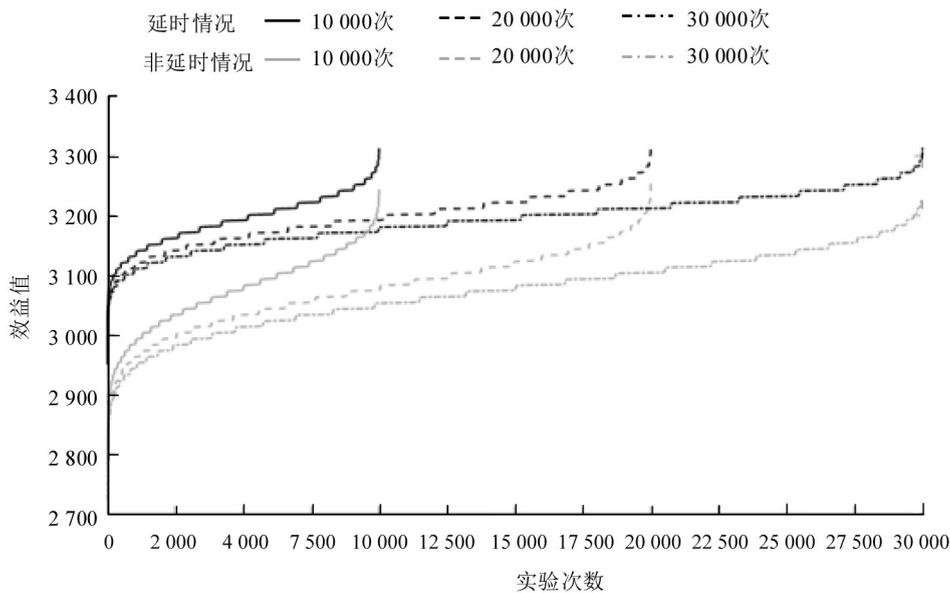


图5 蒙特卡洛法所得延时及非延时分配的效益值

Fig. 5 Profits of delay and no delay allocation based on Monte Carlo algorithm

延时情况的最低效益值为2954.3,最优值为3313.2,总收益提升12.15%;非延时情况的最低值为2721.4,最优值为3248.7,提升19.37%。总计有898个车时需求,医院100个车位9h最多提供900车时的停车供给,使部分需求被拒绝。非延时和延时情况如图6和图7所示。观察到00:00以后无论延时还是非延时情况,停车场已基本无空位,需要判断接受哪些常规需求和延时需求,并判断最优组合。

非延时情况占用车时778h,26个总计120个车时的停车需求被拒绝;延时情况占用车时761h,30个总计154个车时的停车需求被拒绝,没有延时请求被拒绝。没有延时请求时,占用的车时高于有延时请求,这是由于延时请求收费远高于基本请求,最优解会优先满足延时请求,然后考虑非延时

请求,使拒绝的基本停车需求高于非延时情况,造成一定的车位浪费,但这更符合平台的趋利性。

4 结论

本文以共享停车平台收益及用户从停车场至目的地步行距离为优化目标,构建预约请求下,共享停车平台的泊位分配模型。平台从自身利益及保证用户需求两个角度出发,确定最优需求分配策略。运用缩小解集的蒙特卡洛算法,以医院停车场为案例,验证模型及算法在得到最优解时的准确性。针对现状共享停车分配研究的不足,根据停车请求特性,综合考虑停车请求的进入时刻,停放时长,以及延时请求的情况,提出基于蒙特卡洛法

的车位分配方法,帮助停车平台确定最优的车位分配策略,为共享停车的发展提供一定技术支持.

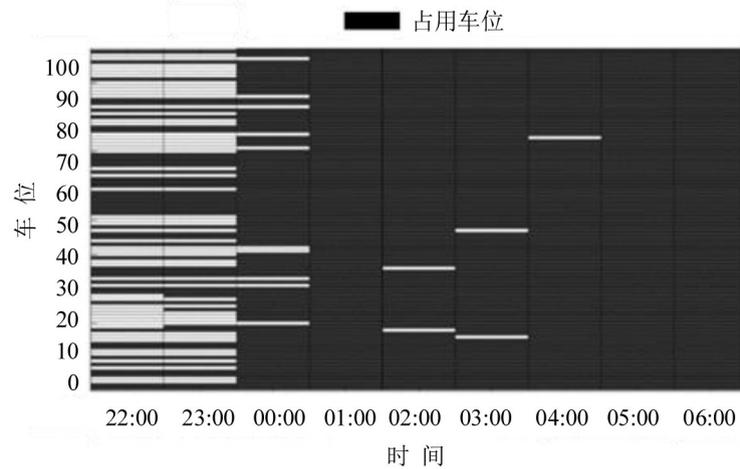


图6 非延时情况的车位占据情况

Fig. 6 Berth occupation of no delay situation

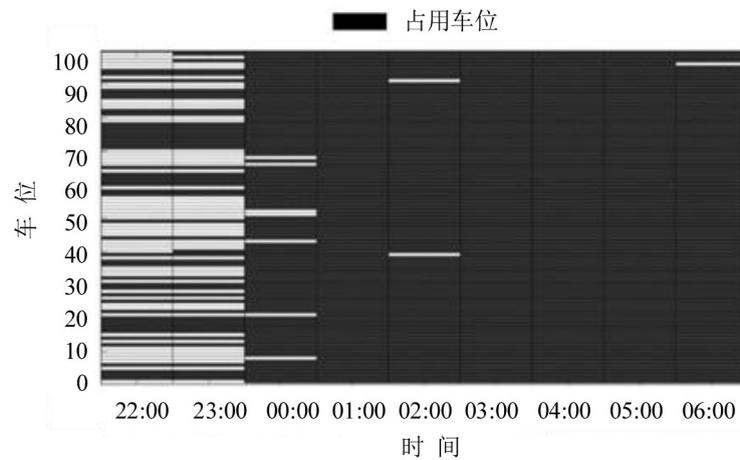


图7 延时情况的车位占据情况

Fig. 7 Berth occupation of delay situation

本文收集一定时间段内的所有需求并进行分配,需求必须在该时间段之前全部提交,且无法更改,限制了用户选择;另外,未考虑价格因素对共享停车需求的刺激作用.在未来研究中,期望构建以价格为上层变量,用户对价格的反应为下层变量的动态请求分配模型.

参考文献:

- [1] YANG B; YUAN Z Z; YANG Y. The study on allocation model of shared parking slots in multi-parking lots[C]. In Proceedings of the International Conference on Mechatronics, Gippsland, Australia, 2017.
- [2] DELL OLIO L, IBEAS A, MOURA J L. Paying for

parking: Improving state-preference surveys[J]. Transport, 2009, 162(1): 39-45.

- [3] SIMICEVIC J, VUKANOVIC S, MILOSAVLIEVIC N. The effect of parking charges and time limit to car usage and parking behaviour[J]. Transport Policy, 2013, 30: 125-131.
- [4] 唐伯明, 曾超, 刘唐志, 等. 城市中心区路外公共停车场停车选择行为模型[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2015, 34(6): 116-122. [TANG B M, ZENG C, LIU T Z, et al. A choice model of parking behavior in CBD public parking lots[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2015, 34(6): 116-122.]
- [5] GUO W, ZHANG Y, XU M, et al. Parking spaces repurchase strategy design via simulation optimization [J]. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2015, 20(3): 1-15.

参考文献:

- [1] 杨扬, 关伟, 马继辉. 基于列生成算法的电动公交车辆调度计划优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(5): 198-204. [YANG Y, GUAN W, MA J H. Battery electric transit bus scheduling problem based on column generation approach[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016, 16(5): 198-204.]
- [2] LI J Q. Transit bus scheduling with limited energy[J]. Transportation Science, 2013, 48(4): 521-539.
- [3] LI L, LO H K, XIAO F, et al. Mixed bus fleet management strategy for minimizing overall and emissions external costs[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2018, 60: 104-118.
- [4] WEN M, LINDE E, ROPKE S, et al. An adaptive large neighborhood search heuristic for the electric vehicle scheduling problem[J]. Computers & Operations Research, 2016, 76: 73-83.
- [5] TANG X, LIN X, HE F. Robust scheduling strategies of electric buses under stochastic traffic conditions[J]. Transportation Research Part C, 2019, 105: 163-182.
- [6] HALL C, CEDER A, EKSTRÖM J, et al. Adjustments of public transit operations planning process for the use of electric buses[J]. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2019, 23: 216-230.
- [7] NIEKERK M, AKKER J, HOOGEVEEN J. Scheduling electric vehicles[J]. Public Transport, 2017, 9: 155-176.
- [8] 刘昱岗, 沈睿. 基于实时需求的夜间城市公交柔性调度研究[J]. 公路工程, 2015, 40(5): 236-240, 244. [LIU Y G, SHEN R. The night city bus flexible scheduling based on real-time[J]. Highway Engineering, 2015, 40(5): 236-240, 244.]
- [9] 张飞舟, 晏磊, 范跃祖, 等. 智能交通系统中的公交车辆调度方法研究[J]. 中国公路学报, 2003(2): 83-86. [ZHANG F Z, YAN L, FAN Y Z, et al. Research on dispatching methods of public traffic vehicles in intelligent transport system[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003(2): 83-86.]
- [10] CEDER A. Public transit planning and operation: Modeling, Practice and Behavior[M]. Second Edition, CRC Press, Boca Raton, USA, 2016.
- [11] NOURBAKHS S M, OUYANG Y. A structured flexible transit system for low demand areas[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2012, 46(1): 204-216.
- [12] 王雪然, 刘文峰, 张龙文, 等. 基于能源链的纯电动公交车全生命周期CO₂减排效果研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(1): 19-25. [WANG X R, LIU W F, ZHANG L W, et al. CO₂ emission reduction effect of electric bus based on energy chain in life cycle[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19(1): 19-25.]
- [13] LI J Q. Battery-electric transit bus developments and operations: A review[J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2016, 10(3): 157-169.
-
- 上接第143页
- [6] SHAO C, YANG H, ZHANG Y, et al. A simple reservation and allocation model of shared parking lots [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016, 71(8): 303-312.
- [7] 张文会, 苏永民, 戴静. 居住区共享停车泊位分配模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(1): 89-96. [ZHANG W H, SU Y M, DAI J, et al. Distributing model for shared parking in the residential zones[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19(1): 89-96.]