

# 基于区间标度的群体 ANP 决策方法

杨宏伟 岳 勇 杨学强

(装甲兵工程学院技术保障工程系 北京 100072)

**摘 要** ANP 法是一种关于复杂决策问题的有效求解方法。针对传统 ANP 理论存在“元素相对重要性表达问题”和“群决策问题”的两大固有缺陷,运用“区间标度”代替“点估计”,采用 C-OWA 算子集结群体偏好,提出了基于区间标度的群体 ANP 决策方法。最后,通过实例分析表明了该方法的有效性和可行性。

**关键词** 群体 ANP, 决策方法, 区间标度

**中图分类号** C93 **文献标识码** A

## Group Extension Analysis Network Process Decision Method Based on Interval Scales

YANG Hong-wei YUE Yong YANG Xue-qiang

(Department of Technical Support Engineering, Armored Force Engineering Institute, Beijing 100072, China)

**Abstract** The Analysis Network Process(ANP)is the effective method to resolve the complex decision problem. But the traditional ANP method has obvious limitation, which is the express means about the relative importance of elements and the problem about group decision. To solve this problem, this paper used “interval scales” to replace “point estimating”, adopted C-OWA operator to aggregate the group preference and established the decision method that is named the group extension ANP based on interval scales. Finally, the application example demonstrates the method.

**Keywords** Group extension analysis network process, Decision method, Interval scales

## 1 引言

20 世纪 80 年代,美国匹兹堡大学的 T. L. Saaty 教授提出了一种简便而又实用的多准则综合评价方法——层次分析法(AHP, The Analytic Hierarchy Process)<sup>[1,2]</sup>。AHP 的提出与应用存在一个重要的前提,即假设系统结构中同一层次内部元素或不同层次元素之间不存在相互影响或支配作用(即相互独立)。然而,随着复杂系统理论的发展,人们意识到在许多实际问题中(特别是关于复杂系统的决策问题)元素间关系不再是“简单的线性关系”,而是一种复杂网络结构,即同层次内部元素之间存在依存关系,不同层次元素之间亦有支配、反馈作用。此时,如果仍然运用基于“独立性假设条件”的 AHP 解决复杂系统决策问题,往往会由于假设条件的过于理想化导致决策结果失真。

为有效解决 AHP 的局限性, Saaty 教授在 1990 年提出了反馈 AHP(被看作 ANP 前身)<sup>[3]</sup>。1996 年,他在 ISAHP-IV 基础上,较为系统地提出了一种可以描述各因素或相邻层次之间的相互作用关系的决策理论——ANP 理论(The Analysis Network Process, 译为网路分析法)<sup>[4]</sup>。该方法突破了以往决策问题求解过程中“独立性假设条件”的束缚,提供了对复杂决策问题进行定量分析、求解的简便方法,被国内外学者广泛应用于社会<sup>[5-8]</sup>、经济<sup>[9-11]</sup>、军事<sup>[12-14]</sup>等诸多决策领域。

但随着理论研究和应用实践的不断深入,传统 ANP 理论还存在一些缺陷,并不能满足实际需求。主要体现在两个方面:

(1)元素相对重要性表达问题。ANP 的基本计算单元是表征元素相对重要性的判断矩阵。由于客观事物的复杂性及人们思维能力、知识结构和知识水平的局限性,决策者对元素相对重要性常常不能做出清晰、精确的判断。这些基于主观认知的思维判断中蕴含着较大的不确定性,是难以用一个精确的数值来量化表达的。然而在传统 ANP 方法的构造判断矩阵过程中,元素相对重要性的表达方式仍然采用“点估计”的方式(即采用 AHP 法中 1-9 标度法表示)。事实上, Saaty 教授早在研究 AHP 时就认为采用“点估计”来描述人的主观判断是值得商榷的。

(2)群决策问题。在决策实践中,对于复杂决策问题往往需要采用群决策的方法,广泛吸收不同领域专家的意见,综合集成专家群体的智慧,才可能全面地认识、把握复杂系统,以此得出的决策结果也才能更大程度地与决策问题的实际情况相符合。然而,在 ANP 理论体系中,它自身并不具有群决策功能,为满足实际需求,其功能需要加以拓展。

针对上述问题,国内外仅有少量学者做了一些探索工作。Mikhailov 等<sup>[15]</sup>将模糊逻辑与 ANP 理论相结合,提出了模糊 ANP 方法(FANP, Fuzzy ANP);孙永河<sup>[16]</sup>针对 CSII 型系统(一种典型 ANP 结构),提出了基于“区间估计+DEA 模型”

到稿日期:2011-08-12 返修日期:2011-11-28 本文受军队科研计划项目资助。

杨宏伟(1960—),男,博士,教授,主要研究方向为管理科学与工程、复杂系统建模与仿真、装备保障系统运行与优化;岳 勇(1987—),男,硕士,主要研究方向为装备保障系统运行与优化, E-mail: zgyyueyong@sina.com。

的改进排序方法;舒宇等<sup>[17]</sup>提出基于模糊指数标度方法的改进 ANP 算法。上述方法虽具有较强的理论基础,但计算过程太过复杂,实用性较差,且仅解决了“元素相对重要性表达”问题,并未开发出“ANP 群决策”功能。鉴于 ANP 理论在复杂决策问题中的重要性,本文综合考虑其两大固有缺陷,提出了基于区间标度的群体 ANP 决策方法,以求丰富和完善 ANP 理论。

## 2 ANP 基础理论

### 2.1 ANP 典型结构

ANP 理论以“网络化的系统结构表示方法”描述研究对象,允许元素组间、元素组内部存在反馈和相互依赖关系。

图 1 是一个典型的 ANP 结构。ANP 结构一般可分为两大部分<sup>[4-8]</sup>:

第一部分为控制层,包括问题目标及决策准则。所有的决策准则均被认为是彼此独立的,且只受目标支配。控制层元素中可以没有决策准则,但至少有一个目标。

第二部分为网络层。网络节点是由受控制层支配的一个元素或一个元素组组成的。元素之间、元素组之间、元素组内部都不是简单的相互独立关系,而是存在反馈、依存关系,形成网络结构。

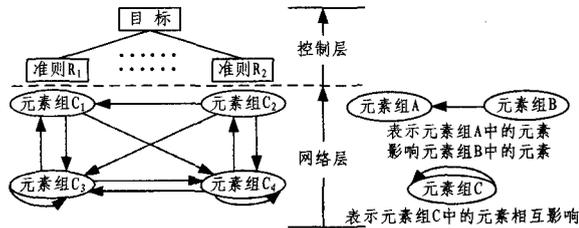


图 1 ANP 典型结构

### 2.2 ANP 决策步骤

ANP 是在 AHP 的基础上延伸和发展起来的,可以说是 AHP 在复杂系统决策领域的进化。基于 ANP 求解问题的基本思想与 AHP 大体相同,但 ANP 中引入了超矩阵的应用和分析,其决策流程及相关算法具有特殊性,如图 2 所示。

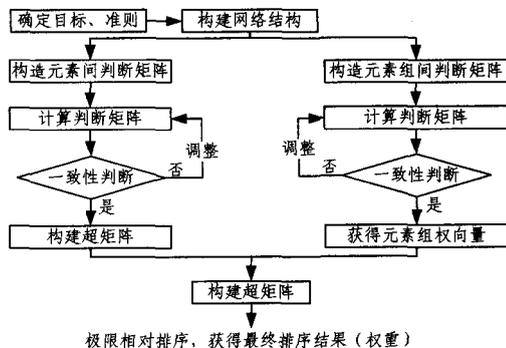


图 2 ANP 决策一般流程

Step1 确定目标、准则。通过对决策问题进行详细的描述、阐释,确定该决策问题的目标、准则和子目标。

Step2 构建 ANP 网络。依据上一步确定的目标、准则,确定决策问题涉及的决策元素间的相互关系,并将其转化为网络结构。假设构建的 ANP 网络结构中,控制层准则为  $R_i (i=1, 2, \dots, m)$ , 网络层元素组为  $C_j (j=1, 2, \dots, n)$ , 元素组  $C_j$  中存在元素  $C_{j1}, C_{j2}, C_{j3}, \dots, C_{jk}$ 。

Step3 构造判断矩阵。以控制层元素  $R_i (i=1, 2, \dots, m)$  为准则,以网络层元素组  $C_j$  中元素  $C_{jl} (l=1, 2, 3, \dots, k)$  为次准则,按照“1-9”标度规则,比较元素组  $C_i$  中元素  $C_{if} (f=1, 2, 3, \dots, y)$  相对于元素  $C_{jl} (l=1, 2, 3, \dots, k)$  的重要性大小,得到在准则  $(R_i, C_{jl})$  下表征元素组  $C_i$  中元素相对重要性大小的判断矩阵,记为  $W_{(R_i, C_{jl})}^{C_i}$ 。

Step4 计算判断矩阵。利用“和法”(或“乘积方根法”)计算矩阵  $W_{(R_i, C_{jl})}^{C_i}$  的最大特征值对应的特征向量,并进行一致性检验。若不满足检验条件,则需对判断矩阵进行调整。这个特征向量就是在准则  $(R_i, C_{jl})$  下元素组  $C_i$  中元素的排序向量(即权重向量)。同理,可得到在不同次准则下元素组中元素的排序向量。这些排序向量可组成一个排序向量矩阵,记为  $w_{ij}$ 。

$$w_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i1}^{(j1)} & w_{i1}^{(j2)} & w_{i1}^{(j3)} & \dots & w_{i1}^{(jk)} \\ w_{i2}^{(j1)} & w_{i2}^{(j2)} & w_{i2}^{(j3)} & \dots & w_{i2}^{(jk)} \\ w_{i3}^{(j1)} & w_{i3}^{(j2)} & w_{i3}^{(j3)} & \dots & w_{i3}^{(jk)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{if}^{(j1)} & w_{if}^{(j2)} & w_{if}^{(j3)} & \dots & w_{if}^{(jk)} \end{bmatrix}$$

Step5 构建超矩阵。将所有网络层元素的排序向量矩阵组合,可构建在控制层准则  $R_i$  下的超矩阵,记为  $W$ 。

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & \dots & w_{2n} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & \dots & w_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & w_{n3} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix}$$

Step6 确定元素组权矩阵。以控制层元素  $R_i$  为准则,以元素组  $C_j$  为次准则,比较网络层各元素组相对于元素组  $C_j$  的重要性大小,得到在准则  $(R_i, C_j)$  下表征网络层各元素组相对重要性大小的判断矩阵,记为  $A_{(R_i, C_j)}$ 。

Step7 计算判断矩阵  $A_{(R_i, C_j)}$  的特征向量并进行一致性检验,得到元素组权矩阵,记为  $A$ 。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Step8 构建加权超矩阵。将元素组权矩阵  $A$  与超矩阵  $W$  相乘,得到加权超矩阵,记为  $\bar{W}$ 。

Step9 极限相对排序,获得最终排序结果。极限相对排序(LIP, Limit Influence Priorities)是对超矩阵的极限运算,综合集成了元素组之间、元素组内部元素之间存在的直接、间接影响的作用。可以通过计算  $\bar{W}^\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} \bar{W}^t$  求取。当计算到一定幂次  $k$  时,  $\bar{W}^k$  的每一列趋于相同,此时可近似认为矩阵  $\bar{W}^k$  的第  $j$  列元素为在控制层准则下网络层各元素相对于元素  $j$  的极限相对排序向量。

## 3 基于区间标度的 ANP 群决策方法

本文在传统 ANP 理论基础之上,提出了基于区间标度的 ANP 群决策方法。其总体思路是:引入“区间度量思想”,通过构造区间数判断矩阵来解决“点估计”方式存在的局限性;采用群体决策方式避免因单个专家决策而产生的认知偏

差,并运用C-OWA算子将多个专家决策信息进行有效集结。本方法的决策流程如图3所示。具体步骤和相关算法可以描述如下。

步骤1、步骤2同传统ANP决策方法的Step1、Step2。

步骤3 构造区间数判断矩阵。其具体方法与传统ANP决策方法的Step3相同,唯一不同的是判断矩阵的矩阵元素为区间数,即决策者以1-9标度为判断基准,给出以区间数表示的元素相对重要性度量结果。区间数判断矩阵包括元素间区间型判断矩阵和元素组间区间型判断矩阵。

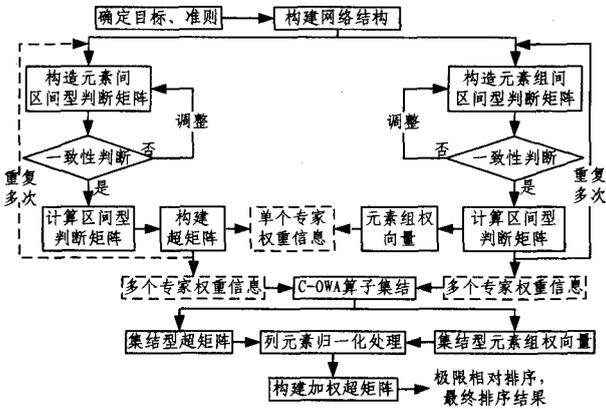


图3 基于区间标度的群体ANP群决策方法流程图

为便于下面的描述,此处将获得区间数判断矩阵定义如下。

定义1 称  $A=(a_{ij})_{n \times n}$  是区间数判断矩阵,如果  $\forall i, j=1, 2, \dots, n$ , 则有

- 1)  $a_{ij}=[a_{ij}^-, a_{ij}^+]$ , 且  $1/9 \leq a_{ij}^- \leq a_{ij}^+ \leq 9$ ;
- 2)  $a_{ji}=1/a_{ij}=[1/a_{ij}^+, 1/a_{ij}^-]$ ;
- 3) 当  $i=j$  时,  $a_{ij}=1$ 。

特别地,  $\forall i, j=1, 2, \dots, n$ , 都有  $a_{ij}^- = a_{ij}^+$  时,  $A$  为数字判断矩阵。

步骤4 计算区间数判断矩阵。此处涉及到两个关键问题:关于区间数判断矩阵的一致性检验和求解。

(1) 区间数判断矩阵一致性检验

目前,已有很多文献研究了区间数判断矩阵一致性问题,其中文献[18]系统总结分析了现有文献关于该问题的研究成果,并给出了对角线上元素为1的区间数判断矩阵一致性的相关定义和判别方法。

定义2<sup>[18]</sup> 称区间数判断矩阵  $A=(a_{ij})_{n \times n}$  具有一致性,若存在数字判断矩阵  $\bar{A}=(\bar{a}_{ij})_{n \times n}$  ( $\bar{a}_{ij} \in [a_{ij}^-, a_{ij}^+]$ ) 具有一致性。

判别方法<sup>[18]</sup>: 区间数判断矩阵具有一致性当且仅当  $\forall i, j=1, 2, \dots, n$ , 有  $\bigcap_{k=1}^n a_{ik} a_{kj} \neq \emptyset$ 。

按照上述判别方法可对区间数判断矩阵进行一致性检验。若决策者给出的区间数判断矩阵不满足一致性要求,需要与决策者协商,修改判断矩阵,使其满足一致性要求。

(2) 区间数判断矩阵求解

区间数判断矩阵求解算法可参考可拓层次分析法<sup>[19]</sup>中的可拓区间数判断矩阵求解方法。具体求解步骤:

①将区间数判断矩阵  $A$  分解为两个矩阵  $A^-=(a_{ij}^-)_{n \times n}$  和  $A^+=(a_{ij}^+)_{n \times n}$ ;

②运用“和法”或“乘积方根法”分别计算  $A^-$  和  $A^+$  的最

大特征值对应的具有正分量的归一化特征向量:

$$W^-=(\omega_1^-, \omega_2^-, \dots, \omega_n^-), W^+=(\omega_1^+, \omega_2^+, \dots, \omega_n^+)$$

③根据矩阵  $A^-$  和  $A^+$ , 利用式(1)计算参数  $k$  和  $m$ :

$$k=\sqrt{\sum_{i=1}^n (1/\sum_{j=1}^n a_{ij}^-)}, m=\sqrt{\sum_{i=1}^n (1/\sum_{j=1}^n a_{ij}^+)} \quad (1)$$

④运用式(2)求取区间数权重向量  $X$ :

$$X=\langle kW^-, mW^+ \rangle = [X_1, X_2, \dots, X_n] \quad (2)$$

步骤5 构建超矩阵  $W$ 。具体方法同传统ANP决策方法的Step5。当有多位决策者参与决策时,重复步骤1-5构建关于不同决策者决策信息的超矩阵。

步骤6 C-OWA算子集结,即完成决策群体偏好信息的有效合成。运用该方法,可以分别将多个超矩阵、元素组权重矩阵进行有效集结,获得集结型超矩阵和集结型元素组权重矩阵。需要注意的是进行偏好集结的对象是各个超矩阵(元素组权重矩阵)中处于相同位置的矩阵元素。

C-OWA算子是美国Yager教授在OWA算子基础上提出的一种解决属性权重信息未知情形下的区间数据信息集结问题的方法<sup>[21]</sup>。OWA算子和C-OWA算子的定义如下。

定义3<sup>[22]</sup> 设  $f:R^n \rightarrow R$ , 若

$$f_\omega(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n \omega_j b_j \quad (3)$$

式中,  $\omega=(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$  是与函数  $f$  相关联的加权向量;  $\omega_j \in [0, 1]$ ,  $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ ; 且  $b_j$  是一组数据  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$  中第  $j$  大的元素,  $R$  为实数集, 则称函数  $f$  是有序加权平均算子(OWA)。

定义4<sup>[21]</sup> 设  $[a, b]$  为区间数, 且

$$f_\rho[a, b] = \int_0^1 \frac{d\rho(y)}{dy} (b - y(b-a)) dy \quad (4)$$

式中,  $\rho: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  是具有下列性质的函数: ①  $\rho(0)=0$ ; ②  $\rho(1)=1$ ; ③ 若  $x > y$ , 则  $\rho(x) \geq \rho(y)$ ; ④ 函数是区间上的可微函数, 称为连续区间数OWA数据算子, 简称C-OWA算子。其中,  $\rho$  称为基本的单位区间单调函数(Basic Unit-interval Monotonic), 简称BUM函数。

在运用C-OWA算子进行偏好信息集结时, 需要考虑两个关键问题: OWA算子权重向量求解和BUM函数选择。

(1) OWA算子权重向量求解

目前, 有关OWA算子权重向量的确定方法已有多种<sup>[23, 24]</sup>, 本文采用文献[24]提出的方法确定OWA算子权重向量。具体算法如下<sup>[24]</sup>:

设  $\omega=(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$  为OWA算子的权重向量,  $\omega_k$  则可由式(5)给出:

$$\begin{cases} \omega_k' = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n}} e^{-\frac{(i-\mu_n)^2}{2\sigma_n^2}} \\ \omega_k = \frac{\omega_k'}{\sum_{i=1}^n \omega_i'} \end{cases}, i=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式中,  $\mu_n$  是由  $(1, 2, \dots, n)$  赋以权重  $\tilde{\omega}=(1/n, 1/n, \dots, 1/n)$  得出的数学期望, 且  $\sigma_n(\sigma_n > 0)$  是由  $(1, 2, \dots, n)$  在  $\mu_n$  及权重向量  $\tilde{\omega}$  下得出的标准差,  $\mu_n$  和  $\sigma_n$  分别由式(6)、式(7)给出。

$$\mu_n = \frac{1}{n} \frac{n(n+1)}{2} = \frac{1+n}{2} \quad (6)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (i-\mu_n)^2} \quad (7)$$

(2) BUM函数选择<sup>[21]</sup>

通常 BUM 函数选取为  $\rho(y) = y^r$ , 则可推导出:

$$f_p([a, b]) = \frac{b+ra}{r+1} \quad (8)$$

式中, 参数  $r$  反映了决策者对风险的偏好态度。当  $r=1$  时, 表明决策者态度为中性; 当  $r \in [0, 1)$  时, 表明决策者态度为风险偏好型(或乐观型); 当  $r \in [1, +\infty)$  时, 表明决策者态度为风险厌恶型(或悲观型)。本文取  $r=1$ 。

步骤 7 列元素归一化处理, 即分别对集结型超矩阵  $W$  的元素块(即  $w_{ij}$ )中的列元素和集结型元素组权矩阵中的列元素进行归一化处理。

步骤 8 构建加权超矩阵。具体方法同传统 ANP 决策的 Step8。

步骤 9 极限相对排序, 获得决策结果。具体方法同传统 ANP 决策方法的 Step9。

## 4 实例分析

装备保障系统能力评估问题是我军装备保障理论研究和建设实践的基础性问题。笔者以相关课题为依托, 根据 ANP 理论的特点, 结合装备保障系统运行实际, 构建了如图 4 所示的装备保障系统能力评估指标体系。其中  $D_1 - D_6$  分别表示快速投送能力、信息保障能力、保障指挥能力、抢救抢修能力、野战供应能力和保障防卫能力。限于篇幅,  $D_1 - D_6$  的下级指标此处不再列出。

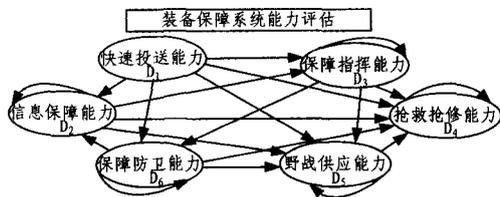


图 4 装备保障系统能力评估指标体系

笔者聘请我军装备保障领域 7 位权威专家组成决策小组, 按照上述基于区间标度的群体 ANP 决策方法相关步骤, 求得指标  $D_1 - D_6$  的权重, 同时利用传统 ANP 法求得相应的指标权重(另聘请一名专家参与决策), 如表 1 所列。

表 1 指标权重

权重	指标序号					
	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$
新方法	0.2372	0.1421	0.2097	0.2152	0.0965	0.0993
传统方法	0.2610	0.0480	0.1220	0.2683	0.2135	0.0872

笔者将不同方法获得的权重值分布情况做成图 5, 并将大于平均权重的指标称为“重要指标”, 将小于平均权重的指标称为“一般指标”。

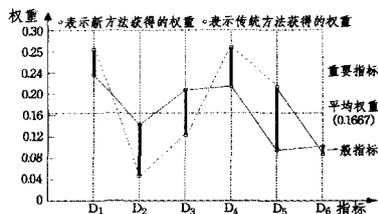


图 5 不同方法下的指标权重值分布

从图中可以分析得出:

(1) 指标  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_4$ 、 $D_6$  在两种方法下权重值均处于同一半区, 表明新方法和传统方法在这些指标的重要性认知上

是一致的; 指标  $D_3$ 、 $D_5$  在两种方法下权重值处于不同半区, 表明新方法和传统方法在这些指标的重要性认知上是存在较大差异的。就“ $D_3$ 、 $D_5$  是属于主要指标还是一般指标”问题, 笔者在决策小组讨论会上向决策专家咨询, 决策小组一致认为: 保障指挥能力是装备保障系统运行和发挥效能的重要组成部分, 应为主要指标; 相对而言, 野战供应能力可为一般指标, 基于群决策的结果更符合保障能力建设要求。

(2) 在两种方法下, 指标  $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ 、 $D_5$  的指标权重相差较大(特别是  $D_5$ )。就其原因, 笔者通过咨询参与传统方法决策的专家, 了解到该专家长期从事维修、器材供应研究, 较少涉猎保障信息态势感知、保障指挥决策领域等领域, 在判断指标相对重要性时有所偏好。

从上述分析中可以看出, 采用基于区间标度的群体 ANP 决策方法获得的决策信息较好地克服了个体偏好带来的影响, 决策结果是值得信赖的; 同时“区间标度”方式避免了“点估计”方式对指标相对重要性的“硬”划分, 具有较强的灵活性和实用性。

结束语 随着复杂理论、决策理论的延伸发展和以 ANP 为理论基础的超级决策软件(Super Decision)的推广应用, ANP 具有极大的研究和应用价值。本文围绕传统 ANP 理论中存在的“元素相对重要性表达问题”和“群决策问题”, 提出了基于区间标度的群体 ANP 决策方法。较之传统方法, 本文方法更具客观性, 在解决实际问题中也更具有灵活性和可信性。本文的研究是从基础理论角度上对 ANP 理论做出了有益探索, 下一阶段的核心工作是将本文方法进行软件固化, 从工程实践应用角度进一步推动 ANP 理论的发展。

## 参考文献

- [1] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980
- [2] 孙东川, 林福水. 系统工程引论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004
- [3] Saaty T L. Multicriteria Decision Making[M]. Pittsburgh: RWS Publications, 1990
- [4] Saaty T L. Decision Making with Dependence and Feedback [M]. Pittsburgh: RWS Publications, 1996
- [5] Tseng M-L. Application of ANP and DEMATEL to evaluate the decision-making of municipal solid waste management in Metro Manila[J]. Environ Monit Assess, 2009, 156: 181-197
- [6] Asan U, Soyer A. Identifying strategic management concepts: an analytic network process approach[J]. Computers and Industrial Engineering, 2009, 56(2): 600-615
- [7] 简朴, 夏铮, 林菁. ANP 法在西部持续发展战略体系调整中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2004, 34(4): 11-15
- [8] 李玉钦. 基于网络分析法(ANP)的水电工程风险分析方法研究[D]. 天津: 天津大学, 2007
- [9] Yazgan H R, Boran S, Goztepe K. Selection of dispatching rules in FMS: ANP model based on BOCR with choquet integral[J]. Int J Adv Manuf Technol, 2010, 49: 785-801
- [10] Lee H, Kim C, Hyunmyung, et al. An ANP-based technology network for identification of core technologies: A case of telecommunication technologies[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36: 894-908

(下转第 39 页)

动作  $del(billy, file3, "in(manager, staff)")$  来实现权限的变化。新情景为  $s = do(del(billy, file3, "in(manager, staff)"), S_0)$ 。

从以上实例可以得到,使用 SCDAC 可以描述访问控制的授权变化过程,而且可以通过具体动作来实现授权状态的动态变化。在具体应用时,可以根据具体的安全需求来定义动作的前提和后续状态变化。

**结束语** 随着资源复杂性和安全需求多样性的变化,信息系统的授权通常需要进行动态变化。现有的访问控制模型大多是静态模型,只能实现局部的动态性,比如通过定义条件来判断用户角色是否激活等,而且无法描述授权的变化过程。情景演算具有很强的动态系统描述能力,因此适合于描述访问控制的授权变化。本文在此基础上提出了基于情景演算的动态访问控制模型(SCDAC),它把系统在某一时刻授权的状态(逻辑事实和规则集合)看作是情景,通过动作来实现情景的变化,即授权状态的变化,并定义了动作实现的前提条件公理和后续状态公理。最后通过一个实例说明了使用 SCDAC 来描述系统授权变化过程的可行性。对动作的进一步扩展及模型的实际应用是需要进一步研究的工作。

### 参考文献

[1] 韩道军,高洁,翟浩良,等.访问控制模型研究进展[J].计算机学报,2010,37(11):29-33

[2] 孙宇清.协同环境中访问控制模型与技术研究[D].济南:山东大学,2006

[3] ANSI. American national standard for information technology-role based access control[S]. ANSI INCITS 359-2004,2004

[4] 窦文扬,王小明,张立臣.普适环境下的动态模糊访问控制模型研究[J].计算机学报,2010,37(9):63-67

[5] 裘灵,谭建荣,张树有,等.应用角色访问控制的工作流动态授权模型[J].计算机辅助设计和图形学学报,2004,16(7):992-998

[6] 刘道斌,白硕.基于工作流状态的动态访问控制[J].计算机研究与发展,2003,40(3):417-421

[7] Vassilis K, Loukas H, Dimitris K, et al. A Dynamic context-aware access control architecture for e-services[J]. Computer & Security,2006,25:507-521

[8] 方萃浩,叶修梓,彭维,等.协同环境下 CAD 模型的多层次动态安全访问控制[J].软件学报,2007,18(9):2295-2305

[9] 邓勇,张琳,王汝传,等.网格计算中基于信任度的动态角色访问控制的研究[J].计算机学报,2010,37(1):51-54

[10] 崔永泉,洪帆,龙涛,等.基于使用控制和上下文的动态网格访问

控制模型研究[J].计算机学报,2008,35(2):37-41

[11] 姚寒冰,胡和平,卢正鼎,等.基于角色和上下文的动态网格访问控制研究[J].计算机学报,2006,33(1):41-44

[12] Sajjad A, Rohiza A. Design of Algorithm for Environment based Dynamic Access Control Model for Database Systems[J]. International Journal of Computer Applications,2011,21(10):0975-8887

[13] Lin Fang-zhen, Situation calculus [M]// Lifschitz V, van Harmelen F, Porter F, eds. Handbook of Knowledge Representation, Elsevier,2007:649-669

[14] Reiter R. Knowledge in Action: Logical Foundations for Describing and Implementing Dynamic Systems[M]. MA: MIT Press, 2001

[15] Bertino E, Bonatti P A, Ferrari E. TRBAC: A Temporal Role-based Access Control Model[J]. ACM Transactions on Information and System Security,2001,4(3):191-233

[16] Joshi J B D, Bertino E, Latif U, et al. A Generalized Temporal Role-based Access Control Model[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering,2005,17(1):4-23

[17] 邓集波,洪帆.基于任务的访问控制模型[J].软件学报,2003,14(1):76-82

[18] 许峰,赖海光,黄皓,等.面向服务的角色访问控制技术的研究[J].计算机学报,2005,28(4):686-693

[19] 徐伟,魏峻,李京.面向服务的工作流访问控制模型研究[J].计算机研究与发展,2005,42(8):1369-1375

[20] 李晓峰,冯登国,陈朝武,等.基于属性的访问控制模型[J].通信学报,2008,29(4):90-98

[21] Park J, Sandhu R. The UCON<sub>ABC</sub> Usage Control Model [J]. ACM Transactions on Information and System Security,2004,7(1):128-174

[22] Sandhu R, Park J. Usage Control: A Vision for Next Generation Access Control[C]//MMM-ACNS 2003. LNCS 2776,2003:17-31

[23] 王小明,付红,张立臣.基于属性的访问控制研究进展[J].电子学报,2010,38(7):1660-1667

[24] Dougherty D J, Fislser K, Krishnamurthi S. Specifying and reasoning about dynamic access-control policies[C]//3rd International Joint Conference on Automated Reasoning (IJCAR). LNCS 4130,2006:632-646

[25] 陈宁,冯博琴.一种基于情境演算的进化 MAS 系统[J].计算机研究与发展,2006,43(Suppl.):147-151

[26] 刘一松.面向主体的状态演算及其在智能虚拟人中的应用的研究与实现[D].南京:南京理工大学,2009

(上接第 24 页)

[11] 张肇.基于 ANP 的科技规划决策支持系统研究[D].北京:清华大学,2008

[12] 许永平,杨峰,王维平.一种基于 QFD 与 ANP 的装备作战需求分析方法[J].国防科技大学学报,2009,31(40):134-139

[13] 汪彦明,徐培德. ANP 的指挥控制系统作战效能评估[J].火力与指挥控制,2007,32(11):77-80

[14] 管明露,严聪,蔡凯.基于 GM-ANP 的维修人员保障能力评估[J].火力与指挥控制,2010,35(6):77-80

[15] Mikhailov L, Singh M G. Fuzzy analytic network process and its application to the development of decision support systems[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics (Part C: Applications and Reviews),2003,33(1):33-41

[16] 孙永河.基于非线性复杂系统观的 ANP 决策分析方法研究

[D].长春:吉林大学,2009

[17] 舒宇,谭跃进.改进的网络分析法及其应用研究[C]//中国系统工程学会决策科学专业第八届学术年会论文集.2009:15-21

[18] 冯向前,魏翠萍,胡钢,等.区间数判断矩阵的一致性研究[J].控制与决策,2008,23(2):180-186

[19] 高洁,盛昭瀚.可拓层次分析法研究[J].系统工程,2002,20(5):6-11

[21] Yager R R. OWA aggregation over a continuous interval argument with applications to decision making [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 2004,34(5):1952-1963

[22] Yager R R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making [J]. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics,1988,18(1):183-190