第 21 卷 第 4 期　　控 制 与 决 策　　2006 年 4 月
Vol. 21 No. 4　　Control and Decision　　Apr. 2006

文章编号: 1001-0920(2006)04-0466-04

投标决策模型在供应链计划中的应用

胡清河, 张　爽, 汪定伟
(东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110004)

摘　要: 描述了在电子商务环境下, 使用竞投标方法制定供应链计划的问题. 针对竞标策略中投标价格计算, 建立了包括一个随机参数集(产品的将要入库量)和一个模糊参数集(最大销售速率)的供应链计划多智能体合作模型, 并使用遗传算法求得问题的近似解. 计算结果证明了该算法的有效性和模型的实用性.

关键词: 电子商务; 竞投标; 遗传算法; 供应链计划
中图分类号: F22　　**文献标识码**: A

Bidding Decision Model in Supply Chain Planning

HU Qing-he, ZHANG Shuang, WANG Ding-wei
(College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: HU Qing-he, E-mail: huqinghe@mail.neu.edu.cn)

Abstract: The problem of the bid strategy used in supply chain planning under e-commerce environment is described. A bid cost calculating model is proposed which includes a random parameter set — the set of product quantity to be stored to inventory, and a fuzzy parameter set — maximum sales rates set. Using Genetic Algorithm yields a near solution. Simulation results show that this model has potential to practical applications.

Key words: E-commerce; Bid strategy; Genetic algorithms; Supply chain planning

1　引　　言

在不断降低成本和维持竞争的压力下, 每个公司都被电子商务所能提供的经济效益所吸引. 这些经济效益主要体现在电子商务可以通过内外部整合把产品生产和流通中所涉及的原材料供应商、生产商、批发商、零售商和最终消费者联系起来构成真正信息集成的供应链系统, 提供低成本且可以减少新技术更新和淘汰的科技基础建设、成员企业之间低廉又精确的电子交易、全球性的信息分享, 最终带来低成本的客户服务. 如何有效地制定竞标策略辅助企业寻找对企业最有利的选择成为企业和研究界关注的一个热门课题.

Friedman[1]在考虑企业期望利润条件下, 给出了一种优化竞标价格的单变量统计模型, Bussey 等[2]提出了企业在不同竞标价格时的获胜概率计算模型, Rothkopf[3]建立了竞标决策的对策论模型, 通过寻找纳什均衡解, 给出企业的优化竞标策略, Pei 等[4]将博弈论和模糊综合评价思想相结合, 提出了一种企业制定合理竞标价格的方法. 但是以上模型给出了太多的假设条件, 理论性太强, 造成模型的可操作性差, 且有的模型存在大量非定量因素, 难以精确表达. Hu 等[5]提出了一个基于合同网延伸协议, 充分考虑企业各种成本的综合竞标价格的优化模型. 虽然模型中考虑了一些不确定量, 如即将入库量, 但没有考虑这些不确定量为企业带来的风险, 如失去供货担保金. 本文在以上的研究基础上, 增加了与时段销售量有关的风险成本, 为企业在竞标过程中制定合理的竞标价格提供了一种新的思路.

2　问题描述

招标方通过一个供应链市场机制把它的需求 RFQs(requests for quotations) 传送给所有投标者, 一个 RFQs 包括需求描述和时间约束(开始时间和

收稿日期: 2005-03-07; **修回日期**: 2005-06-07.
基金项目: 国家自然科学基金重点项目(70431003).
作者简介: 胡清河(1968—), 男, 河北沧州人, 副教授, 博士生, 从事复杂系统建模与优化的研究; 汪定伟(1948—), 男, 江西彭泽人, 教授, 博士生导师, 从事生产计划与调度、建模与优化等研究.

结束时间限制). 每个投标方计算标价为(Insert costs$(T,O),a$) Insert costs(T,O) = cost$(T\oplus O)$ - cost(T), 其中: T 为该投标方目前的剩余任务量, O 为RFQS的订货量, cost$(T\oplus O)$ 代表投标方执行目前剩余任务量与新 RFQS 任务量的成本和, cost(T) 代表执行剩余任务量 T 的成本, a 是能够承担的新RFQS 的任务量. 假设 $O=\{O_1,O_2,\cdots,O_n\}$ 是目前未完成订单集合, 约束是销售能力和生产能力, 每个满足所有约束的解决方法都是一个有效路径, 投标方运用约束优化方法来得到执行全部订单的最佳路径. 虽然最小价格是一个重要的优化标准, 但是在实际情况中时间约束也是一个重要的标准: 投标方必须以最早的开始供应时间, 持续时间和完成时间来执行订单, 不允许在最早开始时间前启动订单执行.

为了描述方便, 定义如下变量:

Q_{pn} 为订单 n 中产品 p 的数量;

c_{ps} 为产品 p 运到地点 s 的单位运输成本;

b_p 为生产产品 p 的启动成本;

h_p 为单位时间单位产品 p 的存储成本;

f_s 为运输产品到地点 s 的固定成本;

v_p 为产品 p 的可变成本;

X_{pts} 为时段 t 产品 p 运到地点 s 的数量;

$\hat{A}_{pt}$ 为时段 t 产品 p 的即将入库量, 是一个正态分布的随机参数变量;

$\tilde{M}_p$ 为单位时段产品 p 的最大销售能力, 是一个满足三角模糊数 (D_p^1,D_p^2,D_p^3) 的模糊参数变量;

I_{pt} 为在时段 t 结束时产品 p 的库存量;

Y_{pt} 为在时段 t 结束时产品 p 是否需要启动成本, $A_{pt}>0$ 意味着 $Y_{pt}=1$, $A_{pt}=0$ 意味着 $Y_{pt}=0$;

G_p 为单位时段供应产品 p 的风险成本, 是供应量的递增函数;

Z_{st} 表明在时段 t 是否需要运输产品到地点 s, $X_{pts}>0$ 意味着 $Z_{st}=1$, $X_{pts}=0$ 意味着 $Z_{st}=0$.

于是, 投标决策模型为

$$\min f_n=\sum_{p,t,s}c_{ps}X_{pts}+\sum_{p,t}h_pI_{pt}+\sum_{s,t}f_sZ_{st}+\sum_{p,t}b_pY_{pt}+\sum_{p,t}v_p\hat{A}_{pt}+\sum_{p}G_p,$$

$$\text{s.t.}\ I_{pt-1}+\hat{A}_{pt}-I_{pt}=\sum_s X_{pts}, \tag{1}$$

$$\sum_{t,s}X_{pts}\le\sum_{i=1}^{n}Q_{pi}, \tag{2}$$

$$\sum_s X_{pts}\le\tilde{M}_p,\ \forall t, \tag{3}$$

$$X_{pts},\ I_{pt}\ge 0;\ Y_{pt},Z_{st}\in\{0,1\}. \tag{4}$$

目标函数最小化所有成本和, 包括运输成本、启动成本、存储成本、固定成本、可变成本和风险成本. 第 1 个约束是产品平衡等式, 第 2 个约束保证每个产品的运输量不超过订货数量, 第 3 个是能力约束, 最后一个保证不出现负库存. 目前的任务量和成本可由本模型得到, 同样收到新订单后的任务量和价格也可由本模型得到, 因此, 新订单的成本和数量可通过简单的减法运算来得到.

3　模型的简化

上述模型是一个既包括随机变量又包括模糊变量的不确定规划问题. 自从Bellman 等[6] 首次在决策问题中应用模糊数学规划并提出一些解决方法以来, 人们已经作了大量的工作, 且模糊规划已经成为模糊系统决策问题一个重要和有效的工具. 同样, 随机规划也是处理随机系统决策问题的一种有效工具[7,8]. 为了标准化约束条件, 式(1) 可以转化为

$$\sum_{j=1}^{t}I_{pj}=\sum_{j=1}^{t}\left(I_{pt-1}+\hat{A}_{pj}-\sum_s X_{pjs}\right),$$

$$I_{pt}=I_{p0}+\sum_{j=1}^{t}\hat{A}_{pj}-\sum_{j=1}^{t}\sum_s X_{pjs}.$$

因此目标函数可转化为

$$\min f=\sum_{p,t,s}(c_{ps}+v_p)X_{pts}+\sum_{p,t}h_p\left(I_{p0}+\sum_{j=1}^{t}\hat{A}_{pj}-\sum_{j=1}^{t}\sum_s X_{pjs}\right)+\sum_{s,t}f_sZ_{st}+\sum_{p,t}b_pY_{pt}.$$

约束(1) 可转化为

$$I_{p0}+\sum_{j=1}^{t}\hat{A}_{pj}-\sum_{j=1}^{t}\sum_s X_{pjs}\ge 0. \tag{5}$$

由于随机变量集 $\hat{A}_{pt}$ 的规划模型是不确定的, 通常可以采用机会约束随机规划方法来求解. 机会约束随机规划问题由Charnes 等[9] 首次提出, 允许所做决策对第 i 个约束条件可以机会约束的形式最大$(1-\beta_i)$ 的可能不满足. 基于这个理论, 目标函数可转化为

$$\min \bar{f}$$

$$\text{s.t.}\ P_r\left\{\sum_{p,t,s}(c_{ps}+v_p)X_{pts}+\sum_{p,t}h_p\left(I_{p0}+\sum_{j=1}^{t}\hat{A}_{pj}-\sum_{j=1}^{t}\sum_s X_{pjs}\right)+\sum_{s,t}f_sZ_{st}+\sum_{p,t}b_pY_{pt}\le\bar{f}\right\}\ge\alpha. \tag{6}$$

式(5) 转化为

$$P_r\left\{I_{p0}+\sum_{j=1}^{t}\hat{A}_{pj}-\sum_{j=1}^{t}\sum_s X_{pjs}\ge 0\right\}\ge\beta_{pt}, \tag{7}$$

其中 $P_r\{\cdot\}$ 代表随机问题$\{\cdot\}$ 正确的概率. 基于机会约束随机规划理论, Liu[10] 提出了机会约束模糊规划模型. 根据这个理论, 约束(3) 可转化为

$$\mathrm{Pos}\left\{\sum_s X_{pts} \le \widetilde{M}_{pt}\right\} \ge \gamma_{pt}. \qquad (8)$$

其中 $\mathrm{Pos}\{\cdot\}$ 代表模糊问题$\{\cdot\}$正确的可能性. 显然 $\forall \gamma_{pt}, \exists k_{pt} \in (-\infty, +\infty)$ 使得等式 $\mathrm{Pos}\{k_{pt} \le \widetilde{M}_{pt}\} = \gamma_{pt}$ 成立. 如果将 k_{pt} 变为 $k'_{pt} < k_{pt}$, $\mathrm{Pos}\{k_{pt} \le \widetilde{M}_{pt}\}$ 就会增加, 这是因为

$$\mathrm{Pos}\{k_{pt} \le \widetilde{M}_{pt}\} = \sup\{\mu(\widetilde{M}_{pt}) \mid \widetilde{M}_{pt} \ge k_{pt}\} \le \sup\{\mu(\xi) \mid \xi \ge k'_{pt}\} = \mathrm{Pos}\{k'_{pt} \le \widetilde{M}_{pt}\}.$$

所以不等式(8) 可以转化为以下等价形式:

$$\sum_s X_{pts} \le k_{pt},$$

$$k_{pt} = \sup\{k \mid k = \mu^{-1}(\gamma_{pt})\}. \qquad (9)$$

其中 $\mu^{-1}(\cdot)$ 是 $\mu(\cdot)$ 的反函数. 规划问题转化为

$$\min \bar{f}$$

$$\text{s.t. } P_r\Big\{\sum_{p,t,s}(c_{ps} + v_p)X_{pts} + \sum_{p,t} h_p\Big(I_{p0} + \sum_{j=1}^{t}\hat{A}_{pj} - \sum_{j=1}^{t}\sum_s X_{pjs}\Big) + \sum_{s,t} f_s Z_{st} + \sum_{p,t} b_p Y_{pt} + \sum_p G_p \le \bar{f}\Big\} \ge \alpha,$$

$$\sum_{t,s} X_{pts} \le \sum_{i=1}^{n} Q_{pi},$$

$$P_r\Big\{I_{p0} + \sum_{j=1}^{t}\hat{A}_{pj} - \sum_{j=1}^{t}\sum_s X_{pjs} \ge 0\Big\} \ge \beta_{pt},$$

$$\sum_s X_{pts} \le k_{pt},$$

$$X_{pts} \ge 0, Y_{pt}, Z_{st} \in \{0, 1\}.$$

4 计算实例

提出的模型是一种带有模糊和随机变量的可靠性优化问题, 求解问题的目的是要确定一个新的用户需求所能完成的任务量, 使得总成本最小的可靠性目标和满足于约束条件的满意度达到最大. 但是, 目标函数和约束条件均为非线性, 属于NP hard问题, 适合这个模型的方法是遗传算法. 以中国某计算机制造商为背景用Java实现这一模型, 在Celeron 900, 128M 的机器上对大量的例子进行了计算, 取得了满意的效果, 限于篇幅, 这里给出一个规模较小的例子. 设有 5 种产品, 2 个地点, 3 个时段, 各个参数如表1～3所示, 表4为未插入新订单前产品供应计划, 表 5 为新订单的订货量.

表 1 各产品单位时段的最大销售能力

产品 p	1	2	3	4	5
D_p^1	25	30	30	35	20
D_p^2	30	35	32	37	23
D_p^3	35	40	35	40	26

表 2 产品各时段的即将入库量

产品	初始值	时段 1	时段 2	时段 3
1	15	N (24, 2)	N (23, 1)	N (26, 2)
2	16	N (23, 1)	N (22, 1)	N (25, 2)
3	16	N (21, 2)	N (23, 1)	N (25, 2)
4	17	N (24, 2)	N (23, 1)	N (25, 2)
5	13	N (22, 2)	N (20, 1)	N (20, 2)

表 3 各个产品单位成本及固定成本数据 (元)

产品	可变成本	存储成本	启动成本	运到地点 1		运到地点 2	
				运输成本	固定成本	运输成本	固定成本
1	600	100	1 100	150	600	100	400
2	600	100	1 400	150	600	100	400
3	650	150	1 500	140	600	110	400
4	700	150	1 400	160	600	120	400
5	550	100	2 000	150	600	100	400

表 4 插入新订单前各时段的产品供货量

产品	时段 1		时段 2		时段 3	
	地点 1	地点 2	地点 1	地点 2	地点 1	地点 2
1	12	13	13	13	10	7
2	15	10	17	7	10	6
3	13	13	15	8	13	5
4	7	15	16	13	10	5
5	11	11	10	7	7	4

表 5 新订单的产品订货量

产品	时段 1		时段 2		时段 3	
	地点 1	地点 2	地点 1	地点 2	地点 1	地点 2
1	0	0	0	5	10	7
2	0	0	0	7	10	6
3	0	0	0	7	13	5
4	0	0	3	5	10	5
5	0	0	3	2	7	4

风险成本 G_p 为

$$G_p = \begin{cases} 0, & 0 \le \sum_s X_{pts} \le D_p^1; \\ \dfrac{1000\left(\sum_s X_{pts} - D_p^1\right)}{D_p^2 - D_p^1}, & D_p^1 < \sum_s X_{pts} \le D_p^2; \\ 1000 + \dfrac{1500\left(\sum_s X_{pts} - D_p^2\right)}{D_p^3 - D_p^2}, & D_p^2 < \sum_s X_{pts} \le D_p^3; \\ \infty, & \sum_s X_{pts} > D_p^3. \end{cases} \qquad (10)$$

分别取交叉概率为 0.2, 变异概率为 0.5, 目标函数机会最小可能因子 α 为 0.75, 产品平衡约束最小概率因子 β_{pt} 为 0.7. 按照文中所述方法清晰化后, 采用遗传算法求得目前订货量, 总的成本为 293 012 元. 插入表 5 后, 可得完成的订单总量如表 6 所示,

新订单的产品供货量如表 7 所示 比较表 5 和表 7 可以看出, 对于新的订单, 在最优化成本的前提下没有充分承诺客户需求, 且完成表 6 供货的总成本为 374 471 元, 所以完成新订单成本如下(单位: 元):

$$364\ 471 - 293\ 012 = 71\ 456.$$

表 6　插入新订单事各时段的产品订货量

产品	时段 1		时段 2		时段 3	
	地点 1	地点 2	地点 1	地点 2	地点 1	地点 2
1	12	13	13	18	16	14
2	15	10	17	14	20	12
3	13	13	15	15	20	10
4	7	15	19	18	20	10
5	11	11	13	9	14	8

表 7　新订单的产品供货量

产品	时段 1		时段 2		时段 3	
	地点 1	地点 2	地点 1	地点 2	地点 1	地点 2
1	0	0	0	5	6	7
2	0	0	0	7	10	6
3	0	0	0	7	7	5
4	0	0	3	5	10	5
5	0	0	3	2	7	4

5　结　论

在竞争全球化条件下, 基于电子商务平台制定竞标策略是供应链计划的关键问题 本文以此为背景, 从供应商的角度出发, 针对客户招标的 RFQ s, 通过考虑时间、成本和风险, 根据销售能力、库存等建立了确定供货量和成本的投标决策模型, 并用遗传算法进行求解, 通过对多个问题的成功仿真表明了算法的有效性和模型的实用价值 作为投标方的供应商可以把该结果作为投标工作量和报价的依据来书写本企业的投标书, 招标方在规定日期内对接到的所有投标书进行评价, 从中选择中标伙伴, 完成整个供应链竞标过程

本文提供了一种竞标决策的新途径, 对于企业参与供应链合作, 提高生存能力具有一定的借鉴作用

参考文献(References)

[1] Friendman L. A Competitive Bidding Strategy [J]. *Operation Research*, 1980, 28(1): 104-112.

[2] Bussev P, Cassigne N, Singh M. Bid Pricing-calculating the Possibility of Winning [J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 1997, 13(1): 3615-3620.

[3] Rothkopf M H. Equilibrum Linear Bidding Strategies [J]. *Operations Research*, 1980, 28(10): 576-583.

[4] 裴菁, 汪定伟 虚拟企业协作中的竞标策略研究[J]. ***管理科学学报***, 2002, 5(1): 35-39.
(Pei J, Wang D W. Bid Strategy of Virtual Enterprise [J]. *J of Management Science in China*, 2002, 5(1): 35-39.)

[5] Hu Q H, Arun Kumar, Zhang S. A Bidding Decision Model in Multiagent Supply Chain Planning[J]. *Int J of Production Research*, 2001, 39(15): 3291-3301.

[6] Bellman R, Zadeh L A. Decision Making in a Fuzzy Environment[J]. *Management Science*, 1970, 17(4): 141-161.

[7] Zimmermann H J. Fuzzy Mathmatical Programming [J]. *Computer and Operations Research*, 1983, 10(4): 291-298.

[8] Zimmermann H J. Application of Fuzzy Set Theory to Mathematical Programming[J]. *Information Science*, 1985, 36(1): 29-58.

[9] Charnes A, Copper W W. Chance Constrained Programming[J]. *Management Science*, 1959, 6(1): 73-79.

[10] Liu B, Esogbue A O. Fuzzy Criterion Set and Fuzzy Criterion Dynamic Programming [J]. *J of Mathematical Analysis and Applications*, 1996, 199(1): 293-311.

(上接第 465 页)

[3] 唐志杰, 杨保安, 徐优丽 基于面向对象方法管理决策问题中的异构知识表示与实现[J]. ***中华管理资讯系统***, 2003, 1(3): 50-55.
(Tang Z J, Yang B A, Xu Y L. The Object-oriented Method Based Representation and Implementation of Isomeric Knowledge on Management Decision Problem [J]. *Chinese MIS*, 2003, 1(3): 50-55.)

[4] Woods W A. What's in a Link: Foundations for Semantic Networks [A]. *Representation and Understanding: Studies in Cognitive Science* [C]. Brachman: Academic Press, 1985: 35-82.

[5] Brachman R J, Schmolze J G. An Overview of the KL-ONE Knowledge Representation System [J]. *Cognitive Science*, 1985, 9(2): 171-216.

[6] Nardi D, Brachman R J. An Introduction to Description Logics [A]. *The Description Logic Handbook* [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002: 5-44.