

# 灰色聚类法在航空装备保障特性评估中的应用

史凤隆, 赵功伟, 祝华远, 王利明, 刘俊瀛

(海军航空工程学院 青岛校区, 山东 青岛 266041)

**摘要:** 科学选用评价方法是做好装备使用实验与评价工作的重要环节。分析了三角形白化权函数的不足, 采用和改进了梯形白化权函数, 建立了基于改进的梯形白化权函数定权聚类评估模型, 很好地解决了相邻的若干类别对该类别聚类中心的影响问题和灰类区间长度不一样的问题, 运用该模型对航空装备保障特性的指标进行评估, 并用实例验证, 该方法是科学有效的。

**关键词:** 航空装备; 保障特性; 改进灰色聚类法; 评估

**中图分类号:** E237; V216.6      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2013)02-0043-05

## Application of Grey Cluster Method in Aviation Equipment Support Characteristics Evaluation

SHI Feng-long, ZHAO Gong-wei, ZHU Hua-yuan, WANG Li-ming, LIU Jun-ying

(Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China)

**Abstract:** Selection of evaluation method scientifically and efficiently is one of important taches of application test and estimation. Insufficiency of triangular whitenization weight function was analyzed. Fixed weight cluster evaluation model based on improved trapezoidal whitenization weight function was established by using and improving trapezoidal whitenization weight function. The model provided a good solution to the problems of influence of adjacent several categories clustering center and difference of gray interval length. The model was applied for aviation equipment support characteristic index assessment. The results showed that this method is scientific and effective.

**Key words:** aviation equipment; support characteristics; improved grey cluster; evaluation

保障性评估作为实现装备系统综合技术保障和保障性目标的重要而有效的监督和控制手段, 贯穿于装备系统研制与生产的全过程, 并延伸到部署后的使用与保障阶段<sup>[1]</sup>。航空装备的保障性是由航空装备本身的设计特性和与之相适应的保障资源两个

方面组成, 评估航空装备的保障特性, 就是检验航空装备的设计特性是否满足平时战备和战时使用要求的能力。使用阶段的航空装备保障特性评估工作, 为新装备的研制、作战训练以及装备系统的建设提供了信息支持, 是保证装备的“优生”和做好航空装

收稿日期: 2012-11-12

作者简介: 史凤隆(1968—), 男, 内蒙赤峰人, 讲师, 研究方向为航空装备保障与管理。

备技术保障工作的基础,也是航空装备技术保障工作的重要内容之一<sup>[2]</sup>。由于收集手段的局限性,航空装备保障特性评估中所使用的数据是在一定的条件下获得的,其中有已知信息,也有未知信息,因此是灰色的,所以选择灰色系统理论应用于航空装备保障特性评估。

### 1 中心点三角白化权函数

灰色白化权函数是灰色聚类的一种,可用于判断评估对象是否属于事先设定的不同类别。主要步骤是首先找出反映各组成元素与评价指标之间的层次结构;然后运用灰色聚类分析,由少量已知的信息构造出评估的数学模型,来确定各个聚类指标的白化权函数;再按事先确定的N个灰类进行归纳、综合,以判断评估对象在各个灰类中的隶属度;最后得出对评估对象的总评分,为评估决策的定量分析提供了依据。灰理论主要是研究“贫信息”、“小样本”和不确定性等问题,立足点是“有限信息空间”,“最少信息”是其基本准则,“均衡”、“对称”、“直线”是最少信息原理的体现<sup>[3]</sup>。

中心点白化权函数就是利用最少信息原理建立起来的,在根据中心点白化权函数建立的函数(如图1所示)可以看到该函数图只包括对称的直线。在评估时,将所求各指标按白化权函数分析计算出各指标值所属灰类的隶属度值,再结合各指标的权值得到所要求的系统的综合值在各个灰类的隶属度。

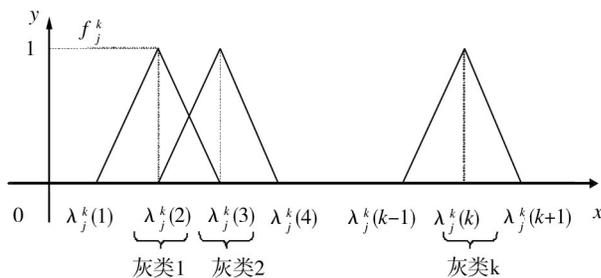


图1 中心点白化权函数示意

Fig. 1 Sketch map of center whitenization weight function

### 2 白化权函数的改进

尽管基于三角形白化权函数的航空装备保障特

性灰色聚类模型具有简单且实用的优点,但是三角形白化权函数的聚类中心是一个固定的数值,而事先设定各个类别,相邻的若干个类别会对该类别的聚类中心点产生影响,采用三角形白化权函数就会使评估的结果出现误差。针对上述问题,通过一个影响因子对聚类的标准模型进行了优化。经过影响因子优化的模型,每类的聚类中心不再是一个值,而是一个数值区间。在该区间中,原数学模型的聚类中心包含在内,同时兼顾到了相邻灰色类型对该类分级界限间的影响,这样三角形白化权函数就变成了梯形白化权函数。具体算法如下。

对评估对象的各聚类指标j从小到大的顺序进行了排列,记为:

$$G=(g_{jk})_{m \times s}, j=1, 2, \dots, m \tag{1}$$

式中  $g_{jk}$  为三角形白化权函数的聚类中心值。

设聚类的影响因子  $\omega=[1, 3, 5, \dots, odd]$ , 其中  $odd$  为小于等于灰类  $p$  的最大奇数。 $\omega$  的值不同,充分体现出了每个类别的相邻若干类别对该类别聚类中心的影响。当  $\omega=1$  时,评估的数学模型就是标准模型;当  $\omega=3$  时,则表示与第  $k$  类相邻的两级  $k+1$  和  $k-1$  两个灰类的分级界限值对第  $k$  类聚类中心点的影响。若某一类别的相邻类别数不到  $\omega$  所规定的数量,就采用上一级  $\omega$  代表的奇数计算,依此类推。一般选用  $\omega=3$ , 太大的  $\omega$  没有意义。由于每一类别对中心类别的影响是不一样的,在计算相邻类别对该中心类别的影响时,采用加权的方式。当  $\omega=3$  时,采用“三时估计法”<sup>[4]</sup>的思想确定第  $k$  类的权重为  $\frac{1}{2}$ , 第  $k-1$  类和第类的权重都为  $\frac{1}{4}$ 。

设第  $j$  个聚类指标对于灰类  $k$  的阈值为  $\lambda_j^k$ , 当  $\omega=3$  时,则:

$$\lambda_j^k = \begin{cases} g_{jk}, & k = 1 \\ g_{j(k-1)} \times \frac{1}{4} + g_{jk} \times \frac{1}{2} + g_{j(k+1)} \times \frac{1}{4}, & k = \text{其他} \\ g_{jp}, & k = p \end{cases} \tag{2}$$

相应的梯形白化权函数的隶属度函数如图2所示。

对于指标j的一个观测值x,由式(3)计算出其属于灰类  $k(k=1, 2, \dots, p)$  的隶属度  $f_j^k(x)$ 。

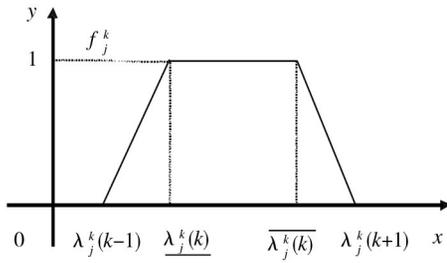


图2 梯形白化权函数

Fig. 2 Trapezoid whitening weight function

$$\begin{cases}
 f_j^k(x) = (x - \lambda_j^k(k-1)) / (\lambda_j^k(k) - \lambda_j^k(k-1)), & x \in [\lambda_j^k(k-1), \lambda_j^k(k)] \\
 f_j^k(x) = 1, & x \in [\lambda_j^k(k), \lambda_j^k(k)] \\
 f_j^k(x) = 0, & x \in [\lambda_j^k(k-1), \lambda_j^k(k+1)] \\
 f_j^k(x) = (\lambda_j^k(k+1) - x) / (\lambda_j^k(k+1) - \lambda_j^k(k)), & x \in [\lambda_j^k(k), \lambda_j^k(k+1)]
 \end{cases} \quad (3)$$

达到的值应该确定为差的灰类区间上限,中的灰类区间长度和良的灰类区间长度应该差不多,而较少部分的值应该设为优的灰类区间下限,这样各区间就能涵盖所有平均维修时间理论上可能的、所有的具体距离值,保证了评估灰类的完备性。然而,在灰类区间长度不相等的情况下使用白化权函数求出的指标灰度值就出现了一个问题,正常情况下,两个灰类区间相邻的这个指标值属于两相邻灰类的隶属度应该是一样的,属于两相邻灰类的聚类系数应该各为0.5。但从图3上明显可以看出,两白化权函数相交的点在其中的一个灰类区间内,而且随着相邻区间的长度比值不同而改变,当相邻两灰类区间长度相差越来越大时,由白化权函数计算得到的聚类系数偏离实际的灰色聚类系数也就越大,造成了计算结果与实际结果不相符。

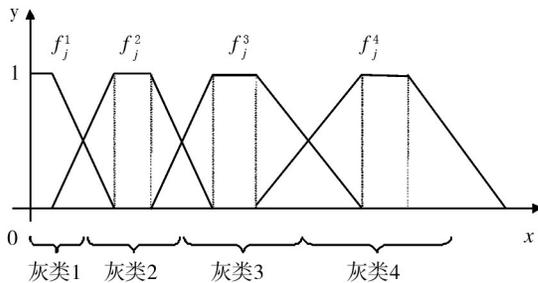


图3 灰区间长度不等的梯形白化权函数

Fig. 3 Gray interval length of the trapezoidal whitening weight function

白化权函数主要适于各个灰类区间长度都相等的情况,但在对航空装备保障特性的实际评估工作中,各个实际指标决定灰类值的取值范围,而实际指标的各灰类区间大小是不等的。例如,航空装备的平均维修时间指标,大多都是在之间,所以3 h左右的指标值应该归于差的灰类,而1 h左右的指标值应该归于优的灰类。如果将平均维修时间从4 h提升比较容易,但达到一定量后再提升就会很难。所以在确定平均维修时间的灰类区间时会认为低于普遍能

设某型航空装备,有  $m$  个聚类指标,  $p$  个不同灰类,根据  $j(j=1, 2, \dots, m)$  指标的观测值  $x$  将某型航空装备归于第  $k(k \in \{1, 2, \dots, p\})$  个灰类。

第1步,由评估的要求得到划分的灰类数为  $p$ ,将各个指标的取值范围也相应地划分为  $p$  个灰类。例如将  $j$  指标的取值范围划分为  $p$  个小区间,其中灰类1  $\in [p_1, p_2]$ ,灰类2  $\in [p_2, p_3]$ , ..., 灰类  $k \in [p_k, p_{k+1}]$ , ..., 灰类  $p \in [p_p, p_{p+1}]$ 。

第2步,连接点  $(\lambda_j^k(k), 1)$  与  $(p_k, 0.5)$ ,  $(\lambda_j^k(k), 0)$  与  $(p_k, 0.5)$ ,  $(\lambda_j^k(k+1), 1)$  与  $(p_k, 0.5)$ ,  $(\lambda_j^k(k+1), 0)$  与  $(p_k, 0.5)$ , 就得到  $j(j=1, 2, \dots, m)$  指标关于  $k$  类灰数的梯形白化权函数(如图4所示)。其中细线条的为改进前的梯形白化权函数图,粗线条的为改进后的梯形白化权函数图,梯形的上底部分没变。

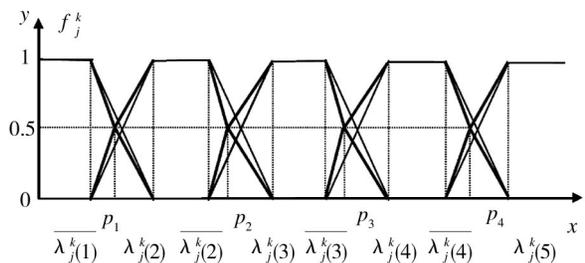


图4 改进的梯形白化权函数

Fig. 4 Improved trapezoid whitening weight function

对于指标j的一个观测值x,可由式(4)计算出其属于灰类k(k=1,2,⋯,p)的隶属度 $f_j^k(x)$ 。

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0.5 \cdot \frac{x - p_{k-1}}{p_{k-1} - \lambda_j^k(k-1)} + 0.5, & x \in [\lambda_j^k(k-1), p_{k-1}] \\ 0.5 \cdot \frac{x - p_{k-1}}{\lambda_j^k(k) - p_{k-1}} + 0.5, & x \in [p_{k-1}, \lambda_j^k(k)] \\ 1, & x \in [\lambda_j^k(k), \lambda_j^k(k)] \\ 0, & x \in [\lambda_j^k(k-1), \lambda_j^k(k+1)] \\ 0.5 \cdot \frac{p_k - x}{p_k - \lambda_j^k(k)} + 0.5, & x \in [\lambda_j^k(k), p_k] \\ 0.5 \cdot \frac{p_k - x}{\lambda_j^k(k+1) - p_k} + 0.5, & x \in [p_k, \lambda_j^k(k+1)] \end{cases} \quad (4)$$

### 3 实例验证

以平均维修时间为例,给出该指标的灰类划分区间及中心值,见表1。

表1 平均维修时间评价灰类

Table 1 Gray clustering of average maintenance time evaluation

灰类	优	良	中	差
灰类区间	[0,1)	[1,2.1)	[2.1,2.72)	[2.72,4.76)
中心值	0.5	1.55	2.41	3.74

由式(2)可得梯形白化权函数的一个端点值,标准值作为另一个端点,见表2。

表2 平均维修时间梯形白化权函数的端点值

Table 2 Endpoint value of average maintenance time trapezoid whitenization weight function

灰类	优	良	中	差
端点值	[0,0.5)	[1.5,1.55)	[2.41,2.53)	[3.74,4.76)

由表1、表2的数据以及式(3)得到改进前的梯形白化权函数为:

$$f_j^1(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0, 0.5] \\ 0, & x \notin [0, 1.5] \\ (1.5 - x)/(1.5 - 0.5), & x \in [0.5, 1.5] \end{cases}$$

$$f_j^2(x) = \begin{cases} 1, & x \in [1.5, 1.55] \\ 0, & x \in [0.5, 2.41] \\ (2.41 - x)/(2.41 - 1.55), & x \in [1.55, 2.41] \end{cases}$$

$$f_j^3(x) = \begin{cases} 1, & x \in [2.41, 2.53] \\ 0, & x \notin [1.55, 2.72] \\ (3.74 - x)/(3.74 - 2.53), & x \in [2.53, 3.74] \end{cases}$$

$$f_j^4(x) = \begin{cases} 1, & x \in [3.74, 4.76] \\ 0, & x \notin [2.53, 4.76] \\ (x - 2.53)/(3.74 - 2.53), & x \in [2.53, 3.74] \end{cases}$$

某型航空装备的平均维修时间为2.03 h,计算出其属于灰类k(k∈{1,2,⋯,p})的隶属度 $f_j^k(x)$ ,见表3。

表3 平均维修时间原算法灰类隶属度

Table 3 Grey membership of average maintenance time by original algorithm

灰类	优	良	中	差
隶属度值	0	0.44	0.56	0

$$f_j^1(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0, 0.5] \\ 0, & x \notin [0, 1.5] \\ 0.5 \cdot \frac{1-x}{1-0.5} + 0.5, & x \in [0.5, 1) \\ 0.5 \cdot \frac{1-x}{1.5-1} + 0.5, & x \in [1, 1.5) \end{cases}$$

$$f_j^2(x) = \begin{cases} 0.5 \cdot \frac{x-1}{1-0.5} + 0.5, & x \in [0.5, 1) \\ 0.5 \cdot \frac{x-1}{1.5-1} + 0.5, & x \in [1, 1.5) \\ 1, & x \in [1.5, 1.55] \\ 0, & x \notin [0.5, 2.41] \\ 0.5 \cdot \frac{2.1-x}{2.1-1.55} + 0.5, & x \in [1.55, 2.1) \\ 0.5 \cdot \frac{2.1-x}{2.41-2.1} + 0.5, & x \in [2.1, 2.41) \end{cases}$$

$$f_j^3(x) = \begin{cases} 0.5 \cdot \frac{x-2.1}{2.1-1.55} + 0.5, & x \in [1.55, 2.1) \\ 0.5 \cdot \frac{x-2.1}{2.41-2.1} + 0.5, & x \in [2.1, 2.41) \\ 1, & x \in [2.41, 2.53] \\ 0, & x \notin [1.55, 3.74] \\ 0.5 \cdot \frac{2.72-x}{2.72-2.53} + 0.5, & x \in [2.53, 2.72) \\ 0.5 \cdot \frac{2.72-x}{3.74-2.72} + 0.5, & x \in [2.72, 3.74) \end{cases}$$

$$f_j^4(x) = \begin{cases} 1, & x \in [3.74, 4.76] \\ 0, & x \notin [2.53, 4.76] \\ 0.5 \cdot \frac{x-2.72}{2.72-2.53} + 0.5, & x \in [2.53, 2.72) \\ 0.5 \cdot \frac{x-2.72}{3.74-2.72} + 0.5, & x \in [2.72, 3.74) \end{cases}$$

某型航空装备的平均维修时间为2.03 h,计算出其属于灰类 $k(k \in \{1, 2, \dots, p\})$ 的隶属度 $f_j^k(x)$ ,见表4。

表4 平均维修时间改进后算法灰类隶属度

Table 4 Grey membership of average maintenance time by improved algorithm

灰类	优	良	中	差
隶属度值	0	0.56	0.44	0

该型航空装备平均维修时间为,根据表1,应该属于良灰类,而经过原算法计算出其隶属度,该型航空装备的平均维修时间指标却属于中类,与人们的普遍认识有悖。

根据表1、表2的数据和式(4)可以得到改进后的梯形白化权函数为:

通过计算可知该型航空装备的平均维修时间属于良类,符合实际情况。

## 4 结语

运用改进的梯形白化权函数,很好地解决了相  
(下转第61页)

方向振动基本不变,40 km/h行驶时的谐振现象主要由 $x, y$ 两方向的振动激励引起。

4) 文中提出的平顺性试验研究方法,为车载精密光电探测设备的结构优化设计与研制定型提供了参考。

#### 参考文献:

- [1] 何照才. 光学测量系统[M]. 北京:国防工业出版社,2002:15—26.
- [2] 高数新,汪立民. 军用战术车辆平顺性评价方法及指标极限值的研究[J]. 汽车技术,2008(7):27—30.

- [3] GB 4970—1996,汽车平顺性随机输入行驶试验方法[S].
- [4] ISO 16750—2003,道路车辆电气和电子设备的环境条件与试验[S].
- [5] 叶盛祥. 光电仪器精密测量技术[M]. 成都:四川科学技术出版社,2003:1—4.
- [6] 李根成. 武器装备环境例行试验的有效性研究[J]. 强度与环境,2006,33(3):11—16.
- [7] 康兴无. 武器装备运输环境适应性评估研究[J]. 装备环境工程,2006,3(4):16—19.

(上接第47页)

邻的若干类别对该类别聚类中心的影响问题和灰类区间长度不一样的问题。通过实例验证,得到的计算结果是科学有效的。

#### 参考文献:

- [1] 徐宗昌. 保障性工程[M]. 北京:兵器工业出版社,2002:

45—48.

- [2] 赵经成,祝华远,王文秀. 航空装备技术保障运筹分析[M]. 北京:国防工业出版社,2010:28—29.
- [3] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,1999:80—92.
- [4] 庄德慧,李孝全. 基于网络计划技术的某发射装置维修管理研究[J]. 维修管理,2007,11(5):23—26.

(上接第51页)

方法使用时需注意以下几点。

1) 只对正弦定频试验及特定频率范围内正弦扫频试验有效,不适用于随机振动试验。

2) 样件体积和质量不应过大,否则容易造成非主振动方向的侧向振动。

3) 振动控制时会产生一定的频率及加速度偏差(频率偏差 $\leq \pm 1$  Hz,加速度偏差 $\leq \pm 1g \sim 2g$ )。

4) 共振频率不仅取决于共振板的特性,还取决于样件的质量及形状。每次试验均应先进行扫频试

验,观察样件中心的响应。

#### 参考文献:

- [1] 吴瑞轩. 振动夹具的测试方法研究[J]. 装备环境工程,2010,7(6):252—255.
- [2] 马玉真,王新华,宋波. 简谐振动测试系统的设计[J]. 试验技术与试验机,2001(3):21—22.
- [3] 黄华. 随机振动与正弦振动的等效[J]. 航空标准化与质量,1980(2):87—92.
- [4] 刘道标,宦海祥. 振动试验方法的研究及发展趋势[J]. 环境技术,2006(3):21—25.