

文章编号:1007-5429(2015)04-0080-06

基于动态价格激励机制的租赁车辆配置研究

王 喆, 苗 瑞, 顾希垚, 宋婷婷, 张 洁, 江志斌

(上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海)

摘要: 有效的租赁车辆配置能够帮助汽车租赁企业平衡顾客需求与车辆供给, 基于动态价格激励机制, 在顾客需求服从非齐次泊松过程的条件下, 构建了具有滚动周期优化特征的动态随机模型, 能够实现租赁车辆长期配置, 并用算例验证了动态价格激励机制模型的可行性与有效性, 结果表明模型可以帮助企业向顾客提供实时动态的价格激励决策, 完成租赁车辆的有效配置, 提高租赁车辆利用率的同时提升顾客的满意度。

关键词: 车辆配置; 价格激励机制; 供需平衡; 仿真分析

中图分类号: C931

文献标识码: A

The Research of Rental Fleet Deployment Based on the Dynamic Price Incentives

WANG Zhe, MIAO Rui, GU Xi-yao, SONG Ting-ting, ZHANG Jie, JIANG Zhi-bin

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The paper studies the rental fleet deployment problem which companies to make effective trade-off between customer demand and the supply of fleet to obtain the maximum benefit. Dynamic price incentives, customer demand obedience in the non-homogeneous Poisson process, build the corresponding dynamic stochastic model, which features a rolling horizon optimization, to achieve long-term fleet deployment. Numerical examples show the feasibility and effectiveness of dynamic pricing incentive model, the results show that the model can help businesses to provide customers with real-time dynamic pricing decisions incentive to complete the efficient allocation of rental vehicles, rental vehicles in improving utilization while improving customer satisfaction.

Key words: fleet deployment; dynamic price incentives; supply and demand balance; Monte Carlo

1 引言

汽车租赁行业作为中国新兴的交通运输服务业, 是满足大众个性化出行、商务活动需求以及保障重大社会活动的重要交通方式。近年来中国汽车租赁行业正进入一个高速发展的阶段, 预计到2015年, 中国汽车租赁市场的租赁车辆年需求将达到30

万至50万辆, 营业收入约400亿元^[1]。汽车租赁网络内的租赁站点存在空间距离与需求波动, 顾客租车存在异地还车与租期长短, 会导致租赁网络内车辆供给与需求的失衡, 供需失衡影响企业的服务水平, 也降低了车辆的利用率, 阻碍了汽车租赁企业的长期平稳运营与持续发展。因此通过有效机制与方法对汽车租赁网络内各租赁站点间的租赁车辆进行

收稿日期: 2014-12-20; 修回日期: 2015-02-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51435009); 上海大学生创新活动计划资助项目(IAP7031)

作者简介: 王喆(1990-), 辽宁昌图人, 硕士研究生, 主要研究方向为汽车租赁网络化, E-mail: wangzhe10086@126.com。

苗瑞(联系人), 副教授, 博士, E-mail: miaorui@sjtu.edu.cn。

有效配置,是实现汽车租赁网络的供需平衡的关键^[2]。Yang等^[3]总结了近年来研究车辆配置规划问题的相关文献;Julian等^[4-6]以租赁需求和站点库存的匹配作为目标建立了优化模型,将其分解为车辆配置和车辆运转两个阶段求解,并从供给不足与过剩、站点服务水平、租赁价格变动等3个方面对模型进行了扩展研究;Fink等^[7]提出基于一周滚动周期处理问题的建模思路,建立了基于时空网络的最小费用流优化模型;Pachon等^[8,9]构建了期望模型求解车队战术规划问题,通过将模型分解为两个子模型进行求解;Li等^[10]采用动态规划思想,考虑单一车型单程租赁优于往返租赁的条件下,对两个站点之间的车辆调配和车队规模规划问题进行了研究。M. Dror等^[11]解决了自营区域电动汽车配置问题。这是该研究领域解决车辆配置问题的主要方法,但伴随的汽车租赁业服务网点的高速扩张与车队规模增大,通过传统的专业运输车来实现待租车辆的调度使租赁企业的运输成本显著增加,从定价策略、收益管理角度优化租赁系统实现车辆配置成为近年来的研究热点,T. Raviv等^[12]探讨了车队管理和需求预测之间的关系,以及定价系统、车辆信息系统、预约系统之间的协调平衡;陈旭等^[13]对单租赁站的车辆配置与租赁价格进行研究,探求二者之间的定量和定性关系;A. Kek等^[14]为解决租赁车辆配置问题建立了决策支持系统,但没有实现长期动态决策。已有研究是将各租赁站点需求假定为静态需求,与实际运营中顾客需求的随机性不符;且没有实现长期车辆配置,不利于租赁企业的持续发展。

本文提出基于动态价格激励机制解决租赁车辆配置问题,考虑顾客需求的随机特性实现租赁网络的长期供需平衡。动态价格激励机制简述如下:设原前往租赁站点借车还车的顾客满足非齐次泊松过程,在顾客还车时段,汽车租赁商通过客户信息终端设备向顾客提供实时动态的激励价格来引导并鼓励顾客改变他们还车的站点,使顾客在还车时避免将车辆还到库存水平过高的租赁站点,而交付至库存水平较低的站点,实现租赁网络内的车辆配置。依据该机制,构建一个基于周期滚动优化的动态随机模型来描述租赁系统状态的变化,根据租赁系统内各站点的状态来引导顾客还车的站点及价格激励水平。通过权衡租赁系统运营成本与支付激励费用所产生的成本,追求汽车租赁系统整体收益最大化。

本文结构如下:第2.1节对模型参数进行描述,第2.2节对动态价格激励机制进行数学建模,并分

别构建了租赁站点最优库存子模型、顾客决策子模型;第3节是算例分析;第4节是全文的总结。

2 模型构建

2.1 模型参数

在租赁系统模型中,定义集合 S 包含所有的租赁站点 $s \in S$ 。租赁企业运营周期为 T ,通过将 T 离散化分割为 K 个片段,设顾客在站点 i 借车满足系数为 $\lambda_i(t)$ 的非齐次泊松过程,在站点 i 还车满足系数为 $\mu_i(t)$ 的非齐次泊松过程; $M_s(t)$ 表示站点 s 从时刻 t 到 $t+1$ 时间段前往站点 s 租赁汽车的顾客数量, $N_s(t)$ 表示站点 s 从时刻 t 到时刻 $t+1$ 时间段前往站点 s 还送汽车的顾客数量; $I_s(t)$ 为租赁站点 s 的最优库存水平; $p_{s,n}$ 为还车站点由 s 改变为 n 的激励价格; P_{max} 为最大激励价格; $d_{s,n}$ 为实际站点 s 与站点 n 的空间距离; n^* 为顾客最优还车站点; α 为顾客距离感知系数; N 为租赁网络站点集合; \bar{N}_s 为租赁站点 s 的邻域集合;

设在各个时段内租赁顾客能够实时地获取不同租赁站点的激励价格信息,例如可通过租赁汽车内的客户端或是租赁商开发的移动手机应用软件实现信息查询,当顾客即将还车时,顾客可以查询客户端上租赁商提供的实时激励信息来进行决策,选取顾客获取感知价值最大的站点进行还车。

2.2 动态价格激励机制模型

设 $p_s^n(t), s \in S, n \in S, t \in T$ 为 t 至 $t+1$ 时间段内,租赁商提供给顾客将车辆从原拟定还车站点 s 改变为站点 n 的激励价格, $p_s^n(0)$ 为当前时间段的激励价格, $p_s^n(1), \dots, p_s^n(T-1)$ 为周期内的价格序列。在 t 时刻的租赁站点库存水平可以使用状态变量 $x(t) \in R^{|S|}$ 来表示, $x(t)$ 的变化与顾客租车的数量 $M(t)$,顾客还车数量 $N(t)$,以及由于接受激励价格而改变还车地点的顾客数量 $r[M(t), p(t)]$ 有关, $r[M(t), p(t)]$ 满足式(1)~式(3):

$$x(t+1) = x(t) + N(t) - M(t) + r[M(t), p(t)] \quad (1)$$

$$r_s[M(t), p(t)] = \sum_{\bar{n} \in \bar{N}_s} \pi(\bar{n}, s, p_{\bar{n}}^s(t)) M_{\bar{n}}(t) - \sum_{n \in N_s} \pi(s, n, p_s^n(t)) M_s(t) \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} r_s[M(t), p(t)] = 0 \quad (3)$$

式(1)表示租赁站点库存水平状态 $x(t)$ 的变化与顾客租车的数量 $M(t)$,顾客还车数量 $N(t)$ 以及 r

$[M(t), p(t)]$ 有关; 式(2)中 $r_s[M(t), p(t)]$ 等于将租赁车辆由原拟定还车站点 \bar{n} 改变为站点 s 的顾客数量与由原拟定还车站点 s 改变为站点 n 的顾客数量之差; 式(3)表示租赁网络内车辆总数量为常量; 由式(1)~式(3)状态变量关系式, 结合模型目标函数与约束条件, 动态价格激励的机制模型可以描述为

$$\min_{p(t)} \left[\sum_{t=1}^T \delta(t)^T Q(t) \delta(t) + \sum_{t=0}^{T-1} p(t)^T R(t) p(t) \right] \quad (4)$$

s. t

$$\delta(t) = |f_s(t) - I_s(t)|, \forall s \in S, \forall t \in T \quad (5)$$

$$f_s(t+1) = f_s(t) + \eta_p(t) + \sum_{\bar{s} \in N_s} \pi_{s,\bar{s}}^T p_{\bar{s}}^-(t)$$

$$M_s^-(t) - \sum_{n \in N_s} \pi_{s,n}^T p_s(t) M_s(t), \quad \forall s \in S, \forall t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{n \in N_s} \pi_{s,n}^T p_s(t) \leq 1, \forall s \in S, \forall t \in T \quad (7)$$

$$0 \leq p_s^n(t) \leq p_{\max}, \forall s, n \in S, \forall t \in T \quad (8)$$

目标函数(4)为由于租赁系统失衡而形成的损失成本与企业用于改善系统失衡而支付的激励费用之和最小化; 式(5)表示当前时刻实际库存水平与最优库存水平之差的绝对值, 反映的是租赁站点失衡程度; 约束(6)表示下一时刻库存水平与当前时间库存水平变化关系; 约束(7)表示顾客选择接受租赁系统各站点价格激励概率之和不大于一; 约束(8)表示租赁企业支付的激励价格不大于最大激励价格 p_{\max} 。

在约束条件中式(5)中, $I_s(t)$ 的计算, 以及式(6)中 $\sum_{n \in N_s} \pi_{s,n}^T p_s(t)$ 、 $\sum_{\bar{s} \in N_s} \pi_{s,\bar{s}}^T p_{\bar{s}}^-(t) M_s^-(t)$ 的计算需分别调用 2.2.1 与 2.2.2 小节中子模型及算法进行求解, 2.2.1 小节中的租赁站点最优库存子模型用于得到租赁网络内各租赁站点各时段的最优库存, 以确定租赁站点的供需状态, 反应租赁站点的失衡程度; 2.2.2 小节中的顾客决策子模型则是在各站点供需状态确定的前提下, 反映激励价格机制对顾客群体的影响, 即在何种激励价格水平下, 顾客会接受租赁企业的价格激励, 改变原拟定还车站点选择企业建议的还车站点进行还车。

2.2.1 租赁站点最优库存子模型

汽车租赁站点库存水平是指当前时刻该站点所拥有的车辆数量, 下面提出站点库存水平在周期内

的变化函数。根据 2.1 小节的设, 顾客前往站点 s 借车满足系数为 $\lambda_s(t)$ 的非齐次泊松过程, 在站点 i 还车满足系数为 $\mu_s(t)$ 的非齐次泊松过程, 并且以 T 为一个运营周期, 使用 $M_s(t)$ 来表示站点 s 从时刻 t 到 $t+1$ 时间段前往站点 s 租赁汽车的顾客数量, $t = t_1, t_2, \dots, t_T$, 其中 t 至 $t+1$ 时间段的期望值为 $E[M_s(t)] = \Lambda(t+1) - \Lambda(t) = \int_t^{t+1} \lambda_s(t) dt$; 使用 $N_s(t)$ 表示站点 s 从时刻 t 到时刻 $t+1$ 时间段前往站点 s 还汽车的顾客数量, 其中期望值为 $E[N_s(t)] = \Lambda'(t+1) - \Lambda'(t) = \int_t^{t+1} \mu_s(t) dt$; 所以 $M_s(t)$ 与 $N_s(t)$ 都是随机变量, 并使用 $\eta_s(t) = N_s(t) - M_s(t)$ 表示站点 s 在时间段 t 至 $t+1$ 的库存变化量。对于一个给定的站点 s 和初始时间 t_1 , 可以计算在周期范围内该站点的未来任意时刻库存水平, $f_s^t, s \in S, t = t_1, \dots, t_T$ 周期内任意时刻的库存水平可以由下面的随机动态公式计算得出:

$$f_{t+1}^s = \max(0, (f_t^s + \eta_p(t))) \quad (9)$$

其中 \max 函数表示站点的库存水平不会小于 0, 式(9)表示顾客从租赁站点借车或是向站点还车会影响一个站点未来的库存, 而通过一定机制与方法的车辆调配使租赁网络内的各站点的库存达到一个较为合理的水平, 即使租赁系统具有较高服务水平, 同时保证租赁网络内车队车辆具有较高的利用率; 由此提出租赁站点的最优库存水平的概念: 为了满足到达汽车租赁站的顾客能够成功租赁车辆, 保障服务水平, 同时兼顾车辆的利用率, 设租赁站点在一个时段内的库存能够满足至少 95% 顾客的租赁需求即为最优库存水平, 即满足系数为 $\lambda_i(t)$ 的非齐次泊松过程在 t 至 $t+1$ 时段到达顾客数量不大于最优库存 $I_s(t)$ 的概率为 $\alpha, \alpha = 95\%$ 。为简化计算 $I_s(t)$, 同时利用 $\lambda_i(t)$ 的值较大的特点, 可以将泊松分布近似表示为正态分布, 该正态分布具有与原泊松分布相同的均值及标准差, 即 $u = \int_t^{t+1} \lambda_s(t) dt, \sigma = \sqrt{\int_t^{t+1} \lambda_s(t) dt}$ 。利用这个近似可以得到最优库存水平的计算公式: $F[I_s(t)] = P\{M_s(t) \leq I_s(t)\} = \Phi(\frac{I_s(t) - u}{\sigma}) = \alpha$, 因此站点 s 在 t 至 $t+1$ 时间段的最优库存水平为式(10):

$$I_s(t) = u + \sigma \Phi^{-1}(\alpha) = \int_t^{t+1} \lambda_s(t) dt + \sqrt{\int_t^{t+1} \lambda_s(t) dt} \Phi^{-1}(\alpha) \quad (10)$$

2.2.2 顾客决策子模型

本小节通过建立顾客决策模型来反映激励价格

机制对顾客群体的影响,即在何种激励价格水平下,顾客会接受租赁商提供的价格激励改变原拟定还车站点。设所有的顾客将会对由于改变还车地点而产生的附加距离、时间成本和租赁商所提供的激励费用进行综合权衡,追求顾客的感知收益最大化,同时假设顾客的行为是理性的并且在做出选择的时候独立于初始租赁价格。顾客的原拟定还车站点为 $s, s \in S$ 。租赁商通过对 s 领域站点集合 N_s 提供 N_s 个激励,使用 $p_{s,n}$ 表示顾客还车地点由 s 更换为 n 的激励价格。用 \bar{N}_s 表示包含原拟定还车站点 s 的集合。

顾客如果选择改变还车站点需要满足式(11);其中 $p_{s,n}$ 为激励价格, $d_{s,n}$ 为实际站点 s 与站点 n 的空间距离, α 为顾客距离感知系数,不同的顾客有不同的感知系数,感知系数与顾客的时间成本、个人经济情况有关,并设 α 为服从正态分布的随机变量。在满足式(11)条件的基础上,顾客筛选出一系列待选还车点,并从中选择顾客收益最大的站点,即满足 $n^* = \arg \max_{n \in \bar{N}_s} (p_{s,n}/d_{s,n})$ (12),其中, n^* 为顾客最优还车站点。因此得到在激励价格为 $p_{s,n}$ 的情况下,结合式(11)与式(12),顾客接受激励价格将原拟定还车站点 s 更换为其他还车站点 n 的概率为 $\pi(s, n, p)$,即得到顾客的决策模型,如(13)式。

$$\pi(s, n, p) = P\{ (p_{s,n} \geq c * d_{s,n}) \wedge [(p_{s,n} - c * d_{s,n}) \geq (p_{s,n'} - c * d_{s,n'})], \forall n' \in \bar{N}_s \} \quad (13)$$

上述顾客决策模型为非线性模型,随着 \bar{N}_s 规模的增加,求解难度也显著增加,用最小二乘拟合算法将非线性模型转化为线性模型,算法如表1所示。

表1 线性化顾客决策模型算法

算法输入: $s \in S$ (从选择汽车租赁网络内选择一个汽车租赁站点)	
算法步骤: step1: N	// 站点 s 的最近邻域数量
step2: p_{\max}	// 最大激励价格
step 3: $P > 0$	// 随机激励价格向量的样本数量
step 4: $C > 0$	// 每一个激励价格向量的顾客样本数量
step 5: Ω	// 样本集合, 每个样本包含两个向量
step 6: for $i = 1$ to P do	
step 7: $p \leftarrow p_{\max} * \text{rand}(N) \in [0, p_{\max}]^N$	
	// 随机产生 N 个邻域激励
step 8: $e \leftarrow \{0\}^N$	// 顾客接收价格激励的数目
step 9: for $c = 1$ to C do	
step 10: $a \leftarrow \text{customer_behavior}(p_i)$	
step 11: $e_a \leftarrow e_a + 1$	
step 12: end for	
step 13: $\delta \leftarrow e/C$	// 接收一个确定的激励价格的顾客数量
step 14: $\Omega(i) \leftarrow (p, \delta)$	
step 15: end for	
step 16: $\bar{\pi}_j^* \leftarrow (\arg \min_{i \in \{1, \dots, P\}} (\pi^T \Omega(i)_p - \Omega(i)_{\delta, j})^2)^T$	

将租赁站点 s 的邻域集合 \bar{N}_s 使用租赁网络站点集合 N 代替,减少搜索邻域集的复杂度,在算法

中通过随机产生激励价格的样本,以及使用最小二乘拟合方法来观察顾客的行为决策,最终得到决策线性模型。算法中所示的每一个 $\bar{\pi}_{s,n}, s \in S, n \in N$ 都是 n 维向量,通过将 $\bar{\pi}_{s,n}$ 与 p_s 相乘得到顾客行为决策的线性模型 $\pi(s, n, p_s)$,即该顾客拒绝将租赁汽车还至站点 s 而接受激励将车还至 n 站点。

3 算例

某汽车租赁企业的一个联营区内共有6个站点,现以一周为滚动运营周期 T ,通过将 T 离散化分割为14个片段 $k \in K$,每天8:00至18:00为租赁站点开放时间,即每天分为两个片段,包含5个小时。寻求借车还车顾客满足非齐次泊松过程条件下的价格激励机制。站点间的空间距离如表2。

表2 租赁站点空间相对距离表(km)

租赁站点	a	b	c	d	e	f
A	0	5.8	7.4	7.8	7.1	6.9
B		0	7.1	8.3	9.2	7.6
c			0	8.2	9.7	9.3
d				0	8.4	9.8
e					0	8.8
f						0

当各个站点的顾客借车还车分布满足非齐次泊松需求时,首先使用蒙特卡洛模拟进行求解,得到各站点最优库存水平,如表3。并使用MATLAB软件MPC算法求解动态价格激励机制模型,最终得到 $t=0$ 时刻的租赁系统激励价格矩阵,在下一时刻循环滚动求解,向顾客提供实时动态的激励价格,如表4。

表3 $t=0$ 时刻蒙特卡洛模拟后的租赁站点最优库存水平及初始库存(单位:辆)

租赁站点	a	b	c	d	e	f
最优库存	31	22	26	50	24	17
初始库存	37	30	32	36	10	25

表4 $t=0$ 时刻租赁系统激励价格矩阵(单位:元)

租赁站点	a	b	c	d	e	f
a	0	0	6	5	17	0
b	2	0	3	1	10	2
c	0	4	0	0	6	0
d	0	0	2	0	8	0
e	0	0	0	0	0	0
f	3	0	5	7	9	0

注: $P_{\max} = 20, t = 0$,横坐标为原拟定还车地点,纵坐标为引导还车地点,对价格结果进行离散化处理。

上述数值仿真计算给出了激励价格矩阵,证明了方法的可行性;为了证明动态价格激励机制的有

效性,本文将最大激励价格进行提升以做对比,结果如图 1 所示。

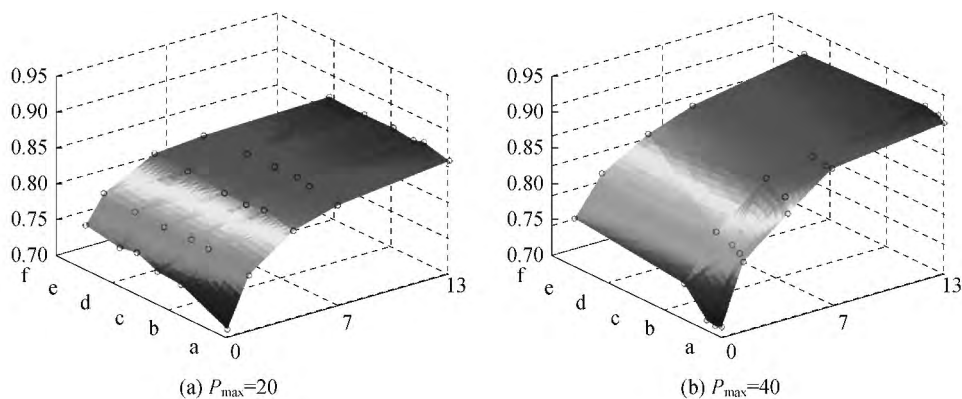


图 1 $P_{\max} = 20$ 与 $P_{\max} = 40$ 条件下租赁系统平衡情况

其中, Z 轴的值代表租赁系统的平衡情况,越接近于 1 代表系统越平衡,当将最大激励价格提升后,系统失衡情况有了明显改善,证明动态价格激励机制对汽车租赁系统失衡现象的有效性。为进一步分析仿真结果,寻求最优 P_{\max} 值,本文共做 9 组试验,结果如图 2、图 3 所示。

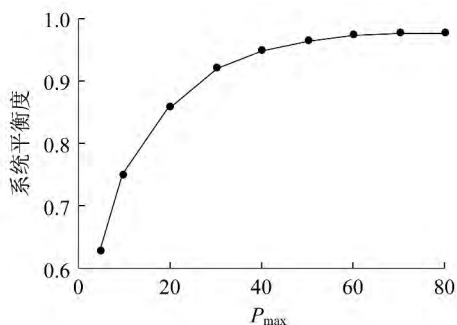


图 2 P_{\max} 与租赁系统平衡情况关系

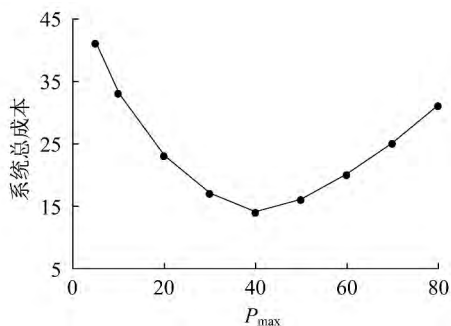


图 3 P_{\max} 与系统总成本关系

图 2 表明了适当提高最大激励价格 P_{\max} 可以很大程度上提升租赁系统平衡度,提高顾客服务水平与车辆利用率,但当 P_{\max} 到达 40 继续提高 P_{\max} 值,系统平衡度没有明显改善,增速放缓。图 3 表明系

统总成本与 P_{\max} 的大小存在明显关联,当 P_{\max} 值过小时,价格激励机制没有达到激励效果,顾客不选择改变还车站点,无法实现车辆有效配置,系统损失成本较高;当 P_{\max} 值过大时,租赁系统的平衡度并没有随着激励增加而大幅增加,而较大的 P_{\max} 值给企业带来过高的激励支付费用,同样使系统总成本过高。综上,在当前模型参数设置下,最大激励价格 $P_{\max} = 40$ 时租赁系统总成本在 9 组试验中最低,并且系统平衡度达到 95%。

4 结论

本文针对汽车租赁企业运营管理中存在的租赁车辆配置问题,提出了基于动态价格激励机制的动态随机模型,模型具有滚动周期优化特征,能够实现租赁车辆长期配置,并采用蒙特卡洛模拟与 MPC 算法对模型进行仿真分析得到以下结论:

(1) 模型通过仿真模拟可以得到动态价格激励矩阵,价格矩阵能够帮助汽车租赁企业向顾客提供实时动态的价格激励决策。

(2) 将最大激励价格由 20 提升至 40,租赁系统的平衡程度由 86% 提升至 95%,大幅降低了租赁企业的运营成本;在此基础上继续进行 9 组试验,试验结果表明了适当提高最大激励价格 P_{\max} 可以大幅提升租赁系统平衡度,但过度提升 P_{\max} 的值并不会明显改善系统平衡度。

(3) 系统总成本与 P_{\max} 的大小存在明显关联,当 P_{\max} 值过小时,价格激励机制没有达到激励效果,顾客不选择改变还车站点,无法实现车辆有效配置,系统损失成本较高;当 P_{\max} 值过大时,租赁系统的平衡度并没有随着激励增加而大幅增加,而较大的

P_{\max} 值给企业带来过高的激励支付费用,使系统总成本过高。综合得出在算例参数条件下,最大激励价格 $P_{\max}=40$ 时租赁系统总成本相对最低,系统平衡度达到 95%,能够满足租赁企业运营管理的需求。

上述结论表明模型与方法可以较好地完成租赁系统内的车辆配置,实现租赁网络供需平衡,为汽车租赁系统车辆配置问题研究提供了理论基础和实践借鉴。

参考文献:

- [1] Research, Development Forecast of China Car Rental Industry, 2013-2017, Rental Market[R], DUBLIN: PR Newswire, 2014.
- [2] Berbeglia G, Cordeau J, Laporte G. Dynamic pickup and delivery problems [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 202(1): 8-15.
- [3] Yang Y Z, Jin W Z, Hao X N. Car rental logistics problem: a review of literature[J]. IEEE, 2008(8): 2815-2819.
- [4] Julian E P. Strategic and Tactical Fleet Planning for the Car Rental Industry[D]. Florida: University of Miami, 2000.
- [5] Julian E P, Eleftherios I, Chi I, et al. A synthesis of tactical fleet planning models for the car rental industry [J]. IIE Transactions, 2003, 35(9): 907-916.
- [6] Julian P, Eleftherios I, Ip C. Vehicle fleet planning in the car rental industry [J]. Journal of Revenue and Pricing Management, 2006, 5(3): 221-236.
- [7] Fink A, Reiners T. Modeling and solving the short-term of rental logistics problem[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2006, 42(4): 272-292.
- [8] Pachon J E, Iakovou E, Ip C. Vehicle fleet planning in the car rental industry [J]. Journal of Revenue and Pricing Management, 2006, 5(3): 221-238.
- [9] Pachon J E, Iakovou E, Ip C, Aboudi R. A synthesis of tactical fleet planning models for the car rental industry [J]. IIE Transactions, 2003, 35(9): 907-916.
- [10] Li Z, Tao F. On Determining optimal fleet size and vehicle transfer policy for a car rental company [J]. Computers & Operations Research, 2010, 37(2): 341-350.
- [11] Dror M, Fortin D, Roucairol C, et al. Redistribution of self-service electric cars: A case of pickup and delivery[J]. INRIA, Tech. Rep, 1998.
- [12] Raviv T, Tzur M, Forma I A. Static repositioning in a bike-sharing system: Models and solution approaches [J]. Tech. Rep, 2012.
- [13] 陈旭. 基于收益管理的汽车出租定价与车辆配置[D]. 系统工程理论方法应用, 2005, 14(3): 264-267.
- [14] Kek A, Cheu R, Meng Q, Fung C. A decision support system for vehicle relocation operations in carsharing systems [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2009, 45(1): 149-158.
- [14] 蔡建湖, 周根贵, 黄卫来. VMI 下的两级供应链库存决策模型研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11, (04): 104-110.
- [15] 吴文祥. VMI 供应链系统的经济效果评价研究[J]. 管理评论, 2003, (06): 55-58.
- [16] Xiao Jing, Liu Ziyu. Formulation on VMI System Integration and Income Sharing Contract[C]. International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 2011.
- [17] 潘会平, 陈荣秋. 供应链合作的利润分配机制研究[J]. 系统工程理论与实践, 2005, (06): 87-93.
- [18] Hidayat Y A, Anna I D, Khrisnadewi A. The Application of Vendor Managed Inventory in the Supply Chain Inventory Model with Probabilistic Demand[C]. Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), IEEE International Conference, 2011.
- [19] 霍艳芳, 邓全, 吴博闻. 考虑缺货成本的 VMI 利益分配[J]. 工业工程, 2014, 17, (02): 118-124.
- [20] 徐文亮, 徐青川, 乔卓. VMI 下的供应链库存系统分析[J]. 物流技术, 2002(11): 18-19.
- [21] 刘鹏飞. 供应商管理库存及其协调研究[D]. 广州: 中南大学, 2006: 26.
- [22] 陈珊. VMI 模式下供应商与制造商利益分配问题[D]. 厦门: 厦门大学, 2014: 19.
- [23] Yu Y G, Chu F, Chen H X. A Stackelberg game and its improvement in a VMI system with a manufacturing vendor [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 192(3): 929-948.
- [24] Felix T S Chan, Chan H K. The Future Trend on System-wide Modelling in Supply Chain Studies[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology (S0268-3768), 2005, 25 (7/8): 820-832.
- [25] 任常锐, 柴跃廷, 刘义. 供需链仿真技术的发展现状与趋势[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2004, 10(2): 121-126.
- [26] 张铁. 壮士断腕也是改革方法论[N]. 人民日报, 2013-09-13(05).

(上接第 79 页)