

# 基于预排序和上取整函数的 AHP 判断矩阵生成算法

鲁智勇<sup>1,2</sup>, 张 磊<sup>1</sup>, 唐朝京<sup>1</sup>

(1. 国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073; 2. 六三八八零部队, 河南洛阳 471003)

**摘 要:** 对于层次分析法中不满足一致性要求的判断矩阵, 提出了一种新的生成算法. 此算法首先对目标因素集进行预排序生成初始判断矩阵, 由上取整函数生成比较矩阵, 然后由初始判断矩阵和比较矩阵构造相对误差矩阵, 并在相对误差矩阵和矩阵相异度的控制下逐步调整初始判断矩阵, 最后生成满足一致性要求和矩阵相异度最小的目标判断矩阵. 仿真结果证实了所提出方法的可行性和有效性.

**关键词:** 层次分析法; 判断矩阵; 一致性; 预排序; 上取整函数

**中图分类号:** O223 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2009)06-1247-05

## A Generating Algorithm for the Judgment Matrix in AHP Based on Pre-Ordering and Top Integral Function

LU Zhi-yong<sup>1,2</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, TANG Chao-jing<sup>1</sup>

(1. College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China;

2. Unit 6388Q Luoyang, Henan 471003, China)

**Abstract:** An algorithm is proposed for the non consistent judgment matrix in AHP. A primary judgment matrix is generated firstly through pre ordering the targeted factor set, and a compared matrix is built through the top integral function. Then a relative error matrix is created by comparing the compared matrix with the primary judgment matrix which is regulated under the control of the relative error matrix and the dissimilar degree of the matrix step by step. Finally, the targeted judgment matrix is generated to satisfy the requirement of consistence and the least dissimilar degree. The feasibility and validity of the proposed method are verified by simulation results.

**Key words:** analytical hierarchy process; judgment matrix; consistency; pre ordering; top integral function

### 1 引言

层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, 简称 AHP) 是美国匹兹堡大学 Thomas L. Saaty 教授于 20 世纪 70 年代中期提出的一种系统分析方法, 其基本原理是把复杂系统分解成目标、准则、方案等层次, 在此基础上进行定性和定量分析决策, 已广泛应用于社会、经济、军事、管理诸多领域的辅助决策、模式识别和效能评估等方面.

在 AHP 分析中需要用到判断矩阵, 但由专家给出的判断矩阵往往是不一致的, 需要对专家给出的判断矩阵做出调整. 对判断矩阵一致性调整的研究一直以来是 AHP 方法研究的难点和热点, 许多学者对此进行了研究, 并提出了自己的思想: 文献[1]根据分析者的大致估计来修正判断矩阵, 该法缺乏系统的理论指导, 具有主观性和盲目性, 有时需经过多次修正才能通过一致性检

验; 文献[2]利用归一化判断矩阵的各列向量与特征向量的夹角余弦进行修正判断矩阵, 该法的修正具有局部性, 修正的幅度较大, 与修正有关的判断要素的排序往往发生变化; 文献[3]通过构造诱导矩阵, 然后分析诱导矩阵与判断矩阵之间的偏差, 从而提出新的改进判断矩阵一致性的方法, 该方法迭代的次数过多, 生成的矩阵元素都是小数; 在文献[4]中, Saaty 教授认为不一致矩阵可以通过对某个完全一致的判断矩阵加以适当的扰动得来, 通过构造这种扰动矩阵, 找出对原来判断矩阵扰动最大的元素, 通过对该元素的调整达到对判断矩阵一致性调整的目的, 该法没有充分考虑判断矩阵提供的专家判断信息, 修正的幅度较大, 而且还不能保证调整后的判断矩阵元素满足 1~9 位标度法<sup>[5,6]</sup>, 这与其自身所提出的最初构建判断矩阵的原则相违背. 基于以上分析, 本文提出了基于预排序和上取整函数的 AHP 判断

矩阵生成算法, 此算法收敛可达, 具有较小的调整幅度, 并且最终修正后的判断矩阵元素满足 1~ 9 位标度法.

### 2 判断矩阵的构建及一致性检验

判断矩阵主要是由专家评估或由历史(经验)数据得出, 其中最常用的是 1~ 9 位标度法, Saaty 教授运用大量的模拟实验证明, 1~ 9 位标度法能更有效的将思维判断数量化. 表 1 列出了 1~ 9 标度的含义:

表 1 判断矩阵中标度的含义

标度	含义
1	表示两个因素相比, 具有相同重要性
3	表示两个因素相比, 前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比, 前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比, 前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比, 前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若因素 $i$ 与因素 $j$ 的重要性之比为 $a_{ij}$ , 那么因素 $j$ 与因素 $i$ 重要性之比为 $1/a_{ij}$ .

为避免其他因素对判断矩阵的干扰, 在实际中要求判断矩阵满足大体上的一致性, 需进行一致性检验. 只有通过检验, 才能说明判断矩阵在逻辑上是合理的, 才能继续对结果进行分析. 对判断矩阵进行一致性检验, 按式(1)计算:  $CR = CI/RI$  (1) 式中,  $CR$  (consistency ratio) 为一致性比例. 当  $CR < 0.1$  时, 认为判断矩阵的一致性是可以接受的, 否则应对判断矩阵作适当修正, 直到满足一致性.  $CI$  (consistency index) 为一致性指标, 按式(2)<sup>[7]</sup> 计算:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

式中,  $\lambda_{max}$  为判断矩阵的最大特征根;  $n$  为成对比较因子的个数;  $RI$  (random index) 为随机一致性指标, 可查表 2<sup>[6]</sup> 确定.

表 2 3~ 11 阶矩阵的平均随机一致性指标

阶	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$RI$	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.52

最大特征值就是每一个判断矩阵各因素针对其准则的相对权重. 对于  $\lambda_{max}$  的计算可以先采用和积法<sup>[6, 8]</sup> 求解特征向量  $W$ , 经归一化后即为同一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权值. 具体步骤如下:

首先将判断矩阵每一列正规化

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其次将每一列经正规化后的判断矩阵按行相加

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

然后对向量  $\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]^T$  正规化

$$W = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{k=1}^n \bar{W}_k}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

所得到的  $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$  即为所求特征向量, 最后判断矩阵最大特征根为

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (6)$$

### 3 基于预排序和上取整函数的 AHP 判断矩阵生成算法

#### 3.1 相关定义和定理

定义 1 初始判断矩阵: 由以下规则生成的判断矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  被称为初始判断矩阵.

Step1 比较隶属于同一目标诸因素的重要程度, 对因素集进行预排序, 按降序排列的因素集为  $r_1, r_2, \dots, r_n$ , 其中  $n \geq 3$ ;

Step2 根据专家经验, 采用 1~ 9 位标度法构造判断矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ . 由于已经对因素集进行预排序, 故第一行元素全为整数, 且有  $1 = a_{11} \leq a_{12} \leq \dots \leq a_{1n}$ .

定义 2 比较矩阵: 由以下规则生成的矩阵  $B = (b_{ij})_{n \times n}$  被称为比较矩阵.

Step1 矩阵  $B$  的第一行元素有关系  $b_{11} \leq b_{12} \leq \dots \leq b_{1n}$ , 且  $b_{ij} \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ , 而  $B$  的第一列元素值为  $b_{j1} = 1/b_{1j}$ , 其中  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

Step2 对于矩阵  $B$  的第  $k$  行元素值, 有  $b_{kj} = [b_{(k-1)j}/b_{(k-1)k}]$  相应的第  $k$  列元素值为  $b_{jk} = 1/b_{kj}$ , 其中  $j = k, k+1, \dots, n, 2 \leq k \leq n$  (矩阵  $B$  的各元素的计算利用了上取整函数);

Step3 直到计算出  $b_{mn}$  元素值, 算法结束, 比较矩阵生成完毕.

定义 3 相对误差矩阵: 由以下规则生成的矩阵  $E = (e_{ij})_{n \times n}$  被称为相对误差矩阵.

矩阵  $E$  是由初始判断矩阵减去比较矩阵并与相应位的比较矩阵进行比较得到的, 并有关系  $e_{ij} = |a_{ij} - b_{ij}|/b_{ij}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$ .

定义 4 过渡判断矩阵: 初始判断矩阵在修正过程中生成的矩阵被称为过渡判断矩阵  $G = (g_{ij})_{n \times n}$ .

定义 5 矩阵相异度: 两矩阵主特征向量间的 Euclidean 距离被称为矩阵相异度. 矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  和  $B = (b_{ij})_{n \times n}$  的相异度计为  $d(A, B)$ . 则有

$$d(A, B) = \sqrt{\sum_{k=1}^n |w_A^k - w_B^k|^2} \quad (7)$$

$w_A$  和  $w_B$  分别是矩阵  $A$  和  $B$  的主特征向量.  $d(A, B)$  值越小表示矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  和  $B = (b_{ij})_{n \times n}$  越相似.

定义 6 目标判断矩阵: 初始判断矩阵修正后, 最后得到的判断矩阵称为目标判断矩阵  $D = (d_{ij})_{n \times n}$

定理 1 阶小于 30 的比较矩阵都满足一致性要求

(因实验室条件所限, 更高阶的比较矩阵没有仿真验证, 因此, 30 阶以上比较矩阵的一致性没有给出结论).

证明 由定义 2 知  $n$  阶比较矩阵由其第一行的后  $n-1$  个数据确定,  $n$  阶比较矩阵的总数是有限的, 根据定义 2 可知,  $n$  阶比较矩阵的个数为  $\sum_{k=1}^9 \binom{8}{k-1} \binom{n-1}{k-1}$ ,  $k=1, 2, \dots, 9, n \geq 3$ . 表 3 列出了 3~29 阶比较矩阵的总数. 因此, 可以采用枚举的方法检测阶数小于 30 的所有比较矩阵的一致性. 采用下面的一致性验证遍历嵌套算法可以证明定理 1 的正确性.

表 3 3~29 阶比较矩阵数列表

阶数	矩阵数	阶数	矩阵数	阶数	矩阵数
3	45	12	7582	21	3108105
4	165	13	125970	22	4292145
5	495	14	203490	23	5852925
6	1287	15	319770	24	7888725
7	3003	16	490314	25	10518300
8	6435	17	735471	26	13884156
9	12870	18	1081575	27	18156204
10	24310	19	1562275	28	23535820
11	43758	20	2220075	29	30260340

以下是判断矩阵一致性验证遍历嵌套算法:

Step<sub>1</sub> 初始化

①输入矩阵的阶  $n, n \geq 3$

②用变量  $m = n - 1$  控制程序嵌套层数

Step<sub>2</sub> For  $n_1 = 1$  to 9

Step<sub>3</sub> if  $(m - \dots \geq 1)$  For  $n_2 = n_1$  to 9

Step<sub>4</sub> if  $(m - \dots \geq 1)$  For  $n_3 = n_2$  to 9

⋮

Step <sub>$n-1$</sub>  if  $(m - \dots \geq 1)$  For  $n_{n-2} = n_{n-3}$  to 9

Step <sub>$n$</sub>  if  $(m - \dots \geq 1)$  For  $n_{n-1} = n_{n-2}$  to 9

①令  $b_{11} = 1, b_{12} = n_1, \dots, b_{1n} = n_{n-1}$ , 向量  $(b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1n})$  作为比较矩阵的第一行, 调用预排序和上取整函数算法构建比较矩阵  $B$

②按式(3)列正规化比较矩阵

③按式(4)比较矩阵按行相加, 得向量  $\bar{W}$

④按式(5)得正规化的  $W$ , 即为所求特征向量

⑤按式(6)计算比较矩阵最大特征根  $\lambda_{max}$

⑥如果  $CR = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) / RI \geq 0.10$ , 说明不满足一致性要求.

Step <sub>$n+1$</sub>  算法结束.

本算法由 Matlab 编程实现, 对 3~29 阶所有比较矩阵进行 AHP 判断矩阵一致性检验, 仿真结果显示全部满足要求.

如专家给出的矩阵第一行向量为  $(1, 1, 2, 4, 6, 6, 7, 8, 9, 9)$ ,

则生成的比较矩阵  $B$  为:

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 4 & 6 & 6 & 7 & 8 & 9 & 9 \\ 1 & 1 & 2 & 4 & 6 & 6 & 7 & 8 & 9 & 9 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 3 & 3 & 4 & 4 & 5 & 5 \\ 1/4 & 1/4 & 1/2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 & 3 \\ 1/6 & 1/6 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/6 & 1/6 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/7 & 1/7 & 1/4 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/8 & 1/8 & 1/4 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/9 & 1/9 & 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/9 & 1/9 & 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

经一致性检验,  $\lambda_{max} = 10.0629, CR = 0.0047 < 0.1$ ,

满足一致性要求.

3.2 算法流程

在实际应用中初始判断矩阵的阶数不能过大, 通常矩阵阶不超过 9, 定理 1 证明阶小于 30 的所有比较矩阵都满足一致性, 具有实际应用价值.

基于预排序和上取整函数的 AHP 判断矩阵生成算法首先生成初始判断矩阵, 然后遍历所有与初始判断矩阵同阶的比较矩阵, 对每个同阶的比较矩阵, 产生一个与初始判断矩阵完全相同的过度判断矩阵, 按照由过度判断矩阵与比较矩阵生成相对误差矩阵元素的降序次序, 逐个用相应位比较矩阵的值替换过渡判断矩阵相应位的值, 并置换相应对称位的元素值, 直至满足一致性要求; 最后找出所有满足一致性要求过渡判断矩阵中与初始判断矩阵的矩阵相异度最小者, 此过渡判断矩阵即为目标判断矩阵. 具体算法流程如下:

Step<sub>1</sub> 初始化

①输入  $n$  阶初始判断矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ , 并令目标判断矩阵  $D = (d_{ij})_{n \times n} = A, n \geq 3$

②用变量  $m = n - 1$  控制程序嵌套层数

③最小的矩阵相异度  $d = 20000.0$

Step<sub>2</sub> For  $n_1 = 1$  to 9

Step<sub>3</sub> if  $(m - \dots \geq 1)$  For  $n_2 = n_1$  to 9

Step<sub>4</sub> if  $(m - \dots \geq 1)$  For  $n_3 = n_2$  to 9

⋮

Step <sub>$n-1$</sub>  if  $(m - \dots \geq 1)$  For  $n_{n-2} = n_{n-3}$  to 9

Step <sub>$n$</sub>  if  $(m - \dots \geq 1)$  For  $n_{n-1} = n_{n-2}$  to 9

①令  $b_{11} = 1, b_{12} = n_1, \dots, b_{1n} = n_{n-1}$ , 向量  $(b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1n})$  作为比较矩阵的第一行, 由定义 2 生成比较矩阵  $B$ , 并生成过度判断矩阵  $G = (g_{ij})_{n \times n} = A$

②根据定义 3, 由矩阵  $G$  和  $B$  生成相对误差矩阵  $E = (e_{ij})_{n \times n}$

③按误差矩阵  $E$  元素值的降序次序, 逐个用相应位比较矩阵  $B$  的值替换过渡判断矩阵  $G$  相应位的值,

而对称位的元素值也做相应的置换,直至  $G$  满足一致性要求,如  $G$  与  $A$  的矩阵相异度小于  $d$ ,则令  $d$  等于  $G$  与  $A$  的矩阵相异度,并且令目标判断矩阵  $D = G$ ; (验证一致性算法与判断矩阵一致性验证遍历嵌套算法相同)

Step<sub>n+1</sub> 此时矩阵相异度值对应的目标判断矩阵即为所求解。

#### 4 算法有效性分析

判断矩阵修正算法的有效性可从算法的可达性,判断矩阵调整前后的相异度和矩阵元素的最大调整幅度三个方面来衡量。

本文算法是以满足一致性要求的比较矩阵为基准对初始判断矩阵进行调整,对于不满足一致性的  $n$  阶初始判断矩阵最多经过  $n(n-1)/2$  次调整就可求解目标判断矩阵,因此,本算法是收敛可达的。

对于本文算法的矩阵相异度和矩阵元素的最大调整幅两个方面的评价,可通过与 Saaty 教授提出的判断矩阵调整算法进行仿真和实例比较。

##### 4.1 仿真实验比对

根据 1~9 位标度法和定义 1,初始判断矩阵主对角线上的元素全为 1,上三角矩阵的元素为 1~9 或其倒数中的任一整数,而下三角矩阵的元素为上三角矩阵的元素的倒数,那么,  $n$  阶初始判断矩阵的个数为  $17^{n(n-1)/2}$ ,  $n \geq 3$ 。随着矩阵阶的增大,初始判断矩阵的数量呈指数级增加,如果采用枚举的方法对本文算法和 Saaty 教授算法的矩阵相异度和矩阵元素的最大调整幅进行仿真比较,工作量将十分艰巨,在实际仿真比对中,可采用小子样方法<sup>[9]</sup>抽样进行,虽然仿真结果不够严谨,但大体

表 4 3~9 阶初始判断矩阵的实验对比

阶数	I	II	III
3	全部	0.9121	0.9242
4	100,000	0.9062	0.9074
5	100,000	0.8820	0.8925
6	200,000	0.8534	0.8763
7	200,000	0.8262	0.8567
8	300,000	0.7866	0.8333
9	300,000	0.7648	0.8058
10	400,000	0.7454	0.7863
11	400,000	0.7276	0.7524
12	500,000	0.7083	0.7325
13	500,000	0.6982	0.6865
14	600,000	0.6883	0.6732
15	600,000	0.6785	0.6643

上能反映两种调整算法的实际情况,实验结果如表 4 和图 1 所示,其中表 4 中 I 为实验的不满足一致性的初始判断矩阵抽样数,II 为不满足一致性的实验矩阵中本文算法矩阵相异度小于 Saaty 算法的比率,III 为不满足一

致性的实验矩阵中本文算法最大调整幅度小于 Saaty 算法的比率。

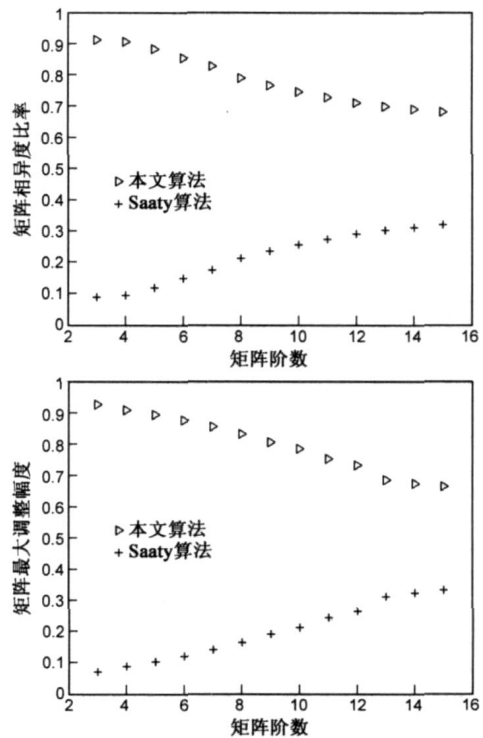


图 1 矩阵相异度和最大调整幅度的对比

图 1 对 3~15 阶不满足一致性的实验矩阵的矩阵相异度值和最大调整幅度值进行统计,纵坐标表示矩阵的阶,横坐标表示本文算法的矩阵相异度值(或最大调整幅度值)优于 Saaty 算法的比率。

由表 4 和图 1 知,本文算法的矩阵相异度和最大调整幅度要普遍优于 Saaty 算法,随着矩阵阶的增加,效果有所下降,优势不再明显,这是由于误差的不断累积所致的,但在实际应用中,矩阵的阶一般不超过 9,因此本文算法与 Saaty 算法相比还是有一定的优势。

##### 4.2 实例比对

下面是一个在众多文献中都引用的矩阵调整实例,初始判断矩阵:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 5 & 9 \\ 1/2 & 1 & 2 & 5 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 1/3 \\ 1/9 & 1/5 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

矩阵  $A$  的主特征向量  $w_A = [0.5335, 0.2636, 0.0896, 0.1133]$ ,  $CR = 0.1874 > 0.10$ ,所以不满足一致性要求,需进行调整。

根据本文的生成算法,直到调整成功,则有:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 5 & 9 \\ 1/2 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 2 \\ 1/9 & 1/5 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/3 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 5/6 \\ 0 & 0 & 5 & 0 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 5 & 9 \\ 1/2 & 1 & 2 & 5 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/9 & 1/5 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

矩阵  $D$  的主特征向量  $w_D = [0.553, 0.269, 0.120, 0.058]^T$ ,  $CR = 0.0028 < 0.10$ , 满足一致性要求。

按 Saaty 所描述的调整方法, 最后生成的判断矩阵为:

$$D_s = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 5 & 9 \\ 1/2 & 1 & 2 & 5 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 2.1264 \\ 1/9 & 1/5 & 0.4703 & 1 \end{pmatrix}$$

矩阵  $D_s$  的主特征向量  $w_{D_s} = [0.552, 0.269, 0.122, 0.057]^T$ ,  $CR = 0.0027 < 0.10$ , 满足一致性要求。

本文提出算法生成目标判断矩阵与初始判断矩阵

的相异度  $d(A, D) = \sqrt{\sum_{k=1}^n |w_A^k - w_D^k|^2} = 0.0660$ ; 而 Saaty

所描述的调整方法生成矩阵的相异度  $d(A, D_s) =$

$\sqrt{\sum_{k=1}^n |w_A^k - w_{D_s}^k|^2} = 0.0674$ . 从而有  $d(A, D) < d(A, D_s)$ .

本文提出的算法将初始判断矩阵的元素  $a_{43} = 3$  调整为  $d_{43} = 0.5$ , 调整幅度是 83.33%; 而 Saaty 的调整方法将初始判断矩阵的元素  $a_{43} = 3$  调整为  $d_{s_{43}} = 0.4703$ , 调整幅度是 84.32%。

## 5 结论

与传统的 AHP 判断矩阵调整方法相比, 基于预排序和上取整函数的 AHP 判断矩阵生成算法在充分利用初始判断矩阵信息的基础上, 以比较矩阵为基准找出一个既能满足一致性要求, 矩阵相异度和调整的元素幅度又要小的目标判断矩阵, 并能确保生成目标判断矩阵的元素在 1~9 及其倒数范围内. 因此, 基于预排序和上取整函数的 AHP 判断矩阵生成算法合理有效, 具有很强的操作性和实用性。

## 参考文献:

- [1] 刘兴堂, 吴晓燕. 现代系统建模与仿真技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2001.  
Liu xing tang, Wu xiao yan. Modeling and Simulation Technology of Modern System[M]. Xian: The northwest industry college Publishing House, 2001. (in Chinese)

- [2] Xu Z. On consistency of the weighted geometric mean complex judgement matrix in AHP[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 126(3): 683-687.
- [3] Satoshi Matsuda. A neural network model for the decision making process based on AHP[A]. Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks[C]. Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2006. 1421-1426.
- [4] Saaty T L. Decision making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 145(1): 85-91.
- [5] Saaty T L. Principles of the Analytical Hierarchy Process[M]. London: Springer Verlag, 1987.
- [6] Saaty T L. Negative priorities in the analytic hierarchy process[J]. Math and Computer Modelling, 2003, 37(1): 1063-1075.
- [7] Saaty T L. Decision making the analytic hierarchy and network processes(AHP/ANP)[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2004, 13(1): 1-35.
- [8] Saaty T L. A scaling method for priorities in hierarchical structures[J]. Journal of Math Psychology, 1977, 15(3): 234-281.
- [9] 王国玉等. 电子系统小子样试验理论方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.  
Wang Guo yu, et al. The Small Sample Test Theory Method of Electronic System[M]. Beijing: National Defence Industry Publishing House, 2003.

## 作者简介:



鲁智勇 男, 1969 年生于河南, 国防科技大学博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为电子靶场武器系统对抗、网络安全与评估。  
E-mail: lzy\_nudt@yahoo.com



张 磊 男, 1981 年生于山东, 国防科技大学博士研究生, 主要研究方向为通信网络安全。



唐朝京 男, 1962 年生于江苏, 国防科技大学教授, 博士生导师, 电子科学与工程学院院长, “十一五” 863 701 专题专家, 中国通信学会理事, 湖南省通信学会副理事长, 主要研究方向为通信网信息安全与对抗。