

文章编号:1003-207(2025)05-0195-08

DOI:10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.2242

考虑前需求扰动的预约停车多阶段拍卖策略研究

高歌¹, 刘月¹, 孙会君²

(1. 山东科技大学交通学院, 山东 青岛 266590; 2. 北京交通大学系统科学学院, 北京 100044)

摘要: 预约停车是提高车位占用率的有效方法之一。但是, 在实际的预约停车过程中, 由于部分司机的迟到或爽约引发停车需求的扰动, 导致停车位占用率不高, 浪费了停车资源。鉴于此, 本文研究了如何通过多阶段拍卖的停车位预约方法解决因“前需求扰动”(司机迟到或爽约)造成的停车位占用率不高的问题。在停车位预约的多阶段拍卖中, 本文首次提出了一种“司机迟到报告机制”。依据司机的迟到报告情况, 停车预约平台对车位进行下一阶段拍卖, 以此提高车位利用率、减少车辆巡游时间。为了鼓励迟到司机向平台报告, 对报告的司机进行奖励, 对不报告的司机进行惩罚。研究表明, 基于多阶段拍卖的停车预约机制给停车场带来的收益高于传统的“先到先服务”停车预约方式。“司机迟到报告机制”能有效地抑制前需求扰动带来的停车场收益的大幅波动。同时, 该机制减少了停车车辆的巡游时间, 增加了司机的收益, 提高了社会效益。

关键词: 预约停车; 多阶段拍卖; 前需求扰动; 车位占用率

中图分类号: C934; F713

文献标识码: A

1 引言

近些年来, 私家车保有量的快速增长引发了一系列的交通问题。其中, 停车难问题尤为突出。究其原因, 停车需求的波动性和停车供给的长期不变性, 导致在高峰期停车需求大于供给, 引发了停车难问题。从停车供给的角度看, 寸土寸金的城市中很难单独开辟停车场, 导致公共停车位数量受到严重限制。鉴于此, 学者们依托共享理论^[1-4], 提出向公众开放私人停车位, 通过错时有偿停车服务, 来缓解停车难问题^[5,6]。在此基础上, 许多学者从预约停车的角度, 通过优化配置停车资源, 提高车位占用率, 进一步缓解停车难问题^[7-11]。

预约停车问题早期的研究都是围绕“先到先服务”的策略展开^[12]。“先到先服务”是一种按照司机预约顺序进行车位分配的策略, 先预约的司机优先分配到车位。其中停车价格按照固定的单价进行计算。但事实上, 合理的价格策略也能够有效地提高车位占用率^[13]。最近的一些研究采用拍卖机制

来处理停车位预约中停车位的分配问题, 借此提高车位占用率。如 Chen 等^[14]将 Vickrey-Clarke-Groves (VCG) 拍卖机制应用于基于智能手机的停车位预约平台中。Zou 等^[15]分析了车联网等新兴信息技术背景下, 如何使用 VCG 拍卖机制进行停车位分配。Kong 等^[16]通过整合价格兼容市场设计方法^[17]和 VCG 拍卖方法, 研究了物联网环境中如何共享和分配停车位。不同于 VCG 的组合拍卖, Xiao 等^[6]通过双重拍卖机制分配停车位。

上述研究, 不论是基于“先到先服务”的停车预约方法, 还是借助拍卖理论的预约停车分配机制, 都假定停车需求是恒定的。但是, 在停车位预约过程中会存在需求扰动, 即司机在成功竞拍车位后, 可能会做出以下行为:

- (1) 司机比预约时间提前离开停车位;
- (2) 司机占用停车位的时间超过规定时间;
- (3) 司机在停车开始前不能准时到达预约停车位;
- (4) 司机由于某些原因放弃成功预约的停车位。

上述四种行为都会引发停车需求扰动, 降低停车位的占用率。行为(1)和(2)发生在停车开始之后, 称之为后需求扰动。行为(3)和(4)发生在停车开始之前, 称之为前需求扰动。目前, Shao 等^[12]对停车预约的后需求扰动进行了分析, 并提出了解决

收稿日期: 2022-10-14; 修订日期: 2023-01-17

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(71801144); 国家自然科学基金面上项目(72171020); 山东省自然科学基金面上项目(ZR2023MG008)

通讯作者简介: 孙会君(1974-), 女(汉族), 河北衡水人, 北京交通大学系统科学学院, 教授, 博士生导师, 研究方向: 城市交通组织、管理与优化, E-mail: hjsun1@bjtu.edu.cn.

方案。然而,经过阅读文献,尚未发现有人采用多阶段拍卖策略研究预约停车的前需求扰动问题。基于此,本文分析了预约停车的前需求扰动问题,通过引入 VCG 竞价模型和司机报告机制,对迟到司机给予惩罚(不报告)和奖励(主动报告),解决因司机迟到或爽约造成停车位占用率不高的问题。

2 问题描述与假设

假定城市有一个停车预约管理平台,该平台由司机、多个停车场和多个停车位组成。同一停车场的内的停车位是同质的,不同停车场间的车位是异质的,所有停车位均由平台集中管理。司机可以通过手机 APP 或电脑应用软件在出行前或出行中通过访问该平台预约车位。将一天 24 小时平均分为 N 个时间段,其中任意两个时间段之间没有重叠。司机可以根据自己所需要停车时间来预约一个或多个连续时间段。

平台根据司机预约的时间段,通过多阶段 VCG 拍卖机制将停车位分配给司机。预约平台中的拍卖是周期性的和独立的,且在一个拍卖期间一个停车场的司机都出现在平台中。将司机看作竞拍车位的代理人,把平台看作拍卖师。每个代理人在拍卖开始时向拍卖师提交一份原子投标。每份原子投标包括一个或多个连续的预约时段及其投标价格。原子投标中,每个代理人的停车请求是不可分割的,不存在一个代理人竞拍三个时段,但平台只分配给他一个或两个时段的情况^[12]。平台收到原子投标后,根据停车场的实际容量和获取的利益确定有效的拍卖方案。司机当前竞拍阶段参与的车位竞价方案未确定时,不得参与其它车位的拍卖。当拍卖结束后,其他司机可以继续加入该停车场的拍卖,也可选择参与其它停车场的拍卖。只有当需求扰动发生时,才能进行第二次拍卖。

本文假定不存在后需求扰动问题,只考虑前需求扰动问题,即只存在司机不能准时到达停车场或放弃成功预约的停车位,不存在车位早退和延迟使用的情况。由于司机迟到或爽约,原有的预定停车位没有得到充分利用,造成了资源的浪费。在本文中,假设停车位是有价值的(这里称为停车位价值,用 V 表示)。如果司机能按时停车,停车位将被充分利用,停车位值将达到最大值(V_{max})。如果司机迟到了,停车位没有被充分利用,停车位的价值就会降低, $V < V_{max}$ 。

平台存在一种迟到报告机制。司机在面临迟到或者爽约时,有两种选择:

- (1)向平台提前报告他/她的迟到信息;
- (2)不向平台报告他/她的迟到信息。

如果迟到的司机选择上报平台,为了保证车位的占用率(价值),平台可对该车位进行二次拍卖,将其分配给其他投标人。但是,如果迟到的司机选择不向平台报告迟到,原来的预定停车位没有被充分利用,导致停车资源的损失,即 $V < V_{max}$ 。为了鼓励迟到司机提前向平台报告迟到情况,本文考虑对迟到司机的报告行为和不报告行为分别进行奖励和惩罚。

因此,在前需求扰动发生时,停车过程中会出现以下四种情形:

情形 1:司机向平台报告其迟到或爽约,且此车位存在其他竞争者(其他投标人)。平台进行二阶段拍卖,将车位分配给其他投标人。同时,平台返还司机的拍卖款,并给予奖励。该车位在下一阶段拍卖给了竞争者,减少了竞争者的巡游时间。但是,司机需要寻找其他停车位。

情形 2:司机向平台报告其迟到或爽约,且不存在竞争者(其他投标人)。此时,没有其他投标人接管该停车位,该车位的原分配方案保留。但是,为了鼓励司机,平台仍会对司机进行奖励。

情形 3:司机不向平台报告其迟到或爽约,且存在其他竞争者(其他投标人)。由于司机迟到导致车位占用率降低,且增加了竞争者的巡游时间。平台会对司机进行处罚。

情形 4:司机不向平台报告其迟到或爽约,也不存在其他竞争者(其他投标人)。原分配方案将继续执行。考虑到没有其他投标人,平台不会处罚司机。

接下来,将通过一个例子来说明上述四种情况。

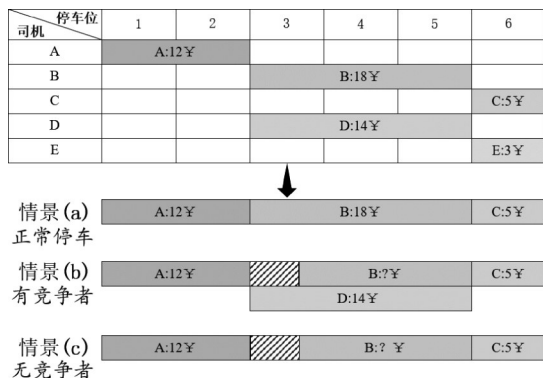


图1 司机竞拍出价详情

如图1所示,我们把一个停车位的 24 小时分为 6 个不重叠的时段。A、B、C、D 和 E 分别代表 5 名司机。上图中的数字是司机的竞拍出价,如司机 A 对 1 和 2 两个时段出价 12 元。司机 A 在任何时段都没有竞争者,司机 B 和 D 在第 3、4 和 5 时段竞争车

位,司机C和E在第6时段存在竞争。

若不存在需求扰动,司机A出价12元拍下第1和2时段。司机B出价18元拍下时段3、4和5时段,司机C出价5元拍下时段6。平台收到所有司机的出价后,确定初始停车分配方案(司机A、B、C竞拍成功),总出价为35。

若司机B不能按时到达停车场,就会出现以下四种情况:

(1)司机B选择报告平台无法按时到达,存在司机D与之竞争同时段车位(图1(b)),车位分配方案改变,平台将车位分配给司机D,总出价为31。同时,平台返还司机B18元竞拍款,并给予一定奖励。

(2)司机B选择不报告平台无法按时到达,存在司机D竞争同时段车位(图1(b)),车位分配方案不变,但平台对司机B进行罚款。

(3)司机B选择报告平台无法按时到达,且不存在与之竞争的司机(图1(c)),车位的分配方案不变。平台为了鼓励司机B的报告行为,给他一定的奖励。

(4)司机B不报告平台无法按时到达,且不存在与之竞争的司机(图1(c)),车位分配方案不变,平台对司机B收取18元。

基于以上分析可知,当前需求扰动发生时,平台需要一个高效的多阶段拍卖机制实现对预约车位的有效分配,且能够对迟到司机进行合理的奖励和惩罚,以减少需求扰动对停车场和司机的影响。在下面的小节中,我们将通过VCG拍卖模型详细介绍停车预约拍卖机制。

3 停车预约VCG拍卖模型

3.1 基本模型

假设停车预约平台包含多个停车场,每个停车场中包含 J 个同质车位需要进行拍卖,每个车位一天内被划分为 N 个时段。设 I 是参与其中一个停车场内车位拍卖的全部司机的集合,每个参与拍卖的司机 $i \in I$ 。 n_i^j 为司机 i 参与拍卖的车位 $j \in J$ 的第 n 个时段, $n_i^j \in N$, $b(n_i^j)$ 为司机 i 参与竞拍 j 车位的第 n 时段时的投标价格。每个投标报价中都要明确竞拍的车位、时段和投标价格。在VCG拍卖中,每个司机的出价均是按照他们内心对这个车位的使用价格评估所报出的真实有效值,即每个司机都会给出一个使自己当前利益最大化的报价。因为同一停车场内的停车位是同质的,所以每个司机对同一时段的所有停车位均给出相同的价格,但最后,平台只会分配给司机一个车位。

假设 S 是可行的车位分配方案集合,其中 s 是一

个车位分配方案, $s \in S$ 。

最优分配模型(一)如下:

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} b(n_i^j) x(n_i^j) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} x(n_i^j) \leq 1, \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} \theta(s) = 1 \quad (3)$$

$$x(n_i^j) - \sum_{s: n_i^j = n_i^j} \theta(s) = 0, \forall i \in I \quad (4)$$

$$x(n_i^j) \in \{0, 1\} \quad (5)$$

$$\theta(s) \in \{0, 1\} \quad (6)$$

在模型(一)中,目标函数(1)表示停车场总收益最大。约束条件(2)表示同一个时段的车位只能分配给一个司机。约束条件(3)表示停车平台只能选择一个可行的最优分配方案。约束条件(4)是为了确保最终选择的最优车位分配方案中的司机要与实际获得车位的司机一一对应,其中 $s: n_i^j = n_i^j$ 表示在可行分配 s 中的 n_i^j 时段分配给了司机 i 。约束条件(5)表示当 $x(n_i^j) = 1$ 时,表示 j 车位的 n 时段被分配给司机 i ,否则 j 车位的 n 时段不被分配给司机 i 。约束条件(6)中, $\theta(s) = 1$ 表示选择分配方案 s 为最优分配方案,否则分配方案 s 不是最优分配方案,即 $\theta(s) = 0$ 。

3.2 多阶段VCG拍卖模型

(1)一阶段拍卖

本文所述的一阶段拍卖也被称为单阶段场景下的VCG拍卖。在VCG拍卖中,司机的最终付款是竞价者赢得拍品后,给其他竞拍者带来的收益损失,该损失就是赢家司机应该支付的费用。具体的,一阶段拍卖流程如下:

1. 每个司机 $i \in I$ 向停车平台提交原始出价 $b(n_i^j)$ 。
2. 平台根据司机提供的竞拍出价以及上述模型(一)确定可行方案 s ,向司机报告竞拍到的车位。
3. 平台根据上述方案确定竞拍成功司机的集合 I^1 (上角标1表示VCG拍卖的第1阶段)。将每个车位 n_i^j 分配给竞拍成功的司机。
4. 经平台确定可行方案后,平台利用Vickrey付款,确保司机均按照心理价格出价。其中,Vickrey付款表述如下:

$$p_i = B^1(I - i) - (B^1(I) - b(n_i^j)) = b(n_i^j) - (B^1(I) - B^1(I - i)) \quad (7)$$

在式(7)中, $B^1(I - i)$ 是将司机 i 排除在拍卖平台外的第1阶段拍卖的模型(一)的目标函数值。以此类推, $B^k(I - i)$ 将司机 i 排除在拍卖平台外的第 k 阶段拍卖的模型的目标函数值。 $B^1(I)$ 表示第1阶段拍卖的模型(一)的目标函数值。

(2)多阶段拍卖

在多阶段 VCG 拍卖中,假设每隔固定的时间进行一次拍卖人数的确定,其间未竞拍成功的司机可以离开平台,也允许新的竞拍者可以加入平台参与拍卖。以第一次拍卖确定的方案为实际车位分配方案。需求扰动发生后,平台将根据最新的拍卖人数进行下一阶段拍卖,并确定新的车位分配方案。

前需求扰动不会对后续时间段内停车的车辆造成干扰,但是会减少车位的占用率。当司机决定放弃已预约的车位,且该车位存在竞争者时,平台需要对该车位进行二次拍卖。此阶段同样采用 VCG 拍卖方式。

设 $B^2(I^2)$ 是第阶段二把迟到车辆排除在拍卖平台外的目标函数值,即 $B^2(I^2)=B^{(1)}(I-i)$ 。二次拍卖的赢家司机仍然可能会发生无法按时到达的情况,因此平台需进行第三阶段拍卖,以此类推,会有第四阶段、第五阶段等等。因此,在第 $\Delta+1$ 阶段,有 $B^{\Delta+1}(I^{\Delta+1})=B^{\Delta}(I^{\Delta}-i^{\Delta})$,其中 $B^{\Delta+1}(I^{\Delta+1})$ 是第 $\Delta+1$ 阶段拍卖的目标函数值, I^{Δ} 是第 Δ 次拍卖的赢家集合。 $B^{\Delta}(I^{\Delta}-i^{\Delta})$ 是第 Δ 阶段将司机 i 排除在拍卖平台外的模型的目标函数值,如果前需求扰动连续发生,重复上述拍卖过程,直到车位被占用。

同第一阶段拍卖类似,司机在第 Δ 阶段拍卖中,会面临以下四种情境:

情景 1:司机 i 选择报告平台迟到情况,且存在竞争者。

首先,停车平台退还司机 i 的付款,并对该车位进行二次拍卖。

由 Vickrey 付款原则得第 Δ 阶段拍卖的付款(p_i^{Δ})为:

$$p_i^{\Delta} = b^{\Delta}(n_i^{\Delta}) - (B^{\Delta}(I^{\Delta}) - B^{\Delta}(I^{\Delta} - i^{\Delta})) \quad (8)$$

其中, $b^{\Delta}(n_i^{\Delta})$ 表示司机在第 Δ 阶段拍卖的投标价格。

其次,由于司机的主动报告,车位进行了二次拍卖,停车位的占用率得到了提高,避免了停车资源的浪费。所以,平台应该给与司机 i 相应的奖励(补偿) c 。本文考虑 c 值由停车场的平均出价($\bar{p}$, 且 $\bar{p} \geq 0$)和该车位的当前出价(p_i)确定。为了避免停车场的收益波动,出现奖励金额过大的情况。一般来讲,奖励金额要小于司机的原有出价,即 $c < p_i$ 。因此, c 可用下面的公式计算:

$$c = \begin{cases} \left| p_i - \frac{p_i + \bar{p}}{2} \right|, & \text{当 } p_i > \frac{\bar{p}}{3} \\ \frac{p_i}{3}, & \text{当 } p_i \leq \frac{\bar{p}}{3} \end{cases} \quad (9)$$

在式(9)中,当该车位出价大于停车场平均出价的 $1/3$ 时,为避免奖励金额过大, c 由该车位出价和停车场平均出价共同决定。当停车场平均出价远大于该车位出价时,为保障停车场的收益, c 只由该车位出价决定。

情景 2:司机 i 选择报告平台迟到情况,且没有竞争者。考虑到该车位没有其他竞争者,仍按原有分配方案执行。为了鼓励司机的主动报告,平台仍会给予司机奖励,奖励金额由公式(9)确定。

情景 3:司机 i 选择不报告平台迟到情况,且存在竞争者。司机 i 被惩罚。据前文描述,当司机严格按照预约时间停车(即车位被充分利用)时,总停车价值为 $V_{\max}$ 。可以看出,在拍卖第 Δ 阶段司机正常停车时,停车场的总效益最大,因为此时停车场的拍卖收益和车位价值最大。为保障停车场总效益最大化,引导迟到司机向平台报告,平台将对迟到司机进行罚款,罚款金额(f)满足下式:

$$\sum_{i \in I^{\Delta}} p_i^{\Delta} + V_{\max} = \sum_{i \in I^{\Delta+1}} p_i^{\Delta+1} + V_{\max} + f \quad (10)$$

即: Δ 阶段拍卖总收入与 $V_{\max}$ 之和应与 $\Delta+1$ 阶段拍卖总收入与 $V_{\max}$ 及罚款(f)之和相等。

迟到的司机不向平台报告,停车场的总收入没有变化,但由于车位占用率不足,导致车位价值降低。因此,惩罚值代表的是车位占用率不足导致的车位价值损失,因此也可以用下式表示:

$$\sum_{i \in I^{\Delta}} p_i^{\Delta} + V_{\max} - f = \sum_{i \in I^{\Delta+1}} p_i^{\Delta+1} + V_{\max} \quad (11)$$

在公式(11)中, f 表示车位未被充分利用时的车位损失价值, $V_{\max} - f$ 表示车位的当前价值, $\sum_{i \in I^{\Delta}} p_i^{\Delta}$ 表示 Δ 阶段拍卖总收入, $\sum_{i \in I^{\Delta+1}} p_i^{\Delta+1}$ 表示 $\Delta+1$ 阶段拍卖总收入。

根据公式(10)或(11),我们得到 f 的表达式为:

$$f = \sum_{i \in I^{\Delta}} p_i^{\Delta} - \sum_{i \in I^{\Delta+1}} p_i^{\Delta+1} \quad (12)$$

在第 $\Delta+1$ 阶段(或其他阶段),可能会出现新的竞拍者出价高于 Δ 阶段拍卖赢家出价的情况。但是,根据公式(12)计算的惩罚值为负数,这不符合惩罚原则($f > 0$),因此 f 可以计算如下:

$$f = \left| \sum_{i \in I^{\Delta}} p_i^{\Delta} - \sum_{i \in I^{\Delta+1}} p_i^{\Delta+1} \right| \quad (13)$$

情景 4:司机 i 选择不报告平台迟到情况,且平台不存在竞争者。由于车位没有其他竞争者,平台无法进行下一阶段拍卖,车位按原有分配方案执行,且平台不对司机 i 进行惩罚。

4 数值实验

为了验证本文提出的多阶段VCG拍卖机制和司机报告机制对停车位预约过程中发生前需求扰动时的管理效果,本节开展了数值实验分析。

4.1 实验设置

假设一个城市中的某个停车场有30个同质车位,每个车位被分成8个时段。为分析司机数量的影响,参与竞拍司机人数分别设置为100、200和300。每个竞拍司机均提交一份出价信息,出价在区间 $[3, 30]$ 中随机生成。针对实际停车过程中的停车高峰时段设置相对较多的司机出价,如时段3、4、5、6;对于司机参与竞拍单个时段还是多个时段,本文采取随机原则。停车管理平台根据司机出价数据,生成30个最优停车方案。车辆在拥挤地区寻找合适停车位通常需要3.5—14分钟^[18],实验采用8分钟作为每个司机寻找车位的巡游时间。

4.2 拍卖预约停车的效果分析

为了验证多阶段VCG拍卖停车预约的效果,本节与先到先服务(FCFS)的预约停车方式进行了对比。

如图2所示,无论司机的数量是100名、200名,还是300名,基于多阶段VCG拍卖的停车场收益都显著高于传统的先到先服务(FCFS)预约方式。从图2还可以看出,在停车位数量一定的情况下,竞拍司机数量越多,预约拍卖机制带来的收益越高。同时,随着司机数量的增长,拍卖机制与先到先服务方式带来的停车场收益差值也不断增大,这进一步验证了基于多阶段VCG拍卖机制在预约停车中的优越性。

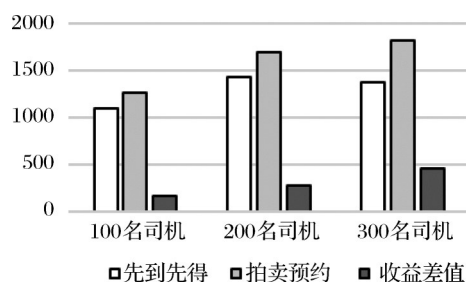


图2 停车场收益比较

本文还分析了拍卖预约机制下停车场车位数量不同时(停车位数量为20,30和40),停车场收益的变化。如图3所示,随着停车场内车位数的增加,停车场获取的收益增大。同时,停车场的收益也随着司机数量的增加而增大。当平台存在100名司机时,车位数量对停车场收益的影响较小。但是当司机的数量为200和300名时,车位数量的变化所带来的收益差距愈发明显。综上,在拍卖预约机

制下,预约车位数量和司机数量与停车场收益存在正相关关系。

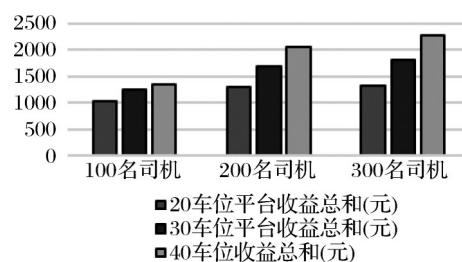


图3 车位和司机数量不同时停车场收益变化

4.3 司机报告机制的效果分析

为了分析不同需求扰动程度对停车场和司机带来的影响,本文分析了发生扰动的车位数量分别占总车位数量(30个)的20%(6个)、40%(12个)、60%(18个)和80%(24个)四种情况。此外,为了分析司机报告数量对停车场和司机的影响,本文分别对50%迟到司机报告和所有迟到司机都报告两种情况也进行了分析。本文采用司机效益变化值(司机效益变化值为司机付款变化值与司机总巡游时间节省值之和)、平台收益变化值、司机巡游时间变化值三项指标来反映司机报告机制对平台和司机带来的影响。

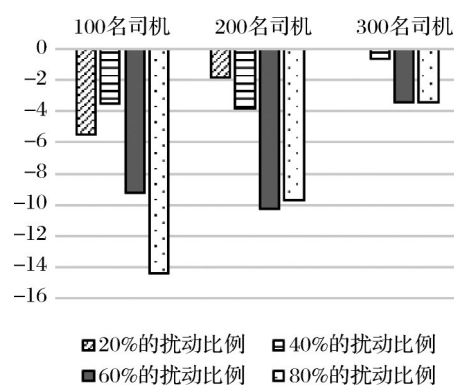


图4 当50%迟到司机报告时,不同扰动比例下平台收益变化

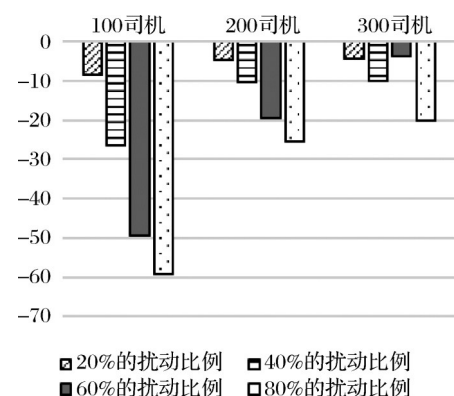


图5 当100%迟到司机报告时,不同扰动比例下平台收益变化

如图4和图5所示,对于平台来讲,当需求扰动发生时,一般会带来收益损失,且随着扰动车位数量的增加,平台的收益损失就越大。因此,作为平台方是不希望需求扰动发生的。但是,从图4和图5可以看出,当参与竞拍司机数量越多(从100到300)时,需求扰动给平台带来的收益损失越小。特别地,如图4所示,在300名司机,20%的扰动比例时,平台收益变动为0,此时应用司机报告机制没有给平台收益带来损失。由此可见,报告机制适用于停车供需矛盾突出的情况。此外,从图4和图5可以发现,在报告机制下,随着扰动比例的增加,平台的收益损失基本控制一定范围内(大部分效益损失控制在30以内),波动并不大。当然,当竞拍司机在100名,迟到司机都选择报告时,平台收益损失较大(图5)。这是因为竞拍司机数量少,竞拍司机出价偏低,平台的收益偏低,且当扰动比例过大,迟到司机都选择报告时,平台会给所有报告司机奖励,导致平台损失。但是,随着竞拍司机数量的增加,平台的收益损失减少,这也进一步验证了报告机制适用于供需矛盾突出的情况。对比图4和图5发现,选择报告的司机越多,平台收益损失越大。这是因为为了提高车位利用率,平台需提供更多的奖励鼓励司机报告,其收益也会相应地减少。

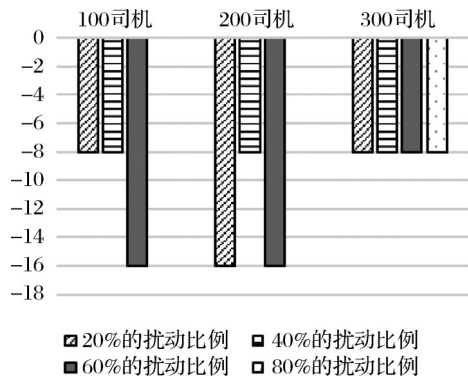


图6 当50%迟到司机选择报告系统时,不同扰动比例下司机总巡游时间变化

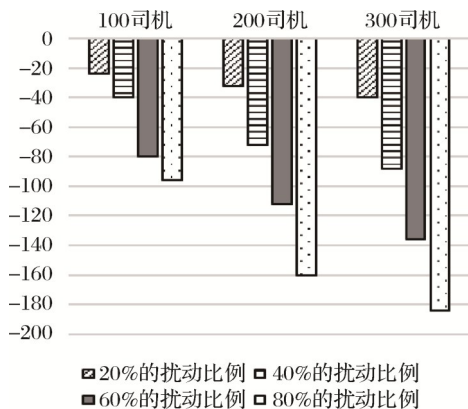


图7 当100%迟到司机报告时,不同扰动比例下司机总巡游时间变化

图6和图7展示了分别有50%和100%的迟到司机报告时,不同扰动比例下司机总巡游时间的变化情况。需要特别说明的是,本文的司机总巡游时间为参与此停车场竞拍的所有巡游司机(已到达停车场,但在寻找车位的司机)的巡游时间。当成功预约此停车场车位的司机因无法按时到达,选择报告后,只能参与本停车场其他阶段的拍卖(因尚未到达此停车场,不能参与此停车场二阶段拍卖)或其他停车场相应时段的拍卖。因此,当此停车场停车位二次拍卖成功时,将节省二次拍卖赢家司机的巡游时间。因无法确定报告司机的到达时间,且报告司机可能会在其他停车场拍卖中一次拍卖成功,不需要巡游时间,或需要多次拍卖才能成功,无法计算其巡游时间,因此在本文中没有考虑。

如图6和图7所示,相较于不报告,在司机报告机制下,司机总巡游时间减少,且报告比例越高,减少的巡游时间越大(100%报告大于50%报告)。因此,从巡游时间减少的角度来看,应鼓励迟到司机报告系统。

如图7所示,当迟到司机都报告系统时(100%),随着扰动比例的增加,节省的总巡游时间也逐渐增大。这是因为扰动比例越大,越多的竞拍司机有机会参与到二次竞拍中,降低了二次竞拍司机寻找车位的时间。

此外,竞拍司机数量越大(竞拍司机数量从100到300),所节省的巡游时间也越大,进一步说明供需矛盾越突出,报告机制的优势越明显。然而,当只有50%的迟到司机选择报告时(图6),无论是随着扰动比例的增加,还是随着竞拍司机数量的增大,总巡游时间的节省值并未呈现增长趋势。这是由于司机不报告,导致平台无法对扰动车位进行二次拍卖,参加二次拍卖的竞争者需要寻找其他车位,增加了巡游时间。

图8和图9分别给出了当分别有50%和100%的迟到司机报告时,不同扰动比例下司机效益的变化

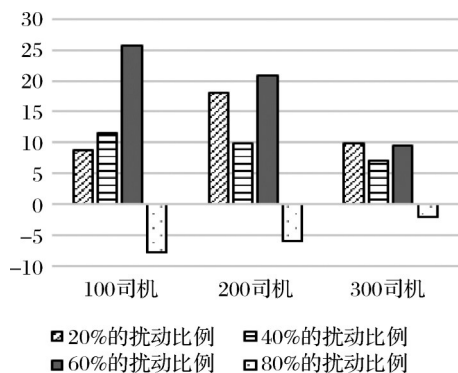


图8 当50%迟到司机报告时,不同扰动比例下司机效益变化

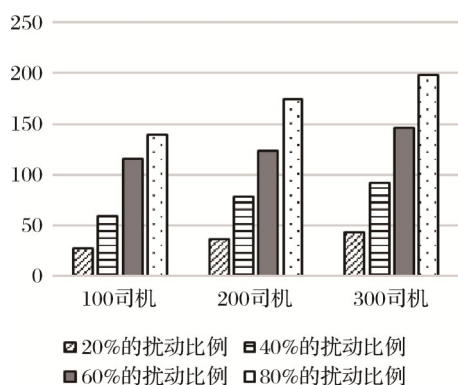


图9 当100%迟到司机报告时,不同扰动比例下司机效益变化

化情况。从总体呈现的结果来看,报告机制下,司机的效益增加了。这是因为司机的报告减少了司机的巡游时间(图6和图7),且报告司机获取了平台给与的奖励,司机的总效益增加。

当迟到司机都报告系统时(100%),同总巡游时间变化类似,随着扰动比例和竞拍司机数量的增加,司机的效益逐渐增大(图9)。但是,当只有50%的迟到司机选择报告且扰动比例达到80%时(图8),司机收益出现了损失的情况。原因有二:一方面,由于司机的不报告,平台无法进行二次拍卖,竞争者需寻找其他车位,巡游时间增加。另一方面,平台对不报告司机进行了罚款,最终导致司机收益的损失。

综上,从司机的角度来看,报告机制能够有效增加司机的收益。对于平台来讲,需求扰动造成了平台收益损失,但在报告机制作用下,需求扰动对平台的整体收益影响不大。从社会效益的角度看,通过对比图4和图8,图5和图9,报告机制下司机获取的收益增加要大于平台的收益损失,社会总效益是增加的。因此,当需求扰动发生时,无论是司机,平台还是社会,报告机制带来影响都是变好的。

5 结语

针对在停车过程中出现的前需求扰动问题,本文分析了可能发生的四种场景,提出了一种迟到司机报告机制与多阶段VCG拍卖相结合的方法来提高停车场的车位占用率,减少驾驶员的巡游时间,增加社会收益。结果发现:

(1)与传统的“先到先得”的停车预约方式相比,当出现预约需求扰动时,多阶段VCG拍卖方式能够获取更高的停车场收益。在竞拍司机数量一定的情况下,停车场获取的收益随着停车场内车位数的增加而增大。在停车位数量一定的情况下,停车场获取的收益随着竞拍司机数量的增加而增加。

(2)与没有司机反馈机制的预约平台相比,随

着干扰车位数量的增加,报告机制能减少车辆巡游时间,增加司机的收益。特别地,当停车供需矛盾越突出时,报告机制下司机获取的收益越大。

(3)需求扰动会降低平台的收益,但是报告机制将平台收益损失控制在合理范围内,能有效抑制需求扰动给平台收益损失带来的大幅波动。

(4)在多阶段拍卖和拍买机制联合作用下,司机增加的收益远高于平台的收益损失,提高了社会收益。

本文所提出的司机报告机制和多阶段VCG拍卖方法能提高车位占用率,有效抑制前需求扰动对停车场效益的大幅波动,减少司机的巡游时间,增加司机的收益和提高社会效益,对缓解停车难问题具有重要的参考价值。

本文假设车位是同质的,实际上每个车位是不同的,因此,在未来的研究中可考虑异构停车位的需求扰动问题。同时,本文提出的停车预约平台模型可以进一步与其他停车策略相结合,如共享停车位(谭秉卿2019,共享经济)等,以达到更好的停车效果。

参考文献:

- [1] 刘征驰, 蒋贵艳, 马滔. 服务质量、需求强度与共享出行平台定价——基于平台封闭与开放策略的视角[J]. 中国管理科学, 2021, 29(9): 224—235.
- [2] Liu Z C, Jiang G Y, Ma T. Service quality, demand intensity and pricing of ridesharing platform—From the perspective of platform closure and development strategy [J]. Chinese Journal of Management Science, 2021, 29(9): 224—235.
- [3] Tang Z, Jiang Y, Yang F. An efficient Lagrangian relaxation algorithm for the shared parking problem[J]. Computers & Industrial Engineering, 2023, 176: 108860.
- [4] 刘征驰, 邹智力, 马滔. 技术赋能、用户规模与共享经济社会福利[J]. 中国管理科学, 2020, 28(1): 222—230.
- [5] Liu Z C, Zou Z L, Ma T. Technology empowerment, user scale and the social welfare of sharing economy[J]. Chinese Journal of Management Science, 2020, 28(1): 222—230.
- [6] Thigpen C G. Giving parking the time of day: A case study of a novel parking occupancy measure and an evaluation of infill development and carsharing as solutions to parking oversupply[J]. Research in Transportation Business & Management, 2018, 29: 108—115.
- [7] 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: 303—312.

- [6] Xiao H, Xu M, Gao Z. Shared parking problem: A novel truthful double auction mechanism approach [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2018, 109: 40–69.
- [7] 刘永红, 罗霞, 胡剑鹏. 考虑临时和预约需求的共享泊位动态分配方法[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2022, 22(1): 171–181.
- Liu Y H, Luo X, Hu J P. Dynamic allocation method for shared berth considering immediate and reservation demands [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2022, 22 (1) : 171–181.
- [8] Chen R, Gao G, Kang L J, et al. Efficiency and equity analysis on parking reservation [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2024, 187: 103606.
- [9] Wu W, Liu W, Zhang F, et al. A new flexible parking reservation scheme for the morning commute under limited parking supplies [J]. *Networks and Spatial Economics*, 2021, 21(3): 513–545.
- [10] Xu D, Sun H. Research on parking service optimization based on permit reservation and allocation [J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 2022(1): 8364988.
- [11] Koutras V P, Kadrefi A, Platis A N. A cyclic non-homogeneous Markov chain model for resource availability optimization in a two-parking lots system with priority classes and resource reservation [J]. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 2022, 38 (1) : 182–210.
- [12] Shao S, Xu S X, Yang H, et al. Parking reservation disturbances [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2020, 135: 83–97.
- [13] Cats O, Zhang C, Nissan A. Survey methodology for measuring parking occupancy: Impacts of an on-street parking pricing scheme in an urban center [J]. *Transport Policy*, 2016, 47: 55–63.
- [14] Chen Z, Yin Y, He F, et al. Parking reservation for managing downtown curbside parking [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2015, 2498(1): 12–18.
- [15] Zou B, Kafle N, Wolfson O, et al. A mechanism design based approach to solving parking slot assignment in the information era [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2015, 81: 631–653.
- [16] Kong X T R, Xu S X, Cheng M, et al. IoT-enabled parking space sharing and allocation mechanisms [J]. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2018, 15(4): 1654–1664.
- [17] Xu S X, Cheng M, Kong X T R, et al. Private parking slot sharing [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2016, 93: 596–617.
- [18] Shoup D C. Cruising for parking [J]. *Transport Policy*, 2006, 13(6): 479–486.

Research on Multi-Stage Auction Strategy of Reserved Parking Considering pre Demand Disturbance

Gao Ge¹, Liu Yue¹, Sun Huijun²

(1. School of Transportation, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

2. School of Systems Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Parking reservation is one of the effective methods to improve the occupancy rate of parking spaces. However, some drivers may not park on time as scheduled, which leads to low utilization of parking spaces and wastes parking resources. In view of this, in order to solve the problem of low utilization of parking spaces caused by drivers who are late, a parking space reservation method is proposed based on multi-stage Vickrey Clarke Groves auction. In the multi-stage auction of parking space reservation, a “driver late report” mechanism is proposed for the first time. The platform conducts the next stage auction of parking spaces according to drivers’ reports, so as to improve the utilization rate of parking spaces and reduce vehicle cruise time. The “driver late reporting” mechanism can effectively suppress the large fluctuation of parking lot utility and driver parking benefit caused by the previous demand disturbance. At the same time, it also reduces the cruising time of parked vehicles and improves the income of drivers and social benefits.

Key words: parking space reservation; multi-stage auction; pre demand disturbance; parking space utilization