

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2019.12.003

考虑风险态度的多属性逆向拍卖模型及机制设计

陈德艳^{1,2}, 汪定伟¹

(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 辽宁石油化工大学 理学院, 辽宁 抚顺 113001)

摘 要: 针对多属性逆向拍卖中买家得分函数和属性权重难以确定的问题, 考虑到买家风险态度的影响, 提出一个兼顾模糊投入产出效率和供应商能力的赢者决定模型, 并设计一个两阶段的拍卖机制. 买家在拍卖第一阶段提取有效投标信息并剔除差的卖家, 在第二阶段优化各属性投标值并确定赢者. 数例分析结果验证了模型的有效性. 在不揭露买家信息的情况下, 两阶段拍卖机制保证了买家的利益; 随着买家风险爱好程度的增加, 卖家综合效率得分也随之增高, 不同的风险态度会导致拍卖双方策略和拍卖结果的变化.

关 键 词: 多属性逆向拍卖; 风险态度; 赢者决定; 拍卖机制; 综合效率

中图分类号: TP 224.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2019)12-1685-05

Multi-attribute Reverse Auction Model and Mechanism Design Under the Consideration of the Risk Attitude

CHEN De-yan^{1,2}, WANG Ding-wei¹

(1. School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. College of Science, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China. Corresponding author: CHEN De-yan, E-mail: chendy0413@163.com)

Abstract: To solve the difficulty of identifying score function and attribute weight, a winner decision model including the fuzzy input-output efficiency and supplier capability was proposed, as well as a two-stage auction mechanism. The effective bidding information could be extracted and the inferior sellers could be eliminated by the buyer in the first stage of the auction. In the second stage, the bidding value of attributes could be optimized and the final winner could be determined. The result of numerical example verified the validity of the model. The two-stage auction mechanism ensures the interests of buyer without the information disclosure. With the increase of buyers' risk preference, the comprehensive efficiency score of sellers increases. Different risk attitudes will lead to the change of auction strategies of both parties and the difference of auction result.

Key words: multi-attribute reverse auction; risk attitude; winner decision; auction mechanism; comprehensive efficiency

随着网络技术和电子商务快速发展,多属性逆向拍卖由于具备节约成本、增加收益和评估全面等优点,被企业和政府广泛应用到商品或服务采购中.

赢者决定是多属性逆向拍卖中的一个关键问题,主要有两类研究方法^[1].一类是基于博弈论方法:Che^[2]最早在供应商成本独立的假设下,设计了一个包括价格和质量两个属性的拍卖模型和最优拍卖机制;David等^[3]在给定成本和效用函

数形式基础上,推广到存在多个质量属性的情形;文献[4-5]从不同方面进一步完善他们的模型.另一类是基于决策论方法:Cheng^[6]用模糊多目标规划和TOPSIS方法解决赢者决定问题;Tsai等^[7]设计了一个模糊多属性比较与谈判机制解决赢者决定问题并开发了一个在线模糊谈判系统.

主观因素,特别是风险态度对多属性逆向拍卖结果有很大影响.田剑等^[8]在采供双方都为风

险规避的情况下,对利润分配及采供关系进行博弈分析,讨论风险态度对利润分配结果的影响. Huang 等^[9]提出一个将前景理论和 BOCR 框架相结合的多准则决策方法,解决风险规避供应商的赢者决定问题. 上述方法都需要事先确定得分函数或是投标属性的权重,这在实践中是十分困难和复杂的.

数据包络分析(DEA)作为一种非参数方法,在拍卖设计中,可以有效评估决策单元(供应商)的绩效^[10],避免出现得分函数和投标属性权重难以确定问题. Bogetoft 等^[11]将第二价格得分拍卖与 DEA 相结合,在最大化社会总效益的前提下,设计了一个最优拍卖机制;Narasimhan 等^[12]基于 DEA 模型提出一个以胜标供应商和试验供应商的效率之差为目标函数的线性规划模型,分析了供应商的投标决策. 但这些模型和方法主要考虑投入产出效率,未对卖方能力及买方需求进行综合考量,且各个属性值只限于清晰数,未考虑模糊数和区间数等不同类型数据的处理.

本文结合模糊 DEA 方法,引入买家的风险态度参数,构建了一个同时考虑模糊 DEA 效率和供应商能力的涉及多种数据类型的多属性拍卖赢者决定模型,并设计了一个两阶段拍卖机制.

1 模糊数的评估

本文选用类似文献[13]针对 L-R 型模糊数的去模糊化方法对投标结果排序. 实践中常用的梯形及三角模糊数等都是 L-R 型模糊数,区间数和清晰数是梯形模糊数的特例.

定义 1 设实数集上的有界闭区间 $I = [a, b], a, b \in \mathbf{R}, a \leq b$, 若有

$$\varphi_{\lambda}(I) = (1 - \lambda)a + \lambda b, \quad 0 \leq \lambda \leq 1, \quad (1)$$

则称函数 φ_{λ} 为区间 I 的评估函数.

参数 λ 反映决策者风险态度,而评估函数 φ_{λ} 的取值是决策者对于取值于区间 I 的区间数的评估值. 对收益型决策指标,如果决策者比较乐观,爱好风险,则 $0.5 < \lambda < 1$, 决策者越是乐观, λ 越大;如果决策者比较悲观,规避风险,则 $0 < \lambda < 0.5$, 决策者越是悲观, λ 越小,当 $\lambda = 0.5$, 决策者风险中性. 对成本型决策指标,所得结果则完全相反.

定义 2^[14] 假设 $S(\tilde{X})$ 是模糊数 \tilde{X} 的支撑, 则模糊数 \tilde{X} 的 α -截集为

$$(\tilde{X})_{\alpha} = [(X)_{\alpha}^L, (X)_{\alpha}^U] =$$

$$[\min_x \{x \in S(\tilde{X}) \mid \mu_{\tilde{X}}(x) \geq \alpha\},$$

$$\max_x \{x \in S(\tilde{X}) \mid \mu_{\tilde{X}}(x) \geq \alpha\}]. \quad (2)$$

其中 $\mu_{\tilde{X}}(x)$ 为模糊数 \tilde{X} 的隶属函数.

定义 3 给定参数 λ , 定义模糊数 \tilde{X} 的加权评估值为

$$W_{\lambda}(\tilde{X}) = \int_0^1 \varphi_{\lambda}((\tilde{X})_{\alpha}) dS(\alpha).$$

其中: φ_{λ} 是对模糊数 \tilde{X} 的 α -截集 $(\tilde{X})_{\alpha}$ 的评估函数; $S(\alpha)$ 为区间 $[0, 1]$ 上的一个加性测度.

加性测度 $S(\alpha)$ 的变化体现出决策者对不同水平 α -截集的关注程度,反映决策者主观偏好. 实际应用时,加性测度 $S(\alpha)$ 可用一个满足 $S(0) = 0, S(1) = 1$ 并且单调增加的连续函数来表示,并且有 $W_{\lambda}(\tilde{X}) = (1 - \lambda)M^L(\tilde{X}) + \lambda M^U(\tilde{X})$, 其中 $M^L(\tilde{X}) = \int_0^1 (\tilde{X})_{\alpha}^L dS(\alpha), M^U(\tilde{X}) = \int_0^1 (\tilde{X})_{\alpha}^U dS(\alpha).$

2 拍卖模型及机制设计

假设单一买家(采购商)需要购买某种(或某些)涉及多个属性的商品或服务.

2.1 基于模糊数的多属性拍卖模型

假设共有 K 个卖家,相当于 K 个决策单元(DMU),买家为拍卖最终的决策者,所采购的商品或服务共有 M 个成本型的投入属性和 N 个收益型的产出属性. 定义 $\tilde{x}_{ik} (i = 1, 2, \dots, M)$ 为第 k 个卖家对第 i 个投入属性的投标值, $\tilde{y}_{jk} (j = 1, 2, \dots, N)$ 为第 k 个卖家对第 j 个产出属性的投标值,且 $\tilde{x}_{ik}, \tilde{y}_{jk}$ 都为 L-R 型模糊数,则多属性逆向拍卖赢者决定模型如下.

$$\left. \begin{aligned} \tilde{E}_{Td} &= \max_d \sum_{j=1}^n b_j \tilde{y}_{jd} + \frac{\sum_{j=1}^n b_j \tilde{y}_{jd}}{\sum_{j=1}^n b_j \tilde{g}_j}, \\ \text{s. t. } \sum_{i=1}^m a_i \tilde{x}_{id} &= 1. \\ \sum_{j=1}^n b_j \tilde{y}_{jk} - \sum_{i=1}^m a_i \tilde{x}_{ik} &\leq 0, \quad k = 1, 2, \dots, K. \\ A_{lr}^L a_r &\leq a_l \leq A_{lr}^U a_r, \quad l < r; l, r = 1, 2, \dots, M. \\ B_{st}^L b_t &\leq b_s \leq B_{st}^U b_t, \quad s < t; s, t = 1, 2, \dots, N. \\ a_i, b_j &\geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

其中:决策变量 a_i 是第 i 个投入属性权重,决策变量 b_j 是第 j 个产出属性权重. $A_{lr}^L a_r \leq a_l \leq A_{lr}^U a_r$ 和 $B_{st}^L b_t \leq b_s \leq B_{st}^U b_t$ 是对决策权重 a_l 和 b_s 的限制条件,由买家根据经验或是专家意见加以确定,体现买家对投入属性与产出属性相对重要性偏好. 若给定 a_l 和 b_s 取值区间 $a_l^1 \leq a_l \leq a_l^2, b_s^1 \leq b_s \leq b_s^2$, 约

束条件可取为 $\frac{a_l^1}{a_r}a_r\leqslant a_l\leqslant \frac{a_l^2}{a_r}a_r, \frac{b_s^1}{b_t}b_t\leqslant b_s\leqslant \frac{b_s^2}{b_t}b_t, \varepsilon$ 是一个较小正数,确保每个投标属性都发挥作用. g_j 为买家对各个产出属性的目标值,反映买家理想需求水平.目标函数中 $\sum_{j=1}^nb_j\tilde{y}_{jd}$ 是卖家 d 投入产

出效率,而 $\frac{\sum_{j=1}^nb_j\tilde{y}_{jd}}{\sum_{j=1}^nb_jg_j}$ 是卖家 d 产出相对于买家目标产出的效率,它体现卖家 d 满足买家需求的能力,故 \tilde{E}_{Td} 代表卖家 d 的综合效率得分.若存在单一赢者,则满足综合效率得分为 $\tilde{E}_T=\max_{1\leqslant d\leqslant K}\{\tilde{E}_{Td}\}$ 的供应商将是最终赢者;若存在多个赢者,对所有卖家 \tilde{E}_{Td} 进行排序,排名靠前卖家为最终赢者.

对模型(4)取加权评估值 $W_{\lambda}(\tilde{X})$ 有

$$\left. \begin{aligned} E_{wd} &= \max_d \left(1 + \frac{1}{z} \right) \sum_{j=1}^n b_j W_{\lambda_1}(\tilde{y}_{jd}) . \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^m a_i W_{\lambda_2}(\tilde{x}_{id}) &= 1 . \\ \sum_{j=1}^n b_j W_{\lambda_1}(\tilde{y}_{jk}) - \sum_{i=1}^m a_i W_{\lambda_2}(\tilde{x}_{ik}) &\leqslant 0, \quad k = 1, 2, \cdots, K . \\ \sum_{j=1}^n b_j W_{\lambda_1}(\tilde{g}_j) &= z . \\ A_{lr}^L a_r &\leqslant a_l \leqslant A_{lr}^U a_r, \quad l < r; l, r = 1, 2, \cdots, M . \\ B_{st}^L b_t &\leqslant b_s \leqslant A_{st}^U b_t, \quad s < t; s, t = 1, 2, \cdots, N . \\ a_i, b_j &\geqslant \varepsilon, \quad i = 1, 2, \cdots, M; j = 1, 2, \cdots, N . \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中: λ_1 为产出属性风险态度参数; λ_2 为投入属性风险态度参数.当买家风险中性时, $\lambda_1=\lambda_2=0.5$;当买家风险规避时, $\lambda_1<0.5, \lambda_2>0.5$;当买家风险爱好时, $\lambda_1>0.5, \lambda_2<0.5$;特别当买家对卖家投标的产出属性和投入属性风险态度一致时,有 $\lambda_1+\lambda_2=1$. E_{wd} 是对模糊数取加权评估值后的卖家综合效率得分.

2.2 两阶段拍卖机制

多属性逆向拍卖机制分两个阶段.第一阶段为确定合格卖家(供应商)的过程,多个卖家首先对买家公布的多个属性进行单轮密封投标,然后买家依据2.1节的拍卖模型和卖家投标结果计算其综合效率得分.若综合效率得分高的一个(或几个)卖家各个属性投标值达到买家需求标准,则拍卖结束,综合效率得分最高的一个(或几个)卖家为赢者;若投标结果不能满足买家需求,则综合效率达到一定分数以上的多个卖家进入到拍卖第二阶段.拍卖第二阶段为赢者决定过程,买家公布对各个属性的具体投标要求和理想产出属性目

标值,卖家依据自身条件对属性标的进行修改后再次投标,买家重新计算综合效率得分并确定最终赢者.

3 数例分析

买家从7个卖家采购某种大型生产设备,须对价格、交付时间、质量、设计及产品合格率进行综合考量,并确定唯一赢者.

3.1 合格卖家的确定

买家发布招标公告后,7个卖家对各个属性进行投标,投标结果见表1,其中的语言变量可按照图1的隶属函数形式转化成对称三角模糊数.令加性测度为 $S(\alpha)=\alpha$,价格与交付时间权重之比介于 $[1.5,4]$,质量权重范围为 $[0.007\ 6,0.009\ 0]$,设计权重范围为 $[0.003\ 0,0.003\ 8]$,则质量与设计权重之比介于 $\left[\frac{0.007\ 6}{0.003\ 8},\frac{0.009\ 0}{0.003\ 0}\right]=[2,3],\varepsilon=0.001$.产出属性理想目标值:质量5(很好),设计5(很好),产品合格率99%.

表 1 卖家的投标属性值					
Table 1 The bidding attribute values of sellers					
卖家	投入属性		产出属性		
	价格 万元	交付时间 d	质量	设计	产品合格率 %
1	480	[32,40]	好	好	[98,100]
2	465	[36,41]	很好	好	[96,98]
3	475	[34,42]	好	好	[96,99]
4	460	[34,38]	好	中等	[97,99]
5	470	[35,42]	中等	很好	[95,97]
6	475	[33,43]	中等	好	[95,98]
7	473	[34,37]	好	好	[96,100]

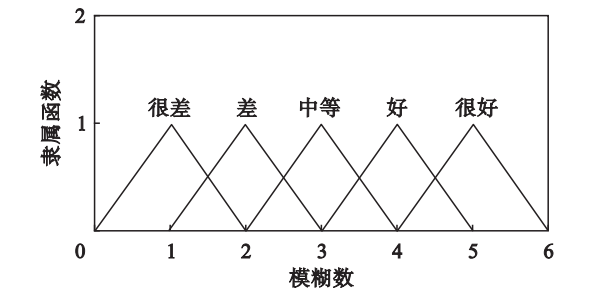


图 1 语言变量的模糊隶属函数
Fig. 1 Fuzzy membership functions for linguist variables

假设买家对产出和投入属性的风险态度一致且风险规避(实践中常见),且 $\lambda_1=0.3, \lambda_2=0.7$.分别计算各个卖家在模糊 DEA 模型(模型(4)目标函数去掉第二项,其他处理方法不变)中的效率得分和模型(5)中的综合效率得分(表 2 和表 3

的第 5 列). 买家设定第一阶段投标合格标准为综合效率得分在 1.93 及以上,故卖家 1,卖家 2,卖家 3,卖家 4 和卖家 7 合格,其中卖家 4 综合效率得分最高,为1.981 6,但是其设计属性投标为中等,不能满足买家需求,拍卖进入第二阶段.

3.2 最终赢者的确定

拍卖的第二阶段,买家首先规定各个属性投

标要求:价格在 470 万元以下,交付时间为 40 d 以内,质量和设计都为好,产品合格率大于等于 96%. 然后在拍卖第一阶段合格的 5 个卖家调整各个属性标的后进行二次投标,投标结果见表 4. 综合效率得分最高的卖家 1 为最终赢者.

表 2 不同风险态度参数下卖家的模糊 DEA 效率
Table 2 Fuzzy DEA efficiencies of sellers under different risk attitude parameters

卖家	$\lambda_1=0$	$\lambda_1=0.1$	$\lambda_1=0.2$	$\lambda_1=0.3$	$\lambda_1=0.4$	$\lambda_1=0.5$	$\lambda_1=0.6$	$\lambda_1=0.7$	$\lambda_1=0.8$	$\lambda_1=0.9$	$\lambda_1=1$
1	0.974 7	0.975 1	0.975 5	0.975 9	0.976 3	0.976 7	0.977 1	0.977 5	0.977 9	0.978 3	0.978 7
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0.964	0.965 2	0.966 5	0.967 8	0.969 1	0.970 3	0.971 7	0.973	0.974 4	0.975 7	0.977 1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.957 0	0.957 3	0.957 7	0.958 0	0.958 4	0.958 7	0.959 1	0.959 4	0.959 8	0.960 1	0.960 5
6	0.944 1	0.945 7	0.947 3	0.948 8	0.950 4	0.952	0.953 5	0.955 2	0.957	0.958 7	0.960 5
7	0.969 8	0.971 5	0.973 2	0.974 8	0.976 4	0.978 1	0.979 7	0.981 3	0.982 8	0.984 4	0.986 0

表 3 不同风险态度参数下卖家的综合效率
Table 3 Comprehensive efficiencies of sellers under different risk attitude parameters

卖家	$\lambda_1=0$	$\lambda_1=0.1$	$\lambda_1=0.2$	$\lambda_1=0.3$	$\lambda_1=0.4$	$\lambda_1=0.5$	$\lambda_1=0.6$	$\lambda_1=0.7$	$\lambda_1=0.8$	$\lambda_1=0.9$	$\lambda_1=1$
1	1.954 3	1.956 9	1.959 7	1.962 4	1.965 2	1.967 9	1.970 7	1.973 5	1.976 2	1.979	1.981 8
2	1.956 7	1.960 7	1.964 7	1.968 6	1.972 6	1.976 6	1.980 5	1.989 4	2.007 6	2.025 7	2.043 8
3	1.922 5	1.927 2	1.93 18	1.936 5	1.941 1	1.945 8	1.950 4	1.955	1.959 8	1.964 6	1.969 3
4	1.974 7	1.977	1.979 3	1.981 6	1.983 8	1.986 1	1.988 4	1.990 7	1.992 9	1.995 2	1.997 5
5	1.910 4	1.913	1.915 6	1.918 2	1.920 8	1.923 4	1.926 1	1.928 7	1.93 13	1.933 9	1.936 5
6	1.897 7	1.902 6	1.907 4	1.912 3	1.917 2	1.922	1.926 9	1.931 8	1.936 9	1.941 9	1.946 9
7	1.928 0	1.934 2	1.940 3	1.946 4	1.952 5	1.958 6	1.964 7	1.970 8	1.976 8	1.982 9	1.988 9

3.3 买家风险态度的影响

为了考察买家风险态度的变化对拍卖的影响,当风险态度一致时($\lambda_1+\lambda_2=1$),分别计算模糊 DEA 模型中的效率得分和模型(5)中的综合效率得分,结果见表 2 和表 3. 首先,卖家的模糊 DEA 效率得分和综合效率得分都随着风险态度参数 λ_1 的不断增加而增加. 在买家确定综合效率得分合格标准后,风险爱好买家会保留更多投标人,保守卖家应关注买家风险态度并调整投标策略以确保其投标资格. 其次,当 λ_1 从 0 变化到 0.7 时,卖家 4 一直是综合效率得分最高者,但当 λ_1 从 0.8 变化到 1 时,供应商 2 成为综合效率得分最高者. 故买家风险态度对最终的赢者决定也至关重要. 最后,综合效率最高的卖家也是模糊投入产出效率最高的卖家,即模型(5)保证 DEA 有效的同时,兼顾对卖家能力的考核. 有效卖家的模糊 DEA 效率为 1 时,其效率不再随 λ_1 的变化而变化,还需二次排序确定最终赢者,而模型(5)的

综合效率则随 λ_1 增加而增加,可直接确定赢者,无需二次排序.

在风险态度不一致($\lambda_1+\lambda_2\neq 1$),改变加性测度函数或决策变量权重约束条件等情况下,经过多次数值实验亦发现:当模型(5)存在可行最优解时,风险态度参数对综合效率得分影响与本例基本一致.

表 4 卖家第二阶段的投标结果及综合效率
Table 4 The second bidding results and integrated efficiencies of sellers

卖家	投入属性		产出属性			综合效率得分
	价格/万元	交付时间/d	质量	设计	产品合格率/%	
1	475	[32,40]	好	好	[98,100]	1.992 1
2	465	[36,40]	很好	好	[96,98]	1.974 6
3	475	[34,40]	好	好	[96,99]	1.957 3
4	475	[34,38]	好	好	[97,99]	1.973 2
7	475	[34,37]	好	好	[96,100]	1.966 1

4 结 论

- 1) 多属性模糊综合效率拍卖模型兼顾买方投入产出效率和卖方满足买方需求的能力,考虑了买方主观风险态度和属性数据类型多样性的影响,克服了 DEA 中多个有效单元无法排序的问题.
- 2) 两阶段拍卖机制的第一阶段可以有效提取卖方信息,剔除劣者;而在第二阶段,通过制定新投标属性要求,促使卖家提高标的,保证买家利益.
- 3) 买家风险态度会影响拍卖双方的策略,改变拍卖结果. 风险规避买家倾向于给出较低综合效率得分,而风险爱好买家则倾向于给出较高综合效率得分.

参考文献:

[1] Pham L, Teich J, Wallenius H, et al. Multi-attribute online reverse auctions: Recent research trends [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 242: 1 – 9.

[2] Che Y K. Design competition through multidimensional auctions[J]. *The RAND Journal of Economics*, 1993, 24: 668 – 680.

[3] David E, Azoulay-Schwartz R A, Kraus S. Bidding in sealed-bid and English multi-attribute auctions[J]. *Decision Support Systems*, 2006, 42: 527 – 556.

[4] 洪宗友,汪定伟. 多属性招标采购中买卖双方的最优策略研究[J]. *系统工程学报*, 2014, 29(4): 458 – 467.

(Hong Zong-you, Wang Ding-wei. Optimal strategies of

auctioneer and bidders in multi-attribute procurement auctions [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2014, 29 (4): 458 – 467.)

[5] Liu S L, Wang M X. Sealed-bid auctions based on Cobb-Douglas utility function [J]. *Economics Letters*, 2010, 107 (1): 1 – 3.

[6] Cheng C B. Solve a sealed-bid reverse auction problem by multiple-criterion decision-making methods [J]. *Computer and Mathematics with Applications*, 2008, 56: 3261 – 3274.

[7] Tsai K, Chou F. Developing a fuzzy multi-attribute matching and negotiation mechanism for sealed-bid online reverse auctions[J]. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 2011, 6(3): 85 – 96.

[8] 田剑,陈曲. 主体风险规避情形下多属性逆向拍卖利润分配研究[J]. *中国管理科学*, 2014, 22(9): 33 – 39.

(Tian Jian, Chen Qu. Research on profits allocation between supplier and buyer with risk-aversion in multi-attribute reverse auctions [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2014, 22(9): 33 – 39.)

[9] Huang M, Qian X H, Fang S C, et al. Winner determination for risk aversion buyers in multi-attribute reverse auction[J]. *Omega*, 2016, 59: 184 – 200.

[10] Wang Y M, Chin K S. A neutral DEA model for cross-efficiency evaluation and its extension [J]. *Expert System with Applications*, 2010, 37(5): 3666 – 3657.

[11] Bogetoft P, Nielsen K. DEA based auctions [J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 184: 685 – 700.

[12] Narasimhan R, Talluri S, Mahapatra S. Effective response to RFQs and supplier development: A supplier ’ s perspective [J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 115: 461 – 470.

[13] Facchinetti G, Pacchiarotti N. Evaluations of fuzzy quantities [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2006, 157: 892 – 903.

[14] Kao C, Liu S T. Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 119: 149 – 160.