

基于可变模糊理论的视频监控网络安全性能评估与印证研究

王克克¹ 边悦¹ 殷艳艳²

1 中国航天系统科学与工程研究院 北京 100037

2 北京师范大学-香港浸会大学联合国际学院 广东 珠海 519087

摘要 当前对视频监控网络安全的研究仍停留在安全指标体系和指标权重的层面。为更深入开展视频监控网络安全系统的性能研究,建立了采用可变模糊评价模型对视频监控网络安全系统进行安全性能评价的模型,并引入后悔理论对评价结果进行印证,然后采取实际案例验证了评价模型的有效性。采用可变模糊理论计算获得模糊评价模型、神经元激励函数模型、TOPSIS理想点模型、模糊优选评价模型的综合相对隶属度,然后获得这4种模型对应的评价结果,最后通过计算其算术均值而获得最终的评价等级。基于后悔理论的印证方法能够选择最优的评价方案,据此对采用可变模糊评价模型的评价结果进行印证。提出的评估模型有助于对视频监控网络的薄弱环节采取针对性措施,提高视频监控网络系统的整体安全性,为视频监控系统安全建设与使用提供保障。

关键词: 可变模糊理论;视频;监控;网络;安全;评估;后悔理论;印证

中图分类号 TP393.1

Research on Security Performance Evaluation and Verification of Video Surveillance Network Based on Variable Fuzzy Theory

WANG Keke¹, BIAN Yue¹ and YIN Yanyan²

1 China Aerospace Academy of Systems Science and Engineering, Beijing 100037, China

2 Beijing Normal University-Hong Kong Baptist University United International College, Zhuhai, Guangdong 519087, China

Abstract At present, research on the security of video surveillance network systems still remains at the level of security indicator systems and indicator weights. In order to further carry out research on the security of video surveillance network systems, a variable fuzzy evaluation model was established to evaluate the security performance of video surveillance network systems. Regret theory was introduced to verify the evaluation results, and actual cases were used to verify the effectiveness of the evaluation model. This study uses variable fuzzy theory to calculate the comprehensive relative membership degrees of fuzzy evaluation model, neuron excitation function model, TOPSIS ideal point model, and fuzzy optimization evaluation model. Then, the evaluation results corresponding to these four models are obtained, and their arithmetic mean is calculated to obtain the final evaluation level. The verification method based on regret theory used in this study can select the optimal evaluation scheme, and thus verify the evaluation results using the variable fuzzy evaluation model. The evaluation model proposed in this study helps to take targeted measures for weak links in video surveillance networks, improve the overall security of video surveillance network systems, and provide guarantees for the security construction and use of video surveillance systems.

Keywords Variable fuzzy theory, Video, Surveillance, Network, Security, Evaluation, Regret theory, Verification

1 引言

随着计算机网络技术的迅猛发展,视频监控网络技术也得到了飞速提升。得益于物联网、大数据、分布式和虚拟化等技术的普及与推广,视频监控网络在全国范围内都得到了大力推广,实现了指数级的数量提升。视频监控网络对于公共安全有着非常重大的帮助,是维护国家安全、社会稳定的重要技术举措。但是视频监控网络由于长期缺少总体规划与资金投入,以及受限于建设、使用和维护水平的参差不齐,容易存在较大的安全隐患。针对视频监控网络的攻击行为层出不穷,给国家、社会和个人都带来了极大的不良影响。因此,近年来众多学者对视频监控网络安全开展了深入研究。

Yu^[1]认为对于视频监控网络的使用和管理应当采取体

系化的管控手段。Fang等^[2]对在重要敏感区域部署视频监控网络可能造成的安全隐患和应对措施进行了详尽分析。Zou等^[3]对元宇宙可能导致的监控视频被非法利用甚至滥用的情况进行了深入分析。Zhou等^[4]则根据新提出的反杀伤链模型进一步提出了对视频监控网络进行安全保密评价的方法。Xu^[5]针对视频监控网络部署的地址规划问题开展了相应研究。Liu^[6]对视频监控系统中可能出现异常设备的问题开展了相应研究。Xu^[7]根据国铁集团企业标准实施情况对铁路系统的视频监控建设提出可行性建议。Gao等^[8]对视频监控开展能力验证,并据此提出安全评价指标体系,然后分析和确定了各指标的权重。Zhu等^[9]研究了国外在工业领域部署和使用视频监控系统的政策优缺点,并对我国在相关领域的工作提出了建议。Wang等^[10]采取了模糊推理方

法对警用装备的视频监控系统开展安全风险评估,大大提高了警用装备的安全性。Wang^[11]在对视频监控网络现状进行分析的基础上,对其发展趋势进行了展望。Yuan等^[12]在全国范围内视频监控网络真实情况进行调研分析的基础上指出了普遍存在的安全隐患,并从技术和管理两方面提出了提升措施。Yang^[13]对公共视频监控网络系统中视频数据的外部风险、治理误区和治理热点问题都进行了深入分析。Xue^[14]融合嵌入式等多种技术,研制了一种能够实时监控的远程视频监控系统。Liu^[15]对输电线路中存在的视频监控终端接入混乱问题进行了研究,并提出了解决方案。Cui^[16]在炼化化工企业计算机网络基础上部署了视频监控网络,大大提高了生产现场的安全性。Li等^[17]对在安全生产环境中采用4G技术的视频监控系统开展了相关研究。

从上述内容可知,当前对视频监控系统安全的研究主要集中在生产应用场景上,虽然有部分对视频监控网络本身的研究,但仍停留在安全指标体系和指标权重的层面,并无更深入的研究内容。为更深入开展视频监控网络系统的安全性研究,本研究提出了采用可变模糊评价模型对视频监控网络系统进行安全性能评价的模型,填补了当前没有针对视频监控网络科学、有效地进行安全性能评价的空白,且引入后悔理论对可变模糊评价模型获得的结果进行印证,最后采取实际案例验证了本研究所提出评价模型和印证方法的有效性。结合对视频监控网络系统建设方案的评价结果,可针对性地对薄弱环节采取措施,提高视频监控网络系统的整体安全性,为视频监控系统安全建设与使用提供保障。

2 基础知识

2.1 可变模糊理论

传统模糊集合论无法描述模糊集合可能存在的动态性,为解决该问题,我国学者陈守煜教授提出了可变模糊理论^[18]。可变模糊理论的基本原理如下。

对于待评价问题,有 m 个评价指标,且有 n 个待评价方案,则该问题构成的特征值矩阵为 X ,具体表达形式如式(1)所示。

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

令每个指标分别有 c 个评价级别,第 i 个指标对应的第 h 个评价级别的标准区间为 $I_h = [a_h, b_h]$,其中 $i=1,2,\dots,m$; $h=1,2,\dots,c$ 。当 $a_h < b_h$ 时,评价级别指标称为递增型指标;否则称为递减型指标。

令特征值矩阵 X 中的任意元素为 x_{ij} (其中 $i=1,2,\dots,m$; $j=1,2,\dots,n$),其在第 h 个评价级别的隶属度为 $\mu(x_{ij})_h$ 。首先需要确定令 $\mu(x_{ij})_h = 1$ 时的点值矩阵 M_h ,如式(2)所示。

$$M_h = \frac{(c-h)a_h + (h-1)b_h}{c-1} \quad (2)$$

特征值矩阵 X 中,对于某方案的任意元素 x_i ,该元素对于第 h 个评价级别的隶属度为 $\mu(x_{ij})_h$ 计算分为 4 种情况,分别如式(3)一式(6)所示。

$$\mu(x_i)_h = \frac{1 - \frac{x_i - a_{ih}}{M_{i(h-1)} - a_{ih}}}{2}, x_i \in [M_{i(h-1)}, a_{ih}] \quad (3)$$

$$\mu(x_i)_h = \frac{1 + \frac{x_i - a_{ih}}{M_{ih} - a_{ih}}}{2}, x_i \in [a_{ih}, M_{ih}] \quad (4)$$

$$\mu(x_i)_h = \frac{1 + \frac{x_i - b_{ih}}{M_{ih} - b_{ih}}}{2}, x_i \in [M_{ih}, b_{ih}] \quad (5)$$

$$\mu(x_i)_h = \frac{1 - \frac{x_i - b_{ih}}{M_{i(h+1)} - b_{ih}}}{2}, x_i \in [b_{ih}, M_{i(h+1)}] \quad (6)$$

对于某方案的任意元素 x_{ij} ,其对于第 h 个评价级别的综合相对隶属度为 μ'_{jh} ,如式(7)所示。

$$\mu'_{jh} = \left(1 + \left(\frac{\sum_{i=1}^m (\omega_i (1 - \mu(x_{ij})_h))^{\beta}}{\sum_{i=1}^m (\omega_i \mu(x_{ij})_h)^{\beta}} \right)^{\frac{\beta}{p}} \right)^{-1} \quad (7)$$

其中, ω_i 为第 i 个指标的权重值,参数 β 与参数 p 的组合决定了相对隶属度的求解结果类别。参数 β 用于表示模型优化准则类别,当 $\beta=1$ 时为最小一乘准则,当 $\beta=2$ 时为最小二乘准则;参数 p 用于表示距离类别,当 $p=1$ 时为海明距离,当 $p=2$ 时为欧氏距离。

对于第 j 个评价方案,由式(7)所获得的综合相对隶属度矩阵 U_j' 如式(8)所示,此时该矩阵未经过归一化处理;然后对矩阵 U_j' 采取归一化处理,如式(9)所示。

$$U_j' = (\mu'_{jh}) \quad (8)$$

$$U_j = \left(\frac{\mu'_{jh}}{\sum_{h=1}^c \mu'_{jh}} \right) \quad (9)$$

令第 j 个评价方案的特征值 H_j 的计算式如式(10)所示,然后按照表 1 所列的特征值评价级别取值范围,对计算获得的结果进行评价等级判断。

$$H_j = (1, 2, \dots, c) U_j \quad (10)$$

表 1 特征值评价级别取值范围

Table 1 Value range of eigenvalue evaluation level

等级	取值范围
1 级	[1.0, 1.5)
2 级	[1.5, 2.5)
...	...
($c-1$) 级	[$(c-1)-0.5, (c-1)+0.5$)
c 级	[$c-0.5, c$]

2.2 后悔理论

Bell 等提出的后悔理论认为决策者还会在决策过程中关注到假设选择其他方案可能获得的结果,在比较过程中可能产生后悔或者欣喜的期望^[19-21]。对于备选方案,其对决策者带来的影响可以采用效用函数 $v(x)$ 表示如下^[22]:

$$v(x) = x^{\alpha} \quad (11)$$

其中, x 表示对方案中某评价属性的赋值; α 表示决策者的风险规避系数,该系数越小则决策者越趋向于保守,该系数越大则决策者越趋向于激进。

当 x 服从均匀分布时,实际属性值 x 的概率密度函数如式(12)所示。

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{r^{\mu} - r^{\nu}}, & r^{\nu} < x < r^{\mu} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

由式(11)和式(12)可得属性值 x 的效应值:

$$V = \int_{\mu}^{\mu'} v(x) f(x) dx \quad (13)$$

令正理想点效用、负理想点效用分别为:

$$V_+ = \max(V) \quad (14)$$

$$V_- = \min(V) \quad (15)$$

则对于方案而言,其对正理想点的后悔值 R 、对负理想点的欣喜值 G 分别如式(16)、式(17)所示。

$$R = 1 - \exp[-\alpha(V - V_+)] \quad (16)$$

$$G = 1 - \exp[-\alpha(V - V_-)] \quad (17)$$

对方案的最终综合感知效用值如式(18)所示。

$$U = V + R + G \quad (18)$$

3 评估模型

3.1 确定评估指标体系和指标权重

本文采用文献[8]对视频监控网络系统的安全评价指标体系,如图1所示。各指标的综合权重值如表2所列,可获得各指标的综合权重 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{15})$ 。

表2 视频监控网络系统的安全评估指标体系的综合权重

Table 2 Comprehensive weight of security evaluation index system for video surveillance network system

序号	一级指标	二级指标	三级指标	综合权重编号	综合权重
1	接入感知能力 U_1	接入感知能力 U_1	替换感知 U_{11}	ω_1	0.0351
2			资产感知 U_{12}	ω_2	0.0104
3			拓扑感知 U_{13}	ω_3	0.0061
4	内外联感知能力 U_2	内外联感知能力 U_2	非法内联 U_{21}	ω_4	0.0653
5			非法外联 U_{22}	ω_5	0.2150
6			网络 IOC 检测 U_{23}	ω_6	0.1186
7	威胁阻断能力 U_3	威胁阻断能力 U_3	终端阻断 U_{31}	ω_7	0.0187
8			网络阻断 U_{32}	ω_8	0.0351
9			边界阻断 U_{33}	ω_9	0.0989
10	数据加密与防窃密 U_4	数据加密与防窃密 U_4	数据存储加密 U_{41}	ω_{10}	0.0078
11			数据传输加密 U_{42}	ω_{11}	0.0504
12			防窃密 U_{43}	ω_{12}	0.0342
13	攻击免疫能力 U_5	攻击免疫能力 U_5	前端免疫 U_{51}	ω_{13}	0.0499
14			应用服务免疫 U_{52}	ω_{14}	0.1641
15			网络设备免疫 U_{53}	ω_{15}	0.0905

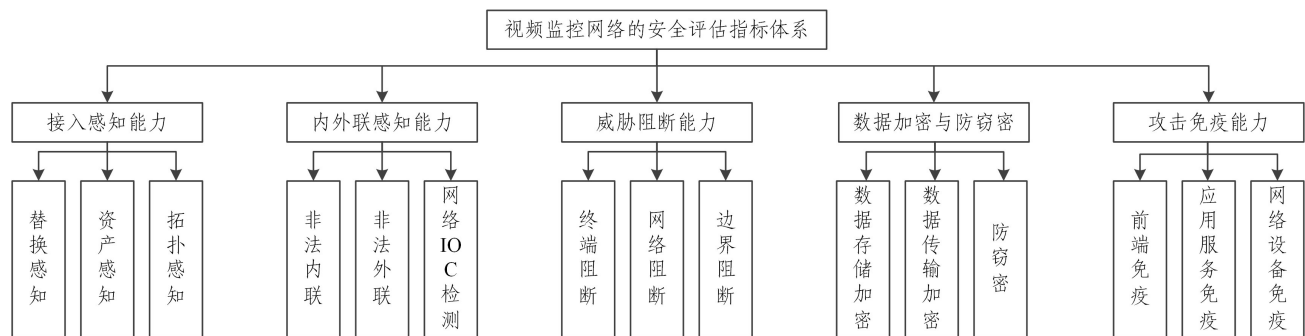


图1 视频监控网络系统的安全评估指标体系

Fig. 1 Security evaluation index system for video surveillance network system

3.2 确定评价等级

本文确定的评价等级划分为5等,即 $c=5$,如表3所列。

表3 评价等级划分

Table 3 Evaluation grade classification

序号	一级指标	二级指标	三级指标	评价等级指标标准区间				
				低风险	中低风险	中风险	中高风险	高风险
1	接入感知能力 U_1	接入感知能力 U_1	替换感知 U_{11}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
2			资产感知 U_{12}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
3			拓扑感知 U_{13}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
4	内外联感知能力 U_2	内外联感知能力 U_2	非法内联 U_{21}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
5			非法外联 U_{22}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
6			网络 IOC 检测 U_{23}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
7	威胁阻断能力 U_3	威胁阻断能力 U_3	终端阻断 U_{31}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
8			网络阻断 U_{32}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
9			边界阻断 U_{33}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
10	数据加密与防窃密 U_4	数据加密与防窃密 U_4	数据存储加密 U_{41}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
11			数据传输加密 U_{42}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
12			防窃密 U_{43}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
13	攻击免疫能力 U_5	攻击免疫能力 U_5	前端免疫 U_{51}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
14			应用服务免疫 U_{52}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]
15			网络设备免疫 U_{53}	[0,60)	[60,70)	[70,80)	[80,90)	[90,100]

3.3 获得特征值矩阵

邀请专家对同一问题的 n 个不同方案按照表3的评价标准分别打分,获得特征值矩阵 X ,如式(1)所示,其中 $m=15$ 。

3.4 计算点阵矩阵

根据表3,各评价级别的标准区间如表4所列。

由表4和式(2)可知,对于每一项指标,均有点值矩阵

$$M = [0, 62.5, 75, 87.5, 100]$$

表4 各评价级别的标准区间

Table 4 Standard interval of each evaluation level

等级	标准区间
1级	[0,60)
2级	[60,70)
3级	[70,80)
4级	[80,90)
5级	[90,100]

3.5 计算相对隶属度

将特征值矩阵 X 中的数据按照具体情况通过式(3)–(5)或式(6)进行计算,分别获得各个元素在不同评价等级上的相对隶属度。

3.6 计算获得综合相对隶属度

将已获得的相对隶属度按照式(7)进行计算,获得未经过归一化处理的综合相对隶属度,可按照 $\beta=1$ 且 $p=1$ 、 $\beta=2$ 且 $p=1$ 、 $\beta=1$ 且 $p=2$ 及 $\beta=2$ 且 $p=2$ 这 4 种情况分别计算,这 4 种情况分别对应模糊评价模型、神经元激励函数模型、TOPSIS 理想点模型、模糊优选评价模型,如此可获得 4 种不同条件下的综合相对隶属度。

3.7 归一化处理综合相对隶属度

按照式(9)对已获得的模糊评价模型、神经元激励函数模型、TOPSIS 理想点模型、模糊优选评价模型的综合相对隶属度进行归一化处理。

3.8 可变模糊评价

按照式(10)计算获得各方案的 4 种综合相对隶属度的评价级别取值,并对 4 种情况计算算术平均值,按照表 1 评价等级取值范围确定可变模糊的评价级别。然后,根据专家的个人权重获得群组可变模糊评价级别信息。

3.9 基于后悔理论的印证方法

根据式(18)计算获得各个方案的感知效用值,然后根据不同指标的权重值加权计算获得各个方案的综合感知效用值,其中综合感知效用值最大的方案即为最优方案。

对比后悔理论获得的最优方案所对应的 3.8 节可变模糊评价级别信息和 3.8 节群组可变模糊评价信息,即可实现对 3.8 节所获得评价级别的印证。

4 案例分析

4.1 背景介绍

以航天系统某单位视频监控网络系统为例,该单位已建设了覆盖园区周界、厂房和办公楼的视频监控系统,现需对该

单位视频监控网络系统进行安全性能评估,并邀请若干名专家分别对其进行评估并给出评价信息,以确定其真实安全性能。

根据 3.1 节和 3.2 节内容,当前已经能够确定评估指标体系和指标权重、评价等级、点阵矩阵等信息。本案例的具体评估过程由获得特征值矩阵开始。

4.2 评估过程

4.2.1 获得特征值矩阵

邀请 3 名专家分别对该单位视频监控网络系统给出评价信息,具体评价信息如表 5 所列,从而获得对应的特征值矩阵 $X=(x_{ij})_{15 \times 3}$ 。

表 5 专家组评价信息

Table 5 Evaluation information of expert group

序号	三级指标	评价信息		
		专家 1	专家 2	专家 3
1	替换感知 U_{11}	82	73	95
2	资产感知 U_{12}	35	25	42
3	拓扑感知 U_{13}	55	63	71
4	非法内联 U_{21}	45	34	57
5	非法外联 U_{22}	77	81	84
6	网络 IOC 检测 U_{23}	23	17	36
7	终端阻断 U_{31}	45	56	62
8	网络阻断 U_{32}	89	96	82
9	边界阻断 U_{33}	65	55	43
10	数据存储加密 U_{41}	78	69	59
11	数据传输加密 U_{42}	23	19	17
12	防窃密 U_{43}	67	54	76
13	前端免疫 U_{51}	81	72	90
14	应用服务免疫 U_{52}	25	17	16
15	网络设备免疫 U_{53}	65	82	74

4.2.2 计算相对隶属度

根据 3.4 节,对于每一项指标,均有点值矩阵 $M=[0,62,5,75,87.5,100]$ 。

根据式(3)–式(5)或式(6)分别获得各个元素在不同评价等级上的相对隶属度,具体如表 6 所列。

表 6 各元素的相对隶属度

Table 6 Relative membership of each element

序号	三级指标	专家 1					专家 2					专家 3				
		1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
1	替换感知 U_{11}	0	0	0.3667	0.6333	0	0	0.2000	0.8000	0	0	0	0	0	0.2500	0.7500
2	资产感知 U_{12}	0.7083	0.2917	0	0	0	0.7917	0.2083	0	0	0	0.6500	0.3500	0	0	0
3	拓扑感知 U_{13}	0.5417	0.4583	0	0	0	0	0.9667	0.0333	0	0	0	0.4000	0.6000	0	0
4	非法内联 U_{21}	0.6250	0.3750	0	0	0	0.7167	0.2833	0	0	0	0.5250	0.4750	0	0	0
5	非法外联 U_{22}	0	0	0.8000	0.2000	0	0	0	0.4333	0.5667	0	0	0	0.2333	0.7667	0
6	网络 IOC 检测 U_{23}	0.8083	0.1917	0	0	0	0.8583	0.1417	0	0	0	0.7000	0.3000	0	0	0
7	终端阻断 U_{31}	0.6250	0.3750	0	0	0	0.5333	0.4667	0	0	0	0.1000	0.9000	0	0	0
8	网络阻断 U_{32}	0	0	0	0.7000	0.3000	0	0	0	0.2000	0.8000	0	0	0.3667	0.6333	0
9	边界阻断 U_{33}	0	0.8333	0.1667	0	0	0.5417	0.4583	0	0	0	0.6417	0.3583	0	0	0
10	数据存储加密 U_{41}	0	0	0.7000	0.3000	0	0	0.5667	0.4333	0	0	0.5083	0.4917	0	0	0
11	数据传输加密 U_{42}	0.8083	0.1917	0	0	0	0.8417	0.1583	0	0	0	0.8583	0.1417	0	0	0
12	防窃密 U_{43}	0	0.7000	0.3000	0	0	0.5500	0.4500	0	0	0	0	0	0.9000	0.1000	0
13	前端免疫 U_{51}	0	0	0.4333	0.5667	0	0	0.3000	0.7000	0	0	0	0	0	0.5000	0.5000
14	应用服务免疫 U_{52}	0.7917	0.2083	0	0	0	0.8583	0.1417	0	0	0	0.8667	0.1333	0	0	0
15	网络设备免疫 U_{53}	0	0.8333	0.1667	0	0	0	0	0.3667	0.6333	0	0	0.1000	0.9000	0	0

4.2.3 计算综合相对隶属度

按照式(7)进行计算,获得模糊评价模型、神经元激励

函数模型、TOPSIS 理想点模型、模糊优选评价模型的综合相对隶属度,如表 7 所列。

表7 综合相对隶属度

Table 7 Comprehensive relative membership

专家	$\beta=1, \rho=1$					$\beta=2, \rho=1$				
	1级	2级	3级	4级	5级	1级	2级	3级	4级	5级
专家1	0.3297	0.2857	0.2538	0.1204	0.0105	0.1947	0.1379	0.1036	0.0184	0.0001
专家2	0.4224	0.1704	0.1929	0.1862	0.0281	0.3885	0.0405	0.0541	0.0497	0.0008
专家3	0.3788	0.1668	0.1789	0.2242	0.0513	0.2711	0.0386	0.0453	0.0771	0.0029
专家	$\beta=1, \rho=2$					$\beta=2, \rho=2$				
	1级	2级	3级	4级	5级	1级	2级	3级	4级	5级
专家1	0.3893	0.3037	0.4066	0.1638	0.0297	0.2890	0.1599	0.3194	0.0369	0.0009
专家2	0.4356	0.1688	0.2789	0.3320	0.0757	0.3734	0.0396	0.1301	0.1981	0.0067
专家3	0.4208	0.1787	0.2530	0.3869	0.0964	0.3455	0.0452	0.1029	0.2848	0.0112

4.2.4 归一化处理综合相对隶属度

按照式(9)对表7中的4类综合相对隶属度进行归一化

处理,并对4种综合相对隶属度求算术平均值。实验结果如表8所列。

表8 归一化处理后的综合相对隶属度

Table 8 Comprehensive relative membership after normalization

专家	$\beta=1, \rho=1$					$\beta=2, \rho=1$				
	1级	2级	3级	4级	5级	1级	2级	3级	4级	5级
专家1	0.3297	0.2857	0.2538	0.1204	0.0105	0.4282	0.3032	0.2279	0.0404	0.0002
专家2	0.4224	0.1704	0.1929	0.1862	0.0281	0.7060	0.0821	0.1095	0.1007	0.0017
专家3	0.3788	0.1668	0.1789	0.2242	0.0513	0.6232	0.0886	0.1042	0.1772	0.0067
专家	$\beta=1, \rho=2$					$\beta=2, \rho=2$				
	1级	2级	3级	4级	5级	1级	2级	3级	4级	5级
0.3011	0.2349	0.3144	0.1267	0.0230	0.3584	0.1983	0.3963	0.0458	0.0012	
专家2	0.3374	0.1308	0.2160	0.2571	0.0586	0.4993	0.0530	0.1740	0.2648	0.0089
专家3	0.3150	0.1338	0.1894	0.2896	0.0722	0.4376	0.0572	0.1303	0.3606	0.0142

4.2.5 可变模糊评价

按照式(10)计算获得各专家的4种综合相对隶属度的评

价级别取值,并对4种情况计算算术平均值,按照表1评价等级取值范围确定评价级别,如表9所列。

表9 最终评价结果

Table 9 Final evaluation results

专家	权重	H				\bar{H}	评价等级	\bar{H}_{group}	群组评价等级
		$\beta=1, \rho=1$	$\beta=2, \rho=1$	$\beta=1, \rho=2$	$\beta=2, \rho=2$				
专家1	0.4	2.1965	1.8813	2.3357	2.1330	2.1366	2级		
专家2	0.3	2.2270	1.6100	2.5688	2.2311	2.1592	2级	2.2063	2级
专家3	0.3	2.4023	1.8555	2.6701	2.4568	2.3462	2级		

假设3位专家的个人权重为 $\rho=(0.4, 0.3, 0.3)$,计算获得专家群组的可变模糊评价为2.2063,其对应的群组评价等级为2级。

4.2.6 基于后悔理论的印证方法

令决策者的风险规避系数 $\alpha=0.005$,采用式(18)对表5中各专家的评价信息进行计算,可获得各个指标的感知效用值,如表10所列。

表10 各指标的感知效用值

Table 10 Perceived utility values of each indicator

序号	三级指标	指标权重	感知效用值		
			专家1	专家2	专家3
1	替换感知 U_{11}	0.0351	9.9361	9.9296	9.9418
2	资产感知 U_{12}	0.0104	61.1603	61.1603	61.1603
3	拓扑感知 U_{13}	0.0061	61.1603	9.9222	9.9296
4	非法内联 U_{21}	0.0653	61.1603	61.1603	61.1603
5	非法外联 U_{22}	0.2150	9.9296	9.9361	9.9361
6	网络IOC检测 U_{23}	0.1186	61.1603	61.1603	61.1603
7	终端阻断 U_{31}	0.0187	61.1603	61.1603	9.9222
8	网络阻断 U_{32}	0.0351	9.9361	9.9418	9.9361
9	边界阻断 U_{33}	0.0989	9.9222	61.1603	61.1603
10	数据存储加密 U_{41}	0.0078	9.9296	9.9222	61.1603
11	数据传输加密 U_{42}	0.0504	61.1603	61.1603	61.1603
12	防窃密 U_{43}	0.0342	9.9222	61.1603	9.9296
13	前端免疫 U_{51}	0.0499	9.9361	9.9296	9.9361
14	应用服务免疫 U_{52}	0.1641	61.1603	61.1603	61.1603
15	网络设备免疫 U_{53}	0.0905	9.9222	9.9361	9.9296
16	综合感知效用值		0.9986	1.0000	0.9993

然后可考虑各指标权重,从而计算获得3位专家的综合感知效用值分别为0.9986,1.0000,0.9993。综合感知效用值最大的数据对应第2位专家,其在表9中所对应的可变模糊评价数值为2.1592,该数据对应的评价等级为2级,与表9中群组评价等级一致。

4.3 结果分析

根据表9和表10,3位专家给出评价信息确定的群组评价等级为2级,采用后悔理论对3位专家给出的评价信息进行印证,印证结果与群组评价等级信息一致,即该单位视频监控网络安全性能处于中低风险等级。由表5可知,3位专家均认为该单位视频监控网络安全能力最薄弱的是数据传输加密 U_{42} 、应用服务免疫 U_{52} 、网络IOC检测 U_{23} 和资产感知 U_{12} ,这4个指标的安全能力严重不足,从而制约了整个视频监控网络安全的能力。如果该单位后续拟提升视频监控网络安全的能力,必须从这4个指标入手,提高这4个指标的安全能力,方可从整体上提高视频监控网络安全的能力。

结束语 当前对视频监控网络安全的研究主要集中在应用场景,部分研究体现在提出安全指标体系上,缺乏利用安全指标体系开展更深入研究的工作。本研究在现有文献[8]提出的视频监控网络安全能力评估指标体系的基础上,提出了采用可变模糊理论的安全能力评估模型,并提出了基于后悔理论的印证方法。最后以航天系统某单位视频监控

网络系统安全能力评估为例,验证了本研究提出的评估模型的有效性。

参 考 文 献

- [1] YU C J. On the Security Construction of Public Security Video Network from the Angle of Graded Protection[J]. *China Public Security*, 2018(7):178-179.
- [2] FANG X, WANG H, XU X L, et al. On the Security Construction of Network Video Monitoring System in Sensitive Information Places[J]. *Network Security Technology AND Application*, 2024(6):142-144.
- [3] ZOU T, TAO S, DONG F. Analysis on Security Risk Prevention and Governance of Network Video Monitoring System under the Background of Metauniverse [J]. *Computer Knowledge and Technology*, 2024, 20(4):96-99, 102.
- [4] ZHOU S H, TANG Y, YANG Q R, et al. A Security Evaluation Method of Video Surveillance System Based on Network Anti kill Chain[J]. *Security Science and Technology*, 2023(9):49-56.
- [5] XU Y Z. Network address planning of public security video surveillance project[J]. *Radio & Television Network*, 2023, 30(8):56-58.
- [6] LIU P H. Design and Implementation of Video Surveillance Network Device Identification and Security Monitoring System[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2023.
- [7] XU H. Research on Cyber-security of Railway Integrated Video Monitoring System[J]. *Railway Signalling & Communication Engineering*, 2023, 20(5):39-43.
- [8] GAO J, WANG K Y, HUANG S H. Research on Security Evaluation Index System for Video Monitoring Network[J]. *Netinfo Security*, 2021, 21(12):78-85.
- [9] ZHU L N, HUANG H B, ZHANG X F, et al. Analysis on Network Security Risks and Protective Measures of Industrial Intelligent Video Monitoring System[J]. *Security Science and Technology*, 2021(11):25-31.
- [10] WANG C L, GAO Q. Dynamic Evaluation Method of Multi-Video Surveillance Network Security Risk for Police Equipment[J]. *Journal of Ordnance Equipment Engineering*, 2021, 42(10):218-223.
- [11] WANG T. Research on Current Situation and Security Problems of Network Video Monitoring System [J]. *Network Security Technology AND Application*, 2020(9):146-147.
- [12] YUAN D Y, HUANG S H, GAO J. Research on Current Situation and Countermeasures of Video Surveillance Network Security Based on Scanning Analysis [J]. *Science and Technology Management Research*, 2021, 41(4):198-204.
- [13] YANG L M. Analysis of data security governance of public video monitoring network[J]. *China Security & Protection*, 2020(7):10-13.
- [14] XUE Y P. Design of Network Video Monitoring System Based on Embedded System and Network Information Security [J]. *China Computer & Communication*, 2019(12):78-79.
- [15] LIU Y F. The Research on Network Security Access Protocol for Power System Video Surveillance[D]. Xi'an: Xidian University, 2019.
- [16] CUI E Z. Application of information technology in network video monitoring of refinery safety production[J]. *Digital Space*, 2018(4):247.
- [17] LI X K, LI B, SHI Y B, et al. Research on Wireless Video Monitoring System Technology for Safe Production under 4G Network[J]. *Computer Products and Circulation*, 2017(8):8.
- [18] CHEN S Y. Theory and Model of Variable Fuzzy Sets and Its Application[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2009.
- [19] BELL D E. Regret in Decision Making under Uncertainty[J]. *Operations Research*, 1982, 30.
- [20] GREEN S L. Rational choice theory: An overview[J/OL]. http://business.baylor.edu/steve_green/green1.doc.
- [21] YAO Y. A Evaluation Method Based on Regret Theory and Grey Entropy TOPSIS[J]. *Journal of Mathematics in Practice and Theory*, 2024(10):121-129.
- [22] TVERSKY A, KAHNEMAN D. Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty[J]. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1992, 5(4):297-323.



WANG Keke, born in 1986, master, senior engineer, is a senior member of CCF(No. C3050S). His main research interests include risk assessment, scripting language security, virus, multimedia security, cloud computing system security and systems engineering.