P2P网络借贷市场的双边拍卖机制设计

周正龙^{1,2†}, 马本江¹, 胡凤英¹

(1. 中南大学 商学院, 长沙 410083; 2. 华中师范大学 信息管理学院, 武汉 430079)

摘要: 针对P2P网络借贷交易的双边市场特征,提出一种P2P网络借贷的双边拍卖机制,用于改进国内P2P网络借贷市场的交易机制. 首先,证明P2P网络借贷的双边拍卖机制满足激励相容特征,并且存在纳什均衡解. 然后,根据该机制定价函数中的激励或惩罚系数,探讨借款人和贷款人的最优拍卖策略,并提供不同情形下的最优定价方案. 最后,结合算例分析指出,该机制的定价随着激励或惩罚系数的变化而变化,可以向Prosper拍卖机制或拍拍贷撮合机制转变,并且在不影响机制最优性的前提下,可以调整激励或惩罚系数来改进借款人的支付成本;不同的借款人也可以根据自己对借款需求的紧迫性,自由选择不同情形下的拍卖机制.

关键词: 互联网金融; 双边拍卖; 机制设计; 拍卖策略; 最优定价; P2P网络借贷市场

中图分类号: F830; F724.59

文献标志码: A

Bilateral auction mechanism design in online peer-to-peer lending market

ZHOU Zheng-long^{1,2†}, MA Ben-jiang¹, HU Feng-ying¹

(1. Business School, Central South University, Changsha 410083, China; 2. School of Information Management, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Based on the bilateral market characteristics of online peer-to-peer (P2P) lending, this paper proposes a bilateral auction mechanism in order to optimize the operating mode of China's online P2P lending market. In the process, the paper firstly demonstrates the incentive compatibility features of this auction mechanism, and demonstrates the Nash equilibrium of the mechanism. Then, according to the incentive or punishment coefficient of the pricing function in this mechanism, this paper explores the optimal auction strategy of borrowers and lenders, and offers the best pricing under different scenarios. Finally, the example analysis shows that different incentive or punishment coefficients can change the mechanism to the Prosper auction mechanism or PPDai mechanism, and the payment level of the mechanism changes with the incentive or punishment coefficient. Therefore, without affecting the optimality of the mechanism, the incentive or punishment coefficient can be adjusted to improve the borrower's payment cost. According to the urgency of the demand for loans, different borrowers can freely choose the auction mechanism under different scenarios.

Keywords: internet finance; bilateral auction; mechanism design; auction strategy; optimal pricing; online peer-to-peer lending market

0 引言

面对国内不成熟的征信体系、监管体制以及投资理念,单纯借鉴类似Prosper、Lending Club等平台的纯线上交易机制并不是解决中国P2P网络借贷问题最合适的方式.加之在信息不对称的环境下,国内P2P网络借贷常常存在贷款人(即资金的提供者)和借款人(即资金的需求者)之间的套利行为(即借入后再借出进行投资以获得利息差)、P2P平台商之间的暗箱操作(即P2P借贷变为P2P后台自动运行)等影

响市场运行的不良行为,因此,有必要研究中国P2P网络借贷市场的交易机制,并提供一些改进方案.

目前,国外文献的研究主要集中于信用风险评估、借款人和贷款人行为等相关问题^[1-6].例如,Guo等^[1]对不同跨度的贷款资金进行分析,并建模评估每笔贷款的信用风险问题;Liu等^[3]对贷款人和借款人的行为进行分析,发现贷款人和借款人存在羊群效应、聚集效应和菱镜效应等现象.同样地,国内文献也主要侧重于拍拍贷的纯线上模式、陆金所的线下项

收稿日期: 2017-09-04; 修回日期: 2018-01-03.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71372061); 湖南省自然科学基金项目(14JJ2017); 中南大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(2017zzts043, 2017zzts050).

作者简介: 周正龙(1989-),男,博士,讲师,从事金融工程、电子商务与物流工程的研究; 马本江(1972-),男,教授,博士生导师,从事保险契约设计、拍卖机制设计等研究.

†通讯作者. E-mail: zzlong520221@163.com.

目-线上成交模式、宜信的债权转让交易机制的研究,进而使得国内P2P行业问题更多侧重于风险控制、信用认证、法律监管等问题^[7-9]。例如,陈冬宇等^[7]基于拍拍贷注册用户的实证研究指出,贷款的意愿主要受到信任机制的影响,同时贷款人的感知风险会影响到交易过程中的信任机制,而信任机制又受到借款人的社会资本等的显著影响。进一步地,不完善的交易体系或交易机制在涉及法律问题的同时,也会影响潜在贷款人的不安全感 and 交易信心,以及会阻碍网络借贷市场的健康发展。仅有较少学者从拍卖的角度说明了竞标方式比文字描述能够更好地解决P2P借贷问题,竞标定价方式能够更好地披露借款人信息,激励借款人在还款过程中履行借款约定,有良好信誉记录的借款人更能够获得较低成本的借款^[10-11]。

拍卖是一种市场制度安排,是以一系列参与者的出价为基础来决定资源配置和交易改进价格的明确规则。通过一系列明确的规则可以改进一个市场的交易机制^[12]。另外,拍卖也可以用来提高资源配置效率,特别是在考虑信息不对称的环境下,拍卖可以提高资源的使用率,因此拍卖是资源配置和权利转让的有效方法^[13]。进一步地,在单边拍卖中,一方具有资源的垄断优势,另一方是交易的接受者,双方是不对称的,不能从真正意义上达到交易的公平和有效;而在双边拍卖中,双方失去了在单边拍卖中的相对优势和相对垄断性,双方的关系变成一种供给和需求的平等关系,随着竞争的增加和垄断的打破,激励交易参与者批露其真实信息,消除垄断方操纵市场的可能^[14]。因此,提出一种P2P网络借贷的双边拍卖机制,对中国P2P借贷平台的交易机制进行改进,以满足市场需求和监管机构要求。

相对于Prosper拍卖机制和拍拍贷撮合机制而言,所提机制最主要的特点是同时考虑了贷款人和借款人的报价,使得贷款人和借款人在一定程度上把握了借贷的自主权;同时,以合同的方式结束拍卖,体现了法律上的保护效用。因此,所提机制有利于保护贷款人的权益,也意味着贷款人和借款人在实际运用过程中更容易采取这种机制。进一步地,P2P网络借贷的双边拍卖机制提供了4种不同情形下的拍卖策略,因此不同借款人可以运用这个机制获得借款需求,也体现了这个机制在实际运行中具有较强的灵活性。综上所述,P2P网络借贷的双边拍卖机制对于改进和完善中国P2P网络借贷市场的交易机制具有重要的参考价值。

1 P2P网络借贷的双边拍卖机制

1.1 中国P2P平台交易机制分析

对于中国P2P网络借贷平台的交易机制而言,目前主要分为拍拍贷的纯线上机制、陆金所的线下项目-线上成交机制以及宜信的债权转让交易机制,但不同平台的交易机制相似。因此,这里以拍拍贷的纯线上机制为研究对象,比较中国P2P网络借贷平台交易机制与Prosper拍卖机制之间的差异性。通过拍拍贷官网提供的交易机制不难发现,拍拍贷平台的交易机制可以表述为:借款人给定一个借款需求 D ,并给定一个合适的借款利率或报价 P ,随后通过平台发布信息,向所有潜在的贷款人进行招标,假设这里有 n 个贷款人 $L_1, L_2, \dots, L_n$ 参与竞标,贷款人指标集合表示为 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 。贷款人 L_i 竞标的预算配额为 a_i , n 个贷款人 $L_1, L_2, \dots, L_n$ 的预算配额集合为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 。当所有贷款人通过平台进行投标并满足 $\sum_{i=1}^n a_i \geq D$ 时,宣布交易成功,借款人以借款利率或报价 P 提供支付,贷款人 L_i 获得 $(1 + P)a_i$ 的收益;否则,如果在指定时间段内没有满足 $\sum_{i=1}^n a_i \geq D$,则交易失败,形成流标。

这里不再单独对拍拍贷平台的交易机制进行理论分析,具体可以见文献[15]中4.2节的机制设计。综合而言,拍拍贷平台的交易机制属于简单的单向拍卖机制,即只考虑借款人报价的一种封闭式拍卖。这种机制最大的特点就是简单易行,但对应的缺陷也进一步表现出来,例如,这个交易机制的筹资效率不高,在实际运行中往往形成流标^[16]。因此,拍拍贷的机制虽然较为简单,但是贷款人和贷款人的交易模式不利于平台的长期发展。对此,尽管拍拍贷平台提供了各种自动投标计划以便提高借贷的成功率,然而根据《网络借贷信息中介机构业务活动管理暂行办法》^[17],第三方平台不得干涉借贷交易的过程,这对P2P网络借贷自动投标计划进行限制,所以如果依旧采取单边拍卖机制势必会长期影响借款人的筹资效率,也会影响整个市场的交易效率。

进一步地,对比Prosper拍卖机制和拍拍贷的交易机制得到,Prosper拍卖机制主要从贷款人的角度出发进行竞价拍卖^[11],而拍拍贷机制主要从借款人的角度出发进行竞价拍卖。在贷款人和贷款人之间的支付和收益方面,Prosper拍卖机制和拍拍贷机制存在一定的差异性,单纯借鉴类似Prosper等平台的拍卖机制不一定符合中国P2P网络借贷市场的发展,但是维持现有机制也不利于中国P2P网络借贷市场

的长期发展. 因此,有必要对中国P2P网络借贷平台的交易机制进行改进,包括借鉴Prosper平台的交易模式进一步提升机制的灵活性,同时加强中国P2P网络借贷的监控和法律保护. 例如,在达成交易之后生成借贷票据,既可以提高法律效力,又可以有效降低违约风险,并且将费用收取与借款人信用状况挂钩,建立与借款人信用状况相联系的收费机制. 接下来,从中国P2P网络借贷平台的交易机制出发,为借款人提供一种双边叫价的P2P网络借贷拍卖机制,用以改进中国P2P网络借贷市场的交易机制.

1.2 拍卖机制设计

在设计的双边叫价拍卖机制中,给每个贷款人的配额并不是最后进行,而是根据其余竞争贷款人的供给自行决定的^[15]. 下面用数学语言对双边叫价拍卖机制加以描述,这里先给出以下几点假设:

1) 假设在整个拍卖的过程中不存在借款人、贷款人以及P2P平台商的套利问题;

2) 假设P2P网络借贷平台能有效监管借贷行为,防止借贷双方以虚假身份进行交易;

3) 假设在拍卖结束之前,所有潜在的贷款人不知道其他贷款人提供的拍卖报价,但是知道其他贷款人的投标配额.

现设定借款人的借款需求为 D ,借款人给定的报价为 P ,这个价格对所有参与竞标的贷款人是事前密封的(这里定义 P 为密封价格,是为了保证借款人的预期收益不为零;假设 P 为事前公开价格,那么作为理性的贷款人,势必会选择对自己最优的报价,而所有的贷款人也势必会选择一样的定价策略,这样的结果就是最终定价大于 P ,使得借款人的最大化收益有可能为负值. 这对于借款人而言是没有意义的,所以这里的价格 P 只能以密封方式进行),满足 $P \in [\underline{P}, \bar{P}]$,并且假设 $[\underline{P}, \bar{P}]$ 是第三方平台事先规定的范围(这里需要指出,类似这样的范围假设 $[\underline{P}, \bar{P}]$ 在很多拍卖文献也可以找到,例如杨忠直等^[18]提出的随机最高限价拍卖的报价策略就是在最低保留价格的基础上设置最高限价的拍卖机制),属于借贷双方的共同知识. 这里拍卖价格 P 可以理解为,借款需求 D 在实际经营过程中预期得到的最小贴现率,这一贴现率就是资本边际效率,它表明一个投资项目的收益应按何种比例增长才能达到预期的收益,因此它也代表了借款人通过借款需求 D 进行投资而获得的最低利润率. 进一步假设有 n 个贷款人 $L_1, L_2, \dots, L_n$ 参与竞标,贷款人指标集合表示为 $N = \{1, 2, \dots, n\}$,贷款人 L_i 在规定时间内参与拍卖竞标的

报价和预算配额分别为 b_i 和 a_i ,其中 $b_i \in [\underline{P}, \bar{P}]$. 这样便可以得到, n 个贷款人 $L_1, L_2, \dots, L_n$ 在规定时间内段的报价集合和预算配额集合分别为 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 和 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$,其中满足任意的 $i = 1, 2, \dots, n$. 此外,规定借款人的借款需求 D 和配额 a_i 都是整数.

定义1 借款人向所有候选的贷款人宣布下面的规则,即借款人在某一个时间点上宣布一个借款合同 $\{D, V(P)\}$,即这个合同包含了借款需求 D 、借款人的密封报价 P 以及定价函数 $V(P)$ (当然,这个定价函数满足“小中取大、大中取小”的约束条件);任意的贷款人 L_i 从下一个时间点根据这个借款合同 $\{D, V(P)\}$ 报出愿意供给的配额和报价,随后第三方平台按照“小中取大、大中取小”的约束条件来确定最终拍卖价格 $\hat{V}$ 和有效借款配额 $\hat{A}$. 此时,如果在规定时间内得到的有效借款额 $\hat{A} \geq D$,则宣布拍卖结束,并公布借款人和所有中标贷款人的相关信息;否则,如果得到的有效借款额 $\hat{A} < D$,就以流标方式结束,配额 $\hat{A}$ 通过第三方平台退回贷款人,宣布拍卖结束. 将满足上述规则的拍卖称为P2P网络借贷的双边拍卖机制(简称BAM机制).

宣布这个规则后,借款人按如下过程执行这个合同机制:

1) 借款人设定具体的投标时间 T ,并在 t_0 时刻宣布一个借款合同 $\{D, V(P)\}$ 至指定的第三方平台,其中定价函数 $V(P) = b_i + \lambda(P - b_i)$,并且满足“小中取大、大中取小”的约束条件,即对所有 $b_i \leq P$ 的贷款人,取最大报价的贷款人为这类贷款人的有效报价;对所有 $b_i > P$ 的贷款人,取最小报价的贷款人为这类贷款人的有效报价. 其中, λ 可以表示为激励或惩罚系数,满足 $\lambda \geq 0$,是借款人根据借款的紧迫性事前设定的,属于所有参与竞标的贷款人的共同知识.

2) 所有的贷款人被邀请或自愿参加拍卖. 如果在时间 $[t_0 + 1, T]$ 内没有贷款人愿意报出任意的配额 a_i 和报价 b_i ,则这个拍卖机制结束,没有发生交易;否则,在拍卖给定最终定价 $\hat{V}$ 时,中标贷款人获得借款人提供的合同 $\{a_i, \hat{V}\}$.

3) 当到达投标时间 T 时,如果所有成功竞拍的贷款人提供的有效借款额 $\hat{A} \geq D$,就以成功方式宣布拍卖结束,借款人提供给每个中标贷款人相应的合同 $\{a_i, \hat{V}\}$,并附上其他相关的材料,包括还款期、还款方式等;如果所有成功竞拍的贷款人提供的有效借款额 $\hat{A} < D$,就以流标方式结束拍卖.

为了清晰地理解这个机制,先给出如下的定义.

定义2 给定任意时间点 ξ ,如果 $\xi \in [t_0 + 1, T]$ 内有贷款人参与BAM机制,且愿意报出供给的配额 a_i ,满足 $k = \min \left\{ j \left| \sum_{i=1}^j a_i \geq D \right. \right\}$,则当 $i < k$ 时,贷款人 L_i 在规定时间内配额为 $x_i = a_i$,贷款人 L_k 的配额为 $x_k = D - \sum_{i=1}^{k-1} a_i$;当 $i > k$ 时,贷款人 L_i 在规定时间内配额为 $x_i = 0$,这时称 L_k 为最后一个成功的贷款人,称 L_{k+1} 为最早一个失败的贷款人.

定义3 给定 k 个贷款人成功参与BAM机制,且报价集合为 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$,如果满足 $\max_{1 \leq i \leq k} \{b_i\} \leq P$,则定价函数为

$$\hat{V} = \max_{1 \leq i \leq k} \{b_i\} + \lambda(P - \max_{1 \leq i \leq k} \{b_i\});$$

如果满足 $\max_{1 \leq i \leq k} \{b_i\} > P$,则定价函数为

$$\hat{V} = \min_{1 \leq i \leq k} \{b_i\} + \lambda(P - \min_{1 \leq i \leq k} \{b_i\});$$

如果满足 j 个贷款人的报价小于或等于 P , $k - j$ 个贷款人的报价大于 P 时($1 \leq j \leq k$),定价函数为

$$\hat{V} = \begin{cases} \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda(P - \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\}), \\ \min_{j < i \leq k} \{b_i\} + \lambda(P - \min_{j < i \leq k} \{b_i\}). \end{cases} \quad (1)$$

得到最后一个成功的贷款人和定价函数之后,可以进一步通过如下命题来说明BAM机制的激励相容特征.

命题1 对于定义1中的任意BAM机制,如果在规定时间段 $[t_0 + 1, T]$ 内满足 k 个贷款人成功参与竞标,即 $\sum_{i=1}^k a_i \geq D$,则BAM机制满足激励相容特征.

证明 在给定一个借款合同 $\{D, V(P)\}$ 的情境下,满足借款人的借款需求 D 保持不变,而贷款人 L_i 根据 $V(P) = b_i + \lambda(P - b_i)$ 提供相应的报价 b_i 和供给配额 a_i .因此在拍卖截止时间 T 处,所有成功的贷款人的配额与借款人的需求刚好匹配,达到均衡状态,满足 $\hat{A} = \sum_{i=1}^k a_i = D$ 成立(这里设定 L_k 是最后一个成功的中标人).这时得到均衡状态时的价格如式(1)所示,且贷款人 L_i 的成交配额可以表示为

$$C_i = \begin{cases} 0, & i > k; \\ D - \sum_{i=1}^{k-1} a_i, & i \leq k. \end{cases} \quad (2)$$

进一步地,按照BAM机制的支付规则,可以得到贷款人 L_i 在提供真实报价和真实投标下的总收益,具体如下式所示:

$$Y_i(\hat{V}, x_i) = Y_i(\hat{V}, a_i) =$$

$$\begin{aligned} \hat{V}C_i &= \hat{V} \left[D - \sum_{i=1}^{k-1} a_i \right] = \\ & \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda(P - \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\}) \sum_{i=1}^j a_i + \min_{j < i \leq k} \{b_i\} + \\ & \lambda(P - \min_{j < i \leq k} \{b_i\}) \sum_{i=j+1}^k a_i - \hat{V} \sum_{i=1}^{k-1} a_i. \end{aligned} \quad (3)$$

于是,得到 L_i 在真实投标下的转移支付为

$$\begin{aligned} \hat{V} \sum_{i=1}^{k-1} a_i &= \\ & \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda(P - \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\}) \sum_{i=1}^j a_i + \\ & \min_{j < i \leq k} \{b_i\} + \lambda(P - \min_{j < i \leq k} \{b_i\}) \sum_{i=j+1}^k a_i - Y_i(\hat{V}, a_i). \end{aligned} \quad (4)$$

由式(4)得到,BAM机制给予贷款人 L_i 的转移支付(或是信息租金)等于VCG机制中的转移支付,亦即给予了每个参与贷款人所产生的社会外部性价值^[15].因此,BAM机制可以通过VCG转移支付实施了一个VCG结果,满足激励相容性,证明成立. □

命题2 对于定义1中的任意BAM机制,如果在规定时间段 $[t_0 + 1, T]$ 内满足 k 个贷款人成功参与竞标,即 $\sum_{i=1}^k a_i \geq D$,则所有成功贷款人的真实报价 $\hat{B} = \{b_1^*, b_2^*, \dots, b_k^*\}$ 和真实配额 $\hat{A} = \{a_1^*, a_2^*, \dots, a_k^*\}$ 构成纳什均衡解.

证明 由BAM机制的执行过程可知,当贷款人 L_i 单方面增加报价 b_i 时,当前的报价序列就会演变为 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ 中最后一个成功的贷款人,这里将 L_k 定义为 B 中最后一个成功的贷款人.这说明在重复增加报价后没有贷款人可以获得更多的效用,这时贷款人 L_k 在所有成功贷款人中的报价不可能高于 b_k ,否则他的配额将为0.因此,贷款人 L_k 只会按照自己的真实报价开始执行,并且仅仅所有成功参与人能增加报价,所有成功的贷款人均能提供贷款.进一步地,贷款人 L_k 是最后一个增加报价的贷款人,因此,贷款人 L_k 不可能通过降低报价获得更多的效用,这时的真实报价序列 $\hat{B} = \{b_1^*, b_2^*, \dots, b_k^*\}$ 就构成一个纳什均衡解.

进一步地,贷款人 L_i 的收益函数 $Y_i(\hat{V}, x_i)$ 是关于贷款人配额 x_i 和拍卖定价 $\hat{V}$ 的严格凸函数.这时,定义所有贷款人的预算配额集合为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$,以及贷款人 L_i 在规定时间内 $[t_0 + 1, T]$ 内竞拍的预算配额为 a_i ,满足 $a_i \in A$.同理,定义所有贷款人的真实配额集合为 $\hat{A} = \{a_1^*, a_2^*, \dots, a_k^*\}$,以及贷

款人 L_i 在规定时间内 $[t_0 + 1, T]$ 内竞拍的实际配额为 a_i^* , 满足 $a_i^* \in \hat{A}$. 由于在 BAM 机制中贷款人的预算配额是他们在竞拍前的配额规划, 所以在拍卖过程中贷款人的预算配额是随机提供的, 那么预算配额集合 A 中一定包含真实配额集合 $\hat{A}$, 满足 $A = \hat{A} = \{a_1^*, a_2^*, \dots, a_k^*\}$. 这时, 对于任意理性的贷款人 L_i 而言, 会通过 P2P 平台实现收益函数 $Y_i(\hat{V}, x_i)$ 的最大化. 这时, 根据式 (3) 得到 BAM 机制的分配问题如下所示:

$$\begin{aligned} & \max_{x_i} \sum_{i=1}^k Y_i(\hat{V}, x_i); \\ & \text{s.t. } \sum_{i=1}^k x_i \geq D, \\ & \hat{V} = \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda(P - \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\}), \\ & \hat{V} = \min_{j < i \leq k} \{b_i\} + \lambda(P - \min_{j < i \leq k} \{b_i\}). \end{aligned} \quad (5)$$

如果贷款人 L_i 以预算配额 a_i 参与竞拍, 可解得

$$\begin{aligned} x_i &= \arg \max_{E(a_i) \geq D} \sum_{i=1}^k Y_i(\hat{V}, a_i), \\ E(a_i) &= \sum_{i=1}^k a_i. \end{aligned} \quad (6)$$

如果贷款人 L_i 以真实预算 a_i^* 参与竞拍, 可解得

$$\begin{aligned} x_i^* &= \arg \max_{E(a_i^*) \geq D} \sum_{i=1}^k Y_i(\hat{V}, a_i^*), \\ E(a_i^*) &= \sum_{i=1}^k a_i^*. \end{aligned} \quad (7)$$

将上述两个式子分别代入目标函数再相减得到

$$\begin{aligned} \Delta[Y_i(\hat{V}, x_i)] &= \\ & \left[\hat{V} \sum_{i=1}^{k-1} x_i^* \right] - \left[\hat{V} \sum_{i=1}^{k-1} x_i \right] = \\ & [(1 - \lambda) \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda P] \left[\sum_{i=1}^j x_i^* - \sum_{i=1}^j x_i \right] + \\ & \left[(1 - \lambda) \min_{j < i \leq k} \{b_i\} + \lambda P \right] \left[\sum_{i=j+1}^{k-1} x_i^* - \sum_{i=j+1}^{k-1} x_i \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

由前面的假设可知, 上式为一个凸优化问题, 因此存在唯一的最优解, 即 x_i^* 是该最优化问题唯一的最优解. 因此得到 $\Delta[Y_i(\hat{V}, x_i)] \geq 0, \forall a_i \neq a_i^*, a_i \in A$. 类似可证, 对于所有贷款人对上述结论都成立, 此时说明所有贷款人均有占优策略, 因此该机制满足占优策略特征, 说明对于任意的贷款人 L_i , 满足 $Y_i(\hat{V}, a_i^*) \geq Y_i(\hat{V}, a_i)$, 那么根据纳什均衡的定义得到 a_i^* 是该博弈的纳什均衡, 最终得到 $\hat{A} = \{a_1^*, a_2^*, \dots, a_k^*\}$

是整个机制运行的纳什均衡解, 并且该纳什均衡解是个纯的纳什均衡解, 用反证法易验证其唯一性, 证明成立. $\square$

2 拍卖策略分析

结合以上分析, 进一步探讨 BAM 机制的拍卖策略, 即所有贷款人事前不知道借款人具体价格的情形下所进行的拍卖策略, 包括借款人的最低竞价策略和贷款人的最高竞价策略. 为了研究方便, 这里需要根据定价函数 $V(P) = b_i + \lambda(P - b_i)$ 中的激励或惩罚系数 λ 来确定不同情形下的拍卖策略.

情况 1 当 $\lambda = 0$ 时, 借款人和所有成功贷款人的最优拍卖策略均以 $\bar{P}$ 的报价参与拍卖, 并且获得最优定价为 $\hat{V} = \bar{P}$, 满足 $\bar{P} = \min_{j < i \leq k} \{b_i\}$.

当 $\lambda = 0$ 时, $V(P) = b_i + \lambda(P - b_i) = b_i$, 说明这种情形下的拍卖策略完全取决于所有贷款人的报价. 因此, 对于所有理性的贷款人而言, 选择以 $\bar{P}$ 的报价参与拍卖无疑是最优的. 这是因为, 当 $\lambda = 0$ 时, 对于所有小于等于借款人报价 P 的贷款人而言, 最终定价为 $\max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\}$; 对于所有大于借款人报价 P 的贷款人而言, 最终定价为 $\min_{j < i \leq k} \{b_i\}$, 满足 $\max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} \leq \min_{j < i \leq k} \{b_i\}$. 因此, 取 $\min_{j < i \leq k} \{b_i\} = \bar{P}$ 时, 贷款人获得局部最优的报价, 这样就可以进一步得到最终的定价为 $\hat{V} = \bar{P}$. 进一步地, 借款人在设定 $\lambda = 0$ 时也已经预想到所有成功贷款人的拍卖策略是以 $\bar{P}$ 的报价参与拍卖, 所以借款人的最佳响应策略也将是以 $\bar{P}$ 的报价参与拍卖, 这样可以有效规避期望损失. 此外, 值得关注的是, $\lambda = 0$ 情形下的策略类似于 Prosper 拍卖机制的拍卖策略, 即由贷款人竞价决定最终的交易利率. 由此可见, 当 λ 被 0 替代, $\min_{j < i \leq k} \{b_i\}$ 被 0 替代 (对于 $i = j + 1, j + 2, \dots, k, b_i > P$) 时, Prosper 拍卖机制是 BAM 机制的一个特例.

情况 2 当 $\lambda = 1$ 时, 所有成功贷款人的最优拍卖策略是以 $\underline{P}$ 的报价参与拍卖, 并且这个报价是借款人提供的, 因此最优定价为 $\hat{V} = \underline{P}$.

当 $\lambda = 1$ 时, $\hat{V} = b_i + \lambda(P - b_i) = P$, 说明这时的拍卖策略取决于借款人的报价 P , 与贷款人的报价无关. 进一步地, 按照式 (1) 的解释意义不难得到, 不管所有贷款人的报价是小于等于借款人报价还是大于借款人报价, 拍卖的最终定价为 P , 满足 $P \in [\underline{P}, \bar{P}]$. 此时, $\lambda = 1$ 情形下的策略等价于拍拍贷撮合机制的策略, 即借款人给定一个借款需求 D , 并提供一个 $P \in [\underline{P}, \bar{P}]$ 的最小值, 随后通过平台发布信息. 所有潜在的贷款人以报价 $\underline{P}$ 参与竞标, 并且不

再提供任何报价. 如果最后交易成功, 借款人以借款利率或报价 $\underline{P}$ 提供相应的支付(具体参见1.1节的论述). 进一步得到, 拍拍贷撮合机制也是BAM机制的一个特例, 即 λ 被1替代.

情况3 当 $0 < \lambda < 1$ 时, 所有成功贷款人的最优拍卖策略是以 $\bar{P}$ 的报价参与拍卖, 借款人的最优拍卖策略是以 $\underline{P}$ 的报价参与拍卖, 并且获得最优定价为 $\hat{V} = \bar{P} + \lambda(\underline{P} - \bar{P})$.

根据式(1)得到, $0 < \lambda < 1$ 情形下的拍卖策略主要取决于借款人和贷款人报价组合 $\{P, b_i\}$, 并且满足 $P \in [\underline{P}, \bar{P}]$. 进一步地, 当借款人和贷款人报价组合 $\{P, b_i\}$ 取任意数值时, 不难得到, $\max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda(P - \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\}) \leq \min_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda(P - \min_{1 \leq i \leq j} \{b_i\})$. 由此可见, 对于理性的贷款人而言, 选择一个大于借款人报价的策略无疑是占优的, 但是具体的策略也需要依赖于借款人的报价, 所以在无法确定借款人报价的前提下, 贷款人选择 $\bar{P}$ 是局部最优的. 因为 $\hat{V} = \min_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda(P - \min_{1 \leq i \leq j} \{b_i\})$ 是一个增函数, 因此取 $\min_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} = \bar{P}$ 时, 贷款人获得局部最优的定价. 这样, 就可以得到最终定价为 $\hat{V} = \bar{P} + \lambda(\underline{P} - \bar{P})$. 进一步地, 借款人在设定 $0 < \lambda < 1$ 时也已经预想到所有成功贷款人的拍卖策略是以 $\bar{P}$ 的报价参与拍卖, 所以借款人的最佳响应策略也是以 $\underline{P}$ 的报价参与拍卖, 因为 $\hat{V} = \bar{P} + \lambda(\underline{P} - \bar{P})$ 关于报价 P 是一个增函数, 因此取 $P = \underline{P}$ 时, 借款人能够获得局部最优的定价.

情况4 当 $\lambda > 1$ 时, 借款人和所有成功贷款人的最优拍卖策略是以 $\underline{P}$ 的报价参与拍卖, 并且获得最优定价为 $\hat{V} = \underline{P}$.

同理, 根据式(1)得到 $\lambda > 1$ 情形下的拍卖策略主要取决于借款人和贷款人报价组合 $\{P, b_i\}$, 并且满足 $P \in [\underline{P}, \bar{P}]$. 但是当 $\{P, b_i\}$ 取任意值时, 容易得到 $\max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda(P - \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\}) \geq \min_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda(P - \min_{1 \leq i \leq j} \{b_i\})$. 由此可见, 对于理性的贷款人而言, 选择一个小于或等于借款人报价的策略无疑是占优的, 但是具体的策略也需要依赖于借款人的报价, 所以在无法确定借款人相关报价信息的前提下, 贷款人选择 $\underline{P}$ 是局部最优的. 这是因为 $\hat{V} = \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} + \lambda(P - \max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\})$ 是一个减函数, 因此取 $\max_{1 \leq i \leq j} \{b_i\} = \underline{P}$ 时, 贷款人获得局部最优的报价, 这样就可以进一步得到最终的定价为 $\hat{V} = \underline{P} + \lambda(\underline{P} - \underline{P})$. 进一步地, 借款人在设定 $\lambda > 1$ 时也已经预想到所有成功贷款人的拍卖策略是以 $\underline{P}$ 的报价参与拍卖, 所以借款人的最佳响应策略也是以 $\underline{P}$ 的报价参与拍卖, 因为

$\hat{V} = \underline{P} + \lambda(\underline{P} - \underline{P})$ 关于报价 P 是一个增函数, 所以取 $P = \underline{P}$ 时, 借款人能获得局部最优的定价.

结合情形1~情形4的分析, 给出如下命题.

命题3 在所有贷款人事前不知道借款人具体拍卖价格的情形下, 当 $\lambda = 0$ 时, 借款人和所有成功贷款人的最优拍卖策略均以 $\bar{P}$ 的报价参与拍卖, 并且获得最优定价为 $\hat{V} = \bar{P}$, 满足 $\bar{P} = \min_{j < i \leq k} \{b_i\}$; 当 $\lambda = 1$ 时, 所有成功贷款人的最优拍卖策略是以借款人 $\underline{P}$ 的报价参与拍卖, 获得的最优定价为 $\hat{V} = \underline{P}$; 当 $0 < \lambda < 1$ 时, 所有成功贷款人的最优拍卖策略是以 $\bar{P}$ 的报价参与拍卖, 借款人的最优拍卖策略是以 $\underline{P}$ 的报价参与拍卖, 获得的最优定价为 $\hat{V} = \bar{P} + \lambda(\underline{P} - \bar{P})$; 当 $\lambda > 1$ 时, 借款人和所有成功贷款人的最优拍卖策略是以 $\underline{P}$ 的报价参与拍卖, 获得的最优定价为 $\hat{V} = \underline{P}$.

命题3的详细证明参见情形1~情形4的分析过程. 值得注意的是, 情形1~情形4的分析主要是完美定价的状态. 在实际的运行过程中, 借款人需要根据借款需求的紧迫性和预期经营项目的利润率适当提高具体的报价, 以增加密封报价的随机性; 同时, 牺牲部分收益以获得密封报价随机性的行为也有利于保持BAM机制的双边叫价特征, 有利于保持贷款人之间的相对独立性, 而不至于产生借贷双方的套利交易行为. 这里所谓的套利交易是指借款人或贷款人从一家P2P平台借入资金后转向另一家P2P平台借出该资金, 以期在不同底价之间获得利息差的经济行为. 关于借贷双方的套利交易行为可以引用 Kyle 噪音交易者概念、Shleifer 套利代理模型来加以说明^[19-20]. 除此之外, 在实际运行过程中, 也会存在非理性的贷款人成功参与BAM机制, 并且发生这种情况也是很常见的. 因此, 尽管理性贷款人采取最优拍卖策略, 拍卖的最终定价也会受到非理性贷款人的影响. 当然, 对于第三方平台而言, 也需要做好监管工作, 以防止借款人模仿贷款人的行为, 这也是在建模分析时提出3个基本假设的主要原因.

3 算例分析与比较

下面, 提供数值算例来说明BAM机制的拍卖过程. 其中, 算例分析考虑了非理性贷款人的行为, 所以大部分贷款人的报价和投标配额是不相同的. 首先设定投标时间 $T = 30$ (天), 且在 $t_0 = 1$ (天)内宣布一个借款合同 $\{3000, V(P)\}$ 至指定P2P平台, 其中定价函数 $V(P) = b_i + \lambda(P - b_i)$, $D = 3000$ (元), 借款人的密封价格 $P = 0.1$, 满足 $P \in [0.05, 0.15]$, 定价函数满足“小中取大、大中取小”的约束条件. 随后,

具有闲置资金的所有贷款人进入指定P2P平台参加这个合同拍卖,且在时间段[2, 30]内有50个贷款人提供各自的配额 a_i 和报价 b_i .进一步地,在整个拍卖结束时获得所有成功参与的贷款人数为30(人),分别为 $L_1, L_2, \dots, L_{30}$,对应的配额和报价集合如表1所示,其中 L_{30} 为最后一个成功的贷款人.

表1 所有成功贷款人的配额和报价

序号	配额 a_i	报价 b_i	序号	配额 a_i	报价 b_i
L_1	100	0.05	L_{16}	70	0.08
L_2	90	0.06	L_{17}	90	0.07
L_3	110	0.08	L_{18}	90	0.15
L_4	50	0.05	L_{19}	110	0.15
L_5	150	0.15	L_{20}	100	0.13
L_6	100	0.15	L_{21}	120	0.13
L_7	70	0.13	L_{22}	130	0.14
L_8	80	0.13	L_{23}	150	0.15
L_9	120	0.14	L_{24}	90	0.05
L_{10}	110	0.05	L_{25}	120	0.06
L_{11}	50	0.06	L_{26}	140	0.07
L_{12}	100	0.08	L_{27}	140	0.08
L_{13}	60	0.08	L_{28}	80	0.05
L_{14}	70	0.05	L_{29}	120	0.15
L_{15}	90	0.05	L_{30}	100	0.15

当 $T = 30$ (天)时,如果所有成功投标的贷款人提供的有效配额 $\hat{A} = 3000 = D$,则以成功方式宣布拍卖结束,借款人提供给每个中标贷款人相应的合同 $\{a_i, \hat{V}\}$,并附上其他相关的材料,包括还款的期限、还款的方式等.下面,针对 λ 的不同取值可以确定不同情形下的定价方案.

当 $\lambda = 0$ 时,根据情形1分析得到最终定价为

$$\hat{V} = \begin{cases} 0.08, & i \in [1, 17]; \\ 0.13, & i \in [18, 30]. \end{cases} \quad (9)$$

当 $\lambda = 1$ 时,根据情形2分析得到最终定价为

$$\hat{V} = \begin{cases} 0.10, & i \in [1, 17]; \\ 0.10, & i \in [18, 30]. \end{cases} \quad (10)$$

当 $0 < \lambda < 1$ (取 $\lambda = 0.5$)时,根据情形3分析得到最终定价为

$$\hat{V} = \begin{cases} 0.08 + 0.5(P - 0.08), & i \in [1, 17]; \\ 0.13 + 0.5(P - 0.13), & i \in [18, 30]. \end{cases} \quad (11)$$

当 $\lambda > 1$ (取 $\lambda = 2$)时,根据情形4分析得到最终定价为

$$\hat{V} = \begin{cases} 0.08 + 2(P - 0.08), & i \in [1, 17]; \\ 0.13 + 2(P - 0.13), & i \in [18, 30]. \end{cases} \quad (12)$$

按照式(3),借款人给各个贷款人 L_i 的支付为

$$PAI_i = (1 + \hat{V})C_i = (1 + \hat{V})a_i. \quad (13)$$

最终,结合式(9)~(13)分别计算出情形1~情形4的不同支付计划结果,具体如表2~表5所示.

表2 $\lambda = 0$ 情形下借款人的支付计划表

序号	PAI $_i$	序号	PAI $_i$	序号	PAI $_i$
L_1	108	L_{11}	54	L_{21}	135.6
L_2	97.2	L_{12}	108	L_{22}	146.9
L_3	118.8	L_{13}	64.8	L_{23}	169.5
L_4	54	L_{14}	75.6	L_{24}	97.2
L_5	169.5	L_{15}	97.2	L_{25}	129.6
L_6	113	L_{16}	75.6	L_{26}	151.2
L_7	79.1	L_{17}	97.2	L_{27}	151.2
L_8	90.4	L_{18}	101.7	L_{28}	86.4
L_9	135.6	L_{19}	124.3	L_{29}	135.6
L_{10}	118.8	L_{20}	113	L_{30}	113

表3 $\lambda = 1$ 情形下借款人的支付计划表

序号	PAI $_i$	序号	PAI $_i$	序号	PAI $_i$
L_1	110	L_{11}	55	L_{21}	132
L_2	99	L_{12}	110	L_{22}	143
L_3	121	L_{13}	66	L_{23}	165
L_4	55	L_{14}	77	L_{24}	99
L_5	165	L_{15}	99	L_{25}	132
L_6	110	L_{16}	77	L_{26}	154
L_7	77	L_{17}	99	L_{27}	154
L_8	88	L_{18}	99	L_{28}	88
L_9	132	L_{19}	121	L_{29}	132
L_{10}	121	L_{20}	110	L_{30}	110

表4 $0 < \lambda < 1$ 情形下借款人的支付计划表

序号	PAI $_i$	序号	PAI $_i$	序号	PAI $_i$
L_1	109	L_{11}	54.4	L_{21}	133.8
L_2	98.1	L_{12}	109	L_{22}	144.95
L_3	119.9	L_{13}	65.4	L_{23}	167.25
L_4	54.4	L_{14}	76.3	L_{24}	98.1
L_5	167.25	L_{15}	98.1	L_{25}	130.8
L_6	111.5	L_{16}	76.3	L_{26}	152.6
L_7	78.05	L_{17}	98.1	L_{27}	152.6
L_8	89.2	L_{18}	100.35	L_{28}	87.2
L_9	133.8	L_{19}	112.65	L_{29}	133.8
L_{10}	119.9	L_{20}	111.5	L_{30}	111.5

表5 $\lambda > 1$ 情形下借款人的支付计划表

序号	PAI $_i$	序号	PAI $_i$	序号	PAI $_i$
L_1	112	L_{11}	56	L_{21}	128.4
L_2	100.8	L_{12}	112	L_{22}	139.1
L_3	123.2	L_{13}	67.2	L_{23}	160.5
L_4	56	L_{14}	78.4	L_{24}	100.8
L_5	160.5	L_{15}	100.8	L_{25}	134.4
L_6	107	L_{16}	78.4	L_{26}	156.8
L_7	74.9	L_{17}	100.8	L_{27}	156.8
L_8	85.6	L_{18}	96.3	L_{28}	89.6
L_9	128.4	L_{19}	117.7	L_{29}	128.4
L_{10}	123.2	L_{20}	107	L_{30}	107

结果显示,不管 λ 取何值,表2~表5的结果只是所有成功贷款人的纳什均衡策略,并非最优策略。例如,在表2所示的 $\lambda = 0$ 情形以及表4所示的 $0 < \lambda < 1$ 情形下,所有成功贷款人的最优策略是以 $b_i = 0.15$ 的报价参与拍卖,并获得最大化收益 $PAI_i = (1 + 0.15)a_i$,其中的0.15是根据双方的最新叫价得到的定价。但是这样并不能保证 $L_1, L_2, \dots, L_{30}$ 都能获得成功的拍卖机会,所以出于局部最优考虑,所有潜在的贷款人不会采取最优策略,类似于囚徒困境,局中人只会选择纳什均衡策略。类似地,在表5所示的 $\lambda > 1$ 情形下,所有成功贷款人的最优策略是以 $b_i = 0.05$ 的报价参与拍卖,并获得最大化收益 $PAI_i = (1 + 0.05)a_i$ 。同理,这样的结果并不能保证 $L_1, L_2, \dots, L_{30}$ 都能获得成功的拍卖机会,所以出于局部最优考虑,所有潜在的贷款人不会采取最优策略,而只会选择纳什均衡策略。最后,在表3所示的 $\lambda = 1$ 情形下,所有成功贷款人是根据借款人的报价来确定最优策略,等价于拍拍贷机制,所以这里不再进行讨论。

更为有趣的是,根据表2~表5的支付计划表,可以计算出借款人的总支付,如下所示:

$$\left\{ \begin{array}{l} PAI_{\lambda=0} = \sum_{i=1}^{30} PAI_i = 3312, \\ PAI_{\lambda=1} = \sum_{i=1}^{30} PAI_i = 3300, \\ PAI_{0<\lambda<1} = \sum_{i=1}^{30} PAI_i = 3296, \\ PAI_{\lambda>1} = \sum_{i=1}^{30} PAI_i = 3288. \end{array} \right. \quad (14)$$

由式(14)进一步得到, $PAI_{\lambda>1} < PAI_{0<\lambda<1} < PAI_{\lambda=1} < PAI_{\lambda=0}$ 。这说明, $\lambda = 0$ 情形的算例结果给贷款人的收益值最大,其次是 $\lambda = 1$ 情形的算例结果,而 $0 < \lambda < 1$ 情形和 $\lambda > 1$ 情形的算例结果给贷款人的收益相当。但是,从借款人的角度而言, $0 < \lambda < 1$ 情形和 $\lambda > 1$ 情形的算例结果具有优势。因此,如果从借款人的角度出发, $\lambda = 0$ 情形的算例结果不利于中国P2P网络借贷市场的发展,这也验证了在最开始提出的观点,即Prosper拍卖机制不适合于中国P2P网络借贷市场。因为Prosper拍卖机制($PAI_{\lambda=0}$)主要是从投资人或贷款人的角度出发,实现贷款人的利益最大化,而中国P2P网络借贷市场($PAI_{\lambda=1}$)主要是从借款人的角度出发,降低借款人的借款成本。因此,综合上述的对比分析可以得到,提出的BAM机制可

以实现Prosper拍卖机制与拍拍贷撮合机制之间的切换,仅仅需要改变激励或惩罚系数 λ 就可以实现BAM机制向Prosper拍卖机制的转变、BAM机制向拍拍贷撮合机制的转变,以及实现情形3和情形4下BAM机制的转变,进而有利于实现借款人和贷款人之间的均衡性。

此外,根据 $PAI_{\lambda>1} < PAI_{0<\lambda<1} < PAI_{\lambda=1} < PAI_{\lambda=0}$ 的顺序进一步指出,BAM机制的支付水平随着激励系数(或惩罚系数)的变化而变化。因此,在不影响机制最优性的前提下,可以通过调整激励系数(或惩罚系数)来改进借款人的支付成本,同时有利于充分实现借贷双方的主动权。这个机制以合同的方式结束拍卖,也体现了法律上的保护效用,且不同的借款人可以根据自己对借款需求的紧迫性自由选择不同情形下的BAM机制。

4 结论

以拍拍贷平台为研究背景,设计了一种P2P网络借贷的双边拍卖机制,并提供了不同情形下的拍卖策略。在分析P2P网络借贷的双边拍卖机制过程中,首先证明了这种合同拍卖满足激励相容特征,并且存在纳什均衡解;随后从该机制的拍卖策略出发,提供了不同情形下的最优定价方案,并给予证明;最后,通过算例对比分析了不同情形的拍卖策略之间的差异性。结果表明,P2P网络借贷的双边拍卖机制的支付水平随着激励系数(或惩罚系数)的变化而变化。因此,在不影响机制最优性的前提下,可以通过调整激励系数(或惩罚系数)来改进借款人的支付成本。当然,不同的借款人也可以根据自己对借款需求的紧迫性自由选择不同情形下的拍卖机制。同时,在拍卖结束之后生成借款人和贷款人之间纸质合同交易,在一定程度上既可以提高借贷关系的法律效力,又可以降低违约风险。因此,P2P网络借贷的双边拍卖机制对改进和完善中国P2P网络借贷市场的交易机制具有重要的参考价值。

最后指出,在整个研究的过程中,主要立足于交易机制与拍卖定价的设计,没有详细分析和考虑借款人和贷款人的套利行为、P2P平台商之间的暗箱操作等网络外部环境对拍卖机制的影响。因此,下一步研究方向是探讨网络外部环境对拍卖机制的影响,进而对中国P2P网络借贷市场的健康发展作出贡献。进一步地,相关理论设计与分析是在有效监管背景下进行的,没有充分考虑贷款人和借款人的逆向选择、道德风险等问题。在实际应用中可能存在一定的局限性,

后续将进一步放宽假设. 同时, 考虑到这类拍卖机制在实际中尚未得到应用, 无法收集相关数据进行实证分析, 后续将进行实验, 分析贷款人和借款人的投标策略、借款紧迫性等变量对该拍卖机制的影响.

参考文献(References)

- [1] Guo Y, Zhou W, Luo C, et al. Instance-based credit risk assessment for investment decisions in P2P lending[J]. *European J of Operational Research*, 2016, 249(2): 417-426.
- [2] Malekipirbazari M, Aksakalli V. Risk assessment in social lending via random forests[J]. *Expert Systems with Applications*, 2015, 42(10): 4621-4631.
- [3] Liu D, Brass D J, Lu Y, et al. Friendships in online P2P lending: Pipes, prisms, and relational herding[J]. *MIS Quarterly*, 2015, 39(3): 729-742.
- [4] Puro L, Teich J E, Wallenius H, et al. Borrower decision aid for people-to-people lending[J]. *Decision Support Systems*, 2010, 49(1): 52-60.
- [5] Lee E, Lee B. Herding behavior in online P2P lending: An empirical investigation[J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2012, 11(5): 495-503.
- [6] Wu J H, Xu Y. A decision support system for borrower's loan in P2P lending[J]. *J of Computers*, 2011, 6(6): 1183-1190.
- [7] 陈冬宇, 朱浩, 郑海超. 风险、信任和出借意愿——基于拍拍贷注册用户的实证研究[J]. *管理评论*, 2014, 26(1): 150-158.
(Chen D Y, Zhu H, Zheng H C. Perceive risk, trust, and willingness to lend: An empirical study based on the users of PPDai.com[J]. *Management Review*, 2014, 26(1): 150-158.)
- [8] 廖理, 李梦然, 王正位. 聪明的投资者: 非完全市场化利率与风险识别——来自P2P网络借贷的证据[J]. *经济研究*, 2014, 49(7): 125-137.
(Liao L, Li M R, Wang Z W. The intelligent investor: not-fully-marketized interest rate and risk identify: Evidence from P2P lending[J]. *Economic Research J*, 2014, 49(7): 125-137.)
- [9] 曾建光. 网络安全风险感知与互联网金融的资产定价[J]. *经济研究*, 2015, 50(7): 131-145.
(Zeng J G. Network security risk perception and asset pricing of internet finance[J]. *Economic Research J*, 2015, 50(7): 131-145.)
- [10] 周正龙, 马本江, 胡凤英. 中国P2P网络借贷平台的动态逆向拍卖机制[J]. *系统工程理论与实践*, 2017, 37(2): 409-417.
(Zhou Z L, Ma B J, Hu F Y. Dynamic reverse auction mechanism on online P2P lending of China[J]. *Systems Engineering — Theory and Practice*, 2017, 37(2): 409-417.)
- [11] Chen N, Ghosh A, Lambert N S. Auctions for social lending: A theoretical analysis[J]. *Games and Economic Behavior*, 2014, 86(1): 367-391.
- [12] Nicolaisen J, Petrov V, Tesfatsion L. Market power and efficiency in a computational electricity market with discriminatory double-auction pricing[J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2001, 5(5): 504-523.
- [13] McAfee P, McMillan J. Auction and bidding[J]. *J of Economic Literature*, 1987, 25(8): 699-738.
- [14] Chatterjee K, Samuelson W. Bargain under incomplete information[J]. *Operation Research*, 1983(31): 835-851.
- [15] Ma B J, Zhou Z L, Hu F Y. Pricing mechanisms in the online Peer-to-Peer lending market[J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2017(26): 119-130.
- [16] 周雄伟, 朱恒先, 李世刚. “平台参与投资”与P2P筹资效率——基于拍拍贷平台“拍活宝”数据的经验研究[J]. *中国工业经济*, 2017(4): 155-175.
(Zhou X W, Zhu H X, Li S G. “Platform participation investment” and P2P financing efficiency: An empirical study using “paihuobao” data of the paipaidai lending platform[J]. *China Industrial Economics*, 2017(4): 155-175.)
- [17] 中国政府法制信息网. 网络借贷信息中介机构业务活动管理暂行办法(征求意见稿)[EB/OL]. (2016-08-24)[2017-09-04]. http://www.chinalaw.gov.cn/art/2017/1/18/art_14_182070.html.
(China Banking Regulatory Commission. Interim measures for the management of business activities of internet lending information intermediary agencies[EB/OL]. (2016-08-24)[2017-09-04]. http://www.chinalaw.gov.cn/art/2017/1/18/art_14_182070.html.)
- [18] 杨忠直, 彭俊伟. 随机最高限价拍卖的报价策略[J]. *管理科学学报*, 2009, 12(6): 100-105.
(Yang Z Z, Peng J W. Bidding strategy for auctions with stochastic upper limit[J]. *J of Management Sciences in China*, 2009, 12(6): 100-105.)
- [19] Black F. Noise[J]. *The J of Finance*, 1986, 41(3): 528-543.
- [20] Shleifer A, Vishny R W. The limits of arbitrage[J]. *The J of Finance*, 1997, 52(1): 35-55.

(责任编辑: 齐 霖)