

占线采购拍卖的随机性策略

王璇, 辛春林

(北京化工大学经济管理学院, 北京市 100029)

摘要: 网上采购拍卖相比于传统采购的优势, 就是参加拍卖的投标者可以在不同时间、不同地点参与拍卖, 即异步投标, 使交易更加自由灵活, 把采购拍卖从离线问题转化成占线问题更有利于发挥其优势。随机占线采购拍卖策略, 将投标范围分割成三个区间, 对落入不同区间的投标分别采取直接拒绝、按一定概率接受和直接接受三种决策方式。通过对不同状况下竞争比的限定, 确定出三个区间的边界。该策略能够利用已有的投标信息, 具有较好的竞争比。

关键词: 采购拍卖; 随机性策略; 竞争比

中图分类号: F253.2

文献标识码: A

文章编号: 1007-8266(2014)01-0068-05

一、引言

随着互联网的普及和电子商务概念的推广, 以动态价格机制进行的交易在市场总交易额中所占的比重越来越大, 其中拍卖是目前互联网上最常见也是最流行的一种动态价格机制。与此同时, 越来越多的企业开始将互联网作为工具来发布采购信息, 进行招标、竞标, 采购拍卖应运而生。^[1] 采购拍卖又被称为反向拍卖或者逆向拍卖, 是由一个买家和众多卖家构成的低价竞卖机制。买方通过互联网公开欲购买的商品或服务的基本要求, 卖家之间相互竞价, 递交自身能承受的最低价格, 买方选择投标最低的供应商进行购买。采购拍卖的实质与正向拍卖的实质一样, 都是以竞争价格为核心, 建立买卖双方的交流与互动机制, 共同确定价格和数量, 从而达到均衡的一种市场经济过程。

网上采购拍卖相比于传统采购, 一个极大优势就是参加拍卖的投标者可以在不同时间、不同地点参与拍卖, 即异步投标, 使交易更加自由灵活。但如果每次采购拍卖都需要等收到所有的投标后才进行决策, 网上采购的这一优势就大大消

减了。因此有必要把采购拍卖从离线问题转化成占线问题, 对每收到一个投标立即作出决策这种实时拍卖进行研究, 为采购商作出科学决策提供理论依据。占线问题是指事件正在进行之中, 决策者只掌握决策时间点之前的信息或者局部信息, 对后面将要发生的事件或者其他局部的信息一无所知, 但其决策目标却是使全局尽可能优的情形下, 决策者如何决策这一类问题, 即只知道局部信息而需要对全局作出决策。在占线问题中, 输入总是逐步被提供的。对于每个输入部分, 占线算法在不知道以后信息的情况下需要给出输出, 也就是说在得到了 t 步输入后, 需要立即给出 t 步的输出, 所以不可能给出一个完全最优解, 只能尽量使所得的解接近最优解。

处理占线问题一般应用占线算法和竞争分析理论, 基于局部信息给出事物一个实时解, 并使得此占线解被控制在相应的最优解的一定范围之内。该方法区别于贝叶斯分析法, 并不对未来状况作概率假设, 而是通过自身算法的设计技巧, 以保证最坏状况下的结果与离线状态下的最优结果相比差距不大。基于这个特性, 该方法在金融、经济及管理领域受到愈来愈多的关注。^[2]

占线算法在策略设计时一般都可以有确定性策略和随机性策略,确定性策略在面临相同问题时总会给出同样的决策,随机性策略是在已知的确定性策略空间集上赋予一定的概率后得到的,每次面临相同问题时作出不同决策的概率也是一样的,但最后作出的实际决策则具有一定的随机性。确定性策略与随机性策略之间的关系类似于博弈论中纯策略纳什(Nash)均衡与混合策略纳什均衡的关系,这两种策略各有优劣,一般来说确定性策略的稳定性好,随机性策略的稳定性较差,但是竞争比一般优于确定性策略。

占线算法在拍卖领域的应用是近十几年才开始的,其中确定性算法的应用较多。罗拉维(Ron Lavi)^[3]最早运用竞争分析理论研究了投标者在不同时刻到达,而要求拍卖机制接收到每个投标后马上作出决策的占线拍卖,证明了占线拍卖是激励相容的,而且仅当它是完全基于供给曲线,并设计出一个拥有最优竞争比的拍卖策略。布鲁恩(Avril Blum)等^[4]将占线学习的结果应用于数字商品的占线拍卖中,得到了数字商品的新拍卖形式,并获得了关于最优固定价格拍卖(离线)收益的一个常数竞争比,而且将这种技术应用在设计占线标价机制中。马哈迪恩(Mahdian)^[5]等研究了需求数量及投标者效用已知、供给物品陆续到达且数量未知情境下的随机性占线拍卖策略,并进一步探讨了采购商数量已知、投标效用及供给未知下的占线拍卖,确定该竞争比是一个常数。莫西·巴奥夫(Moshe Babaioff)^[6]以社会福利最大化为目标,研究了两类需求已知而供给未知的占线拍卖模型,分别为竞争对手分析模型及随机供给模型。在这些已有的研究中,关于占线采购拍卖策略的设计几乎都是确定性的,而随机性拍卖策略则主要应用于正向拍卖。

对于反向拍卖来说,采购商如果从多家供应商那里分批采购商品,交易成本较高,维护和管理也较繁琐。因此本文研究了只从一家供应商那里采购所需商品的情形,设计出一个随机性占线采购拍卖策略,并与已有的确定性策略进行了比较研究。

二、随机性占线采购拍卖策略设计

1. 相关概念介绍

确定性占线策略和随机性占线策略是研究一个占线决策问题的两个方面,其中随机性策略是指一个占线策略根据输入随机选择作出决策的一类策略。通常因为随机性策略的输出是一个随机变量,针对同样的输入在不同时候也会给出不同结果,因此根据随机性策略所实现的收益或所花费的成本用它的期望值来衡量,这也是它的竞争比要优于确定性算法的一个原因。其中竞争比是衡量策略好坏的一个重要指标,竞争比一般大于1,越接近于1则说明该策略的性能越好。对于随机性占线算法的竞争比具体定义如下:

如果存在与输入序列 σ 无关的常数 α 使得 $E[CA(\sigma)] \leq c \cdot COPT(\sigma) + \alpha$ 总是成立,则我们称随机性算法 A 对于所有的输入序列 σ 都是 c 竞争比的算法。

2. 问题的提出及基本假设

本文研究了供应商陆续到达并投标,采购商每接到一个投标需要立即作出采购与支付决策(包括是否购买、支付价格是多少)的采购拍卖问题。在拍卖过程中每个供应商只有一次投标机会,投标后不得撤回。

针对该问题,本文作了一些基本假设如下:

(1) 供应商的投标范围是 $[p, \bar{p}]$,其投标序列为 b_1, b_2, \dots, b_n ;

(2) 该采购拍卖是在封闭式的环境中进行的,即投标商仅知道自己的估价;

(3) 供应商按照到达的先后顺序进行报价,对同一时刻的报价,采购商只接受报价最低者的投标;

(4) 采购商提前设定一个愿意等待的有效标的数 n ,在此期间内如有投标被接受则采购拍卖结束,若 n 个投标结束后还未采购物品,则以最高价格从当前报价最低的供应商那里进行采购。

3. 随机性占线采购拍卖策略

(1) 将供应商的投标范围 $[p, \bar{p}]$ 分成三个区间: $[p, a]$ 、 $(a, b]$ 、 $(b, \bar{p}]$ 。其中 a 和 b 分别为最低保留价格和最高保留价格。根据投标落在不同区间分别作出不同决策:

①若供应商的投标 $b_i \in [p, a]$,则接受该投标且支付价格为该区间的上限 a ;

②若供应商的投标 $b_i \in (b, \bar{p}]$, 则拒绝该投标并等待下一个投标;

③若供应商的投标 $b_i \in (a, b]$, 则进入步骤(2)。

(2)将 $(a, b]$ 平均分割成 m 个小区间 $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_m$, 其中 $\Delta_i = (p_{i-1}, p_i]$ 。在每个投标者到达之前, 我们根据之前的投标价格分别给出一个定价, 这个占线定价序列假设为 c_1, c_2, \dots, c_n 。

①给第一个投标者的定价 c_1 取值的概率满足 $p_r(c_1=p_1)=1$ 。如果第一个投标 $b_1 \leq c_1$, 则以 c_1 的价格达成交易; 否则达不成交易, 等待第二个投标的到来。

②当 b_1 落在小区间 $\Delta_k (k=2, 3, \dots, n)$ 内时, 那么给第二个投标者的定价 c_2 满足:

$$p_r(c_2=p_1) = \frac{n-1}{n}$$

$$p_r(c_2=p_k) = \frac{1}{n}$$

若第二个投标 $b_2 > c_2$ 则交易无法达成, 等待下一个投标; 若 $b_2 \leq c_2$ 则交易一定能够达成。针对 b_2 的不同取值, 可以进一步确定支付的价格。若 $a < b_2 \leq p_1$, 则交易一定能够达成, 且以 $(n-1)/n$ 的概率按 p_1 的价格向投标人采购, 以 $1/n$ 的概率按 p_k 的价格向投标人采购; 若 $p_1 < b_2 \leq p_k$, 则达成交易的概率为 $1/n$, 并且交易价格为 p_k ;

③一般地, 给第 i 个投标者的定价 c_i 取值概率满足:

$$p_r(c_i=p_1) = \frac{n - \sum_{j=2}^m N_j}{n}$$

$$p_r(c_i=p_k) = \frac{N_j}{n} \quad (j=2, 3, \dots, m)$$

其中, N_j 表示前面 $i-1$ 个投标中落入第 j 个小区间的个数。

该占线随机策略的最坏情形是以 $(n-1)/n$ 的概率在价格 p_m 处成交, $1/n$ 的概率没有达成交易, 以投标价格上限购买, 故如果有 n 个投标落在 $(a, b]$ 内, 则该策略下的成本 $E(C_{ORS})$ 满足:

$$\begin{aligned} E(C_{ORS}) &\leq \frac{n-1}{n} \cdot p_m + \frac{1}{n} \bar{p} = \frac{(n-1)p_m + \bar{p}}{n} \\ &= \frac{(n-1)b + \bar{p}}{n} \end{aligned}$$

此时, 离线情况下的最优成本 C_{OPT} 满足 $C_{OPT} \geq$

$p_0 = a$ 。

令 r_1 表示所有的投标均落入区间 $(b, \bar{p}]$ 时该策略的竞争比, r_2 表示有 n 个投标落入区间 $(a, b]$ 时该策略的竞争比, r_3 表示至少有一个投标落入区间 $[p, a]$ 时的竞争比, r 为该策略的总竞争比, 根据以上分析, 可以得到:

$$r_1 \max = \frac{p}{b}$$

$$r_2 \max = \frac{(n-1)b + \bar{p}}{na}$$

$$r_3 \max = \frac{p_0}{p} = \frac{a}{p}$$

$$r = \max\{r_1, r_2, r_3\} \quad (1)$$

竞争比是衡量策略好坏的一个重要指标, 本文研究的是成本最优问题, 显然希望竞争比越小越好。故令 $r=r_1=r_2=r_3$, 可以得到:

$$(n-1)\bar{p} + r\bar{p} = nr^3p \quad (2)$$

即 r 是一元三次方程(2)的解, 解出:

$$r \in \left(\sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}}, \sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}} \right)$$

n 越大, 总竞争比 r 越接近该区间下限

$\sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}}$, 现考虑两种极端情况:

$$\text{当 } n=1 \text{ 时, } r = \sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}}, a=b=\sqrt[3]{p \cdot \bar{p}}$$

$$\text{当 } n \rightarrow \infty \text{ 时, } r = \sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}}, a = \sqrt[3]{p \cdot \bar{p}^2}, b = \sqrt[3]{\bar{p}^2 \cdot p}$$

在实际的采购拍卖中, 采购商可以在拍卖之前确定 n 的数值。若 n 值为 1, 此时 $a=b$, 该策略等价于只接受一个投标的单一定价策略, 此时该策略的竞争比达到最大, 为 $\sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}}$ 。 n 值越大, 竞争比越小, 越趋近于 $\sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}}$, 但也意味着达成交易所需要的时间越长。实际采购拍卖中显然不会只接受一个投标, 也不可能接受无数个投标, 因此最优竞争比应该处于区间 $\left[\sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}}, \sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}} \right]$, n 值越大越接近

于区间下限。

三、与确定性算法的比较

徐金红和徐维军^[7]针对同样的问题提出了最优单一定价策略和在线均值定价策略。本文在此对其进行简单介绍，并与本文所设计的随机性占线反向拍卖策略进行对比。

1. 最优单一定价策略

采购方在反向拍卖开始之前先确定一个采购价格，采购商将向第一个投标价格低于或等于这个定价的投标商采购。这种反向拍卖的定价策略称为采购拍卖的单一定价策略。单一定价的占线采购拍卖中，如果供应商的投标价格范围是 $[p, \bar{p}]$ ，最优单一定价为 $\sqrt{p \cdot \bar{p}}$ ，且最优竞争比为 $\sqrt{\bar{p}/p}$ 。

2. 在线均值定价策略

假设投标价格的范围为 $[p, \bar{p}]$ 。根据这个范围定一个初始价格 b_0 ，并且选择可以忍耐的最高价格 λb_0 (其中 $\lambda b_0 \leq \bar{p}$)。也就是说，只有投标的价格不大于 λb_0 的投标保留下来，投标值超过 λb_0 的剔除掉。假设保留下来的投标序列为 b_1, b_2, \dots, b_n ，该动态在线定价策略如下：给第 j 个投标者的商品定价为 $\sum_{i=0}^{j-1} b_i/j$, $j=1, 2, \dots, n$ 。

如果 $b_1 \leq b_0$ ，则以价格 b_0 购买；反之，等待下一个投标 b_2 ；

如果 $b_2 \leq \frac{b_0+b_1}{2}$ ，则以价格 $\frac{b_0+b_1}{2}$ 购买；反之，等待下一个投标 b_3 。

一般地，如果 $b_k \leq \frac{b_0+b_1+\dots+b_{k-1}}{k}$ ，则以价格 $\frac{b_0+b_1+\dots+b_{k-1}}{k}$ 购买；反之，等待下一个投标 b_{k+1} 。

对于在线均值定价策略，初始价格 b_0 为

$\sqrt{\bar{p} \cdot p/\lambda}$ 时策略达到最优，其竞争比为 $\sqrt{\lambda \bar{p}/p}$ ，其中 λ 表示采购商的最高忍耐价格与初始价格的比值。

很显然，这三种占线采购拍卖策略各有优缺点（参见表1）。从最优竞争比的值来看，从小到大依次是随机性策略、最优单一定价策略、在线均值定价策略，这意味着该随机性策略的性能最好。随机性策略竞争比较优的一部分原因是该策略的输出是一个随机变量，所实现的收益或所花费的成本用它的期望值来衡量。这也导致了该策略的稳定性差，因为策略的随机性，即便相同的投标序列，在不同的拍卖过程中也可能得到差别较大的结果。随机性定价策略和在线均值定价策略均利用了已有的投标信息来为下一个投标定价，即先设定一个较低的初始价格，然后根据市场投标情况来逐步调整定价，但这两种定价策略对已有投标信息的利用方式并不一致：在线均值定价策略是根据已有投标价格与初始价格的均值为下一个投标定价，直到某个投标小于为其设定的定价时才达成交易。而本文所设计的随机性策略是通过逐步降低取值较低的定价的概率，根据实际投标价格所处区间来相应增加定价取该区间值的概率，从而使得定价能够大概率地取大多数人的投标价格，体现了拍卖是价格发现机制这一性质。在线均值定价策略和本文设计的随机性采购拍卖策略这种价格上的灵活性，在一定程度上弥补了单一定价策略因定价过低而无法完成任

表1 不同占线采购拍卖策略的性能对比

策略	竞争比	最优初始价格	是否反映投标者信息	策略的稳定性	达成交易的速度
最优单一定价策略	$\sqrt{\bar{p}/p}$	$\sqrt{\bar{p} \cdot p}$	否	稳定	较慢
在线均值定价策略	$\sqrt{\lambda \bar{p}/p}$	$\sqrt{\bar{p} \cdot p/\lambda}$	是	稳定	较快
随机性定价策略	$r \in (\sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}}, \sqrt[3]{\frac{\bar{p}}{p}})$	$p_0 \in (\sqrt[3]{\bar{p} \cdot p^2}, \sqrt{\bar{p} \cdot p})$	是	不稳定	慢

务或因定价过高导致成本过大的缺点。

四、总结

本文针对从一家供应商那里采购全部物品的占线采购拍卖提出了一个随机性策略。该策略首先将投标区间分割成三部分,对于最高价格区间的投标直接拒绝,落入最低价格区间的投标则直接接受,对于落入中间价格区间的投标,则根据投标落点来调整其被接收的概率;然后通过对不同状况下的竞争比进行统一,得到各区间的边界值。此外,本文还将该策略与已有的最优单一定价策略和在线均值定价策略进行了比较分析。这种随机性策略有较好的竞争比,虽然不能快速实现交易,但能够从定价上反映市场信息,从而使定价越来越趋近于投标集中的价格区间。

*本文系国家自然科学基金“不确定性环境下的占线设备更新优化的策略研究”(项目编号:70971008)、教育部人文社会科学研究基金“政府网上采购拍卖的机制设计与竞争策略研究”(项目编号:09YJC630008)的部分成果。

参考文献:

[1] Smart A, Harrison A. Online Reverse Auctions and

Their Role in Buyer Supplier Relationships [J]. Journal of Purchasing and Supply Management, 2003 (9): 257-268.

[2] 徐维军, 张卫国, 徐金红. 竞争算法在在线金融问题中的应用[J]. 科技管理研究, 2007 (12): 165-167.

[3] Lavi R., N. Nisan. Competitive Analysis of Incentive Compatible on-Line Auctions [J]. Theoretical Computer Science, 2004, 310 (1): 159-180.

[4] Blum A. et al. Online Learning in Online Auctions [J]. Theoretical Computer Science, 2004, 324 (2): 137-146.

[5] Mahdian M, Saberi A. Multi-Unit Auctions with Unknown Supply [C]. Proceedings of the 7th ACM Conference on Electronic Commerce, 2006: 243-249.

[6] Babaioff M, Blumrosen L, Roth A. Auctions with Online Supply [C]. Proceedings of the 11th ACM Conference on Electronic Commerce, 2010: 13-22.

[7] 徐金红, 徐维军. 反向拍卖的一种在线定价策略及竞争分析[J]. 运筹与管理, 2007, 16 (6): 97-101.

[作者简介]王璇(1968-),女,北京市人,北京化工大学经济管理学院运营管理部主任,副教授,主要研究方向为电子商务、不确定性决策等;辛春林(1971-),男,江西省景德镇市人,北京化工大学经济管理学院教授,清华大学博士后,主要研究方向为不确定性决策和系统优化。

责任编辑:林英泽

Research on Random Strategy of Online Procurement Auction

WANG Xuan and XIN Chun-lin

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Compare with other traditional procurement, online procurement auction has the advantage that bidders arriving at different time and places can all take part in the auction, which can make the transaction to be more flexible; transforming the procurement auction from being offline to online will be better for us to play the role of procurement auction. This strategy divides the bidding range into three sections, and the bidding may be directly refused, probably accepted or certainly accepted based on the section which it is belong to. Three boundaries of interval are got by placing restrictions on competitive ratio under different condition. This strategy has better competitive ratio by taking advantage of the existing bidding information.

Key words: procurement auction; random strategy; competitive ratio