

改进 TOPSIS 法的装备可靠性评估方法

史金朋

(中国人民解放军 93868 部队, 银川 750025)

摘要: 装备的可靠性是完成遂行任务必备条件, 对装备可靠性进行评估可为任务决策提供理论支持; 目前关于装备可靠性评估方面的研究大多数都是基于概率统计学的, 而概率统计的准确性受限于样本的大小, 从而使得基于概率统计学的装备可靠性评估因装备样本的大小而产生不可避免的或大或小误差; 为解决这一评估受样本大小制约的问题, 引入逼近理想点 (TOPSIS) 法; 同时, 针对 TOPSIS 法受主观因素影响较大的问题, 修订了该法评估指标权重及理想解的确定方法, 并在评估结果中引入了“合格分数线”的概念, 使得评估结果等级划分有了量化依据, 从而体现出了客观性和科学性, 然后构建了某装备基于该改进 TOPSIS 法的可靠性评估模型; 最后, 通过示例分析, 利用 MATLAB 计算验证了本文方法的正确性, 评估结果可为装备的使用者或指挥者提供决策依据。

关键词: 装备评估; 可靠性; TOPSIS 法

A Reliability Evaluation Method of Equipment on Improved TOPSIS

Shi Jinpeng

(No. 93868 Unit of PLA, Yinchuan 750025, China)

Abstract: The reliability of equipment was necessary to carry out the task conditions, equipment evaluation could provide theoretical support for the decision task. Most reliability research of equipment evaluation was on probability statistics, however, the accuracy of probability and statistics was limited by the size of the sample, so that the reliability evaluation based on probability and statistics was inevitable which was either largely or smally. In order to solve the problem that the evaluation was restricted by sample size, the method of TOPSIS was introduced. At the same time, aiming at the problem that TOPSIS method was influenced by subjective factors, the ascertained method of evaluation index weight and ideal answers on the TOPSIS were improved, and the evaluation model of equipment reliability based on this improved TOPSIS was build. This paper get rid of the restraint of sample capacity, and also the concept “qualified point line” was introduced into the evaluation result, so that the classification of the evaluation results had a quantitative basis, which reflected the objectivity and scientific. Lastly, the method on this paper was checked to be correct by the example and MATLAB, The evaluation results could provide the decision basis for the user or the commander of the equipment.

Keywords: equipment evaluation; reliability; TOPSIS

0 引言

装备的可靠运行是完成既定目标任务的首要前提之一, 评估装备可靠性对分析预想目标的可行性具有重要意义。然而, 当前在用装备交融了多门学科、众多领域的知识结构, 传统的“望闻问切”等方法已不能很好检测或评价其可靠性。

对此, 已有部分研究取得了较好成绩, 主要表现为基于概率统计学的装(设)备可靠性评估^[1-5], 但这类方法的评估结果受装备样本数据影响较大。尤其在评估单一装备时, 由于历史样本数据较少, 此种可靠性评估方法评估结果将不可避免地产生较大误差。然而, 基于概率统计学外的装备可靠性评估研究却很少见, 如: 文献 [6] 通过主客观打分建立了非线性指标聚合的评估方法, 虽不受样本数据大小影响, 但以主观“打分”为基础评估可靠性在一定程度上削减了客观性。本文引入并改进了逼近理想点 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, 以下统称 TOPSIS) 法, 将评估对象置于所履行的目标任务当中, 构建可靠性评估模型, 并以评估指

标的边界为依据在评估结果中计算“合格”标准, 以此划分评估结果等级, 以期对装备的使用者提供较为准确、客观的评估结果。

1 现代装备特性分析

在技术创新的有力驱动下, 现代装备在宏观上呈现出学科属性交叉、知识领域交互、理论边界模糊等特点, 更向着综合化、集成化、系统化的方向发展; 在微观上则呈现出电子与机械融合、硬件与软件兼容等特点, 更向着精细化、信息化、智能化的方向发展。这对装备的操作使用、维护保养、测试维修、安全可靠等方面都提出了新的研究课题。

就可靠性而言^[7], 是指装备在规定的条件下和规定的时间内, 完成规定功能(目标任务, 以下简称任务)的能力。对装备可靠性的评估就是通过算法量化给出这种能力的大小, 为装备指挥者提供决策依据。对具体装备来说, 由于装备的复杂性和高整合性, 使得其可采集到的能表征其可靠性的参数指标比较少, 如何利用有限的准确数据评估装备的可靠性是这一研究领域的瓶颈问题。

2 TOPSIS 法改进策略

TOPSIS 法于 1981 年提出的一种分析多目标、多属性问题的决策方法。

收稿日期: 2017-04-18; 修回日期: 2017-05-09。

作者简介: 史金朋(1986-), 男, 河北广平人, 技师, 主要从事装备评估方向的研究。

2.1 TOPSIS 法基本思想

TOPSIS 法的核心是构造正理想解和负理想解，以判断目标问题与正、负理想解的偏离程度来确定决策方案的优劣性。即当目标解越与正理想解近，且越与负理想解远时，则该目标解就越优。TOPSIS 法基本流程^[8]如图 1 所示。

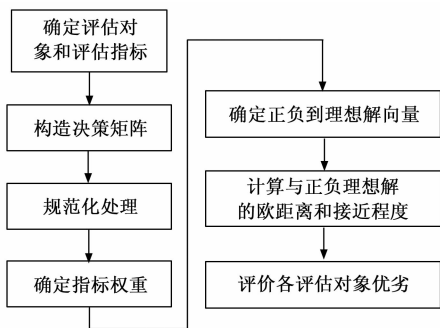


图 1 TOPSIS 法基本流程

图 1 中，设有 m 个评估对象， n 个评估指标的决策矩阵为 $X = [x_{ij}]_{m \times n}$ ，其中 $i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$ 。由式 (1) 进行规范化处理得到规范化决策矩阵 $Y = [y_{ij}]_{m \times n}$ ，其中：

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

实际上，每个评估指标在评估体系中所占的比重不尽相同，即设对应指标权重为向量 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ，其中 $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ ，由此得到加权规范化决策矩阵 $Z = [z_{ij}]_{m \times n}$ ，其中 $z_{ij} = w_j y_{ij}$ 。再设正理想解向量为 $Z^+ = (z_j^+)$ ，其中：

$$z_j^+ = \max_{i=1}^m \{z_{ij}\}, z_j^- = \min_{i=1}^m \{z_{ij}\} \quad (2)$$

需要说明的是：式 (2) 中 \max 表示最优解，而不是最大值； \min 表示最劣解，并不是最小值。又设评估对象到正负理想解的距离分别为 d^+ 和 d^- ，则：

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^+)^2} \quad (3)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^-)^2} \quad (4)$$

评估对象与正理想解的相对接近程度用 C 表示，则：

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (5)$$

最终，评估对象的优劣顺序由 C 值确定，其值越大说明对应评估对象越优。

2.2 TOPSIS 法分析

TOPSIS 算法简单易掌握，便于计算，可信度较高，且不受评估对象样本大小、分布形态等方面的限制。但其受主观因素影响较大，使得评估结果可信度在一定程度上打了折扣，主要体现在：1) 评估指标权重的选取；2) 正、负理想解的确定。

原 TOPSIS 法的评估指标权重选取主要凭借经验判断或专家打分等主观方法，或大或小地削弱了评估结果的准确性。研究表明^[9]：对于选取多方案决策类的评估可通过引入信息熵权

通过指标变异程度的大小来解决这一问题，但本文是对装备可靠性的评估，不能单纯依指标变异程度来衡量其重要性。

原 TOPSIS 法的正、负理想解来源于评估对象样本数据的最值。一般情况下，样本数据的采集受测量者工作态度、精神状态及文化程度及评估对象本身属性等方面要素影响较大。由此确定理想解，用于特定装备可靠性评估时，会出现理想解“跑偏”的现象，从而会导致评估结果出现偏差。

2.3 TOPSIS 法的改进

基于以上分析，本文改进主要针对评估指标权重和评估对象正负理想解的确定两个方面。

2.3.1 评估指标权重修定方法

考虑到装备的可靠性是针对其完成具体任务而言的，将评估指标权重与既定的任务相关联是合理的。这里区分装备的评估指标与任务之间的逻辑关系而施行不同的处理策略。评估指标与装备完成任务之间的逻辑关系（如图 2 所示）简化表征为“与”和“或”关系，若不是简单的与或关系可通过逻辑关系计算变换为与或关系。

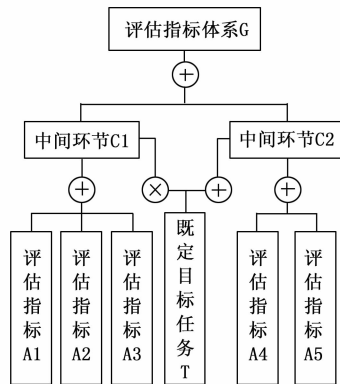


图 2 装备评估指标与任务逻辑关系

图中，“ \oplus ”表示逻辑或关系、“ \otimes ”表示逻辑与关系。由图可见任务 T 分别与指标 $A1$ 、 $A2$ 、 $A3$ 构成逻辑与关系，又分别与指标 $A4$ 、 $A5$ 构成逻辑或关系。注：在实际计算中，任务 T 只体现逻辑关系而不参与数值计算。

实际上：评估指标与目标任务逻辑“与”关系体现为“必须正常”，如果此类“与”指标出现异常则“一票否决”。因此，这此指标权重一律平等，不应区分大小，为计算方便设定权重为 1；对于逻辑“或”关系，则指标权重不受目标任务限制，其权重有大小之分。为消减主观因素影响，这里采用信息熵权方法确定逻辑“或”的指标权重 w_j° ^[9]，即：

$$w_j^\circ = \frac{1 + \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln(y_{ij})}{\sum_{j=1}^n (1 + \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln(y_{ij}))} \quad (6)$$

式中， y_{ij} 为规范化矩阵元素。

最后，将所有权重进行归一化处理，确定为最终权重向量。

2.3.2 评估对象理想解的确定

为避免如奇异值等非客观样本数据被选定为正、负理想解，本文将正理想解定义为对应评估指标的装备出厂或研制定型时的理论数据。对于没有此数据的指标，取该评估指标

样本数据中最优的 1/10 样本平均值，如果样本不能被 10 整除则向下取整但不能少于 1。负理想解的选取与原 TOPSIS 法相同。

3 某装备的可靠性评估模型

装备的可靠性评估是针对装备在完成某项既定目标任务而开展的预评价。评估指标应选取能表征装备健康状态的参数，且应以任务为依据，将能体现完成任务的参数也纳入评估指标体系。

某装备的基于改进后 TOPSIS 法的可靠性评估算法流程描述如下：

STEP1：确定评估装备对象、目标任务和评估指标，并构建决策矩阵；

STEP2：规范化处理决策矩阵，得到规范化决策矩阵；

STEP3：确定指标权重。首先分析梳理出各指标与目标任务的与或逻辑关系：“与”关系，确定对应指标权重为 1；“或”关系，对应指标权重依式 (6) 计算。其次，所有指标权重确定后，进行归一化处理，使权重之和等于 1。

STEP4：对 STEP3 中构成“与”关系指标首先进行评估，如果该指标当前数据超出临界值则一票否决：装备不可执行此任务。否则转 STEP5。

STEP5：分别依据 2.3.2 节方法及式 (2) 确定正、负理想解向量。

STEP6：依式 (3) 和式 (4) 计算评估对象与正负理想解距离。注：对于单一装备，分别计算史上最优（出厂理论解）、临界值、当前数据与正负理想解的距离；对于多台同型装备，分别计算各台装备平均史上最优（出厂理论解）、临界值、各台装备当前数据与正负理想解的距离。其中，临界值是指装备某一指标数据的合格范围边界，当指标临界值的组合较多时应分别计算。

STEP6：依式 (6) 计算各接近程度。其中，当指标临界值的组合较多时，选取接近程度最大作为“合格分数线”值。

STEP7：输出评估结果。

装备可靠性评估结果分为优秀、良好、合格、不合格 4 个等级，其中合格线以计算各指标“临界值”的接近程度确定。所以，装备可靠性评估等级是一个动态过程：优秀、良好、合格区间边界在合格线确定后向最优方向三等分确定。装备评估结果如表 1 所示。

表 1 装备可靠性评估结果

	理论分数	史上最优得分	合格分数线	当前状态得分	当前状态等级
装备 1	1				
装备 2	1				
...	1				

表 1 中：“理论分数”指装备在研制定型或出厂给出的理论指标数据下的接近程度，定义为 1；“史上最优得分”是本装备历史最好时的指标数据下的接近程度；“合格分数线”是本装备各指标“临界值”下的接近程度；“当前状态等级”是根据本装备当下指标数据计算得出的评估结果等级。

4 示例分析

某装备的评估指标为：电阻 1（允许范围为 1.0~1.5 Ω）、电阻 2（允许范围为 0.6~1.0 Ω）、电压（允许范围为 4~6 V）、振动频率。目标任务为正常使用。其中电阻 1、电阻 2、电压与其构成“与”关系，振动频率为“或”关系。为节省篇幅，经筛选后其基本样本数据如表 2 所示。

表 2 某装备评估指标基本数据

	电阻 1/Ω	电阻 2/Ω	电压/V	振动频率/Hz
理论数据	1.2	0.8	5	无
史上最优	1.2	0.8	5	72
史上最劣	1.5	1.2	6.4	420
当前数据	1.4	0.9	4.7	176
临界值 1	1.0	0.6	4	420
临界值 2	1.5	1.0	6	420

取振动频率的“理论数据”为历史最好前 10 位平均值 83 Hz。考虑到部分指标临界值关于理论数据对称，将临界值组合简化为两个，其中临界振动频率取史上最劣频率，则该装备的评估决策矩阵为：

$$X = \begin{bmatrix} 1.2 & 0.8 & 5 & 83 \\ 1.2 & 0.8 & 5 & 72 \\ 1.5 & 1.2 & 6.4 & 420 \\ 1.4 & 0.9 & 4.7 & 176 \\ 1 & 0.6 & 4 & 420 \\ 1.5 & 1 & 6 & 420 \end{bmatrix}$$

利用 Matlab7.1 进行依本文第 2 和第 3 节内容计算，得：权重向量为 (0.2848, 0.2848, 0.2848, 0.1456)；选取的正、负理想解分别为 (1.2, 0.8, 5, 83) 和“史上最劣值”对应的加权规范化决策矩阵值 (0.1063, 0.0800, 0.1099, 0.0160) 和 (0.1328, 0.1200, 0.1407, 0.0809)；“史上最优”、“史上最劣”和“当前状态”、“临界值 1”和“临界值 2”接近程度分别为 0.9765、0、0.7082、0.5540 和 0.2229。由于当前状态数据均在指标的允许区间内，不存在“一票否决”。即，该装备可靠性评估结果如表 3 所示。

表 3 某装备可靠性评估结果

理论分数	史上最优得分	合格分数线	当前状态得分	当前状态等级
1	0.9765	0.5540	0.7082	良好

根据表 3，可见 0~0.554 为不合格，0.554~0.703 为合格，0.703~0.852 为良好，0.852~1 为优秀。根据当前状态得分可见该装备当前状态良好，可以完成既定目标任务。另外，根据表 3 还可以得出：该台装备基本上完成了研制定型的指标要求；状态虽处于良好，但接近合格，可能处于“亚健康”状态，需加强维护保养。以上结果与该装备实际情况相符。为防止采集到的当前指标数据异常，可依此方法通过最近多批次数据进行评估验证再得出结论。

5 结论

改进后的 TOPSIS 法，使装备评估指标权重更加客观、理想解的来源更加合理；权重的选取以装备所履行的目标任

务为依据区分逻辑关系分别确定, 这样将装备置于任务中进行评估更具科学性; 理想解首选装备研制或出厂的理论数据更具“理想”性, 同时克服了以最优“样本”为理想解的样本本身带来的误差。装备评估结果中引入“合格分数线”使评估结果等级不再是一个无量化依据的模糊量, 使评估结果的可信度更高。

本文方法简单易懂, 评估过程紧贴装备所担负目标任务等实际情况, 评估不受装备评估指标样本大小影响, 结果较准确可靠, 既适合单一装备的可靠性评估也适用于多台装备的可靠性评估。

参考文献:

[1] 郭忠来, 吴 华, 胡永刚, 等. 基于数据深度的设备状态评估模型研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36 (5): 897-899.
 [2] 宋 飞. 多机协同条件下机载雷达的效能评估研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2015: 28-39.

目的增多, 数据读写效率并没有降低, 即是说, 本文设计的高效存储策略并没有随着副本数目的增多而增加额外的耗时。

表 3 数据故障恢复情况记录表

	数据中心-1		数据中心-2	
	副本数	所在的 PC	副本数	所在的 PC
步骤 13	3	1,2,3	3	6,7,8
步骤 14	3	1,2,4	3	6,7,8
步骤 16	3	1,2,4	0	无
步骤 17	3	1,2,4	3	6,7,8

由表 3 的实验数据可以看出, 如果某一个副本服务器无法继续提供服务时, 管理者服务器会将坏掉的服务器上的数据副本重新在其他服务器上重建, 努力保证数据副本的个数; 当数据中心无法提供服务期间, 数据无法保存到该数据中心, 但是, 当该数据中心恢复提供服务时, 其他数据中心就会将在此期间的数据变化在该数据中心重建。

实验结果表明, 本文设计的高效的数据安全存储策略是可行的、有效的。该策略在不增加额外的时间损耗的情况下, 可以保证数据的多副本存储、副本的重建与数据中心的数据重建。这种机制可以最大限度的保证数据安全。

3 结语

云计算的快速发展使云存储的数据安全变得越来越重要。但是保证数据安全的多副本策略会大大降低数据上传、下载等操作效率, 使得用户浪费大量的宝贵时间。为了解决多副本问题对时间的过渡消耗问题, 提高用户上传、下载数据的效率, 本文设计了一个高度并行的数据安全存储策略。该策略采取了多线程多数据连接, 每个线程负责一个数据连接的方式, 使得用户数据可以同时和多个副本服务器进行交互, 大大提高了用户数据的存储效率, 并且由于是多副本, 也保证了数据的安全性。下一步的研究计划是实现数据下载时副本的选择策略, 使得用户可以选择一个速度更快的副本来实现下载功能。

[3] 严英杰, 盛 戈, 王 辉, 等. 基于高维随机矩阵大数据分析模型的输变电设备关键性能评估方法 [J]. 中国电机工程学报, 2016, 36 (2): 435-445.
 [4] 马庆跃. 武器装备体系作战效能综合评估技术研究 [J]. 哈尔滨工业大学, 2015: 7-20.
 [5] 何 迪, 章 禹, 郭创新. 一种面向风险评估的输电线路故障概率模型 [J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45 (7): 69-75.
 [6] 王义冬, 刘 义, 石伟峰. 基于作战效能的武器装备可靠性指标评估方法 [J]. 现代防御技术, 2011, 39 (5): 166-170.
 [7] 贾治宇. 武器装备通用特性指标体系研究 [A]. 大型飞机关键技术高层论坛及中国航空学会 2007 年学术年会论文集 [C]. 2007: 1-5.
 [8] 胡元潮, 阮江军, 杜志叶. 基于 TOPSIS 法的变电站一次设备智能化评估 [J]. 电力自动化设备, 2012, 32 (12): 22-27.
 [9] 党兴华, 李全升. 基于熵权改进 TOPSIS 的陕西国家级高新区创新发展能力评价 [J]. 科技管理研究, 2017, 3: 75-83.

参考文献:

[1] 傅颖勤, 罗圣美, 舒继武. 安全云存储系统与关键技术综述 [J]. 计算机科学, 2013, 50 (1): 136-145.
 [2] Wang C, Chow S S M, Wang Q, et al. Privacy-preserving public auditing for secure cloud storage [J]. IEEE Transactions on Computers, 2013, 62 (2): 362-375.
 [3] 李 晖, 孙文海, 李风华, 等. 公共云存储服务数据安全及隐私保护技术综述 [J]. 计算机应用研究, 2014, 51 (7): 1397-1409.
 [4] Iacono L L, Torkian D. A System-Oriented Approach to Full-Text Search on Encrypted Cloud Storage [A]. 2013 International Conference on Cloud and Service Computing (CSC) [C]. IEEE, 2013: 24-29.
 [5] 付艳艳, 张 敏, 陈开渠, 等. 面向云存储的多副本文件完整性验证方案 [J]. 计算机应用, 2014, 51 (7): 1410-1416.
 [6] Yang K, Jia X. An efficient and secure dynamic auditing protocol for data storage in cloud computing [J]. Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on, 2013, 24 (9): 1717-1726.
 [7] Terry D B, Prabhakaran V, Kotla R, et al. Consistency-based service level agreements for cloud storage [A]. Proceedings of the Twenty-Fourth ACM Symposium on Operating Systems Principles [C]. ACM, 2013: 309-324.
 [8] 乔宏明, 姚文胜. 基于策略提升公共云存储信息安全水平的方案研究 [J]. 计算机工程与设计, 2013, 37 (21): 53-57.
 [9] Yang K, Jia X, Ren K, et al. Dac-macs: Effective data access control for multi-authority cloud storage systems [A]. INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE [C]. IEEE, 2013: 2895-2903.
 [10] 杨慧慧, 周奇年, 张振浩. 基于物联网环境的云存储及安全技术研究 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 18 (6): 12-16.
 [11] Qian W, Wen Q, Jin Z, et al. An Architecture of Secure Searchable Cloud Store [A]. Proceedings of the 2013 Fifth International Conference on Multimedia Information Networking and Security [C]. IEEE Computer Society, 2013: 596-599.
 [12] Chen L. Using algebraic signatures to check data possession in cloud storage [J]. Future Generation Computer Systems, 2013, 29 (7): 1709-1715.