

基于主成分分析的本科生能力评价方法研究

孙 庚^{1,2}, 冯艳红^{1,2}, 于 红^{1,2}, 崔春雷^{1,2}

(1.大连海洋大学信息工程学院, 辽宁 大连 116023;

2.辽宁省海洋信息技术重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘 要: 针对目前本科生综合素质评价体系并不能真实反映学生的能力这一问题, 提出一种基于主成分分析的本科生能力评价方法。分析了能力评价体系的指标; 编写皮尔逊相关系数软件, 证明各个指标之间存在相关关系。利用主成分分析的方法将各指标按照不同能力类别进行划分, 编写主成分分析软件, 最终得出五类能力指标。利用这五类能力指标对学生的能力进行评价, 得到的评价结果与学生的就业质量进行比对, 得出结论, 能力评价结果排名靠前的学生都是就业质量非常高的学生, 并非传统的评价方法中排名靠前的学生, 表明本文提出的能力评价方法更真实地反映了学生的能力。

关键词: 主成分分析; 能力评价方法; 综合素质评价; 皮尔逊相关系数; 就业质量

中图分类号: TP311 **文献标识码:** A

Research on Undergraduate Ability Evaluation Method Based on Principal Component Analysis

SUN Geng^{1,2}, FENG Yanhong^{1,2}, YU Hong^{1,2}, CUI Chunlei^{1,2}

(1.College of Information Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2.Key Laboratory of Marine Information Technology of Liaoning Province, Dalian 116023, China)

Abstract: Aiming at the problem that the current undergraduate comprehensive quality evaluation system cannot truly reflect the ability of students, a method of undergraduate ability evaluation based on Principal Component Analysis (PCA) is proposed in this paper. The indicators of the ability evaluation system are analyzed, and Pearson correlation coefficient software is compiled to prove the correlation among the indicators. The indicators are divided according to different ability categories by using PCA method. Finally, five categories of ability indicators are obtained with PCA software. They are used to evaluate the students' ability, and the evaluation results are compared with the students' employment quality. It is concluded that the students who rank the top in the ability evaluation results are the ones with very high quality of employment, but not the ones who rank the top in the traditional evaluation methods, which shows that the ability evaluation method proposed in this paper reflects the students' ability more truthfully.

Keywords: PCA; ability evaluation method; comprehensive quality evaluation; Pearson correlation coefficient; quality of employment

1 引言(Introduction)

教育效果的评价是一个重要而复杂的问题。教育的对象是学生, 其直接结果是学生带着技能就业走向工作岗位, 所以针对就业能力的学生能力评价是对教育效果评价的重要手段。目前对大学生的能力评价多以综合素质评价方法为主, 该评价方法主要参考20世纪50年代的教育方针, 即“培养德、智、体”全面发展的人才。大连海洋大学学生手册中制定的综合素质评价包括德育素质、学业成绩、体育素质和科技人文素质四项, 分别占10%、75%、5%和10%。对外经济贸易大学学生手册中制定的综合素质评价包括德育、课程成绩

和综合三项, 分别占10%、80%和10%。上海交通大学学生手册中制定的综合素质评价包括学业成绩、素质拓展两项, 分别占70%和30%, 其中素质拓展包括思想政治与道德修养、社会实践与志愿服务、科技学术与创新创业、社团活动与社会工作等。可以得出, 无论普通本科院校还是211、985高校, 其综合素质评价体系基本相同, 以固定的学业加权成绩为主, 其他体现德育、体育和其他素质的成绩为辅, 对学生进行评价, 并以此评价结果衡量学生的能力, 这种评价方法已经不适应新形势下高等教育的目标。国外对能力评价做了研究, 为了提升学生的学习技能而研究了评价方法^[1], 对结构工

程本科专业的解决问题的能力进行评估^[2]，也有学者对医学领域的教学过程进行有效性评估^[3]。国内也做了相应的研究，杨东生提出构建指标多元化的综合能力评价方法，强调把培养“渗透在人的血液中、能带得走的能力与素养”作为学生能力评价的核心^[4]，但该文献在学业成绩评定部分依然沿用传统方法。简洁提出多元智力理论的大学生综合素质评价方法，确定了各级指标的权重分配，改善了目前的评价方法中存在的权重不合理的问题^[5]。山东大学的夏飞研究了综合素质评价方法和评价模式，改进了指标体系和评价的核算方式，改进了各指标间的权重比例^[6]，但这些学者没有考虑到就业能力。王晓红提出了将综合素质与就业能力对接^[7]，郑天驰对就业能力评价方法做了初步研究^[8]，提出了综合素质与就业能力存在很强的关系，但没有研究具体的关系。

综上，目前的评价方法主要存在三个问题：第一，用综合素质评价结果作为对学生能力考量的标准，没有体现学生的真正能力；第二，没有考虑评价指标之间的相关性，并且，学业成绩以学分作为固定的权重系数；第三，评价内容和评价方式单一，评价方法过于刻板，没有考虑如何通过评价结果促进就业能力的提升问题。

本文针对以上问题，研究以就业能力为导向的能力评价方法。该方法根据本科生综合素质测评中各个指标的相关性，结合培养方案，划分学生的能力类别；不同能力类别给出不同的评价结果；最终将提升就业能力的结果反馈给教学过程，在教学过程中有针对性地对学生的能力进行培养和提升，从而进一步提升就业能力。

2 分析评价指标间关系(Analysis on the relationship between evaluation indicators)

2.1 评价指标的选取

本文选取的评价指标，尽量涵盖体现学生的多种能力的因素，包括培养方案中的课程指标、体现德育素质的指标、体现科技学术与创新创业方面的指标、体现文体艺术与身心发展的指标和其他指标。预处理后的指标假设有 n 个，学生人数有 m 个，则样本数据 x 记为：

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

其中， x_{ij} 为第 i 个学生的第 j 项指标的值， $i=1,2,\dots,m$ ， $j=1,2,\dots,n$ 。

2.2 研究各项评价指标之间的相关性

利用统计学中的相关性分析模型，计算不同指标间的相关系数。任意两个指标 x_{j1} 和 x_{j2} 间的皮尔逊相关系数 $Corr(x_{j1}, x_{j2})$ 如公式(1)所示。

$$Corr(x_{j1}, x_{j2}) = \frac{Cov(x_{j1}, x_{j2})}{\sigma_{x_{j1}} \sigma_{x_{j2}}} \quad (1)$$

$Cov(x_{j1}, x_{j2})$ 为 x_{j1} 和 x_{j2} 的协方差，如公式(2)所示。

$$Cov(x_{j1}, x_{j2}) = E(x_{j1} - \mu_{x_{j1}})(x_{j2} - \mu_{x_{j2}}) \quad (2)$$

其中， x_{j1} 和 x_{j2} 为任意两个指标向量， $j1, j2=1,2,\dots,n$ ， $\mu_{x_{j1}}$ 为指标 x_{j1} 的均值， $\mu_{x_{j2}}$ 为指标 x_{j2} 的均值， $\sigma_{x_{j1}}$ 为指标 x_{j1} 的方差， $\sigma_{x_{j2}}$ 为指标 x_{j2} 的方差， E 为指标的期望。皮尔逊相关系数软件核心算法如算法1所列。

算法1 PearsonCorrCoef(x_{j1} , x_{j2} , n , m)

输入：指标向量 x_{j1} ，指标向量 x_{j2} ，指标个数 n ，学生人数 m ；

输出：皮尔逊相关系数 $Corr(x_{j1}, x_{j2})$ ；

PearsonCorrCoef(x_{j1}, x_{j2}, n, m)

$sum_{j1} = 0, sum_{j2} = 0, xj1Exce = 0, xj2Exce = 0, Cov(x_{j1}, x_{j2}) = 0$;

Begin

(1)计算 x_{j1} 、 x_{j2} 的均值 $\mu_{x_{j1}}$ 、 $\mu_{x_{j2}}$: for($i=0$: m)

$sum_{j1} += x_{ij1}$; $sum_{j2} += x_{ij2}$

$\mu_{x_{j1}} = sum_{j1} / m$; $\mu_{x_{j2}} = sum_{j2} / m$;

(2)计算 $\sigma_{x_{j1}}$ 、 $\sigma_{x_{j2}}$: for($i=0$: m)

$xj1Exce += Math.pow(x_{ij1} - \mu_{x_{j1}}, 2)$; $xj2Exce += Math.pow(x_{ij2} - \mu_{x_{j2}}, 2)$;

$\sigma_{x_{j1}} \sigma_{x_{j2}} = Math.sqrt(xj1Exce * xj2Exce)$;

(3)计算 x_{j1} 和 x_{j2} 的协方差 $Cov(x_{j1}, x_{j2})$: for($i=0$: m)

$Cov(x_{j1}, x_{j2}) += (x_{ij1} - \mu_{x_{j1}}) * (x_{ij2} - \mu_{x_{j2}})$;

(4)计算皮尔逊相关系数 $Corr(x_{j1}, x_{j2})$;

$Corr(x_{j1}, x_{j2}) = Cov(x_{j1}, x_{j2}) / \sigma_{x_{j1}} \sigma_{x_{j2}}$

End

3 基于主成分分析的能力类别划分及评价方法 (Ability classification and evaluation method based on principal component analysis)

由皮尔逊相关系数软件可得出部分指标之间存在较强的相关性，当采用传统以学分作为权重的方法计算学生的综合素质时，会由于学生的某一方面能力较强而导致综合评价结果偏高，为了使评价结果更加客观，本文采用主成分分析的方法确定学生的能力类别，进而对学生的综合能力进行评价。

主成分分析法的基本思想是首先根据样本数据得到协方差矩阵，然后计算特征值和特征向量，将特征值排序，选取特征值大的若干个作为主成分，具体阐述如下。

样本数据 x 的协方差矩阵 C 如公式(3)所示。

$$C = \begin{pmatrix} Cov(x_1, x_1) & Cov(x_1, x_2) & \dots & Cov(x_1, x_n) \\ & Cov(x_2, x_2) & \dots & Cov(x_2, x_n) \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & Cov(x_n, x_n) \end{pmatrix} \quad (3)$$

其中， Cov 的计算见公式(2)。根据相关系数性质可得， C 为对称矩阵，所以公式(3)中用上三角阵表示。公式中的 x_i 表示样本数据 x 的第一列数据，即第一个指标的所有学生的成绩，其他类似。

计算 C 的特征值和特征向量，结果用公式(4)和公式(5)表示。

$$eigenValues(C) = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \quad (4)$$

$$eigenVectors(C) = (v_1, v_2, \dots, v_n) \quad (5)$$

将特征值按照大小排序，选取前 $k(k < n)$ 个特征作为主成分，如公式(6)所示。

$$p = (u_1, u_2, \dots, u_k) \quad (6)$$

本文利用该方法将指标划分为多个能力类别，每一个主成分作为一个能力类别，并得出与该主成分相关的指标，即与此能力相关的课程。本文根据公式(3)到公式(6)实现了主成分分析软件，软件的核心算法的撰写方法与算法1类似，故略。

4 实验及分析(Experiments and analysis)

实验数据为大连海洋大学信息工程学院2012至2015级计算机科学与技术等四个专业的课程、德育和体育成绩，共抽取出50个指标、1236名学生的成绩数据。

4.1 指标间相关性分析实验

根据皮尔逊相关系数软件，实验的部分结果如表1所示。

表1 课程相关性分析部分数据

Tab.1 Partial data of course relevance analysis

课程	英语	计算机导论	高等数学	大学物理	高级语言程序设计	面向对象的程序设计	离散数学	线性代数
英语		0.47	0.53	0.64	0.3	0.54	0.57	0.56
计算机导论			0.7	0.64	0.47	0.67	0.73	0.52
高等数学				0.67	0.4	0.64	0.66	0.62
大学物理					0.43	0.69	0.71	0.63
高级语言程序设计						0.65	0.51	0.24
面向对象的程序设计							0.73	0.6
离散数学								0.63
线性代数								

取 $Corr(x_i, x_j) > 0.65$ ，从表1的实验结果中可以得出，高等数学与大学物理、计算机导论都存在较强的相关关系，面向对象程序设计与高级语言程序设计、计算机导论之间的相关性较高，由此证实了前文阐述的指标间存在较强的相关关系。

4.2 能力类别划分实验及分析

根据主成分分析软件，实验参数 $n = 50$ ， $k = 5$ ，计算得到五个主成分的载荷系数表，由于数据量过大，仅给出部分实验结果，如表2所示。

表2 主成分的载荷系数

Tab.2 Load coefficient of principal components

指标名称	指标编号	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
线性代数	x_1	0.267	0.198	0.35	0.115	-0.109
数据结构	x_2	0.351	0.34	0.018	-0.064	-0.224
大学物理	x_3	0.206	-0.429	0.379	-0.1	0.142
离散数学	x_4	0.43	-0.239	0.042	0.435	0.394

每一个主成分表示一种能力，所以本文给出五种能力，分别为：综合能力、专业综合能力、基础知识扎实能力、数学应用能力和专业理论知识能力，如表3所示。每种能力与载荷系数较大的指标有较强的关系，以第四个主成分为例，离散数学、高等数学和概率论三个指标体现了数学应用能力，如图1所示。

表3 能力类别划分结果

Tab.3 Results of ability classification

主成分	能力类别	载荷系数大的课程
u_1	综合能力	离散数学、数据结构、线性代数、面向对象程序设计、计算机导论、高级语言程序设计、毛概、英语、操作系统等
u_2	专业综合能力	计算机导论、数据结构、软件工程
u_3	基础知识扎实能力	线性代数、大学物理、英语
u_4	数学应用能力	离散数学、高等数学、概率论
u_5	专业理论知识能力	离散数学、计算机导论、高级语言程序设计

4.3 就业质量与能力之间的关系分析

本文选取已经就业且工作最优异的2013级的两名学生周现和谭欣，综合素质排名在10名左右，根据本文的方法对他们的能力进行了评价，结果表明，他们的综合能力分别排第1和第2名，其他各项能力也处在前5名的位置，结果如表4所示。

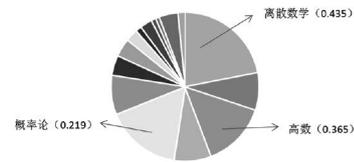


图1 第四类能力相关的课程

Fig.1 Class IV ability-related courses

表4 就业能力信息

Tab.4 Employ ability information

姓名	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5
周现	334.98	-1.36	4.09	2.31	-6.12
谭欣	356.46	9.57	6.34	-8.14	-7.08

从表4可以得出，就业能力好的周现、谭欣的综合能力都很高，尤其是对基础知识的掌握程度，都很扎实。周现的数学应用能力比较突出，而谭欣的专业综合能力相比较其他能力更为突出，所以教师在培养学生过程中应更加侧重基础知识的掌握能力、数学应用能力和专业综合能力，尤其是这几类能力所对应的课程。

5 结论(Conclusion)

本文利用统计学的皮尔逊相关系数方法分析出评价学生能力的各项指标间存在一定的相关关系，所以利用主成分分析法对指标进行划分类别，将不同类别对应为不同能力，将本文给出的能力评价方法的评价结果与就业质量的结果进行对比，得出本文的能力评价方法评出能力高的学生的就业质量也高。本文的方法也可以推广到其他评价体系中。本文下一步工作是研究采用聚类等机器学习的方法对能力类别进行划分，与传统的综合素质评价方法进行对比，并说明效果。

参考文献(References)

- [1] Eaton D M, Cottrell D. Structured teaching methods enhance skill acquisition but not problem-solving abilities: an evaluation of the 'silent run through' [J]. Medical Education, 2010, 33(1): 19-23.
- [2] McCrum, Patrick D. Evaluation of creative problem-solving abilities in undergraduate structural engineers through interdisciplinary problem-based learning [J]. European Journal of Engineering Education, 2016, 7: 1-17.
- [3] Cui D, Wilson T D, Rockhold R W, et al. Evaluation of the effectiveness of 3D vascular stereoscopic models in anatomy instruction for first year medical students [J]. Anatomical Sciences Education, 2017, 10(1): 34-45.
- [4] 杨东生, 沈应文. 以终身发展为引领构建指标多元化的综合素质评价体系 [J]. 西藏教育, 2016(4): 17-19.
- [5] 简洁, 陈良. 基于多元智力理论的大学生综合素质评价体系构建 [J]. 剑南文学: 经典阅读, 2013(10): 344-345.
- [6] 夏飞. 改进中国研究型大学本科培养质量评价体系 [D]. 山东大学, 2012: 56-64.
- [7] 王晓红. 提升学生综合素质与就业能力对接的思考 [J]. 经济师, 2011(2): 119.
- [8] 郑天驰. 大学生就业能力评价方法研究 [D]. 北京交通大学, 2011: 35-51.

作者简介:

孙 庚(1979-), 男, 硕士, 副教授. 研究领域: 嵌入式软件开发.
冯艳红(1980-), 女, 硕士, 副教授. 研究领域: 自然语言处理, 机器学习. 本文通讯作者.
于 红(1968-), 女, 博士, 教授. 研究领域: 数据挖掘, 信息检索.
崔春雷(1973-), 男, 硕士, 讲师. 研究领域: 软件性能优化.