

【武器装备】

基于灰色层次分析法的野战气象 雷达系统效能评估*

沈永伟

(总参气象水文局,北京 100081)

摘要:把灰色理论与层次分析法相结合,运用灰色层次分析综合评估模型,对野战气象雷达系统的效能进行评估。采用专家评估分析法确定野战气象雷达效能评价指标权重后,运用灰色评估理论建立野战气象雷达系统效能评估模型。以某型野战数字化气象雷达为例,充分利用决策者的判断信息,用建立的模型进行量化评估,并验证了评估模型的可靠性。

关键词:灰色层次分析法;野战气象雷达;效能评估;灰类

中图分类号: TN95

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2010)07-0017-04

随着气象保障的日益精细化,野战气象雷达在作战气象保障中的作用愈显重要,特别是在野战条件下野战气象雷达的作用越来越突出。评估野战气象雷达系统效能有助于了解其能力和明确其在野战气象保障中的使用价值,为野战气象雷达发展规划的决策者提供参考依据,也为提高野战气象雷达的作战效能创造条件^[1]。灰色系统理论是关于灰色系统描述与分析的理论,它为研究系统效能提供了新的科学方法和数学手段。本文运用灰色层次分析法对野战气象雷达进行综合评估,通过建立多层次的评价指标体系,对单项指标采用专家评判法得出评判结果,结合“和积法”确定效能指标的权重^[2],采用灰色理论确定指标的评估灰类,最后对所有效能指标进行综合评估。这是对多指标野战气象雷达系统效能评估的一种可靠而又有效的方法。

1 灰色层次分析法的基本步骤

灰色层次分析法是灰色理论与层次分析法相结合的产物^[3]。具体讲就是在层次分析中,不同层次决策“权”的数值是按照灰色系统理论计算的,其步骤如下:

第1步 建立评估对象的递阶层次结构。假设存在评判对象的指标集 $U = \{ U_1, U_2, \dots, U_m \}$, 其中: $U_i (i \in [1, m])$ 是 U 中第 i 个指标; $U_i = \{ U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{in} \}$ 是 U 中第 i 个指标的指标集; U_{ik} 是该指标集中的一个指标。其多层结构如图1所示。

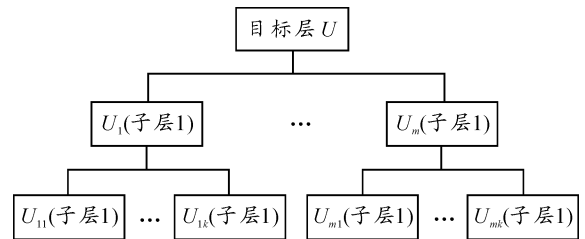


图1 多层指标体系结构

第2步 计算评估指标体系底层元素的组合权重。设 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 为 U 中各元素权重的集合,且满足 $\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n$ 。根据简易表格法(表1)由专家或评估组对上下层关系进行定性填表,用精确法和和法计算相邻层次下层对于上层元素的权重。

表1 简易表格法指标元素重要性等级表

指标元素	最重	相邻	很重	相邻	较重	相邻	不重
	要	中值	要	中值	要	中值	要
等级	1	2	3	4	5	6	7

第3步 求评估指标值矩阵 D_{ij}^U , 即

$$D_{ij}^U = \begin{bmatrix} d_{11}^U & d_{12}^U & \cdots & d_{1i}^U \\ d_{21}^U & d_{22}^U & \cdots & d_{2i}^U \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{j1}^U & d_{j2}^U & \cdots & d_{jn}^U \end{bmatrix}$$

* 收稿日期:2010-04-13

作者简介:沈永伟(1970—),男,硕士,工程师,主要从事信息作战指挥和军事气象保障研究。

其中: D_{ij}^U 表示评估者 i 对受评者 j 的第 U 个评估因素给出的评估指标值矩阵。

第4步 确定评估灰类。确定评估灰类就是要确定评估灰类的等级数、灰类的灰数以及灰类的白化权函数^[4]。针对具体对象,通过定性分析确定。常用的白化函数有如下几种:第1级(上),灰数为 $\oplus \in [d_1, d_2, \infty]$, 其白化函数为 $f_1(d_{ji})$; 第2级(中),灰数为 $\oplus \in [d_1, d_2, d_3]$, 其白化函数为 $f_2(d_{ji})$; 第3级(下),灰数为 $[0, d_1, d_2]$, 其白化函数为 $f_3(d_{ji})$ 。它们的表达式如下^[5]:

$$f_1(d_{ji}) = \begin{cases} 0 & , d_{ji} \in (-\infty, d_1] \\ \frac{d_{ji} - d_1}{d_2 - d_1} & , d_{ji} \in [d_1, d_2] \\ 1 & , d_{ji} \in [d_2, +\infty) \end{cases}$$

$$f_2(d_{ji}) = \begin{cases} \frac{d_{ji} - d_1}{d_2 - d_1} & , d_{ji} \in [d_1, d_2] \\ \frac{d_3 - d_{ji}}{d_3 - d_2} & , d_{ji} \in [d_2, d_3) \\ 0 & , d_{ji} \notin [d_1, d_3] \end{cases}$$

$$f_3(d_{ji}) = \begin{cases} 1 & , d_{ji} \in (0, d_1] \\ \frac{d_2 - d_{ji}}{d_2 - d_1} & , d_{ji} \in [d_1, d_2) \\ 0 & , d_{ji} \notin [0, d_2] \end{cases}$$

第5步 计算灰色评估系数、评估权向量和权矩阵。

由 D_{ij}^U 和 $f_k(d_{ji})$ 算出受评者 j 对于评估指标 U 属于第 k 类的灰色评估系数, 记为 $n_{jk}^{(U)}$, 其公式为 $n_{jk}^{(U)} = \sum_{j=1}^i f_k(d_{ji}^{(U)})$ 。对于评估指标 U , 受评者 j 属于各个评估灰类的

总灰色评估系数 $n_j^{(U)} = \sum_{j=1}^k n_{jk}^{(U)}$ 。由 $n_{jk}^{(U)}$ 和 $n_j^{(U)}$ 可算出对于评估指标 U 第 j 个受评者属于第 k 个灰类的评估权 $r_{jk}^{(U)}$ 和权向量 $r_j^{(U)}$, 即 $r_{jk}^{(U)} = n_{jk}^{(U)} / n_j^{(U)}$ 。因此, 所有受评者对于评估指标 U 的灰色评估权矩阵 $R^{(U)} = r_{jk}^{(U)}$, 即

$$R^{(U)} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(U)} & r_{12}^{(U)} & \cdots & r_{1k}^{(U)} \\ r_{21}^{(U)} & r_{22}^{(U)} & \cdots & r_{2k}^{(U)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{j1}^{(U)} & r_{j2}^{(U)} & \cdots & r_{jk}^{(U)} \end{bmatrix}$$

对于不同的灰类赋予一定的效能值, 即

$$C = [c_1, c_2, \dots, c_n]^T$$

则根据评估权向量, 可以求得各个指标的效能^[5]为

$$E_i = w_i \cdot R^{(U)} \cdot C \quad (1)$$

第6步 进行综合评估。若评估体系有多层结构组成, 利用层次分析法求得最底层指标对上一层指标的评估效能, 再根据简易表格法由专家或评估组对上下层关系进行定性分析, 用精确法或和积法计算次底层对于上一层元素的权重, 则综合效能评估公式^[6]如式(2)所示:

$$E = \sum_{i=1}^n w_i E_i \quad (2)$$

若评估指标体系多于3层, 则按照层次分析方法, 最终求得气象雷达系统的总效能值。

2 实例分析

本文以某型野战数字化天气雷达(即测雨雷达)为例, 运用灰色层次分析法对该雷达系统效能进行评估, 给出实例分析结果, 增强灰色层次分析法的可靠性。

1) 建立评估对象的递阶层次结构。影响野战数字化天气雷达效能的因素主要是雷达的探测范围、测量的精度、分辨率、可靠性、抗电磁干扰能力, 以及雷达系统的基本特性^[7]。其中雷达系统的基本特性主要包括雷达的架拆时间、开机时间及系统本身的体积和重量。架拆时间指雷达的架设和撤收时间, 开机时间是指雷达通电至开始工作的时间, 这2项性能是影响雷达机动性的主要因素, 也必然对系统的效能有很重要的作用^[8]。雷达的体积和重量决定于雷达的任务、所需的零件和材料, 与系统的故障率和维修率有非常重要的关系。根据以上分析, 结合野战天气雷达系统结构模型及其重要特征指标, 建立野战数字化天气雷达综合评估模型的多层指标体系结构(图2)。

2) 计算评估指标体系底层元素的组合权重。根据简易表格(表1)的专家打分法得到 $U_1 - X$ 判断矩阵:

$$U_1 = \begin{bmatrix} 1 & 4/5 & 3/5 & 3/5 \\ 5/4 & 1 & 3/4 & 3/4 \\ 5/3 & 4/3 & 1 & 1 \\ 5/3 & 4/3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$U_1 = \begin{bmatrix} 1 & 4/5 & 3/5 & 3/5 \\ 5/4 & 1 & 3/4 & 3/4 \\ 5/3 & 4/3 & 1 & 1 \\ 5/3 & 4/3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

将判断矩阵的各个列向量先标准化, 再按行求和取平均, 即得 U_1 的特征向量:

$$w_1 = (0.179\ 1, 0.223\ 9, 0.298\ 5, 0.298\ 5)$$

特征向量的分量就是该相应元素对于目标的组合权重, 这是因为矩阵的列向量与列向量的和相比较的结果, 可以近似代表列向量的分量在目标中的权重。同理可知 w_2, w_3, w_4, w_5, w_6 值:

$$w_2 = (0.344\ 8, 0.137\ 9, 0.344\ 8, 0.172\ 4);$$

$$w_3 = (0.461\ 5, 0.307\ 7, 0.230\ 8);$$

$$w_4 = (0.375\ 0, 0.250\ 0, 0.375\ 0);$$

$$w_5 = (0.800\ 0, 0.200\ 0);$$

$$w_6 = (0.705\ 9, 0.176\ 5, 0.117\ 6)。$$

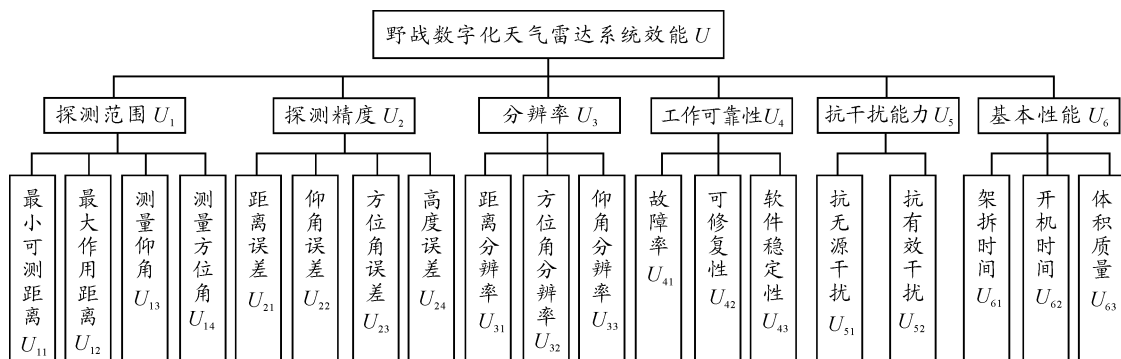


图2 野战数字化天气雷达系统效能综合评估模型的多层指标体系结构

3) 给出评估指标 U_1 的评估值矩阵 D_{U_1} 。设有 5 组评估者, 计为 I、II、III、IV、V, 评估对象是野战数字化天气雷达的探测范围指标 U_1 的 4 个分指标。为简化计算, 规定评估专家打分范围为 1~10 分。根据 5 组评估专家的评估打分, 得到指标矩阵

$$D_{U_1} = \begin{bmatrix} \text{I} & \text{II} & \text{III} & \text{IV} & \text{V} & \\ 8 & 7.5 & 8.5 & 8 & 8.5 & U_{11} \\ 9 & 8 & 9 & 8.5 & 8.5 & U_{12} \\ 7 & 7 & 8.5 & 7.5 & 7 & U_{13} \\ 6.5 & 6 & 7 & 7.5 & 7 & U_{14} \end{bmatrix}$$

同理, 可得到 $D_{U_2}, D_{U_3}, D_{U_4}, D_{U_5}, D_{U_6}$ 的指标矩阵。

4) 确定评估灰类。设 $k=4$, 即有“优”、“良”、“中”、“差”4 个评分灰类, 其相应的灰系及白化权函数如图 3 所示。

第 1 类“优”($k=1$), 设定灰数 $\oplus_1 = \in [6, 9, \infty)$, 白化函数如图 3 的 f_1 ;

第 2 类“良”($k=2$), 设定灰数 $\oplus_2 = \in [0, 8, 10]$, 白化函数如图 3 的 f_2 ;

第 3 类“中”($k=3$), 设定灰数 $\oplus_3 = \in [0, 6, 10]$, 白化函数如图 3 的 f_3 ;

第 4 类“差”($k=4$), 设定灰数 $\oplus_4 = \in [0, 4, 10]$, 白化函数如图 3 的 f_4 ;

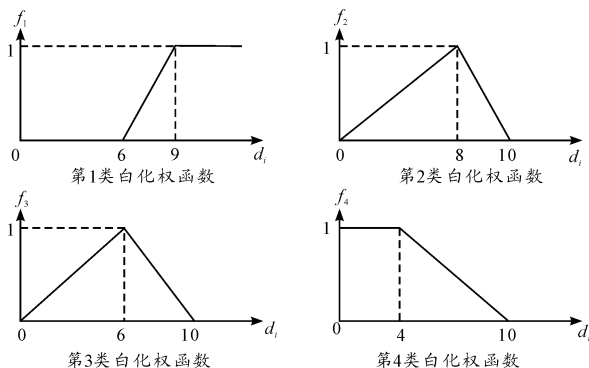


图3 灰系及白化权函数

5) 计算灰色评估系数、评估权向量及权矩阵。对于评估指标 U_{11} 属于灰类 k 的评估系数 $n_k^{U_{11}}$ 为

$$n_1^{U_{11}} = \sum_{i=1}^5 f_1(d_{1i}) = f_1(8) + f_1(7.5) + f_1(8.5) + f_1(8) + f_1(7.5) = \frac{8-6}{9-6} + \frac{7.5-6}{9-6} + \frac{8.5-6}{9-6} + \frac{8-6}{9-6} + \frac{7.5-6}{9-6} = 3.50$$

同理可得:

$$n_2^{U_{11}} = 4.625; n_3^{U_{11}} = 2.625; n_4^{U_{11}} = 1.75$$

从而得到受评者 U_{11} 对评估指标的总评估系数

$$n^{U_{11}} = \sum_{i=1}^5 n_i^{U_{11}} = 12.5$$

由 $\{n_i^{U_{11}}\}$ 及 $n^{U_{11}}$ 可得到该雷达对于评估指标 U_{11} 的灰度评估权向量:

$$r^{U_{11}} = (r_1^{U_{11}}, r_2^{U_{11}}, r_3^{U_{11}}, r_4^{U_{11}}) = (n_1^{U_{11}}/n^{U_{11}}, n_2^{U_{11}}/n^{U_{11}}, n_3^{U_{11}}/n^{U_{11}}, n_4^{U_{11}}/n^{U_{11}}) = (0.2800, 0.3700, 0.2100, 0.1400)$$

同理可得 U_{12}, U_{13}, U_{14} 的灰色评估权向量:

$$r^{U_{12}} = (0.4031, 0.3256, 0.1628, 0.1085);$$

$$r^{U_{13}} = (0.2029, 0.3261, 0.2826, 0.1884);$$

$$r^{U_{14}} = (0.1088, 0.3469, 0.3265, 0.2177)。$$

假设“优”类的效能值为 0.9, “良”类的效能值为 0.8, “中”类的效能值为 0.7, “差”类的效能值为 0.6, 即 $[0.9, 0.8, 0.7, 0.6]$, 则雷达系统的分效能为

$$E_1 = (0.1791 \quad 0.2239 \quad 0.2985 \quad 0.2985) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 0.2800 & 0.3700 & 0.2100 & 0.1400 \\ 0.4031 & 0.3256 & 0.1628 & 0.1085 \\ 0.2029 & 0.3261 & 0.2826 & 0.1884 \\ 0.1088 & 0.3469 & 0.3265 & 0.2177 \end{bmatrix}.$$

$$\begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.8 \\ 0.7 \\ 0.6 \end{bmatrix} = 0.7661$$

同理, 可以求得野战数字化天气雷达系统的其他指标元素的分效能:

$$E_2 = 0.7825; E_3 = 0.7526; E_4 = 0.7618;$$

$$E_5 = 0.7681; E_6 = 0.7194.$$

6) 进行综合评估。由组合权向量公式,可求得效能指标 $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6$ 对雷达系统效能的权重:

$$W = (W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6) =$$

$$(0.2927, 0.2927, 0.1463, 0.0976, 0.0976, 0.0732)$$

于是得系统的总效能

$$E = \sum_{i=1}^6 W_i \cdot E_i = 0.7686$$

又根据灰色聚类原理,得灰色聚类系数矩阵

$$\sigma_i^k = \max \begin{bmatrix} 0.2800 & 0.3700 & 0.2100 & 0.1400 \\ 0.4031 & 0.3256 & 0.1628 & 0.1085 \\ 0.2029 & 0.3261 & 0.2826 & 0.1884 \\ 0.1088 & 0.3469 & 0.3265 & 0.2177 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3700 \\ 0.4031 \\ 0.3261 \\ 0.3469 \end{bmatrix}$$

由此可知,该型野战数字化天气雷达系统的效能指标中最大作用距离(U_{12})属于“优”,也就是说在提高野战数字化天气雷达效能时,改善指标最大作用距离要比改善最小可测距离、测量仰角、测量方位角3个指标好。同理可知,距离误差、距离分辨、可修复性、抗有效干扰、架拆时间属于“优”,从而为提高野战数字化天气雷达系统的效能提供了依据。

3 结束语

本文建立的野战数字化天气雷达系统效能综合评价模型,能够充分利用决策者的判断信息,计算简便,实用性

强,而且评价结果客观真实。在评判过程中综合考虑多种因素的影响,从各条件下参数的灰化处理到各因素指标权重的确定,充分考虑各专家的定性分析,并通过将其量化进行科学计算决策,评判出效能结果。但由于影响野战气象雷达效能的因素非常多,特别是在复杂战场电磁环境下影响因素更为复杂,如涉及气象人员的身体和心理素质、野战气象雷达阵地的战场环境等因素。本文在建立评估模型时,为了计算方便,进行了模型的简化。因此,如果更详细的划分效能指标或者更精确的计算机模拟,就可以得出更准确的结果。

参考文献:

- [1] 牛作成,吴德伟,雷磊.军事装备效能评估方法探究[J].电光与控制,2006,13(5):98-101.
- [2] 宋朝河,王雪琴.基于灰色层次分析法的侦察装备效能评估[J].指挥控制与仿真,2008,30(4):65-69.
- [3] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1992.
- [4] 孟范栋,李斌,黄文斌.基于灰色系统理论的潜艇作战效能评估[J].指挥控制与仿真,2006(6):76-78.
- [5] 袁嘉祖.灰色系统理论及应用[M].北京:科学出版社,1991.
- [6] 吕艳辉,潘成胜.基于AHP的灰色评估模型及其应用[J].火力与指挥控制,2005,30(8):80-82.
- [7] 中国人民解放军总参谋部气象局.02B型天气雷达维修手册[K].北京:解放军出版社,2001.
- [8] 何友,修建娟,张晶炜.雷达数据处理及应用[M].北京:电子工业出版社,2006.

(责任编辑 刘 舸)

(上接第7页)

参考文献:

- [1] Rork E. W, Lin S. S and Yakutis A. J. Ground-based electro-optical detection of artificial satellites in daylight from reflected sunlight[J]. AD - A 117413, 1982.
- [2] Rask J. D. Modeling of diffuse photometric signatures of satellites for space object identification [J]. AD - A 127415, 1983.
- [3] Shree K. Nayar, Katsushi Ikeuchi, and Takeo Kanade. Determining Shape and Reflectance of Lambertian, Secular, and Hybrid Surfaces using Extended Sources [C]. IEEE Trans on MIV - 89, 1989, 1: 169 - 175.
- [4] Hossein Ragheb and Edwin R, Hancock, Lambertian Reflectance Correction for Rough and Shiny Surfaces [C]. IEEE Trans on ICIP, 2002, 2: 553 - 556.
- [5] Jan J, Koenderink and Andrea J. van Doorn, Shading in the case of translucent objects [C]. Proc of SPIE, 2001, 4299: 312 - 320.
- [6] 李斌成.空间目标的光学特性分析[J].光电工程, 1989, 80(2): 21 - 26.
- [7] 刘建斌,吴健.空间目标的光散射研究[J].宇航学报, 2006, 27(4): 802 - 805.
- [8] 刘建斌.基于微扰近似的圆锥表面光散射[J].光子学报, 2009, 38(10): 2665 - 2668.
- [9] 刘林.人造地球卫星运动理论[M].北京:科学出版社, 1974.
- [10] 李淑军,高晓东,朱耆祥.带太阳能帆板的卫星光度特性分析[J].光电工程, 2004, 31(4): 1 - 8.
- [11] 李淑军,高晓东,朱耆祥.废弃火箭体的光度变化分析[J].飞行器测控学报, 2004, 23(2): 51 - 57.

(责任编辑 周江川)