OEM 业务的 Stackelberg 博弈策略与算法

宿 洁
SU Jie

中央财经大学 管理科学与工程学院,北京 100081
School of Management Science and Engineering,Central University of Finance and Economics,Beijing 100081,China
E-mail:sujie@cufe.edu.cn

SU Jie.Stackelberg game model and algorithm of OEM.Computer Engineering and Applications,2008,44(21):227-230.

Abstract: OEM is an important manner of international economy cooperation.The Stackelberg game decision model of the OEM operation is established,based on the relationship of the consignors and the accepters.In this paper,firstly the respective decision behaviors of the consignors and the accepters are discussed.Then a Stackelberg game decision model of the OEM operation is set up.Finally a polynomial-time algorithm for the optimal strategy of OEM is gotten by using dual theory of bilevel programming.
Key words: OEM;Stackelberg game;bilevel programming;polynomial-time algorithm

摘 要:随着经济全球化的发展和经济的区域化分工,OEM 合作已成为一种重要的企业间生产方式。通过分析 OEM 业务中委托方和被委托方的决策行为及双方关系,建立 OEM 业务的 Stackelberg 博弈策略模型,并研究求解算法。首先,分析 OEM 业务中的委托方和被委托方各自的决策行为;进而以此为基础,建立 OEM 业务的 Stackelberg 博弈策略模型。最后,利用双层规划的对偶理论,给出求解 OEM 业务最优策略的一种多项式时间算法。
关键词:OEM 业务;Stackelberg 博弈;双层规划;多项式时间算法
DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2008.21.062 **文章编号:**1002-8331(2008)21-0227-04 **文献标识码:**A **中图分类号:**O221;O225

1 引言

OEM,是 Original Equipment Manufacturing 的缩写,直译为原厂设备制造,简单来说,即品牌拥有者自己掌握核心技术,自行设计委托厂商进行加工生产。

OEM 的概念是 1965 年墨西哥和美国政府为有助于发展双方的边境贫困地区而提出的[1]。20 世纪 80 年代起,我国在南部沿海地区建立了以深圳为首的一批经济特区,广泛开展来料加工贸易。

在全球化的经济环境下,企业之间的合作与分工明显增强,OEM 的合作生产已经成为一种新的生产方式。

在 OEM 业务中,委托方与被委托方之间既相互依存,又相互矛盾,其结构和决策方式值得研究。

对于 OEM 业务中委托方与被委托方的合作关系,国内外学者进行了许多有益讨论。Swink 等[2]认为双方之间已经逐渐成为一种长期的战略合作关系,怎样达到双赢成为分析的重点。欧世琳等[3]通过 OEM/ODM 合作机理的分析,建立其生产计划协商优化模型。水常青等[4]用博弈论模型,对一些 OEM 问题进行了数理和实证研究。

论文主要讨论 OEM 业务中委托方和被委托方的策略问题及算法。

2 OEM 业务中各方的决策行为分析

2.1 OEM 策略问题

某个企业(委托方)可以在 n 个企业(备选被委托方)中选择一个或若干个作为 OEM 合作伙伴,以完成对某种产品从原料购买、生产加工到成品销售的一系列工作。

委托方根据被委托方的生产情况,发出某种产品的成品订货单,并负责向被委托方分配加工产品所需的原料;被委托方则负责对分配到的原料进行加工生产,然后将产品成品返销给委托方。

为简化问题,建立以下四点假设:

假设 1 所有的 n 个备选被委托方的生产设备和生产技术等条件都达到委托方的要求;

假设 2 为保证产品原料的商业机密性及对产品成本的控制,委托方向被委托方提供的原料数量一般与该被委托方获得的产品成品订货量相关,假设委托方每发出一单位的产品成品订货单,就会相应提供固定单位的原料;同时,若合同完成后,被委托方还有剩余的原料,委托方也将回收;

假设 3 为了保证对产品成品的所有权、防止产品外泄,委托方要求被委托方生产出的全部成品都要返销给委托方——即若被委托方在合同订单数量之外还有多生产的产品,也要返销给委托方;同时,为鼓励被委托方对合同外产品的返销积极性,委托方对合同订单以外产品采取的返销价格,要比合同订单内产品返销价格略高;

假设 4 委托方和被委托方签订合同后,如一方违约,违约方将向另一方付出高额违约金,因而双方都必须严格执行订货

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(No.20060390102)。
作者简介:宿洁(1975-),女,博士,副教授,主要研究方向:最优化理论和算法。
收稿日期:2008-01-22 **修回日期:**2008-03-31

合同。

为方便问题的表述,引入如下一些符号:

T,在 OEM 中,委托方需要的某种产品成品的总数量,亦即委托方的合同订单数量的总和;

M,委托方每发出一单位的产品成品订货单,相应提供的原料的单位数量;

p,委托方支付的产品原料的单位价格;

q_i,第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方返销给委托方的合同订单产品的单位价格;

q_i',第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方返销给委托方的在合同订单以外产品的单位价格;

其中,$q_i<q_i'(i=1,\cdots,n)$。

a_i,第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方生产该种产品的最大生产能力;

b_i,第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方每生产一个单位的产品需消耗的原料单位数。

因此,在 OEM 业务中,委托方的决策目的是对各个备选被委托方的产品订货量进行分配,以使得在满足所需产品数量的前提下,尽可能降低产品成本——包括原料消耗所用的资金和购买返销产品所用的资金;而 n 个备选被委托方的决策目的就是要在现有生产条件基本不变的情况下,争取加工尽可能多的产品,以获得尽可能多的加工利润。

2.2 被委托方的生产决策问题

首先,引入委托方和被委托方的决策变量的表示符号:

x_i,委托方对第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方的合同订单的产品数量;

y_i,第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方的实际生产的产品单位数量。

则有 $x_i\geqslant0,y_i\geqslant0(i=1,\cdots,n)$。

下面分析当第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方得到产品数量为 x_i 的合同订单时,其生产决策情况。

首先考虑被委托方生产决策的约束条件。

由假设 1 知,备选被委托方的产品产量不超过其最大生产量,即

$$y_i\leqslant a_i \tag{1}$$

由假设 2 知,合同订单的产品数量为 x_i 时,备选被委托方会得到数量为 Mx_i 的原料,因此,其生产必须满足原料约束:

$$b_iy_i\leqslant Mx_i \tag{2}$$

而由假设 4 知,备选被委托方的实际生产的产品数量不能低于合同订单数量,即

$$y_i\geqslant x_i \tag{3}$$

然后考虑第 $i(i=1,\cdots,n)$个被委托方生产决策的目标函数——生产利润。

由假设 3 知,备选被委托方的生产利润可以分为两部分:合同订单内产品的获利为 q_ix_i;若有合同订单外的产品,其获利为 $q_i'(y_i-x_i)$。因此,备选被委托方的生产利润函数为

$$R_i(x_i,y_i)=q_ix_i+q_i'(y_i-x_i) \tag{4}$$

因此,当委托方对第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方的合同订单的产品数量为 x_i 时,该备选被委托方的生产决策就是在满足式(1)~(3)前提下,追求产品生产加工利润函数式(4)的最大化。从而,可以得到第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方得到产品数量为 x_i 的合同订单时,各备选被委托方的生产决策模型形式如下:

$$\max_{y_i}\ R_i(x_i,y_i)=q_ix_i+q_i'(y_i-x_i)$$
$$\text{s.t.}\begin{cases}y_i\leqslant a_i\\ y_i\geqslant x_i\\ b_iy_i\leqslant Mx_i\\ y_i\geqslant0\end{cases} \tag{5}$$

其中,合同订单的产品数量 x_i 为模型参数。

2.3 委托方的订货决策问题

下面分析当第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方得到产品数量为 x_i 的合同订单时,其实际生产的产品单位数量为 y_i 时,委托方的订货决策。

首先,考虑委托方的决策约束条件——委托方的总订货量的数量要求,即

$$\sum_{i=1}^{n}x_i=T \tag{6}$$

然后,考虑委托方的订货决策目标函数——订货成本。委托方的订货成本包括两部分:购买原料所用的资金和购买返销产品所使用的资金。

由假设 2 可知,当第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方的实际产品生产量为 y_i 时,其对原料的消耗量为 b_iy_i,而由于被委托方的原料完全是由委托方提供的,因此委托方的原料消耗总量为 $\sum\limits_{i=1}^{n}b_iy_i$,购买所有原料所用资金为 $\sum\limits_{i=1}^{n}pb_iy_i$。

由假设 3 可知,当第 $i(i=1,\cdots,n)$个备选被委托方的实际产品产量为 y_i 时,委托方用于购买该被委托方返销产品的资金为 $q_ix_i+q_i'(y_i-x_i)$,因此委托方购买所有返销产品所用资金为 $\sum\limits_{i=1}^{n}[q_ix_i+q_i'(y_i-x_i)]$。

于是,委托方的订货成本函数就是

$$C(x_1,\cdots,x_n,y_1,\cdots,y_n)=\sum_{i=1}^{n}pb_iy_i+\sum_{i=1}^{n}[q_ix_i+q_i'(y_i-x_i)] \tag{7}$$

因此,委托方的订货决策就是在满足产品的总订货量要求式(6)的前提下,追求订货成本函数(7)最小化。从而,委托方的订货决策优化模型为:

$$\min_{x_1,\cdots,x_n}\ C(x_1,\cdots,x_n,y_1,\cdots,y_n)$$
$$\text{s.t.}\begin{cases}\sum\limits_{i=1}^{n}x_i=T\\ x_i\geqslant0,i=1,\cdots,n\end{cases} \tag{8}$$

其中,实际产品生产量 y_i 为模型参数。

3 OEM 业务中的 Stackelberg 博弈模型

3.1 OEM 业务双方的关系

根据上一章对于 OEM 中委托和被委托双方的策略分析可知,二者应该是一种竞争合作关系,所以 OEM 决策可以用委托方与被委托方之间的均衡博弈模型来表示。

然而,在现实经济生活中,由于资源、信息等方面的不对称性,以及工序之间的矛盾,都造成了 OEM 业务中委托方与被委托方地位的不平等性[3]。

一方面,在 OEM 业务中的委托方拥有产品所需要的生产资源和相应的市场销售及需求信息,在业务中占有主导地位;而被委托方只是利用自有的生产设备和劳动力,为委托方加工产品以获得加工收入。也就是说,在从原料采购到生产再到销

售的整个产品生产链中,委托方掌握了链的两端资源,被委托方之负责链的中间环节。被委托方对委托方有从属性。

另一方面,由于在 OEM 业务中的委托方往往是具有较大规模的区域性或世界性的知名企业,数量较少;而被委托方通常是中小型或知名度较小的企业,数量较多,而且入行门槛较低。从而,在一项 OEM 业务中,被委托方的竞争往往十分激烈。由于 OEM 业务中委托和被委托双方的供需企业数量不不平等,因此,也造成了被委托方为了获得更多的利润,而对委托方采取从属态度。

因此,OEM 决策应该用委托方与被委托方之间的 Stackelbeg 博弈模型来表示,其中,委托方为博弈模型的上层决策者,所有的被委托方为下层决策者。

3.2 OEM 业务的 Stackelbeg 博弈模型及意义

由备选被委托方的生产决策模型(式(5)),和委托方的订货决策模型(式(8)),可以建立 OEM 业务中委托方与被委托方之间的 Stackelbeg 博弈模型,并用一个双层规划模型表示该 Stackelbeg 博弈策略——委托方的订货决策是上层子系统,被委托方的生产决策是下层子系统,而且下层子系统以其最优解(被委托方的产品最优生产量)为反馈反映到上层子系统中。故该 OEM 业务的双层规划模型为:

$$\min_{x_1,\cdots,x_n}\sum_{i=1}^{n}pb_iy_i+\sum_{i=1}^{n}[q_ix_i+q_i'(y_i-x_i)]$$
$$\text{s.t.}\begin{cases}\sum_{i=1}^{n}x_i=T\\ x_i\geqslant 0,i=1,\cdots,n\\ \text{其中 } y_i \text{ 是下面规划的最优解}\\ \min\limits_{y_i}[q_ix_i+q_i'(y_i-x_i)]\\ \text{s.t.}\begin{cases}y_i\leqslant a_i\\ y_i\geqslant x_i\\ b_iy_i\leqslant Mx_i\\ y_i\geqslant 0\end{cases}\\ i=1,\cdots,n\end{cases}\tag{9}$$

双层规划(式(9))是一个解型线性双层规划,其中 x 和 y 分别为上层和下层子系统的决策变量。求解双层规划(式(9))就可得到 OEM 业务中委托方和被委托方的最优策略。

下面具体分析出 OEM 业务的双层规划决策模型的实际经济意义。

由双层规划(式(9))上层子规划的目标函数形式可知,对第 $i(i=1,\cdots,n)$ 个备选被委托方而言,当其产品产量 y_i 和委托方的订货量 x_i 以及产品返销价格确定后,委托方成本的多少主要由单位产品的原料消耗量 b_i 的大小决定。而 b_i 的大小是由该被委托方的生产方式和技术水平决定的。若第 $i(i=1,\cdots,n)$ 个被委托方的生产方式较落后、生产中采用技术水平较低,它的 b_i 值通常就较大。此时,委托方为了降低成本,就会尽量避免选择这种被委托方作为合作对象。

与此同时,对 b_i 值较大的被委托方而言,为了能获得订货就必须降低自己产品的返销价格,以保证委托方的成本不会增加。

该结论与实际情况较为符合。在实际经济环境中,当某一企业采取粗放型生产方式时,其原料消耗量往往较高,从而导致生产成本较其他同行企业偏高,如此时该企业仍想获得与其他低成本企业相同的利润,就会因其产品价格过高而失去市场。因此,该企业若要保住市场份额和利润,就必须走集约型生产的路子,进行必要的生产技术改革,以减少对资源的消耗量。

4 Stackelbeg 博弈模型的算法

在建立 OEM 业务的双层规划决策模型(式(9))后,紧接着的就是如何求解的问题。本章主要是利用双层规划对偶理论和最优解性质,研究双层规划模型(式(9))的多项式时间算法。

4.1 双层规划(式(9))的等价形与对偶

首先,根据解性双层规划中下层子系统对上层子系统的反馈机制[5],将双层规划模型(式(9))等价转化为值型线性双层规划问题,具体形式如下:

$$\min_{x_1,\cdots,x_n}\sum_{i=1}^{n}(q_i-q_i')x_i+\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i'+pb_i}{q'}z_i(x)$$
$$\text{s.t.}\begin{cases}\sum_{i=1}^{n}x_i=T\\ x_i\geqslant 0,i=1,\cdots,n\\ \text{其中 } z_i(x) \text{ 是下面规划的最优解}\\ z_i(x)=\min\limits_{y_i}q_i'y\\ \text{s.t.}\begin{cases}y_i\leqslant a_i\\ y_i\geqslant x_i\\ b_iy_i\leqslant Mx_i\\ y_i\geqslant 0\end{cases}\\ i=1,\cdots,n\end{cases}\tag{10}$$

而且,解型线性双层规划(式(9))与值型线性双层规划(式(10))的最优解集合相同。

进一步,由值型线性双层规划的对偶理论[1]知,双层规划决策模型(式(9))的对偶双层规划为:

$$\min_{\lambda}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i'+pb_i}{q_i'}a_i\lambda_1^i+v(\lambda)$$
$$\text{s.t.}\begin{cases}\lambda_1^i-\lambda_2^i+b_1\lambda_3^i\geqslant q_i',\quad i=1,\cdots,n\\ (\lambda_1^i,\lambda_2^i,\lambda_3^i)\geqslant 0\quad i=1,\cdots,n\\ \text{其中 } v(\lambda)=\min\limits_{\mu}T\mu\\ \text{s.t.}\begin{cases}\mu\leqslant q_1-q_1'-\frac{q_1'+pb_1}{q_1'}(\lambda_2^1+M\lambda_3^1)\\ \vdots\\ \mu\leqslant q_n-q_n'-\frac{q_n'+pb_n}{q_n'}(\lambda_2^n+M\lambda_3^n)\\ \mu\geqslant 0\end{cases}\end{cases}\tag{11}$$

且双层规划(式(11))与双层规划(式(9))的对偶间隙为零。

由于双层规划(式(11))的下层子规划只有一个参数线性规划,而且其约束条件中只有对变量的 Box 约束,因此无论上层的可行决策变量是什么,其下层都是在求解一个带参量的约束线性规划。而且,该下层子规划的求解等价于如下问题:

$$\max\left\{0;T\left[q_i-q_i'-\frac{q_i'+pb_i}{q_i'}(\lambda_2^i+M\lambda_3^i)\right],i=1,\cdots,n\right\}\tag{12}$$

根据这个特点,在解双层规划(式(11))时,采取先下层后上层的分层求解方法:先求解下层的带参量的约束线性规划,然后把其最优解和对应的最优值带入上层子规划中,再对上层子规划进行求解,最后再把上层的最优解带入下层,得到整体最优解。

将规划(式(12))代入双层规划(式(11)),并对其进行等价变化,可以得到双层规划(式(11))的最优值等于如下 $n+1$ 个线性规划问题的最优值中的最小者[6]。

$$\min_{\lambda}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i'+pb_i}{q_i'}a_i\lambda_1^i$$

$$\text{s.t.}\begin{cases}\lambda_1^i-\lambda_2^i+b_i\lambda_3^i\geqslant q_i', & i=1,\cdots,n\\(\lambda_1^i,\lambda_2^i,\lambda_3^i)\geqslant 0, & i=1,\cdots,n\end{cases}\tag{13}$$

和

$$\min_{\lambda}\left\{\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i'+pb_i}{q_i'}a_i\lambda_1^i+c\left[q_j-q_j'-\frac{q_i'+pb_i}{q_i'}(\lambda_2^j+M\lambda_3^j)\right]\right\}$$

$$\text{s.t.}\begin{cases}\lambda_1^i-\lambda_2^i+b_i\lambda_3^i\geqslant q_i', & i=1,\cdots,n\\(\lambda_1^i,\lambda_2^i,\lambda_3^i)\geqslant 0, & i=1,\cdots,n\end{cases}\tag{14}$$

其中$j=1,\cdots,n$。并且有如下结论：

定理 1[6] 如果(λ,μ)是双层规划(式(11))的最优解，且x是如下规划(式(15))在参数为λ时的最优解，而y是双层规划(式(10))的下层子规划在参数为x时的最优解，则(x,y)是双层规划(式(10))的最优解。其中规划(式(15))为：

$$\min_{(x_1,\cdots,x_n)}\sum_{i=1}^{n}(q_i-q_i'+pM-\lambda_2^i+M\lambda_3^i)x_i$$

$$\text{s.t.}\begin{cases}\sum_{i=1}^{n}x_i=T\\x_i\geqslant 0, \quad i=1,\cdots,n\end{cases}\tag{15}$$

4.2 OEM 业务的最优策略算法

根据 4.1 节的讨论可知，通过求解式(13)和式(14)所示的$n+1$线性规划，可计算出双层规划式(10)的最优解和最优值。算法的具体步骤如下：

步骤 1 根据双层规划模型(式(9))的形式，写出如式(13)和式(14)所示的$n+1$个线性规划；

步骤 2 求解上述$n+1$个线性规划；

步骤 3 在这$n+1$个线性规划问题的最优值中求出最小者，则该值就是双层规划式(11)的最优值；

步骤 4 将双层规划(式(11))的最优解作为参数，带入规划(式(15))和双层规划(式(10))，就可求得双层规划(式(9))的最优解(x,y)。

由于线性规划问题有多项式时间算法，故双层规划(式(10))多项式时间算法。进而，由值型线性双层规划(式(10))与解型线性双层规划(式(9))的等价关系，就有对于 OEM 业务决策的双层优化模型的求解的多项式时间算法。

参考文献：

[1] Robbins S P.Management[M].4th ed.[S.l.]:Prentice Hall,1994.

[2] Swink M L,Mabert V A.Product development partnerships:balancing the needs of OEMs and suplliers[J].Business Horizons,2000,43(3):58-68.

[3] 欧世琳,陈志祥.OEM/ODM 合作方式下的协同生产计划优化模型[J].武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2007,29(7):120-122.

[4] 水常青,宋永高.我国企业做 OEM 的实证分析-基于博弈论的视角[J].企业管理,2004(11):34-36.

[5] 盛昭瀚.主从递阶决策论——Stackelberg 问题[M].北京:科学出版社,1998.

[6] 宿洁,马建华.两类线性双层规划的算法[J].经济数学,2002,19(1):57-63.

(上接 224 页)

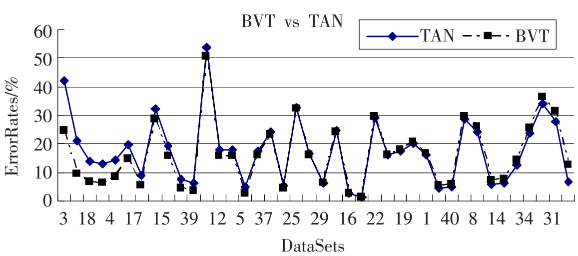

图 3 BVT 与 TAN 错误率比较

由图 3 可见本文的算法在前 9 个数据集上有较明显的优势，而对于图后半部的数据集劣势不明显。同样地，效果明显的 9 个数据集，其实例数和属性数都较多，如数据集 3(Audiology)，数据集 35(Soybean)等。

本文采用理论上较成熟的体积检验方法寻找属性间的依赖关系，并综合了假设检验的思想，朴素贝叶斯算法的优点和统计学结论来源于数据的特点提出了一种新的基于假设检验的贝叶斯分类算法。大量实验结果表明，其分类精度优于其它基于朴素贝叶斯的改进算法，而且该算法尤其适用于大数据集。

参考文献：

[1] Mitchell T M.Machine learning[M].New York:The McGraw-Hill Companies,Inc.,1997:154-199.

[2] Friedman N,Geiger D,Goldszmidt M.Bayesian networks classifiers[J].Machine Learning,1997(29):131-163.

[3] Zheng Z,Webb G I.Lazy learning of Bayesian rules[J].Machine Learning.Boston:Kluwer Academic Publishers,2000:1-35.

[4] Keogh E J,Pazzani M J.Learning augmented Bayesian classifiers:a comparison of distribution-based and classification-based approaches[C]//Proceedings of the Seventh International Workshop on Artificial Intelligence and Statistics,Ft.Lauderdale,FL,1999:225-230.

[5] Webb G I,Boughton J R,Wang Zhihai.Not so naïve bayes:aggregating one-dependence estimators[J].Machine Learning,2005,58:5-24.

[6] Diaconis P,Efron B.Testing for independence in a two-way table:new interpretations of the chi-square statistic[J].The Annals of Statistics,1985,13(3):845-874.

[7] 庄楚强,何春雄.应用数理统计[M].3 版,广州:华南理工大学出版社,2006.

[8] Witten I H,Frank E.Data mining practical machine learning tools and techniques[M].Beijing:China Machine Press,2005.

[9] Newman D J,Hettich S,Blake C L,et al.UCI Repository of machine learning databases[DB/OL].Irvine,CA:University of California,Department of Information and Computer Science,1998.http://www.ics.uci.edu/~mlearn/MLRepository.html.

[10] Hastie T,Tibshirani R,Friedman J.The elements of statistical learning:data mining,inference,and prediction[M].New York:Springer,2001.

[11] Bouckaert R R.Bayesian network classifiers in Weka[R].Waikato University,2005.