

# AHP 和模糊综合评判在灾难恢复能力评估中的应用

陈敏刚<sup>1</sup>, 董 军<sup>1</sup>, 张丽亮<sup>2</sup>, 姚寒星<sup>2</sup>

(1. 华东师范大学软件学院, 上海 200062; 2. 上海市科技信息中心, 上海 200031)

**摘要:** 采用 AHP 法, 建立了信息系统灾难恢复能力影响因素的递阶层次模型, 并确定该模型各层影响因素的权重。在此基础上, 建立了模糊综合评判模型, 并应用上述方法对上海某银行信息系统的灾难恢复能力进行了综合评估。

**关键词:** 信息系统; 灾难恢复; AHP; 模糊综合评判

## AHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation Application in Disaster Recovery Ability Evaluation

CHEN Mingang<sup>1</sup>, DONG Jun<sup>1</sup>, ZHANG Liliang<sup>2</sup>, YAO Hanxing<sup>2</sup>

(1. Institute of Software Engineering, East China Normal University, Shanghai 200062;

2. Shanghai Science and Technology Information Center, Shanghai 200031)

**【Abstract】** This paper establishes the hierarchy model of the factors that influence information system recovery abilities, and confirms the weight of influence factors in each level of the model with AHP method. Based on this, it establishes fuzzy synthetic evaluation model. It also evaluates the information system disaster recovery ability of a bank in Shanghai with these methods.

**【Key words】** Information system; Disaster recovery; AHP; Fuzzy synthetic evaluation

随着全球信息化迅速发展, 越来越多的组织机构将关键信息存放在信息系统中, 在业务上也越来越依赖信息系统。美国的“9.11”事件, 使组织机构认识到对关键的数据和业务建立灾难备份系统的重要性, 金融、通信、电力等涉及公共利益的组织机构投入巨资建立灾难备份系统。但是, 如何评价系统防御灾难的能力尚缺乏理论基础和实用工具。因此, 建立一套科学、可行的理论和方法进行灾难恢复能力评估是十分重要的。

信息系统灾难恢复能力评估通常需要制定评估指标体系、确定指标权重、实际评估操作以及综合评价等几个重要部分。本文的重点不在于如何制定评价指标体系, 而是着重运用系统工程的思想, 采用层次分析(AHP)法, 首先建立信息系统灾难恢复能力影响因素的递阶层次模型, 然后确定该模型各层影响因素的权重, 最后采用模糊综合评判法进行综合评判, 以帮助组织分析其信息系统目前所具备的灾难恢复能力, 为组织从管理、规划和技术上评价信息系统灾难恢复能力, 进一步采取有效的灾难恢复手段提供参考依据。利用上述方法, 本文对上海某银行信息系统的灾难恢复能力进行了综合评估, 从而验证 AHP 法和模糊综合评判在信息系统灾难恢复评估中的有效性和科学性。

### 1 运用 AHP 法确定评估指标权重

AHP 法是美国运筹学家 T.L.Satty 提出的一种定量与定性相结合的系统分析方法。AHP 法体现了人类思维的基本特征, 即分解、判断, 因此具有可行性、有效性和可靠性的优点。本文采用 AHP 法来确定信息系统灾难恢复能力评估指标的权重。

#### 1.1 建立递阶层次结构体系

首先, 根据影响信息系统灾难恢复能力的主要因素建立递阶层次模型。灾难恢复评估层次模型的第 1 层是目标层,

该层反映信息系统出现灾难时确保系统不受影响或在规定时间内恢复正常运作的总体能力。通过研究国际信息安全组织、公司的灾难恢复规范和指南<sup>[1,2]</sup>, 结合国内信息系统的特点, 本文从灾难恢复的组织和管理、灾难恢复的规划和策略以及灾难恢复的技术措施实践 3 个角度对目标层进行分解。目标层划分为由灾难恢复管理、灾难恢复规划和 IT 技术措施灾难恢复 3 个指标组成的一级指标层。接着, 对一级指标层中每个指标再进行分解, 组成二级指标层, 从而构建出灾难恢复评估体系的层次模型, 如图 1。每个一级指标相对于总目标、每个二级指标相对于一级指标的权重, 通过 AHP 法确定。

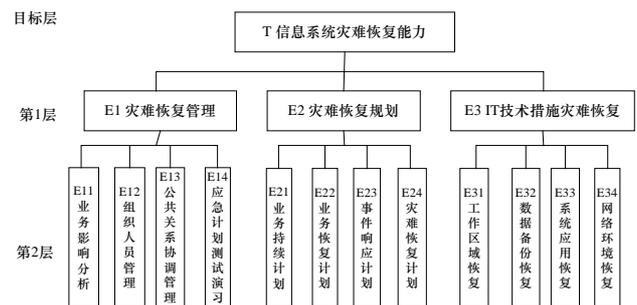


图 1 信息系统灾难恢复能力递阶层次模型

#### 1.2 构造两两比较的判断矩阵

对同一层次的各元素, 关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较, 构造两两比较判断矩阵  $A = \{a_{ij}\}_{n \times n}$ 。在这一过程中, 评估人员要反复回答一个问题: 针对某一准则,

**基金项目:** 上海市科学技术委员会信息安全基金资助重点项目 (045115035)

**作者简介:** 陈敏刚(1978—), 男, 硕士生, 主研方向: 信息安全, 软件工程; 董 军, 教授、博士; 张丽亮、姚寒星, 硕士生

**收稿日期:** 2005-10-18 **E-mail:** miles\_cmg@sstic.sh.cn

2 个影响因素哪一个重要, 重要多少, 并按 1~9 比例标度对重要性程度赋值<sup>[3]</sup>。1~9 标度的含义, 如表 1 所示。

表 1 1-9 标度的含义

标度 $a_{ij}$	含义
1	因素 I 与因素 j 同等重要
3	因素 I 比因素 j 稍重要
5	因素 I 比因素 j 较重要
7	因素 I 比因素 j 非常重要
9	因素 I 比因素 j 绝对重要
2, 4, 6, 8	因素 I 与因素 j 的重要性比较值介于上述两个相邻等级之间
倒数	因素 j 与因素 I 比较得到判断值为 $a_{ij}$ 的倒数,
$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$	$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad a_{ii} = 1$

### 1.3 单一准则下每层中各因素相对权重的计算方法

单一准则下每层中各因素相对权重的确定有不同的计算方法, 最常用的有“和法”、“根法”和“幂法”。本文以“和法”为例说明具体步骤:

(1) 将矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  的每一列向量归一化得:

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}};$$

(2) 对  $\tilde{w}_{ij}$  按行求和得:  $\tilde{w}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_{ij};$

(3) 将  $\tilde{w}_i$  归一化, 即有:  $w_i = \frac{\tilde{w}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i}$ , 则有特征向量:

$$\tilde{w} = \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}, \text{ 即为近似的权向量;}$$

(4) 计算与特征向量  $\tilde{w} = \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}$  对应的最大特征根  $\lambda_{\max}$

$$\text{的近似值: } \lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i}。$$

### 1.4 判断矩阵的一致性检验

判断矩阵是否具有满意的一致性, 直接影响到由判断矩阵得到的权向量是否真实地反映各比较因素之间的客观权重。因此, 需要对判断矩阵进行一致性检验, 步骤如下:

(1) 计算一致性指标  $C \cdot I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1};$

(2) 根据表 2 查找相应的平均随机一致性指标  $R \cdot I$ ;

表 2 平均随机一致性指标  $R \cdot I$

矩阵维数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R \cdot I$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

(3) 计算一致性比率  $C \cdot R = \frac{C \cdot I}{R \cdot I};$

当  $C \cdot R < 0.1$  时, 主观判断矩阵 A 的不一致程度在容许

范围之内, 可用其特征向量作为权向量, 否则, 重新对影响因素进行两两比较, 构建新的主观判断矩阵。

### 1.5 计算各层指标的权重

评估人员根据组织的业务和资产情况, 对每个指标的重要性进行比较, 并按表 1 列出的 1~9 比例标度对指标重要性程度进行赋值得到判断矩阵 A。按照前面所述的计算步骤得到图 1 中一级指标对目标的权向量, 如表 3 所示。

表 3 一级指标对目标的单排序权向量

T	判断矩阵A			权向量	A的一致性检验
	E1	E2	E3		
E1	1	2	1/2	0.297	$\lambda_{\max}=3.009$ $C.R.=0.009<0.1$
E2	1/2	1	1/3	0.164	
E3	2	3	1	0.539	

同理, 二级指标 E1i, E2i, E3i 对 E1, E2, E3 的权向量, 如表 4、表 5 和表 6 所示。

表 4 E1i 对 E1(灾难恢复管理)单排序权向量

E1	判断矩阵A				权向量	A的一致性检验
	E11	E12	E13	E14		
E12	1	2	3	2	0.417	$\lambda_{\max}=4.071$ $C.R.=0.027<0.1$
E12	1/2	1	2	2	0.269	
E13	1/3	1/2	1	1/2	0.121	
E14	1/2	1/2	2	1	0.193	

表 5 E2i 对 E2(灾难恢复规划)单排序权向量

E2	判断矩阵A				权向量	A的一致性检验
	E21	E22	E23	E24		
E21	1	2	2	2	0.392	$\lambda_{\max}=4.061$ $C.R.=0.023<0.1$
E22	1/2	1	2	2	0.279	
E23	1/2	1/2	1	1	0.165	
E24	1/2	1/2	1	1	0.165	

表 6 E3i 对 E3(IT 技术措施灾难恢复)单排序权向量

E2	判断矩阵A				A的特征向量	A的一致性检验
	E31	E32	E33	E34		
E31	1	1/4	1/2	1/3	0.096	$\lambda_{\max}=4.031$ $C.R.=0.011<0.1$
E32	4	1	3	2	0.466	
E33	2	1/3	1	1/2	0.161	
E34	3	1/2	2	1	0.277	

## 2 运用模糊综合评判法进行综合评估

模糊综合评判法是运用模糊数学理论, 综合考虑多种因素的影响, 从而对某一系统进行综合评价的一种有效方法<sup>[5]</sup>。对信息系统进行灾难恢复能力评估就涉及到十分复杂的指标体系, 因此, 本文采用模糊综合评判法进行灾难恢复能力的综合评判。具体步骤如下:

### 2.1 确定因素集

信息系统灾难恢复能力的因素集分为一级指标集  $E_i (i=1,2,3)$  和二级指标集  $E_{ij} (i=1,2,3; j=1,2,3,4)$ 。

### 2.2 确定权重集

一级指标集  $E_i (i=1,2,3)$  的权重集为  $W_{E_i} \{W_{E_i} (i=1,2,3);$  二级指标集  $E_{ij} (i=1,2,3; j=1,2,3,4)$  的权重集为  $W_{E_{ij}} \{W_{E_{ij}} (i=1,2,3; j=1,2,3,4)$ 。权重集的具体数值由 1.5 节的表 3~表 6 计算得到。

### 2.3 确定评价集

信息系统灾难恢复能力的评价集为  $\tilde{V} = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{\text{强, 较强, 一般, 弱, 很弱}\}$ 。相应评价集的百分制表示为  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\} = \{90, 70, 50, 30, 10\}$ 。

### 2.4 确定隶属函数

本文选择 k 次抛物型分布作为信息系统灾难恢复能力综合评估的隶属函数。经过对 K 取值后的大量计算, 得出 k 取 1.2 时, 隶属度矩阵的归一性比较好, 评价结果合理。

(1)  $v_1$  级的隶属函数选取偏大型分布为

$$A_1(x) = \begin{cases} 0, & x < 70, \\ \left(\frac{x-70}{20}\right)^{1.2}, & 70 \leq x \leq 90, \\ 1, & x > 90 \end{cases}$$

(2)  $v_2, v_3, v_4$  级的隶属函数选取中间型分布, 隶属函数分别为

$$A_2(x) = \begin{cases} 0, & x < 50, \\ \left(\frac{x-50}{17.5}\right)^{1.2}, & 50 \leq x < 67.5, \\ 1, & 67.5 \leq x < 72.5, \\ \left(\frac{90-x}{17.5}\right)^{1.2}, & 72.5 \leq x < 90, \\ 0, & x \geq 90 \end{cases}$$

$$A_3(x) = \begin{cases} 0, & x < 30, \\ \left(\frac{x-30}{17.5}\right)^{1.2}, & 30 \leq x < 47.5, \\ 1, & 47.5 \leq x < 52.5, \\ \left(\frac{70-x}{17.5}\right)^{1.2}, & 52.5 \leq x < 70, \\ 0, & x \geq 70 \end{cases}$$

$$A_4(x) = \begin{cases} 0, & x < 10, \\ \left(\frac{x-10}{17.5}\right)^{1.2}, & 10 \leq x < 27.5, \\ 1, & 27.5 \leq x < 32.5, \\ \left(\frac{50-x}{17.5}\right)^{1.2}, & 32.5 \leq x < 50, \\ 0, & x \geq 50 \end{cases}$$

(3)  $v_5$  级的隶属函数选取偏小型分布为

$$A_5(x) = \begin{cases} 1, & x < 10, \\ \left(\frac{30-x}{20}\right)^{1.2}, & 10 \leq x < 30, \\ 0, & x > 30 \end{cases}$$

## 2.5 银行信息系统灾难恢复能力多层次模糊综合评判

指标集E和评价集 $\tilde{V}$ 之间的模糊关系为 $\tilde{R} = (r_{ij})_{n \times m}$ ,  $r_{ij}$ 是 $E_i$ 和 $v_j$ 之间的隶属关系。若指标集E对应的权重集为 $W_E = \{W_{Ei} | (i=1,2,3)\}$ , 则模糊综合评判记为

$$\tilde{P} = \tilde{W}_E \cdot \tilde{R} = [W_{E1}, W_{E2}, \dots, W_{En}] \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

我们通过对上海市某银行信息系统的灾难恢复能力的各个二级指标进行问卷调查、现场勘察后获得的各指标评分, 如表7所示。

表7 上海某银行信息系统灾难恢复能力指标评分

一级指标	权重	二级指标	权重	指标评分	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$
E1	0.297	E11	0.417	55	0	0.222	0.831	0	0
		E12	0.269	75	0.189	0.831	0	0	0
		E13	0.121	65	0	0.831	0.222	0	0
		E14	0.193	45	0	0	0.831	0.222	0
E2	0.164	E21	0.392	60	0	0.511	0.511	0	0
		E22	0.279	75	0.189	0.831	0	0	0
		E23	0.165	70	0	1	0	0	0
		E24	0.165	75	0.189	0.831	0	0	0
E3	0.539	E31	0.096	85	0.708	0.222	0	0	0
		E32	0.466	90	1	0	0	0	0
		E33	0.161	90	1	0	0	0	0
		E34	0.277	90	1	0	0	0	0

考虑到 $M(\cdot, \oplus)$ 模型对所有因素能根据权重大小均衡兼顾, 体现整体的特性, 因此使用 $M(\cdot, \oplus)$ 算子进行模糊综合评判计算, 再利用加权平均判决法得出评判结果。

(1)一级评判计算

$E_1$ 的模糊评判向量为

$$\tilde{P}_1 = W_{E1} \cdot \tilde{R}_1 = [0.417 \quad 0.269 \quad 0.121 \quad 0.193] \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.222 & 0.831 & 0 & 0 \\ 0.189 & 0.831 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.831 & 0.222 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.831 & 0.222 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= [0.0 \quad 0.510 \quad 0.416 \quad 0.533 \quad 0.042 \quad 0.9 \quad 0]$$

$E_1$ 的加权平均判决值为

$$V_{E1} = [0.051 \quad 0 \quad 0.416 \quad 0.533 \quad 0.042 \quad 0.9 \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} 90 \\ 70 \\ 50 \\ 30 \\ 10 \end{bmatrix} = 61.750$$

同理,  $E_2$ 和 $E_3$ 的模糊评判向量和加权平均判决值分别为

$$\tilde{P}_2 = W_{E2} \cdot \tilde{R}_2 = [0.084 \quad 1 \quad 0.734 \quad 3 \quad 0.200 \quad 3 \quad 0 \quad 0]$$

$$\tilde{P}_3 = W_{E3} \cdot \tilde{R}_3 = [0.972 \quad 0 \quad 0.021 \quad 3 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$E_2$ 的加权平均判决值为 $V_{E2} = 68.986$

$E_3$ 的加权平均判决值为 $V_{E3} = 88.972$

从一级指标的综合评判来看, 该银行系统灾难恢复管理方面等级“一般”, 缺乏应急计划测试和演习方面的管理和实践; 灾难恢复规划方面等级“较强”, 但灾难恢复规划的规范性和实用性还有待改进; IT 技术措施方面等级“强”, 特别是数据的备份和恢复做得很完善。

(2)二级评判计算

目标T的加权平均判决值为

$$\tilde{P} = W_E \cdot \tilde{R} = [0.297 \quad 0.164 \quad 0.539] \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.620 & 0.406 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0.033 & 0 & 0 \\ 0.939 & 0.033 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

目标T的加权平均判决值

$$V_T = [0.505 \quad 0.366 \quad 1 \quad 0.125 \quad 8 \quad 0 \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} 90 \\ 70 \\ 50 \\ 30 \\ 10 \end{bmatrix} = 77.453$$

因此, 从整个模糊综合评判结果来判断, 该银行信息系统的总体灾难恢复能力等级是“较强”, 但是我们结合一级指标的综合评判来分析, 该银行系统在灾难恢复管理和灾难恢复规划还要提高, 特别需要加强灾难应急的测试演习来提高实际的灾难恢复能力。

## 3 结论及展望

利用AHP和模糊综合评判法, 对信息系统灾难恢复能力进行综合评估, 不但可以发挥安全领域评估人员经验的作用, 而且减少了人为主观臆断带来的偏差, 使得评判结果更科学、更接近实际。上海某银行信息系统灾难恢复能力评判的结果表明, 本文采用的AHP和模糊综合评判法是合理、可行的。评判的结果为该银行提高信息系统灾难恢复能力的决策提供了科学、可靠的支持。

模糊隶属函数是模糊综合评判的基础, 根据实际评判的结果对模糊隶属函数修正, 需进一步研究。用面向对象语言实现AHP和模糊综合评判的算法, 并将算法应用到信息系统灾难恢复能力评估软件中去, 也值得继续深入研究。

(下转第140页)