

模糊层次分析法在广播电视信息安全保障评价指标体系中的应用研究

章文辉¹, 杜百川², 杨盈昀¹

(1. 中国传媒大学, 北京 100024; 2. 国家广播电影电视总局, 北京 100045)

摘要: 建设国家信息安全保障评价指标体系, 可以为决策者提供有关国家信息安全的基本状况. 文章简要阐述国家信息安全保障体系中的广播电视分系统的信息安全评价指标体系的基本情况, 同时介绍了广播电视信息安全保障指标体系中技术系统各级指标的构成原则和评价方法, 着重论述了基于群体专家判断矩阵的情况下, 模糊层次分析法在确定各级指标权重时的应用, 并以广播电视技术系统为例给出了应用研究的实例.

关键词: 广播电视信息安全保障体系; 评价指标体系; 模糊层次分析法; 信息安全保障能力

中图分类号: TN918 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2008) 10 2060-05

Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to TV and Radio Information Assurance Evaluation Indicator Systems

ZHANG Wen hui¹, DU Bai chuan², YANG Ying-yun¹

(1. *Communication University of China, Beijing 100024, China*; 2. *State Administration of Radio, Film and Television, Beijing 100045, China*)

Abstract: Constructing national information assurance evaluation indicator system will provide the security status of national information infrastructure and system for our decider. This paper talked about the situation of TV and radio information assurance evaluation indicator system. The construction of the indicator and method of evaluation were also introduced. According to the specialist's decision, the application of fuzzy analytic hierarchy process to decide the weighting of indicator was discussed deeply. It also gives an example of this kind of application in this paper.

Key words: TV and radio information assurance system; indicator of evaluation system; fuzzy analytic hierarchy; capacity of information assurance

1 引言

信息安全已成为国家安全的重要组成部分. 为此, 国家提出了在“十一五”期间建设信息安全保障体系的战略目标. 广播电视信息安全保障体系作为国家信息安全保障体系的一部分, 是一项涉及技术、管理、战略且有大量人的行为参与其中的复杂巨系统工程, 这使得广播电视信息安全保障体系具有很大的综合性、复杂性和不确定性. 信息安全保障能力是由技术、管理和人的共同作用所决定^[1]. 应用信息安全保障理论, 并结合广播电视系统的实际情况, 基本确定了具有广播电视特点的信息安全指标体系. 通过对各类指标的梳理和研究, 初步形成了广播电视信息安全保障指标体系模型雏形. 由于指标体系模型所涉及的各种指标数量庞大, 指标之间的关系错综复杂, 如何合理科学地确定各级指标之间的权重关系, 成为决定广播电视信息安全保障指标体系建设能否取得成功的基础.

2 确定指标权重的思路

确定指标权重的方法有很多, 上世纪70年代美国学者 Saaty T. L. 提出了一种实用的决策方法——层次分析法 (Analytic Hierarchy Process)^[2,3], 层次分析法是从定性分析到定量分析综合集成的一种典型的系统工程方法, 它将人们对复杂系统的思维过程数学化, 将人的主观判断为主的定性分析进行定量化, 将各种判断要素之间的差异数值化, 帮助人们保持思维过程的一致性, 适用于复杂的模糊综合评价系统, 是目前一种被广泛应用的确定权重的方法. 因此, 初步考虑利用层次分析法确定各指标之间的权重.

层次分析法可以把复杂问题分解为各个组成因素, 通过两两比较方式确定层次中诸因素的相对重要性, 然后通过综合判断来确定诸因素相对重要性总的顺序. 层次分析法的核心是利用1~9之间的整数及其倒数作为标度构建两两比较判断矩阵. 比例的数字标度及其意义

如表 1 所示.

表 1 数字标度及其意义

标度数值	意义
1	两个元素相比, 具有同等重要性
3	两个元素相比, 一个元素比另一个元素稍重要
5	两个元素相比, 一个元素比另一个元素明显重要
7	两个元素相比, 一个元素比另一个元素强烈重要
9	两个元素相比, 一个元素比另一个元素极端重要
2, 4, 6, 8	如果成对事物的差别介于两者之间, 可取相邻判断的中间值
倒数	若元素 i 与元素 j 重要性之比为 a_{ij} , 那么元素 j 与元素 i 的重要性之比则为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

利用层次分析法求取广播电视系统信息安全保障指标体系的各级分项指标的步骤如下:

第一, 由专家两两比较广播电视系统信息安全保障指标体系的分项指标的重要程度, 对照表 1 确定相互的数字标度值 a_{ij} , 得到一个两两判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$. 此矩阵为 n 阶正反矩阵, 如下所示:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & 1 & a_{nn} \end{bmatrix}$$

第二, 求矩阵 A 的特征向量 W , 计算判断矩阵 A 的

每一行元素的积: $M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}; i = 1, 2, 3, \dots, n;$

计算各行元素积 M_i 的 n 次方根值: $W_i = \sqrt[n]{M_i}; i = 1, 2, 3, \dots, n;$

对 W 进行归一化处理, 得到权重值: $W_i =$

$$W_i \backslash \sum_{i=1}^n W_i; i = 1, 2, 3, \dots, n$$

计算最大特征值:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{a_{i1}W_1 + a_{i2}W_2 + \dots + a_{in}W_n}{nW_i}; i = 1, 2, 3, \dots, n$$

第三, 根据一致性检验公式进行一致性检验.

先计算一致性指数 CI (consistency index): $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 其中, λ_{\max} 是最大特征值, n 是判断矩阵的阶数. 然后, 计算随机一致性比率 CR (consistency ratio): $CR = CI / RI$, 其中 RI (random index) 为判断矩阵的平均随机一致性指数, Saaty T. L. 在参考文献[2]中给出了 1~9 阶判断矩阵 RI 的取值如表 2.

表 2 n 阶判断矩阵的平均随机一致性指数

判断矩阵阶数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.94	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当 $CR < 0.1$ 时, 可以认为判断矩阵具有比较满意的一致性. 如果得到了比较满意的一致性, 则结束求取程序, 输出计算结果; 如果不能达到一致性要求, 则需要修

正矩阵以后, 重新进行求取.

3 实际应用遇到的问题

上述确定的层次分析处理方法处理思路简洁明了, 是广泛被应用的确定权重的方法, 判断矩阵的构造是否科学合理将直接影响到权重结果. 在我们实际应用层次分析的过程中, 在构造判断矩阵阶段, 就遇到了困难. 一是由于我们采用了群体专家判断, 我们采用 10 位以上专家对指标权重进行判断, 在这种情况下, 在构造判断矩阵时, 出现了如何解决群体专家判断的模糊性问题; 二是在构造判断矩阵时, 只采用了 1~9 的整数及其倒数作为标度, 不能体现专家判断的模糊性问题, 也就是判断矩阵的一致性和专家思维的一致性有明显差异; 三是判断矩阵的一致性问题, 需反复修正计算, 才能得到结果. 受文献[5~9]解决类似问题的思路启发, 我们发现采用模糊层次分析法可以解决遇到的问题

4 模糊层次分析法

模糊层次分析法通过在构造模糊判断矩阵中采用“0 ~ 1”标度法, 使得模糊判断矩阵的一致性基本反映出人类思维的一致性, 即可以反映人在判断过程中存在的不确定性和模糊性. 可见, 模糊判断矩阵符合人类的思维心理特征, 与人类对复杂决策问题的思维、判断过程是一致的, 通过构造模糊判断矩阵可以反映群体专家评判的模糊性.

根据文献[9], 使用公式: $r_{ij}(\alpha) = \log_{\alpha} a_{ij} + 0.5, \alpha \geq 81$. 式(1)可以将传统的层次分析法的标度过渡到模糊层次分析法的标度, 表 3 是 $\alpha = 243$ 时相对应于各级模糊标度的含义.

表 3 模糊标度的含义

标度数值	意义
0.5	两个元素相比, 具有同等重要性
0.7	两个元素相比, 一个元素比另一个元素稍重要
0.793	两个元素相比, 一个元素比另一个元素明显重要
0.8542	两个元素相比, 一个元素比另一个元素强烈重要
0.9	两个元素相比, 一个元素比另一个元素极端重要
0.6262, 0.7524	成对事物的差别介于两者之间, 可取相邻判断的中间值
0.8262, 0.8786	成对事物的差别介于两者之间, 可取相邻判断的中间值
互补数	若元素 i 与元素 j 重要性之比为 a_{ij} , 那么元素 j 与元素 i 的重要性之比则为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

这样, 专家们两两比较广播电视信息安全保障指标体系中同一层次下的各个指标的重要程度, 根据表 3 的标度确定数字标度值, 得到各自的数字标度. 再对各个专家的数字标度进行加权平均, 得到群体专家的模糊判断矩阵 R .

$$R = \begin{bmatrix} 0.5 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 0.5 & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{n(n-1)} & 0.5 \end{bmatrix}$$

依据文献[8]给出的求权重公式: $W_i = \beta \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ij}$

$$\sum_{k=1}^n \beta \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

其中 β 为底数, 它与各指标的重要性排序无关, 任意给定一个 β , 可以求出群体专家的模糊判断矩阵的各指标的重要性排序关系. 要进一步确定各指标权重, 需要进一步考虑对参数 β 的选择, 可以根据专家的意见确定 β , 从而最终计算出各指标的权重.

5 指标权重的确定和计算的实例分析

由于广播电视信息安全保障指标体系是一个复杂巨系统, 涉及的指标层次和指标数量繁多, 限于文章篇幅, 不能一一介绍, 下面以广播电视技术系统中的电视台播出系统中的某一个层次下的局部指标权重的确定为例说明模糊层次分析法的具体应用.

表 4 是经过研究初步确定的电视台播出系统信息安全评估模型, 该模型建立了四级指标集, 一级指标为播出系统 U, 在一级指标 U 下又由三个二级指标 U {系统配置 V1、安全措施 V2 和系统监控 V3} 构成. 每个二级指标又由若干个三级指标构成. 限于篇幅表 4 中略去了 V2 和 V3 的下一级指标构成, 只保留了二级指标系统配置 V1 的下级构成 V1 {主要设备可靠性 V1W1、设备使用合理性 V1W2、系统设计验收 V1W3、播控软件可靠性 V1W4、压缩编码复用系统 V1W5}. 其中主要设备可靠性 V1W1、播控软件可靠性 V1W4、压缩编码复用系统 V1W5 又由两个以上四级指标构成, 它们分别是 V1W1 {V1W1X1、V1W1X2、V1W1X3、V1W1X4}、V1W4 {V1W4X1、V1W4X2、V1W4X3} 和 V1W5 {V1W5X1、V1W5X2、V1W5X3}. 通过模糊层次分析法确定上述 5 个指标集中各指标的权重关系. V2、V3 可直接给出权重.

表 4 播出系统的部分指标构成

权重	一级指标 U	权重	二级指标 V	权重	三级指标 W	权重	四级级指标 X	
	播出系统 U		系统配置 V1		主要设备可靠性 V1W1		设备没有通过总局入网认证或国家相关部门审定的类数 V1W1X1	
							传统类主要设备运行年限 V1W1X2IT	
							类主要设备运行年限 V1W1X3	
							主要设备运行无故障率 V1W1X4	
					设备使用合理性 V1W2		因设备故障造成的技术停播事故次数	
							系统设计验收 V1W3	系统是否有由设计资质的单位设计
								是否通过了主管部门组织的系统验收
							播控软件可靠性 V1W4	播控软件的可控程度 V1W4X1
								播控软件维护升级的保障程度 V1W4X2
					软件成熟度 V1W4X3			
					压缩编码复用系统 V1W5	是否有系统备份 V1W5X1		
						是否有编码器热备份 V1W5X2		
					是否有复用器热备份 V1W5X3			
					安全措施 V2	
					系统监控 V3	

通过专家打分和综合评判, 可以分别得到 5 个指标集 U、V1、V1W1、V1W4、V1W5 的模糊判断矩阵如下:

$$R_U = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.86 \\ 0.5 & 0.5 & 0.86 \\ 0.14 & 0.14 & 0.5 \end{bmatrix};$$

$$R_{V1W4} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.28 & 0.85 \\ 0.72 & 0.5 & 0.93 \\ 0.15 & 0.07 & 0.5 \end{bmatrix}; R_{V1W5} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.90 \\ 0.7 & 0.5 & 0.95 \\ 0.1 & 0.05 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_{V1W1} = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.10 & 0.10 & 0.10 \\ 0.90 & 0.50 & 0.50 & 0.50 \\ 0.90 & 0.50 & 0.50 & 0.50 \\ 0.90 & 0.50 & 0.50 & 0.50 \end{bmatrix};$$

$$R_{V1} = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.90 & 0.90 & 0.85 & 0.85 \\ 0.10 & 0.50 & 0.50 & 0.15 & 0.15 \\ 0.10 & 0.50 & 0.50 & 0.15 & 0.15 \\ 0.15 & 0.85 & 0.85 & 0.50 & 0.50 \\ 0.15 & 0.85 & 0.85 & 0.50 & 0.50 \end{bmatrix}$$

再利用公式(2)分别计算权重关系, 为了便于专家判断和比较, 给出了三个不同 β 参数下的指标权重如表 5 所示.

表 5-1

一级指标 U 构成	$\beta = 6$ 权重	$\beta = 7$ 权重	$\beta = 8$ 权重
系统配置 V1	0.3961	0.4006	0.4044
安全措施 V2	0.3961	0.4006	0.4044
系统监控 V3	0.2078	0.1988	0.1912

表 5-2

二级指标 V1 的构成	$\beta=6$ 权重	$\beta=7$ 权重	$\beta=8$ 权重
主要设备可靠性 V1W1	0.3212	0.3326	0.3428
设备使用合理性 V1W2	0.1266	0.1210	0.1162
系统设计验收 V1W3	0.1266	0.1210	0.1162
播控软件可靠性 V1W4	0.2128	0.2127	0.2124
压缩编码复用系统 V1W5	0.2128	0.2127	0.2124

表 5-3

三级指标 V1W1 构成	$\beta=6$ 权重	$\beta=7$ 权重	$\beta=8$ 权重
V1W1X1	0.1399	0.1327	0.1267
V1W1X2	0.2867	0.2891	0.2911
V1W1X3	0.2867	0.2891	0.2911
V1W1X4	0.2867	0.2891	0.2911

表 5-4

三级指标 V1W4 构成	$\beta=6$ 权重	$\beta=7$ 权重	$\beta=8$ 权重
V1W4X1	0.3396	0.3384	0.3371
V1W4X2	0.4632	0.4741	0.4834
V1W4X3	0.1972	0.1875	0.1794

表 5-5

三级指标 V1W5 构成	$\beta=6$ 权重	$\beta=7$ 权重	$\beta=8$ 权重
V1W5X1	0.3518	0.3515	0.3510
V1W5X2	0.4603	0.4706	0.4795
V1W5X3	0.1879	0.1779	0.1695

从表 5 中可以发现, β 参数取 6、7、8 时, 各指标的权重排序关系是一致的, 随着 β 值的改变, 各指标的相对重要性有所变化。最终, 根据专家的意见, 选择了 $\beta=7$ 时的一组参数作为指标权重。从实际应用情况来看, 此方法较好地解决了前面的问题。

6 结束语

应用模糊层次分析法确定广播电视信息安全保障指标体系的各级指标权重关系, 利用了模糊判断矩阵一致性的特点, 比较简洁方便地确定了各指标权重, 解决了定性和定量评价难以很好结合的问题, 较好地解决了广播电视信息安全保障指标体系中确定指标权重的遇到的实际问题。但是, 这种方法也有其自身局限性, 这是由于模糊判断矩阵的信息不完备性, 只能优选方案, 不能生成方案, 在指标权重方案选择时, 会引入一些人为的不确定因素, 得出的结果会在某种程度上依赖专家和决策者的偏好和主观判断。因此, 如何使确定指标权重的评价方法在综合性、合理性和科学性等方面得到改进, 还有待于在实践中进行深入的探索和研究。

参考文献:

[1] 吕欣. 信息系统安全保障理论与评价指标体系[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(10): 10-12.

Lv Xin. Studies on Information System Assurance Theory and Evaluation Indicator Systems[J]. Microelectronics & Computer, 2006, 23(10): 10-12. (in Chinese)

- [2] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process[M]. New York: McGraw Hill, 1980.
- [3] 徐树柏. 层次分析法[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988. Xu Shu bai. The Analytic Hierarchy Process[M]. Tianjin: Publishing Company of Tianjin University, 1988. (in Chinese)
- [4] 刘宝柱, 朱淘, 于继来. 电力系统电压态势预警等级的多级模糊综合评判[J]. 电网技术, 2005, 12. 9(24): 31-36. Liu Bao zhu, Zhu Tao, Yu Ji lai. Multilevel Fuzzy Comprehensive Assessment for Forewarning Grade of Voltage State and Tendency in Power Systems[J]. Power System Technology, 2005, 12 29(24): 31-36. (in Chinese)
- [5] 董成玉, 陈义华. 层次分析法(AHP)中的检验[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 7(7): 105-110. Dong Cheng yu, Chen Yi hua. A Method of Checking the Consistency and Compatibility of the Analytic Hierarchy Process[J]. System Engineering theory & Practice, 2004, 7(7): 105-110. (in Chinese)
- [6] 谭家茂, 黄少先. 基于模糊理论的电能质量综合评价方法研究[J]. 继电器, 2006, 23(3): 55-58. Tan Jia mao, Huang Shao xian. Research on synthetic evaluation method of power quality based on fuzzy theory[J]. Relay, 2006, 34(3): 55-58. (in Chinese)
- [7] 袁海庆, 杨艳, 范剑锋, 刘文龙. 模糊层次分析法在桥梁综合评估中的应用[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2005, 1229(6): 906-909. Yuan Hai qing, Yang Yan, Fan Jian feng, Liu Wenlong. Application of fuzzy analytic hierarchy process to bridge state comprehensive assessment[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2005, 1229(6): 906-909. (in Chinese)
- [8] 兰继斌, 徐扬, 霍良安, 刘家忠. 模糊层次分析法权重研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 9: 107-112. Lan Ji bin, Xu Yang, Huo Liang an, Liu Jia zhong. Research on the priorities of fuzzy analytical hierarchy process[J]. System Engineering theory & Practice, 2006, 9: 107-112. (in Chinese)
- [9] 熊立, 梁, 王国华. 层次分析法中数字标度的选择与评价方法研究[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 3: 72-79. Xiong Li, Liang Liang, Wang Guo hua. Method research on selection and valuation of numeric scale in analytic hierarchy process[J]. System Engineering theory & Practice, 2005, 3: 72-79. (in Chinese)
- [10] 王娜, 方滨兴, 罗建中, 刘勇. “5432 战略”: 国家信息安全保障体系框架研究[J]. 通信学报, 2004, 725(7): 1-9. Wang Na, Fang Bin xing, Luo Jian zhong, Liu Yong. “5432 strategies”: towards the national information assurance frame

work[J]. Journal of China Institute of Communications. 2004. 7 25(7): 1- 9. (In Chinese)

- [11] 陈炜, 罗霄峰, 罗万伯. 一种用于信息安全的信息保障模型[J]. 四川大学学报(工程科学版). 2004. 736(4): 103-106.

Chen Wei, Luo Xiaofeng, Luo Wanbo. A information assurance model for information security[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition). 2004. 736(4): 103-106. (in Chinese)

- [12] 王郎. 一个信息安全保障体系模型的研究和设计[J]. 北京邮电大学学报(自然科学版). 2004. 240(1): 57- 61.

Wang Lang. Study and design of the dynamic and integrative information security assurance architecture[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science). 2004. 240(1): 57-61. (in Chinese)

- [13] 杨红, 杨德礼. 基于未确知测度的信息系统风险评估模型[J]. 计算机工程. 2006. 832(16): 120- 121.

Yang Hong, Yang Deli. Model of risk evaluation of information system based on unascertained measure[J]. Computer Engineering. 2006, 832(16): 120- 121. (in Chinese)

作者简介:



章文辉 男, 1969 年 5 月生于浙江台州, 博士研究生, 中国传媒大学信息工程学院副教授, 研究方向为数字电视技术和广播电视信息安全保障技术.

E-mail: wenhui.zhang@gmail.com.



杜百川 男, 1946 年 4 月生于江苏常州, 教授, 博士生导师, 国家广播电影电视总局科学技术委员会副主任、国家信息化专家咨询委员会委员、国家无线电频率规划咨询委员会委员、国家广播电视标准化委员会副主任, 研究方向为数字电视技术、信息安全等.

E-mail: baichuan.du@gmail.com.