

# 基于灰色聚类的系统群安全评估方法

丁立彤 范九伦 刘意先

(西安邮电大学通信与信息工程学院 西安 710121)

**摘要** 目前大多数信息系统的安全评估工作基于某个单一系统,根据其各个属性分层评估其安全状态,而面向系统群来评价信息系统安全等级的方法较少。针对信息系统的安全需求,提出一种基于系统群的安全等级评估方法。考虑到灰色系统理论中的灰色聚类分析方法采用白化权函数将一些评价对象分为几个等级,适合于系统结构复杂、不确定性高、有效信息缺乏的系统分析,文中使用白化权函数来确定信息系统的安全评估等级。首先,从参与评价的信息系统的角度,采用高效快速的 K-均值聚类算法确定白化权函数;其次,运用白化权函数得出各个信息系统的灰级灰色聚类系数;最后,得出各个信息系统的安全状态等级。实例结果表明,该方法可快速有效地对信息系统群的安全等级进行评估。

**关键词** 白化权函数,灰色聚类,系统群评估,信息安全

**中图分类号** TP301 **文献标识码** A

## Method of Safety Evaluation for System Group Based on Grey Clustering

DING Li-tong FAN Jiu-lun LIU Yi-xian

(School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710121, China)

**Abstract** At present, most of the security assessment works of the information system are based on the single information system, and its security status is evaluated according to each attribute hierarchy. There are few methods to evaluate the security level of information system for system group. According to the security requirements of information system, a security level evaluation method based on system group was proposed. Taking into account the grey clustering analysis method of grey system theory, some evaluation objects are divided into several grades by using the whitening weight function, which is suitable for the system analysis of complex structure, high uncertainty and lack of effective information. In this paper, we used the whitening weight function to determine the level of security evaluation of information system. Firstly, from the point of view of the information system, a fast and efficient K-mean clustering algorithm is used to determine the whitening weight function. Secondly, the grey level grey clustering coefficient of each information system is obtained by using the whitening weight function. Finally, we can get the security level of each information system. The results show that this method can effectively evaluate the security level of information systems group.

**Keywords** Whitening weight function, Grey clustering, System group evaluation, Information security

## 1 引言

随着计算机技术和网络技术的飞速发展,大学、企业和政府等组织都建立了满足自己需求的信息系统。信息系统的建立提高了工作效率,带来了很多的好处,也造成了一些不可避免的安全问题。应对安全威胁的有效策略是评估信息系统的安全状态,以确定和解决潜在的问题。因此,提出一种有效且完整的信息系统的安全评估方法很有必要<sup>[1-4]</sup>。

信息系统是由计算机硬件、网络和通讯设备、计算机软件、信息资源、信息用户和规章制度组成用于处理信息流的人机一体化系统。其具有复杂的综合性、交叉性和边缘性,以及有效信息并不完全<sup>[5]</sup>等特点。因此要评估一个信息系统的安全状态,应考虑各个方面,如硬件可靠性、网络可靠性和灾难

恢复能力等。信息系统安全等级评估主要分为定量评分和定性评级。定量评分即根据信息系统的指标值,为其确定一个分数来表示其安全性能,如 0 到 1 之间的任意分数。定性评级即根据信息系统的属性值,为其分配一个安全等级,如高、较高、中、较低、低。

灰色系统理论中的灰色聚类分析方法采用白化权函数将一些评价对象分为几个等级<sup>[6]</sup>,适合于系统结构复杂、不确定性高、有效信息缺乏的系统分析<sup>[7-9]</sup>,因此本文采用灰色聚类分析方法对各个系统进行评估。灰色白化函数聚类主要用来检测被观察的对象是否属于事先已分好的不同类别<sup>[10]</sup>,适合于判定信息系统的安全级别。白化权函数的确定是灰色聚类评估过程中由定量分析到定性评估的关键,可以定量地描述某一评估对象隶属于某个灰类的程度<sup>[11]</sup>,为确定各个信息系

本文受国家自然科学基金项目(61671377),西安邮电大学研究生创新基金(CXL2016-28)资助。

丁立彤(1993—),女,硕士生,主要研究方向为信息安全;范九伦(1964—),男,博士后,教授,CCF 高级会员,主要研究方向为模糊理论、信息安全;刘意先(1980—),硕士生,高级工程师,主要研究方向为网络与信息安全。

统安全等级工作提供数据支持。白化权函数可以采用类比法确定,也可以根据系统的聚类评价指标矩阵  $M$  的最大值、最小值或中间值确定,或根据实际情况和专家经验主观拟定<sup>[12-13]</sup>。本文使用相对简单、快速的 K-均值聚类算法来对待评价的信息系统进行初步聚类分析,再通过各簇的评价指标矩阵求平均值得到白化权函数的转折点,进而确定白化权函数。

目前大多数信息系统的安全状态评估工作都是针对某单一系统内部节点的众多属性来进行的,而从系统群的角度来评估各个信息系统安全等级的评估方法还比较少,系统群即是按照同一标准评价的不同安全状态的一组系统。这组系统的安全性指标值相近,可用聚类的方法判别其状态。本文针对系统群提出一种基于灰色聚类算法并结合白化权函数的信息系统安全评价方法,还通过一个应用例子来评估信息系统的安全状态。结果表明,该方法可以快速有效地评估信息系统的安全状态。

本文第 2 节介绍了信息系统安全状态评估所选用的评价指标;第 3 节提出基于白化权函数的信息系统安全状态评价方法;第 4 节给出一个应用该方法评估信息系统的实例;最后对全文进行总结并对未来工作进行展望。

## 2 信息系统安全评价指标

影响信息系统安全的因素很多,有的因素难以定量描述。在过去的几年中,计算机技术和相关行业的技术得到了很大发展,信息系统大多由先进的硬件以及外围设备组成,如消防设施、不间断电源和先进的监控设施。本文选取的安全评价指标主要集中在系统的鲁棒性、通信的保密性、信息的完整性、数据备份及灾难恢复方面。

### 2.1 系统的鲁棒性

信息系统基本上由先进的硬件以及外围设备组成。但是即使硬件设备比其他计算机更具有可靠性,也不能排除它停止运行的可能,因为硬件故障难以在短时间解决。因此,为信息系统的服务器提供备份尤其重要。同时,网络的鲁棒性是指网络在遭到外界攻击后部分节点或者边失效时,网络可以维持其基本功能的能力,因此网络的连通度也是系统鲁棒性的保障<sup>[14-15]</sup>。本文选取服务器的备份数量以及网络的点连通度作为评价指标。

### 2.2 通信的保密性

数据加密是网络安全研究领域的一大体系。在通信中避免信息被窃取对于一些部门而言极其重要,例如政府、军事和情报机构,因此有必要在通信之前对数据进行复杂加密,这样将会大大提高信息系统的安全性。本文将信息的加密层数作为重要评价指标。

### 2.3 信息的完整性

信息系统的服务器与其他网络进行通信时是广泛分布的,因此,通信过程中信息的完整性很大程度上取决于网络的质量。与此同时,系统设计的逻辑问题以及敌手攻击的人为因素也对信息的完整性有着一定的影响。网络丢包率是数据包丢失部分与所传数据包总数的比值,可以很合理地反映出通信网络的质量。本文选取网络平均丢包率作为评价指标。

## 2.4 数据备份及灾难恢复

数据的备份是一个系统抗攻击能力的最重要因素。为防止系统崩溃时丢失数据,应对其进行定期的备份。若一个系统具有较高频率的数据备份,则其安全性能较其他系统而言具有很大的优势。信息系统灾难恢复能力是评估系统的安全性能的另一个不可或缺的因素,反映了一个系统在遭遇各种突发状况而关闭时,其能恢复到重新工作状态的时间<sup>[16-17]</sup>。本文选取数据的备份周期以及灾难恢复时间作为评估的重要指标。

本文将信息系统安全状态评估中的评价指标表示为  $L = \{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6\}$ , 其中  $L_j$  表示第  $j$  个评价指标。为条理清楚,我们认为一个评价指标值越小,该系统的安全性能就越高。因此,定义以下指标:  $L_1 = 1/\text{备份服务器的数量}$ ,  $L_2 = 1/\text{数据加密层数}$ ,  $L_3 = 1/\text{网络连通度}$ ,  $L_4 = \text{网络平均丢包率}$ ,  $L_5 = \text{数据备份周期(单位:天)}$ ,  $L_6 = \text{灾难恢复时间(单位:小时)}$ 。

## 3 信息系统安全性能的评价方法

### 3.1 规范指标值

由于取值范围大的属性对距离的影响大于取值范围小的属性,会导致评价结果出现偏差,因此为了平衡各个属性对距离的影响,需要将各属性按比例映射到相同的取值空间。本文用 min-max 标准化方法对原始数据进行线性变换,具体如公式(1)所示。

$$x'_{ij} = \frac{x'_{ij} - \min(x'_{ij})}{\max(x'_{ij}) - \min(x'_{ij})} \quad (1)$$

其中,  $x_{ij}$  表示规范化之后第  $i$  个评价对象中第  $j$  个属性的值;  $x'_{ij}$  表示原始数据,即规范化之前的第  $i$  个评价对象中第  $j$  个属性的值。

### 3.2 聚类

根据规范化后的数据,用 K-均值聚类算法对评价对象进行聚类。K-均值聚类算法的具体步骤如下:1)从待聚类对象中随机抽取  $K$  个元素作为  $K$  个簇各自的中心;2)分别计算剩下的元素与  $K$  个簇中心的相异度,该相异度可遵循距离最小原则,将其他元素划分到相异度最低的簇;3)根据第一轮聚类结果,重新计算  $K$  个簇各自的中心,方法是取簇中所有元素各自维度的算术平均;4)将所有对象按照新的簇中心重新聚类;5)重复步骤 3)和 4),直至聚类结果不再发生改变;6)输出聚类结果。具体聚类过程见第 4 节的实例举证,由该聚类结果可以得出白化权函数的转折点。

### 3.3 白化权函数

白化权函数是对灰数内各元素取值的可能性大小的函数形式表达,评估了评价对象定量属于灰类的程度,是对已掌握信息的客观反映<sup>[18]</sup>。根据本文中白化权函数由参与对象聚类确定这一具体情况,使用累积百分频率法构造白化权函数<sup>[19]</sup>。

信息系统的安全状态分为 5 个层次,即优秀、高、中、低、紧急。本节对每个指标定义了 5 条白化权函数的曲线。本文中白化权函数的转折点由聚类结果和各指标的初始值共同决定,如果一个白化权系数越小,就意味着属于当前类的可能性

越小。设  $N_1, N_2, \dots, N_5$  是 5 条白化权函数的曲线的 5 个转折折点, 5 个不同安全等级的白化权函数的曲线图如图 1 所示。

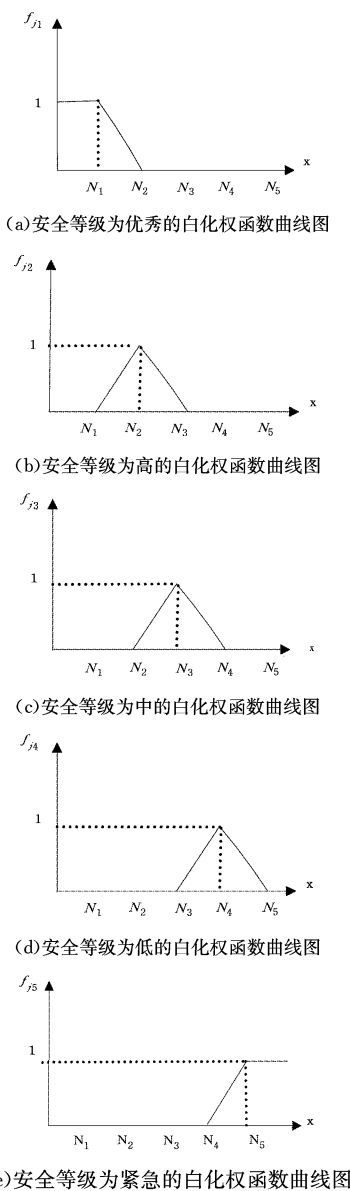


图 1 各个安全等级的白化权函数曲线图

安全等级为优秀的白化权函数如式(2)所示, 其他安全等级的白化权函数类似。

$$f_{j1}(x_{ij}) = \begin{cases} 1, & x_{ij} \leq N_1 \\ \frac{N_2 - x_{ij}}{N_2 - N_1}, & N_1 < x_{ij} \leq N_2 \\ 0, & x_{ij} > N_2 \end{cases} \quad (2)$$

3.4 设置评价指标权重

设  $\omega_j$  是第  $j$  个指标  $L_j$  的权重, 公式如下:

$$\sum_j \omega_j = 1 (0 < \omega_j < 1) \quad (3)$$

3.5 计算灰色聚类系数

评价对象  $i$  属于灰色聚类  $k$  的决策系数的计算公式为:

$$h_i^k = \sum_j \omega_j f_{jk}(x_{ij}) \quad (4)$$

3.6 确定评估安全级别

由上节可得出, 每一个评价对象分别对于  $k=1, k=2, \dots, k=5$ , 有一个数值表示该评价对象在该安全级别的可能性。即若:

$$h_i^{k'} = \max\{h_i^k\} \quad (5)$$

则第  $i$  个评价对象的安全级别是  $k'$ 。

4 评价方法应用实例

通过在 Windows 系统上用系统监控分析软件进行采集, 本文选择了 20 个统一标准的信息系统, 并通过有经验的安全工程师进行分析。首先得出各个评价系统的安全状态, 结果如表 1 所列。鉴于安全保密, 20 个系统分别由字母 A 到 T 表示。

表 1 安全工程师分析结果

信息系统	安全状态
A	Excellent
B	Excellent
C	Emergency
D	General
E	Excellent
F	Excellent
G	Excellent
H	General
I	Excellent
J	Emergency
K	Excellent
L	General
M	Excellent
N	Excellent
O	Excellent
P	Emergency
Q	Emergency
R	Low
S	Excellent
T	Excellent

接下来再应用本文提出的系统群的安全状态评估方法进行验证。各评价对象的评价指标值如表 2 所列。

表 2 初始指标值

信息系统	L1	L2	L3	L4	L5	L6
A	0.2000	0.5000	0.1000	0.065	6	18
B	0.2500	0.2500	0.3333	0.080	6	5
C	0.5000	1	1	0.1050	48	8
D	0.2500	1	0.25	0.0850	24	3
E	0.1667	0.3333	0.5	0.0350	12	2
F	0.2000	0.3333	0.5	0.0600	6	10
G	0.1000	0.2000	0.2000	0.0200	12	2
H	0.5000	0.5000	0.2500	0.0850	36	3
I	0.1205	0.2500	0.1250	0.0550	24	24
J	0.1000	1	0.1250	0.1150	48	18
K	0.1000	1	0.250	0.0650	4	5
L	0.2000	0.5000	0.1000	0.0200	7	8
M	0.1667	0.2000	0.1000	0.0850	24	3
N	0.2000	0.3333	0.3333	0.1250	28	4
O	0.2500	0.2500	0.1000	0.4500	4	24
P	0.5000	0.2500	0.2000	0.1150	32	18
Q	0.5000	1	0.0250	0.0400	24	24
R	0.2500	1	0.2000	0.0200	26	12
S	0.1205	0.2500	0.5000	0.0350	10	10
T	0.2000	0.5000	0.1000	0.1050	12	5

4.1 规范指标值

使用式(1)对原始指标值进行规范化, 得到的结果如表 3 所列。

表 3 规范化指标值

信息系统	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>
A	0.2500	0.3750	0	0.1047	0.0455	0.7273
B	0.3750	0.0625	0.2592	0.1395	0.0455	0.1364
C	1	1	1	0.1977	1	0.2727
D	0.3750	1	0.1667	0.1512	0.4545	0.0455
E	0.1667	0.1666	0.4444	0.0349	0.1818	0
F	0.2500	0.1666	0.4444	0.0930	0.0455	0.3636
G	0	0	0.1111	0	0.1818	0
H	1	0.3750	0.1667	0.1512	0.7273	0.0455
I	0.0625	0.0625	0.0278	0.0814	0.4545	1
J	0	1	0.0278	0.0221	1	0.7273
K	0	1	0.1667	0.1047	0	0.1364
L	0.2500	0.3750	0	0	0.0682	0.2727
M	0.1667	0	0	0.1512	0.4545	0.4545
N	0.2500	0.1666	0.2592	0.2442	0.5455	0.0909
O	0.3750	0.0625	0	1	0	1
P	1	0.0625	0.1111	0.2209	0.6364	0.7273
Q	1	1	0.1667	0.0465	0.4545	1
R	0.3750	1	0.1111	0	0.5000	0.4545
S	0.0625	0.0625	0.4444	0.0349	0.1364	0.3636
T	0.2500	0.3750	0	0.1977	0.1818	0.1364

4.2 聚类 and 确定白化权函数

为了对每个指标定义白化权函数的归一化值,本文使用 python 语言及 K-means 聚类算法,将以上 20 个信息系统聚为 5 类。聚类的结果如图 2 所示。

```
Python 3.5.2 Shell
Python 3.5.2 (v3.5.2:4def2a2901a5, Jun 26 2016, 10:47:25)
[GCC 4.2.1 (Apple Inc. build 5666) (dot 3)] on darwin
Type "copyright", "credits" or "license()" for more informati
on.
>>>
===== RESTART: /Users/teiritsu/Desktop/灰色/kmeans-xiug
ai.py =====
第一轮聚类结果为: 0 1 2 3 4 1 4 3 0 3 3 0 1 4 0 0 0 3 4 1
第二轮聚类结果为: 0 1 2 3 4 1 4 3 0 3 3 1 1 4 0 0 0 3 4 1
第三轮聚类结果为: 0 1 2 3 4 1 4 3 0 3 3 1 4 4 0 0 0 3 4 1
第四轮聚类结果为: 0 1 2 3 4 1 4 3 0 3 3 1 4 4 0 0 0 3 4 1
>>>
```

图 2 聚类结果

从聚类结果看出,得出的 5 个簇为:簇 1-A, I, O, P, Q;簇 2-B, F, L, T;簇 3-C;簇 4-D, H, J, K, R 和簇 5-E, G, M, N, S。根据 20 个信息系统的聚类结果,将表 2 中各指标的原始值按类求平均,再按从小到大排列,则可得到各指标的白化权函数的转折点,在表 4 中分别用 N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, ..., N<sub>5</sub> 来表示。

表 4 各指标白化权函数转折点

转折点	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>
N <sub>1</sub>	0.152	0.263	0.155	0.060	7.750	4.200
N <sub>2</sub>	0.213	0.395	0.215	0.066	17.200	7
N <sub>3</sub>	0.240	0.450	0.258	0.074	18	8
N <sub>4</sub>	0.315	0.900	0.327	0.105	27.600	8.200
N <sub>5</sub>	0.500	1	1	0.145	48	21.600

以评价指标 L<sub>1</sub> 为例, L<sub>1</sub> 的 5 个白化权值公式为:

$$f_{11}(x_{i1}) = \begin{cases} 1, & x_{i1} \leq 0.152 \\ \frac{0.213 - x_{i1}}{0.213 - 0.152}, & 0.152 < x_{i1} \leq 0.213 \\ 0, & x_{i1} > 0.213 \end{cases} \quad (6)$$

$$f_{12}(x_{i1}) = \begin{cases} 0, & x_{i1} \leq 0.152 \\ \frac{x_{i1} - 0.152}{0.213 - 0.152}, & 0.152 < x_{i1} \leq 0.213 \\ \frac{0.24 - x_{i1}}{0.24 - 0.213}, & 0.213 < x_{i1} \leq 0.24 \\ 0, & x_{i1} > 0.24 \end{cases} \quad (7)$$

$$f_{13}(x_{i1}) = \begin{cases} 0, & x_{i1} \leq 0.213 \\ \frac{x_{i1} - 0.213}{0.24 - 0.213}, & 0.213 < x_{i1} \leq 0.24 \\ \frac{0.315 - x_{i1}}{0.315 - 0.24}, & 0.24 < x_{i1} \leq 0.315 \\ 0, & x_{i1} > 0.315 \end{cases} \quad (8)$$

$$f_{14}(x_{i1}) = \begin{cases} 0 & x_{i1} \leq 0.24 \\ \frac{x_{i1} - 0.24}{0.315 - 0.24}, & 0.24 < x_{i1} \leq 0.315 \\ \frac{0.5 - x_{i1}}{0.5 - 0.315}, & 0.315 < x_{i1} \leq 0.5 \\ 0, & x_{i1} > 0.5 \end{cases} \quad (9)$$

$$f_{15}(x_{i1}) = \begin{cases} 0, & x_{i1} \leq 0.315 \\ \frac{x_{i1} - 0.315}{0.5 - 0.315}, & 0.315 < x_{i1} \leq 0.5 \\ 1, & x_{i1} > 0.5 \end{cases} \quad (10)$$

由此便可计算出所有评价指标所对应的白化权值公式,并且可以求出其所对应的白化权函数值。以评价对象 A 为例,其白化权函数值如表 5 所列。

表 5 评价对象 A 的白化权函数值

安全级别	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>
k=1	0.213	0	1	0.167	1	0
k=2	0.787	0	0	0.833	0	0
k=3	0	0.889	0	0	0	0
k=4	0	0.111	0	0	0	0.269
k=5	0	0	0	0	0	0.731

4.3 设置评价指标权重

评价指标权重的设定非常灵活,可以根据具体场合、具体需求来体现侧重点。比如,高校的评估侧重于可用性,而公安部门则要求机密性更高。因此,可以根据评估对象的需求设置合理的权重。本文通过调查相关资料和第 1 节所分析的侧重点,得到了各评价指标的权重,如表 6 所列。

表 6 评价指标的权重

评价指标	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>6</sub>
权重	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3

4.4 计算灰色聚类系数

用式(4)计算每个评价对象的 5 个灰级灰色聚类系数,结果如表 7 所列。

表 7 灰色聚类系数

信息系统	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5
A	0.3380	0.1620	0.1778	0.1023	0.2193
B	0.6142	0.0858	0.1673	0.1318	0.0009
C	0	0	0.300	0.100	0.600
D	0.3000	0.0186	0.3076	0.1738	0.2000
E	0.6791	0.2209	0	0.0743	0.0257
F	0.4147	0.1853	0	0.3341	0.0659
G	0.8348	0.1652	0	0	0
H	0.3000	0.0186	0.3237	0.1753	0.1824
I	0.5000	0	0.0750	0.1250	0.3000
J	0.2000	0	0	0.1557	0.6443
K	0.5309	0.1877	0.0814	0	0.2000
L	0.4213	0.0787	0.4778	0.0222	0
M	0.6759	0.0241	0.1395	0.1605	0
N	0.4147	0.1853	0	0.3451	0.0549
O	0.500	0	0.0867	0.0133	0.4000
P	0.2250	0.0750	0	0.3125	0.3875
Q	0.100	0.0186	0.1564	0.1250	0.6000
R	0.1250	0.0750	0.1201	0.3947	0.2852
S	0.5518	0.0482	0	0.3341	0.0659
T	0.4027	0.2547	0.1778	0.1222	0

#### 4.5 最终评价结果

根据式(5)得出每个评价对象的安全等级。20个评价系统的最终结果如表8所列。

表8 最终评定结果

信息系统	$k$ 值	安全等级
A	1	Excellent
B	1	Excellent
C	5	Emergency
D	3	General
E	1	Excellent
F	1	Excellent
G	1	Excellent
H	3	General
I	1	Excellent
J	5	Emergency
K	1	Excellent
L	3	General
M	1	Excellent
N	1	Excellent
O	1	Excellent
P	5	Emergency
Q	5	Emergency
R	4	Low
S	1	Excellent
T	1	Excellent

结果表明,信息系统 A, B, E, F, G, I, K, M, N, O, S 和 T 的安全等级是优秀;D, H 和 L 的安全等级是中;信息系统 R 的安全等级是低;C, J, P 和 Q 的安全等级是紧急,这与安全工程师的评估结果相符,说明本文提出的评估方法具有实用性、客观性、参考性。基于这个结果,我们建议安全等级比较低和较紧急的信息系统的管理者通过参考本文评估指标来提高风险防范能力。

**结束语** 本文在灰色聚类分析和白化权函数理论的基础上,针对信息系统群提出了系统安全评估方法,并且给出了一个应用该方法评估实际信息系统的例子。结果表明,该方法可以正确且有效地评估信息系统的安全状态。

目前只分析了根据信息系统整体的安全等级,未来的工作将致力于根据更细的安全等级进行聚类分析,比如网络性能类和应用性能类,在保证评估结果准确的同时发现更多细致、具体的问题,为信息系统的改善提供更具参考性的信息。

#### 参考文献

- [1] YANG X H, ZHANG S, LIU F, et al. A study on security evaluation for information systems based on grey clustering[C]// 2010 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS). Xiamen, China, 2010: 341-345.
- [2] 李波. 基于灰色系统理论的信息安全风险评估方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [3] 李廷元, 范成瑜, 秦志光, 等. 基于风险事件分类的信息系统评估模型研究[J]. 计算机应用, 2009, 29(10): 2806-2808.
- [4] 付沙, 杨波, 李博. 基于灰色模糊理论的信息系统安全风险研究[J]. 现代情报, 2013(7): 34-37.
- [5] 信息系统. 百度百科[OL]. [2016-10-25]. [http://baike.baidu.com/link?url=pX4o\\_ZgMs3b7\\_IPMjcG1jZzg4ZIBIaLHU2ZAggBtZk\\_P69gZPBgddyA7C2mK6xX4SH5xSY3h3Bm8ojV6Pgg3D3x\\_sGtr23GGHGtdff5ViOVSmvXnHP3Bb7T9Ymu0UxRg](http://baike.baidu.com/link?url=pX4o_ZgMs3b7_IPMjcG1jZzg4ZIBIaLHU2ZAggBtZk_P69gZPBgddyA7C2mK6xX4SH5xSY3h3Bm8ojV6Pgg3D3x_sGtr23GGHGtdff5ViOVSmvXnHP3Bb7T9Ymu0UxRg).
- [6] MA M, JIAO L L, HE Z M. Grey Clustering Analysis based performance evaluation on image segmentation[C]// 2009 International Conference on Test and Measurement. Hong Kong, 2009: 14-17.
- [7] CAO J H, KONG F S. Equipment status evaluation based on grey-clustering analysis[C]// 2011 IEEE 18Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM). Changchun, 2011: 113-117.
- [8] 卿松, 王晔, 彭鹏. 基于灰色聚类方法的电力系统安全评估[J]. 海峡科技与产业, 2016(7): 83-87.
- [9] 张平, 谷利泽, 杨义先. 灰色聚类评估模型在安全评估中的应用[C]// 2006年首届 ICT 大会信息、知识、智能及其转换理论第一次高峰论坛会议论文集. 北京, 2006.
- [10] 丁卉, 刘永红, 曹生现. 基于模糊-灰色聚类方法的城市空气质量评价研究[J]. 环境科学与技术, 2013(S2): 374-379.
- [11] GAO K L, XU R Z, WANG Y F, et al. A study of hierarchical network security situation evaluation system for electric power enterprise based on Grey Clustering Analysis[C]// 2011 International Conference on Computer Science and Service System (CSSS). Nanjing, 2011: 1990-1995.
- [12] 李志亮, 罗芳, 阮群生. 一种新的白化权函数的灰色聚类评价方法[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2015(4): 318-325.
- [13] 王正新, 党耀国, 刘思峰. 基于白化权函数分类区分度的变权灰色聚类[J]. 统计与信息论坛, 2011(6): 23-27.
- [14] 徐野. 复杂互联系统与网络鲁棒性研究[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015: 43-49.
- [15] 杜巍, 蔡萌, 杜海峰. 网络结构鲁棒性指标及应用研究[J]. 西安交通大学学报, 2010(4): 93-97.
- [16] 张艳. 信息系统灾难备份和恢复技术的研究及实现[D]. 成都: 四川大学, 2006.
- [17] 王桢楠, 周宁, 李建华. 信息系统灾难恢复能力评估方法研究[J]. 信息安全与通信保密, 2006(9): 172-175.
- [18] MA D M, ZHANG L N. Grey clustering comprehensive evaluation model for basin initial water rights allocation schemes[C]// International Conference on Cyberspace Technology (CCT 2014). Beijing, 2014: 1-4.
- [19] 董奋义, 肖美丹, 刘斌, 等. 灰色系统教学中白化权函数的构造方法分析[J]. 华北水利水电学院学报, 2010(3): 97-99.