

# 基于信度系数的投影寻踪模型在科技奖励评价中的应用

王 璞, 欧阳显斌, 赵 谦

(湖南大学 金融与统计学院, 湖南 长沙 410079)

**摘 要:** 运用教育与心理测量理论中的信度系数, 测度专家动态权重, 并采用投影寻踪模型, 从原始数据入手计算最佳投影向量, 将高维数据转化为一维数据, 构建了基于信度系数与投影寻踪模型的科技奖励评价方法。

**关键词:** 投影寻踪; 遗传算法; 信度系数; 科技奖励; 综合评价

**DOI:** 10.6049/kjbydc.2011040278

**中图分类号:** G311

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7348(2012)14-0113-04

## 0 引言

科技奖励是社会对科研劳动成果的承认, 是支付给科技人员的报酬, 是社会对科技人员的激励手段, 是一种科学的自我控制机制<sup>[1-2]</sup>。这种机制可以充分调动科技工作者的积极性与创造性, 促进科技进步与技术创新。科技奖励作为推动我国科技进步的重要制度, 在创新型国家建设中发挥了重要作用<sup>[3]</sup>。而科技奖励评价作为科技活动管理的一个重要环节, 受到广泛关注。因此, 研究科技奖励综合评价方法具有显著理论和现实意义。

对于科技奖励评价方法的探索, 不少专家学者进行了相应的研究, 也形成了较多的研究成果。如, 汪晓霞等<sup>[4]</sup>利用模糊数学原理, 建立了多层模糊综合评价模型, 使得科技奖励评价指标体系得以量化, 但是该方法采用的是给定的指标权重, 带有一定程度的主观性。王璞等<sup>[5]</sup>将 CRITIC 法和因子分析法相结合, 通过引入“邻差矩阵”, 构建了考虑专家信度的立体式科技成果综合评价模型。该方法既考虑了专家的信度系数, 又考虑了指标权重之间的差异性及相关性, 强化了高水平专家的打分权重, 通过编程简化了计算和分析过程。董伟<sup>[6]</sup>运用 AHP 法, 对自然科学奖、发明奖和科技进步奖分别作评价指标 AHP 树后, 讨论了综合评价公式。但是当项目比较多时, 采用 AHP 进行评价, 其判

断矩阵往往很难通过一致性检验。张立军等<sup>[7]</sup>运用变异系数法构建指标权重, 采用动态的客观权重, 消除了主观影响。胡宗义等<sup>[8]</sup>将 L-R 型三角模糊数与灰色关联分析法相结合, 解决了专家小组不确定的语义评价数量化问题。

由于科技奖励评价涉及多个指标, 各指标的量纲不尽相同、权重难于确定、专家打分存在主观性、高维数据具有不易处理等特点, 因此本文将运用教育与心理测量理论中的信度系数, 测度专家动态权重, 并采用投影寻踪模型, 从原始数据入手计算最佳投影向量, 将高维数据转化为一维数据, 构建基于信度系数与投影寻踪模型的科技奖励评价方法。

## 1 基于信度系数的专家权重

### 1.1 信度的概念

信度, 是指在同一个测验中被测试者在不同时间内被重复测量, 其所得结果的一致程度。

### 1.2 信度系数的计算方法<sup>[9]</sup>

假设有  $n$  个被评价项目  $A_i (i=1, 2, \dots, n)$ ,  $m$  个专家  $B_j (j=1, 2, \dots, m)$ 。每个专家对  $n$  个被评价项目的评价结果  $x_{ij} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$  的取值用等级来表示。

根据信度理论, 测量的实际值  $X_{ij}$  等于真实值  $T_i$  与

**收稿日期:** 2011-07-11

**基金项目:** 湖南省自然科学基金项目(09JJ3134)

**作者简介:** 王璞(1964—), 女, 湖南汉寿人, 湖南大学金融与统计学院副教授, 研究方向为应用统计与综合评价、市场调查与商务统计; 欧阳显斌(1988—), 男, 湖南宜章人, 湖南大学金融与统计学院硕士研究生, 研究方向为应用统计与综合评价、市场调查与商务统计; 赵谦(1987—), 男, 江西南昌人, 湖南大学金融与统计学院硕士研究生, 研究方向为应用统计与综合评价、市场调查与商务统计。

测量误差  $E_{ij}$  之和,即

$$X_{ij} = T_i + E_{ij}$$

它满足如下两个假设条件:①  $T_i$  与  $E_{ij}$  相互独立;  
②  $E_{ij}$  与  $E_{ik}$  相互独立。

所以,信度系数的定义式为  $r = S_T^2 / S_X^2 = 1 - S_E^2 / S_X^2$

其中,  $S_T^2$  是真实值的方差,  $S_X^2$  是实际值的方差,  $S_E^2$  是测量误差的方差。因为我们无法得到真实值和真实值的方差,所以只能通过求测量误差的方差来估计信度系数。

由信度系数的定义式,可以推导出单个专家评判的信度系数公式为<sup>[10]</sup>:

$$r = \frac{\sum_j \sum_k l_{jk}}{\sum_j \sum_k \frac{l_{jj} + l_{kk}}{2}} \quad (k > j) \quad (1)$$

式中,  $l_{jj} = \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$ , 为  $X_j$  的离均差平方和;  
 $l_{jk} = \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)(X_{ik} - \bar{X}_i)$  为  $X_j$  和  $X_k$  的离均差积和。

所以,专家评判的综合信度系数为:

$$R = \frac{m\bar{r}}{1 + (m-1)r} \quad (2)$$

其中,  $m$  是参加评分的专家个数,  $\bar{r}$  是  $m$  位专家信度系数的平均值。比较式(1)和式(2)可知,相比于单个专家评判,多个专家的评判可以提高评判结果的信度,并且专家个数越多,信度就越高。

## 2 基于投影寻踪法的科技奖励评价模型

### 2.1 投影寻踪模型<sup>[11-12]</sup>

投影寻踪法(projection pursuit,简称 PP)最早出现于20世纪60年代末,它是处理和分析高维数据的一类新兴统计方法。

投影寻踪法的基本思想是:利用计算机技术,将高维数据通过投影方向向量投影到低维空间,通过极大化投影指标函数,寻找出能够反映原高维数据特征的投影方向向量,并通过在低维空间分析数据结构的特征来达到分析和处理高维数据的目的。

### 2.2 投影寻踪法建模步骤

投影寻踪模型的建模过程主要包括以下几个步骤,流程见图1。

#### 2.2.1 评价指标的标准化处理

假设评价指标的样本集为  $\{x^*(i, j) | i=1 \dots n, j=1 \dots p\}$ , 其中  $x^*(i, j)$  是第  $i$  个被评价项目的第  $j$  个评价指标的取值;  $n, p$  分别是被评价项目个数和评价指标个数。为了消除评价指标取值中量纲和数量级的影响,统一它们的变化范围,需要对各评价指标值作如下标准化处理:

$$x(i, j) = \frac{x^*(i, j) - \bar{x}(j)}{s(j)} \quad (3)$$

式中,  $\bar{x}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^*(i, j)$ , 是第  $j$  个评价指标的平均值;  $s(j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x^*(i, j) - \bar{x}(j))^2}$ , 是第  $j$  个评价指标的标准差。

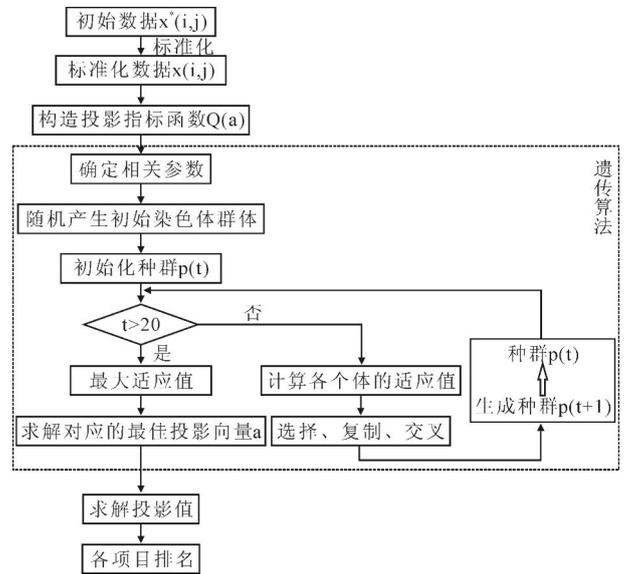


图1 投影寻踪法建模流程

#### 2.2.2 投影指标函数的构造

设单位向量  $a = (a(1), a(2), \dots, a(p))$  为投影方向向量,则被评价项目  $i$  在该方向的投影值为

$$z(i) = \sum_{j=1}^p x(i, j) \cdot a(j) \quad (4)$$

$z(i)$  的散布特征应满足类间尽可能散开、内部尽可能密集的局部投影点分类。因为  $a$  为单位向量,指标权重的各分量之和为1,所以求得的最佳投影方向的分量的平方为对应指标的权重。

设  $S(a)$  为类间散度,为投影值的标准差;  $D(a)$  为类内散度,为投影值的局部密度,则投影指标函数可以表示为

$$Q(a) = S(a) \cdot D(a) \quad (5)$$

式中:

$$S(a) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(i) - \bar{z})^2}{(n-1)}} \quad (6)$$

$$D(a) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r_{ij}) I(R - r_{ij}) \quad (7)$$

其中,  $\bar{z}$  为投影值  $z(i), i=1, 2, \dots, n$  的平均值;  $R$  为局部密度的窗口半径,是根据数据内部特征确定的,其值一般取为  $0.1 S(a)$ ;  $r_{ij} = |z(i) - z(j)|$  表示项目之间的距离;  $I(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$

#### 2.2.3 最佳投影向量的求解

当评价指标的样本集给定时,投影指标函数实际上是投影方向  $a$  的函数。投影方向不同,反映了数据特征的不同,所以求解的最佳投影方向就是能反映高

维数据特征的方向向量。因此, 可以通过求解最大化投影指标函数来求解最佳投影方向, 即:

$$\begin{aligned} \text{Max } Q(a) &= S(a) \cdot D(a) & (8) \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^p a^2(j) &= 1 \end{aligned}$$

这是一个以  $a=(a(1), a(2), \dots, a(p))$  为优化变量的非线性优化问题。由于使用传统方法比较难, 所以本文应用遗传算法 (Genetic Algorithm) 来解决高维全局非线性优化问题。

遗传算法 (GA) 的基本理论<sup>[13]</sup> 如下:

(1) 遗传算法的基本原理。在遗传算法的执行过程中, 每一代会产生许多不同的种群个体。在这些种群个体中, 哪个生存、哪个死亡是根据适者生存原则来决定的。一般来说, 适应性强的个体有更大的概率生存下来。适应性的强弱, 是根据适应值的大小来判别的。所以, 经过数代后, 生存下来的种群个体都是适应能力强的个体。

(2) 几种主要的遗传算子。①选择 (Selection) 算子: 选择的依据是每个种群个体适应值的大小, 被选中的概率与适应值的大小呈正相关; ②交叉 (Crossover) 算子: 首先, 在新复制的群体中随机抽取两个个体, 每个个体由许多个基因构成。然后, 在这两个个体基因上随机选取一个位置, 交换从该位置起至末尾部分的基因; ③变异 (Mutation) 算子: 随机改变字符串某个位置的值, 在二进制编码中, 就是将 0 变为 1, 将 1 变为 0。

(3) 遗传算法的步骤: 编码、初始群体生成、适应值评估检测、选择、交叉、变异。

#### 2.2.4 评价

将步骤 2.2.3 得到的最佳投影方向  $a$  代入式 (4), 求得各项目的投影值  $z(i)$ 。将投影值  $z(i)$  从大到小进行排序, 对被评价项目进行排名。 $z(i)$  越大, 说明项目  $i$  排名越靠前; 反之,  $z(i)$  越小, 项目  $j$  排名越后。

### 3 实证分析与结果

本文选择 25 位专家, 对我国国家科技进步奖 (社会公益项目) 24 项科技成果的等级评价数据进行实证分析 (资料来源: 科技部国家科技奖励工作办公室, 原始数据略)。评价指标分别为: 技术创新程度 ( $C_1$ )、指标先进程度 ( $C_2$ )、推广运用程度 ( $C_3$ )、已获社会、生态效益 ( $C_4$ )、对科技进步的推动作用 ( $C_5$ )。每一指标的评语都用差 ( $v_1$ )、中 ( $v_2$ )、良 ( $v_3$ )、优 ( $v_4$ ) 4 个等级来评定。

(1) 根据信度系数公式 (1), 计算出 25 位专家的信度系数; 根据公式 (2), 计算出综合信度系数, 如表 1 所示。

根据表 1, 以专家的信度系数作为权数, 对一个项目的 25 个专家进行加总, 分别得到 24 个项目 5 个指标的综合得分, 如表 2。

(2) 构建投影寻踪模型, 计算各个项目的投影值,

并对 24 个项目进行排名。其计算步骤如下:

步骤 1: 由表 2 可知, 经过信度系数加权后得到各个项目、各个指标的综合得分, 由于在量纲与数量级上相差不大, 所以不用对表 2 中的数据进行标准化处理。

步骤 2: 运用遗传算法求出最大投影指标值与最佳投影向量。在遗传算法过程中, 选定父代初始种群规模为  $n=200$ , 交叉概率  $P_c=0.6$ , 变异概率  $P_m=0.001$ , 迭代次数为 20 次。借助 MATLAB 软件, 求得最大投影指标值为 396.3455, 最佳投影方向  $a=(0.3354, 0.1891, 0.6691, 0.5511, 0.3168)$ 。

步骤 3: 根据公式 (4) 求得各项目的投影值, 结果见表 3。

步骤 4: 根据投影值的大小, 对各个项目进行排名, 结果见表 3。

表 1 25 位专家的信度系数和综合系数计算结果

专家	信度系数	专家	信度系数
B <sub>1</sub>	0.49	B <sub>14</sub>	0.43
B <sub>2</sub>	0.30	B <sub>15</sub>	0.30
B <sub>3</sub>	0.44	B <sub>16</sub>	0.05
B <sub>4</sub>	0.25	B <sub>17</sub>	0.30
B <sub>5</sub>	0.48	B <sub>18</sub>	0.46
B <sub>6</sub>	0.42	B <sub>19</sub>	0.34
B <sub>7</sub>	0.51	B <sub>20</sub>	0.23
B <sub>8</sub>	0.37	B <sub>21</sub>	0.40
B <sub>9</sub>	0.43	B <sub>22</sub>	0.32
B <sub>10</sub>	0.29	B <sub>23</sub>	0.32
B <sub>11</sub>	0.64	B <sub>24</sub>	0.22
B <sub>12</sub>	0.22	B <sub>25</sub>	0.34
B <sub>13</sub>	0.41	综合信度系数	0.95

表 2 24 个项目 5 个指标的综合得分

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
A <sub>1</sub>	23.06	24.53	24.09	25.59	24.12
A <sub>2</sub>	21.00	23.53	21.40	19.47	22.69
A <sub>3</sub>	22.02	23.96	21.59	19.68	21.77
A <sub>4</sub>	21.08	22.68	22.90	17.60	21.92
A <sub>5</sub>	18.37	20.43	21.12	23.46	20.26
A <sub>6</sub>	27.48	31.66	29.24	31.19	29.46
A <sub>7</sub>	22.38	25.29	25.52	26.40	24.49
A <sub>8</sub>	32.29	34.15	34.17	34.39	31.44
A <sub>9</sub>	32.06	35.26	35.32	36.36	34.30
A <sub>10</sub>	29.42	29.61	31.32	32.85	29.63
A <sub>11</sub>	24.54	26.01	26.19	26.09	27.99
A <sub>12</sub>	30.13	29.83	32.45	31.86	31.78
A <sub>13</sub>	21.49	24.52	23.93	21.78	23.94
A <sub>14</sub>	24.74	27.22	30.02	29.59	28.72
A <sub>15</sub>	29.90	30.05	30.12	28.42	30.04
A <sub>16</sub>	25.68	27.34	27.30	26.92	27.84
A <sub>17</sub>	32.11	33.92	35.82	37.28	35.89
A <sub>18</sub>	30.13	31.06	32.01	31.83	30.56
A <sub>19</sub>	22.92	26.41	27.15	27.32	24.89
A <sub>20</sub>	23.57	25.89	24.77	24.71	25.62
A <sub>21</sub>	24.67	26.73	24.57	24.04	26.71
A <sub>22</sub>	26.83	28.67	28.80	27.16	27.97
A <sub>23</sub>	21.07	23.30	21.93	19.85	21.50
A <sub>24</sub>	27.13	30.61	30.75	29.69	28.55

表3 投影值及各项目排名

项目	投影值	项目排名	项目	投影值	项目排名
A <sub>1</sub>	50.234 3	18	A <sub>13</sub>	47.442 0	19
A <sub>2</sub>	43.728 6	22	A <sub>14</sub>	58.935 8	10
A <sub>3</sub>	44.103 4	20	A <sub>15</sub>	61.041 6	8
A <sub>4</sub>	43.323 9	24	A <sub>16</sub>	55.703 5	12
A <sub>5</sub>	43.502 3	23	A <sub>17</sub>	73.064 5	1
A <sub>6</sub>	61.288 5	7	A <sub>18</sub>	64.618 4	5
A <sub>7</sub>	51.670 4	15	A <sub>19</sub>	53.787 7	14
A <sub>8</sub>	69.061 9	3	A <sub>20</sub>	51.107 7	17
A <sub>9</sub>	71.955 9	2	A <sub>21</sub>	51.477 6	16
A <sub>10</sub>	63.911 9	6	A <sub>22</sub>	57.517 8	11
A <sub>11</sub>	53.917 1	13	A <sub>23</sub>	43.895 7	21
A <sub>12</sub>	65.083 2	4	A <sub>24</sub>	60.868 0	9

注:投影值是根据最佳投影向量求的,向量的模为1,而向量各分量之和并不为1

#### 4 结语

(1)投影寻踪模型能够将高维数据,通过求最佳投影向量映射到一维子空间,通过比较投影值的大小来确定各项目的排名,为评价科技奖励提供了新的方法。

(2)将遗传算法应用于投影寻踪评价模型中来解决高维数据全局非线性优化问题,可以有效地求解最佳投影向量,获得最佳投影值,大大减少了寻优工作量,使得投影寻踪模型能够更加广泛地被应用。

(3)由投影寻踪模型中求得的最佳投影向量的各分量,是对应指标权重的平方根,因此可以得出各指标的权重。

(4)基于信度系数的投影寻踪模型,运用教育与心理测量理论中的信度系数来测度专家权重,代替主观权重对评价指标进行赋权,消除了主观因素的影响。

#### 参考文献:

- [1] 王炎坤,钟书华,等.科技奖励论[M].武汉:华中理工大学出版社,1999:12-46.
- [2] 金孝银.科技成果的管理与社会化[M].长沙:湖南科学技术出版社,1994:36-76.
- [3] 唐恒,马理军,冯楚建.基于知识产权视角的科技奖励评价实证研究[J].科技创新论坛,2010(3):9-12.
- [4] 汪晓霞,李岱松,汪瑞丹.科学技术奖励多层次模糊综合评价模型研究[J].数量经济技术经济研究,2002(11):63-65.
- [5] 王瑛,曹玮,罗珍.考虑专家信度的科技成果立体式综合评价模型[J].软科学,2008,22(6):6-10.
- [6] 董伟.科技奖励评审模型研究[J].长沙铁道学院学报,2001,19(2):99-103.
- [7] 张立军,袁能文.基于复合权重的科技成果奖励评价模型[J].科技管理研究,2010(4):47-49.
- [8] 胡宗义,钱健,刘亦文.基于模糊灰色关联分析法的科技奖励评价[J].统计与决策,2009(11),152-154.
- [9] 戴海崎.心理与教育测量[M].广州:暨南大学出版社,2006:186-189.
- [10] 黄正南.专家评判的信度分析[J].中国卫生统计,2006(6):47-49.
- [11] FRIEDMAN J H, TURKEY J W. A projection pursuit algorithm for exploratory data analysis[J]. IEEE Trans On Computer,1974,23(9):881-890.
- [12] 李祚泳.投影寻踪技术及其应用进展[J].自然杂志,1997,19(4):224-227.
- [13] 孙艳丰.遗传算法在优化问题中的应用研究进展[J].控制与决策,1996(4).

(责任编辑:胡俊健)

## The Application of Projection Pursuit Model based on the reliability coefficient in the Evaluation of Science and Technology Award

Wang Ying, Ouyang Xianbin, Zhao Qian

(College of Finance and Statistics, Hunan University, Changsha 410079, China)

**Abstract:** The use of the reliability coefficient of educational and psychological measurement theory to measure the weight of experts, transform evaluation value index into composite scores. Based on the original data, used the genetic algorithms to solve optimal projection vector, calculated projection value, ranked the evaluation object.

**Key Words:** Projection Pursuit; Genetic Algorithm; Reliability Coefficient; Science and Technology Award; Overall Evaluation