

# 电子装备系列化灰色评估模型与算法

周亮<sup>1</sup>, 刘根<sup>2</sup>

(1. 装备指挥技术学院, 北京 101416; 2. 空军雷达学院, 武汉 430019)

**摘要:**将灰色理论应用于电子装备系列化程度评估,建立了基于层次结构的评估指标体系,讨论了多层次灰色评估模型和评估算法,并进行仿真评估,仿真结果表明该模型有效可行。

**关键词:**系列化;灰色理论;评估模型;评估算法

**中图分类号:** N941.5   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1009-3516(2008)01-0074-04

现代装备发展的总趋势,是走基本型派生发展的道路<sup>[1]</sup>,实现“一机多用、一机多型”,满足不同的需求。目前根据综合运用“三化”(通用化、系列化、组合化)的思路,利用其成果为装备提供各类系列产品,为解决高技术装备的高投入与巨大的经济承受能力这一矛盾提供了有效的办法,同时为提高装备质量和一体化作战效能开辟了新的有效途径<sup>[2-4]</sup>。本文主要讨论系列化程度评估。

装备系列化程度是一个多元函数,涉及因素较多,而且部分因素存在信息不完全和不确定的问题,评估计算复杂。因此本文将灰色理论应用于电子装备系列化程度评估中<sup>[5-7]</sup>,建立了基于层次结构的评估指标体系,讨论了多层次灰色评估模型和评估算法,并仿真评估举例;仿真结果表明该算法易于用计算机实现,模型及算法有效可行,不仅能对电子装备的系列化进行评估,还能对多种电子装备进行系列化程度评估的优劣排序,为电子装备的系列化程度评估提供了参考<sup>[8-10]</sup>。

## 1 系列化程度评估指标体系

系列化是将产品或其参数、结构型式、尺寸作出合理设计和规划,排出相应的型谱表,从而有目的地指导今后装备的发展<sup>[1]</sup>。系列化程度的评估主要评定系列型谱的合理性和系列产品的配套完整性,通常采用标准化种数系数和重复系数来反映装备的系列化程度<sup>[3]</sup>。系列化评估指标必须能准确敏感地反映装备的系列化参数和型谱,不仅要考虑到电子装备内部硬件和软件系列化问题,还要考虑电子装备组成部分之外的诸多因素。由于现代电子装备结构复杂,所以对其系列化程度的评估不能只选取单个指标,应当选取多层次、多方面的一组指标构成一个指标体系系统全面地反映装备的系列化程度。

本文采用树状层次结构评估指标体系,该指标体系结构有一个总指标  $U$ ,以下分解为 4 个一级指标  $U_i$ ,每个一级指标又分解成若干二级指标  $U_{ij}$ 。每个指标的属性均以编号、名称、权重、得分等项加以描述。

## 2 系列化程度评估模型及算法

### 2.1 评价指标的评价等级和样本矩阵

采用 5 级评语方式对指标进行评价,定性指标可以用模糊语言描述;定量指标可以用确定的数学表达式表述,并且能通过定量计算给出明确的数值说明。

设  $l(l=1,2,\dots,p)$  个专家对指标  $U_{ij}$  给出的评分  $d_{ijl}$ ,则指标  $U_i$  的样本矩阵为

收稿日期:2007-08-06

作者简介:周亮(1981-),男,安徽舒城人,博士生,主要从事装备论证与发展、虚拟采办研究。  
E-mail:boatlight1227@yahoo.com.cn

$$D_i = \begin{bmatrix} U_{i1} \\ U_{i2} \\ \vdots \\ U_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{i11} & \cdots & d_{i1p} \\ d_{i21} & \cdots & d_{i2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{in1} & \cdots & d_{inp} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2 评价灰类和白化权函数

上述评价等级可用评价灰类  $e(e=1,2,\dots,5)$  来表示,评价灰类可以用白化权函数  $f_e$  来描述。灰数及白化权函数如下:

1) 第 1 灰类( $e=1$ )“好”,灰数  $\otimes_1 \in [c_1, \infty)$ , 其白化权函数为

$$f_1(d_{ijl}) = \begin{cases} \frac{1}{c_1}d_{ijl}, & d_{ijl} \in [0, c_1) \\ 1, & d_{ijl} \in [c_1, \infty) \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

2) 第 2、3、4 灰类( $e=2,3,4$ ), 灰数  $\otimes_e \in [0, 2c_e]$ , 其白化权函数为

$$f_e(d_{ijl}) = \begin{cases} \frac{1}{c_e}d_{ijl}, & d_{ijl} \in [0, c_e) \\ -\frac{1}{c_e}d_{ijl} + 2, & d_{ijl} \in [c_e, 2c_e) \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

3) 第 5 灰类( $e=5$ )“差”, 灰数  $\otimes_5 \in [0, 2c_5]$ , 其白化权函数为

$$f_5(d_{ijl}) = \begin{cases} 1, & d_{ijl} \in [0, c_5) \\ -\frac{1}{c_5}d_{ijl} + 2, & d_{ijl} \in [c_5, 2c_5) \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

2.3 评价指标的权重

首先让专家对各级指标进行主观赋权,然后对这些权值进行一定的综合处理后得到各指标的权重。设一级指标的权重  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ , 二级指标的权集  $A_i = \{A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in}\}$ , 第  $l$  个专家对指标  $A_{ij}$  的主观赋权值为  $x_{ij}$ , 则相关系数为

$$\xi_{jk} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_{ij}x_{ik}, \quad (j, k = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

根据式(2) 得到相关矩阵  $\xi_{jk}$ , 再按式(3) 进行计算。

$$P_k = \sqrt{\prod_{j=1}^n \xi_{jk}}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

则指标  $U_i$  的权重为

$$\omega_i = P_i / \sum_{j=1}^n P_j \quad (4)$$

2.4 灰色评价权矩阵

针对评价指标  $U_{ij}$ , 被评装备的系列化程度属于第  $e$  个灰类的灰色评价系数记为  $X_{ije}, X_{ije} = \sum_{l=1}^p f_e(d_{ijl})$ , 所有评价者就评价指标  $U_{ij}$ , 对被评装备的系列化程度主张属于第  $e$  个灰类的灰色评价权为  $r_{ije}$ , 则

$$r_{ije} = X_{ije} / \sum_{k=1}^5 X_{ijk} \quad (5)$$

评价指标  $U_{ij}$  对于各个评价灰类的灰色评价权向量  $r_{ij} = (r_{ij1}, r_{ij2}, \dots, r_{ij5})$ , 综合  $U_i$  所属的评价指标  $U_{ij}$  对于评价灰类的灰色评价权向量得到指标  $U_i$  的灰色评价权矩阵为

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i1} \\ r_{i2} \\ \vdots \\ r_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i15} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{in1} & r_{in2} & \cdots & r_{in5} \end{bmatrix} \quad (6)$$

## 2.5 综合评价

设对指标  $U_i$  的综合评价结果为  $B_i = A_i \cdot R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{i5})$ , 可得到指标  $U_i$  对于各评价灰类的灰色评价权矩阵  $R$  为

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{15} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{m5} \end{bmatrix} \quad (7)$$

于是对被评装备系列化程度的综合评价结果  $B$  为

$$B = A \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_5) \quad (8)$$

## 2.6 归一化处理

对综合评价结果  $B$  进行归一化处理, 将各灰类等级按白化值赋值, 得到各种评价灰类等级值化向量  $D = (d_1, d_2, \dots, d_5)$ , 则对被评装备的系列化程度单一综合评价值为

$$W = B \cdot D^T \quad (9)$$

## 3 仿真评估

下面以某系列雷达装备为例, 介绍此模型和算法的具体应用。该系列雷达装备系列化程度的评价灰类如表 1 所示, 各级指标权重分配如表 2 所示。用 MATLAB 对该评估算法进行仿真。

表 1 某系列装备评价灰类等级

Tab. 1 Rank of grey clustering evaluation

序号	灰类等级	白化权函数	评分	白化值
1	好	$f_1(d_{ij})$	9	0.9
2	较好	$f_2(d_{ij})$	7,8	0.8
3	一般	$f_3(d_{ij})$	5,6	0.7
4	较差	$f_4(d_{ij})$	3,4	0.6
5	差	$f_5(d_{ij})$	1,2	0.5

表 2 专家对指标的权重分配表

Tab. 2 Expert allocate weighing of indication

序号	$U_1$	$U_{11}$	$U_{12}$	$U_{13}$	$U_2$	$U_{21}$	$U_{22}$	$U_{23}$	$U_3$	$U_{31}$	$U_{32}$	$U_{33}$	$U_4$	$U_{41}$	$U_{42}$	$U_{43}$
1	0.24	0.40	0.30	0.30	0.44	0.45	0.36	0.19	0.18	0.35	0.35	0.30	0.14	0.50	0.25	0.25
2	0.25	0.45	0.34	0.21	0.45	0.40	0.40	0.20	0.20	0.35	0.30	0.35	0.10	0.40	0.30	0.30
3	0.28	0.43	0.32	0.25	0.40	0.36	0.43	0.21	0.20	0.30	0.40	0.30	0.12	0.45	0.30	0.25
4	0.22	0.45	0.30	0.25	0.46	0.35	0.35	0.30	0.21	0.35	0.35	0.30	0.11	0.40	0.35	0.25

根据式(2) - (4)可以得到系列化程度各级评价指标的权重  $A = \{0.2484, 0.4357, 0.1979, 0.1180\}$ ,  $A_1 = \{0.4833, 0.3004, 0.2163\}$ ,  $A_2 = \{0.4124, 0.4050, 0.1826\}$ ,  $A_3 = \{0.3394, 0.3582, 0.3024\}$ ,  $A_4 = \{0.4910, 0.2800, 0.2290\}$ 。根据评估方法可得该装备的综合评价结果为  $B = \{0.3308, 0.3843, 0.2727, 0.0122, 0\}$ , 评价灰类等级值化向量  $D = \{0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5\}$ , 得到单一综合评价值  $W = 0.8034$ , 根据表 1 可知, 该系列雷达的系列化程度达到良好水平。

## 4 结论

这种评估电子装备系列化程度的方法具有评价尺度唯一, 算法简单, 便于计算机实现等优点。由于系列化程度的很多指标难以用定量的数据数值来表述, 所以专家的主观评价打分相对于实际情况存在着信息不完全或部分信息模糊不确定的问题。因此, 本文提出了利用灰色系统理论的相关原理来处理电子装备的系列化程度评估问题, 给电子装备的系列化程度评估提供了新的方法和参考。

### 参考文献:

- [1] 王树海, 花兴来, 李红军. 装备标准化[M]. 北京: 国防大学出版社, 2002.

- WANG Shuhai, HUA Xinglai, LI Hongjun. Standardization of Aviation Equipment[M]. Beijing: National Defence University Press. 2002. (in Chinese)
- [2] 孔庆炜. 在军事电子装备中推行“三化”[J]. 电子标准化与质量, 2001, 8(5): 6-8.  
KONG Qingwei. Carry Out Unification, Seriation and Combination of Military Electronic Equipment[J]. Electronic Standardization and quality, 2001, 8(5): 6-8. (in Chinese)
- [3] 赵玉洁, 初剑. 雷达装备“三化”研究[J]. 雷达与对抗, 2003, 28(2): 8-16.  
ZHAO Yujie, CHU Jian. Study on Popularization, Seriation and Modularization of Radar Equipment[J]. Radar Ecm, 2003, 28(2): 8-16. (in Chinese)
- [4] 王海涛, 吴乐山, 王永烈, 等. 我军野战卫生装备系统通用化、系列化、模块化评估指标体系的建立[J]. 医疗卫生装备, 2004, 25(5): 15-17.  
WANG Haitao, WU Leshan, Wang Yonglie, et al. Establishment of Assessment Index System for GSM of Military Field Medical Equipment[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2004, 25(5): 15-17. (in Chinese)
- [5] 宋彦学, 张志峰. 装备采办风险的多层次灰色详价方法研究[J]. 航空计算技术, 2007, 37(1): 7-10.  
SONG Yanxue, ZHANG Zhifeng. Research on Multilevel Gray Evaluation for Venture Judgment in Equipment Acquisition [J]. Aeronautical Computing Technique, 2007, 37(1): 7-10. (in Chinese)
- [6] 王曙钊, 刘兴堂, 段锁力. 利用灰色关联度理论对仿真模型的评估研究[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2007, 8(1): 21-24.  
WANG Shuzhao, LIU Xingtang, DUAN Suoli. Research on Simulation Modal Evaluation Using Grey Correlation Degree [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2007, 8(1): 21-24. (in Chinese)
- [7] 柯宏发, 陈永光, 刘波. 电子装备试验方案的灰色优选模型及算法[J]. 电子学报, 2005, 33(6): 995-998.  
KE Hongfa, CHEN Yongguang, LIU Bo. Grey Model and Algorithm for the Selection of Electronic Equipment Test Project [J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(6): 995-998. (in Chinese)
- [8] Vladimir Blasko. A Novel Method for Selective Harmonic Elimination in Power Electronic Equipment[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2007, 22(1): 885-899.
- [9] Bao Hu, Ying Chaolong, Zhang Haidan, et al. Development of Embedded Operating System for Warship Electronic Equipment ATS: Proceedings of 2007 8th International Conference on Electronic Measurement & Instruments[C]. Xi'an: [s. n.], 2007.
- [10] Wang Hongfeng, Shan Ganlin, Gao lu. Fault Diagnosis of Aerospace Electrical Equipment Based on Fuzzy Information Fusion: Proceedings of 2007 8th International Conference on Electronic Measurement & Instruments[C]. Xi'an: [s. n.], 2007.

(编辑: 田新华, 徐楠楠)

## Grey Evaluation Model and Algorithm of Degree of Electronic Equipment Succession

ZHOU Liang<sup>1</sup>, LIU Gen<sup>2</sup>

(1. The Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 101416, China; 2. Air Force Radar Academy, Wuhan 430019, China)

**Abstract:** Grey theory is applied in evaluation of electronic equipment succession degree, the evaluation system based on hierarchy structure is established. At the same time, more hierarchy evaluation models and algorithms are discussed. In the end, a simulation evaluation example is given, which shows that the model is effective and feasible.

**Key words:** succession; grey theory; evaluation model; evaluation algorithm