



# 基于 ENTROPY-TOPSIS 算法的电路实验课程 综合成绩评定方法

徐 航<sup>1</sup>, 孙 曼<sup>1</sup>, 印 月<sup>1</sup>, 王东平<sup>1</sup>, 吴海祥<sup>2</sup>

(1. 四川大学电气工程学院 成都 610065; 2. 湖南云箭集团有限公司 长沙 419503)

**摘要:** 针对高校实践教学成绩评定环节中存在的不足, 该文将基于修正 ENTROPY-TOPSIS 算法应用到实验课程成绩评定当中, 并推导了具体算法原理。同时将该算法与常用权值算法层次分析法以及 CRITIC 算法在电路实践成绩客观赋权过程中进行了横向对比。结果显示该方法可以为多源异构数据的科学赋权提供理论依据, 有效消除因主观因素带来的不合理性, 使教师在实验成绩的评定上更加趋向于客观化、科学化。

**关键词:** 成绩评价; CRITIC 算法; ENTROPY 算法; TOPSIS 算法; 赋权

中图分类号: G642.0

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230419

## Comprehensive Grade for Circuit Lab Course Based on the ENTROPY-TOPSIS Algorithm Evaluation Method

XU Hang<sup>1</sup>, SUN Man<sup>1</sup>, YIN Yue<sup>1</sup>, WANG Dongping<sup>1</sup>, WU Haixiang<sup>2</sup>

(1. College of Electrical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Hunan Yunjian Group Co. Ltd., Changsha 419503, China)

**Abstract:** In order to address the deficiencies in the evaluation of the practical teaching performance in colleges and universities, this paper applies the ENTROPY-TOPSIS algorithm based on the modification to the experimental course performance evaluation, and deduces the principle of the specific algorithm. At the same time, the algorithm and the commonly used weighting algorithm hierarchical analysis method and the CRITIC algorithm in the circuit practice results in the process of objective weighting for horizontal comparison. The results show that the method can provide a theoretical basis for the scientific assignment of multi-source heterogeneous evaluation data, effectively eliminating the irrationality due to subjective factors, and making teachers more objective and scientific in the assessment of experimental grades.

**Key words:** achievement evaluation; CRITIC algorithm; ENTROPY algorithm; TOPSIS algorithm; weights

实验成绩考核方式的客观性是新工科背景下高校实验教学改革的重要探索方向<sup>[1-3]</sup>。实践证明, 科学合理的实验成绩评定标准与考核方案既可以客观公正地考查学生的动手能力, 又能激发学生学习的主动性和积极性, 最终提高学生分析问题和解决问题的能力<sup>[4]</sup>。高校实验教学注重理论性和实践性相结合, 教学目标是培养具备一定科研能力, 满足社会就业需求的人才。四川大学对传统的实验教学内容进行了整合与重构, 形成了基础理论、基本操作、工程应用、创新与拓展 4 个教学模块, 同时提出了线上辅助、线下为主的教学方式, 采用了口袋实验室、雷实验、远程“实物”实验以及 LABVIEW 虚拟仿真实验等多

种实验手段用以提高实验教学水平。在丰富了实验条件的同时, 也对课程多源异构数据的客观评价提出了更高的要求。

事实上, 高校实验课程成绩评价是一个多因素、多指标、多环节的复杂过程, 只有对各种影响因素加以综合、客观评价, 使其定量化, 才能得出科学、合理的结论<sup>[5-6]</sup>。随着计算机仿真技术在多领域迅猛发展, 大量的多目标决策分析评价算法都被引进到各种评价体系当中, 如层次分析法(AHP)在配网设备安全评估<sup>[7]</sup>、辐射事故预测<sup>[8]</sup>、医师工作量评价<sup>[9]</sup>等领域的应用; CRITIC 算法在公路风险评估<sup>[10]</sup>、共享单车故障预测<sup>[11]</sup>、电力综合体系评价<sup>[12]</sup>等领域的应用; 信息熵

收稿日期: 2023-09-08; 修回日期: 2023-10-06

基金项目: 四川大学第十期教改项目(SCU10093, SCU10284)。

作者简介: 徐航(1987-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事高温超导研究、电工电路的实验教学与研究。E-mail: xh\_scuedu@163.com

(ENTROPY)在电力分析<sup>[13]</sup>、水利开发<sup>[14]</sup>、机车故障诊断<sup>[15]</sup>等领域的应用都取得了显著的成果。但至今在学生综合评价领域的应用还是比较欠缺,尤其多模式的实验成绩评定方向基本没有。

针对目前高校实验成绩评定中存在的问题,文章采用基于修正 ENTROPY 和 TOPSIS 算法的电路实践综合评价方法,结合电路实验课程实际数据,并对比了层次分析算术平均值法、特征值权重法以及 CRITIC 权重法。结果显示该方法可以为高校实验课堂的多源异构数据权重的科学解读提供客观依据,同时对学生综合评价、老师课堂教学等多元化场景提供一个客观的评价方法。

### 1 改进后的实验成绩综合测评体系

本文以四川大学电路实验为例来介绍改进后的实验成绩综合测评体系。实验课程包括签到、课前预习、数据实测、实验报告、口袋实验室仿真以及课程设计等多个环节,往往同一门实验课程会收集到多种不同量纲或范围差距较大的统计结果。在以往教学中,教师一般根据经验对每种数据进行主观赋权,再加权求得最终结果,但掺杂了过多主观因素的评价方法不能科学客观地体现学生的真实水平。本文采用修正 ENTROPY 算法客观计算各个指标的权值,结合 TOPSIS 方法对各指标与理想目标接近程度进行排序,从而实现所有指标的优劣评价,最后将结果归一化和具体化,使其完全适应实验教学成绩的客观评分,具体流程图如图 1 所示。

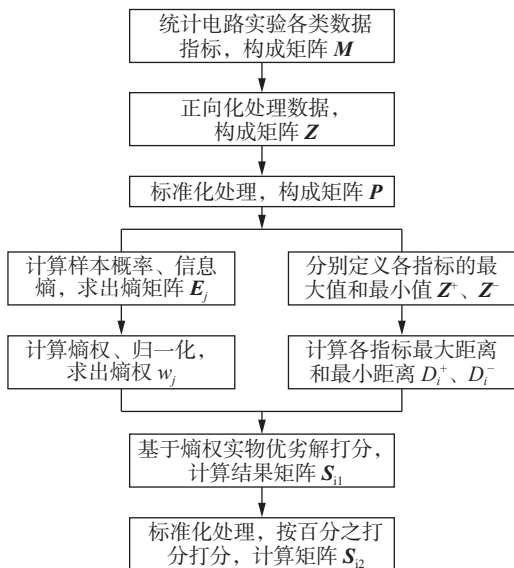


图 1 ENTROPY-TOPSIS 算法流程图

## 2 修正熵权-TOPSIS 算法综合评价模型

### 2.1 利用修正熵权计算权重

1) 设总计有  $m$  个学生, 本课程有  $n$  个评价指标。将所有数据正向化处理后构成原始的数据矩阵为:

$$M = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) 计算正向化矩阵  $Z$ , 其中每一个元素表示为:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (2)$$

3) 计算比重矩阵  $P$ , 其中每一个元素表示为:

$$p_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^n z_{ij}} \quad (3)$$

4) 计算各指标的熵:

$$e_j = k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

式中:  $k = \frac{1}{\ln n}, 0 \leq e_j \leq 1$ 。

5) 计算第  $j$  个指标的权重, 即熵权:

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j) (j = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

### 2.2 利用 ENTROPY-TOPSIS 算法综合评分

在每个指标中分别找出评价对象的最优解  $Z^+$  和最差解  $Z^-$ , 进而对每个评价对象分别计算各个指标距离最优解和最差解的尺度, 靠近最优解远离最差解的方案就是最佳评估结果, 其他待评价对象也可以依据 TOPSIS 的距离给出客观的得分, 具体步骤如下。

1) 计算标准化矩阵, 如式(1)和式(2)所示。

2) 计算各个指标的最大值和最小值, 构成最大向量矩阵  $Z^+$  和最小向量矩阵  $Z^-$  分别为:

$$Z^+ = \begin{pmatrix} Z_1^+ \\ Z_2^+ \\ \vdots \\ Z_m^+ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \max \{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}\} \\ \max \{z_{12}, z_{22}, \dots, z_{n2}\} \\ \vdots \\ \max \{z_{1m}, z_{2m}, \dots, z_{nm}\} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$Z^- = \begin{pmatrix} Z_1^- \\ Z_2^- \\ \vdots \\ Z_m^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \min\{z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}\} \\ \min\{z_{12}, z_{22}, \dots, z_{n2}\} \\ \vdots \\ \min\{z_{1m}, z_{2m}, \dots, z_{nm}\} \end{pmatrix} \quad (7)$$

3) 结合熵权  $W$  计算最大距离和最小距离分别为:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (Z_j^+ - z_{ij})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (Z_j^- - z_{ij})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

4) 计算每个对象最终得分并将结果标准化到需要的范围内:

$$S_{i1} = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

$$S_{i2} = \frac{S_{i1} - \min(S_{i1})}{\max(S_{i1}) - \min(S_{i1})} \cdot (T_{\max} - T_{\min}) + T_{\min} \quad (10)$$

式中:  $T_{\max}$  为实验成绩预设的最大值,  $T_{\min}$  为实验成绩预设的最小值。

### 3 实例分析与结果讨论

#### 3.1 实验数据收集

以电路实验为例, 实验包括线上预习、软件仿真、线下实操、实验报告撰写等多个学习环节, 一个实验往往包含多个指标特点。

以电路实验 2023 年春季的某一个班为例, 总计 20 位同学, 每位同学包括 16 次预习成绩、8 次报告成绩、2 次课程设计成绩、24 次签到统计以及实验操作时长统计(以学习通软件统计时长为准), 具体结果如表 1 所示。

表 1 电路实验各环节统计表

指标	内容	总分值	指标特点
预习成绩 $x_1$	实验预习 $x_{11}, \dots, x_{18}$	80	极大型
迟到次数 $x_2$	实验报告 $x_{201}, \dots, x_{220}$	20	极小型
时长统计 $x_3$	实验报告 $x_{31}, \dots, x_{38}$	96	区间型
实测数据 $x_4$	实验报告 $x_{41}, \dots, x_{48}$	100	极大型
报告成绩 $x_5$	实验报告 $x_{51}, \dots, x_{58}$	100	极大型
课程设计 $x_6$	课程设计 $x_{61}, \dots, x_{62}$	20	极大型

### 3.2 实例仿真与结果分析

#### 3.2.1 对比三种常用权重计算模型

某一指标的权重是指该指标在整体评价中的相对重要程度, 也就是待评价的系统达到最优目标时各个项目的相对地位及作用<sup>[16]</sup>。在整个指标体系评价当中, 是否有合理、正确的权重直接影响着评价的科学性以及综合评判的结果。对比 3 种权值计算方法:

1) AHP 层次分析法计算权值, 经计算最大特征值  $\lambda = 6.4074$ , 一致性指标  $CI = 0.0815$ , 一致性比例  $CR = 0.0647$ ,  $CR < 0.10$ , 判断矩阵具有一致性, 计算结果可信;

2) CRITIC 算法计算权值, 标准差矩阵向量为  $\zeta = [0.313; 0.489; 0.271; 0.337; 0.334; 0.420]$ ;

3) ENTROPY 主要依据式(1)~式(5), 对所有指标进行客观赋值。

3 种算法计算的各指标最终权值如表 2 所示。

表 2 对比常见的 3 种算法权值

指标	AHP		CRITIC 权值法	ENTROPY
	AHP-算术平均	AHP-特征值		
预习成绩 $x_1$	0.106	0.103	0.135	0.054
迟到次数 $x_2$	0.046	0.044	0.215	0.013
时长统计 $x_3$	0.090	0.083	0.134	0.099
实测数据 $x_4$	0.296	0.300	0.153	0.355
报告成绩 $x_5$	0.296	0.300	0.165	0.364
课程设计 $x_6$	0.164	0.168	0.199	0.116

从 MATLAB 算法仿真以及表 2 的计算结果可以得出: AHP 层次分析法是一种主观赋权法和客观赋权法相结合的方法, 该方法需要经验给出判断矩阵, 再根据判断矩阵计算权重, 比较适合解决难以用定量方法应对的权重问题。本次计算的结果为:

1) 实测数据成绩和实验报告成绩占比最大, 均为 29.6%, 且远大于其他项, 基本符合经验值, 但与判断矩阵有紧密的相关性;

2) 层次分析法的平均值法和特征值法只是计算方法有区别, 结果基本一致, 为保证结果的稳健性, 一般采用两种方法计算后的均值作为最终的权值;

3) CRITIC 权重法是一种客观赋权法, 主要通过归一化强度与冲突性指标乘积作为最终权重,

结果迟到早退占比最大为 21.5%, 且其它指标的权重相差不大, 该权重不适合实践成绩的评定;

4) ENTROPY 可以分析数据的内在关系, 通过信息量来对指标客观赋权, 从表 2 也可以看出实测数据成绩和实验报告成绩占比最大, 分别为 35.5% 和 36.4%, 计算结果符合实际预期, 但目前只在确定权重的过程中使用, 本次将结合 ENTROPY 与 TOPSIS 来探索实验课程客观综合考评。

### 3.2.2 利用 ENTROPY-TOPSIS 评价模型计算成绩

基于上述 ENTROPY-TOPSIS 评价模型和实验统计数据, 对四川大学电路实验的某班所有学生成绩进行综合评定, 分为以下 4 个步骤, 计算结果如图 2 所示。

1) 对所有指标数据正向化处理。

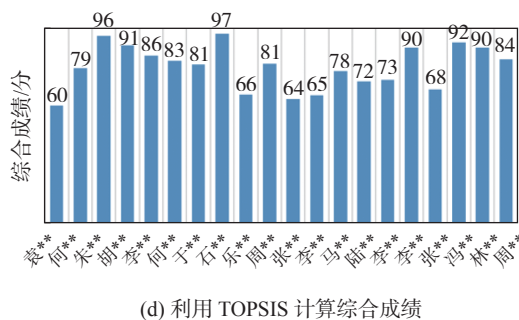
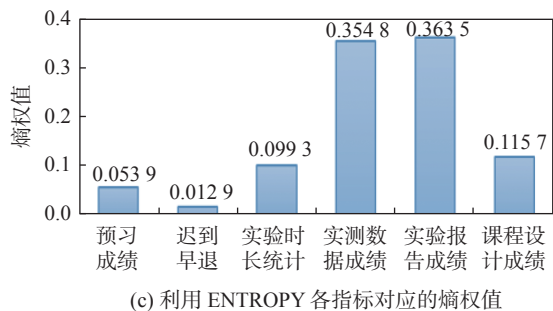
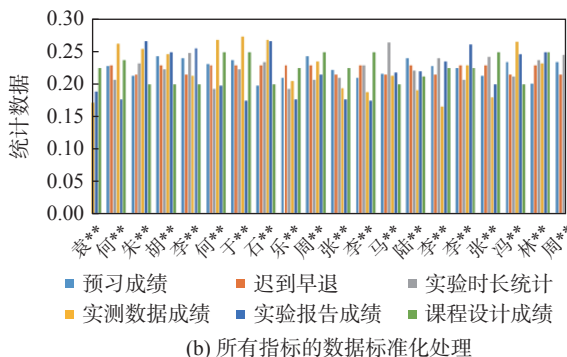
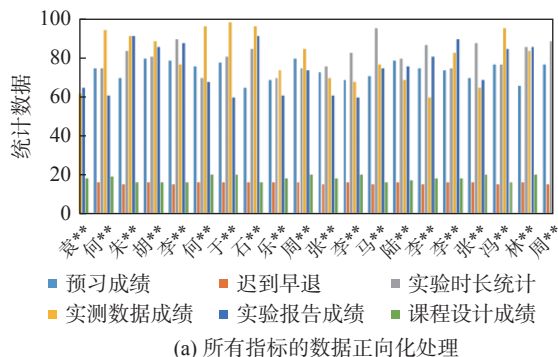


图 2 ENTROPY-TOPSIS 评价模型计算结果

### 3.3 模型应用与评价

高校教育教学改革是高等教育教学健康有序发展的重要环节, 对提升高等教育教学水平以及人才培养质量等都具有重要意义<sup>[17]</sup>。近年来, 四川大学电路课程教学无论是实验课还是理论课, 逐步采用多元化评价方式, 包括线下线上相结合、仿真与实践相结合、平时分与期末成绩相结合、以 MOOC 为环境的混合式教学等教学手段, 同时采用口袋实验室、小脚丫、雷实验以及虚拟

- 2) 所有指标的数据进行标准化和归一化。
- 3) 利用 ENTROPY 客观计算各指标的权值。
- 4) 利用 TOPSIS 计算每位学生加权后的综合成绩。

从图 2 可以看出, 无论是正向化处理结果, 还是最终的综合成绩, 基本符合正态分布, 且熵权值比较符合预期, 实测数据成绩和实验报告成绩占比最大, 分别为 35.5% 和 36.4%, 实测数据的正确性和实验报告的撰写也是最能衡量学生实验理解程度的两个部分。其他 4 个权重指标均小于 12.0%, 最小的迟到早退只占 1.3%。从 MATLAB 仿真结果可以看出该方法可以为多源异构评价数据的科学解读提供依据, 同时对学生课程设计、实践能力、实验报告撰写等多元化场景综合评价提供一个客观的计算方法。

仿真等新型实验平台及装置, 丰富了教学环节, 产生了越来越多的多元异构、不同量纲的评价数据。从 2022 年开始, 电路实验课程期末成绩用文中算法逐步代替以往的主观赋权, 一定程度上解决了同课程中多类数据客观赋权的难题。

### 4 结束语

本文提出了一种基于改进 ENTROPY-TOPSIS 算法的高校实验成绩客观评定方法, 为实验课程

的多源指标赋予客观权重,为消除异构数据的量纲差异影响提供了新的思路。同时对比了 AHP-算术平均值权重法、AHP-特征值权重法、CRITIC 权值法、ENTROPY 等算法计算的权值以及最终的实验成绩,结果表明该方法可以有效提高实验课程综合评价的客观性,为科学、合理、公正地评价学生实践成绩提供了一个新的方法和途径,具有一定的实用价值,同时该评价方法也可以应用于特色培养方案的设计与实践当中。

### 参考文献

- [1] 张明明. LABVIEW用于化工原理实验课程教学改革的探索与实践[J]. 实验室科学, 2021, 24(4): 113-115.
- [2] 樊玉清, 张越美, 王秀海. FCE-AHP在环境科学综合大实验成绩评定中的应用[J]. 实验科学与技术, 2015, 13(5): 80-82.
- [3] 刘慧, 张大庚, 栗杰, 等. “土壤与环境分析”实验课程成绩考核与评定初探[J]. 实验室科学, 2017, 20(3): 115-117.
- [4] 孙云. 基于“互联网+”物理实验成绩评定方式的改革与探索[J]. 大学物理实验, 2020, 33(6): 122-126.
- [5] 王智德, 江俐敏, 陈成, 等. 模糊层次分析法在土力学实验成绩评定中的应用[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(2): 79-85.
- [6] 庞林, 乐腾, 孔凯, 等. 经济管理实验教学示范中心创新管理的影响因素分析[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(12): 162-165.
- [7] 王敏, 邹婕, 王惠琳, 等. 基于改进的AHP-CRITIC-MARCOS配电网设备风险评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(3): 164-172.
- [8] 孟凡兴, 杨明, 王浩, 等. 基于AHP-FCE的辐射事故应急演练评估研究[J]. 核技术, 2022, 45(11): 70-79.
- [9] 闫丽娜, 王琛, 安佰悦, 等. 基于层次分析法的肿瘤科医师门诊和住院工作量转换关系研究[J]. 中国医院管理, 2022, 42(11): 52-55.
- [10] WANG J J, MA C C, WANG S, et al. Risk assessment model and sensitivity analysis of ordinary arterial highways based on RSR-CRITIC-LVSSM-EFAST[J]. Sustainability, 2022, 14(23): 16096.
- [11] 蔡芸, 杨江辉, 熊禾根. 基于critic组合预测方法的共享单车故障预测[J]. 工业工程, 2022, 25(5): 106-112.
- [12] GAO X Y, GUAN Y, SUN D J, et al. An ecological, power lean, comprehensive marketing evaluation system based on DEMATEL -CRITIC and VIKOR: A case study of power users in Northeast China[J]. Energies, 2022, 15(11): 3986.
- [13] 张广伦, 钟海旺. 信息熵在电力系统中的应用综述及展望[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(16): 6155-6181.
- [14] PEREIRA F J S, da SILVA F A V, LOPES J W B, et al. Entropy model to assess sediment resuspension probability and trap efficiency of small dams[J]. International Journal of Sediment Research, 2022, 37(5): 675-686.
- [15] 李伟. 基于最小熵反褶积的动车组牵引电动机轴承故障诊断方法[J]. 轴承, 2021(12): 56-60.
- [16] 李美娟, 刘佳鸿, 杨隆浩, 等. 基于相对熵距离的动态改进理想解法及其应用研究[J]. 系统科学与数学, 2023, 43(1): 174-185.
- [17] 杨涛, 张明涛. 基于熵权TOPSIS的高校工程造价专业实践教学效果评估[J]. 当代教育实践与教学研究, 2017(10): 152-153.

编辑 王燕