

# IP网络运行质量模糊综合评估方法研究

夏靖波, 罗赞骞

(空军工程大学电讯工程学院 西安 710077)

**【摘要】**针对现有网络运行质量评估方法不能同时反映指标重要性和决策者偏好性的问题,提出了采用WOWA算子的网络运行质量模糊综合评估方法。WOWA算子在合成计算时结合了反映指标自身重要性的权重和反映决策者主观偏好的权重,充分考虑了指标本身的重要性的决策者偏好的重要性。实例表明,与普通模糊综合评估方法相比,该方法不仅能够得出正确评估结果,而且能够反映决策者的偏好使得评估更加灵活和适应性更强。

**关键词** 模糊综合评估; 网络管理; 网络性能; 服务质量; WOWA算子

中图分类号 TP393.07

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2011.02.022

## Fuzzy Comprehensive Evaluation Method of IP Network Operational Quality

Xia Jing-bo and LUO Yun-qian

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University Xi'an 710077)

**Abstract** The fuzzy comprehensive evaluation method based on WOWA operator is presented for solving the problem that the current network operational quality method can't simultaneously reflect the metrics' importance and decision-maker's preference. The WOWA operator combines the weights which reflect the importance of metric and the weights which reflect the importance of the decision-maker's preference, so that it completely considers the importance of the metrics and decision-maker's preference in the aggregation process. The case study shows that the method in comparison with the normal fuzzy evaluation method can not only achieve the correct evaluation results, but also reflect the decision-makers' preference.

**Key words** fuzzy comprehensive evaluation; network management; network performance; quality of service; WOWA operato

IP网络运行质量评估可用于网络优化和网络运维考核,为网络管理者提供管理的科学依据。因此,网络质量评估一直是一个热门课题。国际上,IETF和ITU-T制定了相应的网络性能指标,但没有建立宏观的评估模型<sup>[1-2]</sup>。文献[3-5]分别提出了基于测量的线性加权网络性能评估方法,但它们的研究都只是从网络性能的角度选择指标体系,不能全面反映网络运行状态。文献[6]对网络监测和管理的指标进行分类,其概念较为抽象,需要具体量化,且没有对评估方法进行研究。文献[7]采用模糊综合评估方法对校园网性能进行评估。文献[8]提出了网络质量的概念,给出评估指标体系和计算指标值的方法,并采用模糊综合评估的方法对质量进行计算。文献[9-10]分别提出了采用支持向量机和神经网络的移动网络质量评估方法。这些研

究初步探讨了从网络多个方面评估网络运行状态,但采用的评估方法均没有考虑决策者的偏好性。

针对上述问题,本文在文献[8]给出的网络质量评估指标体系的基础上,提出了基于WOWA算子的模糊综合评估方法,对网络运行质量进行综合评估。

### 1 网络运行质量的概念及其指标体系

文献[8]给出的网络质量概念没有给出质量的时间范畴,不能全面反映IP网络质量的特点。定义1对该概念进行了修正。

**定义 1** IP网络运行质量为IP网络在实际运行过程中向用户提供的服务特性与用户的要求一致程度。

“向用户提供的服务特性与用户的要求一致程度”反映了对网络运行质量的测度,它既包括了IP

收稿日期: 2009-09-25; 修回日期: 2010-07-06

基金项目: 部级预研项目; 国家综合业务网理论及关键技术重点实验室开放基金(ISN-9-08); 陕西省自然科学基金基础研究计划(2009JM8001-1)

作者简介: 夏靖波(1963-),男,博士后,教授,博士生导师,主要从事通信网络管理与评估方面的研究。

网络的实际运行能力，又包含了网络满足用户要求的能力。“实际运行过程”指出了质量的时间范畴，其包含的只是网络生命周期中运营时段的质量。

可以从网络管理功能模型和网络地域两个维度对网络运行质量进行理解<sup>[8]</sup>。本文主要从网络性能、网络安全和网络维护3个方面对驻地网络运行质量进行研究。根据全面性、非重复性、可测性和可比性等原则，采用文献[8]给出的网络运行质量统计指标体系，如图1所示。

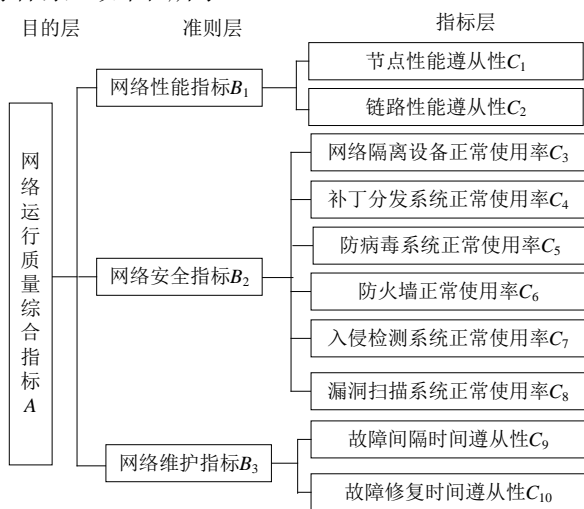


图1 网络运行质量评估指标体系

图中的指标建立在月统计的基础上，指标的统计值均采用隶属度向量<sup>[8]</sup>的方式表示。

## 2 WOWA算子

文献[11]基于加权平均算子(weighted mean, WM)和有序加权平均算子(ordered weighted averaging, OWA)提出了加权有序加权平均算子WOWA，该算子相对于只考虑数据源重要性的WM算子和只考虑数据值重要性的OWA算子，不仅考虑了数据源的重要性(数据源的可靠性或专家的可信性)，同时还考虑了数据值的重要性(算子的结果是否应该对指标的最小值、最大值或它们之间的冲突敏感)，被广泛应用于数据融合、人工智能领域。

定义 2<sup>[11]</sup> 设 $p$ 和 $w$ 是两个 $n$ 维的加权向量，分别为：

$$p = [p_1, p_2, \dots, p_n] \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

$$p_i \in [0, 1] \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

$$w_i \in [0, 1] \quad i = 1, 2, \dots, n$$

那么，定义映射  $f_{\text{WOWA}} : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}$  是一个  $n$  维 WOWA算子，满足  $f_{\text{WOWA}}(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n \omega_i a_{\sigma(i)}$ 。

其中， $\{\sigma(1), \sigma(2), \dots, \sigma(n)\}$  是  $\{1, 2, \dots, n\}$  的一个变换，使得对于所有  $i=2, 3, \dots, n$  有  $a_{\sigma(i-1)} \geq a_{\sigma(i)}$ ；并定义

$$\omega_i = w^* \left( \sum_{j \leq i} p_{\sigma(j)} \right) - w^* \left( \sum_{j < i} p_{\sigma(j)} \right), \quad w^* \text{ 为由点集 } \left\{ (0, 0) \cup \left( \frac{i}{n}, \sum_{j \leq i} w_j \right) \right\} \text{ 插值得到的单调递增函数。}$$

WOWA算子是一个介于最小和最大之间的算子，它具有幂等性、单调性和约束条件的交换性。当对于所有  $i=1, 2, \dots, n$ ,  $w_i=1/n$  时， $\omega=p$ ，WOWA算子退化为WM算子；当对于所有  $i=1, 2, \dots, n$ ,  $p_i=1/n$  时， $\omega=w$ ，WOWA算子退化为OWM算子。

WOWA和OWA算子定义了orness测度(用于反映决策者的乐观程度)，利用不同orness测度计算出权向量，WOWA和OWA算子能够模拟决策者的各种决策偏好。

定义 3<sup>[12]</sup> 设 $w$ 为OWA算子的有序加权向量，则orness测度表示为：

$$\text{orness}(w) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (n-j)w_j \quad (1)$$

当式(1)值为1时，等效于Max算子，属于乐观决策；其值为0时，等效于Min算子，属于悲观决策；其值为0.5时，属于等可能决策。利用该值可以通过求解最大熵规划模型或最小方差规划模型等方法<sup>[12]</sup>确定权向量 $w$ 。本文采用最大熵规划模型求解权重向量 $w$ ，最大熵规划模型为：

$$\text{Max} \quad - \sum_{i=1}^n w_i \ln w_i$$

s.t.

$$\begin{cases} \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i)w_i = \alpha & 0 \leq \alpha \leq 1 \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1 & 0 \leq w_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

## 3 采用WOWA算子的模糊综合评估方法

模糊综合评估中常用的合成运算有4种，这些合成运算很难同时反映各要素的客观属性的重要性和主观决策的偏好。最常用的加权平均合成( $\cdot, \oplus$ )反映了各指标的重要性，但并不能反映决策者的偏好。

WOWA算子综合了WM和OWA算子,能体现指标自身的重要性,又能反映决策的偏好。因此,将WOWA算子应用于模糊综合评估方法中,提出了基于WOWA算子的模糊综合评估方法。该方法与传统的模糊综合评估方法最主要的区别在于,WOWA算子中同时包含反映指标自身重要性的权向量 $\boldsymbol{p}$ 和反映决策者主观偏好的权向量 $\boldsymbol{w}$ 。

基于WOWA的模糊综合评估方法计算步骤如下:

- 1) 建立评估对象的因素论域 $\boldsymbol{U}=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。
- 2) 建立评语论域 $\boldsymbol{V}=\{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 以及评语分值

$\boldsymbol{S}=\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ 。

- 3) 采用三角模糊数层次分析法<sup>[13-14]</sup>确定评估因素自身重要性的权值向量 $\boldsymbol{W}=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ;该方法在构造判断矩阵时充分考虑了人判断的模糊性,解决了层次分析法没有考虑到人判断的模糊性的缺陷,使得指标相对权重的确定更加科学。

- 4) 建立模糊关系矩阵 $\boldsymbol{R}$ ,在评估对象的因素论域 $\boldsymbol{U}$ 与评语论域 $\boldsymbol{V}$ 之间进行单因素评估,且:

$$\boldsymbol{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, $r_{ij}$ 表示论域 $\boldsymbol{U}$ 中第*i*个因素 $u_i$ 对应于评语论域 $\boldsymbol{V}$ 中第*j*个等级 $v_j$ 的隶属度。本文的隶属度由指标月统计的隶属度向量直接给出。

- 5) WOWA权重向量 $\boldsymbol{\omega}$ 的合成。 $\boldsymbol{\omega}$ 由权重向量 $\boldsymbol{p}$ 和权重向量 $\boldsymbol{w}$ 合成, $\boldsymbol{p}=\boldsymbol{W}$ ,权重向量 $\boldsymbol{w}$ 由决策者的偏好确定,该权重根据最大熵规划模型求解得到。由 $\boldsymbol{w}$ 通过点集 $\left\{(0,0) \cup \left(\frac{i}{n}, \sum_{j \leq i} w_j\right)\right\}$ 插值,构造单调递增函数 $w^*$ 。插值函数 $w^*$ 有多种,如模糊量词法<sup>[11]</sup>和二阶Bernstein插值法<sup>[15]</sup>。由函数 $w^*$ 和调整后的 $\boldsymbol{p}$ 计算合成权重 $\boldsymbol{\omega}$ 。

由定义2可知,权重向量 $\boldsymbol{p}$ 将根据输入值的排序而重新排序;输入值是模糊关系矩阵 $\boldsymbol{R}$ 。排序时将 $\boldsymbol{R}$ 中的每一行看作一个元素,对每一行进行比较。对 $\boldsymbol{R}$ 的每一行实现从高到低的排序,得到排序后的新矩阵 $\boldsymbol{R}'$ 。排序时采用将评语分值向量 $\boldsymbol{S}$ 和 $\boldsymbol{R}$ 的行向量 $\boldsymbol{r}_i$ 的合成值作为排序值。计算方法为:

$$E = \boldsymbol{S} \boldsymbol{r}_i \quad (4)$$

按照每一行的排序顺序对权重向量 $\boldsymbol{p}$ 中的元素进行调整,得到新的权重向量

$\boldsymbol{p}' = \{p_{\sigma(1)}, p_{\sigma(2)}, \dots, p_{\sigma(n)}\}$ 。将该权重向量 $\boldsymbol{p}'$ 代入 $w^*$ 求出合成权重 $\boldsymbol{\omega}$ 。

- 6) 模糊综合计算,由指标层向目标层逐层采用WOWA算子逐级进行综合计算得到模糊综合评估结果 $\boldsymbol{B}=\{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ 。将合成权重 $\boldsymbol{\omega}$ 和重新排序后的矩阵 $\boldsymbol{R}'$ 进行合成即可得到评估值。当orness=0.5时,该算子退化为加权平均算子,该评估方法退化为普通的模糊综合评估方法。

- 7) 计算最终评估结果,将各等级的分值 $s_j$ 与被评估对象在各等级的隶属度 $b_j$ 综合,得到评估结果:

$$T = \sum_{j=1}^m s_j b_j \quad (5)$$

该评估结果不仅可以实现对多评估对象间的横向比较排序,也可以实现对单评估对象在时间上的纵向比较。

## 4 实例分析

根据某驻地IP网络网管系统中一个月的统计网络运行质量数据,按照第3节的模糊综合评估方法对其网络运行质量进行综合评估。综合评估的结果表明了该网络运行质量在不同决策偏好下的评估值,具体评估过程如下:

- 1) 获取网络运行质量评估指标的原始测量数据值。在网络管理系统的支持下,获取某驻地IP网络在一个月中的网络运行质量统计数据。网络管理系统对网络性能数据和网络安全数据的采集周期分别为5 min和24 h,网络维护数据的采集由其故障事件触发。由于数据量较大,本文只列出了根据详细数据计算得到的指标隶属度向量,见过程4)。

- 2) 确定评语等级、评语所属的指标区间值以及评语数值化分值。各等级评语对应的分值为:优,  $85 \leq s \leq 100$ ; 良,  $75 \leq s < 85$ ; 中,  $60 \leq s < 75$ ; 差,  $s < 60$ 。在确定评估总分时,取各等级对应分数的中间值作为赋分向量,评语对应的分值向量为 $\boldsymbol{S}=[92.580 \quad 67.530]$ 。

各评语还有与之相对应的指标值区间,这些区间的区间值是用于计算各指标隶属度向量的依据,指标值区间需要根据网络承载业务特点和网络运营要求确定,这里不再列出。

- 3) 采用三角模糊数层次分析法计算评估指标权重 $\boldsymbol{p}$ 。在咨询专家意见的基础上,本文采用三角模糊数互补判断矩阵确定指标权重,专家所使用的判

断标度如表1<sup>[13]</sup>所示, 计算过程见文献[14]。准则层和指标层的判断矩阵分别如表2~表5所示。

表1 三角模糊数层次分析法的判断标度

定义	三角模糊数
指标 <i>i</i> 与指标 <i>j</i> 同等重要	(0.5,0.5,0.5)
指标 <i>i</i> 比指标 <i>j</i> 稍重要	(0.5,0.6,0.7)
指标 <i>i</i> 比指标 <i>j</i> 明显重要	(0.6,0.7,0.8)
指标 <i>i</i> 比指标 <i>j</i> 强烈重要	(0.7,0.8,0.9)
指标 <i>i</i> 比指标 <i>j</i> 极端重要	(0.8,0.9,0.9)

表2 准则层指标的模糊判断矩阵

指标	$B_1$	$B_2$	$B_3$
$B_1$	(0.5,0.5,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.6,0.7,0.8)
$B_2$	(0.5,0.6,0.7)	(0.5,0.5,0.5)	(0.7,0.8,0.9)
$B_3$	(0.2,0.3,0.4)	(0.1,0.2,0.3)	(0.5,0.5,0.5)

表3 准则层 $B_1$ 子指标的模糊判断矩阵

指标	$C_1$	$C_2$
$C_1$	(0.5,0.5,0.5)	(0.3,0.4,0.5)
$C_2$	(0.5,0.6,0.7)	(0.5,0.5,0.5)

表4 准则层 $B_2$ 子指标的模糊判断矩阵

指标	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$
$C_3$	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.6,0.7)	(0.6,0.7,0.8)	(0.8,0.9,0.9)	(0.8,0.9,0.9)
$C_4$	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.6,0.7)	(0.6,0.7,0.8)	(0.8,0.9,0.9)	(0.8,0.9,0.9)
$C_5$	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.5,0.5,0.5)	(0.6,0.7,0.8)	(0.7,0.8,0.9)	(0.7,0.8,0.9)
$C_6$	(0.2,0.3,0.4)	(0.2,0.3,0.4)	(0.2,0.3,0.4)	(0.5,0.5,0.5)	(0.6,0.7,0.8)	(0.6,0.7,0.8)
$C_7$	(0.1,0.1,0.2)	(0.1,0.1,0.2)	(0.1,0.2,0.3)	(0.2,0.3,0.4)	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.6,0.7)
$C_8$	(0.1,0.1,0.2)	(0.1,0.1,0.2)	(0.1,0.2,0.3)	(0.2,0.3,0.4)	(0.3,0.4,0.5)	(0.5,0.5,0.5)

表5 准则层 $B_3$ 子指标的模糊判断矩阵

指标	$C_9$	$C_{10}$
$C_9$	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)
$C_{10}$	(0.5,0.5,0.5)	(0.5,0.5,0.5)

由判断矩阵计算出的指标权重为:  $A=[0.36 \ 0.42 \ 0.22]$ ;  $B_1=[0.45 \ 0.55]$ ;  $B_2=[0.22 \ 0.22 \ 0.20 \ 0.16 \ 0.11 \ 0.09]$ ;  $B_3=[0.5 \ 0.5]$ 。合成得到的指标层权重为:  $W=[0.162 \ 0.198 \ 0.0924 \ 0.0924 \ 0.084 \ 0.0672 \ 0.0462 \ 0.0378 \ 0.11 \ 0.11]$ 。

4) 计算模糊关系矩阵。根据过程1)中的实测数据和文献[8]中的隶属度计算方法计算隶属度向量, 该网络统计后的网络运行质量指标隶属度向量矩阵应为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.1 & 0.6 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.7 \\ 0.7666 & 0.1 & 0.0667 & 0.0667 \\ 0.6666 & 0.0667 & 0.2 & 0.0667 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.967 & 0.033 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

5) 根据决策者偏好确定权重 $w$ 。权重 $w$ 直接反映了评估者的乐观、悲观或可能等决策偏好。本文只对准则层采用非退化的WOWA算子, 以便于与普通的模糊综合评估方法进行比较。

准则层权向量 $w$ 根据反映决策偏好的orness值按最大熵规划模型求解得出。该模型可采用Lingo软件进行求解, 当orness取值范围为0.2~0.8时, 权重 $w$ 如表6所示。

表6 采用不同orness值的权重 $w$

orness值	$w_1$	$w_2$	$w_3$
0.2	0.08	0.24	0.68
0.3	0.16	0.29	0.55
0.4	0.24	0.32	0.44
0.5	0.33	0.33	0.33
0.6	0.44	0.32	0.24
0.7	0.55	0.29	0.16
0.8	0.68	0.24	0.08

根据表6中的权重向量可以构建插值函数 $w^*$ , orness取值范围为0.2~0.8时的权重构成的插值函数曲线如图2所示。

指标层采用等可能性的决策取向。其权重向量为  $w_{B_1}=[0.5 \ 0.5]$ ;  $w_{B_2}=[0.166 \ 0.166 \ 0.166 \ 0.166 \ 0.166 \ 0.166]$ ;  $w_{B_3}=[0.5 \ 0.5]$ 。

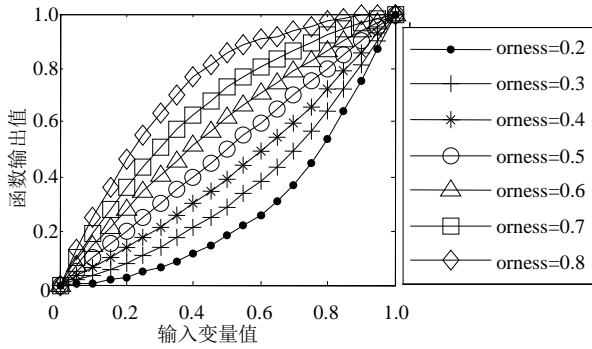


图2 不同orness值下权重构成的插值函数图

6) 由指标权重向量 $p$ 和 $w$ 合成WOWA权重向量 $\omega$ 。本文中指标层权重向量 $w$ 退化为算术平均向量, 指标层的WOWA合成算子退化为WM算子。其权重向量为 $w_{B_1}=B_1, w_{B_2}=B_2, w_{B_3}=B_3$ 。由指标层合成的3个准则层指标的模糊综合评估向量为:

$$C_1 = \omega_{B_1} R_1 = [0.1 \ 0.145 \ 0.1 \ 0.655]$$

$$C_2 = \omega_{B_2} R_2 = [0.725 \ 3 \ 0.130 \ 7 \ 0.114 \ 7 \ 0.029 \ 3]$$

$$C_3 = \omega_{B_3} R_3 = [0.983 \ 5 \ 0.016 \ 5 \ 0 \ 0]$$

式中,  $R_1, R_2$ 和 $R_3$ 分别为网络性能、安全和维护指标的隶属度向量矩阵, 由 $R$ 得出。由式(4)可知, 3个准则层指标的合成分值为47.25, 86.165, 92.294。因此, 准则层的权重向量调整为 $A' = [0.22 \ 0.42 \ 0.36]$ , 根据不同orness值下的 $w^*$ 可得到不同偏好下的权重 $\omega$ , 如表7所示。

表7 不同orness值下的合成权重

orness值	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$
0.2	0.034 848	0.260 064	0.705 088
0.3	0.091 014	0.331 002	0.577 984
0.4	0.149 424	0.382 032	0.468 544
0.5	0.22	0.42	0.36
0.6	0.303 864	0.434 952	0.261 184
0.7	0.392 172	0.434 196	0.173 632
0.8	0.498 168	0.418 824	0.083 008

由表7可知, 随着orness值由小变大(由悲观变为乐观), 指标值大的指标权重由小变大, 指标值小的指标权重由大变小, 表明了合成权重能随着决策偏好正确调整指标权重, 反映决策偏好。

根据合成分值调整后的准则层的模糊关系矩阵为:

$$R' = \begin{bmatrix} 0.983 \ 5 & 0.016 \ 5 & 0 & 0 \\ 0.725 \ 3 & 0.130 \ 7 & 0.114 \ 7 & 0.029 \ 3 \\ 0.1 & 0.145 & 0.1 & 0.655 \end{bmatrix}$$

7) 采用WOWA算子的逐级综合评估。由准则层

的模糊关系矩阵 $R'$ 和合成权重 $\omega$ 可以计算出待评估网络的模糊综合评估值 $B = \omega R'$ ; 再计算待评估网络综合评估值 $T = BS$ , 综合评估值如图3所示。

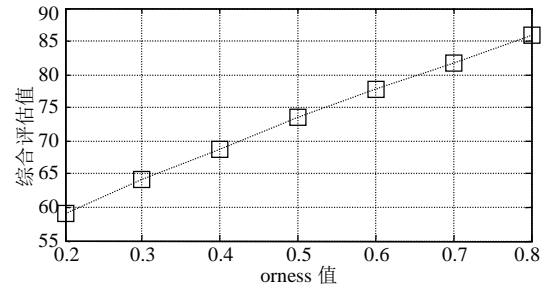


图3 不同决策偏好下的运行质量评估值

普通模糊综合评估方法计算出的模糊综合评估值为 $B_n = WR = [0.557 \ 0 \ 0.110 \ 7 \ 0.084 \ 2 \ 0.248 \ 1]$ ; 综合评估值 $T_n = B_n S = 73.5$ 。由图3可知, 当orness=0.5时, 该评估方法计算出的评估值与普通模糊综合评估方法计算出的评估值相同, 与理论结果一致。当orness小于0.5时, 综合评估值处于中等等级并且接近于差的等级, 决策偏好为悲观, 准则层权重向量中网络性能(由式(6)可知该网络性能很差)的权重占的比重最大, 安全和维护指标的权重都相对减少, 因此计算出的综合评估值小。当orness大于0.5时, 决策偏好为乐观, 安全和维护指标的权重逐渐增加, 而网络性能权重逐渐变小, 从而使综合评估值变大。因此, 当orness值由0.2向0.8变化, 即决策偏好由悲观变为乐观时, 其综合评估值由小变大, 能够反映决策者的偏好变化。

### 5 结束语

本文提出了基于WOWA算子的网络运行质量模糊综合评估方法, 该方法在合成运算时不仅考虑了指标自身的重要性, 也考虑了决策者的主观偏好性。实例表明, 该方法是正确可行的, 不仅改进和丰富了网络运行质量评估方法, 在实际中也取得了较好的应用效果。

### 参 考 文 献

[1] ITU-T. Y.1541 Network performance objectives for IP-based services[S]/ITU Telecommunication Standardization Sector (ITU-T). Geneva: ITU-T, 2006.

[2] SIEPHAN E. IETF RFC4148 IP Performance Metrics(IPPM) Metrics Registry[S]. Internet Engineering Task Force (IETF). [s.n]: IETF, 2005.

[3] 张冬艳, 胡铭曾, 张宏莉. 基于测量的网络性能评估方法研究[J]. 通信学报, 2006, 27(10): 74-79.

ZHANG Dong-yan, HU Ming-zeng, ZHANG Hong-li.

- Study on network performance evaluation method based on measurement[J]. *Journal on Communications*, 2006, 27(10): 74-79.
- [4] 阙伟科, 张国清, 魏郑浩. IP网络综合性能评估模型[J]. *计算机工程*, 2008, 34(8): 99-101.  
QUE Wei-ke, ZHANG Guo-qing, WEI Zheng-hao. Model for network synthetical performance evaluation[J]. *Computer Engineering*, 2008, 34(8): 99-101.
- [5] 罗赞骞, 夏靖波, 陈天平. 网络性能评估中客观权重确定方法比较[J]. *计算机应用*, 2009, 29(10): 74-78.  
LUO Yun-qian, XIA Jing-bo, CHEN Tian-ping. Comparison of objective weight determination methods in network performance evaluation[J]. *Journal of Computer Applications*, 2009, 29(10): 74-78.
- [6] HERSHEY P, RUNYON D, WANG Yang-wei. Metrics for end-to-end monitoring and management of enterprise systems[C]//2007 IEEE Military Communication conference. Orlando: IEEE Press, 2007: 1-7.
- [7] 张靖. 模糊综合评判的校园网性能评价研究[J]. *电子科技大学学报*, 2009, 38(6): 998-1000.  
ZHANG Jing. Campus network performance assessment based on the fuzzy comprehensive evaluation[J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2009, 38(6): 998-1000.
- [8] 罗赞骞, 夏靖波, 智英建, 等. 统计IP网络质量的模糊评估方法[J]. *计算机科学*, 2010, 37(8): 77-79.  
LUO Yun-qian, XIA Jing-bo, ZHI Ying-jian, et al. Statistic IP network quality's fuzzy evaluation method[J]. *Computer Science*, 2010, 37(8): 77-79.
- [9] 徐海东, 李治文, 江峰, 等. 基于神经网络的UTRAN网络质量综合评价[J]. *北京邮电大学学报*, 2005, 28(4): 41-44.  
XU Hai-dong, LI Ye-wen, JIANG Feng, et al. 3G UTRAN quality evaluation based on neural network[J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2005, 28(4): 41-44.
- [10] 于艳华, 宋梅, 潘阳发, 等. 改进的基于支持向量机的网络综合评价策略[J]. *北京邮电大学学报*, 2007, 30(6): 85-88.  
YU Yan-hua, SONG Mei, PAN Yang-fa, et al. An improved network performance evaluation method based on support vector machines[J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2007, 30(6): 85-88.
- [11] TORRA V. The weighted OWA operator[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 1997, 2(12): 153-166.
- [12] ROBERT F. On obtaining OWA operator weights: a short survey of recent developments[C]//ICCC2007. Tunisia: IEEE Press, 2007: 241-244.
- [13] 苏哲斌. FAHP中三类判断矩阵的一致性问题和排序方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2006.  
SU Zhe-bin. The study of consistency and priority method for three sorts of judgement matrices in FAHP[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2006.
- [14] 司书宾, 孙树栋, 韩光臣, 等. 基于三角模糊数的综合保障评价指标权重分析[J]. *西北工业大学学报*, 2004, 22(6): 689-693.  
SI Shu-bin, SUN Shu-dong, HAN Guang-chen, et al. A weighted analysis of an integrated logistics support based on triangular fuzzy number[J]. *Journal of Northwestern Polytechnical University*, 2004, 22 (6): 689-693.
- [15] CHEN J E, OTTO K N. Constructing membership functions using interpolation and measurement Theory[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1995, 73(3): 313-327.

编辑 张俊