

基于博弈论的用户共享停车行为管理的奖惩模型

袁 渝

重庆交通大学交通运输学院 重庆 400074

摘要: 为解决共享停车用户停车的管理问题, 促进共享停车平台发展, 运用博弈模型对用户使用泊位的不规范停车行为进行研究。根据机制原理, 基于效用理论和展望理论构建奖励机制与惩罚机制, 将泊位共享停车问题中的用户与共享平台视为博弈双方构建停车奖惩混合策略博弈模型。分别对两种机制下的博弈模型进行分析, 得到平台的泊位拥有率、平台对用户停车行为的识别正确率、奖惩力度及泊位的使用率等因素对用户是否规范停车的影响关系。研究表明: 奖惩机制下该博弈模型有均衡解, 但奖励机制的条件更宽松, 惩罚机制下当识别正确率低于临界值时惩罚模型失效, 平台可根据自身发展状况及市场条件选择合适的策略方案。

关键词: 共享停车; 奖惩机制; 博弈论; 混合博弈策略; 泊位使用率

A reward and punishment model of user sharing parking behavior management based on game theory

Yu Yuan

School of Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074

Abstract: In order to solve the parking management problem of shared parking users and promote the development of shared parking platform, the game model was used to study the irregular parking behavior of users using parking Spaces. According to the mechanism principle, the reward mechanism and punishment mechanism are constructed based on the utility theory and prospect theory, and the user and the sharing platform in the parking sharing problem are regarded as the two sides of the game to construct a mixed strategy game model of parking reward and punishment. The game models under the two mechanisms are analyzed respectively, and the influence of factors such as berth ownership rate of the platform, the correct rate of the platform's recognition of users' parking behavior, the strength of rewards and punishments, and the utilization rate of the parking space on users' standard parking is obtained. The results show that the game model has an equilibrium solution under the reward and punishment mechanism, but the conditions of the reward mechanism are more relaxed. Under the punishment mechanism, the punishment model fails when the recognition accuracy is lower than the critical value, and the platform can choose the appropriate strategy scheme according to its own development status and market conditions.

Keywords: Shared parking; Reward and punishment mechanism; Game theory; Mixed game strategy; Usage of berth

引言:

随着经济的发展, “停车难”问题已成为一大难题, 其主要原因是城市有限的停车设施供给跟不上快速提升的停车需求, 形成需求供给矛盾。共享停车被认为是缓解停车难问题的有效解决办法, 虽然多地政府相继出台相关政策, 但由于管理方法的不科学和平台效益不佳, 政策收效甚微。

在共享停车研究中, 国内外学者多集中在泊位的共享意愿、资源分配及定价研究方面, 在停车的规范管理

方面的研究成果较少。Wang等^[1]考虑不同层级城市的差异, 研究车位拥有者共享车位的意愿。Shao等^[2]以最大化平台的收益为目标提出了一个车位预约和分配模型。Wang等^[3]提出了一种解决共享停车预约用户出行时间不确定性的预定和分配模型。姚恩建等^[4]以泊位资源最大化利用为目标, 构建共享车位资源配置模型并设计相应的求解算法。段满珍^[5]将博弈论引入共享停车理论, 构建了基于APP共享停车管理框架下的居住区共享停车服务模型。在停车激励机制研究方面, 高良鹏等^[6]通过解

析不同因素对停车竞价行为的影响, 构建了基于生存分析理论的弹性停车激励机制下驾车者竞价行为演化模型。牟振华等^[7]以驾驶员和执法者两类群体作为博弈主体, 利用动态罚金策略建立了基于演化博弈的违章停车最优控制模型。

目前关于共享停车的规范管理与相应策略并没有系统的研究, 而良好的管理策略直接影响着居民的泊位共享意愿及企业的发展与收益, 因此进行用户停车行为的规范管理研究具有十分重要的意义。本文研究在奖励机制与惩罚机制下, 用户停车行为与平台的博弈过程, 构建了基于博弈论的用户停车行为管理的奖惩模型。

一、问题分析

用户在选择平台共享泊位的同时, 平台将根据一定的分配原则给用户分配指定停车场, 并通过电子地图(或其他技术手段)引导用户前往。在停车过程中, 存在某些用户因赶时间等多种因素为节省时间成本选择就近的未共享车位直接停车的情况, 导致其占用私人泊位, 在增加平台的管理成本的同时, 给平台的发展带来了极大的阻力。

1. 问题描述

假设用户从停车场入口驾驶车辆至共享车位点, 并步行相应距离离开停车场, 付出时间成本, 此时用户为规范停车; 用户为节省时间成本或其他原因选择直接在就近泊位, 此时用户为不规范停车。根据机制原理, 共享平台可采取奖励和惩罚两种措施规范用户停车行为。由于平台采取的电子地图(蓝牙识别或其他技术手段)具有识别误差率, 存在四种识别状态: 规范停车且识别正确; 规范停车但识别错误; 不规范停车并识别正确; 不规范停车但识别错误。

因此, 用户考虑自利益和停车时间成本过高对违规停车行为进行有理性选择与平台通过奖励或惩罚手段对用户的行为进行反馈的关系形成博弈过程。

2. 符号说明

F ——用户停车的时间成本;

k_i ——平台对停车场泊位的拥有率;

α ——停车场的共享泊位使用率;

C ——企业对于不规范停车需要付出的管理成本及企业信誉成本;

x ——被识别为规范停车时的优惠券金额;

φ ——奖励因子($0 < \varphi < 1$)

y ——被识别对不规范停车时所处罚金额;

λ ——惩罚因子;

γ ——平台正确识别停车状态的概率;

θ ——用户选择规范停车的概率。

二、博弈过程分析

1. 用户正确停车的时间成本函数

用户在停车场寻找指定停车位的时间与平台对 P_i 车位的拥有率 k_i 相关, 同时也与当时车位的剩余情况相关, 当停车场中泊位的使用率越高, 用户找寻剩余车位的时间成本也会越高, 则用户规范停车的时间成本为

$$F(\alpha) = \frac{\left(\frac{d}{v_1} + \frac{d}{v_2}\right) \times f(1 + \alpha)}{k_i} \quad (1)$$

选取重庆市某居住区停车场进行计算。图1为停车场平面图, 该停车场 $d=a+b$ 。式中, f 选取2021年重庆市居民单位时间收入26.8元/h^[8]; v_1 为停车场内驾驶平均速度, 取5km/h; v_2 为步行平均速度, 取4km/h^[9]; d 为到停车场每个车位的平均距离, 此时 $a=18\text{m}$, $b=30\text{m}$ 。

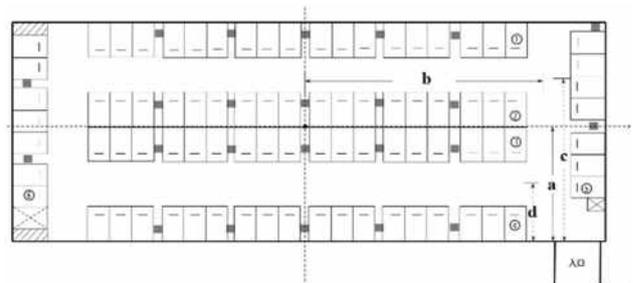


图1 停车场示意图

2. 奖惩激励因子

奖惩激励机制为一种反馈机制^[10], 若用户能够按照机制设计目的采取诚信行为(规范停车), 则将通过增加其收入来适当提高用户选择规范停车的预期总回报收益幅度, 即设定奖励因子, 以发放优惠券的形式来激励用户规范停车; 如果用户选择不规范停车的行为, 则视情况加以惩罚来约束其不规范行为, 即设定惩罚因子, 以罚金的形式约束用户停车行为。

(1) 奖励因子

基于效用理论^[11], 指消费者在消费商品时所感受到的满意程度, 即消费者的一种主观心理评价。对于初期使用平台的用户, 需要更多考虑平台的安全风险、支付风险及使用频率等, 其预期的市场价格较低, 需更高奖励因子留存; 而对于长期使用的用户, 其预期的市场价格较为稳定, 可适当降低奖励因子提高平台收益。奖励因子与用户效用 W_1 的函数关系为

$$W_1(\varphi, \alpha) = \varphi x - F(\alpha), \quad \varphi \leq 1 \quad (2)$$

(2) 惩罚因子

展望理论^[12]发现, 在同等大小的损失和收益之间,

人们更讨厌损失，即损失规避。损失规避在效用函数曲线上表示为损失一定财富的效用函数曲线比获得相同财富的效用函数曲线要陡峭。在惩罚机制中，用户若错判为不规范停车，从用户角度支付的罚金要大于罚金本身价值，因此其惩罚因子 λ 往往是大于1的，则惩罚因子与用户效用的函数关系为

$$W_2(\lambda, \alpha) = -\lambda y - F(\alpha), \lambda > 1 \quad (3)$$

三、奖励机制下的停车博弈模型

1. 模型建立及求解

在用户选择共享平台使用共享泊位的过程中，以用户与平台作为博弈双方，建立混合策略博弈奖励模型。用户规范停车的概率为 $\theta(\theta \in [0,1])$ ，平台识别正确率为 γ ，得到如下博弈收益矩阵：

表1 奖励机制下博弈收益矩阵

	平台	识别正确 (γ)	识别错误 ($1-\gamma$)
用户			
规范停车 (θ)		$(\varphi x - F, -\varphi x)$	$(-F, 0)$
不规范停车 ($1-\theta$)		$(0, -C)$	$(\varphi x, -\varphi x - C)$

忽略影响用户选择的其他因素，当用户选择规范停车 ($\theta=1$) 时，期望收益为：

$$E_A(1, \gamma) = \gamma(\varphi x - F) + (1-\gamma)(-F) \quad (4)$$

当用户选择不规范停车 ($\theta=0$) 时，期望收益为：

$$E_A(0, \gamma) = 0 \cdot \gamma + \varphi x(1-\gamma) \quad (5)$$

$$\text{又 } E_A(1, \gamma) = E_A(0, \gamma) \quad (6)$$

$$\text{得 } \gamma^* = \frac{\varphi x + F}{2\varphi x} \quad (7)$$

当平台识别正确率大于 $\frac{\varphi x + F}{2\varphi x}$ 时，用户选择规范停车更佳；平台正确识别率小于 $\frac{\varphi x + F}{2\varphi x}$ 时，用户选择不规范停车收益更佳。而平台的期望收益：

$$E_B = (\gamma + \theta - 1 - 2\theta\gamma)\varphi x + \theta C - C \quad (8)$$

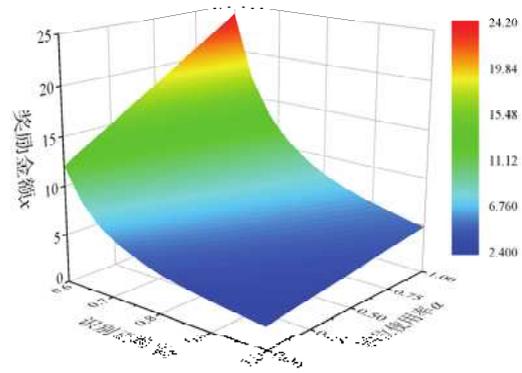
$\theta=0$ 时，平台选择 $\gamma(\gamma \in [0,1])$ 最大值的情况收益最佳； $\theta=1$ 时，选择 $\gamma(\gamma \in [0,1])$ 最小值的情况收益最佳。

博弈双方期望收益取交集可知， $\theta^* = 0, \gamma^* = \frac{\varphi x + F}{2\varphi x}$ 时，

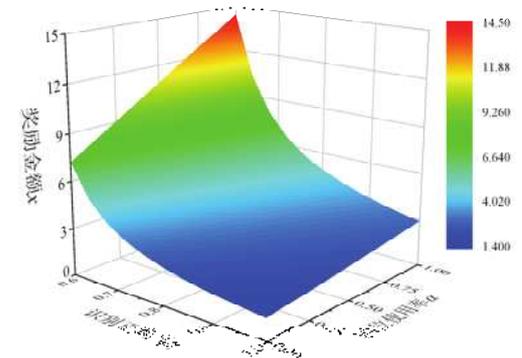
博弈有唯一的纳什均衡，即当平台以 $\frac{\varphi x + F}{2\varphi x}$ 的正确识别率运行时，用户选择不规范停车得到双方受益最佳值，与期望结果相悖，因此需采取策略引导用户规范停车。

2. 奖励机制下的策略分析

由于平台发展初期若采取罚金措施容易流失客户，于是取 $k_i = 0.4$ 时，选取两个不同阶段下的奖励因子 $\varphi = 0.6$ 、 $\varphi = 1$ ，此时奖励机制下的均衡解如图2所示：



(a) $k_i = 0.4, \varphi = 0.6$



(b) $k_i = 0.4, \varphi = 1$

图2 奖励机制下的均衡解图

博弈均衡解为用户选择不规范停车，由于 γ 一定时间内保持不变，为引导用户规范停车，平台应根据泊位使用率 α 的动态变化设定奖金 x 使 $2\gamma\varphi x - \varphi x - \frac{0.579(1+\alpha)}{k_i} > 0$ ，即图2中曲面上方空间。

奖励机制下，当使用率 α 一定时，奖金 x 随着识别率 γ 的增长而增长；当识别正确率 γ 一定时，奖金 x 随着使用率 α 的增长而增长，且在识别正确率 γ 越低时，增长的趋势越明显。平台可通过提高识别正确率的方式，在保证用户规范停车的同时保障平台利益。

四、惩罚机制下的用户停车模型

1. 模型建立及求解

同理建立混合策略博弈惩罚模型，得到如下博弈收益矩阵：

表2 惩罚机制下博弈支付矩阵

	平台	识别正确 (γ)	识别错误 ($1-\gamma$)
用户			
规范停车 (θ)		$(-F, 0)$	$(-F - \lambda y, y)$
不规范停车 ($1-\theta$)		$(-y, y - C)$	$(0, -C)$

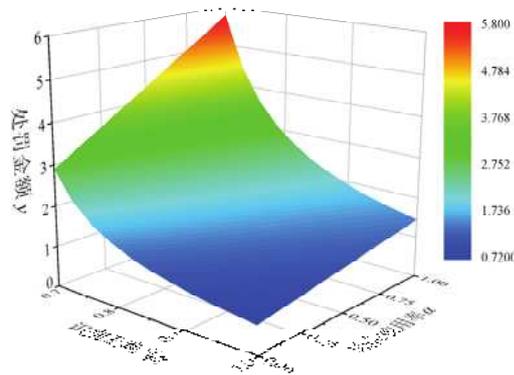
同理，当 γ 大于 $\frac{F + \lambda y}{y + \lambda y}$ 时，用户规范停车； γ 小于 $\frac{F + \lambda y}{y + \lambda y}$ 时，用户选择不规范停车。平台收益为：

$$E_B = -2\gamma\theta y + \theta y + \gamma y + \theta C - C \quad (9)$$

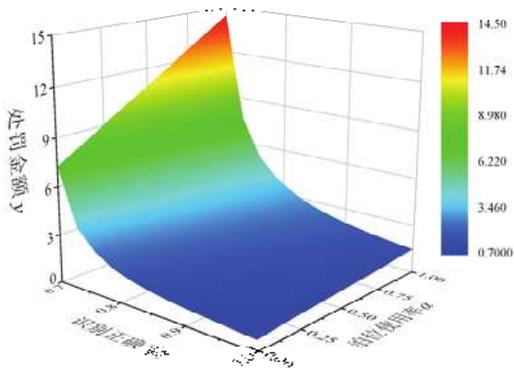
同理, 此博弈有唯一的纳什均衡解。

2. 惩罚机制下的策略分析

取 $k_i = 0.8$ 时, 选取惩罚因子 $\lambda = 1.5$, $\lambda = 2$, 此时博弈均衡解如图3所示:



(a) $k_i = 0.8, \lambda = 1.5$



(b) $k_i = 0.8, \lambda = 2$

图3 惩罚机制下的均衡解图

同理, 根据泊位使用率 α 的变化设定罚金 y 使

$$\gamma\lambda y + \gamma y - \lambda y - \frac{0.579(1+\alpha)}{k_i} > 0, \text{ 即图3中曲面上方空间。}$$

在 k_i 一定时, 惩罚因子 λ 越大, 处罚金额越高, 考虑人们规避风险的心理, 平台可通过用户历史违规次数设定惩罚因子, 以更大罚金约束违规次数更多的用户规范停车, 同时平台可通过提升识别正确率降低罚款金额, 提升用户使用率。

五、结论

本文通过对用户使用共享泊位的停车行为进行研究, 把用户与共享平台看作博弈双方, 考虑奖惩机制建立了规范用户停车行为的混合博弈模型。本文的主要结论如下:

(1) 平台可通过奖惩机制对用户共享泊位进行有效管理, 两种机制下优惠/处罚金额的设定均与泊位使用率和识别正确率相关。

(2) 与奖励机制相比, 平台对泊位的拥有率较低时,

采取惩罚机制措施罚金较高, 容易流失客户。

(3) 奖励机制比惩罚机制的适应性更高, 当识别正确率等于或低于 $\frac{\lambda}{1-\lambda}$ 时, 惩罚机制失效。

参考文献:

[1]Wang A, Guan H, Qin Z, Zhu J. Study on the Intention of Private Parking Space Owners of Different Levels of Cities to Participate in Shared Parking in China[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2021,2021:9955686.

[2]Shao C, Yang H, Zhang Y, Ke J. A simple reservation and allocation model of shared parking lots[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016,71:303-312.

[3]Wang S, Li Z, Xie N. A reservation and allocation model for shared-parking addressing the uncertainty in drivers' arrival/departure time[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2022,135:103484.

[4]姚恩建, 张正超, 张嘉霖, 薛飞, 罗焯堃. 居住区共享泊位资源优化配置模型及算法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17(02): 160-167.

[5]段满珍, 杨兆升, 张林, 于德新. 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(04): 106-112+117.

[6]高良鹏, 季彦婕, 汤斗南, 张水潮. 弹性停车激励机制下驾车者竞价行为演化机理研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20(04): 1-6.

[7]牟振华, 汪寒冰, 林本江, 陈逸群, 金程程, 陈艳艳. 基于演化博弈的违章停车动态罚金策略效用仿真评价[J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(01): 152-162.

[8]《重庆统计年鉴—2021》编辑委员会 《重庆统计年鉴—2021》编辑委员会.5.

[9]丁剑. 基于优势出行距离的方式分担率模型及软件实现[D]. 东南大学, 2017.

[10]赵斌, 肖创柏, 张问银, 古雪. 基于博弈理论的访问控制奖惩激励约束机制[J]. 电子与信息学报, 2019, 41(04): 1002-1009.

[11]王哲哲, 许梦国, 王平, 程爱平, 赵文斌, 陈郑亮. 基于多属性效用理论的巷道支护优化[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(19): 64-69.

[12]陈斐, 邓玉林, 达庆利. 基于展望理论的知识型员工激励机制[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2012, 42(05): 1016-1020.