

doi: 10.7690/bgzd.2014.12.003

基于投影寻踪法的武器系统维修性定量指标综合评价

杨明华¹, 王国刚¹, 梁涛²

(1. 装甲兵工程学院兵器工程系, 北京 100072; 2. 广州军区装甲装备修理大队, 湖南 郴州 423026)

摘要: 为了最大程度反映武器系统维修性定量指标数据特征和充分挖掘数据信息, 利用投影寻踪法将影响武器系统维修性定量要求的主要部件及重要定量性能指标转化为一维投影值, 并以武器系统的维修性 6 个定量要求参数指标和 5 个主要组成部件的维修性定量指标评价建立维修性定量评价体系, 通过计算得到各部件定量要求评价的排序和各主要性能指标的权重。分析结果表明: 该方法直观简单, 操作简便, 实现了武器系统维修性定量指标的综合评价, 为改进维修性的设计提供了科学依据。

关键词: 维修性; 定量要求; 投影寻踪法; 综合评价

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

Comprehensive Evaluation of Weapon System Maintainability Quantitative Indicators Based on Projection Pursuit Method

Yang Minghua¹, Wang Guogang¹, Liang Tao²

(1. Department of Arms Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;

2. Armored Equipment Repair Team, Guangzhou Military Region, Chenzhou 423026, China)

Abstract: For reflecting weapon system maintenance quantitative indicator features in maximum levels and maximum mining data information, use projection pursuit method to change main components which influence weapon system maintainability quantitative requirement and key quantitative performance index into one-dimensional projection value. Use 6 quantitative requirement indexes of weapon system maintainability and 5 maintainability quantitative index evaluation of main components to establish maintainability quantitative evaluation system. Through calculation, acquire scheduling of each component quantitative requirement evaluation and weight of main performance index. The analysis result show that the method is visual and simple operation, realize comprehensive assessment of weapon system maintainability quantitative indication, and it lays scientific basis for maintainability improvement design.

Keywords: maintainability; quantitative requirement; projection pursuit method; comprehensive assessment

0 引言

维修性作为武器装备的重要特性, 日益受到使用方和研制方的重视。维修性主要分为定量要求和定性要求 2 个部分。维修性定量指标的评价对于评价维修性有重要意义。多位学者对维修性的定量指标评价方法进行了探索^[1-4]。虽然采用以上方法能够较好地维修性定量指标进行评价, 但是由于缺乏对维修性定量数据信息的充分挖掘, 不能够反映数据特征。笔者正是基于此引进投影寻踪法来对维修性定量指标进行综合评价。

投影寻踪法从不同的角度去考察数据, 寻找能最大程度反映数据特征和最能充分挖掘数据信息的最优投影^[5]。投影寻踪法可用于高维数据分析, 根据投影值来分析高维数据的结构特征, 评价结果与实际相符率高, 目前已广泛应用于水质评价、灾情评估、工业经济等诸多方面^[6-11]。笔者利用武器系

统各部件的维修性定量参数数据, 用投影寻踪法对武器系统进行维修性定量指标评价。

1 投影寻踪方法^[12]

1.1 样本评价指标值的归一化处理

为消除各指标值量纲差异和统一各指标变化范围对样本进行归一化处理, 计算公式为

$$x(i, j) = \frac{x^*(i, j) - x \min(j)}{x \max(j) - x \min(j)}$$

式中: $x^*(i, j)$ ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, p$) 为第 i 个样本的第 j 个评价指标值, n 、 p 分别为样本的数目和评价指标的数目; $\max(j)$ 与 $\min(j)$ 分别为样本集中第 j 个评价指标的最大值和最小值。

1.2 构造投影指标函数

p 维数据 $x(i, j)$ ($j = 1, \dots, p$) 通过计算公式

收稿日期: 2014-06-13; 修回日期: 2014-08-07

基金项目: 军内科研重点项目(2012SY42A0001)

作者简介: 杨明华(1965—), 男, 河北人, 硕士, 副教授, 从事兵器发射理论与技术、车载武器维修与教学研究。

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

综合为以

$$\mathbf{a} = (a(1), a(2), \dots, a(p))$$

为投影方向的一维投影值 $z(i)$ 。式中 \mathbf{a} 为单位长度向量。

在综合投影值时，要求投影值 $z(i)$ 的散布特征为：局部投影点尽可能密集，整体上投影点团之间尽可能散开。所以投影指标函数可构造为

$$Q(\mathbf{a}) = S_z D_z$$

式中： S_z 为投影值 $z(i)$ 的标准差； D_z 为投影值 $z(i)$ 的局部密度。计算公式分别为：

$$S_z = \sqrt{\sum_{i=1}^n z(i) - \bar{z} / (n - 1)}$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r_{ij}) u(R - r_{ij})$$

$$r_{ij} = |z(i) - z(j)|$$

式中： \bar{z} 为系列 $z(i) (i=1, \dots, n)$ 的均值； R 为求局部密度的窗口半径； u_t 为单位阶跃函数，当 $t = (R - r_{ij}) \geq 0$ 时其函数值为 1，当 $t < 0$ 时其函数值为 0。局部密度的窗口半径 R 取值需使窗口内的投影点的平均个数达到一定数量，避免滑动平均偏差太大，又不能使它随着指标数 n 的增大而增加太高，可以取 $0.1 S_z$ ， $0.01 S_z$ ， $0.001 S_z$ 等。

1.3 评估最佳投影方向

通过求解投影指标函数最大化来评估最佳投影方向，以最大可能揭示高维数据某类特征结构。计算公式为：

$$\max Q(\mathbf{a}) = S_z D_z$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^p a^2(j) = 1, \quad a(j) \geq 0$$

上式是一个以 $a(j) (j=1, \dots, p)$ 为优化变量的复杂非线性优化问题。投影指标函数最优化问题是应用投影寻踪方法能否成功的关键，计算量很大，笔者采用单纯形法，有效地解决了多约束全局寻优的问题。

1.4 评价样本

根据优化得到的 \mathbf{a}^* ，代入公式 $z(i) = \sum_{j=1}^n a(j)x(i, j)$ 后即得各评价样本的投影值 $z(i)$ ，按由大到小排序，据此可对评价指标样本集进行统一评价。优化得到最优投影方向向量 \mathbf{a}^* 反映了各个

因素的不同重要程度，而且满足 $\mathbf{a}^{*2} = 1$ ，因此可以将 $\omega = (a(1)^2, a(2)^2, \dots, a(m)^2)$ 作为各影响因素的权重。

2 武器系统维修性定量要求评价

武器系统是装甲装备的核心部分之一，系统构成复杂，主要组成部分：1) 机械部分：机枪、坦克炮、操纵台等；2) 电子设备：火控系统、综合信息系统等；3) 软件：火控计算机程序等。具体见图 1。

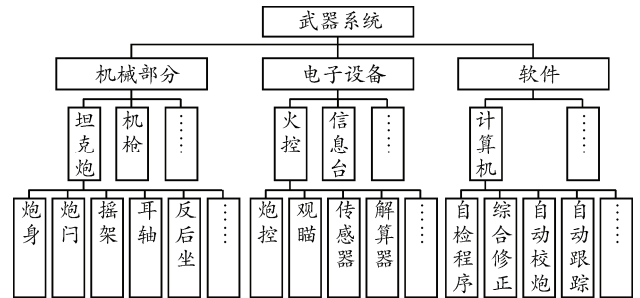


图 1 武器系统结构

武器系统维修工作包括机械设备的维修、电子设备维修和软件维护 3 部分，维修工作相对复杂多样。这样一来，评价武器系统维修性水平的相应指标就比较复杂，难以准确核定。维修性定量要求是指应用量化参数来描述系统战备完好性、任务成功性、保障费用和维修人力等目标或约束，具体表现在武器系统保养、预防性维修、修复性维修和战场抢修等诸方面的数值化设计要求^[4]。所以对武器系统维修性的定量指标进行综合评价对于考核武器系统的维修性水平具有很高的参考价值。

2.1 武器系统维修性定量评价体系及数据

维修性定量要求是通过选择适当的维修性参数并确定其对应的量化指标提出来的。通过总结概括，武器系统的维修性定量要求如图 2 所示。

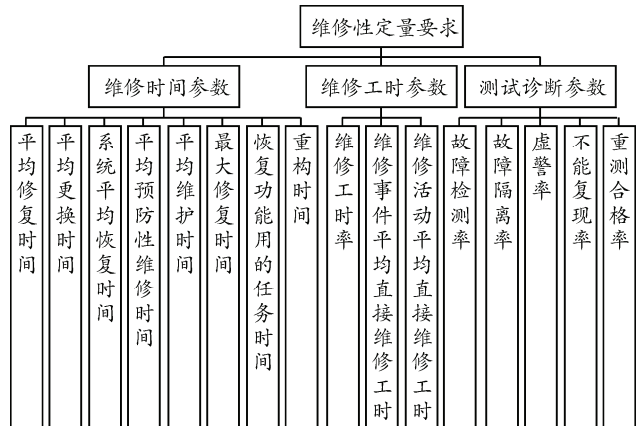


图 2 维修性定量要求

针对现实需要和武器系统的特点通过筛选，以

武器系统的维修性6个定量要求参数指标建立维修性定量评价体系：1) 平均修复时间(MTTR)即为武器系统排除故障所需时间的平均值 x_1 ；2) 平均预防性维修时间(MPMT)即为1次预防性维修所需时间的平均值 x_2 ；3) 重要零部件平均更换时间(MCRT)重要零部件更换所需时间的平均值 x_3 ；4) 最大修复时间($T_{\max ct}$)平均修复时间的函数 x_4 ；5) 每工作小时直接维修费用(DMC/OH) x_5 ；6) 系统恢复功能用的任务时间的平均值(MTTRF) x_6 。其中 x_1, x_4, x_6 属于正向指标， x_2, x_3, x_5 属于逆向指标。收集整理武器系统5个部件的维修性试验定量参数作为评价样本，如表1所示。

表1 武器系统各部件维修性定量参数数据

武器系统部件	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
火控系统	4.1	3.0	0.5	32	8	3.5
坦克炮	5.0	2.5	1.5	42	5	3.0
车载机枪	4.3	2.3	1.0	39	2	2.7
炮塔	3.7	1.4	1.8	23	3	3.0
击发装置	3.3	1.5	0.9	20	3	3.2

2.2 武器系统维修性定量指标的综合评价

局部密度的窗口半径 R 的取值要能够使窗口内投影点的平均个数达到一定数量。为了避免滑动平均偏差太大，所以不能使密度阈值随着指标数 n 的增大而增加太高，一般取 $0.1S_z, 0.01S_z, 0.001S_z$ 等。

考虑到武器系统维修性定量指标投影点的数量较少，为了达到理想数量，使窗口半径尽量大些，所以密度阈值取 $0.1S_z$ 。通过 Matlab 投影算法编程计算然后得各评价指标最佳投影方向及权重系数见表2。

表2 评价指标最佳投影方向及权重系数

评价指标	投影方向	权重系数
MTTR	0.932 7	0.951 1
MPMT	0.150 4	0.028 2
MTTS	0.037 0	0.001 4
$T_{\max ct}$	0.053 9	0.023 7
DMC/OH	0.050 2	0.002 3
MTTRF	0.181 4	0.063 2

从表中可以看出，武器系统维修性定量评价指标的按权重排序依次为平均修复时间、平均预防性维修时间、系统恢复功能任务时间，其他指标的权重均小于0.1。由于平均修复时间权重远大于其他指标，所以其可以近似表示维修性定量要求的指标。

各部件的投影值及排序如表3所示。由武器系统5个主要组成部件的维修性定量指标评价结果可推出武器系统的维修性水平。另外从表中还可看出，

炮塔的维修性定量要求的评价水平最高，火控系统的水平最低。由此推测维修性定量要求与部件复杂程度有一定的正相关关系。可得到的信息火控系统部件维修性水平较低，应改进设计。

表3 武器系统各部件的评价投影值及排序

武器系统部件	投影值	排序
火控系统	327.25	5
坦克炮	362.93	2
车载机枪	352.95	3
炮塔	381.73	1
击发装置	331.42	4

3 结论

投影寻踪法将多项评价指标通过最佳投影方向转化为一维投影值，更为准确、客观，避免了专家打分等方法的人为干扰因素。应用投影寻踪法对武器系统维修性定量要求进行评价，不但给出了各部件维修性定量要求的综合评价排序，而且得到了各评价指标的权重。该方法具有很强的客观性、适用性和可操作性，可对武器系统维修性进行科学评价。

参考文献：

- [1] 金永明, 陆超, 李海声, 等. 船舶系统维修性定量评估方法研究[J]. 中国造船, 2012(1): 153-158.
- [2] 闫鹏飞, 孙权. 基于可信度加权融合方法在维修性评价的应用[J]. 计算机仿真, 2010(6): 31-35.
- [3] 孙有朝, 邓华伟. 虚拟环境下民用飞机维修性评估与验证技术[J]. 交通运输工程学报, 2006(1): 93-97.
- [4] GJB 368B 装备维修性工作通用要求[S].
- [5] 黎放, 杨元, 杨建军. 装备维修性设计参数综合评估方法[J]. 工程设计学报, 2008(1): 11-15.
- [6] Friedman JH, Tukey JW.A. projection pursuit algorithm for exploratory data analysis[J]. IEEE Trans Comput, 1974, 23(1): 881-890.
- [7] 张连蓬, 柳钦火, 刘国林, 等. 多方向投影寻踪与高光谱遥感图像特征提取[J]. 中国学术期刊文摘, 2007, 13(12): 97-97.
- [8] 龚衍, 舒宁. 基于逐次投影寻踪的高光谱影像降维方法研究[J]. 测绘信息与工程, 2007, 32(3): 1-3.
- [9] 宋茂峰, 付强, 等. 参数投影寻踪模型在调水工程线路优选中的应用[J]. 东北水利水电, 2006, 24(5): 6-8.
- [10] 王志兴, 李成振, 陈刚. 冰情预报的投影寻踪回归模型[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(5): 174-177.
- [11] 于国荣, 叶辉, 夏自强, 等. 投影寻踪自回归模型在长江径流量预测中的应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2009, 37(3): 263-266.
- [12] 付强, 赵小勇. 投影寻踪模型原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 145-158.
- [13] 王秀朋, 张洪才, 赵永强, 等. 基于投影寻踪的高光谱图像特征融合算法[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(11): 1539-1541.