

doi: 10.19868/j.cnki.gylgl.2024.06.007

随机需求下考虑竞争因素的众包 快递平台定价策略研究*

庞建刚¹ 唐正敏¹ 晏强¹ 郑文鑫²

(1. 西南科技大学经济管理学院, 四川 绵阳 621010;

2. 甘肃大禹节水集团水利水电工程有限责任公司, 甘肃 酒泉 735000)

摘 要: 伴随着“共享经济”模式的高速发展, 众包快递模式应运而生。在此背景下, 文章针对众包快递平台需求呈现随机且波动变化的特点, 考虑众包快递平台之间的竞争, 基于古诺竞争博弈理论, 建立了考虑市场需求和市场竞争的动态定价模型, 并运用变分法求解最优的价格问题。由于市场需求的变动, 众包快递平台的最优服务价格会发生动态的改变, 同时也受到平台间竞争的影响, 最优服务价格将随着平台之间竞争强度的变化而变化。

关键词: 众包快递平台; 动态定价; 随机需求; 平台竞争; 最优控制理论

中图分类号: F724 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7934 (2024) 06-0085-12

一、前言

随着快递业务量的迅猛增长, 快递运输在国民经济生活中的地位越来越重要, 但随着快递市场竞争激烈的市场竞争, 各大快递企业为夺得更多的市场份额持续降低单件收入, 规模效应带来的边际收益渐缓。学者们认为, 众包被视为最有潜力的解决方案之一, 消费者对于众包快递需求呈现迅速增长态势, 闪送、达达以及人人快送等众包快递平台不断出现。目前, 顺丰也正在通过旗下的子公司——上海丰湃供应链管理有限公司尝试以众包方式来优化快递运输环节, 但在众包快递平台运营中, 客户(发包人)要求低成本且高配送时效, 而配送员(接包方)则希望低成本高报酬, 两者之间的矛盾导致平台服务质量参差不齐且配送效率不高^[1]。在此背景下, 众包快递模式将共享经济与众包模式进行有效整合, 通过众包快递平台将快递需求共享给社会, 充分发掘

基金项目: 2023 年四川省科技厅软科学项目“县域产业结构升级与碳排放效率的时空耦合及影响因素分析”(23RKX0757); 2023 年四川省科技厅软科学项目“四川省校地共建新型研发机构绩效评估研究”(2023JDR0201)

作者简介: 庞建刚(1977—), 男, 甘肃陇西人, 西南科技大学经济管理学院教授, 研究方向: 网络社区、管理科学; 唐正敏(1998—), 女, 四川泸州人, 西南科技大学经济管理学院硕士研究生, 研究方向: 众包; 晏强(1992—), 男, 四川南充人, 西南科技大学经济管理学院讲师, 研究方向: 科技管理与军民融合(通讯作者); 郑文鑫(1988—), 男, 甘肃陇西人, 甘肃大禹节水集团水利水电工程有限责任公司工程师。

社会闲散运力资源使其成为“自由配送员”，满足高配送时效需求的同时也实现了降低配送成本的目的。

从众包快递平台角度来看，最终目的都是实现经济效益最大化，价格过高会抑制社会需求，价格过低会导致利润流失。苗（Miao）等指出众包平台通常对其众包任务采用固定的定价方法^[2]，但需求是随机产生的，且受到时段、服务质量以及价格等因素的影响呈现实时波动的特点，加上众包快递平台之间难以避免存在着价格竞争。因此，需要研究如何在市场需求波动情况下，对众包快递平台进行竞争定价，从而更好为平台的定价决策提供参考。

二、文献综述

目前国内外学术界对众包平台的动态定价研究主要考虑需求和竞争两个方面。在考虑需求动态定价的领域，杰拉斯（Jerath）等介绍了一种基于模糊营销的方法来降低顾客策略对收入的影响，并将其与在季度结束时的模糊代理进行了对比。^[3]贾（Jia）等确定了在需求和用户偏好双重作用下的定价策略，并使用斯塔克尔伯格模型解决了 NaN 和 PMC 的收入问题^[4]。迈哈米（Maihami）等和古雷石（Ghoreishi）等^[5-6]基于在线乘车需求随时间的动态变化构建了两个品牌在线乘车在不同定价模型下的动态服务模型，并探讨了乘车需求的波动性对平台定价策略的影响。曹嘉馨等确定了需求和用户偏好双重作用下的定价策略，并使用斯塔克尔伯格模型解决纳网与公共管理中心收益问题^[7]。陈仲武等人建立一个动态定价机制实现总供给和总需求的自动平衡，并根据购买需求和市场供给动态调整价格^[8]。黄静静和陈荔构建了需求波动下众包物流平台的动态定价模型，以实现平台利润最大化^[9]。朱晨波等运用博弈论方法研究了在现货类服务需求不确定的竞争和垄断环境下，单一云服务提供商和两个云提供商的现货类服务定价^[10]。孙中苗和徐琪考虑了平台服务质量和市场需求波动性的差异化，利用多变量函数和条件极值广义函数，找到了两个在线服务品牌的最优定价策略^[11]。林贵华等为两家航空公司建立了一个多票价类别、多航段和多随机情景的创收定价模型^[12]。谢仕炜等基于变分不等式，提出了一种考虑到混合需求不确定性的电力-交通耦合网络的最优定价策略^[13]。

其次，国内外很多学者将竞争因素纳入动态价格的研究中。西布达里（Sibdari）等为两家提供不同质量水平的可替代和不易腐烂产品的公司开发了有限时域动态定价模型^[14]。迪克西特（Dixit）等提出了一种新的动态 SU 定价模型，用于由 WSP 在其基站（Base Station, BS）基于以 BS 为中心的分布式框架来实现，这允许 SU 价格随着 BS 无线电频谱使用的变化而动态变化^[15]。马克（Mak）等提出了一个双寡头动态定价的均衡模型，其中买方在有限的时间范围内在两个卖方之间交替报价^[16]。翟（Zhai）等考虑一个具有未知需求模型的多卖家动态定价问题^[17]。占永志等采用基于成本的竞争因子，建立了基于动态最优模型的供应链金融双边利率模型。^[18]赵天等对旅客决策进行了类别划分，建立了多条航线间的竞争模型，并求解了不同竞争下的不同航班之间的动态定价问题^[19]。王文杰等利用动态优化理论建立了平台价格竞争下的众包物流社会配送服务的最优定价模型^[20]。侯福均等研究了顾客惯性行为，即顾客推迟购买决定的非理性倾向对竞争企业动态定价问题的影响^[21]。李豪等把客户在各个阶段的转移选择行为抽象成了一种折线竞争，在双寡头竞争模型中构建了零售商单一直销渠道和直销与中介双渠道的动态定价模型，建立并求解了零售商和中介的定价策略^[22]。官振中等建立了一个模型，以比较厂商在竞争中的动态定价与价格维护策略，并得出其优势或劣势的情况^[23]。杨爱峰等假定三方再制造厂商与原

厂商之间都存在市场上的竞争, 构建并求解古诺博弈模型, 以达到双方闭环供应链利益最大化为目的^[24]。姚锋敏等在闭环供应链优化模型的基础上, 分别建立了集约型和分散型的供应链优化模型, 并对零售商竞争与闭环回收供应链的价格决策与协调问题进行了探讨^[25]。

随着动态定价研究的不断深入, 也有学者同时考虑需求与竞争因素。尼 (Ni) 等从在线算法和竞争分析的角度研究了具有需求不确定性的动态定价问题, 消除了对价格和需求之间函数关系以及客户到达率的需求^[26]。萨亚尔沙德 (Sayarshad) 等提出了一种在无限前景下使用多服务器队列系统的竞争性按需移动模型^[27]。陈 (Chen) 等探索了一种易腐产品的价格 Q 学习机制, 该机制考虑了竞争性多主体零售商市场 (无模型环境) 中不确定的需求和客户偏好, 认为现有的定价解决方案在现实市场中可能远不是最佳的^[28]。王文杰等在贝特朗 (Bertrand) 的价格竞争博弈论基础上, 建立了一个具有随机需求的众包物流服务的动态定价模型, 并运用最优化的控制方法, 得出了该模型的最优定价方案。^[29]孙中苗和徐琪为解决乘车需求波动下乘车平台间竞争和乘车服务间竞争的最优定价问题, 运用优化控制理论, 建立了基于不同竞争条件下的乘车平台动态定价模型, 以达到最大期望收益。^[30]

综合以上分析, 可以看出动态定价的研究文献较为丰富, 主要研究了分别考虑需求和竞争的动态定价问题, 但是目前面向众包平台的同时兼顾需求与竞争的因素的相关文献较少, 而在此基础上, 有关众包快递平台的动态定价问题的研究文献则更是鲜有。本文在考虑需求随机的基础上, 进一步考虑两众包快递平台之间的竞争关系研究其动态定价。本文结构如下: 第一节介绍研究背景, 第二节进行文献综述, 第三节描述研究问题并提出基本模型, 第四节分析市场需求波动对定价的影响, 第五节分析众包快递平台竞争对定价的影响, 第六节通过仿真检验模型的有效性, 第七节总结本文的研究。

三、问题描述与模型建立

在共享经济成为常见经济模式的今天, 众包快递平台得到迅速发展。在众包快递平台上, 订单需求具有随机性、实时性和可变性。除了这些, 不同的众包快递平台之间难以避免竞争关系, 过去的研究大多使用伯特兰德博弈模型来分析情况, 该模型假设两个竞争对手提供完全可替代的产品。根据该模型, 价格更低的企业能够满足全部需求并主导市场份额。因此, 两个众包快递平台会通过不断降价来争夺市场, 直到价格等于边际成本为止, 即达到纳什均衡。然而, 现实情况与此不同。首先, 众包快递平台的服务并非完全可替代, 其在服务质量和成本等方面存在差异。其次, 它们之间的竞争并非仅由价格决定, 还受到其他多方面因素的影响, 这些因素可能会影响消费者需求。最后, 本文选择采用古诺竞争博弈理论进行研究和探讨, 以更好地描述众包快递平台之间的实际竞争关系。

本文基于四个假设, 进一步分析平台的古诺竞争博弈关系, 从而构建众包快递平台最优定价模型。

假设 1: 众包快递平台 i 和 j 之间的关系为古诺竞争, 即: ①本文所研究的众包快递行业仅有众包快递平台 i 和 j , 两者提供的服务模式相同, 但各自的成本以及服务质量有差别。②本文研究的边际成本为固定值。③两众包快递平台都有途径获取众包快递市场需求信息。④两个众包快递平台之间没有签署正式或非正式的协议。

假设 2: 众包快递平台 i 和 j 之间市场信息是公开的、透明的, 并且双方的价格策略都是明

确的，双方是完全的信息博弈。该关系模型如图 1 所示。

假设 3：众包快递平台在 $[0, T]$ 时间内的社会需求函数表示为：

$$X_i(P, t) = ae^{-\alpha t} - \beta_i P_i(t) + \gamma_i q_i + kP_j(t) \quad (1)$$

其中 $a, \beta_i, \gamma_i, k > 0, \beta_i > k$ ， a 为市场需求初值， γ_i 为市场对众包快递平台 i 服务质量的敏感系数， β_i 为价格敏感系数， q_i 表示众包快递平台 i 的服务质量， k 表示众包快递平台间的价格竞争系数， α 表示市场需求变化系数(当 $\alpha = 0$ 时，市场需求保持不变，当 $\alpha > 0$ 时，需求紧缩，当 $\alpha < 0$ 时，需求增长)， $P_i(t)$ 和 $P_j(t)$ 分别表示 t 时刻众包快递平台 i 和众包快递平台 j 的实时价格。

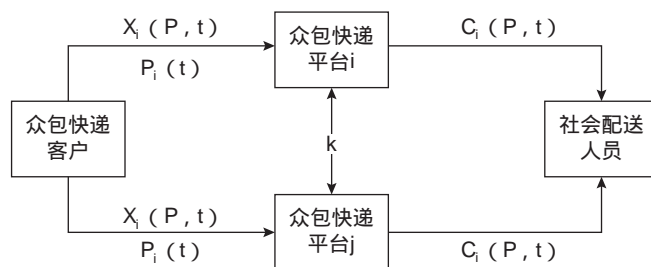


图 1 众包快递平台服务关系模型

假设 4：众包快递服务平台 i 的单位服务成本表示为：

$$C_i(P, t) = \eta_i q_i^2 + FC_i + SC_i + \sigma HC_i \quad (2)$$

其中 $\eta_i q_i^2$ 为众包快递平台 i 的单位服务质量成本， η_i 表示众包快递平台 i 的众包快递服务成本系数， q_i 表示众包快递平台 i 的服务质量， FC_i 表示众包快递平台 i 服务的单位固定成本， SC_i 表示众包快递平台 i 在兼职劳动力供不应求时产生的损失成本， σ 表示众包快递平台 i 的服务补贴系数，本文并未分析众包快递平台对于社会运力的竞争。因此，令 $\sigma_i = \sigma_j = \sigma$ ， HC_i 表示众包快递平台 i 在特殊自然环境下对社会大众配送人员的补贴成本。

因此，构建出众包快递平台 i 的期望收益函数为：

$$\prod(P_i(t), t) = \max \int_0^T [X_i(P, t) P_i(t) - X_i(P, t) C_i(P, t)] dt \quad (3)$$

由于众包快递服务具有很强的随机性和波动性，可以将其定价最优解看作泛函极值问题，选择使用最优控制理论中的变分法进行求解。

$$G_i = ae^{-\alpha t} - \beta_i P_i(t) + \gamma_i q_i + kP_j(t) (P_i(t) - \eta_i q_i^2 - FC_i - SC_i - \sigma HC_i) \quad (4)$$

根据欧拉方程，使期望 $\prod(P_i(t), t)$ 最大化的充分必要条件为：

$$\frac{\partial G_i}{\partial P_i(t)} - \frac{d(\partial G_i)}{dt(\partial P_i'(t))} = 0 \quad (5)$$

可以观察到式 (4) 不含 $P_i'(t)$ 项，因此可以得出： $\frac{\partial G_i}{\partial P_i'(t)} = 0$ 。

则通过式 (5) 可进一步推导得到： $\frac{\partial G_i}{\partial P_i(t)} = 0$ 。

然后微分方程求解，得到众包快递平台 i 期望收益最大化时的价格函数为：

$$P_i^*(t) = \frac{ae^{-\alpha t} + kP_j(t) + \gamma_i q_i}{2\beta_i} + \frac{1}{2}(\eta_i q_i^2 + FC_i + SC_i + \sigma HC_i) \quad (6)$$

同理可得实现期望收益最大化时众包快递平台 j 的价格函数为:

$$P_j^*(t) = \frac{ae^{-\alpha t} + kP_i(t) + \gamma_j q_j}{2\beta_j} + \frac{1}{2}(\eta_j q_j^2 + FC_j + SC_j + \sigma HC_j) \quad (7)$$

因为众包快递平台 i 和众包快递平台 j 之间属于完全信息博弈, 因此, 基于古诺竞争模型原理得到: 存在平台 i 和 j 之间的最优价格纳什均衡解, 一定是平台 i 和 j 的价格函数交叉点, 联立式 (6) 与式 (7), 可得:

$$P_i^{**}(t) = \frac{a(2\beta_j + k)e^{-\alpha t} + 2\beta_j \gamma_i q_i + 2\beta_i \beta_j (\eta_i q_i^2 + FC_i + SC_i + \sigma HC_i) + k(\gamma_j q_j + \beta_j (\eta_j q_j^2 + FC_j + SC_j + \sigma HC_j))}{4\beta_i \beta_j - k^2} \quad (8)$$

$$P_j^{**}(t) = \frac{a(2\beta_i + k)e^{-\alpha t} + 2\beta_i \gamma_j q_j + 2\beta_j \beta_i (\eta_j q_j^2 + FC_j + SC_j + \sigma HC_j) + k(\gamma_i q_i + \beta_i (\eta_i q_i^2 + FC_i + SC_i + \sigma HC_i))}{4\beta_i \beta_j - k^2} \quad (9)$$

四、需求变动对众包快递平台定价影响分析

通过观察众包快递平台的最优价格函数式 (8) 和 (9) 可知, 众包快递平台最优价格的纳什均衡解 $P_i^{**}(t)$ 及 $P_j^{**}(t)$ 都是有关时间 t 的函数, 且受到市场以及自身多种因素的影响, 接下来, 对不同的市场需求波动趋势导致众包快递平台 i 的最优定价产生的变化进行讨论。

1. 市场需求不变 ($\alpha = 0$)

在市场需求不发生改变的情况下, 将 $\alpha=0$ 代入最优价格函数式 (8) 可得:

$$P_i^{**}(t) = \frac{a(2\beta_j + k) + 2\beta_j \gamma_i q_i + 2\beta_i \beta_j (\eta_i q_i^2 + FC_i + SC_i + \sigma HC_i) + k(\gamma_j q_j + \beta_j (\eta_j q_j^2 + FC_j + SC_j + \sigma HC_j))}{4\beta_i \beta_j - k^2} \quad (10)$$

这时, 众包快递平台 i 的最优价格 $P_i^{**}(t)$ 没有包含时间 t , 它不会随着时间的推移而改变, 同理可得, 在市场需求没有变化的情况下, 最优价格 $P_j^{**}(t)$ 也不会随着时间的推移而变化。

2. 市场需求紧缩 ($\alpha > 0$)

对最优价格函数 $P_i^{**}(t)$ 求对于 t 的一阶偏导和二阶偏导得到以下结果:

$$\frac{dP_i^{**}(t)}{dt} = \frac{-\alpha a(2\beta_j + k)e^{-\alpha t}}{4\beta_i \beta_j - k^2} \quad (11)$$

$$\frac{d^2 P_i^{**}(t)}{dt^2} = \frac{\alpha^2 a(2\beta_j + k)e^{-\alpha t}}{4\beta_i \beta_j - k^2} \quad (12)$$

当 $\alpha > 0$ 时, 市场需求紧缩, 众包快递订单需求减少, 社会兼职劳动力供过于求, 又 $a > 0$, $\gamma_i > 0$, $\gamma_j > 0$, $\beta_i > k$, $\beta_j > k$, 由式 (11) 和式 (12) 可得到:

$$\frac{dP_i^{**}(t)}{dt} < 0, \quad \frac{d^2 P_i^{**}(t)}{dt^2} > 0 \quad (13)$$

也就是当 $\alpha > 0$, 众包快递平台 i 和 j 的最优价格在 $t \in [0, T]$ 内是单调下降的凹函数, 并且由于:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{dP_i^{**}(t)}{dt} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{-\alpha a(2\beta_j + k)e^{-\alpha t}}{4\beta_i\beta_j - k^2} = 0 \quad (14)$$

可知，存在时间 T_m ， $t = T_m$ 时，对单调递减函数 $P_i^{**}(t)$ 求最小值，使最优价格随时间的变化可分为两类，即 $T < T_m$ 和 $T \geq T_m$ 。

当 $T < T_m$ 时，从式 (13) 可以看出，最优价格函数 $P_i^{**}(t)$ 在时间 $t \in [0, T]$ ，最优价格函数 $P_i^{**}(t)$ 为一个单调下降的凹形函数，随着时间的推移，其最优价格表现为缓慢下降；当 $T \geq T_m$ 时，从式 (13) 和式 (14) 可以看出，在时间 $t \in [0, T]$ 内， $t \in [0, T_m]$ 时，最优价格函数 $P_i^{**}(t)$ 为一个单调下降的凹形函数，即随着时间的推移而改变。众包快递平台 i 的最优价格轨迹减速递减，当 $t = T_m$ 时，最优价格达到最小值，即 $t \in [T_m, T]$ 时，其最优价格达到了一个稳定的数值。

综上所述，当众包快递市场需求紧缩时，众包快递平台 i 与 j 的最优价格轨迹伴随时间推移，产生单调减速递减趋势，可以采取降低价格的方法对市场需求进行刺激，从而平衡市场需求，当达到临界点时，价格将趋于稳定，不再降低，以此保障众包快递平台 i 与 j 的经济效益。

3. 市场需求增长 ($\alpha < 0$)

当 $\alpha < 0$ 时，市场需求量增加，社会兼职劳工出现短缺，又因为 $a > 0$ ， $\gamma_i > 0$ ， $\gamma_j > 0$ ， $\beta_i > 0$ ， $\beta_j > k$ ，通过式 (11) 和式 (12) 可发现：

$$\frac{dP_i^{**}(t)}{dt} > 0, \quad \frac{dP_i^{2**}(t)}{dt} > 0 \quad (15)$$

在 $\alpha < 0$ 时，服务时间 $t \in [0, T]$ 区间内，众包快递平台 i 的最优价格函数是单调递增，又因为：

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{dP_i^{**}(t)}{dt} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{-\alpha a(2\beta_j + k)e^{-\alpha t}}{4\beta_i\beta_j - k^2} = +\infty \quad (16)$$

因此，可得到在众包快递服务时间 $t \in [0, T]$ 内，众包快递平台 i 的最优价格函数 $P_i^{**}(t)$ 不存在极值。同样道理，众包快递平台 j 的最优价格曲线在时间 $t \in [0, T]$ 内呈现单调加速递增，其最优价格函数 $P_j^{**}(t)$ 不存在极值。

综上所述，在众包快递市场需求增长时，由于市场长期供不应求，众包快递平台 i 与 j 的最优价格随时间加速单调递增，通过抬高物价来遏制社会需求的增长，一方面可以通过增加兼职员工的工资来促进劳动力供应的增加，另一方面也可以平衡市场，使其产生最大的经济效益。

五、竞争因素对众包快递平台定价影响分析

随着市场需求的变化，各大众包快递平台的竞争也会随之发生变化，相应地，各大众包快递平台的服务价格也会随之发生变化。因此，本节将继续探讨竞争系数 k 与众包快递平台 i 和 j 之间的最优价格函数 $P_i^{**}(t)$ 与 $P_j^{**}(t)$ 关系。根据式 (8) 和式 (9) 的古诺竞争的纳什均衡解，可以得到 $\beta_i > k$ ， $\beta_j > k$ ，假定 $\beta_i = M + k$ ， $\beta_j = N + k$ ， $M, N > 0$ ，并为了简化计算，假定 $M = N = \nabla$ ，即市场对众包快递平台 i 和 j 的价格敏感系数 $\beta_i = \beta_j$ 。从式 (11) 可以看出，在市场需求变化时 ($\alpha > 0$ 或 $\alpha < 0$)，众包快递平台 i 的 $P_i^{**}(t)$ 在一段时间内的变化速率是：

$$\frac{dP_i^{**}(t)}{dt} = \frac{-\alpha a(2\beta_j + k)e^{-\alpha t}}{4\beta_i\beta_j - k^2} \quad (17)$$

将其记为 $\dot{P}_i^{**}(t)$, 将其对 k 求导可得:

$$\frac{d\dot{P}_i^{**}(t)}{dk} = -\alpha a \frac{3[4(\nabla+k)^2-k^2] - [8(\nabla+k)-2k][2(\nabla+k)+k]}{[4(\nabla+k)^2-k^2]^2} e^{-\alpha t} \quad (18)$$

整理得:

$$\frac{d\dot{P}_i^{**}(t)}{dk} = \frac{\alpha a (3k+2\nabla)^2}{[4(\nabla+k)^2-k^2]^2} e^{-\alpha t} \quad (19)$$

观察式 (19) 可知, 市场需求不变时, $\frac{dP_i^{**}(t)}{dt} = 0$ 且 $\frac{dP_j^{**}(t)}{dt} = 0$, 竞争系数 k 的值不影响众包快递平台 i 与 j 的最优价格函数随时间的变化率, 以下将讨论市场需求变化时, 竞争系数 k 对众包快递平台最优价格函数在时间变量上对变化率的影响。

1. 市场需求紧缩 ($\alpha > 0$)

由式 (19) 可以看出:

$$\frac{d\dot{P}_i^{**}(t)}{dk} = \frac{\alpha a (3k+2\nabla)^2}{[4(\nabla+k)^2-k^2]^2} e^{-\alpha t} > 0 \quad (20)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{d\dot{P}_i^{**}(t)}{dk} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\alpha a (3k+2\nabla)^2}{[4(\nabla+k)^2-k^2]^2} e^{-\alpha t} = 0 \quad (21)$$

综上函数可知, 存在一个时间节点 T_{m1} , 使函数 $\dot{P}_i^{**}(t)$ 达到最大值是当时间 $t = T_{m1}$ 时, 又函数 $\dot{P}_i^{**}(t)$ 是单调递增的。因此, 针对该函数可分别两种情况进行讨论: 从式 (21) 可以看出, 在时间 $T < T_{m1}$ 的情况下, 众包快递平台 i 的最优价格随着时间的变化速率 $\dot{P}_i^{**}(t)$ 是竞争系数 k 的单调递增函数关系。因此, 众包快递平台 i 的最佳定价的变化速度, 会随着时间的推移而降低。从式 (20) 和式 (21) 可以看出, 在时间 $T \geq T_{m1}$ 的情况下, 众包快递平台 i 的最优价格随着时间的变化速率 $\dot{P}_i^{**}(t)$ 是竞争系数 k 的单调递增函数关系, 又因 $\dot{P}_i^{**}(t) < 0$, 因此, 众包快递平台 i 的最佳定价的变化速度, 会随着时间的推移而降低, 并在 $t = T_{m1}$ 时取得极值, 即 $t \in [T_{m1}, T]$ 时, 随着时间的推移, 众包快递平台 i 的最优价格逐渐趋于一个稳定值, 而不会受到竞争系数 k 的影响。

2. 市场需求增长 ($\alpha < 0$)

根据式 (20) 可知:

$$\frac{d\dot{P}_i^{**}(t)}{dk} = \frac{\alpha a (3k+2\nabla)^2}{[4(\nabla+k)^2-k^2]^2} e^{-\alpha t} < 0 \quad (22)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{d\dot{P}_i^{**}(t)}{dk} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\alpha a (3k+2\nabla)^2}{[4(\nabla+k)^2-k^2]^2} e^{-\alpha t} = +\infty \quad (23)$$

综上可知, 函数不存在极点, 在众包快递服务时间 $t \in [0, T]$ 区间内, 当出现市场需求增加情况时, 众包快递平台 i 的最优价格随时间变化率 $\dot{P}_i^{**}(t)$ 是一个与竞争系数 k 相关的单调递减函数。又由于 $\dot{P}_i^{**}(t) < 0$, 因此众包快递平台之间的竞争越激烈, 随着时间推移, 众包快递平台 i 的最优价格变动速率逐渐降低。同样可知, 在服务时间 $t \in [0, T]$ 区间内, 众包快递平台 j

的最优价格随时间的变化率 $\dot{P}_j^{**}(t)$ ，是关于竞争系数 k 的单调递减函数，故众包快递平台之间的竞争越激烈，随着时间推移，众包快递平台 i 的最优价格变动速率逐渐降低。

综上可知，当众包快递服务时间 $t \in [0, T]$ 区间内，市场需求产生变化时，众包快递平台最优价格轨迹随时间变化情况与双方平台间的竞争关系呈密切相关。竞争系数 k 的大小将对众包快递平台最优价格随时间的变化率产生影响，继而对众包快递平台最优价格随时间产生影响，影响情况如表 1 所示。

表 1 市场需求变化与市场竞争对众包快递平台最佳定价的影响

需求变动情况	$\dot{P}_i^{**}(t)$	$\dot{P}_j^{**}(t)$	$\frac{d\dot{P}_i^{**}(t)}{dk}$	$\frac{d\dot{P}_j^{**}(t)}{dk}$	$P_i^{**}(t)$ 与 $P_j^{**}(t)$
市场需求不变	=0	=0	=0	=0	不会因时间而改变
市场需求紧缩	<0	<0	>0	>0	随时间逐渐变慢， k 的增大减速变得缓慢
市场需求增长	>0	>0	<0	<0	随时间单调加速下降， k 值愈大速度愈慢

六、数值仿真

本小节运用 Origin 软件对式 (8) 进行数值模拟，验证了模型的正确性，并且研究了市场需求系数和竞争因素对其最优定价的影响。算例分析的部分参数参考王文杰等^[29] 和孙中苗等^[31] 关于众包物流定价策略的研究。参数设置如下： $T=80$ ， $a=10$ ， $\gamma_i=0.3$ ， $\gamma_j=0.32$ ， $\eta_i=0.06$ ， $\eta_j=0.055$ ， $q_i=10$ ， $q_j=11$ ， $\beta_i=\beta_j=\nabla+k$ ， $\nabla=0.1$ ， $FC_i=2.5$ ， $FC_j=2.6$ ， $SC_i=5$ ， $SC_j=5.3$ ， $\sigma HC_i=1$ ， $\sigma HC_j=1.02$ 。分别代入 $\alpha=(0.06, -0.03, 0)$ 按顺序显示市场需求不变、紧缩和增长的三种情形，代入 $k=(0.1, 0.5, 0.9)$ 来表示两众包快递平台竞争强度低、中、高三种情况。

1. 固定的竞争强度条件下最优价格变动趋势仿真

市场需求的变动趋势和众包快递平台的最优价格趋势存在相关关系，当需求不变时，即低、中、高三种竞争强度仿真的结果如图 2 所示。

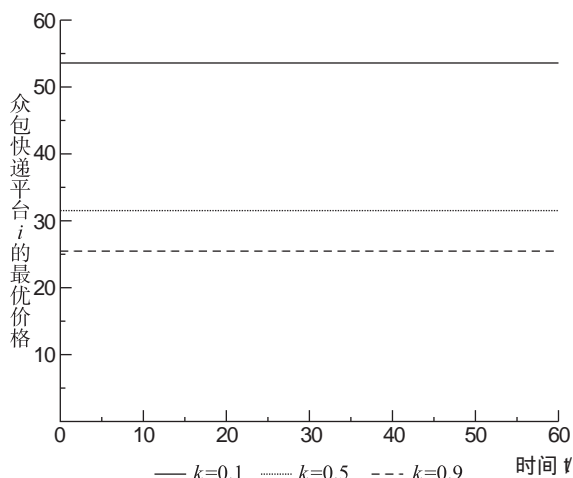


图 2 不同竞争强度条件下，市场需求相同时最优价格的变化规律

在相同的市场需求下, 最优价格与时间 t 没有关系。但与众包快递平台竞争系数 k 有关, 即 $P_i^{**}(t)$ 在 $\alpha = 0$ 时为常数, 不随时间的变化而变化, 只和竞争强度有关, 强度越低最优价格越高。在市场需求减少的时候, 即 $\alpha = 0.06$, 在低、中、高三种竞争强度条件下仿真结果如图 3 所示。仿真结果表明, 在市场需求紧缩时, 最优的价格轨迹是单调地降低的, 并且当竞争强度较小时, 价格的降低速率会更快, 当达到临界点时, 价格不再变化且趋于稳定, 竞争强度与稳定价格呈负相关关系。在市场需求增加时 ($\alpha = -0.03$), 在低、中、高三种竞争强度条件下, 仿真结果如图 4 所示。仿真结果表明, 市场需求增长 ($\alpha < 0$) 时, 最优价格轨迹单调递增, 且价格上升速度在竞争强度低时更快, 当达到临界点时, 价格不再变化且趋于稳定, 竞争强度与稳定价格呈负相关。

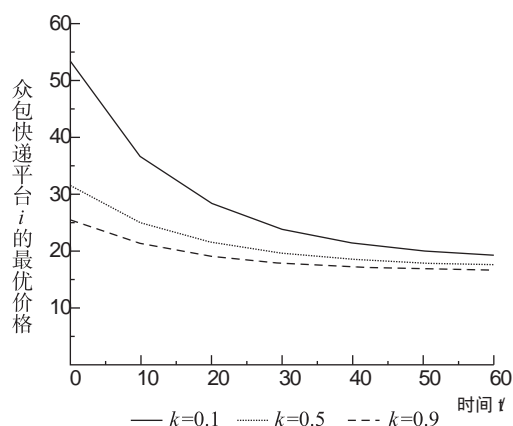


图 3 不同竞争强度条件下, 市场需求紧缩时最优价格的变化规律

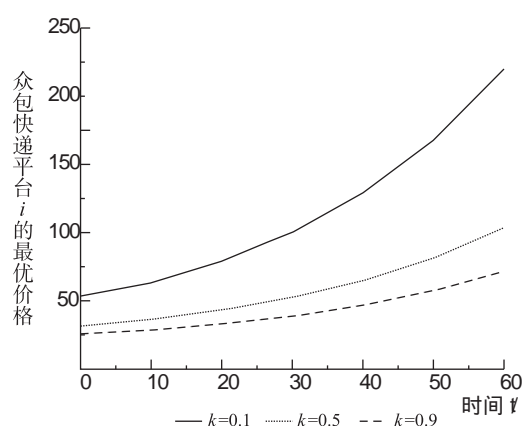


图 4 不同竞争强度条件下, 市场需求增加时最优价格的变化规律

2. 波动竞争强度下需求波动最优价格变化趋势仿真

前一节用数值方法模拟了在一定的竞争强度下, 最优的价格变动趋势与需求的关系。本节探讨当市场竞争强度波动时, 需求波动对最优价格的影响。通过将竞争系数 k 限定在 $[0, 1]$ 的范围内, 如果市场需求没有发生变化, 即 $\alpha = 0$ 时, 仿真结果如图 5 所示。

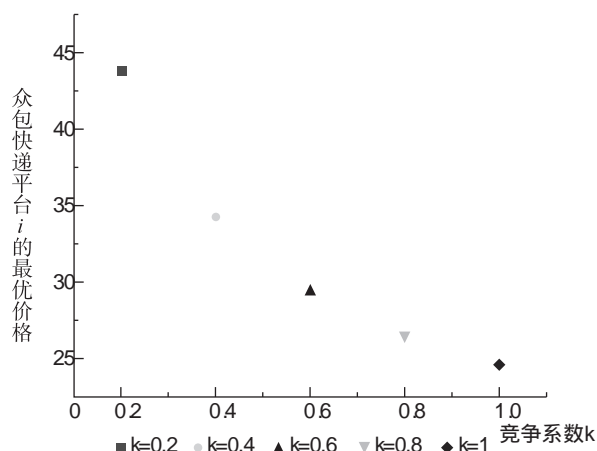


图 5 当市场需求不变时, 最优价格与时间 t 及竞争强度 k 的关系

研究表明,在相同的市场需求条件下,最优价格与时间 t 无关,但与各平台之间的竞争程度相关,且各平台之间的竞争强度不同,其最优价格也会相应降低。在市场需求收缩的时候,也就是 $\alpha = 0.06$,仿真结果如图 6 所示。仿真结果表明,当市场需求收缩时,最优价格会随着竞争强度增大而增加。在市场需求增加时,即 $\alpha = -0.03$,仿真结果如图 7 所示。因此,随着众包快递市场需求增加,其最优价格与竞争强度呈负相关。

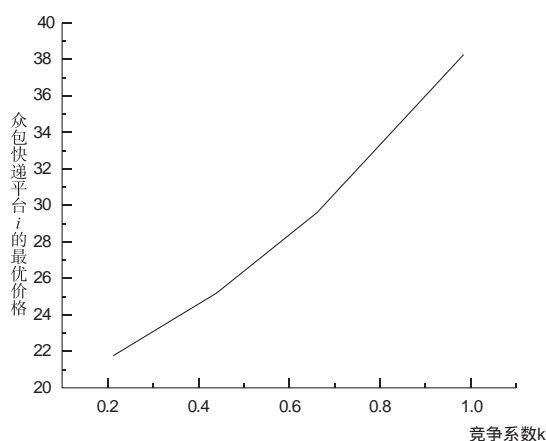


图 6 当市场需求收缩时,最优价格与时间 t 及竞争强度 k 的关系

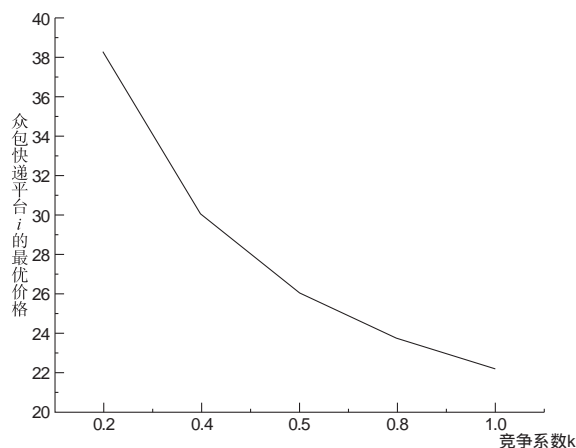


图 7 当市场需求增加时,最优价格与时间 t 及竞争强度 k 的关系

七、结语

考虑到众包快递市场中在线订购和众包物流的随机需求,以及市场需求的波动和激烈的价格竞争,本文研究了众包快递平台的动态定价问题。在描述随机需求函数的基础上,构建了众包快递平台的动态定价模型,并考虑两个众包快递平台之间的古诺竞争博弈,使用最优控制方法求解众包快递平台的最优价格。通过数值建模,研究了众包快递平台提供的服务定价如何随着市场需求的变化而变化,以及竞争程度如何影响定价。

数值结果显示:①当市场需求变化趋势不同时,众包快递平台的最优价格轨迹也有所不同:当市场需求不变时,最优价格与时间 t 无关;当市场需求紧缩时,最优价格轨迹是单调递减递减的;当市场需求增长时,最优价格轨迹是单调递增的;②随着竞争系数 k 的增加,众包快递平台的最优价格随平台间的竞争强度变化也会有所不同。

尽管本文所做的研究已经对众包快递平台的价格进行了一定的探讨,但本文的研究是针对信息完全的竞争情况的,在实际业务中,由于商业机密等原因,众包快递平台很难知道竞争对手的价格等信息。还需分析在不完全信息下的主导定价是如何确定的,以及不同竞争对手信息的影响程度。此外,由于本文只考虑了两个众包快递平台之间的竞争,未来可能会考虑有多个众多快递平台竞争的动态定价模型。

参考文献:

- [1] 余海燕,李红梅,王姝翔.O2O 外卖众包即时配送平台的激励机制适用性[J].系统工程,2022,40

(4): 89-99.

[2] MIAO X, PENG H, GAO Y, et al. On dynamically pricing crowdsourcing tasks [J]. ACM transactions on knowledge discovery from data, 2023, 17 (2): 1-27.

[3] JERATH K, NETESSINE S, VEERARAGHAVAN S K. Revenue management with strategic customers: last-minute selling and opaque Selling [J]. Management science, 2010, 56 (3): 430-448.

[4] CAO J, YANG B, ZHU S, et al. Bidirectional pricing and demand response for nanogrids with HVAC systems [J]. ArXiv preprint, 2022.

[5] MAIHAMI R, KAMALABADI I N. Joint pricing and inventory control for non-instantaneous deteriorating items with partial backlogging and time and price dependent demand [J]. International journal of production economics, 2012, 136 (1): 116-122.

[6] GHOREISHI M, WEBER G W, MIRZAZADEH A. An inventory model for non-instantaneous deteriorating items with partial backlogging, permissible delay in payments, inflation-and selling price-dependent demand and customer returns [J]. Annals of operations research, 2015, 226: 221-238.

[7] 曹嘉馨, 杨博, 朱善迎. 考虑需求响应的纳网双向定价斯坦伯格博弈模型 (英文) [J]. 控制理论与应用, 2022, 39 (10): 1-16.

[8] 陈仲武, 凌捷. 基于以太坊和动态定价的数据交易模式研究 [J]. 计算机工程与应用, 2022, 58 (21): 119-130.

[9] 黄静静, 陈荔. 需求波动下众包物流平台动态定价策略 [J]. 科技和产业, 2021, 21 (10): 203-207.

[10] 朱晨波, 王伍娜, 王星. 随机需求下 IaaS 云服务定价与容量分配研究 [J]. 价格理论与实践, 2022 (1): 165-169.

[11] 孙中苗, 徐琪. 不同价格模式下考虑需求波动性和差异化服务的网约车平台定价决策 [J]. 运筹与管理, 2022, 31 (1): 52-60.

[12] 林贵华, 唐艳, 陈拼搏. 随机需求下航空公司收益管理定价模型 [J]. 系统工程, 2022, 40 (2): 109-117.

[13] 谢仕伟, 张亚超, 舒胜文, 等. 考虑混合需求不确定性的电力-交通耦合网络最优定价策略 [J]. 中国电机工程学报, 2023, 43 (22): 1-13.

[14] SIBDARI S, PYKE D F. A competitive dynamic pricing model when demand is interdependent over time [J]. European journal of operational research, 2010, 207 (1): 330-338.

[15] DIXIT S, PERIYALWAR S, YANIKOMEROGLU H. A competitive and dynamic pricing model for secondary users in infrastructure based networks [C]. Malaysia: IEEE, 2010: 1-5.

[16] MAK V, RAPOPORT A, GISCHES E J. Competitive dynamic pricing with alternating offers: theory and experiment [J]. Games and economic behavior, 2012, 75 (1): 250-264.

[17] ZHAI Y, ZHAO Q. Competitive dynamic pricing under demand uncertainty [C] //IEEE. 2014 48th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. Pacific Grove: IEEE, 2014: 1098-1101.

[18] 占永志, 陈金龙. 供应链金融平台双边利率动态定价策略研究 [J]. 工业工程与管理, 2020, 5 (4): 140-149.

[19] 赵天, 胡玉生. 基于乘客分类的竞争航班动态定价研究 [J]. 北京信息科技大学学报 (自然科学版), 2019 (5): 56-61.

[20] 王文杰, 陈颖, 蒋帅杰. 考虑平台竞争的众包物流社会配送服务最优定价策略 [J]. 运筹与管理, 2020, 29 (10): 11-20.

[21] 侯福均, 翟玉冰, 胡玉生. 竞争环境下考虑顾客惰性行为的易逝品动态定价 [J]. 运筹与管理, 2020, 29 (9): 179-185.

[22] 李豪, 熊雪霞, 许浩楠. 基于折线竞争模式的易逝品双渠道定价策略 [J]. 系统工程, 2020, 38

(2): 60-68.

[23] 官振中, 刘广宁, 王桦. 考虑模仿产品竞争的定价策略选择 [J]. 工业工程与管理, 2020, 25 (6): 100-108.

[24] 杨爱峰, 詹倩颖, 宋明珠. 授权模式下再制造生产和回收定价竞争策略 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2020, 43 (1): 129-136.

[25] 姚锋敏, 刘珊, 滕春贤. 两零售商竞争下第三方回收闭环供应链的决策及协调 [J]. 运筹与管理, 2021, 30 (3): 83-89.

[26] NI G, LUO L, XU Y, et al. Optimal online markdown and markup pricing policies with demand uncertainty [J]. Information processing letters, 2015, 115 (11): 804-811.

[27] SAYARSHAD H R, GAO H O. A scalable non-myopic dynamic dial-a-ride and pricing problem for competitive on-demand mobility systems [J]. Transportation research part c: emerging technologies, 2018, 91: 192-208.

[28] CHEN W, LIU H, XU D. Dynamic pricing strategies for perishable product in a competitive multi-agent retailers market [J]. Journal of artificial societies and social simulation, 2018, 21 (2).

[29] 王文杰, 孙中苗, 徐琪, 等. 随机需求下考虑服务商竞争的众包物流动态定价策略 [J]. 工业工程与管理, 2018, 23 (2): 114-121.

[30] 孙中苗, 徐琪. 随机需求下考虑不同竞争情形的网约车平台动态定价 [J]. 中国管理科学, 2021, 29 (1): 138-148.

[31] 孙中苗. 共享经济下的众包物流动态定价研究 [D]. 上海: 东华大学, 2018.

Research on Pricing Strategy of Crowdsourcing Express Platform Considering Competitive Factors under Stochastic Demand

PANG Jian-gang, TANG Zheng-min, YAN Qiang, ZHENG Wen-xin

(1. School of Economics and Management, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010;

2. Gansu Dayu Irrigation Group Hydraulic and Hydropower Engineering Co., Ltd., Jiuquan, Gansu 735000)

Abstract: Accompanied by the rapid development of the “sharing economy” model, the crowdsourcing courier model has emerged. In this context, in view of the random and fluctuating changes in the demand of the crowdsourcing courier platform, and considering the competition between crowdsourcing courier platforms, based on the theory of Gounod’s competitive game, on the basis of which, a dynamic pricing model considering the market demand and the market competition is set up, and the optimal price is solved by using the calculus of variations method. The following conclusion is drawn: Due to the change of market demand, the optimal service price of crowdsourcing courier platform will change dynamically, and also affected by the competition between platforms, the optimal service price will change with the change of competition intensity between platforms.

Keywords: crowdsourced courier platform; dynamic pricing; stochastic demand; platform competition; optimal control theory