

不完全信息竞价模型在无线电频谱配置的应用

刘纬华¹, 石文华²

(1.东北大学 工商管理学院, 110819 沈阳; 2.北京邮电大学 经济管理学院, 100876 北京)

摘要: 为探索资源产权制度和有偿使用制度的实现机制, 以无线电频谱为例, 依据一阶密封拍卖原理, 通过建立运营商在无线电频谱拍卖过程中的不完全信息竞价模型, 分析运营商的投标数量、竞价成功概率等因素对于运营商最优报价的影响以及中标者数量对运营商期望利润函数的影响, 并求解模型得出运营商报价的一般表达式. 分析表明, 将拍卖机制运用于无线电频谱资源分配, 既充分体现频谱资源的经济价值, 又有利于频谱资源的有效配置, 同时是在运营商利润最大化前提下的优化决策.

关键词: 资源配置; 频谱; 拍卖; 不完全信息

中图分类号: TN92

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2014)05-0125-04

Application of incomplete information bidding model in radio spectrum allocation

LIU Weihua¹, SHI Wenhua²

(1.School of Business Administration, Northeastern University, 110819 Shenyang, China;

2.School of Economics and Mangement, Beijing University of Posts and Telecommunications, 100876 Beijing, China)

Abstract: To explore the reasonable mechanisms of resources property rights and the compulsory system, taking the radio spectrum as an example and in according to the first order sealed auction principle, this paper establishes an incomplete information bidding model during the radio spectrum auction process to analyze the impacts on operators optimal of factors such as the number of operators bidding, bidding probability of success and so on, and the effects on operators expected profit function of the number of successful bidders, and draw the general expression of operators quote by solving model. Analysis showed that the application of auction mechanism in the radio spectrum resource allocation not only fully reflected the economic value of spectrum resources, but also conducive to the efficient allocation of spectrum resources, and was the ptimizing decisions as well under the premise that the profits of operators was maximized.

Keywords: resource allocation; spectrum; auction; incomplete information

随着无线电技术的飞速发展和市场需求的日益增加, 无线电频谱资源作为一种战略性和稀缺性的特殊自然资源得到了不断的开发和利用, 也逐渐释放出所蕴藏的巨大经济价值. 截至 2012 年底, 中国移动、联通和电信三大运营商占用公众移动通信业务频段约 227 MHz, 实现移动业务运营收益达 7 792 亿元, 平均每 MHz 频谱资源给运营商带来的收入超过 34 亿元. 同时, 无线电频谱资

源分配给监管机构也带来资源占用费收入, 实现了价值再分配. 我国对频谱使用费实行政府定价机制, 2012 年对运营商收取的公众移动通信全部频谱资源占用费总计约 35.5 亿元, 频谱单价约 1 600 万元/MHz^[1-4], 英国是世界上第一个对无线电频谱资源对经济影响这一领域进行研究的国家, 评估显示, 无线电频谱使英国的 GDP 每年增长 1.1%, 这种增长还将加速^[5].

认识频谱资源所蕴含的巨大经济价值的同时, 如何建立高效率的管理模式以提高资源配置使用效率成为重要研究内容. 目前我国无线电频谱的分配方式仍是以行政审批为主的相对单一的模式, 缺乏运用市场化方式来提高频谱资源配置

收稿日期: 2013-12-01.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71371034).

作者简介: 刘纬华(1977—), 男, 博士研究生.

通信作者: 刘纬华, 1156389269@qq.com.

和使用效率的机制,导致频谱资源使用效率低.而国际上多采用频谱资源市场化管理模式,美国自 1994 年 7 月以来就进行了超过 30 多次频谱拍卖^[6],此后,英国、德国等欧洲国家对 3G 无线通信频段牌照进行了拍卖,澳大利亚和新西兰率先立法允许对频谱资源采用行政激励的定价方式等,这种机制在提升频谱资源价值的同时,政府也取得不菲收益^[7].

国内外对无线电频谱资源的分配模式进行了许多探讨,Coase^[8]是最早提出必须将“频谱看作另一种生产要素,并且它的价值须通过自由市场予以确定”.韩国的 Seung-Hoon 等^[9]首次将多属性效用论(multi-attribute utility theory, MAUT)应用于无线电通信领域,为韩国 MIC(信息及通信部)提供一个管理和分配频谱资源的依据.Gerald R. Faulhaber 等^[10]基于产权提出了一个合法的制度,该制度可同时支持频谱的私有市场模型公共物品模型,这将导致对于频谱资源的最有效分配.William Webb^[11]认为无线电频谱许可证可以指定个人允许使用和收发频谱的功率条件等,而灵活的牌照政策允许使用权和技术的改变,这将导致用户之间的明显干扰问题,基于此提出了一种新的“频谱使用权”(SUR)来限制牌照持有人不准造成干扰.

国内学者近年来也越来越关注频谱资源配置研究.一是从技术角度,如谢玉鹏等^[12]、刘玉涛等^[13]研究改进频谱分配算法以提升用户效用;一是从管理角度,许若群^[14]指出目前我国最迫切的是在加强政府管制的过程中,必须引入市场竞争,使频谱资源的开发与利用制度与经济发展相适应.史雅宁^[15]则主要阐述了市场机制作用下频谱有偿分配的五种方式,包括拍卖、招标和二次交易等,认为以市场机制对频谱资源进行分配有益于提高频谱的利用率,并且能够有效地体现频谱资源的经济价值.此类论文主要集中在使用定性方式,较少从定量角度研究.本文尝试构建一个运营商的不完全信息竞价模型,分析在拍卖竞价过程中运营商和管制者的决策行为以及对频谱分配机制的影响.

2 不完全信息竞价博弈模型

2.1 基本假定

假设电信市场上有 $n + 1$ 个运营商参与频谱的市场竞价,中标者获得的潜在用户数为 Q .同时,假设运营商 i 的报价用 b_i 表示,其含义为每年支付的频谱占用费;运营商 i 每年向每个用户的

净收益用 v_i 来表示.并且运营商 i 的报价 b_i 是 v_i 的函数,即且 $B(\ast)$ 是单调函数.这种假设是符合实际的,因为运营商的报价是以收益为基础的.

为了不失一般性,研究运营商 k 的竞价策略.假设运营商 k 在制定报价策略时认为其他运营商也是理性的,他们的报价也是以收益为基础的,但他并不知道其他运营商的单位用户收益 v 的具体数目,不过可以通过一些市场信息对它进行估计.为了便于表述,我们假设运营商 k 认为所有竞争对手的单位收益 v 都服从 $[v_l, v_h]$ 区间内的均匀分布,其中 $v_h > v_l$.

2.2 模型建立

运营商 i 的报价小于运营商 k 的报价的概率可以表示为

$$P(b_i < b_k) = P(B(v_i) < B(v_k) = b_k) = P(v_i < B^{-1}(b_k)).$$

所以如果运营商 k 竞价成功,那么其他 n 个运营商的报价小于运营商 k 的报价 b_k , 此时用 $L_k(B^{-1}(b_k))$ 来表示运营商 k 竞价成功的概率

$$L_k(B^{-1}(b_k)) = P^n(v_i < B^{-1}(b_k)).$$

由于运营商 k 的单位收益 v 在区间 $[v_l, v_h]$ 上是均匀分布的,所以 v 的分布函数为

$$F(v) = (v - v_l) / (v_h - v_l),$$

将它代入上式可以得到:

$$L_k(B^{-1}(b_k)) = P^n(v_i < B^{-1}(b_k)) = \left(\frac{v - v_l}{v_h - v_l} \right)^n. \quad (1)$$

由于运营商的单位收益 v 在区间 $[v_l, v_h]$ 上服从均匀分布,通过一个转换 $v' = \frac{v - v_l}{v_h - v_l}$ 可以将 v 从区间 $[v_l, v_h]$ 上转换到区间 $[0, 1]$ 上,这种转换记为“ \rightarrow ”,同时由于 k 可以代表任何一个运营商,所以式(1)在转换之后最后可表示为

$$L_k(B^{-1}(b_k)) = \left(\frac{v - v_l}{v_h - v_l} \right)^n \rightarrow v^n = L(v). \quad (2)$$

那么,运营商 k 的收益函数为

$$u_k = Q \times (v_k - b_k).$$

2.3 模型求解

运营商 k 的最优报价策略就是使其期望支付(利润)最大化,即:

$$\max_{b_k} \pi_k(b_k) = Q \times (v_k - b_k) \times L_k(B^{-1}(b_k)). \quad (3)$$

由于利润最大化的条件是: $\frac{d\pi_k}{db_k} = 0$, 故对等式(3)两边关于 b_k 求导,并令其等于 0, 有:

$$L_k(v_k) + b_k \times \frac{dL_k(v_k)}{db_k} = v_k \times \frac{dL_k(v_k)}{db_k}.$$

然后对上式两边同时乘以 $\frac{db_k}{dv_k}$, 并将 $b_k = B(v_k)$ 代入, 整理后得:

$$L_k(v_k) \times \frac{dB(v_k)}{dv_k} + B(v_k) \times \frac{dL_k(v_k)}{dv_k} = v_k \times \frac{dL_k(v_k)}{dv_k}$$

同样因为 k 可以代表任何一个运营商, 可以用 L' 来表示 $\frac{dL}{dv}$, 因此任一运营商的竞价策略为

$$\frac{dB}{dv} = v \times L' \tag{4}$$

对等式(4) 两边从 v_l 到 v 积分, 得:

$$B(v)L(v) - B(v_l)L(v_l) = \int_{v_l}^v v \times L' dv = vL(v) - \int_{v_l}^v L(v) dv - v_l L(v_l)$$

因为任一运营商的报价 $v = v_l$ 时, 可认为其中标的可能性等于 0, 即 $L(B^{-1}(b) = v_l) = 0$, 所以上式化简后可得到运营商最优报价:

$$B(v) = v - \frac{\int_{v_l}^v L(v) dv}{L(v)} \tag{5}$$

由于 v 在区间 $[v_l, v_h]$ 上均匀分布, 将 v 的分布函数代入到式(5) 中, 最后得:

$$B(v) = \frac{n}{n+1} \frac{v - v_l}{v_h - v_l} \rightarrow v - \frac{v}{n+1} \tag{6}$$

再把报价函数(式(6)) 代入到期望利润函数(式(3)) 中, 可得:

$$\begin{aligned} \pi(v) &= Q \times [v - B(v)] \times L(v) = Q \times \\ &\frac{1}{n+1} \left(\frac{v - v_l}{v_h - v_l} \right) \times v^n \rightarrow Q \times \frac{v}{n+1} \times v^n = \\ &Q \times \frac{v^{n+1}}{n+1} \end{aligned} \tag{7}$$

2.4 模型分析

通过对模型的求解, 最后可以得到中标运营商的中标概率 $L(v)$ 、报价函数 $B(v)$ 和期望利润 $\pi(v)$ 的函数表达式。对于这些表达式, 首先从报价函数 $B(v)$ 的一般式(式(5)) 可以看出影响运营商的最优报价的主要因素是其自身的单位收益和中标概率。同时从另一个角度来看, 可以把报价

函数 $B(v)$ 中的 $\frac{\int_{v_l}^v L(v) dv}{L(v)}$ 看作是运营商参加投标所希望得到的期望利润, 这很显然也是刺激运营商参加拍卖的动力所在。

其次, 当把运营商的单位收益 v 的函数区间

从区间 $[v_l, v_h]$ 转化到区间 $[0, 1]$ 上时, 由于 $0 < 1 - v < 1$, 当中标运营商的单位收益 v 保持不变时, 随着参加竞标的运营商的数量 $n + 1$ 的增大, 运营商中标的概率 $L(v)$ 和中标利润 $\pi(v)$ 逐渐减少, 中标报价 $B(v)$ 逐渐提高, 并且当 $n \rightarrow \infty$ 时中标概率 $L(v) \rightarrow 0$ 、中标报价 $B(v) \rightarrow v$ 以及中标利润 $\pi(v) \rightarrow 0$, 这说明参加投标人越多, 运营商之间的竞争就会越激烈, 相应他们的报价就越高; 当投标人趋于无穷时, 中标运营商几乎得不到任何经济利润。当然, 现实中的投标人是有限的, 他们会根据经济利益最大化原则选择是否参加竞标。但模型的意义在于尽可能让更多的运营商参加频谱的拍卖既可以通过竞价来引入竞争打破垄断, 又可以通过竞价使管制者在频谱方面的收益最大化。

模型还表明, 管制者最终选择的报价最高的运营商是在其收益最大化的前提下中标的, 并且运营商不参加投标的经济利润为零, 而参加投标, 其期望利润为正, 所以可以认为这种招标机制能够满足激励相容约束和个人理性约束两个原则, 因此说明将拍卖机制运用于频谱资源配置中是合乎理性而又经济有效的。

3 结论与政策建议

从模型的构建和分析推导过程可以看出, 影响运营商对于频谱资源的最优报价主要包括运营商收益情况、参加竞标的运营商数量、中标概率等因素。当运营商的单位收益保持不变时, 他的最终中标概率和期望利润随着参加竞标的运营商数量的增加而不断减少, 随着中标运营商数量的减少而不断增大; 而运营商的报价函数随着参加竞标的运营商数量的增加而不断提高。其政策涵义在于管制者利用招标和拍卖的方式可以在保证运营商利润最大化的前提下实现频谱资源的优化配置, 同时还实现了配置成本最小化。由于目前国内尚无对电信业务的频谱资源拍卖实践, 本研究还是假设情况下的模型分析, 今后随着实践的发展, 还需要增加仿真模型的研究和论证。基于本文的分析过程和研究结论, 提出以下政策建议:

1) 在技术中立和包容开放原则指导下, 加快业务相互开放, 实质性推进三网融合, 实现电信、互联网、广电主体业务相互开放和相互进入。在此基础上, 启动新一轮通信行业重组, 放宽境外和民营资本进入门槛, 优化市场结构, 使更多的竞争主体参与市场竞争, 形成多家竞争实力相当的通信运营商, 加快形成有效有序的市场格局。

2)完善政策法规框架体系,为引入市场化配置方式提供法制保障。《中华人民共和国物权法》第五章第五十条明确规定:“无线电频谱资源属于国家所有。”在国家法律层面首次规定无线电频谱资源的国有属性,但在资源资产能的其他方面如使用权、处置权、收益权等方面则无具体规定。现行《电信条例》规定:电信资源的分配可采用指配和拍卖的方式,频谱资源有偿使用有了法律基础,无线电管理部门也在开始研究频谱资源有偿出让的可能。但从目前的实践看,除个别移动互联网业务的频段有采用招标,大部分频段,特别是基础电信业务的频谱尚无采用市场化配置的迹象,与当前无拍卖等配置方式的实施细则有关。因此,修订现有法规,完善实施细则,提高频谱资源市场化配置方式的可操作性成为当务之急。

3)整合分散的监管职能,建立统一监管体系。改革现有通信监管体制,探索建立信息通信行业的统一管理体制。实行公平公正但又区别的监管政策,对确属自然垄断行业和环节实行价格管制,对增值业务和创新业务,如物联网、智慧网、微信等采取包容开放和事后监管的方式,促进信息通信产业的混业经营、互相进入和繁荣发展。

参考文献

- [1] 工信部网站[EB/OL].[2013-03-05]. <http://www.miit.gov.cn>.
- [2] 中国电信网站[EB/OL].[2013-10-15]. <http://www.chinatelecom.com.cn>.
- [3] 中国移动网站[EB/OL].[2013-10-15]. <http://www.chinamobileltd.com>.
- [4] 中国联通网站[EB/OL].[2013-10-15]. <http://www.chinaunicom.com.cn>.

- [5] Economic impact of the use of radio spectrum in the UK [R]. A Report by Europe Economics, 16 November, 2006.
- [6] PETER C. The Efficiency of the FCC spectrum auctions [J]. Journal of Law and Economics, 1998, 41(2): 727-736.
- [7] PAUL K. How (not) to run auctions: The European 3G telecom auction [J]. European Economic Review, 2002, 46: 829-845.
- [8] COASE R H. The Federal communications commission [J]. Journal of Law and Economics, 1959(2): 1-40.
- [9] YOO S H, KIM J S, KIM T Y. Value-focused thinking about strategic management of radio spectrum for mobile communications in Korea [J]. Telecommunications Policy, 2001(25): 703-718.
- [10] FAULHABER G R, FARBER D J. Spectrum management: property rights, markets, and the commons [C]// Rethinking Rights and Regulations; Institutional Responses to New Communications Technologies, Telecommunications Policy Research Conference. Cambridge: MIT Press, 2003: 193-225.
- [11] WILLIAM W. An optimal way to licence the radio spectrum [J]. Telecommunications Policy, 2009, 33(3/4): 230-237.
- [12] 谢玉鹏, 谭学治, 马琳, 等. 两种标准联合的认知无线电频谱分配算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2013, 45(5): 30-34.
- [13] 刘玉涛, 谭学治, 刘帅. 认知无线电中的功率和频谱联合分配算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(1): 36-40.
- [14] 许若群. 无线电频谱资源的政府规制研究[J]. 经济问题探索, 2003(3): 118-122.
- [15] 史雅宁. 市场机制下的频谱资源分配研究[J]. 中国无线电, 2006(6): 24-27.

(编辑 苗秀芝)