

一种考虑DMU间交叉竞争的博弈效率DEA评价方法

程幼明, 姚 丽, 何惠妍[†], 梅帅帅

(安徽工程大学 管理工程学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 针对绩效评价过程中一般只考虑DMU与评价者之间的合作竞争而忽视DMU间的非合作竞争的博弈, 引入交叉竞争的博弈理念, 将评价问题界定为评价者与DMU间合作竞争与博弈、DMU间交叉竞争的博弈两大类; 考虑到在交叉竞争的博弈情境下, DMU的指标值不再是固定不变, 而是随之动态调整的特点, 设计交叉竞争的博弈规则, 并运用决策树法描述考虑交叉竞争博弈下的DEA评价与选择过程; 变评价过程中效用值改变的途径由“基于权重的交换”转化为“基于交叉竞争博弈的指标值调整”, 实施对DEA模型的改进, 设计交叉竞争的博弈效率DEA评价方法, 得出确定型、风险型和不确定型DEA方法的分类和交叉竞争的博弈效率评价过程; 从经济学的博弈论和管理学的决策分析来解释DEA, 实现更加直观的DMU评价过程和更符合客观实际的评价情景. 最后通过算例验证所提出方法的可行性、有效性和保序性.

关键词: 交叉效率; 博弈效率; 数据包络分析; 决策树

中图分类号: C934

文献标志码: A

An evaluation method for DEA game efficiency considering cross-competition game of DMUs

CHENG You-ming, YAO Li, HE Hui-yan[†], MEI Shuai-shuai

(College of Management Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

Abstract: Current studies mainly focus on the cooperation and competition between decision making unites(DMUs) and evaluators but neglect the non-cooperation and competition among DMUs in the process of the evaluation. With regard to the gap and combined with the theory of cross competition game, the evaluation issue in this paper is defined as the cooperation and competition between evaluator and DMU, and the cross competition game between two DMUs. Considering the characteristics of DMUs indexes which are not fixed but adjusted dynamically, the rules of the cross competition game are designed, and the data envelopment analysis(DEA) evaluation and selection process of the cross competition game are described by using the decision tree method. Simultaneously, we change the route of utility values in the evaluation process from only considering weights exchange to considering cross competition game. Furthermore, an improved cross efficiency DEA model and the classification of deterministic, risky and uncertain DEA are proposed, and an approach of game efficiency DEA evaluation is designed. For the proposed model and approach, we explain them from the perspectives of the game theory in economics and decision making theory in management. Finally, an illustrated example is provided to demonstrate the feasibility and effectiveness of the proposed model and approach.

Keywords: cross efficiency; game efficiency; data envelopment analysis; decision tree

0 引言

西蒙曾指出“管理即决策”, 在决策过程中, 对方案的抉择通常是建立在对方科学评价的基础上, 因此评价方法是科学决策的核心和关键内容. 所谓评价是指评价者依据当前的实际条件, 采用一定的评价方法对各评价对象的价值或优劣程度赋予一个客观

的评价值, 并进行排序与择优的过程^[1-3], 是人们认识客观事物的基本方法和人类社会活动的一部分. 管理决策属于典型的多目标、多属性(亦称多准则)决策, 具有过程的复杂和高风险等特点, 评价方法的科学性和合理性直接影响着管理决策的质量, 已成为决策科学、管理科学和运筹学等学科研究与应用的重

收稿日期: 2017-01-09; 修回日期: 2017-09-06.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71171002, 71671001); 安徽省哲学社会科学规划项目(AHSKY2014D83); 安徽工程大学研究生实践与创新项目.

作者简介: 程幼明(1963-), 男, 教授, 从事运营管理、动态多目标等研究; 姚丽(1988-), 女, 硕士生, 供应链管理、DEA的研究.

[†]通讯作者. E-mail: 810767268@qq.com

要内容。

目前,基于统计决策的评价理论已由单目标决策转化为多目标决策,并形成了多准则决策、多属性群决策的效用理论和效率评价方法^[4-5]。现阶段较为流行的决策单元(Decision making unite, DMU)效率评价方法是数据包络分析法(Data envelopment analysis, DEA)。DEA作为一种能够有效处理多I/O(Input/Output,投入/产出)问题的非参数前沿效率统计方法,因具有无需事先确定指标的权重和能够极大地克服评价者的主观因素影响等特点而被广泛应用。经典DEA(CCR、BCC模型)是从自评的角度评价DMU相对效率,虽然能够有效地区分各DMU是否相对有效,但存在只考虑了各自最优的极端权重,未考虑其他权重的效率关系,未能解决DMU有效排序等问题^[6-7]。为了解决这些问题,一系列DEA拓展模型被相继提出,其中最具代表性的是交叉效率DEA,它是从互评的角度,通过交换DMU对应指标的权重对其实施相对有效性的综合评价,解决了有效排序和权重不现实等问题^[8-10];在交叉效率DEA的基础上,针对DMU偏好权重的不唯一性和交叉效率值出现多解等情况,形成了利己型和排他型DEA评价模型^[11];考虑到DMU间的竞争与合作关系,形成了竞合交叉效率DEA评价模型^[12]。但在竞争环境下,DMU决策者的决策与最终效率有关^[13],考虑到DMU决策者往往根据竞争的DMU策略调整自身的对策及由此所产生的影响,超出了传统交叉效率DEA的解决范围,因此一些学者结合博弈论提出了改进交叉效率的博弈DEA评价模型^[14-21],运用迭代算法、证据距离等求解博弈交叉效率,既保持了交叉效率的充分排序又无需对指标的权重事先限制。

交叉效率DEA与交叉效率的博弈DEA都是建立在DMU的指标值固定不变这一基本假设条件下,考虑了指标的权重对DMU相对效率的影响,但仍存在两方面的不足:

1)指标的权重仅表示重要性的偏好,可看成是“影子价格”,评价过程是一种线性规划方法,评价方法的经济学与管理学含义不够清晰^[17],评价过程及其结果缺乏直观性;

2)在竞争条件下,DMU间的关系是两两之间的交叉竞争,竞争的结果往往是根据对方策略(指标值或指标效用值)调整自身策略(指标值或指标效用值)的动态交叉竞争博弈(Cross competition game, CCG),各DMU的对应指标值不再是固定不变而是动态调整,这样上述基本假设显然与真实评价情

景不相吻合。

为了解决上述问题,本文从评价者多目标决策的视角,运用决策树法形象直观地描述交叉竞争的博弈效率DEA(Cross competition game DEA, CCG-DEA)评价过程;基于博弈论,引入CCG理念,考虑到DMU间CCG的真实情景,按非合作博弈均衡的思想对DMU对应指标值实施动态调整来构建CCG决策矩阵,设计出CCG-DEA评价模型,实施DMU交叉竞争的博弈效率评价,并通过算例验证CCG-DEA评价模型的可行性。CCG-DEA可实现评价情景更加符合客观实际,评价过程及其结果更加直观、可靠且易于理解和接受,同时能够解释其背后的经济学与管理学含义。

1 评价过程中决策单元间的竞争与博弈

1.1 决策单元间交叉竞争的博弈内涵及方式

在社会分工越细、协作关系越密切的竞争环境下,不同类型的DMU(评价者与被评价者,如供应链中的供应商与制造商、制造商与渠道商)两者之间存在着合作竞争,同类型的DMU(被评价者,如供应商、制造商、渠道商)两两之间也存在着交叉竞争关系。从博弈论角度看,参与竞争DMU的决策者要根据竞争DMU的策略实施调整自身对应指标值来变换自身的对抗策略,这种情形从招投标过程中竞争性谈判的二次报价、排队论的服务提供者的作业效率随队长的改变而调整等得以验证。由此,DMU间的竞争不仅存在单一双方之间的竞争,同时还存在着彼此两两之间的竞争,即交叉竞争。竞争的结果大多是指标值或效用值调整的博弈,决策过程中的评价与选择问题已不再是静态的考核,而是相对较复杂的交叉竞争后的动态博弈问题。

考虑到各DMU决策者的主观能动性,评价过程中存在着两类竞争与博弈的关系:1)评价者与被评价DMU间的竞争与博弈。其竞争关系是合作竞争,表现为DMU选取的竞争,博弈则表现为所选定DMU的改善。2)被评价DMU间的CCG。其竞争不仅发生在两个DMU间,同时发生在所有DMU的两两之间;不仅存在与前沿面比较基础上DEA相对效率评价后选择的竞争和选定者改善的博弈,同时还存在与其他DMU间的交叉竞争与博弈,具体表现为DMU决策者根据竞争DMU的情况(指标值或效用值),通过内部挖潜来改善自身条件,在一定范围内修正自身指标值或效用值,形成了CCG。有别于传统的竞争,这里的交叉竞争不仅考虑单对DMU间(即双方)竞争,还同时考虑所有DMU两两间(即多方的两两间)竞争,

竞争的结果也不再是简单的优胜劣汰,而是根据竞争DMU的具体策略实施自身条件的改善;CCG是指DMU两两间通过指标值的调整而改变其效用,不再是单纯通过权重的交换来考察其效用。

交叉效率DEA和交叉博弈DEA都是通过权重的变换以实现指标值效用的改变来综合评价DMU的效率,两者的主要区别在于交叉效率DEA是基于交换权重,而交叉博弈DEA是基于DMU属性(利己型、排他型)的改变权重。但是两者都未考虑竞争后博弈的指标值变动问题,这是现行DEA评价方法,评价结果差强人意的根源所在,其大多建立在被评价对象相互独立这一基本假设基础上。考虑到被评价DMU间CCG实施评价方法的改善已引起相关学者的重视,如AHP法改进为底层指标间不再独立的ANP法^[16];自评的经典DEA改进为他评的博弈交叉效率DEA。但这两种方法都忽视了决策者的主观能动性,未考虑DMU的决策者基于竞争对手的具体情况,对自身的指标值在一定范围内实施调整的CCG事实。

1.2 问题描述及其分类

假定有 n 个决策单元,记为 DMU_i ,其度量指标有 m 个, $U_{ik}(i = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, m)$ 表示第 i 个DMU的第 k 项指标,综合评价指标为 U_i ,则有评价过程是以效益型指标取 $\max(U_i)$ 或成本型指标取 $\min(U_i)$ 为决策目标,评价者依据一定评价方法对 DMU_i 的 U_{ik} 综合测评 U_i 形成 n 个决策方案的择优过程。因此,形成两类4种竞争与博弈模式如下。

第1类,仅考虑评价者与DMU间合作竞争与博弈的评价问题。1)单纯型合作竞争与博弈。在仅考虑评价者与DMU间的评价基础上选择的竞争,概念模型描述为如图1(a)所示,是基本(或通行)的评价方法。2)混合型合作竞争与博弈模式。单纯型模式的拓展,引入对所选取DMU确立其 U'_{ik} 的改善程度,一定意义上是博弈关系,其概念模型描述为如图1(b)所示。

第2类,既考虑评价者与DMU间竞争与博弈,又考虑DMU间竞争的博弈问题。第2类是在第1类基础上引入DMU间的非合作竞争的博弈,分DMU间单一竞争与博弈和CCG两种方式,具体为:1)复合型单一竞争与博弈模式。同时考虑DMU间的单一竞争和评价者与DMU间的合作竞争与博弈,其概念模型描述为如图1(c)所示,经典DEA评价与选择是其代表形式,即考虑各个独立的 DMU_i 与相对较优的某一标杆 $DMU_j(j = 1, 2, \dots, n)$ 或前沿面的竞争,形成 n 个决策方案,基于相对效率择优的竞争和确立

所选取DMU改善程度的博弈。2)并行型CCG模式。考虑DMU决策者的偏好和主观能动性,DMU间存在CCG关系,概念模型可描述为如图1(d)所示,交叉效率DEA是其代表形式,定义为“指标效用值 = 权重 \times 指标值”,通过交换权重实施交叉博弈,形成新的效用值。相类似,考虑到决策者的主观能动性,目标 DMU_i 决策者要依据竞争 $DMU_j(j = 1, 2, \dots, n)$ 的实际情况调整自身策略,基于博弈的 U_{ik} 不再是静态固定不变,而是要实施动态调整,其调整后的指标值记为 $U_{(i,j)k}$,可看成是一个新的博弈DMU,记为 $DMU_{(i,j)}$ (其中 $DMU_{(i,i)} = DMU_i$ 表示 DMU_i 自身CCG),形成了 n 个博弈DMU,则其评价问题转化为对 n 个DMU和每一个DMU都有 n 种状态的决策问题。

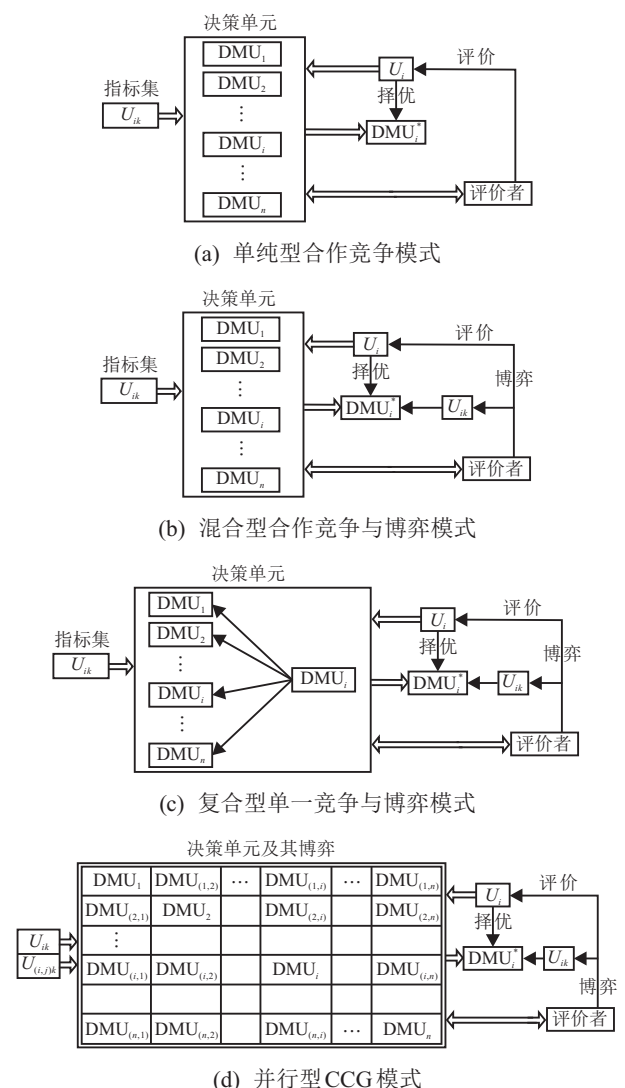


图1 评价过程中的竞争与博弈概念模式

上述两类4种模式中,第1类是静态模式,第2类是动态模式。本文以第2类中并行型CCG模式为研究对象,考虑到效用值改变途径有权重(偏好)的改变和指标值的调整两种方式,同时指标值调整更加直观,且接近考虑DMU决策者的主观能动性的普遍做

法等,实施CCG-DEA评价方法研究.

1.3 DMU间的CCG规则

DMU间的竞争有别于DMU与评价者间的竞争,是一种非合作竞争,基于人类的一般行为准则,其竞争的结果是博弈,即DMU的决策者要根据竞争DMU的策略(指标值),在自身竞争优势地位不下降,且保证低成本和高效率的原则下,调整自身的对策(指标值).在此,基于文献[19]的非合作博弈均衡思想和低成本高效率原则,并考虑评价过程的真实情景,设计DMU间CCG的对应指标值调整博弈规则:目标DMU_i相对于竞争DMU_j而言,适当降低自身优势指标和致力于改善自身劣势指标可提升竞争力.

2 考虑DMU间CCG效率的DEA改进模型

DEA虽然已成为效率评价的标准分析工具之一,但由于其建立在DMU相互独立这一基本假设基础上,一定意义上是一种静态评价技术.考虑到竞争条件下DMU间CCG的事实,经典DEA模型无法满足这一真实情景,在此以CCR-DEA模型为例,引入交叉效率DEA模型^[14]思想实施DEA改进.

2.1 交叉效率DEA模型的基本原理

经典DEA模型(以CCR-DEA为例)的基本原理包括如下3方面内容.

1) 问题描述: n 个DMU记为DMU_{*i*} ($i = 1, 2, \dots, n$), m 个指标 U_{ik} 有 p 个投入指标和 q 个产出指标,分别用 I_{ih} ($h = 1, 2, \dots, p$) 和 O_{il} ($l = 1, 2, \dots, q$) 表示.

2) 基于自评的相对效率评价:反映DMU_{*i*}的综合指标 U_i 用投入产出比 (θ_i) 表示,基于投入产出分析原理,记下式的最优解为 ($\theta_i^*, \mu_{il}^*, v_{ih}^*$):

$$\begin{aligned} \theta_i &= \max \sum_{l=1}^q \mu_l O_{il}. \\ \text{s.t. } & \sum_{l=1}^q \mu_l O_{il} - \sum_{h=1}^p v_h O_{ih} \leq 0; \\ & \sum_{h=1}^p v_h O_{ih} = 1; \\ & \mu_i, v_h \geq \varepsilon; \\ & l = 1, 2, \dots, q, h = 1, 2, \dots, p. \end{aligned} \quad (1)$$

其中: μ_i 和 v_h 分别表示产出指标和投入指标的权重系数; ε 表示非阿基米德无穷小; θ_i 表示DMU_{*i*}的效益值.

3) 相对有效性分析: 当 $\theta_i^* = 1$ 时,表示DMU_{*i*}有效; 当 $\theta_i^* \in (0, 1)$ 时,DMU_{*i*} 视为无效. 不足之处在于只能区分DMU是否有效,不具备唯一性而不能进行DMU有效排序等.

交叉效率DEA模型是经典DEA模型的拓展,其基本原理除经典DEA模型基本原理的内容之外,还包括: 1) 基于他评的思想,即通过DMU间两两交换指标的权重按下式测算其交叉效率值:

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^q \mu_{jl}^* O_{il}}{\sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^p v_{jh}^* I_{ih}}. \quad (2)$$

2) 排序,即按 E_i 降序排序,实施DMU的评价与选择. 不足之处在于未考虑DMU决策者的主观能动性.

2.2 CCG-DEA评价过程的决策描述

由1.2节可知,最接近真实评价情景的是图1(d),它是一种合作竞争(DMU与评价者之间)与非合作竞争(DMU间)并存,交叉竞争(DMU间)与博弈(DMU与评价者、DMU间)并举的模式.在CCG情形下,DMU_{*i*}的效率值不再单一,而是在CCG基础上形成 n 个博弈效率值的综合,CCG-DEA评价过程方法模型可抽象为如图2所示的决策树.

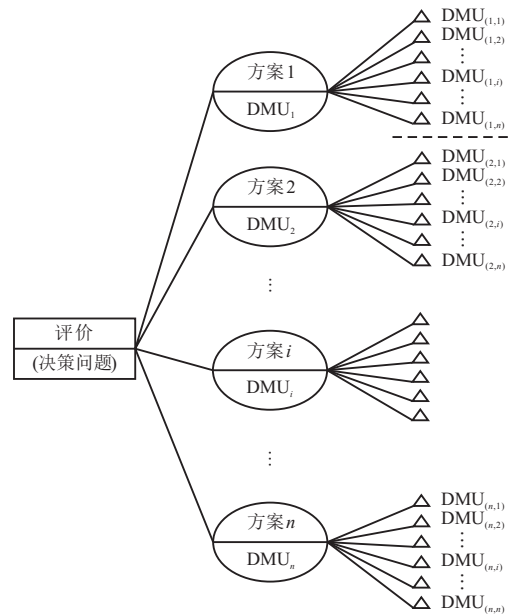


图2 并行型CCG-DEA模式决策树

DEA效率评价是一个决策问题. 考虑在CCG条件下评价过程实质上是一个决策过程,具备了如下决策条件: 1) 目标明确(评价目标); 2) 两个以上方案(DMU_{*i*}看成是评价方案); 3) 每一个方案至少有两种自然状态(DMU_{*(i,j)*}的CCG状况); 4) 每一个方案在不同自然状态下的效率值可以测算(DMU_{*(i,j)*}效率值 $\theta_{(i,j)}$ 基于CCR-DEA模型可测量).

基于决策树描述的DEA模型分类. 1) 经典DEA是确定型决策和一级决策,每一个方案只有一

Step 4: CCG 模式下 DMU 的博弈效率分析.

1) 不确定条件下考虑 CCG 的 DMU 博弈效率分析: 目标 DMU_i 与竞争 DMU_j 的 CCG 结果 DMU_(i,j) 发生的概率 ω_j (j = 1, 2, ..., n) 无法估计. 目标 DMU_i 的 CCG 效率评价问题转化为不确定型决策. 基于决策者的偏好, 可采用乐观准则的 max[θ_(i,j)] (j = 1, 2, ..., n)、悲观准则的 min[θ_(i,j)] (j = 1, 2, ..., n)、折中准则的最大与最小加权平均值、最小后悔值准则的测算后悔值的最小后悔值、等概率准则的简单平均值等作为目标 DMU_i 的 CCG 效率值, 记为 θ_i^{*}.

2) 随机条件下考虑 CCG 的 DMU 效率分析: 可以确定 DMU_(i,j) 发生的概率 ω_j, ω_j ∈ (0, 1) 且有 ∑ ω_j = 1, j = 1, 2, ..., n. 目标 DMU_i 的 CCG 效率评价转化为风险型决策, 基于风险型决策计算期望损益值的方法, 可测算出目标 DMU_i 的 CCG 效率值, 其计算公式如下所示:

$$\theta_i^* = \sum_{j=1}^n [\omega_j \theta_{(i,j)}].$$

其中

$$\theta_{(i,j)} = \sum_{l=1}^q \mu_{(i,i)l} O_{(i,j)l} \left(\sum_{h=1}^p v_{(i,i)h} I_{(i,j)h} \right)^{-1},$$

$$i = 1, 2, \dots, n. \tag{9}$$

在此将 ω_j 看作是目标 DMU_i 与竞争 DMU_j 发生 CCG 的概率, 可运用专家打分法、AHP 等方法确定.

由此可见, 运用决策树法描述 CCG-DEA 评价过程具有形象、直观的特点, 可以减少在 DMU 的数量较多情形下, 由于 CCG 过程较复杂而产生的漏项或重复等错误, 并且能够从经济学的效用理论和博弈论、管理学的决策理论来解释 DEA 方法. 这对于在“互联网+”和大数据条件下, 云制造、众包等运作模式的 DMU 数量众多、竞争更激烈的竞争性 DMU (如众包供应商) 的评价与选择而言, 更具有现实意义.

2.3 考虑交叉竞争的博弈效率 DEA 改进模型

考虑到评价过程中 DMU 间 CCG 的情景, 目标 DMU_i 与其他竞争 DMU 间要发生 CCG, 因此基于 CCG 规则实施调整对应指标值的策略, 进而形成 n 个 DMU_(i,j) (j = 1, 2, ..., n), 此时 DMU_i 的效率值不再是单一效率值 θ_i, 而是 n 个效率值 θ_(i,j) (j = 1, 2, ..., n). 假定目标 DMU_i 与竞争 DMU_j (j = 1, 2, ..., n) 间发生 CCG 的概率为 ω_j, 基于风险型决策评价方法, 形成考虑 CCG 的 DEA 改进模型——CCG-DEA. 具体描述如下.

1) DMU 的定义. 对于 n 个 DMU, 描述 DMU_i 的

m 个指标 U_{ik} 可分为 p 个投入指标和 q 个产出指标, 分别用 I_{ih} (h = 1, 2, ..., p) 和 O_{il} (l = 1, 2, ..., q) 表示; 评价指标集及其决策矩阵如式 (3) 和 (4) 所示.

2) DMU 的原始效率评价. 反映 DMU 综合指标 U 可通过式 (1) 对 DMU 相对有效性进行评价, 确定其原始效率值 θ_i (i = 1, 2, ..., n).

3) CCG 效率决策矩阵的确立. 目标 DMU_i 与其他竞争 DMU 发生 CCG, 形成 n 个 DMU_(i,j) (j = 1, 2, ..., n, 当 j = i 时, DMU_(i,j) = DMU_i); 基于 CCG 规则, 按式 (5) 调整对应指标值, 得到 DMU_i 的 CCG 效率评价指标决策矩阵 (式 (6)) 和 DMU 的 CCG-DEA 效率评价指标决策矩阵 (式 (7)); 对 n × n 个 DMU_(i,j) 按式 (1) 测算其效率值 θ_(i,j) (j = 1, 2, ..., n), 得出目标 DMU_i 的状态效率矩阵. 取 i = 1, 2, ..., n, 测算出 CCG-DEA 的效率评价决策矩阵.

4) CCG-DEA 的效率评价. 定义权重 ω_j, 按式 (9) 测算 DMU_i 的 CCG 效率值 θ_i^{*}, 具体 CCG-DEA 模型计算公式为

$$\max \sum_{l=1}^q \mu_{(i,j)l} O_{(i,j)l}.$$

$$\text{s.t. } \sum_{l=1}^q \mu_{(i,j)l} O_{(i,j)l} - \sum_{h=1}^p v_{(i,j)h} I_{(i,j)h} \leq 0;$$

$$\sum_{h=1}^p v_{(i,j)h} I_{(i,j)h} = 1;$$

$$\mu_{(i,j)l}, v_{(i,j)h} \geq \varepsilon, l = 1, 2, \dots, q, h = 1, 2, \dots, p,$$

$$p + q = m;$$

$$\sum_{j=1}^n \omega_j = 1, \omega_j \in (0, 1);$$

$$\theta_i^* = \sum_{j=1}^n \left[\omega_j \in \sum_{l=1}^q \mu_{(i,i)l} O_{(i,j)l} \left(\sum_{h=1}^p v_{(i,j)h} I_{(i,j)h} \right)^{-1} \right];$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n. \tag{10}$$

5) DMU 的排序与选择. θ_i^{*} ∈ (0, 1), 根据 θ_i^{*} 对 DMU_i (i = 1, 2, ..., n) 实施降序/升序排列, 进而选择.

相对于经典 DEA 和交叉效率 DEA, CCG-DEA 引入了效用理念, 考虑到 DMU 的决策者主观能动性, DMU 间不仅存在竞争, 同时竞争的结果是博弈, 基于博弈调整其指标值来改进指标效用值, 相对于交叉效率 DEA 变换权重来改进指标的效用值, 这种方式更加直观且更容易让人们接受. 同时, 进一步拓展了现行 DEA 评价过程中改变指标效用值的途径, 评价指标效用值符合经济学的效用理论.

3 算例分析

以文献[21]的数据(见表2)为例进行分析验证。其中: $n = 13, m = 6(p = q = 3); I_1 \sim I_3$ 为成本型指标,分别是运输总成本、及时供货、维修服务; $O_1 \sim O_3$ 为效率型指标,分别是实际合格零件数量、供应商供货准时到达次数、供货数量准确到达次数。

表2 DMU原始数据

DMU _i	成本型指标(I)			效率型指标(O)			CCR-DEA 效率值 θ_i	是否 有效	排 序
	I ₁	I ₂	I ₃	O ₁	O ₂	O ₃			
DMU ₁	267	48	90	103	189	100	0.6508	否	9
DMU ₂	253	46	58	134	197	130	0.9229	否	5
DMU ₃	189	35	53	130	210	175	1.0000	是	1
DMU ₄	258	43	65	125	179	160	0.7740	否	6
DMU ₅	257	70	86	117	187	173	0.7270	否	7
DMU ₆	248	28	55	139	195	170	1.0000	是	1
DMU ₇	275	64	95	106	197	120	0.6447	否	10
DMU ₈	331	45	98	120	198	145	0.6667	否	8
DMU ₉	327	72	83	95	203	150	0.6173	否	11
DMU ₁₀	330	76	100	79	174	90	0.4745	否	13
DMU ₁₁	322	54	89	86	177	100	0.5310	否	12
DMU ₁₂	328	32	92	102	212	180	0.9369	否	4
DMU ₁₃	249	28	59	118	198	170	1.0000	是	1

3.1 CCG-DEA评价

目标DMU_i($i = 1, 2, \dots, n$)与竞争DMU_j($j = 1, 2, \dots, n$)的CCG形成了 13×13 个DMU_(i,j),取 $\alpha =$

0.2,按式(5)测算DMU_(i,j)($i, j = 1, 2, \dots, n$)的指标集 $A_{(i,j)} = \{U_{(i,j)1}, U_{(i,j)2}, \dots, U_{(i,j)k}, \dots, U_{(i,j)m}\}$,其中 $k = 1, 2, \dots, m$;以DMU₃为例,按式(6)和(7)计算其CCG评价指标决策矩阵,如表3所示。

表3 DMU₃的CCG评价指标决策矩阵

竞争 DMU _j	目标DMU ₃ 交叉竞争的博弈指标值						效率值 $\theta_{(3,j)}$
	I _{(3,j)1}	I _{(3,j)2}	I _{(3,j)3}	O _{(3,j)1}	O _{(3,j)2}	O _{(3,j)3}	
DMU ₁	204.6	37.6	60.4	124.6	205.8	160.0	0.9103
DMU ₂	201.8	37.2	54.0	130.8	207.4	166.0	0.9834
DMU ₃	189.0	35.0	753.0	130.0	210.0	175.0	1.0000
DMU ₄	202.8	36.6	55.4	129.0	203.8	172.0	0.9464
DMU ₅	202.6	42.0	59.6	127.4	205.4	174.6	0.9307
DMU ₆	200.8	33.6	53.4	131.8	207.0	174.0	1.0000
DMU ₇	206.2	40.8	61.4	125.2	207.4	164.0	0.9052
DMU ₈	217.4	37.0	62.0	128.0	207.6	169.0	0.9131
DMU ₉	216.6	42.4	59.0	123.0	208.6	170.0	0.8923
DMU ₁₀	217.2	43.2	62.4	119.8	202.8	158.0	0.8403
DMU ₁₁	215.6	38.8	60.2	121.2	203.4	160.0	0.8668
DMU ₁₂	216.8	34.4	60.8	124.4	210.4	176.0	0.9744
DMU ₁₃	201.0	33.6	54.2	127.6	207.6	174.0	1.0000

同交叉效率DEA模型相一致,取 $\omega_j = 1/n$,按照式(10)计算CCG-DEA评价决策矩阵,如表4所示,得到博弈效率值 θ_i^* ,按 θ_i^* 进行排序即可进行评价与选择。

表4 DMU_i的CCG-DEA评价结果

目标 DMU _i	竞争DMU _j													效率值 θ_i^*	排序
	DMU ₁	DMU ₂	DMU ₃	DMU ₄	DMU ₅	DMU ₆	DMU ₇	DMU ₈	DMU ₉	DMU ₁₀	DMU ₁₁	DMU ₁₂	DMU ₁₃		
DMU ₁	0.6508	0.6623	0.7043	0.6550	0.6405	0.6996	0.6386	0.6541	0.6187	0.5987	0.6241	0.6908	0.7017	0.6569	9
DMU ₂	0.7994	0.9229	0.9373	0.8882	0.8259	0.9377	0.7914	0.7978	0.8116	0.7499	0.7830	0.7975	0.9026	0.8419	5
DMU ₃	0.9103	0.9834	1.0000	0.9464	0.9307	1.0000	0.9052	0.9131	0.8923	0.8403	0.8668	0.9744	1.0000	0.9356	1
DMU ₄	0.7034	0.8006	0.8118	0.7740	0.7233	0.8140	0.6934	0.7085	0.7041	0.6512	0.6777	0.7454	0.7831	0.7377	6
DMU ₅	0.6605	0.6930	0.7694	0.7155	0.7270	0.7296	0.6730	0.6652	0.6711	0.6219	0.6336	0.6945	0.7290	0.6910	7
DMU ₆	0.9045	0.9839	1.0000	0.9491	0.8820	1.0000	0.8618	0.9089	0.8631	0.7963	0.8585	0.9837	1.0000	0.9225	2
DMU ₇	0.6432	0.6552	0.6968	0.6409	0.6466	0.6563	0.6447	0.6201	0.6250	0.6055	0.6108	0.6303	0.6578	0.6410	10
DMU ₈	0.6636	0.6760	0.7169	0.6691	0.6232	0.7142	0.6379	0.6667	0.6215	0.5965	0.6370	0.7033	0.7143	0.6646	8
DMU ₉	0.5987	0.6530	0.6700	0.6300	0.6032	0.6567	0.5964	0.5928	0.6173	0.5760	0.5929	0.6095	0.6519	0.6191	11
DMU ₁₀	0.5019	0.5109	0.5404	0.4990	0.5039	0.5114	0.5039	0.4873	0.4913	0.4745	0.4785	0.4959	0.5128	0.5009	13
DMU ₁₁	0.5524	0.5629	0.5948	0.5546	0.5215	0.5898	0.5337	0.5557	0.5253	0.4998	0.5310	0.5849	0.5917	0.5537	12
DMU ₁₂	0.8332	0.8493	0.9179	0.8493	0.7800	0.9455	0.7912	0.8550	0.7663	0.7354	0.7964	0.9369	0.9482	0.8465	4
DMU ₁₃	0.9063	0.9324	1.0000	0.9290	0.8584	1.0000	0.8568	0.9091	0.8358	0.7903	0.8611	0.9860	1.0000	0.9127	3

3.2 数据分析

由表2和表4可以看出,在CCR-DEA模型中有效的DMU在CCG-DEA模型中依然有效,且DMU₃、DMU₆、DMU₁₃的CCG所形成的9个DMU均为有效的博弈DMU。由此可见CCG的博弈规则设计合理,满足CCG-DEA的基本假设条件,CCG-DEA的前沿面包含CCR-DEA的前沿面。

表5是CCR-DEA、文献[21]的交叉效率DEA和CCG-DEA($\alpha = 0.2, \omega_j = \frac{1}{13}$)的效率值及排序汇总。

从表5可以看出:1)在数值一致性方面,相对于CCR-DEA模型结果,本文CCG-DEA交叉竞争的博弈效率值(平均相对误差4.84%)明显优于交叉效率DEA的交叉效率值(平均相对误差20.08%);2)保序性方面,在非有效DMU排序中,CCG-DEA与CCR-DEA的评价结果完全一致,明显优于交叉效率DEA的排序(DMU₂、DMU₅、DMU₁₂不一致)。由此,CCG-DEA评价的排序一致性更高,对于有效DMU,CCG-DEA也能进行充分排序。

表5 CCR-DEA、文献[21]与本文评价方法比较

供应商	CCR-DEA		交叉效率DEA		CCG-DEA	
	效率值	排序	效率值	排序	效率值	排序
DMU ₁	0.6508	9	0.5147	9	0.6569	9
DMU ₂	0.9229	5	0.6832	4	0.8419	5
DMU ₃	1.0000	1	0.9554	1	0.9356	1
DMU ₄	0.7740	6	0.6589	6	0.7377	6
DMU ₅	0.7270	7	0.5191	8	0.6910	7
DMU ₆	1.0000	1	0.9000	2	0.9225	3
DMU ₇	0.6447	10	0.4829	10	0.6410	10
DMU ₈	0.6667	8	0.5498	7	0.6646	8
DMU ₉	0.6173	11	0.4655	11	0.6191	11
DMU ₁₀	0.4745	13	0.3481	13	0.5009	13
DMU ₁₁	0.5310	12	0.4332	12	0.5537	12
DMU ₁₂	0.9369	4	0.6603	5	0.8465	4
DMU ₁₃	1.0000	1	0.8552	3	0.9127	2

4 结论

对DMU的评价与选择是一个相对复杂的过程。基于过程方法,考虑DMU间、DMU与评价者之间的竞争与博弈,用决策树法建立了CCG-DEA评价与选择过程的决策树图,基于风险型决策方法实施DEA的改进,设计出CCG-DEA,通过算例分析验证了所提出方法的可行性与有效性,从博弈论和决策分析角度解释了DEA的经济学与管理学意义。所提方法具有评价情景更加接近真实情景、评价过程更加直观及评价结果更易于人们理解与接受等特点。同时,本文得出如下结论。

1) 评价与选择的过程是一个决策问题。基于所具备的决策条件,有确定型、风险型和不确定型等评价与选择的方法。类似地,DEA方法也有确定型(如CCR-DEA、BCC-DEA)、风险型(如CCG-DEA)、不确定型(如交叉效率DEA)以及一级、二级和多级DEA等分类方法。

2) 评价与选择过程的真实情景不再是DMU间相互独立,而是存在竞争与博弈的关系。评价单元与被评价单元之间存在着基于评价的合作竞争和选择后要求其改善程度的博弈,评价对象DMU间存在CCG关系。

3) 考虑DMU的CCG,目标DMU_i与竞争DMU_j的CCG形成的DMU_(i,j)可看成是评价决策中第*i*方案的第*j*状态,基于风险型决策方法和不确定型决策准则容易测算出目标DMU_i的期望效率值,以实施DMU的CCG-DEA评价与选择。

4) CCG-DEA同交叉效率DEA的作用一样,解决了经典DEA(以CCR-DEA为例)不能有效排序的问题,其评价的排序结果具有唯一性,且数值一致性与保序性(以CCR-DEA为参照)明显优于交叉效率DEA;同时,相对于交叉效率DEA模型,以变交换权

重为调整指标值来评价指标的效用而综合评价相对效率,其经济学、管理学含义更明确,给人们的感觉更直观,也更易于理解和接受。

参考文献(References)

- [1] Saaty T L, Tran L T. On the invalidity of fuzzing numerical judgments in the analytic hierarchy process[J]. Mathematical and Computer Modeling, 2007, 46(7/8): 962-975.
- [2] 郭清娥, 王雪青, 位珍. 基于DEA交叉评价的模糊综合评价模型及其应用[J]. 控制与决策, 2012, 27(4): 575-578.
(Guo Q E, Wang X Q, Wei Z. Fuzzy comprehensive evaluation based on cross-evaluation and its application[J]. Control and Decision, 2012, 27(4): 575-578.)
- [3] 姜广田. 考虑决策者心理行为的混合型随机多属性决策方法[J]. 中国管理科学, 2014, 22(6): 78-84.
(Jiang G T. Method for hybrid stochastic multiple attribute decision making considering decision maker's psychological behavior[J]. Chinese J of Management Science, 2014, 22(6): 78-84.)
- [4] 杨涛, 杨育, 薛承梦, 等. 考虑客户需求偏好的产品创新设计方案多属性决策评价[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(2): 417-426.
(Yang T, Yang Y, Xue C M, et al. Multiattribute decision-making evaluation method for product innovation design scheme with demand preferences of customers[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(2): 417-426.)
- [5] 彭张林, 张强, 杨善林. 综合评价理论与方法研究综述[J]. 中国管理科学, 2015, 23(S1): 245-256.
(Peng Z L, Zhang Q, Yang S L. Overview of comprehensive evaluation theory and methodology[J]. Chinese J of Management Science, 2015, 23(S1): 245-256.)
- [6] Hosseinzadeh Lotfi F, Jahanshahloo G R, Khodabakhshi M, et al. A review of ranking models in data envelopment analysis[J]. J of Applied Mathematics, 2013, 10(15): 3600-3611.
- [7] Alcaraz J, Ramn N, Ruiz J L, et al. Ranking ranges in cross-efficiency evaluations[J]. Europe J of Operational Research, 2013, 226(3): 516-521.
- [8] 梁樑, 吴杰. 数据包络分析(DEA)的交叉效率研究进展与展望[J]. 中国科学技术大学学报, 2013, 43(11): 941-947.
(Liang L, Wu J. A Retrospective and perspective view on cross efficiency of data envelopment analysis(DEA)[J]. J of University of Science and Technology of China, 2013, 43(11): 941-947.)
- [9] 杨锋, 夏琼, 梁樑. 同时考虑决策单元竞争与合作关系的DEA交叉效率评价方法[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(1): 92-98.
(Yang F, Xia Q, Liang L. DEA Cross Efficiency Evaluations Method for Comprehensive and Cooperative

Decision Making Units[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2011, 31(1): 92-98.)

[10] 杨国梁, 刘文斌, 郑海军. 数据包络分析方法(DEA)综述[J]. 系统工程学报, 2013, 28(6): 840-854.
(Yang G L, Liu W B, Zheng H J. Review of data envelopment Analysis[J]. J of Systems Engineering, 2013, 28(6): 840-854.)

[11] Doyle J, Green R. Efficiency and cross efficiency in DEA: Derivations, meaning and the uses[J]. J of the Operational Research Society, 1994, 45(5): 567-578.

[12] Yang F, Ang S, Xia Q, et al. Ranking DMUs by using interval DEA cross efficiency matrix with acceptability analysis[J]. European J of Operational Research, 2012, 223(2): 483-488.

[13] Wu J, Yin P Z, Sun J S, et al. Evaluating the environmental efficiency of a two-stage system with undesired outputs by a DEA approach: An interest preference perspective[J]. European J of Operational Research, 2016, 254(3): 1047-1062.

[14] Liang L, Wu J, Wade D, et al. The DEA game cross-efficiency model and its nash equilibrium[J]. Operations Research, 2008, 56(5): 1278-1288.

[15] 李学文, 徐丽群. 城市轨道交通运营效率评价——基于改进的博弈交叉效率方法[J]. 系统工程理论与实践, 2016, 36(4): 973-980.
(Li X W, Xue L Q. Evaluating the operational efficiency of rail transit: An application of improved game cross efficiency approach[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2016, 36(4): 973-980.)

[16] 王美强, 李勇军. 输入输出具有模糊数的供应商评价——基于DEA博弈交叉效率方法[J]. 工业工程与管理, 2015, 20(1): 95-99.
(Wang M Q, Li Y J. Evaluation of suppliers with fuzzy inputs and outputs based on DEA game cross-efficiency model[J]. Industrial Engineering and Management, 2015, 20(1): 95-99.)

[17] 吴华清, 梁樑, 吴杰, 等. DEA博弈模型的分析与发展[J]. 中国管理科学, 2010, 18(5): 184-192.
(Wu H Q, Liang L, Wu J, et al. Analysis and development of DEA game model[J]. Chinese J of Management Science, 2010, 18(5): 184-192.)

[18] 贺纯纯, 王应明. 网络层次分析法研究述评[J]. 科技管理研究, 2014(3): 204-208.
(He C C, Wang Y M. A review of the analytic network process[J]. Science and Technology Management Research, 2014(3): 204-208.)

[19] Yang G L, Yang J B, Liu W B, et al. Cross-efficiency aggregation in DEA models using the evidential reasoning approach[J]. European J of Operational Research, 2013, 231(2): 393-404.

[20] 龚本刚, 张孝琪, 郭丹丹. 基于证据理论-DEA交叉效率的混合型多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2016, 31(5): 943-948.
(Gong B G, Zhang X Q, Guo D D. Method for hybrid multiple attribute decision-making based on dempsterShafer theory and cross efficiency of DEA[J]. Control and Decision, 2016, 31(5): 943-948.)

[21] 蒲国利, 李随成. 基于DEA/PEG的供应商绩效评价及选择方法研究[J]. 工业工程, 2006, 9(3): 84-87.
(Pu G L, Li S C. DEA/PEG-based suppliers's efficiency assessment and election[J]. Industrial Engineering J, 2006, 9(3): 84-87.)

(责任编辑: 齐 霖)

下 期 要 目

电动车辆路径优化研究与进展	郭 戈, 等
考虑安全约束的连退生产过程多目标操作优化	王显鹏, 等
基于通信与观测联合优化的多无人机协同目标跟踪控制	刘 重, 等
求解N-车探险问题的Memetic烟花算法	刘 翱, 等
结合KL距离与图像域分块的SAR图像分割	赵泉华, 等
基于改进势场蚁群算法的机器人路径规划	王晓燕, 等
一种基于偶图匹配的多目标分解进化算法	李智翔, 等
竞争市场新进企业的容量设施选址研究	俞武扬, 等
基于最大均值差异多源域迁移学习的湿式球磨机负荷参数软测量	阎高伟, 等
采暖通风与空调系统中冷却塔传热效率的回归模型	庄露萍, 等
UHF-RFID环境下的移动机器人定位方法	张文安, 等