



# 计算机科学

COMPUTER SCIENCE

## 基于综合赋权的网络安全等级灰色评价方法

秦富童, 袁学军, 周超, 樊永文

引用本文

秦富童, 袁学军, 周超, 樊永文. 基于综合赋权的网络安全等级灰色评价方法[J]. 计算机科学, 2023, 50(11A): 230300144-6.

QIN Futong, YUAN Xuejun, ZHOU Chao, FAN Yongwen. Grey Evaluation Method of Network Security Grade Based on Comprehensive Weighting [J]. Computer Science, 2023, 50(11A): 230300144-6.

---

## 相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

### [基于粗糙集与密度峰值聚类的特征选择算法](#)

Feature Selection Algorithm Based on Rough Set and Density Peak Clustering

计算机科学, 2023, 50(10): 37-47. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.230600038>

### [基于熵权-AHP与云模型的国产BIM建模软件多维度评价研究](#)

Multidimensional Evaluation Method for Domestic Building Information Modeling Software Based on Entropy-Weight-AHP and Cloud Model

计算机科学, 2023, 50(6A): 220400216-9. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.220400216>

### [基于改进模糊综合评价法的电力监控系统网络可靠性分析](#)

Network Reliability Analysis of Power Monitoring System Based on Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

计算机科学, 2023, 50(6A): 220400293-7. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.220400293>

### [不协调广义决策多尺度序信息系统的最优尺度选择与规则提取](#)

Optimal Scale Selection and Rule Acquisition in Inconsistent Generalized Decision Multi-scale Ordered Information Systems

计算机科学, 2023, 50(6): 131-141. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.220800149>

### [代价敏感的多粒度邻域粗糙模糊集的近似表示](#)

Cost-sensitive Multigranulation Approximation of Neighborhood Rough Fuzzy Sets

计算机科学, 2023, 50(5): 137-145. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.220500268>

# 基于综合赋权的网络安全等级灰色评价方法

秦富童 袁学军 周超 樊永文

中国人民解放军 63891 部队 河南 洛阳 471000

**摘要** 网络安全等级评价是信息系统等级保护的关键,进行网络安全等级评价需要依据网络安全等级保护的国家标准或行业标准建立指标体系,并设置指标权重,选择合适的模型进行综合评判。基于层次分析法和粗糙集理论对指标进行综合赋权,消除了指标权重设置的主观性和样本数据的突发性。以灰色关联度为测度去评价指标数列与目标数列的关联程度,更能体现信息系统实际网络安全水平与评价标准之间的符合度。实例分析表明,该方法能够有效地对网络安全等级进行综合评价。

**关键词:** 综合赋权;层次分析法;粗糙集;灰色关联度分析;网络安全等级评价

中图分类号 TP393

## Grey Evaluation Method of Network Security Grade Based on Comprehensive Weighting

QIN Futong, YUAN Xuejun, ZHOU Chao and FAN Yongwen

Unit. No. 63891, Luoyang, Henan 471000, China

**Abstract** Network security grade evaluation is the key of information system grade protection, to evaluate the grade of network security, it is necessary to establish an index system according to the national or industrial standards of network security grade protection, set index weights, and select an appropriate model for comprehensive evaluation. Based on the analytic hierarchy process and rough set theory, the index is comprehensively weighted, which overcomes the subjectivity of index weight setting and the burst of sample data. The correlation degree of the number series and the target sequence is measured by the grey correlation degree, and the coincidence degree between the actual network security level and the evaluation standard is more reflected. The example shows that the proposed method can effectively evaluate the network security grade.

**Keywords** Comprehensive weighting, Analytic hierarchy process, Rough set, Grey relational analysis, Network security grade evaluation

## 1 引言

信息和网络技术的迅速发展,给人们带来便利的同时,也给信息系统带来了日益严重的安全问题。信息泄露、拒绝服务攻击、勒索病毒等网络安全事件频发,给信息系统造成了严重的损害。围绕信息系统的安全保护能力评估问题,产生了网络安全等级测评<sup>[1]</sup>的概念,即依据网络安全等级保护的国家标准或行业标准,按照特定方法对信息系统的安全保护能力进行科学公正的综合评判。网络安全等级测评有助于信息系统按照既定的网络安全等级运行,进而减少网络安全事件的发生,降低信息系统网络安全风险。

在网络安全等级测评过程中,其核心问题包括两个方面。一是选取合适的评价指标体系,并确定各指标的权重<sup>[2]</sup>,使其更加科学、合理。二是选择合适的评估模型,使评估结果更加准确。有文献依赖专家的经验知识,采用层次分析法等<sup>[3]</sup>主观评价方法,评价效率较高,但结果过于主观;部分文献采用粗糙集理论等<sup>[4]</sup>客观方法,评估过程清晰明确,但评估结果易受数据集异常数据的干扰。此外,也有文献采用了主观和客观相结合的评价思路<sup>[5]</sup>,但未考虑各评估要素之间的关联程度,造成评价结果偏差增大。

本文综合运用层次分析法(AHP)和粗糙集理论,采用主客观相结合的方法对指标的重要性进行综合度量。对指标权重

进行赋值后,采用灰色关联度分析模型<sup>[6]</sup>度量各评估要素之间的关联程度,提高了模型的准确率。最后结合实验数据分析,证明了本文所述评价方法的有效性和合理性。

## 2 信息系统网络安全等级评价指标体系

确定网络安全等级评价指标体系是评估信息系统安全的基础,指标的选取是否科学合理,直接影响评估结果的准确性及合理性。本文参考《GB/T 22239-2019 信息安全技术 网络安全等级保护通用要求》<sup>[7]</sup>,构建了信息系统安全评估指标体系。该标准将信息系统网络安全防护等级划分为 5 个等级。各网络安全等级测评指标包括安全物理环境、安全通信网络、安全区域边界、安全计算环境、安全管理中心、安全管理制度、安全管理机构、安全管理人员、安全建设管理和安全运维管理等 10 个单元的安全指标,不同的安全等级安全指标要求各不相同。

信息系统网络安全等级评估指标体系分为 3 个层次,分别为整体层、单元层和指标层,如图 1 所示。将每个评价指标的测评数据从下到上汇聚成 1 个整体安全值,用于体现信息系统的整体安全状况。

第一层(整体层):体现信息系统的整体安全状况,其评价指标是由第二层(单元层)指标组成。

第二层(单元层):10 个单元的安全值是通过专家对第三

层的测评指标进行测评得出的结果。

第三层(指标层):是信息系统的具体评价指标,其得分来

源于测评专家打分。不同安全等级的信息系统,其测评指标的数量也不同。

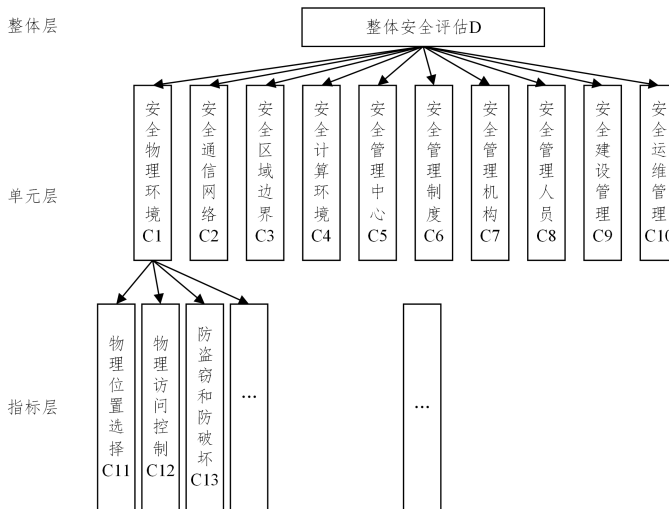


图1 网络安全等级评价指标体系

Fig. 1 Index system of network security grade evaluation

### 3 基于 AHP 和粗糙集理论的综合赋权

本文综合运用层次分析法和粗糙集理论对网络安全等级评价指标体系进行综合赋权。综合赋权综合了主客观赋权的优点,能够对结果进行有效的修正。

#### 3.1 基于 AHP 的主客观赋权

层次分析法(AHP)是典型的基于定性与定量相结合的方法<sup>[3]</sup>,可以将复杂问题分解成递阶层次结构,然后用两两比较的方法确定决策方案的相对重要性。该方法本质上是基于专家经验,并对层次结果处理过程中的相对标度做出了明确定义,具有良好的可应用性。具体步骤如下。

##### Step1 构建判断矩阵 A

以某一确定层次中的某一元素为标准,对其下层的各元素的重要性进行逐个两两比较,采用 1-9 标度法进行定量描述,完成判断矩阵的建立,并根据一致性检验公式检验该矩阵的有效性。该步骤的主要工作如下。

##### (1) 计算一致性指标 CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{1}$$

其中,  $\lambda_{\max}$  代表矩阵 A 的最大特征值, n 表示判断矩阵维度。

##### (2) 计算一致性比率 CR

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{2}$$

其中, RI 为平均随机一致性指标,其与判断矩阵维度 n 的对应关系如表 1 所列。

表 1 平均随机一致性指标

Table 1 Average random consistency index

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

若 CR 大于或等于 0.1,则说明判断矩阵 A 不满足一致性要求,需要更改部分比较值进行重新检验;若 CR 小于 0.1,则说明判断矩阵 A 满足一致性要求。

##### Step2 计算相对权重

相对权重即被比较元素对上一层关联准则的重要程度,

基于第一步建立符合一致性检验的判断矩阵,利用方根法得到各元素的权重,并进行归一化处理。

#### 3.2 基于粗糙集理论的客观权重

粗糙集理论<sup>[2]</sup>是根据属性的重要性来确定指标权重,通过删除某项指标来判断其对评价结果影响的大小,从而反映该指标在评价体系中的重要性,进而得到指标的权重。

##### 3.2.1 粗糙集的相关概念

###### 1) 知识

在粗糙集理论中,知识是对事物分类的能力,这里的事物指任何对象。设  $U \neq \emptyset$  是研究对象的一个集合(称为论域),设 R 是 U 上的一个等价关系,则给定等价关系 R 和论域 U,知识就是通过 R 对 U 进行划分,记为  $U/R$ 。

###### 2) 集合的上近似和下近似

令  $X \subseteq U$ ,当 X 能用属性子集 B 确切地描述时,称 X 是 B 可定义的,否则称 X 是 B 不可定义的。B 可定义集也称为 B 精确集, B 不可定义集也称为 B 非精确集或 B 模糊集。对于每个概念 X(样例子集)和不分明关系 B,包含于 X 中的最大可定义集和包含于 X 的最小可定义集,都是根据 B 能够确定的,前者称为 X 的下近似集(记为  $B_-(X)$ ),后者称为 X 的上近似集(记为  $B^-(X)$ )。

上近似集和下近似集的形式化定义如下。

给定知识表达系统  $S = (U, R, V, f)$ ,对于每个子集  $X \subseteq U$  和不分明关系 B, X 的上近似集和下近似集分别可以由 B 的基本集定义,表达式如下:

$$B_-(X) = \cup \{Y_i | [Y_i \in U | IND(B) \wedge Y_i \subseteq X]\}$$

$$B^-(X) = \cup \{Y_i | [Y_i \in U | IND(B) \wedge Y_i \cap X \neq \emptyset]\}$$

其中,  $U | IND(B) = \{X | (X \subseteq U \wedge \forall x \forall y, \forall b(b(x) = b(y)))\}$  是不分明关系 B 对 U 的划分,也是论域 U 的 B 基本集的集合。  $pos_B(X) = B_-(X)$  称为 X 的 B 正域。

###### 3) 知识的依赖性

设 C, D 是 U 上的等价关系,为说明 C 和 D 之间的不确定关系,定义知识 D 对知识 C 的依赖程度为:

$$k = \gamma_C(D) = card(pos_C D) / card(U) \tag{3}$$

其中, card() 表示集合的基数。依赖程度  $k \in [0, 1]$ ,数值

越大,则依赖程度越高。

#### 4) 属性重要性

一个对象的条件属性值和决策值构成一条信息,则多个对象的信息构成一个决策表。为了找到此决策表中某条件属性的重要性,则从表中将该条件属性去掉,再判断对象的分类变化。若对象分类发生相应的变化,则表示该条件属性比较重要,相反该条件属性的重要性较小。

对于决策表  $S=(U,R,V,f), C \cup D=R$ , 条件属性  $c_i \in C (i=1,2,\dots,n)$ , 条件属性  $c_i$  的重要性程度为  $k_i$ , 如式(4)所示。

$$k_i = r_c(D) - r_{C/c_i}(D) = \frac{\text{card}(\text{pos}_c(D)) - \text{card}(\text{pos}_{C/c_i}(D))}{\text{card}(U)} \quad (4)$$

其中,  $\text{card}(U)$  表示集合  $U$  中元素的个数,  $\text{pos}_{C/c_i}(D)$  是  $D$  相对于  $C/c_i$  的正域,  $\text{card}(\text{pos}_{C/c_i}(D))$  表示集合  $\text{pos}_{C/c_i}(D)$  中元素的个数。

#### 3.2.2 基于粗糙集理论赋权

利用粗糙集属性重要性计算指标权重的步骤如下。

step1 构建知识表达系统。将评价指标作为条件属性, 其集合为  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ ; 将整体安全值  $y$  视为决策属性, 其集合为  $D = \{y\}$ 。第  $k$  个信息系统的单元安全值和整体安全值构成一条信息, 其是知识系统中的一条信息, 表示  $u_k = (c_{1k}, c_{2k}, \dots, c_{mk}, y_k)$ , 从而论域为  $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ , 则由  $u_k$  构成的二维信息表就是关于要评价对象的知识表达系统。

step2 对知识表达系统进行离散处理;

step3 计算知识  $R_D$  对知识  $R_C$  的依赖程度  $\gamma_{R_C}(R_D)$ :

$$\gamma_{R_C}(R_D) = \frac{\text{card}(\text{pos}_{R_C}R_D)}{\text{card}(U)} \quad (5)$$

step4 计算知识  $R_D$  对知识  $R_{C-\{c_i\}}$  的依赖程度  $\gamma_{C-\{c_i\}}(R_D), i=1,2,\dots,m$ :

$$r_{C-\{c_i\}}(R_D) = \frac{\text{card}(\text{pos}_{C-\{c_i\}}R_D)}{\text{card}(U)} \quad (6)$$

step5 计算评价指标  $c_i$  的权重:

$$\sigma_D(c_i) = \gamma_{R_C}(R_D) - \gamma_{C-\{c_i\}}(R_D), i=1,2,\dots,m \quad (7)$$

step6 经归一化处理, 可计算出评价指标  $c_i$  的重要性, 即权重  $w_i$ , 其表达式如下:

$$w_i = \sigma_D(c_i) / \sum_{i=1}^m \sigma_D(c_i) \quad (8)$$

#### 3.3 主客观综合赋权法

综合运用层次分析法和粗糙集理论, 对指标的重要性进行综合度量, 既避免了采用层次分析法中专家打分的主观过程, 又避免了采用粗糙集理论样本数据的突发性或不正确性。

设  $\mathbf{X}$  为判断矩阵,  $\mathbf{R}=(r_{ij})_{m \times n}$  为归一化后的判断矩阵,  $r_j^*$  为判断矩阵中第  $i$  列中指标值的最优值。基于层次分析法和粗糙集理论的主客观综合赋权法的步骤如下。

1) 基于层次分析法确定主客观权重。主观权重  $W'=(w_1', w_2', \dots, w_n')$ , 满足  $\sum_{i=1}^n w_i' = 1$ 。

2) 使用粗糙集理论确定客观权重。客观权重  $W''=(w_1'', w_2'', \dots, w_n'')$ , 满足  $\sum_{i=1}^n w_i'' = 1$ 。

3) 综合主观权重和客观权重得到综合权重  $W$ 。令  $\alpha$  和  $\beta$  分别表示主观权重和客观权重的重要程度, 则综合权重  $W = \alpha W' + \beta W''$ , 且  $\alpha$  和  $\beta$  满足约束条件  $\alpha + \beta = 1, 0 \leq \alpha, \beta \leq 1$ 。

$\alpha$  和  $\beta$  采用文献[8]中的计算方法, 具体如下:

$$\alpha = \frac{C_{22} - C_{12}}{C_{11} + C_{22} - 2C_{12}} \quad (9)$$

$$\beta = \frac{C_{11} - C_{12}}{C_{11} + C_{22} - 2C_{12}} \quad (10)$$

$$C_{11} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (r_j^* - r_{ij})^2 W_j'^2 \quad (11)$$

$$C_{12} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (r_j^* - r_{ij})^2 W_j' W_j'' \quad (12)$$

$$C_{22} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (r_j^* - r_{ij})^2 W_j''^2 \quad (13)$$

#### 4 灰色关联度分析模型

灰色理论<sup>[6]</sup>是针对“少数据不确定性”问题提出的, 主要包括灰关联度评价方法、灰色聚类分析方法。其最大的特点是对样本量没有严格的要求, 灰色理论在部分工程领域已经获得广泛的应用。本节使用灰色关联度分析法, 其主要思想是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度, 即“灰色关联度”<sup>[8]</sup>来衡量因素之间关联程度的一种方法。

所谓关联度, 即对于两个评价因素, 其随时间或不同对象而变化的关联性的量度。在系统发展过程中, 若两个因素变化的趋势具有一致性, 即变化程度较高, 则两者的关联度较高; 反之, 则较低。它为一个系统的发展变化态势提供了量化的度量, 以灰色关联度为测度去评价指标数列与目标数列的关联程度, 以得到评价结果的优劣。灰色关联度分析法<sup>[9-10]</sup>的计算步骤如下。

1) 选择参考数列

设  $X_{ik}$  为第  $i$  个评价单元的第  $k$  个指标的评价值, 取每个指标的最优值。当指标为效益型时取最大值, 当指标为成本型时取最小值, 参考数列记为:

$$X_0 = (X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0n}) \quad (14)$$

2) 确定评价矩阵

设评估系统有  $n$  个评价单元和  $m$  个评价指标, 评价矩阵为:

$$\mathbf{X} = (X_{ik})_{n \times m} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad (15)$$

3) 计算关联系数

关联系数是分析评估数据与最优值接近程度的数值, 第  $i$  个评估对象与第  $k$  项指标数据  $X_{ik}$  的关联系数为:

$$\epsilon_{ik} = \frac{\min_i \min_k |X_{0k} - X_{ik}| + \rho \max_i \max_k |X_{0k} - X_{ik}|}{|X_{0k} - X_{ik}| + \rho \max_i \max_k |X_{0k} - X_{ik}|} \quad (16)$$

其中,  $\rho$  为分辨系数, 满足  $0 < \rho < 1$ , 其作用是提高关联系数之间的差异显著性, 通常取 0.5。

4) 计算关联度

关联度是关联系数的集中表现, 其计算式如下:

$$R_{oi}(k) = \sum_{k=1}^m \omega_k \epsilon_{oi}(k), i=1,2,\dots,n; k=1,2,\dots,m \quad (17)$$

其中,  $\omega_k$  为各指标的权重,  $0 \leq \omega_k \leq 1, \sum_{k=1}^m \omega_k = 1$ 。

#### 5 基于综合赋权的网络安全等级灰色评价方法

##### 5.1 应用实例

本文针对整体安全评估数值计算进行实例验证。假设有

15 个信息系统按照 GB/T 22239-2019 标准的三级等级保护标准进行测评,系统的整体安全值  $d$  由安全物理环境  $c_1$ 、安全通信网络  $c_2$ 、安全区域边界  $c_3$ 、安全计算环境  $c_4$ 、安全管理

中心  $c_5$ 、安全管理制度  $c_6$ 、安全管理机构  $c_7$ 、安全管理人员  $c_8$ 、安全建设管理  $c_9$  和安全运维管理  $c_{10}$  等 10 个单元安全值的平均值得到,各单元层评估数值如表 2 所列。

表 2 各指标的评估数据  
Table 2 Evaluation data of each index

Sample	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_8$	$c_9$	$c_{10}$	$d$
$K_1$	75.4	45.3	62.3	56.2	48.3	65.0	65.2	71.2	75.3	88.6	65.3
$K_2$	81.3	81.5	81.0	83.8	64.0	72.5	78.0	75.0	88.7	69.2	77.5
$K_3$	79.6	88.1	76.7	82.5	88.4	91.5	88.9	86.3	86.9	64.5	83.3
$K_4$	67.6	82.4	70.2	53.8	51.4	75.5	60.3	68.2	76.4	90.2	69.6
$K_5$	66.8	69.5	91.9	79.8	75.7	90.7	72.1	78.6	69.2	78.9	77.3
$K_6$	70.5	86.8	76.7	52.5	88.5	66.9	69.5	72.1	68.2	88.9	74.1
$K_7$	84.0	88.0	89.0	82.5	66.9	91.5	66.3	69.5	84.6	75.6	79.8
$K_8$	75.0	78.2	81.0	85.9	65.0	96.5	78.9	65.3	78.4	67.4	77.2
$K_9$	89.0	89.8	95.6	89.4	91.5	88.9	94.3	88.9	89.3	68.4	88.5
$K_{10}$	95.6	82.6	78.2	84.6	90.3	84.6	91.9	88.3	85.6	66.7	84.8
$K_{11}$	81.2	90.3	86.3	87.3	88.6	91.5	71.3	91.2	89.6	78.2	85.6
$K_{12}$	86.9	88.6	88.1	90.2	71.2	94.6	69.2	82.3	80.6	75.4	82.7
$K_{13}$	76.5	75.6	92.3	76.8	66.8	84.2	75.4	66.9	84.5	69.4	76.8
$K_{14}$	72.3	95.1	75.1	56.9	50.9	72.5	71.2	68.7	71.2	59.1	69.3
$K_{15}$	69.4	49.9	66.1	55.6	58.1	69.3	72.3	76.5	65.2	58.4	64.1

5.2 基于层次分析法确定权重

(1)构造判断矩阵

对于影响安全等级评估的每个单元因素,用成对比较法和 1—9 比较尺度构造成对比较矩阵。对网络安全等级评估指标体系中各单元层指标之间的重要程度进行比较,得出指标的判断矩阵  $C$ 。

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/5 & 1/6 & 1/5 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1/3 \\ 4 & 1 & 1/2 & 1/3 & 1/4 & 4 & 5 & 2 & 3 & 5 \\ 5 & 2 & 1 & 2 & 1/2 & 3 & 5 & 4 & 4 & 3 \\ 6 & 3 & 1/2 & 1 & 3 & 3 & 6 & 5 & 5 & 4 \\ 5 & 4 & 2 & 1/3 & 1 & 5 & 4 & 3 & 4 & 2 \\ 2 & 1/4 & 1/3 & 1/3 & 1/5 & 1 & 3 & 2 & 2 & 1/3 \\ 2 & 1/5 & 1/5 & 1/6 & 1/4 & 1/3 & 1 & 2 & 1/3 & 1/4 \\ 3 & 1/2 & 1/4 & 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 2 & 1/3 & 1/4 & 1/5 & 1/4 & 1/2 & 3 & 2 & 1 & 1/5 \\ 3 & 1/5 & 1/3 & 1/4 & 1/2 & 3 & 4 & 3 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

(2)一致性检验

由表 1 可得出 10 阶矩阵的  $RI$  值为 1.49。判断矩阵  $C$  的最大特征值  $\lambda_{max} = 11.2493$ 。

由式(1)得到  $CI = 0.1388$ ,由式(2)得到  $CR = 0.0932 < 0.10$ ,因此判断矩阵满足一致性检验。

(3)权重获取

由于构造的判断矩阵  $C$  满足一致性检验,因此判断矩阵  $C$  的特征向量就是指标权重。由此得到归一化后的主观权重为:

$$W' = (0.0243, 0.1298, 0.1787, 0.2243, 0.1881, 0.0526, 0.0316, 0.0374, 0.0432, 0.0899)$$

5.3 基于粗糙集属性重要度确定权重

1)对知识表达系统进行离散化处理形成决策表

设论域  $U = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\}$ , 指标集合  $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9, c_{10}\}$ , 决策集合  $D = \{d\}$ 。对所采集的样本数据进行离散化处理,1 表示实际测评结果与测评等级符合度低,2 表示实际测评结果与测评等级符合度一般,3 表示实际测评结果与测评等级符合度高。形成如表 3 所列的决策表。

表 3 决策表

Table 3 Decision table

论域	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_8$	$c_9$	$c_{10}$	$d$
1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	3	2
2	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2	2
3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3
4	2	3	2	1	1	2	2	2	2	3	2
5	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2
6	2	3	2	1	3	2	2	2	2	3	2
7	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2
8	2	2	3	3	2	3	2	2	2	2	2
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3
10	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3
11	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3
12	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	3
13	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2
14	2	3	2	1	1	2	2	2	2	1	2
15	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2

2)计算指标权重

利用式(7)一式(9)计算各指标的权值,计算得到各指标的权值为:

$$\begin{aligned} \sigma_D(c_1) &= (card(pos_{R_C} R_D) - card(pos_{R_{C-\{c_1\}}} R_D)) / card(U) \\ &= (15 - 14) / 15 = 1/15 \\ \sigma_D(c_2) &= (card(pos_{R_C} R_D) - card(pos_{R_{C-\{c_2\}}} R_D)) / card(U) \\ &= (15 - 14) / 15 = 1/15 \\ \sigma_D(c_3) &= (card(pos_{R_C} R_D) - card(pos_{R_{C-\{c_3\}}} R_D)) / card(U) \\ &= (15 - 14) / 15 = 1/15 \\ \sigma_D(c_4) &= (card(pos_{R_C} R_D) - card(pos_{R_{C-\{c_4\}}} R_D)) / card(U) \\ &= (15 - 14) / 15 = 1/15 \\ \sigma_D(c_5) &= (card(pos_{R_C} R_D) - card(pos_{R_{C-\{c_5\}}} R_D)) / card(U) \\ &= (15 - 14) / 15 = 1/15 \\ \sigma_D(c_6) &= (card(pos_{R_C} R_D) - card(pos_{R_{C-\{c_6\}}} R_D)) / card(U) \\ &= (15 - 14) / 15 = 1/15 \\ \sigma_D(c_7) &= (card(pos_{R_C} R_D) - card(pos_{R_{C-\{c_7\}}} R_D)) / card(U) \\ &= (15 - 14) / 15 = 1/15 \\ \sigma_D(c_8) &= (card(pos_{R_C} R_D) - card(pos_{R_{C-\{c_8\}}} R_D)) / card(U) \\ &= (15 - 13) / 15 = 2/15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_D(c_9) &= (\text{card}(\text{pos}_{R_C} R_D) - \text{card}(\text{pos}_{R_C-(c_9)} R_D)) / \text{card}(U) \\ &= (15 - 14) / 15 = 1/15\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_D(c_{10}) &= (\text{card}(\text{pos}_{R_C} R_D) - \text{card}(\text{pos}_{R_C-(c_{10})} R_D)) / \text{card}(U) \\ &= (15 - 13) / 15 = 2/15\end{aligned}$$

3) 指标权重归一化处理

利用式(8)对各个指标的权重进行归一化处理,最终得到各指标的客观权重,表达式为。

$$W'' = (0.0833, 0.0833, 0.0833, 0.0833, 0.0833, 0.0833, 0.0833, 0.1667, 0.0833, 0.1667)$$

#### 5.4 基于主客观综合赋权法确定权重

根据 3.3 节主客观综合赋权计算方法,由样本数据表 2 中各指标数值构造判断矩阵  $X$ :

$$X = \begin{bmatrix} 75.4 & 45.3 & 62.3 & 56.2 & 48.3 & 65.0 & 65.2 & 71.2 & 75.3 & 88.6 \\ 81.3 & 81.5 & 81.0 & 83.8 & 64.0 & 72.5 & 78.0 & 75.0 & 88.7 & 69.2 \\ 79.6 & 88.1 & 76.7 & 82.5 & 88.4 & 91.5 & 88.9 & 86.3 & 86.9 & 64.5 \\ 67.6 & 82.4 & 70.2 & 53.8 & 51.4 & 75.5 & 60.3 & 68.2 & 76.4 & 90.2 \\ 66.8 & 69.5 & 91.9 & 79.8 & 75.7 & 90.7 & 72.1 & 78.6 & 69.2 & 78.9 \\ 70.5 & 86.8 & 76.7 & 52.5 & 88.5 & 66.9 & 69.5 & 72.1 & 68.2 & 88.9 \\ 84.0 & 88.0 & 89.0 & 82.5 & 66.9 & 91.5 & 66.3 & 69.5 & 84.6 & 75.6 \\ 75.0 & 78.2 & 81.0 & 85.9 & 65.0 & 96.5 & 78.9 & 65.3 & 78.4 & 67.4 \\ 89.0 & 89.8 & 95.6 & 89.4 & 91.5 & 88.9 & 94.3 & 88.9 & 89.3 & 68.4 \\ 95.6 & 82.6 & 78.2 & 84.6 & 90.3 & 84.6 & 91.9 & 88.3 & 85.6 & 66.7 \\ 81.2 & 90.3 & 86.3 & 87.3 & 88.6 & 91.5 & 71.3 & 91.2 & 89.6 & 78.2 \\ 86.9 & 88.6 & 88.1 & 90.2 & 71.2 & 94.6 & 69.2 & 82.3 & 80.6 & 75.4 \\ 76.5 & 75.6 & 92.3 & 76.8 & 66.8 & 84.2 & 75.4 & 66.9 & 84.5 & 69.4 \\ 72.3 & 95.1 & 75.1 & 56.9 & 50.9 & 72.5 & 71.2 & 68.7 & 71.2 & 59.1 \\ 69.4 & 49.9 & 66.1 & 55.6 & 58.1 & 69.3 & 72.3 & 76.5 & 65.2 & 58.4 \end{bmatrix}$$

采用极值处理法来对指标进行归一化处理。考虑到指标均为效益型,预处理公式为:

$$X_i' = (0.9 - 0.1) \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} + 0.1 \quad (18)$$

其中,  $X_i$  为第  $i$  项指标的观测值,  $X_{\max}$  为各指标观测值的最大值,  $X_{\min}$  为各指标观测值的最小值。归一化后的矩阵  $R$  为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.34 & 0.10 & 0.10 & 0.18 & 0.10 & 0.10 & 0.22 & 0.28 & 0.43 & 0.86 \\ 0.50 & 0.68 & 0.55 & 0.76 & 0.39 & 0.29 & 0.52 & 0.40 & 0.87 & 0.37 \\ 0.46 & 0.79 & 0.45 & 0.74 & 0.84 & 0.77 & 0.77 & 0.75 & 0.81 & 0.25 \\ 0.12 & 0.70 & 0.29 & 0.13 & 0.16 & 0.37 & 0.10 & 0.19 & 0.47 & 0.90 \\ 0.10 & 0.49 & 0.81 & 0.68 & 0.61 & 0.75 & 0.38 & 0.51 & 0.23 & 0.62 \\ 0.20 & 0.77 & 0.45 & 0.10 & 0.84 & 0.15 & 0.32 & 0.31 & 0.20 & 0.87 \\ 0.58 & 0.79 & 0.74 & 0.74 & 0.44 & 0.77 & 0.24 & 0.23 & 0.74 & 0.53 \\ 0.33 & 0.63 & 0.55 & 0.81 & 0.41 & 0.90 & 0.54 & 0.10 & 0.53 & 0.33 \\ 0.72 & 0.81 & 0.90 & 0.88 & 0.90 & 0.71 & 0.90 & 0.83 & 0.89 & 0.35 \\ 0.90 & 0.70 & 0.48 & 0.78 & 0.88 & 0.60 & 0.84 & 0.81 & 0.77 & 0.31 \\ 0.50 & 0.82 & 0.68 & 0.84 & 0.85 & 0.77 & 0.36 & 0.90 & 0.90 & 0.60 \\ 0.66 & 0.80 & 0.72 & 0.90 & 0.52 & 0.85 & 0.31 & 0.63 & 0.60 & 0.53 \\ 0.37 & 0.59 & 0.82 & 0.62 & 0.44 & 0.59 & 0.46 & 0.15 & 0.73 & 0.38 \\ 0.25 & 0.90 & 0.41 & 0.19 & 0.15 & 0.29 & 0.36 & 0.21 & 0.30 & 0.12 \\ 0.17 & 0.17 & 0.19 & 0.17 & 0.28 & 0.21 & 0.38 & 0.45 & 0.10 & 0.10 \end{bmatrix}$$

由于所有指标均为效益型指标,因此可以得到:

$$r_j^* = (0.90, 0.90, 0.90, 0.90, 0.90, 0.90, 0.90, 0.90, 0.90, 0.90)$$

利用式(11)~式(15)得到:

$$\alpha = 0.3921, \beta = 0.6079. \text{ 最终由 } W = \alpha W' + \beta W'' \text{ 得到综合}$$

权重:

$$W = (0.0602, 0.1015, 0.1207, 0.1386, 0.1244, 0.0713, 0.0630, 0.1160, 0.0676, 0.1366)$$

#### 5.5 基于灰色关联度分析的网络安全等级评价

该模型使用主客观综合赋权法得到指标权重后,运用灰色关联度分析算法得到评估结果。

1) 确定评价矩阵及参考数列

评价矩阵  $X$  与 4.4 节判断矩阵相同。鉴于网络安全等级评测各单元值越接近 1.0,说明网络安全等级符合度越高,本文设计参考数列如下:

$$X_0 = (1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0)$$

2) 计算关联度得到关联矩阵

由评价矩阵及参考数列得到绝对差序列矩阵  $\Delta$ :

$$\Delta = \begin{bmatrix} 0.66 & 0.90 & 0.90 & 0.82 & 0.90 & 0.90 & 0.78 & 0.72 & 0.57 & 0.14 \\ 0.50 & 0.32 & 0.45 & 0.24 & 0.61 & 0.71 & 0.48 & 0.60 & 0.13 & 0.63 \\ 0.54 & 0.21 & 0.55 & 0.26 & 0.16 & 0.23 & 0.23 & 0.25 & 0.19 & 0.75 \\ 0.88 & 0.30 & 0.71 & 0.87 & 0.84 & 0.63 & 0.90 & 0.81 & 0.53 & 0.10 \\ 0.90 & 0.51 & 0.19 & 0.32 & 0.39 & 0.25 & 0.62 & 0.49 & 0.77 & 0.38 \\ 0.80 & 0.23 & 0.55 & 0.90 & 0.16 & 0.85 & 0.68 & 0.69 & 0.80 & 0.13 \\ 0.42 & 0.21 & 0.26 & 0.26 & 0.56 & 0.23 & 0.76 & 0.77 & 0.26 & 0.47 \\ 0.67 & 0.37 & 0.45 & 0.19 & 0.59 & 0.10 & 0.46 & 0.90 & 0.47 & 0.67 \\ 0.28 & 0.19 & 0.10 & 0.12 & 0.10 & 0.29 & 0.10 & 0.17 & 0.11 & 0.65 \\ 0.10 & 0.30 & 0.52 & 0.22 & 0.12 & 0.40 & 0.16 & 0.19 & 0.23 & 0.69 \\ 0.50 & 0.18 & 0.32 & 0.16 & 0.15 & 0.23 & 0.64 & 0.10 & 0.10 & 0.40 \\ 0.34 & 0.20 & 0.28 & 0.10 & 0.48 & 0.15 & 0.69 & 0.37 & 0.40 & 0.47 \\ 0.63 & 0.41 & 0.18 & 0.38 & 0.56 & 0.41 & 0.54 & 0.85 & 0.27 & 0.62 \\ 0.75 & 0.10 & 0.59 & 0.81 & 0.85 & 0.71 & 0.64 & 0.79 & 0.70 & 0.88 \\ 0.83 & 0.83 & 0.81 & 0.83 & 0.72 & 0.79 & 0.62 & 0.55 & 0.90 & 0.90 \end{bmatrix}$$

根据关联度系数计算式(18)可以计算得到关联矩阵:

$$E = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.41 & 0.41 & 0.43 & 0.41 & 0.41 & 0.45 & 0.47 & 0.54 & 0.93 \\ 0.58 & 0.72 & 0.61 & 0.80 & 0.52 & 0.47 & 0.59 & 0.52 & 0.95 & 0.51 \\ 0.55 & 0.83 & 0.55 & 0.77 & 0.91 & 0.81 & 0.81 & 0.78 & 0.86 & 0.46 \\ 0.41 & 0.73 & 0.47 & 0.42 & 0.43 & 0.51 & 0.41 & 0.44 & 0.56 & 1.00 \\ 0.41 & 0.57 & 0.86 & 0.71 & 0.65 & 0.79 & 0.51 & 0.59 & 0.45 & 0.66 \\ 0.44 & 0.80 & 0.55 & 0.41 & 0.91 & 0.42 & 0.49 & 0.48 & 0.44 & 0.94 \\ 0.63 & 0.83 & 0.78 & 0.77 & 0.55 & 0.81 & 0.45 & 0.45 & 0.77 & 0.60 \\ 0.49 & 0.67 & 0.61 & 0.86 & 0.53 & 1.00 & 0.60 & 0.41 & 0.60 & 0.49 \\ 0.75 & 0.87 & 1.00 & 0.97 & 1.00 & 0.74 & 1.00 & 0.89 & 0.98 & 0.50 \\ 1.00 & 0.73 & 0.57 & 0.82 & 0.96 & 0.65 & 0.91 & 0.86 & 0.81 & 0.48 \\ 0.58 & 0.88 & 0.71 & 0.90 & 0.91 & 0.81 & 0.50 & 1.00 & 1.00 & 0.65 \\ 0.69 & 0.84 & 0.75 & 1.00 & 0.59 & 0.92 & 0.48 & 0.67 & 0.65 & 0.60 \\ 0.51 & 0.64 & 0.87 & 0.66 & 0.55 & 0.64 & 0.55 & 0.42 & 0.77 & 0.51 \\ 0.46 & 1.00 & 0.53 & 0.44 & 0.42 & 0.47 & 0.50 & 0.44 & 0.48 & 0.41 \\ 0.43 & 0.43 & 0.44 & 0.43 & 0.47 & 0.44 & 0.52 & 0.55 & 0.41 & 0.41 \end{bmatrix}$$

3) 计算关联度

将综合权重  $W$  及关联矩阵  $E$  代入关联度计算式(17)中,即得到各样本与参考数列的关联度矩阵为:

$$R = [0.5250, 0.6112, 0.7166, 0.5647, 0.6247, 0.6107, 0.6447, 0.6001, 0.8445, 0.7604, 0.8004, 0.7092, 0.5918, 0.5026, 0.4552]$$

15 个样本的灰色关联度排序如下:

$K_9 > K_{11} > K_{10} > K_3 > K_{12} > K_7 > K_5 > K_2 > K_6 > K_8 > K_{13} > K_4 > K_1 > K_{14} > K_{15}$

根据排序结果可以看出,与样本数据中给出的整体安全值排列顺序  $K_9 > K_{11} > K_{10} > K_3 > K_{12} > K_7 > K_2 > K_5 > K_8 > K_{13} > K_6 > K_4 > K_{14} > K_1 > K_{15}$  相比,15 个样本的整体顺序变化不大,但  $K_2, K_5$  的顺序,  $K_6, K_8, K_{13}$  的顺序,  $K_1, K_{14}$  的顺序发生了小范围的变化。这主要是由于本文综合赋权的方法对 10 个指标设置了不同的权重,因此造成了本文评价方法排序与采用平均权重排序结果的不一致,这也恰好说明了本文方法得到的网络安全等级符合度排序结果更加符合相关标准。

**结束语** 本文采用层次分析法和粗糙集理论综合赋权的方法对网络安全等级评价指标体系进行指标权重分析,并基于灰色关联度分析模型对 15 个评价对象的网络安全等级符合度进行评价排序。通过对样本数据的分析和计算,验证该方法的有效性。

在以往的网络等级评价中,经常利用专家打分的方法确定计算指标权重,人的主观因素和专家的能力水平成为了制约网络等级评价结果的关键。而利用粗糙集理论,可以对属性重要度进行度量,该度量根据论域中的样例得到,不依赖于人的先验知识。本文综合运用层次分析法(AHP)和粗糙集理论,对指标的重要性进行综合赋权,既避免了采用层次分析法中专家打分的主观过程,又避免了采用粗糙集理论样本数据的突发性或不正确性。在模型方面采用灰色关联分析模型衡量实测数据与标准数据之间的关联程度,能够得到更为准确的等级符合度,适合用于评价网络安全等级。

在实际测评过程中,利用粗糙集理论计算指标权重需注意对样本数据的选取要有一定的普遍性和代表性,本文所选用样本数据仅仅用于验证粗糙集方法的可行性。另外,对于原始定量数据的离散化方法不同,也会影响权重。

## 参 考 文 献

[1] SHEN C X, ZHANG P, LI H, et al. Principles and Practices of Classified Protection of Information System Security[M]. Beijing, Posts and Telecommunications Press, 2017.

- [2] WANG H M, WANG Y J, ZHANG Y R, et al. Research of Network Attack Effect Evaluating Based on Rough Set[J]. Application Research of Computers, 2007, 24(6): 118-120.
- [3] JIA C Q, FENG D Q. Security assessment for industrial control systems based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2016, 50(4): 7.
- [4] SONG C. Research on Network Attack effect Evaluation Model based on Rough and fuzzy comprehensive evaluation[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2021.
- [5] XU H Z, LIU S T, FENG L W. Operational Effectiveness Evaluation of Shipborne Radar Reconnaissance System Based on Vague Set and Combined Weighting[J]. Journal of Detection and Control, 2022, 44(3): 97-101, 109.
- [6] DENG J L. Fundamentals of Grey Theory[M]. Wuhan, Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.
- [7] State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Information security technology: Baseline for Classified Protection of Cybersecurity: GB/T22239-2019[S]. Beijing, Standards Press of China, 2019.
- [8] ZHANG S Y, LI D J, YANG N D. Grey Comprehensive Evaluation on Value Added Potential of Venture Business Based on Combination Weighting[J]. Control and Decision, 2008, 23(10): 1122-1128.
- [9] LI H J, XU T X. Missile Condition Evaluation and Decision Based on Improved Grey Relational Analysis with Combination Weighting[J]. Modern Defence Technology, 2021, 49(4): 91-98, 114.
- [10] JIN B Y, LIU Z, QIN J K. Two-stage Real-time Track Correlation Algorithm Based on Gray Correlation [J]. Acta Armamentarii, 2020, 41(7): 1330-1338.



**QIN Futong**, born in 1985, master. His main research interests include information security and risk analysis.