

基于博弈分析的物流多 Agent 招投标报价研究

王富忠¹, 郭俊辉¹, 沈祖志²

(1. 浙江科技学院 经济管理学院, 杭州 310023 ; 2. 浙江大学 管理学院, 杭州 310027)

摘要: 从博弈分析角度出发, 研究了物流多 Agent 招投标过程在完全信息和不完全信息下的博弈问题, 探讨了基于最低报价策略的博弈、基于“联盟体”报价策略的博弈和“联盟体”瓦解报价策略的博弈。结果表明, 通过引入两种惩罚机制, 可以有效瓦解招投标过程中存在的“联盟体”报价情形。完全信息与不完全信息下的多 Agent 招投标报价, 其博弈过程及博弈方式对“阳光企业”招投标而言具备很强的指导意义。

关键词: 博弈分析; 物流; 多 Agent; 招投标报价

中图分类号: F253.4

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2008)04-0284-05

Research on bidding and quoting strategy of logistics multi-agent based on game analysis

WANG Fu-zhong¹, GUO Jun-hui¹, SHEN Zu-zhi²

(1. School of Economics and Management, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China; 2. College of Management, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: From the aspect of game analysis, the bidding and quoting process of logistics multi-agent is researched. The lowest quoting strategy, the quoting strategy of “allied enterprises” and the quoting strategy of disbandment of “allied enterprises” are researched. The result shows that by using two types of punishment mechanisms, the status of the quoting strategy of “allied enterprises” is disbanded. The bidding and quoting strategy of logistics multi-agent under the complete and incomplete information, whose game process and method will have a strong significance for the bidding and quoting among “health enterprises”.

Key words: game analysis; logistics; multi-agent; bidding and quoting

在物流市场中, 一些企业欲将物流业务外包给第三方物流服务商, 其中又往往是在有资质的第三方物流服务商中进行招投标。然而, 招投标工作通

常要经历发投标邀请函、资格认证、投标报价、投标答辩陈述、中标签约等一系列过程。在招投标工作中, 报价环节对投标企业来说相当重要, 因为报价过

收稿日期: 2008-09-25

基金项目: 浙江科技学院物流工程特色专业建设项目(2007-4)

作者简介: 王富忠(1976—), 男, 湖南衡南人, 讲师, 博士, 主要从事决策支持系统和物流管理研究。

程其实也是投标企业之间博弈的过程。在一轮轮的报价较量中,单个投标企业不仅要面对其他的投标企业,还有可能遇到几个企业联合起来操纵报价的情形。针对报价过程中存在的不同情形,本文从博弈分析角度出发,研究了投标企业在完全信息和不完全信息下报价策略的博弈问题。

1 多 Agent 思想与相关定义的提出

为了模拟的方便,本文引入了多 Agent 思想,因为多 Agent 能较好地模拟企业的报价行为和执行报价策略^[1-4]。同时,为了研究的需要,提出了熟人招标集、熟人投标集、熟人集^[5]的概念。

设 $A(a,b)$ 表示企业 a 熟悉企业 b ,企业 b 不一定熟悉企业 a 。 $A(b,a)$ 表示企业 b 熟悉企业 a ,企业 a 不一定熟悉企业 b 。

定义1(熟人关系) 将企业 a 与企业 b 具有熟人关系 $R(a,b)$ 定义为: $R(a,b) \equiv \text{def} A(a,b) \wedge A(b,a)$ 。 $R(a,b)$ 表示企业 a 与企业 b 相互熟悉,是熟人关系。

定义2(熟人招标集 BQ) 任一具备资格投标企业 $P_i, \forall i \in \{1 \cdots n\}$ 与招标企业 B ,都有 $R(P_i, B)$,则熟人招标集 BQ 记为: $BQ = \{P_i | P_i \in R(P_i, B)\}, \forall i \in \{1 \cdots n\}$ 。

定义3(熟人投标集 CQ) 如果任意一个具备资格投标企业 C 与其他的具备资格投标企业 P_j ,都有 $R(C, P_j)$,则熟人投标集 CQ 记为: $CQ = \{P_j | P_j \in R(C, P_j)\}, \forall j \in \{1 \cdots n\}$ 。

定义4(熟人集 BCQ) 如果任意一个具备资格投标企业 P_i 与招标企业 B 存在 $R(P_i, B)$,与其他具备资格投标企业 P_j 存在 $R(P_i, P_j)$,则熟人集 BCQ 记为 $BCQ = \{P_i | P_i \in R(P_i, B) \wedge R(P_i, P_j)\}, \forall i, j \in \{1 \cdots n\}$ 。

熟人招标集 BQ 的提出,主要是使招标企业可以了解市场上每个具有资质的投标企业的能力及合作愿望,这对于招标企业知识库和资源库的建设有着非常重要的意义。

基于多 Agent 思想及熟人招标集 BQ 、熟人投标集 CQ 和熟人集 BCQ ,本文主要对招投标过程中投标企业的报价策略进行详细研究。

2 基于博弈分析的物流多 Agent 招投标报价策略研究

2.1 研究问题设计

在物流业务外包中,假定存在两类企业,即生产

企业与物流企业,生产企业将物流(运输)业务外包给物流企业。将两类企业以 Agent 的方式表达:生产企业记作 AgentA(简记为 A);物流企业记作 AgentB(简记为 B)。在每一次的物流业务外包的招投标过程中,都会存在 n 个物流企业。A 就某一项物流业务进行招标,这样就有 n 个 B 为这一项物流业务而展开投标。

2.2 完全信息下招投标报价策略的研究

在完全信息下,研究了以下三类招投标报价策略之间的博弈。

2.2.1 完全信息下基于最低报价策略的博弈 在该类报价策略下,每个 B 都根据自身的实际情况进行报价,同时也满足如下假定条件:

1) 每个 B 除知道自己的成本外,还知道对手的成本,并且知道 A 最大的可支付价格 p_{\max} 。

2) 每个 B 报出的最低价不低于自身的最低成本,也就是说, B 的出价是以赢利为目的的。设每一个 B 的最低赢利为 $w(w \geq 0)$,最低赢利对于其他 B 来说是不知道的(因为每个企业设定的赢利标准不一样)。

3) 假定最终只有一个物流企业 Agent(即一个 B) 在规定时间内竞标成功。

在上述假定条件下,当首轮报价完毕后, A 公开首轮各 B 的报价结果,各 B 准备下一轮新的报价。于是,可以得到完全信息下基于最低报价策略的多 Agent 的博弈过程如下:

1) 在第一轮投标过程后,第 i 个 B 计算其他竞争对手的成本。于是它自己出价为: $p_i = \min\{C, \dots, C_{-1}, C_{+1}, \dots, C_n\} + \delta$,其中 δ 为第 i 个 B 设定的所得利润, $p_i \geq C$ 。记第一轮所有企业的最低赢利为 δ_{\min} 。

2) 在下一轮的报价过程中,第 i 个 B 的报价都会以 $C_i + \delta_{\min}$ 或 $\min\{C, \dots, C_{-1}, C_{+1}, \dots, C_n\} + \delta_{\min}$ 为标准或以略低于上述两者为标准,其中 δ_{\min} 表示上一轮最低赢利,以下类推。如果 $C_i + w_i$ 大于这个标准的话,该 B 会以 $C_i + w_i$ 报价(w_i 表示为第 i 个 B 的最低赢利)。

3) 继续步骤 2)。

4) n 轮过后,最终一个物流企业 Agent 竞得此标,记为 B_j (即第 j 个 B)。于是 B_j 的报价 p_j^* 为: $C_j + w_j \leq p_j^*$ 且 $p_j^* \leq p_{\max}$ 。而且 $\min_{j=1}^n C_j + \delta_{\min} \leq p_j^*$ 。

上述完全信息下基于最低报价策略的多 Agent

博弈过程的模拟过程如表 1 所示。

表 1 完全信息下基于最低报价策略的博弈过程

Table 1 The game process based on the lowest quoting strategy under complete information (unit : million)

轮数	A 最大的可支付价格 p_{max}	B_1 C=8 p=报价 w=0.5	B_2 C=7.9 p=报价 w=0.7	B_3 C=8.1 p=报价 w=0.75	B_4 C=8.2 p=报价 w=0.4	每轮最低赢利 δ_{min}
1	10	$\delta=1$ p=9	$\delta=1$ p=8.9	$\delta=0.9$ p=9	$\delta=0.7$ p=8.9	0.7
2	10	$\delta=0.6$ p=8.6	$\delta=0.7$ p=8.6	[$\delta=0.75$] [p=8.85]	$\delta=0.6$ p=8.8	0.6
3	10	$\delta=0.55$ p=8.55	[$\delta=0.7$] [p=8.6]	—	$\delta=0.4$ p=8.6	0.4
4	10	$\delta=0.55$ p=8.55	—	—	—	0.4

注:中括号表示该企业没有根据上一轮最低赢利 δ_{min} 报出此轮最优报价;A最大的可支付价格 p_{max} 为 10;每个企业的 δ 对于其他企业来讲是可以获知的。

完全信息下基于最低报价策略的博弈过程(见表 1)如下:

1)在第一轮中,各 B 基本上是参照自己的成本、其他 B 的成本进行报价。按照自主报价过后,报价集合为 {9,8.9,9,8.9},此次报价的最大值为 9。这时,所有的 B 都知道每个 B 的报价和此轮的最低赢利为 0.7,并同时准备第二次报价。

2)在第二轮中,每个 B 报价都小于 9,但基本上是按照成本加上一轮最低赢利 0.7 或略低于上一轮最低赢利进行报价。报价集合为 {8.6,8.6,8.85,8.8}。此时, B_3 的报价已经处于该 B 设定的最低赢利水平 ($w=0.75$),不能再往下报价了,于是 B_3 被淘汰。

3)在第三轮中,报价集合为 {8.55,8.6,—,8.6},此轮的最低赢利水平为 0.4(B_4 报出)。而最低的报价为 8.55(B_1 报出)。

4)在第四轮中, B_2 和 B_4 都不能报出比 8.55 更低的价格,从而 B_2 竞得此标。

完全信息下基于最低报价策略的博弈,是针对局中人 B 知道各自的竞争对手成本和各竞争对手的上一次报价结果的一次简单博弈。然而,经过验证可以发现,并不是成本最低的获得竞标,而是与 B (即物流企业)的报价和最低赢利 w 两者相关。这说明在物流企业的实际运营过程中,成本只是一方面,接受该笔业务的意愿、市场价格环境、心理因素均影响物流企业的报价策略。

2.2.2 完全信息下基于“联盟体”报价策略的博弈
在完全信息下基于最低报价策略的博弈是一种最

理性环境下的博弈,如果考虑到在投标企业间(B 之间)形成一个“联盟体”,所有的投标企业由于先前都形成了一个熟人投标集 CQ ,所有投标企业有可能在熟人投标集 CQ 之间形成“联盟体”关系,共同报出较高的价格,然后内部之间实行分包或转包,报价完毕后只有一家企业(“联盟体”盟主企业)竞标成功,这样迫使招标企业在不知情的情况下只能接受较高的价格。

假定所有投标企业在熟人投标集 CQ 之间形成了“联盟体”关系,每个 B 都根据“联盟体”商定好的价格进行报价,同时也满足如下假定条件:

- 1)每个 B 除知道自己的成本外,还知道“联盟体”成员的成本,并且知道 A 最大的可支付价格 p_{max} 。
- 2)每个 B 每次报的价都是“联盟体”商定的价格,每个企业报价都高于“联盟体”商定的“最低限价”。
- 3)假定最终只有一个物流企业 $Agent$ (假定为盟主企业 B) 在规定时间内或轮数内竞标成功。

上述完全信息下基于“联盟体”报价策略的多 $Agent$ 博弈过程的模拟过程如表 2 所示(假定 B_1 为盟主企业,最终 B_1 报价成功,报的“最低限价”为 p_{min})。

表 2 完全信息下基于“联盟体”报价策略的博弈过程
Table 2 The game process based on the quoting strategy of “allied enterprises” under complete information (unit : million)

轮数	B_1 C=8 p=报价 w=0.5	B_2 C=7.9 p=报价 w=0.7	B_3 C=8.1 p=报价 w=0.75	B_4 C=8.2 p=报价 w=0.4	每轮最低报价排名
1	$\delta=1.9$ p=9.9	$\delta=2$ p=9.9	$\delta=1.9$ p=10	$\delta=1.8$ p=10	$B_1 B_2$ $B_3 B_4$
2	$\delta=1.9$ p=9.9	$\delta=2$ p=9.9	$\delta=1.75$ p=9.85	$\delta=1.7$ p=9.9	B_3 $B_1 B_2 B_4$
3	$\delta=1.85$ p=9.85	$\delta=2$ p=9.9	$\delta=1.75$ p=9.85	$\delta=1.6$ p=9.8	$B_1 B_3$ $B_2 B_4$
			...		
n	报价高于 B_1	报价高于 B_1	报价高于 B_1	$\delta=1.6$ p=9.8	B_1 ...

注:在基于“联盟体”报价策略下,其博弈过程中一般不会考虑每轮最低赢利 δ_{min} ;A最大的可支付价格 p_{max} 为 10;每个企业的 δ 对于其他企业来讲是可以获知的。

2.2.3 完全信息下“联盟体”瓦解的博弈
在招投标过程中,如果招标企业发现投标企业存在“联盟体”报价现象,共同抬高报价时,就会制定一系列的惩罚机制,以防止“联盟体”的形成。引入的惩罚机

制如下。

惩罚机制 I :如果所有的投标企业在报价过程中都存在“联盟体”现象,那该次招投标过程中止。

惩罚机制II :如果发现某些企业在报价过程中存在“联盟体”现象,那这些企业将会被剔除出熟人招标集 BQ ,而熟人集 BCQ 的论域也将被相应更改。

这样在惩罚机制 I 下,所有投标企业组成的“联盟体”现象将不会存在了,因为在博弈的过程中,如果所有投标企业组成的“联盟体”现象一旦被发现,则投标企业都是输家,没有赢家。在惩罚机制 II 下,也有可能存在几个“滑头”冒着剔除出去的风险而组成单一“联盟体”的现象。这样在博弈过程中就存在某些单个“联盟体”与非“联盟体”企业之间的博弈。在博弈过程中,如果非“联盟体”企业报价甚至比单个“联盟体”的“最低价”还低,这个时候单个“联盟体”就会瓦解,否则单个“联盟体”的成员全是输家。在惩罚机制 II 条件下的博弈过程如表 3 所示。

表 3 完全信息下单个“联盟体”瓦解的博弈过程

Table 3 The game process based on the quoting strategy of disbandment of “allied enterprises” under complete information

(unit :million)

轮数	B C=8 p=报价 w=0.5	B ₂ C=7.9 p=报价 w=0.7	联盟体“最低价” 为 9.5		每轮最低 赢利 δ_{min}	每轮最低报 价排名 (p_{min} 为“联盟体” 此轮最低报 价)
			B ₃ C=8.1 p=报价 w=0.75	B ₄ C=8.2 p=报价 w=0.4		
1	$\delta=1.9$ p=9.9	$\delta=2$ p=9.9	$\delta=1.9$ p=10	$\delta=1.8$ p=10	1.8	B ₁ B ₂ B ₃ B ₄ ($p_{min}=10$)
2	$\delta=1.6$ p=9.6	$\delta=1.8$ p=9.7	$\delta=1.6$ p=9.7	$\delta=1.5$ p=9.7	1.5	B ₁ B ₂ B ₃ B ₄ ($p_{min}=9.7$)
3	$\delta=1.5$ p=9.5	[$\delta=1.6$] [p=9.5]	$\delta=1.4$ p=9.5	$\delta=1.5$ p=9.7	1.4	B ₁ B ₂ B ₃ B ₄ ($p_{min}=9.5$)
4	[$\delta=1.45$] [p=9.55]	[$\delta=1.5$] [p=9.4]	$\delta=1.4$ p=9.5	$\delta=1.3$ p=9.5	1.3	B ₂ B ₃ B ₄ “联盟体”瓦解, 单独报价
...						
n	$\delta=0.55$ p=8.55	—	—	—	0.4	B ₁ ... 真正的最低 报价是由 B ₁ 报出

注:中括号表示该企业没有根据上一轮最低赢利 δ_{min} ,报出此轮最优报价;A最大的可支付价格 p_{max} 为 10;每个企业的 δ 对于其他企业来讲是可以获知的。

在表 3 中,存在由 B_1 和 B_2 组成的“联盟体”,在第四轮报价中, B_2 的报价低于“联盟体”的“最低价”($p_{min}=9.5$)。所以如果“联盟体”继续存在的话,其“联盟体”的成员全是输家,因而“联盟体”被迫解体,从而各成员根据自身的实际情况,以基于成本和最低赢利进行报价,最后的博弈结果就类同于表 1。

以上研究的是完全信息下的几种不同的博弈过程。但在现实情况中,相互知道各自竞争对手的成本非常少。于是,笔者考虑了不完全信息下的多 Agent 博弈。

2.3 不完全信息下招投标报价策略的研究

2.3.1 不完全信息下基于最低报价策略的博弈

在不完全信息情况下,假定:

- 1) 每一个 B 知道自己的成本,但不知道对手的成本,并且也不知道 A 最大的可支付价格 p_{max} 。
- 2) 每一个 B 报出的最低价不低于自身的成本。最低赢利 $w(w \geq 0)$ 对于其他 B 来说是不知道的。
- 3) 假定最终只有一个 B 在规定时间内或轮数内竞标成功。

在该假定条件下,当每次报价完毕后,A 公开每次各 B 的报价排名顺序和报价,各 B 准备下一轮新的报价。

于是,可以得到不完全信息下多 Agent 的博弈过程:

1) 在第一轮投标过程中,每个 B 都不知道其他竞争对手的成本。于是每个 B 只有根据自身的情况来进行报价。

2) 在下一轮的报价过程中,除了排名第一名的 B 外,其他 B 的报价都会以略低于自身成本 $C + \delta$ 为标准,其中 δ 表示该 B 上一次利润。第一名的 B 可能会使用上一轮中相同的报价,也可能降低报价,提高报价的可能性是存在的,但估计一般情形下是不会发生,即使发生了,也不会对各 B 的博弈行为产生影响。

3) 继续步骤 2)。

4) n 轮过后,最终一个物流企业 Agent 竞得此标,记为 B_j (即第 j 个 B)。于是 B_j 的报价为: $C_j + w_j \leq p_j^*$ 且 $p_j^* \leq p_{max}$ 。

上述不完全信息下基于最低报价策略的多 Agent 博弈过程其模拟过程如表 4 所示。

表 4 不完全信息下基于最低报价策略的博弈过程

Table 4 The game process based on the lowest quoting strategy under incomplete information (unit : million)

轮数	B_1	B_2	B_3	B_4	每轮最低报价排名
	$C=8$ $p=$ 报价 $w=0.5$	$C=7.9$ $p=$ 报价 $w=0.7$	$C=8.1$ $p=$ 报价 $w=0.75$	$C=8.2$ $p=$ 报价 $w=0.4$	
1	$\delta=1$ $p=9$	$\delta=1$ $p=8.9$	$\delta=0.9$ $p=9$	$\delta=0.7$ $p=8.9$	$B_2 B_1$ $B_1 B_3$
2	$\delta=0.9$ $p=8.9$	$\delta=0.9$ $p=8.8$	$\delta=0.8$ $p=8.9$	$\delta=0.6$ $p=8.8$	$B_2 B_1$ $B_1 B_3$
3	$\delta=0.7$ $p=8.7$	$\delta=0.8$ $p=8.7$	$\delta=0.75$ $p=8.85$	$\delta=0.5$ $p=8.7$	$B_1 B_2 B_1$ B_3
4	$\delta=0.6$ $p=8.6$	$\delta=0.75$ $p=8.65$	—	$\delta=0.4$ $p=8.6$	$B_1 B_1$ B_2 B_3
5	$\delta=0.55$ $p=8.55$	—	—	$\delta=0.4$ $p=8.6$	B_1 B_1 B_2 B_3
6	$\delta=0.55$ $p=8.55$	—	—	—	B_1 B_1 B_2 B_3

注:表中 δ 是每个企业报价的本轮赢利,对于其他企业来说是机密信息。

在不完全信息下,基于最低报价策略的博弈跟完全信息下的博弈基本类似,只不过在博弈过程中,由于投标企业 B 并不知道其他企业的成本 C 与最低赢利 w ,因而没有办法计算出每轮过后的每轮最低赢利 δ_{min} 。最终,博弈最优值取得的时间会长得多。

2.3.2 不完全信息下基于“联盟体”报价策略的博弈 与完全信息下不同的是,在不完全信息下,“联盟体”不知道 A 最大的可支付价格 p_{max} ,也不知道单个企业的成本 C 与最低赢利 w 。所以“联盟体”成员在商定“最低限价”时,必然也会高于 $\min_{i=1}^n \{p_i + w\}$,其招投标博弈过程完全类似于完全信息下基于“联盟体”报价策略的博弈过程,只不过博弈最优值取得的时间也会长得多。

2.3.3 不完全信息下“联盟体”瓦解的博弈 同样,在不完全信息下“联盟体”瓦解的博弈,需要在惩罚机制 II 条件下进行博弈,其博弈过程如表 5 所示。

表 5 不完全信息下“联盟体”瓦解的博弈过程

Table 5 The game process based on the quoting strategy of disbandment of “allied enterprises” under complete information (unit : million)

轮数	B_1	B_2	联盟体“最低限价”为 9.5		每轮最低报价排名 (p_{min} 为“联盟体”此轮最低报价)
	$C=8$ $p=$ 报价 $w=0.5$	$C=7.9$ $p=$ 报价 $w=0.7$	$C=8.1$ $p=$ 报价 $w=0.75$	$C=8.2$ $p=$ 报价 $w=0.4$	
1	$\delta=1.9$ $p=9.9$	$\delta=2$ $p=9.9$	$\delta=1.9$ $p=10$	$\delta=1.8$ $p=10$	$B_1 B_2$ $B_3 B_1$ ($P_{min} = 10$)
2	$\delta=1.85$ $p=9.85$	$\delta=1.9$ $p=9.8$	$\delta=1.6$ $p=9.7$	$\delta=1.6$ $p=9.8$	$B_3 B_3$ $B_1 B_1$ ($P_{min} = 9.7$)
3	$\delta=1.6$ $p=9.6$	$\delta=1.7$ $p=9.6$	$\delta=1.6$ $p=9.7$	$\delta=1.5$ $p=9.7$	$B_1 B_2$ $B_3 B_1$ ($P_{min} = 9.7$)
4	$\delta=1.55$ $p=9.55$	$\delta=1.6$ $p=9.5$	$\delta=1.4$ $p=9.5$	$\delta=1.5$ $p=9.7$	$B_2 B_3$ B_1 B_1 ($P_{min} = 9.5$)
5	$\delta=1.45$ $p=9.45$	$\delta=1.5$ $p=9.4$	$\delta=1.4$ $p=9.5$	$\delta=1.3$ $p=9.5$	B_2 B_1 $B_3 B_1$ “联盟体”瓦解, 单独报价
n	$\delta=0.55$ $p=8.55$	—	—	—	B_1 ... 真正的最低报价是由 B_1 报出

注:表中 δ 是每个企业报价的本轮赢利,对于其他企业来说是机密信息。

在不完全信息下,多 Agent 招投标博弈过程基本上与完全信息下相似,但有一点可以明确的是,不完全信息下的物流多 Agent 招投标博弈次数肯定多于完全信息下的情形,这种“谈判”过程经过多轮博弈最终完成竞标任务。

3 结 语

笔者曾在国家自然科学基金课题“面向敏捷制造的虚拟企业管理信息系统框架研究”中参与了“虚拟企业多 Agent 招投标过程的研究”。基于该研究,本文针对物流活动过程中企业招投标之间存在的规范现象,特结合博弈论中的完全信息和不完全信息下的两种不同环境,研究了招投标报价过程中的 3 种可能的博弈情形,即基于最低报价策略的博弈、基于“联盟体”报价策略的博弈、“联盟体”瓦解报价策略的博弈。(下转第 310 页)