

维修性定性要求评价指标融合模型研究

黄德所^a, 杨善超^b

(陆军军官学院 a. 十一系; b 研究生管理大队, 合肥 230031)

摘要: 根据目前维修性定性要求评价指标值标度形式的多样性, 提出一种基于指数法的指标值融合方法, 将通过不同方法得到的不同标度形式指标值进行规范化和融合处理, 得到同一属性的指标量化值, 解决了目前不同标度形式底层指标值无法融合以及维修性评价聚合模型意义不明确的问题, 提高了单项指标量化值的可信性。

关键词: 标度形式; 指数法; 融合

本文引用格式: 黄德所, 杨善超. 维修性定性要求评价指标融合模型研究[J]. 兵器装备工程学报, 2017(4): 87-90.

Citation format: HUANG De-suo, YANG Shan-chao. Study on Index Value Fusion Model of Maintainability Qualitative Requirements Evaluation[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017(4): 87-90.

中图分类号: U692

文献标识码: A

文章编号: 2096-2304(2017)04-0087-04

Study on Index Value Fusion Model of Maintainability Qualitative Requirements Evaluation

HUANG De-suo^a, YANG Shan-chao^b

(a. Eleven Department; b. The Graduate Management Team, Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: To solve the problems that there is no method to fuse the bottom index value of different scale forms, this paper proposed a fusion method based on index theory. This method is to standardize and fuse the index values of different scale forms gotten from different methods, and then to get index values of same property. The paper provides a method to increase the creditability of index value.

Key words: scale form; index method; fusion

在维修性定性要求评价指标量化值的获取过程中, 由于单项指标值获取方法和量化依据的不同, 导致其属性的多样化; 为了便于进行指标聚合和综合评价, 必须对度量标准各异的单项指标值进行规范化和融合处理^[1]。在现有的维修性定性要求评价中, 对于底层评价指标值大都采用理想指标值处理法或线性投影法等进行无量纲化处理^[2-3]。但是这些方法都运用于数值形式的指标值, 不能将多种度量形式的指标值进行融合; 同时难以确保无量纲处理后所反映的维修水平保持不变, 导致单项指标值可信性不强, 评价指标聚合模型意义不明确。针对这些问题, 本文在对维修性定性要求评价指标值获取途径和指标值属性进行分析的基础上, 构建一种基于指数法的针对不同度量形式单项指标值的融合方法。

1 维修性定性要求评价单项指标值属性分析

在维修性评价中, 对于同一单项指标, 影响其指标值融合的主要是标度形式这一属性问题。针对不同的部件或是在不同的研制阶段, 其指标值的获取途径和获取依据都有不同; 由此导致了同一单项指标值不同情形下标度形式的差异。要研究不同属性单项指标值的融合方法, 就要对其获取途径、来源和属性进行分析。

1.1 单项指标值获取途径和量化依据

针对某一装备进行维修性定性要求评价时, 同一底层指

收稿日期: 2016-10-27; 修回日期: 2016-12-02

基金项目: 部委预研基金项目(9140A27010213JB91)

作者简介: 黄德所(1963—), 男, 博士, 教授, 主要从事复杂系统和装备维修性评价研究。

标在获取指标值的过程当中有不同的途径。例如可达性指标,可以通过仿真方法获取指标值,也可以邀请专家进行评判和打分。现有的底层指标值获取途径有多种,通过对相关资料的分析总结发现,主要包括仿真法、统计方法、专家评判方法^[4-6]。

1) 仿真方法。虚拟维修仿真方法是利用计算机仿真软件对维修环境、维修过程等进行模拟仿真,以对部分维修性指标进行量化的方法^[7-8]。其基本流程如图1所示。

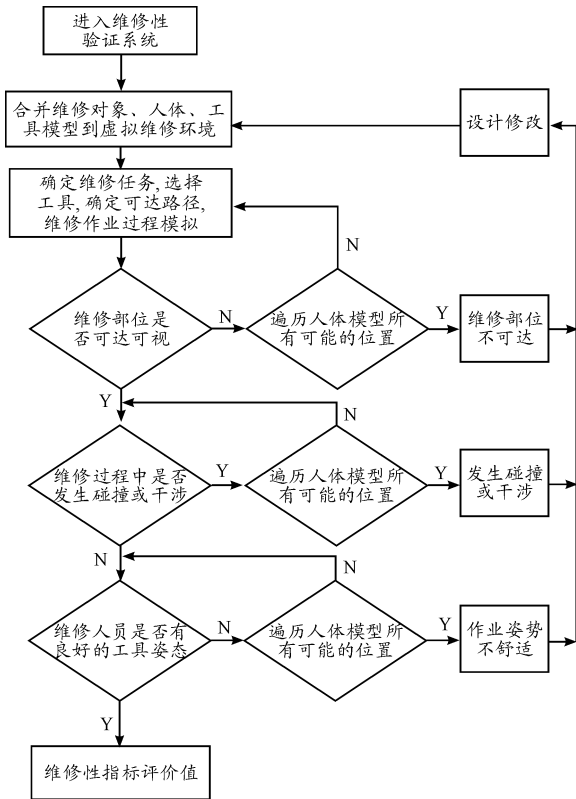


图1 仿真方法基本流程

2) 统计方法。统计方法是通过对具有某种属性的部件数量进行统计,与部件总数进行比较确定评价指标值的方法: $\eta = \frac{n_i}{m}$, n_i 是满足属性 i 的部件数量, m 是部件总量。

3) 专家评判法。专家评判法在维修性定性要求评价的指标量化中运用比较普遍。专家针对评价指标体系的底层指标,依据各指标评价点与评价标准,结合装备实物、图纸、样机等给评价对象打分,打分的形式包括分值、区间、评语等形式,最后对专家评分进行统计、处理、分析、归纳,得到综合评分值^[9-10]。其基本流程如图2。

指标值的获取依据有很多,可以是虚拟样机、实物样机、实物、图纸、设计参数、相似装备使用数据等。在装备研制全过程中,随着研制阶段的展开,指标值的获取依据也在不断变化^[11]。在方案阶段,主要进行的是装备的论证,这期间获取依据主要是方案设计资料、订购方提出的要求以及相似装备数据;在工程研制阶段,要结合图纸、样机等进行装备研

制,指标值获取依据主要包括图纸、虚拟样机;在定型生产阶段,装备的各项设计、技术指标都已经确定,装备也已经投入了生产,维修性评价单项指标值获取依据主要包括实物样机、装备设计参数等。

同时,在不同的情形下,使用不同的指标值其获取依据也会不同,例如:采用统计方法,获取依据可以是实物样机,也可以是虚拟样机,还可以是设计参数。同一单项指标,通过不同途径,依据不同来源获取的指标值标度形式必定不同。

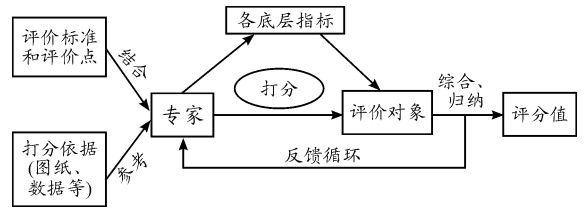


图2 专家评判法流程

1.2 标度形式分析

在现有的维修性定性要求评价指标量化方法下,单项指标值的标度形式主要有以下几种:

1) 模糊语言标度形式,如 $S = \{好, 较好, 一般, 差, 较差\}$,在运用专家评判法时会产生模糊语言标度形式的指标值,能明确的表达出针对评价对象 i 进行评价时底层评价指标 j 的优劣等级;

2) 区间形式,如 $Q = (a, b)$,在运用专家评判法、仿真法时会产生区间标度形式的指标值,用区间形式表达某一指标 j 的变化范围,可以与模糊语言形式对应起来判定 j 的优劣等级;

3) 数值形式,如互换性程度 $Z = 0.7$,运用仿真法和统计方法产生数值标度形式的指标值,直接以量值的形式体现对评价对象进行评价时某一指标的优劣程度。对于同一单项指标,其指标值针对不同的部件可能呈现上述一种或多种形式,这种差异是指标融合中必须解决的问题。

2 基于指数法的指标值融合模型

对于同一单项指标,由于获取方法和量化依据不同,导致指标值属性的多样性,必须对其进行合理的规范化和融合处理,获取综合指标值。本文构建了一种基于指数法的指标值融合模型。

指标值融合的指数方法就是对3种形式的指标值设定一个共同的标准 B ,在对指标值进行规范化处理时,先将不同形式的指标值映射到这一标准 B ,得到对应的与 B 同属性且可以进行聚合的指标值,如式(1)所示;再利用加权平均进行融合^[12-13]。

$$\left. \begin{aligned} S &= X \\ Q &= \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5\} \\ Z &= (a, b) \end{aligned} \right\} \rightarrow B \quad (1)$$

由于数值形式指标值大多来源于统计方法和专家评判法,且处于[0,1]之内,1表示指标值最优(效益型指标,如果是成本型指标,可以将其转换为效益型指标值)。同样,1可以用来表示模糊语言标度形式中的“最好”这一等级;如果将区间都转换为[0,1],此时1也能表示指标最优。因此将指数 B 设为1,可以更好地进行3种形式指标值的映射和转换。

2.1 指数模型

2.1.1 数值标度指标值的指数模型

数值标度的指数模型构建分为两种情形,一是由统计方法得到的数值形式指标值,由于其本身就是用满足某种性质的部件数比上部件总数得到,已经处于[0,1]范围之内且1表示指标值最优,无需继续转化。二是通过仿真方法和专家评判法得到的数值形式指标值,直接将指标值除以评分的分制: $Z' = \frac{Z}{M}$ (Z 是评分值, M 是分制)便完成了向 B 的映射。

例如通过 Jack 仿真得到某装备“作业姿势舒适性”指标值为70,采取的是百分制评分,则其向指数 B 映射后的指标值: $Z' = \frac{70}{100} = 0.7$ 。

2.1.2 区间标度指标值的指数模型

对于区间形式的指标值,其指数模型的构建步骤如下:

1) 用区间指标值(a, b)除以评分区间(P_{min}, P_{max})的最大值 P_{max} ,得到在[0,1]之内的区间指标值。如式(2):

$$\begin{cases} u_1 = \frac{a - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \\ u_2 = \frac{b - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \end{cases} \quad (2)$$

2) 设有 N 位专家(或称为决策者),决策者 $e_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 给出根据相关资料和打分标准,得到针对某部件指标 j 的评估信息为 $\gamma_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 。如果评估信息是区间形式,在经过步骤1)处理之后,有 $\gamma_i = (u_1^i, u_2^i)$, (u_1^i, u_2^i) 是第 i 个决策者给出的评价区间。 $\Omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N)^T$ 为决策者的权重向量。

3) 基于重心决策理论^[14],多个决策者对某部件指标 j 的评价值取为

$$\lambda_j = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^N w_i [(u_2^i)^2 - (u_1^i)^2]}{\sum_{i=1}^N w_i [u_2^i - u_1^i]} \quad (3)$$

λ_j 便是区间标度形式指标值向指数 B 映射后得到的指标值。

2.1.3 模糊语言标度指标值的指数模型

针对模糊语言标度形式指标值,首先按照其具体的评价等级(共分5级)将其对应转换成区间形式,如表1所示。

其次,利用区间形式指标指数模型中2)~3)步骤对模糊语言标度转换后的区间进行处理,便可将模糊语言标度形式映射至指数 B ,得到其对应的指标值。

表1 模糊语言标度形式与区间标度形式对应表

模糊语言	收益类	很差	差	一般	好	很好
标度	成本类	很好	好	一般	差	很差
区间数表达形式		[0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1.0]

2.2 融合模型

指标的融合就是将每一个部件的同一指标值进行融合,得到该单项指标的综合指标值。设第 r 个部件的第 j 个指标的量化值为 λ_{rj} (3种不同形式指标值通过指数模型处理得到; $r = 1, 2, \dots, m; m$ 为部件个数),则针对整个系统,指标 j 的综合评价值为

$$\xi_j = \sum_{r=1}^m \rho_r \lambda_{rj} \quad (4)$$

其中, ρ_r 是第 r 个部件的权重,由式(5)确定,式(5)中 k_r 为第 r 个部件的可靠度。

$$\rho_r = \frac{1/\kappa_r}{\sum_{r=1}^m 1/\kappa_r} \quad (5)$$

3 实例分析

针对某型装备的方位随动系统,其包含的部件如图3所示。从文献[15]所构建的维修性定性评价指标体系中选取“标准化程度”3级指标,进行指标值得获取和融合。

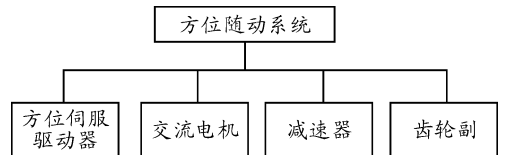


图3 方位随动系统结构

对于这4个部件的标准化程度指标,通过不同方法得到的指标值如表2所示。

表2 各部件标记规范性指标值

方位伺服驱动器	专家评判法	专家1	专家2	专家3	专家4
交流电机	统计法	好	一般	一般	好
减速器	仿真法	6.5(分制是10)			
齿轮副	专家评判法	专家1	专家2	专家3	专家4
		0.8~0.9	0.65~0.8	0.7~0.8	0.6~0.75
评分区间(0,1)					

其中,专家1~专家4的权重向量为: $\Omega = (0.6, 0.8, 0.8, 0.7)^T$ 。

根据文中构建的指数模型,分别将方位伺服驱动器指标值带入到模糊语言形式指数模型、将交流电机和减速器指标值代入到数值形式指数模型、将齿轮副指标值代入到区间形式指数模型,经过处理后得到的指标值如表3所示。

表3 经指数模型处理后指标值

方位伺服驱动器(λ_1)	0.63	交流电机(λ_2)	0.72
减速器(λ_3)	0.65	齿轮副(λ_4)	0.82

经过查找资料和计算,4个部件的权重分别为0.4、0.3、0.2、0.1,通过式(4)得到此方位随动系统的标准化程度指标值为 $\xi=0.68$ 。这个指标量化值是由3种不同标度形式指标值进行规范化和融合处理之后得到的,可以继续向上聚合,以得到上层指标值;同时将其与表1结合起来,可以得出结论:此装备方位随动系统的标记规范性好。

4 结束语

本文提出了一种基于指数法的多属性指标值融合方法,可以将通过不同方法获得的不同标度形式的单项指标值进行规范化和融合处理,使维修性评价底层指标量化值的获取更加可信,解决了不同标度形式指标值无法融合和指标聚合模型意义不明确的问题,为维修性定性要求评价的提供了手段和方法。

参考文献:

[1] 曲玉琨,张新征,王章龙,等. 火炮系统效能综合评价与指标无量纲化处理的研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2006(1):1-4.

[2] 张卫华,赵铭军. 指标无量纲化方法对综合评价结果可靠性的影响及其实证分析[J]. 统计与信息论坛, 2005, 20(3):33-36.

[3] 朱孔来. 评价指标的非线性无量纲模糊处理方法[J]. 统计与信息论坛, 1997(3):10-14.

[4] 徐达,王宝琦,吴溪. 装备维修可达性综合评价方法研究[J]. 制造技术与机床, 2013(6):77-80.

[5] 张冬,张平,方强,等. 基于模糊层次分析法的舰艇维修性评估方法[J]. 中国舰船研究, 2013, 8(1):102-106.

[6] 徐达,李闯,李洋. 基于TOPSIS的装备维修性定性指标综合评价研究[J]. 航天控制, 2014, 32(5):92-96.

[7] 陈帝江,张红旗,张祥祥,程五四. 一种虚拟产品维修性综合评价方法[J]. 机械与电子, 2013(8):10-17.

[8] BARABADI A, MARKESSET T. Reliability and maintainability performance under Arctic conditions[J]. Int J Syst Assur Eng Manag, 2011(3):205-217.

[9] 高松. 船舶维修性评价及其改进研究[D]. 大连:大连海事大学, 2010. 06.

[10] 陆中,孙有朝. 基于模糊多属性决策理论的虚拟产品维修性评价模型研究[J]. 中国机械工程, 2009(24):2978-2983.

[11] 吕川. 维修性设计分析与验证[M]. 北京:国防工业出版社, 2012:99-101.

[12] 薛明浩,端木京顺,高建国,等. 基于综合指数模型的航空装备安全评价[J]. 工业安全与环保, 2015, 41(7):71-74.

[13] 吕小峰,钱志新,张晓春,等. 基于综合指数法的中国汽车市场综合指数模型设计[J]. 机械设计与制造工程, 2013, 42(1):1-5.

[14] 霍成,李慧勇,张守锋. 改进的模糊集重心决策法在错峰限电分配中的应用[J]. 山西电力, 2013(3):4-7.

[15] 黄德所,李琴,李俊. 装备维修性定性评价指标体系构建研究[J]. 工程设计学报, 2015, 22(2):101-105.

(责任编辑 唐定国)