

军用信息系统安全效能灰色评估模型和算法

张磊, 向德全, 胥杰

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:军用信息系统效能评估是一个十分复杂的问题,涉及因素多,而且存在部分因素不完全和不确定的问题。本文提出基于层次结构的灰色评估指标体系,介绍了应用灰色系统相关理论和层次分析法建立的评估模型和评估算法,最后对军用信息系统安全进行评估,结果表明该方法简单有效。

关键词:军用信息系统;安全效能;灰色理论;评估模型;评估算法

中图分类号: E407.48 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2007)01-0077-04

对军用信息系统安全体系风险评估不能从孤立和静止的因素考虑解决方案,而应该从系统工程的观点出发,对信息系统所处的环境进行全面的、综合的和动态的风险分析。本文提出将灰色系统理论应用于信息系统安全效能评估,建立了基于层次结构的评估指标体系,介绍了多层次灰色评估模型和评估算法。通过军用信息系统安全进行评估,可详细分析信息系统每个层次上的安全缺陷与所受到的安全威胁,制定总体安全规划及安全解决方案。

1 评估指标体系

灰色评价法是运用灰色理论将评价专家的分散信息处理成一个描述不同灰类程度的权向量,在此基础上,再对其进行单值化处理,便可得到军用信息系统的综合评价,进而对影响其性能的不安全因素进行权衡考虑,采取相应的措施^[1-4]。

由参考文献[5],可得军用信息系统安全结构的评价体系的一般形式如图1所示。根据层次分析法原理,图1是一个由多个评价指标按属性不同分组,每组作为一个层次,按照最高层(目标层 W),中间层(一级评价指标 $U_i, i=1, 2, \dots, m$,)和最低层(二级评价指标 $U_{ij}, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$)的形式排列起来组成3层次评价指标体系。

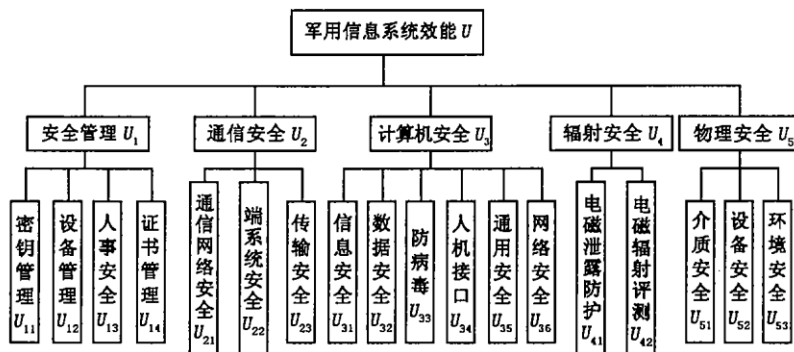


图1 军用信息系统效能评估指标体系

收稿日期:2006-06-05

作者简介:张磊(1981-),男,陕西西安人,博士生,主要从事军事信息安全体系研究;
向德全(1954-),男,重庆人,教授,博士生导师,主要从事军事信息安全体系研究。

2 灰色评估模型及算法

本文采用两层树状结构的评估体系来灰色评估模型和评估算法,图1中总指标 U 即表示要评估的军用信息系统的总体效能,并设总指标 U 是一级评价指标 U_i 所组成的集合,记为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$, 权重 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$; U_i 是二级评价指标组成的集合,记为 $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{in}\}$, 权重 $A_i = \{A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in}\}$ 。灰色评估模型和算法如下。

2.1 确定灰色类

确定评价灰类,是要确定评价灰类的等级数,灰类的灰数以及灰数的白化权函数。分析上述评价指标 V_{ij} 的评分等级标准,设定4个评价灰类,灰 f_i 类序号为 e , 即 $e=1, 2, 3, 4$ 。它们分别是“优”“良”“中”“差”, 其相应的灰数及白化权函数如下它们分别是:

第1灰类“优”($e=1$), 灰数 $\otimes_1 \in (4, \infty)$, 白化权函数为 f_1 (见图2)。

$$f_1(d_{ijk}^{(s)}) = \begin{cases} \frac{d_{ijk}^{(s)}}{4}, & d_{ijk}^{(s)} \in [0, 4] \\ 1, & d_{ijk}^{(s)} \in [4, \infty) \\ 0, & d_{ijk}^{(s)} \in (0, \infty) \end{cases}$$

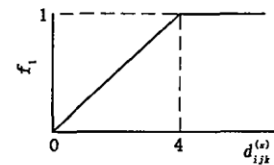


图2 白化权函数 f_1

第2灰类“良”($e=2$), 灰数 $\otimes_2 \in [0, 3, 6]$, 白化权函数为 f_2 (见图3)。

$$f_2(d_{ijk}^{(s)}) = \begin{cases} \frac{d_{ijk}^{(s)}}{3}, & d_{ijk}^{(s)} \in [0, 3] \\ \frac{d_{ijk}^{(s)} - 6}{-3}, & d_{ijk}^{(s)} \in (2, 4] \\ 0, & d_{ijk}^{(s)} \in [0, 6] \end{cases}$$

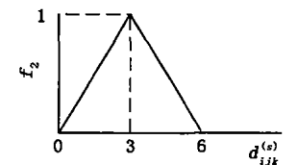


图3 白化权函数 f_2

第3灰类“中”($e=3$), 灰数 $\otimes_3 \in [0, 2, 4]$, 白化函数为 f_3 (见图4)。

$$f_3(d_{ijk}^{(s)}) = \begin{cases} \frac{d_{ijk}^{(s)}}{2}, & d_{ijk}^{(s)} \in [0, 2] \\ \frac{d_{ijk}^{(s)} - 4}{-2}, & d_{ijk}^{(s)} \in (2, 4] \\ 0, & d_{ijk}^{(s)} \in [0, 4] \end{cases}$$

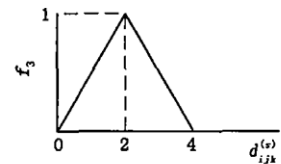


图4 白化权函数 f_3

第4灰类“差”($e=4$), 灰数 $\otimes_4 \in [0, 1, 2]$, 白化权函数为 f_4 (见图5)。

$$f_4(d_{ijk}^{(s)}) = \begin{cases} 1, & d_{ijk}^{(s)} \in [0, 1] \\ \frac{d_{ijk}^{(s)} - 2}{-1}, & d_{ijk}^{(s)} \in (1, 2] \\ 0, & d_{ijk}^{(s)} \in [0, 2] \end{cases}$$

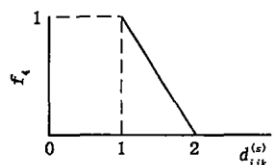


图5 白化权函数 f_4

2.2 确定权重

确定各指标权重系数有主观赋权法和客观赋权法两种,在实际应用中为克服人为因素影响。常常将主观赋权法和客观赋权法结合起来使用。本文的客观赋权法,首先用层次分析法,通过两两成对的重要性比较建立判断矩阵,用解矩阵特征值方法解出各级指标的主观赋权,然后对这些权值进行一定的综合处理得到各指标的权重。设 P 个专家对 n 个指标的主观赋权权值为 x_{ij} 。

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

根据式(1) 计算相关系数 ξ_{jk} 后得到相关矩阵 $A(\xi_{jk})$, 再按式(2) 进行计算。

$$P_k = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \xi_{ik}} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

则第 i 个指标的权重为

$$\omega_i = P_i / \sum_{j=1}^n P_j \tag{3}$$

2.3 求评价样本矩阵

根据第 l 个专家对被评装备按评价指标 U_{ij} 给出的评分 d_{ijl} , 构造被评装备对指标 U_i 的样本矩阵 D_i 。

$$D_i = \begin{bmatrix} U_{i1} \\ \vdots \\ U_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{i11} & \cdots & d_{i1p} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ d_{in1} & \cdots & d_{inp} \end{bmatrix} \tag{4}$$

2.4 计算灰色评价系数

对评价指标 U_{ij} , 信息系统属于第 e 个灰类的灰色评价系数记为 x_{ije} , 其总灰系数记为 x_{ij} , 则有

$$x_{ije} = \sum_{l=1}^p f_\epsilon(d_{ijl}) \quad ; \quad x_{ij} = \sum_{e=1}^g x_{ije} \tag{5}$$

综合 U_i 所属指标 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 R_i 为

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i1} \\ \vdots \\ r_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{i11} & \cdots & r_{i1g} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{in1} & \cdots & r_{ing} \end{bmatrix} \tag{6}$$

2.5 综合评价

令被评系统对指标 U_i 的综合评价结果为 B_i , 则有

$$B_i = A_i \cdot R_i = [b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ig}] \tag{7}$$

由 U_i 的综合评价结果 B_i , 得到被评系统的 U 所属指标 U_i 对于各评价灰类的灰色评价权 R 为

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{12} & \cdots & b_{1g} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{mg} \end{bmatrix} \tag{8}$$

于是被评系统的综合评价结果 B 为

$$B = AR = [b_1, b_2, \dots, b_g] \tag{9}$$

2.6 计算综合评价值

设将各评价灰类等级按“灰水平”赋值, 即第 1 灰类“优”取 4, 第 2 灰类“良”取 3, 第 3 灰类“中”取 2, 第 4 灰类“差”取 1, 则各评价灰类等级值化向量 C 。 $C = [4, 3, 2, 1]$, 按下式计算被评装备的单一综合评价值 W 。

$$W = BC^T \tag{10}$$

该值还可以作为同类装备优化选型、排出优劣次序的依据。

3 仿真评估举例

求得指标权值分配如表 1 所示。

表 1 专家对指标的权值分配表

专家	U_1	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_2	U_{21}	U_{22}	U_{23}
1	0.22	0.40	0.60	0.48	0.60	0.18	0.48	0.52	0.20
2	0.28	0.45	0.55	0.23	0.58	0.25	0.50	0.50	0.35
3	0.24	0.48	0.32	0.58	0.52	0.15	0.46	0.54	0.32
4	0.26	0.42	0.52	0.45	0.55	0.20	0.50	0.50	0.38

专家	U_3	U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{34}	U_{35}	U_{36}	专家	U_4	U_{41}	U_{42}	U_{43}	U_{44}	U_{45}	U_{46}
1	0.32	0.50	0.46	0.58	0.34	0.18	0.48	1	0.62	0.25	0.35	0.48	0.44	0.25	0.42
2	0.48	0.46	0.55	0.26	0.58	0.25	0.50	2	0.58	0.26	0.45	0.53	0.46	0.45	0.40
3	0.24	0.44	0.36	0.48	0.52	0.15	0.46	3	0.35	0.24	0.43	0.38	0.32	0.42	0.54
4	0.26	0.42	0.52	0.55	0.55	0.20	0.50	4	0.45	0.25	0.37	0.43	0.47	0.58	0.50

以上算法涉及到大量的矩阵运算, 利用 MATLAB 和 C 语言依据步骤可轻易地予以实现。按照上述评价

$$\omega_i = P_i / \sum_{j=1}^n P_j \tag{3}$$

2.3 求评价样本矩阵

根据第 l 个专家对被评装备按评价指标 U_{ij} 给出的评分 d_{ijl} , 构造被评装备对指标 U_i 的样本矩阵 D_i 。

$$D_i = \begin{bmatrix} U_{i1} \\ \vdots \\ U_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{i11} & \cdots & d_{i1p} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ d_{in1} & \cdots & d_{inp} \end{bmatrix} \tag{4}$$

2.4 计算灰色评价系数

对评价指标 U_{ij} , 信息系统属于第 e 个灰类的灰色评价系数记为 x_{ije} , 其总灰系数记为 x_{ij} , 则有

$$x_{ije} = \sum_{l=1}^p f_e(d_{ijl}) \quad ; \quad x_{ij} = \sum_{e=1}^g x_{ije} \tag{5}$$

综合 U_i 所属指标 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 R_i 为

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i1} \\ \vdots \\ r_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{i11} & \cdots & r_{i1g} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{in1} & \cdots & r_{ing} \end{bmatrix} \tag{6}$$

2.5 综合评价

令被评系统对指标 U_i 的综合评价结果为 B_i , 则有

$$B_i = A_i \cdot R_i = [b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ig}] \tag{7}$$

由 U_i 的综合评价结果 B_i , 得到被评系统的 U 所属指标 U_i 对于各评价灰类的灰色评价权 R 为

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{12} & \cdots & b_{1g} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{mg} \end{bmatrix} \tag{8}$$

于是被评系统的综合评价结果 B 为

$$B = AR = [b_1, b_2, \dots, b_g] \tag{9}$$

2.6 计算综合评价值

设将各评价灰类等级按“灰水平”赋值, 即第 1 灰类“优”取 4, 第 2 灰类“良”取 3, 第 3 灰类“中”取 2, 第 4 灰类“差”取 1, 则各评价灰类等级值化向量 C 。 $C = [4, 3, 2, 1]$, 按下式计算被评装备的单一综合评价值 W 。

$$W = BC^T \tag{10}$$

该值还可以作为同类装备优化选型、排出优劣次序的依据。

3 仿真评估举例

求得指标权值分配如表 1 所示。

表 1 专家对指标的权值分配表

专家	U_1	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_2	U_{21}	U_{22}	U_{23}
1	0.22	0.40	0.60	0.48	0.60	0.18	0.48	0.52	0.20
2	0.28	0.45	0.55	0.23	0.58	0.25	0.50	0.50	0.35
3	0.24	0.48	0.32	0.58	0.52	0.15	0.46	0.54	0.32
4	0.26	0.42	0.52	0.45	0.55	0.20	0.50	0.50	0.38

专家	U_3	U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{34}	U_{35}	U_{36}	专家	U_4	U_{41}	U_{42}	U_{43}	U_{44}	U_{45}	U_{46}
1	0.32	0.50	0.46	0.58	0.34	0.18	0.48	1	0.62	0.25	0.35	0.48	0.44	0.25	0.42
2	0.48	0.46	0.55	0.26	0.58	0.25	0.50	2	0.58	0.26	0.45	0.53	0.46	0.45	0.40
3	0.24	0.44	0.36	0.48	0.52	0.15	0.46	3	0.35	0.24	0.43	0.38	0.32	0.42	0.54
4	0.26	0.42	0.52	0.55	0.55	0.20	0.50	4	0.45	0.25	0.37	0.43	0.47	0.58	0.50

以上算法涉及到大量的矩阵运算, 利用 MATLAB 和 C 语言依据步骤可轻易地予以实现。按照上述评价

指标体系,组织4位专家按图1所示评估体系结构图并根据试验结果对该系统进行打分,求得样本矩阵 D_1 。

$$D_1 = \begin{bmatrix} 3.0 & 3.0 & 2.5 & 2.0 \\ 4.0 & 3.0 & 3.5 & 2.0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 3.5 & 2.5 & 3.5 & 2.0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

根据权重计算方法可得系统指标权重为: $A = [0.146, 0.158, 0.468, 0.097, 0.131]$, $A_1 = [0.245, 0.19, 0.468, 0.097]$, $A_2 = [0.2925, 0.4824, 0.221]$, $A_3 = [0.1251, 0.0124, 0.2251, 0.1532, 0.2212, 0.263]$, $A_4 = [0.2925, 0.4824, 0.2251]$, $A_5 = [0.4925, 0.2814, 0.2261]$ 。根据评估方法可得该系统的综合评价结果为 $B = [0.3285, 0.4022, 0.2603, 0.09]$, 评价灰类的等级值化向量为 $C = [4, 3, 2, 1]$, 得到单一综合评价价值 $W = 3.1312$, 可知该系统总体效能达到良好水平。

4 结束语

军用信息系统效能评估,是一项十分有研究意义的课题。由于现在的试验及仿真模拟试验相对于实际的军用系统存在着不完全或部分信息模糊不确定的问题,所以可用灰色系统理论的相关原理来处理军用信息系统的效能评估问题。本文建立了基于层次结构的军用信息系统效能评估体系,介绍了灰色评估模型和评估算法,并对某实际军用信息系统进行评估,表明了该方法简单有效。

参考文献:

- [5] 穆良知. 军用信息系统安全体系研究[J]. 网络安全体系结构, 2004, 11: 103 - 111.
- [1] 王坚强. 一种新的多指标多水平决策方法及应用[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 11: 119 - 123.
- [2] 邓聚龙. 灰色控制系统[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1999.
- [3] 陈淑燕. 多媒体课件的多层次灰色评价方法[J]. 电化教育研究, 2002, 9: 56 - 58.
- [4] 张守华. 层次灰色方法在科研项目评估中的应用研究[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 10: 745 - 747.

(编辑: 门向生)

Grey Evaluation Model and Algorithm of Security Effectiveness of Military Information System

ZHANG Lei, XIANG De - quan, XU Jie

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, Shaanxi, China)

Abstract: To evaluate the military information system security effectiveness, which involves many factors, is a complex problem, in which the information about specification is incomplete and vague. In this paper, a grey evaluation system and a model based on the hierarchy structure for evaluating the security effectiveness of the military information system are proposed and the evaluation algorithm is introduced. In the end, the security effectiveness of the military information system is evaluated, which shows that the approach is simple and effective.

Key words: military information system; security effectiveness; grey theory; evaluation model; evaluation algorithm