

# 更新通告对动态理性排队系统的影响研究

俞明好, 戴 韬

东华大学旭日工商管理学院, 上海

收稿日期: 2023年11月26日; 录用日期: 2023年12月26日; 发布日期: 2024年1月3日

## 摘 要

在队列不可见的排队系统中, 决策是否向排队中的顾客实施更新通告以及何时更新通告对企业至关重要。本文建立了一个排队仿真模型来模拟按服务收取统一费用的不可见队列排队系统, 并考虑了多种排队场景, 包括不同的系统负载和不同的企业导向, 以探讨更新通告对系统性能的影响。在对顾客排队行为进行建模时, 本文将顾客理性纳入对顾客离队决策行为的建模中, 并假设顾客理性会发生动态变化, 借鉴量子响应模型来实现对顾客动态理性的建模。同时, 本文考虑了顾客异质性, 为顾客分配不同的初始耐心。本文通过仿真实验获取实验数据, 并对实验数据进行分析, 以为企业提供排队管理建议。实验结果表明, 更新通告仅在部分排队场景中发挥正效应, 有效引导顾客理性动态变化能使更新通告发挥价值。

## 关键词

更新通告, 排队仿真, 顾客动态理性, 排队管理建议

# Research on the Effect of Additional Announcement on Queuing Systems with Dynamic Rationality

Mingyu Yu, Tao Dai

Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai

Received: Nov. 26<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 26<sup>th</sup>, 2023; published: Jan. 3<sup>rd</sup>, 2024

## Abstract

In invisible queuing systems, the decision of whether and when to announce the additional announcement to customers is critical to the company. In this paper, a simulation model is built to simulate an invisible queuing system that charges a uniform fee for services, and multiple queuing scenarios including different system congestion and different company goals are considered to

explore the impact of additional announcements on system performance. In the modelling of customer behavior, we include customer rationality in modeling customers' balking decision behavior, and assumes that customer rationality will change dynamically, drawing on the quantal response model to model dynamic rationality. Meanwhile, we consider customer heterogeneity, assign customers different initial patience. We perform simulation experiments and analyze the experimental data which help us give sound management suggestions. The experimental results show that the additional announcements play a positive effect in some queuing scenarios, and effectively guiding the dynamic rationality can make additional announcements play a value.

## Keywords

Additional Announcement, Queueing Simulation, Dynamic Rationality, Management Suggestions

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

日常生活中, 排队现象普遍存在, 包括可见队列, 不可见队列, 部分可见队列等。很多企业在管理顾客队列时会选择向顾客通告与队列相关的信息, 尤其是在部分可见队列和不可见队列中, 通告现象较为常见。比如, 顾客在排队等待就餐位时会收到餐厅“前面还有几桌”的通告, 在排队等待呼叫中心服务时收到“您当前排在第几位”的通告。

在现实生活中, 可以观察发现, 顾客的排队方式是十分灵活的, 他们可能在到达时因为队列长度而止步不前, 可能在队列中等待超过阈值后因为不耐烦而中途离开, 也可能在接收到通告信息后出于某种权衡而突然离开。因此, 排队顾客有很强的主动性, 在排队论研究中, 顾客应当被视为追求自身效用最大化的决策者, 在排队过程中估计自身的效用并不断权衡利弊。

面对同一个通告信息, 顾客会因为理性程度的偏差在通告时刻以不同的概率做出等待选择。理性程度与顾客对通告信息的信任程度正相关。当这个通告信息指向正顾客效用时, 顾客对通告信息越信任, 顾客会更愿意等待; 而当这个通告信息指向负顾客效用时, 顾客越信任, 越有可能离开队列。此外, 顾客的理性程度可能会在排队过程中发生变化。量子响应模型可以用于对不同理性顾客和动态理性顾客进行建模。

综上所述, 融合顾客的行为心理学, 合理搭建顾客行为模型, 借助仿真工具研究实施更新通告对动态理性顾客在多种排队场景下的系统绩效的影响, 对企业制定通告策略或优化改进通告策略具有重要的参考价值。仿真方法论对指导企业优化排队决策具有重要的应用价值。

## 2. 文献综述

### 2.1. 顾客有界理性行为建模概述

人类决策者的比较判断是不一致的, 也就是说, 他们对同一对刺激会做出不同的判断(见, Thurstone (2017) [1])。由于判断的不一致性, Luce (2012) [2]证明决策者的选择行为通常是概率性的, 以正概率选择每个选项。Simon (1955, 1957) [3] [4]是第一个将概率选择行为引入经济学和管理学的学者, 他将顾客视为具有“有界理性”的概率决策人[5] [6]。在这之后, 许多学者(如 Canyakmaz 和 Boyacı (2023) [7])在他们的研究中考虑了概率选择行为, 量子响应模型被用来为概率选择行为建模, 通常应用于对有界理性

顾客的建模(见, McKelvey 和 Palfrey (1995) [8], Chen 等人(1997) [9])。

Ren 和 Huang (2018) [10]在他们的综述文献中整体概括了量子响应模型: 一个有界理性人估计采取某个行动的报酬为  $v + \varepsilon$ , 其中  $v$  表示采取该行动实际将产生的报酬,  $\varepsilon$  表示零均值的随机估计误差, 即有界理性人估计的报酬相较实际报酬会出现一个均值为 0 的随机偏移, 并最终以概率  $P = e^{(v/\theta)} / (1 + e^{(v/\theta)})$  采取这个行动, 其中,  $\theta$  能反映出  $\varepsilon$  的标准偏差  $\sigma (\sigma = \pi\theta/\sqrt{3})$ 。概率  $P$  函数显示,  $\theta$  能象征顾客的有界理性水平, 它能衡量顾客决策受报酬影响的敏感度。 $\theta$  越大, 敏感度越小, 即理性水平越是有有限, 该顾客对报酬变化的反应越小。对量子响应模型更系统的阐述和处理可以参考 Luce (2012) [2], McFadden (1973) [11], Anderson 等人(1992) [12]。

着眼于量子响应模型在近几年的应用, Huang 等人(2013) [13]将量子响应模型引入排队环境, 并研究了受制于有界理性的顾客不同的概率选择行为对系统性能的影响。Li 等人(2016) [14]扩展了 Huang 等人(2013) [13]的工作, 研究在顾客概率选择行为的前提下两个竞争性服务器的定价和服务费率决策。

## 2.2. 更新通告的影响机制

信息越多并不总是越好。虽然提供信息的价值通常依赖于排队具体场景, 但一个普遍的原则是提供更多的信息不一定总能提高绩效, 甚至可能是有害的。

大多数将顾客建模为效用最大化和前瞻性决策者的文献都关注通告信息的抑制程度。在 Chen 和 Frank (2004) [15]的论文中提到, 当顾客到达率低时, 可见队列的有效入队率比不可见队列的小, 而当顾客到达率高时则相反, 这意味着如果系统不拥挤, 信息抑制会带来好处。这推翻了 Hassin (1986) [16]提出的标准观点, 即社会福利总是通过揭示队列而得到提升。他们提出的观点是, 不知情客户的存在提高了低负载下的吞吐量, 并增加了高负载下的社会福利。Hu 等人(2018) [17]建立了一个系统模型, 其中知情顾客的比例是外生的, 在该系统中, 知情的顾客按照可见队列的阈值加入策略做出是否入队的决策, 不知情顾客更随机地做出是否入队的决策。作者证明, 在负载不是很低的情况下, 只告知一部分顾客延迟信息会增加吞吐量和社会福利, 信息抑制的性能取决于系统负荷的高低和不知情顾客的决策行为。

通告信息的频率与通告信息的抑制程度密切相关, 并影响到顾客的决策行为, 这是更新通告发挥作用的根本机制。除此以外, 更新通告也将影响通告信息的准确度。

## 3. 动态理性顾客建模

### 3.1. 决策行为建模

前瞻性顾客在收到通告时必须做出继续等待或离队的决定。前瞻性顾客在每次决策时都会忽略过去发生的等待情况, 他继续等待的预期顾客效用为:

$$u_{wait} = R - p - C * W \quad (1)$$

其中  $R > 0$  是用货币衡量后的服务回报,  $p > 0$  是服务价格,  $C > 0$  是在队列中等待的每单位时间的平均等待成本, 以及  $W$  是他/她在接受服务前需要等待的预期延迟时间。前瞻性使他/她离开系统的预期顾客效用为  $u_{leave} = 0$ 。顾客的单位时间等待成本  $C$  由顾客耐心  $\theta$  内生, 是一个与顾客耐心  $\theta$  负相关的参数, 即  $C = (R - p) / \theta$ 。

有界理性顾客对通告信息有自己的判断, 他们自身估计的在被服务前的预期等待时间  $W$  会与通告的延迟时间  $delay$  有一定偏差, 偏差程度取决于理性指数  $r$ 。顾客将基于自身估计的  $W$  来计算预期等待效用。

为了模拟这种主观等待时间估算, 引入随机误差项  $\varepsilon$ 。在收到通告时刻, 顾客估计的预期等待效用:

$$u_{wait} = R - p - C * W = R - p - C * (delay + \varepsilon) \quad (2)$$

而顾客估计的预期离开效用依然为:

$$u_{leave} = 0 \quad (3)$$

因此顾客的等待概率为:

$$P = P(u_{wait} > 0) = P(\varepsilon < (R - p)/C - delay) \quad (4)$$

本文假设  $\varepsilon$  遵循 logistic 分布, 参考 Simon (1955, 1957) [3] [4]、Chen 等人(1997) [9]及其他相关文献, 用量子响应模型来表示顾客决策方式。一位理性指数为  $r(0 < r < \infty)$  顾客在接受到通告时刻选择在系统中继续等待的概率为:

$$P = \frac{e^{r * u_{wait}}}{e^{r * u_{wait}} + e^{r * u_{leave}}} = \frac{e^{r * (R - p - C * delay)}}{e^{r * (R - p - C * delay)} + 1} = \frac{1}{1 + e^{-r * (R - p - C * delay)}} \quad (5)$$

### 3.2. 理性更新机制

假若顾客在排队过程中先后收到了两个延迟通告, 这两个通告的发布时机不同, 故而两次通告的准确性不同, 顾客会以不同的信任度看待这两次通告, 以不同的理性指数来衡量自己的两次通告离队选择, 即动态理性。

动态理性顾客在更新通告时刻将以自己更新后的理性指数  $r_2$  来计算继续等待概率  $P$ , 即:

$$P = \frac{e^{r_2 * u_{wait}}}{e^{r_2 * u_{wait}} + e^{r_2 * u_{leave}}} = \frac{e^{r_2 * (R - p - C * delay)}}{e^{r_2 * (R - p - C * delay)} + 1} = \frac{1}{1 + e^{-r_2 * (R - p - C * delay)}} \quad (6)$$

考虑两种理性更新机制:

(1) 初始理性指数为  $r = 0.1$  的强有界性的有界理性顾客在二次通告时刻变为  $r = 1$  的强普遍性的有界理性顾客。

其理性程度改善的情形可描述为顾客在首次通告时刻不信任通告信息, 在做出离队决策时具有很高的无偏性和随机性, 但在二次通告时刻对通告信息相对信任, 依据通告信息和自身的合理化估计做出是否离队的决策。其原因可解释为企业通过增加排队中的互动或放松机制改善了顾客的等待体验, 或企业通过把控舆论在等待队列中传递了通告具有较高准确度的信息, 等等。

(2) 初始理性指数为  $r = 1$  的强普遍性的有界理性顾客在二次通告时刻变为  $r = 0.1$  的强有界性的有界理性顾客。

其理性程度下滑的情形可描述为顾客在首次通告时刻同时依据通告的信息和自身的合理化估计来做出是否离队的决策, 但在二次通告时刻不再信任通告信息, 在做出离队决策时具有很高的无偏性和随机性。其原因可解释为企业通告准确度的难以判断性让顾客逐渐失去对通告的信任。

通过对两种理性更新机制下的不同时期的更新通告策略的影响进行研究, 不仅可以得到在这两种理性更新机制下对是否更新通告和何时更新通告的最优决策, 也可以反向给予企业在采取通告更新策略时对顾客进行何种干预的管理建议。

## 4. 排队模型搭建和仿真实现

### 4.1. 排队服务规则和通告机制

本文排队系统为多服务器单队列, 队列中有  $s$  台相同的并行服务器。顾客的到达过程是到达率为  $\lambda$  的泊松分布, 服务时间是速率为  $\mu$  的独立指数分布。当一位顾客到达时, 如果至少有一台服务器可用, 则直接为其提供服务; 否则, 他/她会被分流到一个先到先得(FCFs)的不可见队列中开始等待。一旦顾客收

到通告, 他/她就要做出“是否离队”的决策。在等待过程中, 顾客可能会因为等待时长达到耐心极限而放弃。本文假设顾客的耐心极限  $\theta$ , 服从速率为  $\beta$  的负指数分布。顾客在收到通告时做“是否离队”决策的过程和逻辑见 3.1 节。

通告的信息为  $n/s\mu$ , 其中  $n$  指顾客在队列中的位置,  $s\mu$  指系统服务率。例如, 某位顾客在队列中从前往后排在第三位, 系统服务速率为 0.1/sec (平均每位顾客 10 秒), 那么此时, 如果他/她被通告, 通告的延迟时间应为 30sec。更新通告是指在第一次通告之后的某个等待时刻提供第二次通告。

$k$ -time 通告是指当顾客的等待时间达到  $k$  秒时向顾客发布首次通告。 $k2$ -time 通告是指当顾客的等待时间达到  $k2$  秒时向顾客更新通告。

### 4.2. 仿真模型绩效评估方法

在分析系统绩效时, 区分两类企业, 一类以利润为导向, 追求企业利润, 另一类以顾客为导向, 追求顾客效用。

本文不考虑企业提供服务的成本, 将复杂问题简单化。企业利润是被服务顾客数量  $num$  与服务价格  $p$  的乘积。顾客效用是每个顾客效用的总和。表 1 解释了计算系统绩效的逻辑。

Table 1. System performance calculating logic

表 1. 系统绩效计算逻辑

	顾客( $i$ )	整个排队系统
服务回报	$R$	—
服务价格	$p$	—
单位时间等待成本	$C_i$	—
实际等待时间	$WT_i$	—
服务人数	—	$num$
企业利润(已服务)	$p$	$num * p$
企业利润(未服务)	—	0
顾客效用(已服务)	$u_i = R - p - C_i * WT_i$	$\sum u_i$
顾客效用(未服务)	$u_i = -C_i * WT_i$	
社会福利	企业利润 + 顾客效用	

### 4.3. 仿真实验环境和参数

本文在 Flexsim7.5 上构建了上述仿真排队模型, 配置实验参数如表 2。

Table 2. Simulation parameters

表 2. 仿真实验参数

参数	赋值	含义
$\mu$	$\mu \sim \text{Poisson distribution (1/90)}$	服务速率
$s$	10	服务坐席数量
$num_{cus}$	1000	顾客总数量
$\lambda$	重负载: $\lambda_h \sim \text{Poisson distribution (1/7)}$	顾客到达率
	轻负载: $\lambda_l \sim \text{Poisson distribution (1/10)}$	
$\beta$	$\beta \sim \text{Poisson distribution (1/120)}$	中途不耐烦放弃率
$R$	20	服务回报
$p$	5	服务价格
$\theta$	$\theta = 1/\beta \sim \text{Exponential distribution (1/120)}$	顾客耐心
$C$	$(R - p)/\theta$	单位等待成本

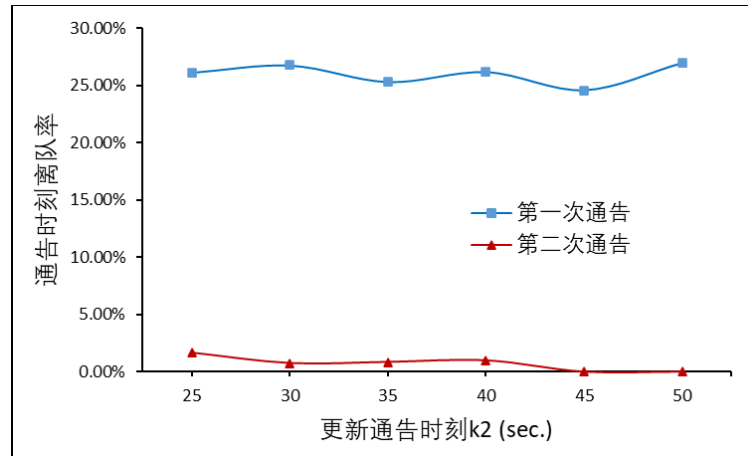
### 5. 更新通告实验结果分析

本章分别对两种理性更新机制(参见 3.2)下的顾客实施更新通告, 并在两种理性更新机制下, 区分负载场景来阐述更新通告的作用。

#### 5.1. 理性程度改善时

选定首次通告时机  $k$ , 在首次通告后的某个时机  $k_2$  更新通告, 即实施第二次通告, 进行仿真实验。

实验结果显示首次通告离队率远高于第二次通告, 见图 1。原因在于顾客初始理性指数较低, 决策更具无偏性, 而在更新通告时刻改善了理性指数, 在预期等待效用  $u_{wait}$  为正的情况下, 顾客更不易离队。且更新通告的时机  $k_2$  越大, 被二次通告的人数越少, 更新通告时刻的离队人数就越少。



$$\left(\mu = \frac{1}{90}; s = 10; \lambda = \frac{1}{7}; \beta = \frac{1}{120}; R = \$20; p = \$5; r = 0.1; r_2 = 1; k = 20 \text{sec.}\right)$$

Figure 1. Balk rate at announcement time with increased rationality  
图 1. 理性改善顾客两次通告的离队率

将不同更新通告时机下的系统绩效和无通告更新策略进行比较, 见表 3。由表可见, 在当前理性指数改善的前提下, 更新通告能改善企业利润和顾客效用, 但其改善效果依旧局限于一定范围内。在轻负载场景下, 更新通告时刻离队率将相对重负载场景更小, 更新通告将在更小的范围内对系统绩效产生微小的优化。

Table 3. System performance with increased rationality

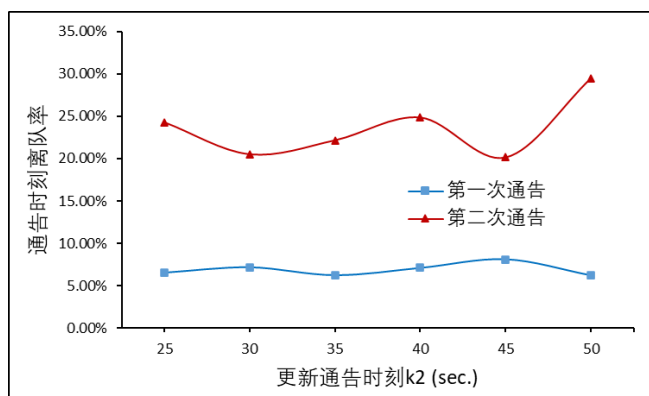
表 3. 理性改善顾客更新通告绩效表  $\left(\mu = \frac{1}{90}; s = 10; \lambda = \frac{1}{7}; \beta = \frac{1}{120}; R = \$20; p = \$5; r = 0.1; r_2 = 1; k = 20 \text{sec.}\right)$

$k_2$ (sec.)	企业利润 (\$)	社会福利 (\$)	顾客效用 (\$)	$E(W)$ (sec.)	不耐烦放弃率(%)	被二次通告比例(%)
25	3870	10998.32	7128.32	15.4804	13.7	17.9
30	3895	11294.23	7399.23	15.4363	13.0	13.1
35	3895	11040.77	7145.77	16.2968	13.5	11.6
40	3890	11137.64	7247.64	16.2744	12.8	10.0
45	3915	11236.96	7321.96	15.6639	13.2	5.6
50	3900	11148.61	7248.61	15.9688	12.7	5.1
无更新	3820	10743.49	6923.49	17.773	12.7	—

## 5.2. 理性程度下滑时

同样的, 选定首次通告时机  $k$ , 在首次通告后的某个时机  $k_2$  更新通告, 进行仿真实验。

实验结果显示首次通告离队率远低于第二次通告, 见图 2。原因在于顾客初始理性指数较高, 可被视作智慧型决策顾客, 在预期等待效用  $u_{wait}$  为正的情况下, 顾客大概率不会选择离开, 而在更新通告时刻理性指数下滑, 顾客决策出现更强的随机性。



$$\left( \mu = \frac{1}{90}; s = 10; \lambda = \frac{1}{7}; \beta = \frac{1}{120}; R = \$20; p = \$5; r = 1; r_2 = 0.1; k = 20 \text{ sec} \right)$$

**Figure 2.** Balk rate at announcement time with decreased rationality  
**图 2.** 理性下滑顾客两次通告的离队率

将不同更新通告时机下的系统绩效和无通告更新策略进行比较, 见表 4。由表可见, 在重负载场景下, 更新通告的作用在此显现, 不论更新通告的时机如何, 更新通告都以 50% 左右的幅度提升了无通告更新时的顾客效用, 以 7% 左右的幅度提升了无通告更新时的企业利润, 且可能存在最优的更新通告时机, 使企业利润和顾客效用都达到峰值。可见, 更新通告时刻低理性顾客的“失误”决策反而给系统带来更高的绩效。其影响机制在于更新通告时刻部分顾客的随机离队在重负载场景下相当于主动放弃排队资源, 将排队资源转移给未被二次通告的顾客, 这使平均等待时间  $E(W)$  被压低, 进而使不耐烦放弃率降低, 未被二次通告的顾客将更有可能被服务。而在轻负载场景下, 更新通告通过对低理性顾客的离队激励大幅降低了  $E(W)$  和不耐烦放弃率, 使顾客效用得以提升。但在  $k_2 = 15 \text{ sec}$  时, 更新通告对企业利润产生了负效应, 考虑 15.5% 的更新通告知情比例下近 25% 的二次通告离队率导致了过多的顾客流失。

**Table 4.** System performance with decreased rationality

**表 4.** 理性下滑顾客更新通告绩效表  $\left( \mu = \frac{1}{90}; s = 10; \beta = \frac{1}{120}; R = \$20; p = \$5; r = 1; r_2 = 0.1 \right)$

场景	$k_2$ (sec.)	企业利润 (\$)	社会福利 (\$)	顾客效用 (\$)	$E(W)$ (sec.)	不耐烦放弃率 (%)	被二次通告比例 (%)
重负载: $\lambda = \frac{1}{7}$ $k = 20 \text{ sec}$	25	3870	10672.54	6802.54	17.8138	13.4	27.6
	30	3925	10738.85	6813.85	18.7014	14.0	22.9
	35	3990	11038.09	7048.09	18.6345	13.9	17.6
	40	3915	10454.83	6539.83	20.0427	15.1	14.9
	45	3905	10292.49	6387.49	20.6218	15.8	13.4
	50	3960	10712.39	6752.39	19.6871	15.3	10.2
无更新		3655	8046.69	4391.69	29.8565	17.7	—

续表

	15	4615	17047.30	12432.30	4.8649	3.0	15.5
	20	4685	17256.46	12571.46	5.4237	2.8	12.2
轻负载:	25	4680	17190.50	12510.50	5.3726	3.0	7.2
$\lambda = \frac{1}{10}$	30	4680	17135.66	12455.66	5.6446	3.2	5.4
	35	4685	17099.83	12414.83	5.6472	3.7	3.0
$k = 10\text{sec}$	40	4700	17168.19	12468.19	5.7647	3.6	1.6
	45	4705	17129.66	12424.66	6.2276	3.4	2.3
	无更新	4655	16631.89	11976.89	7.9888	3.9	—

### 6. 研究结论和管理建议

综合实验结果, 图 3 总结了重负载场景和轻负载场景对应初始理性指数和更新理性指数下更新通告的效果。

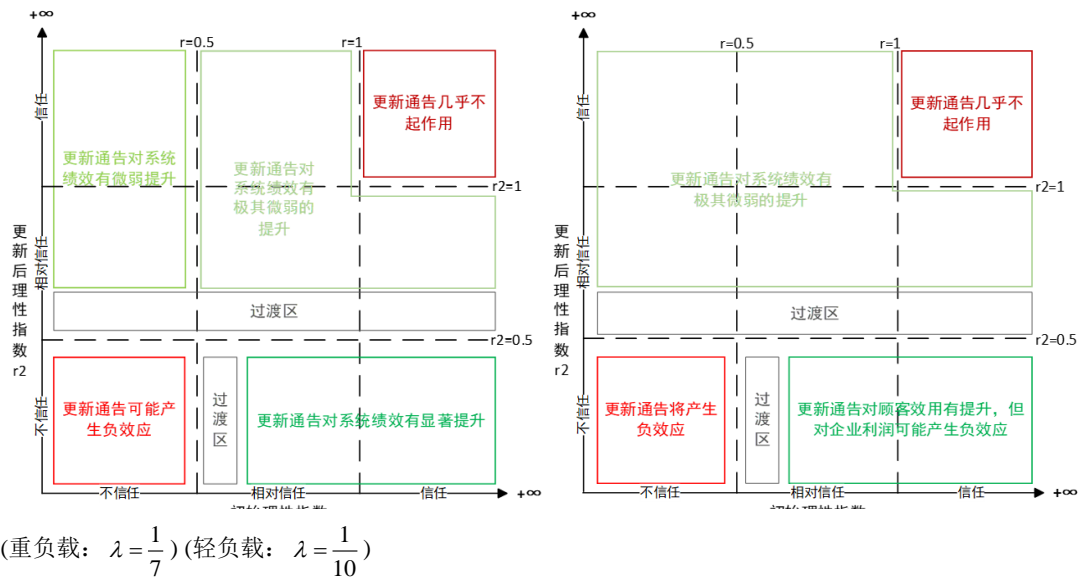


Figure 3. Additional announcement effect

图 3. 更新通告效果 ( $\mu = \frac{1}{90}; s = 10; \beta = \frac{1}{120}; R = \$20; p = \$5$ )

根据图 3, 本文得出以下有关更新通告效果的结论:

- 1) 对于顾客导向型企业, 当顾客的理性指数从中高下降到低时, 更新通告能够产生较为显著的正效应; 在顾客始终处于低理性的情况下, 更新通告可能会产生负效应; 而在其他理性更新分布下, 不会产生明显的负效应, 也不会有明显的正效应。
- 2) 对于利润导向型企业, 需要区分系统负载情况:
  - a) 在重负载场景下, 当顾客的理性指数从中高下降到低时, 更新通告能够产生较为显著的正效应; 在顾客始终处于低理性的情况下, 更新通告可能会产生负效应; 而在其他理性更新分布下, 不会产生明显的负效应, 也不会有明显的正效应。
  - b) 在轻负载场景下, 更新通告在各理性指数更新的分布中都不会产生明显的正效应, 甚至可能会出现负效应。



因此, 本文给出以下实施更新通告的管理建议:

1) 对于顾客导向型企业, 对理性程度下滑顾客实施更新通告; 对理性程度始终为低的顾客不实施更新通告; 对其他理性更新分布的顾客, 评估更新通告的成本, 假使企业更新通告的成本很小, 本文建议企业实施更新通告, 在顾客群体庞大的大型排队系统中, 企业依旧可以凭借微小的优势获取更大的利益。

2) 对于利润导向型企业, 需要区分系统负载情况:

a) 在重负载场景下, 对理性程度下滑顾客实施更新通告; 对理性程度始终为低的顾客不实施更新通告; 对其他理性更新分布的顾客, 评估更新通告的成本, 假使企业更新通告的成本很小, 本文建议企业实施更新通告, 在顾客群体庞大的大型排队系统中, 企业依旧可以凭借微小的优势获取更大的利益。

b) 在轻负载场景下, 在任何情况下都不实施更新通告。

纵向比较不同理性更新分布对实施更新通告下系统绩效的影响, 本文给出以下理性指数管理建议:

1) 对于顾客导向型企业, 在实施更新通告时, 激励低理性指数顾客提升理性程度, 激励中高理性指数顾客降低理性程度。

2) 对于利润导向型企业, 需要区分系统负载情况:

a) 在重负载场景下, 在实施更新通告时, 激励低理性指数顾客提升理性程度, 激励中高理性指数顾客降低理性程度。

b) 在轻负载场景下, 在实施更新通告时, 激励所有顾客提升理性程度。

## 参考文献

- [1] Thurstone, L.L. (2017) A Law of Comparative Judgment. In: Maranell, G., Ed., *Scaling*, Routledge, New York, 81-92. <https://doi.org/10.4324/9781315128948-7>
- [2] Luce, R.D. (2012) *Individual Choice Behavior: A Theoretical Analysis*. Courier Corporation, North Chelmsford.
- [3] Simon, H.A. (1955) A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, **69**, 99-118. <https://doi.org/10.2307/1884852>
- [4] Simon, H.A. (1957) *Models of Man: Social and Rational-Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting*. Wiley, Hoboken.
- [5] 邓汉慧, 张子刚. 西蒙的有界理性研究综述[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2004(6): 37-41. <https://doi.org/10.16493/j.cnki.42-1627/c.2004.06.009>
- [6] 柴盈, 何自力. 论完全理性与有界理性——对现代经济学理性假设的反思[J]. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 2006(5): 57-63.
- [7] Canyakmaz, C. and Boyacı, T. (2023) Queueing Systems with Rationally Inattentive Customers. *Manufacturing & Service Operations Management*, **25**, 266-287. <https://doi.org/10.1287/msom.2021.1032>
- [8] McKelvey, R.D. and Palfrey, T.R. (1995) Quantal Response Equilibria for Normal Form Games. *Games and Economic Behavior*, **10**, 6-38. <https://doi.org/10.1006/game.1995.1023>
- [9] Chen, H.C., Friedman, J.W. and Thisse, J.F. (1997) Boundedly Rational Nash Equilibrium: A Probabilistic Choice Approach. *Games and Economic Behavior*, **18**, 32-54. <https://doi.org/10.1006/game.1997.0514>
- [10] Ren, H. and Huang, T. (2018) Modeling Customer Bounded Rationality in Operations Management: A Review and Research Opportunities. *Computers & Operations Research*, **91**, 48-58. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.11.002>
- [11] McFadden, D. (1973) Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. In: Zarembka, P., Ed., *Frontiers in Econometrics*, Academic Press, Cambridge, 105-142.
- [12] Anderson, S.P., De Palma, A. and Thisse, J.F. (1992) *Discrete Choice Theory of Product Differentiation*. MIT Press, Cambridge. <https://doi.org/10.7551/mitpress/2450.001.0001>
- [13] Huang, T., Allon, G. and Bassamboo, A. (2013) Bounded Rationality in Service Systems. *Manufacturing & Service Operations Management*, **15**, 263-279. <https://doi.org/10.1287/msom.1120.0417>
- [14] Li, X., Guo, P. and Lian, Z. (2016) Quality-Speed Competition in Customer-Intensive Services with Boundedly Rational Customers. *Production and Operations Management*, **25**, 1885-1901. <https://doi.org/10.1111/poms.12583>
- [15] Chen, H. and Frank, M. (2004) Monopoly Pricing When Customers Queue. *IIE Transactions*, **36**, 569-581.

<https://doi.org/10.1080/07408170490438690>

- [16] Hassin, R. (1986) Consumer Information in Markets with Random Product Quality: The Case of Queues and Balking. *Econometrica*, **54**, 1185-1195. <https://doi.org/10.2307/1912327>
- [17] Hu, M., Li, Y. and Wang, J. (2018) Efficient Ignorance: Information Heterogeneity in a Queue. *Management Science*, **64**, 2650-2671. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2017.2747>