

文章编号: 1001-0920(2013)01-0084-05

## 基于关联属性的系统结构分析模型及其应用

李明辉<sup>1,2</sup>, 夏靖波<sup>1</sup>, 陈才强<sup>3</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 西安 710077; 2. 空军后勤部, 北京 100720; 3. 空军通信网络技术管理中心, 北京 100843)

**摘要:** 为了减少主观因素对系统结构分析的干扰, 充分考虑系统中要素、属性的关联影响, 提出一种基于关联属性的系统结构分析模型. 该模型基于定性分析构建判断矩阵, 并利用确知属性权重代替属性影响权重建立影响关系矩阵, 从而通过区分属性关联与否构造关联要素属性对属性的模糊关系矩阵, 得到正、逆和双关联属性的贡献度与关联度, 实现定性问题的定量分析. 应用实例表明, 该模型具有较强的实用性和可行性.

**关键词:** 系统结构分析; 要素; 关联属性; 关联度; 通信网络

**中图分类号:** N945.12; TN913.2

**文献标志码:** A

## Relation attribute based system structural analysis model and its application

LI Ming-hui<sup>1,2</sup>, XIA Jing-bo<sup>1</sup>, CHEN Cai-qiang<sup>3</sup>

(1. Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Air Force Logistics Department, Beijing 100720, China; 3. Air Force Communication Networks Management Center, Beijing 100843, China. Correspondent: LI Ming-hui, E-mail: airminghuili@163.com)

**Abstract:** To reduce the subjective interfere with system structural analysis, by taking the relation effect of integrant/attribute into consideration, a system structural analysis model based on relation attribute is proposed. Based on the qualitative analysis the estimation matrix and the effect relation matrix are constructed. Then contribution degree and relation degree are acquired according to the fuzzy relation matrix of attribute-to-attribute with relation integrant. Application example shows the practicability and feasibility of the proposed method.

**Key words:** system structural analysis; integrant; relation attribute; relation degree; communication networks

### 0 引言

系统结构分析模型作为描述系统各组成要素之间以及系统与环境之间相互关系的最基本模型, 记录了对系统结构定性关系的认识, 同时, 又进一步激发和诱导了对系统的分析. 因此, 系统结构分析模型是认识和分析系统的有力工具, 是从定性分析过渡到定量分析的中间媒介, 是实现定性问题量化分析的最佳方法<sup>[1-4]</sup>, 在社会、经济、管理和资源研究等方面得到广泛应用.

目前, 系统结构分析模型的经典方法主要包括典型要素法、核心要素法和传递扩大法. 这3种方法是针对不同场合和数据特征产生的, 极大地丰富和发展了系统结构分析理论, 为系统建模方法的进一步研究

奠定了基础<sup>[5-8]</sup>. 文献[9]提出结构建模信息保留法, 该方法突破了其他求解邻接矩阵方法只局限于由可达矩阵到邻接矩阵这一阶段的限制, 把建立可达矩阵和求邻接矩阵的过程结合起来考虑完成系统结构分析. 文献[10]提出一种新的基于可达矩阵的系统结构模型生成方法, 该方法利用可达关系的传递性, 将初始可达矩阵进行一系列变换后, 消除部分未知关系, 再利用不可达关系进一步消除一部分未知关系, 最后采用人机交互的办法消除剩余的未知关系, 从而得到利用可达矩阵表示的系统结构模型. 这种新的系统结构模型生成方法既可以判断初始可达矩阵的逻辑合理性, 又可以利用初始可达矩阵中的不可达关系推理出系统要素间的未知可达关系, 在实际应用中具有一

收稿日期: 2011-09-14; 修回日期: 2012-02-01.

基金项目: 国家自然科学基金项目(60940007); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2009JM8001-1).

作者简介: 李明辉(1983-), 男, 博士, 从事通信网络管理、网络谱系及模型的研究; 夏靖波(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 从事军事通信网络评估、流量管理等研究.

定的有效性和合理性. 基于多属性模糊关系矩阵的系统结构分析方法<sup>[1]</sup>给出了利用属性对属性的模糊关系矩阵信息的相对贡献率和关联度分析方法, 以及利用要素对要素的模糊关系矩阵信息的要素间影响度分析方法, 具有较强的理论性, 是解决多要素复杂系统结构分析问题的有效方法. 但是, 该模型没有考虑属性是否具有关联关系以及如何解决不同关联关系的属性的系统结构分析问题.

本文主要研究区分正关联、逆关联和双关联属性条件下的系统结构分析模型. 首先论述了建立基于关联属性系统结构分析模型的基本原理; 然后给出该模型的具体实施步骤; 最后以某通信网络系统结构分析为例, 对其贡献度与关联度进行求解, 通过实例分析比较验证了模型的合理性, 并说明了其优势所在.

## 1 基于关联属性的系统结构分析模型

根据系统结构的概念, 系统是由要素有机组成的, 其结构取决于系统中的要素, 系统的整体功能由各个要素的贡献汇总而成. 而每个要素又具有若干属性, 这些属性通过合理的组合蕴含着要素对系统的贡献度和要素之间的关联度. 不同的要素对系统的作用大小不一样, 表现出要素对系统具有不同的贡献度, 同时要素之间具有不同的关联度.

### 1.1 通用系统的构造

构造一个由  $n$  个要素组成的通用系统, 记为  $N_k$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ), 系统的第  $k$  个要素有  $m_k$  个属性, 第  $k$  个要素的第  $i$  个属性记为  $P_i^k$  ( $i = 1, 2, \dots, m_k$ ), 其中属性和要素可以进一步区分为自身属性/要素和关联属性/要素.

**定义1**(自身属性/要素) 与其他属性/要素没有任何关联的属性/要素称为自身属性/要素, 即该属性/要素不会对其他属性/要素产生影响, 也不会受到其他属性/要素的影响, 在系统中处于相对独立地位.

**定义2**(关联属性/要素) 与其他属性/要素具有关联关系的属性/要素称为关联属性/要素, 即该属性/要素或者对其他属性/要素产生影响, 或者被其他属性/要素所影响, 亦或者既对其他属性/要素产生影响, 又被其他属性/要素所影响, 在系统中处于关联地位.

关联属性/要素具体包括正关联属性/要素、逆关联属性/要素和双关联属性/要素. 正关联属性/要素是指对其他属性/要素产生影响的属性/要素; 逆关联属性/要素指的是被其他属性/要素所影响的属性/要素; 双关联属性/要素为既对其他属性/要素产生影响, 又被其他属性/要素所影响的属性/要素, 即同时具备正、逆关联属性/要素的特征.

### 1.2 判断矩阵的建立

在上述通用系统中, 任选一个要素  $N_k$  作为参考, 考虑那些直接对其产生影响的  $n'$  个要素, 依次以其第  $i$  个属性  $P_i^k$  为准则, 请  $m$  位专家分别两两比较  $n'$  个要素对属性  $P_i^k$  的影响程度, 并采用 1~9 的分级比例标度来描述. 对于  $m$  位专家的判断结果, 按照“算术平均值”的原则构造判断矩阵  $\mathbf{P}_i^k = (p_{u,v}^{k,i})_{n' \times n'}$ . 其中:  $p_{u,v}^{k,i} = 1/p_{v,u}^{k,i}$ ,  $p_{u,u}^{k,i} = 1$ . 在此基础上, 利用层次分析法(AHP)进行演算, 可以求得该判断矩阵的特征向量  $\mathbf{r}_{k,i}^0 = (r_{k,i}^1, r_{k,i}^2, \dots, r_{k,i}^{n'})^T$ .

### 1.3 影响关系矩阵的建立

将特征向量扩充为  $\mathbf{r}_{k,i} = [(\mathbf{r}_{k,i}^0)^T, \mathbf{0}]$ , 其中向量  $\mathbf{0}$  用来描述那些对要素  $N_k$  的属性  $P_i^k$  没有关系的要素的影响程度. 重新编写下标得到

$$\mathbf{r}_{k,i} = (r_{k,i}^1, r_{k,i}^2, \dots, r_{k,i}^t, \dots, r_{k,i}^n)^T,$$

其中  $r_{k,i}^t \geq 0$ . 扩充后的向量  $\mathbf{r}_{k,i}$  能够全面反映系统的  $n$  个要素对要素  $N_k$  的属性  $P_i^k$  的直接影响程度. 考虑其他要素, 即可得到要素对属性的影响关系矩阵

$$\mathbf{R}_{N-P} = (r_{k,i}^t)_{n \times \sum_{k=1}^n m_k},$$

$$k, t = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m_k.$$

将要素  $N_l$  对要素  $N_k$  的属性  $P_i^k$  的直接影响程度  $r_{k,i}^l$  按要素  $N_l$  的属性影响权重分解成要素  $N_l$  的属性  $P_j^l$  ( $j = 1, 2, \dots, m_k$ ) 的直接影响程度  $r_{k,i}^{l,j}$ . 这里令  $N_l$  的属性影响权重为  $\lambda_j^l$ , 且  $\sum_{j=1}^{m_k} \lambda_j^l = 1$ , 即与要素  $N_l$  的属性权重相同, 由此确定  $r_{k,i}^{l,j} = \lambda_j^l r_{k,i}^l$ . 于是得到属性对属性的影响关系矩阵

$$\mathbf{R}_{P-P} = (r_{k,i}^{l,j})_{\sum_{k=1}^{m_k} \times \sum_{k=1}^{m_k}},$$

$$k, l = 1, 2, \dots, n, i, j = 1, 2, \dots, m_k.$$

### 1.4 属性对属性的模糊关系矩阵的建立

在上述属性对属性的影响关系矩阵中, 没有区分属性的关联与否, 对于关联属性而言, 这样直接分解是合理的, 但对于包含自身属性和关联属性的系统而言, 则显得不尽合理. 于是, 结合属性特征和属性对属性的影响关系矩阵, 删除与其他属性不发生关系的自身属性, 得到新的关联属性系统. 其将要素  $N_l$  对要素  $N_k$  的属性  $P_i^k$  的直接影响程度  $r_{k,i}^l$ , 按要素  $N_l$  的属性影响权重分解成要素  $N_l$  的属性  $P_j^l$  对其的直接影响程度  $r_{k,i}^{l,j}$ , 由此确定  $r_{k,i}^{l,j} = \lambda_{j(\text{new})}^l r_{k,i}^l$ , 其中  $\lambda_{j(\text{new})}^l$  是依据新的关联属性系统重新确定的, 定义如下.

**定义3** 记要素  $N_l$  的属性  $P_j^l$  对应的权重为  $\lambda_j^l$  ( $j = 1, 2, \dots, m_l$ ), 且该要素包含  $\varphi_l$  个自身属性, 分别

为  $P_{\varphi_1}^l, P_{\varphi_2}^l, \dots, P_{\varphi_l}^l$ , 其对应的权重为  $\lambda_{\varphi_1}^l, \lambda_{\varphi_2}^l, \dots, \lambda_{\varphi_l}^l$ , 则删除自身属性后的关联要素  $N_l$  的属性新权重定义为

$$\lambda_j^{l(\text{new})} = \frac{\lambda_j^l |_{j \neq \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_l}}{\sum_{j \neq \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_l} \lambda_j^l}, \quad (1)$$

$$j = 1, 2, \dots, m_l - \varphi_l.$$

从系统结构的角度讲, 要素  $N_l$  的状态是通过  $m_l$  个属性  $P_j^l$  呈现出来的, 每个属性都是从不同侧面刻画要素具有某种特征大小的度量. 然而, 不同属性之间的相对重要性是不同的, 这种相对重要性的大小通过属性权重来反映. 对于关联要素  $N_l$  的属性影响权重  $\lambda_j^{l(\text{new})}$ , 它反映着该属性与其他要素的属性之间的影响大小, 但其本质却表征着该关联要素不同属性之间的相对重要程度, 在实际应用中与新的关联属性系统的属性权重具有相同作用. 于是, 令关联要素  $N_l$  的属性影响权重等于属性的权重 (即  $\lambda_j^{l(\text{new})}$ ), 且  $\sum_{j=1}^{m_l - \varphi_l} \lambda_j^{l(\text{new})} = 1$ , 进而得到关联要素的属性对属性的模糊关系矩阵  $P_{P^* - P}$ .

### 1.5 贡献度的求解

**定义 4** 贡献度是要素或属性对系统贡献大小的度量, 该值反映出要素或者属性在系统中的地位和作用. 贡献度越大, 表明该要素或属性在系统中的地位越重要, 对其他要素或者属性产生的影响越明显; 反之亦然.

记要素  $N_k$  (删除自身属性后的要素) 的属性  $P_i^k$  (对应新的权重为  $\lambda_i^{k(\text{new})}$ ) 对其他要素的  $\mu_i^k$  个属性产生影响, 且该要素  $N_k$  关于属性  $P_i^k$  的输出信息为  $\mu_i^k \sum_{t=1}^n \sum_{s=1}^{m_k} r_{k,i}^{t,s}$ ; 同时, 受其他要素的  $\eta_i^k$  个属性的影响, 该要素  $N_k$  关于属性  $P_i^k$  的输入信息为  $\eta_i^k \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^{m_k} r_{l,j}^{k,i}$ .

1) 对于正关联属性/要素, 输入信息为 0, 采用“输出信息”代替“贡献度”来衡量正关联属性/要素对系统的影响. 要素  $N_k$  的属性  $P_i^k$  对系统的输出信息为

$$\text{RD}_{i(\text{out})}^k = \mu_i^k \sum_{t=1}^n \sum_{s=1}^{m_k} r_{k,i}^{t,s}, \quad (2)$$

要素  $N_k$  对系统的输出信息为

$$\text{RD}_{(\text{out})}^k = \sum_{i=1}^{m_k} \lambda_i^{k(\text{new})} \cdot \text{RD}_{i(\text{out})}^k. \quad (3)$$

2) 对于逆关联属性/要素, 输出信息为 0, 采用“输出信息”代替“贡献度”来衡量逆关联属性/要素对系统的影响. 要素  $N_k$  的属性  $P_i^k$  对系统的输入信息为

$$\text{RD}_{i(\text{in})}^k = \eta_i^k \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^{m_k} r_{l,j}^{k,i}, \quad (4)$$

要素  $N_k$  对系统的输入信息为

$$\text{RD}_{(\text{in})}^k = \sum_{i=1}^{m_k} \lambda_i^{k(\text{new})} \cdot \text{RD}_{i(\text{in})}^k. \quad (5)$$

3) 对于双关联要素/属性, 要素  $N_k$  的属性  $P_i^k$  对系统的贡献度为

$$\text{RD}_i^k = \frac{\mu_i^k \sum_{t=1}^n \sum_{s=1}^{m_k} r_{k,i}^{t,s}}{\eta_i^k \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^{m_k} r_{l,j}^{k,i}}; \quad (6)$$

要素  $N_k$  对系统的贡献度为

$$\text{RD}^k = \sum_{i=1}^{m_k} \lambda_i^{k(\text{new})} \cdot \text{RD}_i^k. \quad (7)$$

### 1.6 关联度的求解

**定义 5** 关联度是指要素或属性在系统中的关联程度, 该值反映系统中要素与要素之间、属性与属性之间的联系和依赖程度. 关联度越大, 表明该要素或属性在系统中越活跃, 与其他要素或属性发生关系的机会越大; 反之亦然.

要素  $N_k$  的属性  $P_i^k$  的关联度为

$$\text{RL}_i^k = \mu_i^k \sum_{t=1}^n \sum_{s=1}^{m_k} r_{k,i}^{t,s} + \eta_i^k \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^{m_k} r_{l,j}^{k,i}; \quad (8)$$

要素  $N_k$  的关联度为

$$\text{RL}^k = \sum_{i=1}^{m_k} \text{RL}_i^k. \quad (9)$$

由上述原理描述可以看出, 基于关联属性的系统结构分析模型将系统中的属性分为自身属性与关联属性 (正关联属性、逆关联属性和双关联属性), 既包括了系统中各种类型属性构成的可能, 又凸显以关联属性为重点的区别分析. 从定性认识出发, 通过影响关系矩阵和模糊关系矩阵的建立, 得到属性和要素在系统中的作用与影响, 可以用来分析各类复杂系统的内部关系和典型特征, 对于指导系统建设和管理具有定量的支持.

## 2 实施步骤

基于关联属性的系统结构分析模型的具体实施步骤如下.

**Step 1:** 抽象并建立系统, 分析系统组成, 定义要素  $N_k (k = 1, 2, \dots, n)$  和属性  $P_i^k (i = 1, 2, \dots, m_k)$ .

**Step 2:** 构造判断矩阵  $P_i^k$ , 并求判断矩阵最大特征值对应的特征向量  $r_{k,i}^0$ .

**Step 3:** 求解要素对属性的影响关系矩阵  $R_{N-P}$ .

**Step 4:** 构造关联要素的属性对属性的模糊关系矩阵  $P_{P^* - P}^*$ .

**Step 5:** 计算属性、要素对系统的贡献度.

**Step 6:** 计算属性、要素之间的关联度.

### 3 应用分析

为了验证基于关联属性的系统结构分析模型的可行性和实用性, 选取某通信网络系统为应用实例. 该系统由光纤通信网、自动电话网等13个子网系组成, 每个子网系包含若干个运行指标, 且依据其属性特征可以细分为自身指标、正关联指标、逆关联指标和双关联指标, 如表1所示.

表1 通信网络系统组成

子网系	运行指标	指标权重	指标类型
子网系1	运行指标1	0.60	正关联指标
	运行指标2	0.30	正关联指标
	运行指标3	0.10	自身指标
子网系2	运行指标1	0.40	逆关联指标
	运行指标2	0.30	逆关联指标
	运行指标3	0.30	逆关联指标
子网系3	运行指标1	0.50	逆关联指标
	运行指标2	0.40	逆关联指标
	运行指标3	0.10	自身指标
子网系4	运行指标1	1.00	自身指标
子网系5	运行指标1	0.30	双关联指标
	运行指标2	0.20	双关联指标
	运行指标3	0.20	双关联指标
	运行指标4	0.20	双关联指标
	运行指标5	0.10	自身指标
子网系6	运行指标1	0.20	双关联指标
	运行指标2	0.20	双关联指标
	运行指标3	0.20	双关联指标
	运行指标4	0.15	双关联指标
	运行指标5	0.15	双关联指标
	运行指标6	0.10	自身指标
子网系7	运行指标1	1.00	正关联指标
子网系8	运行指标1	0.60	正关联指标
	运行指标2	0.30	正关联指标
	运行指标3	0.10	自身指标
子网系9	运行指标1	0.60	正关联指标
	运行指标2	0.30	正关联指标
	运行指标3	0.10	自身指标
子网系10	运行指标1	0.40	正关联指标
	运行指标2	0.40	正关联指标
	运行指标3	0.20	正关联指标
子网系11	运行指标1	0.40	正关联指标
	运行指标2	0.40	正关联指标
	运行指标3	0.20	正关联指标
子网系12	运行指标1	0.80	逆关联指标
	运行指标2	0.20	逆关联指标
子网系13	运行指标1	0.60	逆关联指标
	运行指标2	0.20	自身指标
	运行指标3	0.20	自身指标

按照系统结构分析模型的设计思想, 将“通信网络系统-子网系-运行指标”抽象成“系统-要素-属性”. 其中: 网系记为  $N_k (k = 1, 2, \dots, 13)$ ; 第  $k$  个网系的

第  $i$  个指标记为  $P_i^k (i = 1, 2, \dots, m_k)$ ,  $m_k$  表示第  $k$  个网系有  $m_k$  个运行指标.

选取网系  $N_5$  为参考, 考虑直接对其产生影响关系的  $N_1, N_9$  等2个网系, 以网系  $N_5$  的第1个运行指标  $P_1^5$  为准则, 邀请5位熟练并全面掌握包括网络指标、系统指标等在内的网络运行质量、网络底数和资源管理的专家, 分别两两比较网系  $N_1$  和  $N_9$  对指标  $P_1^5$  的影响程度, 并采用1~9的比例标度来描述, 按照“算术平均值”的原则构造判断矩阵并确定其特征向量分别为

$$P_1^5 = (p_{u,v}^{k,i})_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 1 & 7 \\ 1/7 & 1 \end{bmatrix},$$

$$r_{5,1} = (0.9899, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.1414, 0, 0, 0, 0)^T.$$

按照上述思路考虑其他所有网系和运行指标, 得到网系对运行指标的模糊关系矩阵  $R_{N-P}$ . 进一步根据表1中的指标权重得到运行指标对运行指标的影响关系矩阵  $R_{P-P}$ , 在此基础上删除自身指标并确定新的系统和影响权重. 例如, 网系  $N_5$  中删除运行指标5, 得到包含4个运行指标的新的关联网系, 根据式(1)计算其指标新权重  $\lambda_{j(\text{new})}^l$  分别为0.34, 0.22, 0.22, 0.22, 于是由  $r_{k,i}^{l,j} = \lambda_{j(\text{new})}^l r_{k,i}^l$  得到关联网系指标对指标的模糊关系矩阵  $P_{P-P}^*$ .

进而根据定义2可知, 该通信网络系统中子网系1, 7, 8, 9, 10, 11为正关联网系, 子网系2, 3, 12, 13为逆关联网系, 其余为双关联网系. 于是, 由定义4和定义5获得运行指标和子网系的贡献度与关联度, 如表2~表4所示.

由表2可以看出, 正关联网系的输出信息按大小排列为  $N_1, N_9, N_8, N_7, N_{10}/N_{11}$ . 其中: 网系  $N_1$  的输出信息为148.196, 远远高于其他几个网系, 这也较好地说明了其在该通信网络系统中的重要地位, 以及对逆关联网系和双关联网系的影响;  $N_7$  和  $N_{10}/N_{11}$  作为仅提供输出信息的正关联网系, 在通信网络系统中的作用相对较小. 表3的4个逆关联网系中, 输入信息最大的为  $N_2$ , 其次为  $N_3, N_{12}$ , 最小者为  $N_{13}$ . 对于输入信息而言, 其值越大说明需要其他网系对其的贡献越大, 反之越小. 所以,  $N_2, N_3, N_{12}$  这3个网系需要其他网系的贡献程度相对较大. 由表4可知,  $N_5$  的贡献度较  $N_6$  略大, 说明  $N_5$  对通信网络系统的贡献程度大于  $N_6$ . 上述贡献度大小的分析本质上是由不同子网系的特征、属性以及所承载的业务类型决定的, 反映了网系在通信网络系统中的影响.

对比表2~表4要素的关联度可以发现, 网系  $N_1, N_2, N_{12}, N_3, N_5, N_6$  和  $N_9$  的关联度较大, 尤其网系  $N_1$ , 其关联度大小为266.220, 表明该子网系与其他网系之间联系的紧密程度最高, 即该网系运行质量

表2 正关联指标和子网系的贡献度与关联度

	$N_1$		$N_7$		$N_8$		$N_9$		$N_{10}$			$N_{11}$		
	$P_1^1$	$P_2^1$	$P_1^7$	$P_2^7$	$P_1^8$	$P_2^8$	$P_1^9$	$P_2^9$	$P_1^{10}$	$P_2^{10}$	$P_3^{10}$	$P_1^{11}$	$P_2^{11}$	$P_3^{11}$
$RD_{i(out)}^k$	178.367	87.853	0.870	2.853	1.427	11.930	5.970	0.564	0.564	0.282	0.564	0.564	0.282	
$RD_{(out)}^k$	148.196		0.870	2.378		9.943		0.508			0.508			
$RL_i^k$	178.367	87.853	0.870	2.853	1.427	11.930	5.970	0.564	0.564	0.282	0.564	0.564	0.282	
$RL^k$	266.220		0.870	4.280		17.900		1.410			1.410			

表3 逆关联指标和子网系的贡献度与关联度

	$N_2$			$N_3$		$N_{12}$		$N_{13}$
	$P_1^2$	$P_2^2$	$P_3^2$	$P_1^3$	$P_2^3$	$P_1^{12}$	$P_2^{12}$	$P_1^{13}$
$RD_{i(in)}^k$	18.15	16.83	19.25	13.859	19.141	14.851	19.141	7.26
$RD_{(in)}^k$	18.084			16.206		15.709		7.26
$RL_i^k$	18.15	16.83	19.25	13.859	19.141	14.851	19.141	7.26
$RL^k$	54.230			33.000		33.992		7.26

表4 双关联指标和子网系的贡献度与关联度

	$N_5$				$N_6$				
	$P_1^5$	$P_2^5$	$P_3^5$	$P_4^5$	$P_1^6$	$P_2^6$	$P_3^6$	$P_4^6$	$P_5^6$
$RD_i^k$	0.463	0.296	0.296	0.296	0.281	0.270	0.270	0.202	0.202
$RD^k$	0.352				0.250				
$RL_i^k$	6.613	6.116	6.116	6.116	5.791	5.991	5.991	5.674	5.674
$RL^k$	24.960				29.121				

的好坏直接影响其他网系的“健康”与否;而网系 $N_4$ ,  $N_7$ ,  $N_{10}$ 和 $N_{11}$ 的关联度相对较小,表明它们与其他网系之间联系的紧密程度较小,即该网系与其他网系之间的网络关联关系等特征不明显。

根据上述分析结论,通信网络建设和管理人员可以详细地掌握各专业网系在系统中所处的关联地位和拥有的贡献与关联程度,为理清网系之间关联关系提供了一手数据.如:网系 $N_1$ 必须纳入建设与管理的重点对象,使其作为具有较大贡献度和关联度的作用充分体现,在通信网络系统中发挥关键作用;同时对于网系 $N_5$ 的运行指标 $P_2^5$ , $P_3^5$ 和 $P_4^5$ 而言,由于三者具有相同的贡献度与关联度,在分析其在系统中的作用以及它们之间的关系时可以同等考虑,为通信网络系统的研究提供了简化思路。

与文献[10]相比,基于关联属性的系统结构分析模型充分考虑了系统属性的关联特征,既可以解决双关联属性的系统结构分析问题,又能处理正、逆关联属性的系统结构分析,具有更广泛的适用范围.同时,该模型的属性影响权重和贡献度权重由删除自身属性后的关联属性新权重 $\lambda_{j(new)}^i$ (由确知的属性固有权重通过计算求得)代替,省去获取这两个权重所带来的复杂计算,使得求解过程优化,实施步骤易行,具有一定的合理性和可操作性。

## 4 结 论

本文提出一种基于关联属性的系统结构分析模

型.从对自身属性、正关联、逆关联和双关联属性区别对待的角度,全面剖析了通用系统结构分析的原理,并对求解过程进行优化,进而得到贡献度和关联度等表征属性、要素特征的数据,使系统结构分析模型更接近于实际.应用算例结果表明,该模型在通用系统结构分析中表现出良好的思路,具有较强的实用性和操作性。

## 参考文献(References)

- [1] 孙华山,赵鹏大,张寿庭,等.系统结构模型在矿产勘查中的应用[J].地学前缘,2004,11(3):305-310.  
(Sun H S, Zhao P D, Zhang S T, et al. Application of system structural model for mineral resource prospecting[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 305-310.)
- [2] 夏铭泽,戴锋,李娟,等.院校信息环境系统的结构模型与分析研究[J].信息工程大学学报,2008,9(1):125-128.  
(Xia M Z, Dai F, Li J, et al. Structure model about the environmental information system of academy and its analytical research[J]. J of Information Engineering University, 2008, 9(1): 125-128.)
- [3] Tao Huan-qi, Han Gu-jing, Zou Min. The system analysis of solar inverter based on network controlling[C]. Int Conf on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering. Wuhan: CPS, 2010, 2: 243-246.
- [4] Tolone William J, Johnson E Wray, Lee Seok-Won. Enabling system of systems analysis of critical infrastructure behaviors[C]. The 3rd Int Workshop on Critical Information Infrastructures Security. Rome: Springer-Verlag, 2009: 24-35.
- [5] 周德群.系统工程概论[M].第2版.北京:科学出版社,2010:113-116.  
(Zhou D Q. Systems engineering[M]. The 2nd ed. Beijing: Science Press, 2010: 113-116.)
- [6] 党延忠,王众托.交互式结构模型生成的核心要素法[J].系统工程学报,1993,8(2):1-8.  
(Dang Y Z, Wang Z T. A kernel element method for interactive structural modeling[J]. J of Systems Engineering, 1993, 8(2): 1-8.)