

文章编号: 1003-2053(2008)S2-0376-04

基于模糊积分的科技成果评价研究

叶 阳, 吴广明, 万 猛

(同济大学科技处, 上海 200092)

摘要: 以科技成果的评价为例, 首先分析了现有的科技评价方法中存在的不足。针对这些不足, 提出了科技评价指标选取的原则, 进而根据科技评价的特性提出相符合的评价计算方法: 构建数值评估值与 Choquet 模糊积分。这一方法不仅让专家更直观地在定性指标上定性评价, 而且也解决了指标间的出现相关性的问题。

关键词: 科技评价; 指标; 权重值; 模糊测度; 模糊积分

中图分类号: G311

文献标识码: A

1 现行科技奖励的评价基本原则和方法

随着社会经济的发展和新技术新科技需求的日益增长, 涌现了众多的优秀科研成果。为了鼓励更多的优秀科研成果, 我国形成了自上而下的众多科技奖励。这些评奖建立了各自的评奖办法, 但所有的评奖大都遵循了类似的评价流程和评价原则。一般来说, 评价的流程大都为由推荐单位推荐项目, 由组织单位随机选取评审专家, 专家的选取有按三级学科随机选取, 也有大同行评审全部项目, 由专家根据组织单位发布的评审办法对项目进行评审, 然后综合分数划分获奖等级。

举例来说, 某个科技奖励的评审建立了两层指标, 第一层为 3 个准则, 第二层共 10 个指标, 分别如表 1 所示。

表 1 某科技奖励的评审指标

技术创新	1. 创新程度(或新颖性)
	2. 难易程度或复杂程度
	3. 主要技术经济指标先进程度
	4. 总体技术水平
	5. 已获得的经济效益
社会及经济效益	6. 获得的社会效益
	7. 发展前景及潜在效益
	8. 转化推广应用程度
推动科技进步	9. 对产业结构优化升级的作用
	10. 推动行业技术进步的作用

每个指标设立了相对应的分数, 1~5 分或 1~10 分。同时各个指标具有不同的权重, 各指标的权重并不告知专家。专家评审根据“评审说明”来打分, 最后将所有专家的打分集中平均, 有的会采取去掉一个最高分和最低分再平均, 有的还设立了等级分, 即专家评审建议授予该成果几等奖。

可以看出, 首先, 这些指标间具有很大的相关性, 比如“总体技术水平”与“创新程度”、“难易程度”、“先进程度”等 3 个指标就有很大的相关性, 不能互相独立, 这样专家的评价就难以精确, 指标间的相关性大大增加了专家的打分模糊性。其次, 这些指标均为定性的指标, 硬性规定成定量的要求专家打分, 增加了专家打分的难度。虽然, 现有的打分说明中大都注明了指标到什么样的程度应该对应多少分, 但指标本身就是一种定性的、模糊的打分, 让专家直接面对定量好的分数, 专家还是难以确认。尤其对于新的专家来说, 更是难以把握。

针对以上情况, 本文提出一种新的评价方法, 希望该方法能将定性的评价还原给专家一个定性的打分, 同时在计算中解除各指标间的相关性, 以求更真实地反映专家的评审意见, 以达到更为客观地评价科技成果。

2 科技成果评价的指标选取原则及指标选取

对于科技成果的评价应该建立清晰的评价体

收稿日期: 2008-05-20 修回日期: 2008-09-23

作者简介: 叶 阳(1977-)男, 江苏泰兴人, 博士, 助理研究员, 研究方向为管理科学与工业工程。

吴广明(1964-)男, 江苏南通人, 教授、博导, 研究方向为物理学。

万 猛(1975-)男, 江苏泰兴人, 博士, 研究方向为科技创新、业务流程管理。

系,这一评价体系的构建包括指标、评价对象类型、评价方法。整个的评价应遵循以下步骤:(1)确定科技成果评价的主要标准;(2)为每一个标准建立权重;(3)确定子标准,并建立权重;(4)确定主标准和子标准评分系统;(5)打分;(6)根据评价方法进行计算得出综合结果。

首先,对于科技成果评价指标的选取应该遵循以下原则:

(1)有效性,选取的指标应能被定义和衡量。同时该指标能客观地反映科技奖励所要求的价值。

(2)简洁性,对于科技成果的评价指标体系应有一定的适度,指标层次不宜过多,指标数也应适量。当指标数过度膨胀,其可计算性和客观性将随之下降,专家也难以从成果的了解中去对应众多的指标。所以指标的选择应有所侧重,放弃影响很小的指标,指标建立的层次也应尽量减少。同时要尽量避免指标间的相关性,尤其不同准则下指标的相关。

(3)针对性,科技成果的性质是多样的,现有的科技奖励大都分成以下几类:自然科学类、科技进步类、发明类、人物奖,有些还有国际合作类、成果推广类等。尽管如此,现行的各科技奖励中每个类别的指标还是大同小异,很难完全区分。对于科技奖励的类别应该建立不同侧重和反应各自类别特性的指标。否则对于科技奖类的类别划分从评审的角度就失去其划分的依据。

对于评分标准来说,现行的科技成果评审指标都是定性的。专家对科技成果的评价是以其对项目的考察后的印象进行评价的,这些评价很难一一对应量化的指标,所以对科技成果的评价完全可以考虑采用定性的选择题,而抛弃确定量化的形式。举例来说,上述对科技成果评价中“创新”的指标不需让专家在应该打 3分还是 5分之间犹豫,而是选择以下对项目了解后的客观印象直接对应的选项:完全创新、大量创新、普通创新、有点创新、毫无创新;或是该项目创新表现给专家的感觉是:很好,好,一般,比较差,很差。这样的选择题更容易做,做得也更客观、更接近专家实际想表达的评审意见。

3 评价方法——模糊测度和模糊积分法

3.1 模糊测度

模糊测度是一种非加法的评估方法,并考虑

评选要素间的相关性。候选集合代表评估值,模糊测度集合为评估项目的权重值。

设集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为评估要素的集合,若函数 $g = g(2^X)$, $X \in [0, 1]$ 满足下列特性,称为模糊测度:

$$g(X) = 1, g(\Phi) = 0 \quad (1)$$

若

$$A \subseteq B \in 2^X, A \subseteq B, g(A) \leq g(B) \quad (2)$$

满足(1)式表示有界, $g(X)$ 代表确定性的最大值为 1,确定性的最小值为 0 满足(2)式表示 $g(X)$ 具有单调性。

若 $A, B \in 2^X$, 且 $A \cap B = \Phi$, $g(A \cup B) = g(A) + g(B) + \lambda g(A)g(B)$, $\lambda \in [-1, \infty]$ 。

假设 g 是模糊测度,上式 $g(A \cup B)$ 与 $g(A) + g(B)$ 之间的大小关系有下列情况:

(1)当 $\lambda > 0$ 时, $g(A \cup B) \geq g(A) + g(B)$, 表示 A与 B之间有优的加法性,相互关系成相乘作用。

(2)当 $\lambda = 0$ 时, $g(A \cup B) = g(A) + g(B)$, 表示 A与 B之间相互独立。

(3)当 $\lambda < 0$ 时, $g(A \cup B) \leq g(A) + g(B)$, 表示 A与 B之间有劣的加法性,相互关系成相抵作用。

若 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为有限集合,且各变数 x_i 对应至模糊密度函数 g_i 则 g 可以写成下式:

$$g(\{x_1, x_2, \dots, x_n\}) = \sum_{i=1}^n g_i + \lambda \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n g_i g_j + \dots + \lambda^{n-1} g_1 g_2 \dots g_n = \frac{1}{\lambda} \left| \prod_{i=1}^n (1 + \lambda g_i) - 1 \right| \quad (3)$$

而 $\lambda \in [-1, \infty]$, 当 $g(X) = 1$, (3)式可以化简为:

$$\lambda + 1 = \prod_{i=1}^n (1 + \lambda g_i) \quad (4)$$

3.2 模糊积分

模糊积分是以模糊测度为基础的综合评估方法,且模糊积分并不需要假设评估准则间相互独立,在计算方面只要符合单调性就可使用^{[1][2]}。

假设 h 为 X 可测函数, $h(x_i), X \in [0, 1], i = 1, \dots, n$ 且 $h(x_1) \geq h(x_2) \geq \dots \geq h(x_n)$, 则 Choquet模糊积分^[3]定义为:

$$\int h dg = \sum_{i=1}^n (h(x_i) - h(x_{i-1})) g(h_i) \quad (5)$$

令 $g(H_n) = \mu_n$, 图 1表示模糊积分基本定义图。

令 Choquet模糊积分 $\int h dg = h$ 则 h 即为模

糊积分计算后的总评估值。

4 基于模糊积分法的科技成果评价计算

4.1 评价指标的语意变数

对于评价指标采取水平和垂直的双向评价方法,水平为指标的模糊语义,垂直方向为指标的权重量度,均由专家来选择,这样相对规定好的指标权重量度给了专家更大的选择权,专家打分也能更为客观地反映其表达目的。而对于专家表达的结果则以三角形模糊数以量化,如 $\tilde{\mu} = (a, b, c)$ 表示,而 $a \leq b \leq c$ 且 $a \geq 0$ 的(称为正三角模糊数。

4.2 语意变数转换为数值评估值

语意变数是以自然语言中的语词为值,而不是以数据为值。指标的权重值取 5 个等级,能够比较清晰地表达和掌握,取值为:极不重要、不重要、普通、重要、极重要,对应的正三角模糊数如表 2 所示。指标的评分同样也分为 5 个等级,取值为:极差、差、普通、好、极好,对应的正三角模糊数为如表 3 所示。

表 2 指标的权重值对应的正三角模糊数

重要程度	正三角模糊数
极不重要	(0, 0, 0.25)
不重要	(0, 0.25, 0.5)
普通	(0.25, 0.5, 0.75)
重要	(0.5, 0.75, 1.0)
极重要	(0.75, 1.0, 1.0)

表 3 指标的评分对应的正三角模糊数

表现程度	正模糊数
极差	(0, 0, 0.25)
差	(0, 0.25, 0.5)
普通	(0.25, 0.5, 0.75)
好	(0.5, 0.75, 1.0)
极好	(0.75, 1.0, 1.0)

4.3 科技成果的模糊积分评价

假设有 m 个项目 (S_1, S_2, \dots, S_m), 考虑表 1 的 3 个评估准则, 根据本文的指标选取原则, 重构指标如表 4

表 4 根据本文的指标选取原则重构的指标

	1 创新程度(或新颖性)
技术创新	2 难易程度或复杂程度
	3 主要技术经济指标先进程度
	4 转化推广应用程度和已获得的经济效益
社会及经济效益	5 获得的社会效益
	6 发展前景及潜在效益
	7 对产业结构优化升级的作用
推动科技进步	8 推动行业技术进步的作用

假设一个专家可能会评审多个项目, 为了尊重专家对指标重要性的理解, 同时保证专家评审项目的一致性, 相关的评价步骤如下:

(1) 专家首先对各评估准则下的每个评估要项进行权重值的选择, 确认后不得改变, 然后才能进入各项目的评审;

(2) 专家对各项目依据主观判断分别给予语意评估值;

(3) 对准则的重要程度进行评估后, 取得各准则的模糊权重值。以模糊数相对距离公式

$$\frac{\sqrt{1/3(a^2+b^2+c^2)}}{\sqrt{1/3(a^2+b^2+c^2)+\sqrt{1/3[(1-a)^2+(1-b)^2+(1-c)^2]}}}$$

将模糊权重 \tilde{W}_i 解模糊化为明确值 \bar{W}_i ;

(4) 将准则解模糊化后的权重值以 g_i 表示, 并代入(4)式, 以计算 λ 值;

(5) 假设第 j 个项目在第 i 个准则下的评估要项模糊评估值为 X_{ik} , 权重评估值为 \tilde{W}_{ik} ($k=1, 2, \dots, l$), 则第 j 个项目在第 i 个准则下的评估值为

$$\tilde{X}_{ij} = (X_{i1} \otimes \tilde{W}_{i1}, X_{i2} \otimes \tilde{W}_{i2}, \dots, X_{il} \otimes \tilde{W}_{il}) / l \quad (6)$$

其中 l 为第 i 个评估准则的评估要项个数;

(6) 利用模糊数相对距离公式, 将模糊数 \tilde{X}_{ij} 解模糊化为明确值 \bar{X}_{ij} ;

(7) 将每个评估准则解模糊化后的评估值 \bar{X}_{ij} ($i=1, 2, \dots, n$) 按大小顺序重新排序;

(8) 依据 λ 值及 g_i 值, 利用(3)式分别求出各个评估准则的模糊测度 g_j ;

(9) 根据评估准则解模糊化评估值与求得各评估要项的模糊测度 g_j 代入(5)式, 求得项目的整体模糊积分值, 并以 H_j 表示。

4.4 计算范例

为了方便计算, 本文在表 1 的基础上选择了部分指标, 同时, 范例的计算也只取到 10^{-2} ; 在实际应用中可以考虑增加一些指标, 计算取 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 以便更为精确。

步骤 1、2 表 5 是对某个项目的专家的选择结果。

步骤 3 计算模糊权重值

$$W_1 = (0.75, 1, 1) \quad (0.5, 0.75, 1) \quad (0.5, 0.75, 1) / 3 = (0.583, 0.833, 1)$$

$$\text{解模糊化 } \tilde{W}_1 = \frac{\sqrt{1/3(0.583^2 + 0.833^2 + 1)}}{\sqrt{1/3(0.583^2 + 0.833^2 + 1)} + \sqrt{1/3[(1-0.583)^2 + (1-0.833)^2 + (1-1)^2]}} = \frac{\sqrt{0.678}}{\sqrt{0.678} + \sqrt{0.067}} = 0.76$$

表 5 对某个项目的专家的选择结果

		重要度	项目表现
技术创新 (W ₁)	1. 创新程度(或新颖性)	极重要	普通
	2. 难易程度或复杂程度	重要	普通
	3. 主要技术经济指标先进程度	重要	好
	4. 转化推广应用程度和已获	重要	好
社会及经济 效益(W ₂)	5. 获得的经济效益	普通	好
	6. 发展前景及潜在效益	不重要	普通
推动科技进步 (W ₃)	7. 对产业结构优化升级的作用	重要	好
	8. 推动行业技术进步的作用	普通	普通

同理解得 $\tilde{W}_2 = 0.5$ $\tilde{W}_3 = 0.61$

步骤 4 计算 λ 。由于 $g(W) = 1$ 即 3 个准则的权重总和应为 1 因此由 (4) 式可得 $\lambda = -1.1$ 。

步骤 5 计算创新 X_1 、效益 X_2 、推动行业进步 X_3 于评估要项下的模糊评估值, 如下:

$$\tilde{X}_1 = 1/3((0.75, 1, 1) \odot (0.25, 0.5, 0.75) \\ (0.5, 0.75, 1, 0) \odot (0.25, 0.5, 0.75) \quad (0.5, \\ 0.75, 1, 0) \odot (0.5, 0.75, 1, 0)) = (0.1875, 0.4792, \\ 0.8333)$$

解模糊化得 $\tilde{X}_{11} = 0.5$ 同理解得 $\tilde{X}_{12} = 0.42$ $\tilde{X}_{13} = 0.46$

步骤 6 将准则解模糊化后评估值按大小排序

$$\tilde{X}_{11} \geq \tilde{X}_{13} \geq \tilde{X}_{12}$$

步骤 7: 以 (6) 式计算准则的模糊测度值如下:

$$g(X_{12}) = 0.42 \\ g(X_{12}, X_{13}) = 0.42 + 0.46 + (-1.1) * \\ 0.42 * 0.46 = 0.67 \\ g(X_{12}, X_{13}, X_{11}) = 0.67 + 0.5 + (-1.1) * \\ 0.67 * 0.5 = 0.8$$

步骤 8 以模糊积分计算总统评估值如下:

A research on fuzzy integral evaluation of science and technology results

YE Yang WU Guang-ming WAN Meng

(Division of Science & Technology of Tong Ji University Shanghai 200092 China)

Abstract: This thesis first describes the existing problems with the current evaluation system for science and technology taking the evaluation of scientific and technological results as an example. Aiming to solve these problems, the thesis discusses how to choose the criteria used for the evaluation, and then provides a method that matches the characteristic of the evaluation of science and technology, that is, construction of numerical estimated values and Choquet fuzzy integral. The method can not only help experts make a directly-perceived qualitative evaluation based on the qualitative criteria, but also solve the existing problem that the currently-used criteria are related.

Key words: evaluation of science & technology; criteria; weighted mean; fuzzy measure; fuzzy integral

$$H_1 = (0.5 - 0.46) * 0.42 + (0.46 - 0.42) * \\ 0.67 + 0.5 * 0.8 = 0.44$$

由此得出该项目在此位专家的评分标准下得分为 0.44 分。

5 结 论

随着国家对科学技术重视程度的不断上升, 国家对科研的投入相应不断增长。对于立项是否应该、取得的成果如何评价, 至今都遵循着一套大同小异的评价方法: 加权平均。这一评价方法是建立在专家评审的基础上, 而专家面对的是众多定性评价标准, 这些标准模糊且相关, 但在评价时专家被要求对各标准独立地精确地打分。本文力图以科研成果的评价为例, 提出科技评价的指标选取标准和合适的评价方法, 让专家可以定性地评价, 更准确地让专家在评审中表达其对评审项目的意见, 并在计算中解除指标的相关性, 以便更客观地计算其评价结果, 最后给出了一个计算范例。

参考文献:

- [1] Ching JH. Choquet fuzzy integral-based hierarchical networks for decision analysis J. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1999, 7(1): 63-71
- [2] Chen TY, Wang JC. Identification of λ -fuzzy measures using sampling design and genetic algorithm J. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 123(3): 321-341.
- [3] Ishii K, Sugeno M. A Model human evaluation process using fuzzy measure J. International Journal of Man-Machine Studies, 1985, 22: 19-38