

## 网络性能评估中客观权重确定方法比较

罗赞骞<sup>1</sup>, 夏靖波<sup>1,2</sup>, 陈天平<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 西安 710077; 2. 西安电子科技大学 综合业务网理论及关键技术国家重点实验室, 西安 710071)  
(immortaluo@163.com)

**摘要:**针对目前网络性能评估中多元指标之间权重难以客观确定的问题,将标准差法、离差最大化法、熵权法以及它们的改进算法应用于客观权重确定,使客观权重确定方法的选择更加全面完备。改进算法引入指标间冲突性概念,考虑指标间相关性对客观权重确定的影响。以 VOIP 网络为例,采用仿真方法获取权重计算样本,为了选取更加客观的权重确定方法,将六种权重计算方法进行了比较。测试结果表明,基于指标相关性的指标权重确定方法(CRITIC)计算出的权重具有较强客观性。

**关键词:**网络管理;性能评估;权重;基于指标相关性的指标权重确定方法;标准差法

**中图分类号:** TP393.02 **文献标志码:** A

## Comparison of objective weight determination methods in network performance evaluation

LUO Yun-qian<sup>1</sup>, XIA Jing-bo<sup>1,2</sup>, CHEN Tian-ping<sup>1</sup>

(1. Institute of Telecommunication Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi 710077, China;  
2. State Key Laboratory of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an Shaanxi 710071, China)

**Abstract:** The methods of standard deviations, maximizing deviations, entropy weight and their improved methods were applied to solve the objective weight determination problem of multivariate indexes in performance evaluation. It made the weight determination selection more comprehensive. The conflict of the indexes was introduced to take account of the correlation between indexes. The case study was implemented in VOIP network. The samples used to compute weights were obtained by simulation. Six weight computing methods were compared for selecting more objective weight determination method. The results show that Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) method can get better objective weights.

**Key words:** network management; performance evaluation; weight; Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC) method; standard deviation method

网络性能综合评估分析可用于指导网络规划、配置、管理和维护等工作,为网络管理者、网络运营者提供管理的科学决策依据。综合评估中合理地确定各指标的权重是一个关键问题。目前,针对网络性能综合评估提出的方法主要包括线性加权法<sup>[1-2]</sup>、主成分分析法<sup>[3]</sup>、模糊综合评价法<sup>[4]</sup>、BP神经网络法<sup>[4]</sup>和改进支持向量机法<sup>[5]</sup>。其中主成分分析法解决了评估权重客观确定的问题,但是会导致信息丢失。其余方法均采用主观方法确定权重,会造成评价结果可能会由于人的主观因素而形成偏差。目前,常用的客观权重确定方法有标准差法、离差最大化法、熵权法和基于指标相关性的指标权重确定方法(Criteria Importance Through Intercriteria Correlation, CRITIC)<sup>[6]</sup>。本文针对上述问题通过实验和分析比较,从这些方法及其改进方法中选择能够比较客观反映指标权重的权重确定方法。

### 1 三种客观权重确定方法及其改进算法

设有  $m$  个指标构成一个指标体系评价  $n$  个评估对象,这个问题被称为  $(m, n)$  评价问题。根据评价对象的实际情况,可以得到该问题的状态矩阵  $R' = (r'_{ij})_{m \times n}$ ,  $r'_{ij}$  表示第  $j$  个评估对象的第  $i$  个指标的状态值。为了消除指标间由于量纲不

同而带来比较上困难,需要对状态  $R'$  进行标准化处理得到标准状态矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。

#### 1.1 标准差法

标准差是数据偏离均值程度的度量。对于指标体系的第  $i$  个指标,若不同评估对象间该指标标准差越大,表明该指标在不同评估对象之间的变异程度越大,其提供的信息量越大,在综合评估中所起的作用越大,则其权重也应越大;反之,则其权重也应越小。利用标准差计算得到的第  $i$  个指标的权重公式为:

$$\omega_i = S_i / \sum_{i=1}^m S_i \quad (1)$$

其中,  $S_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - \bar{r}_i)^2 / (n-1)}$  为第  $i$  个指标在不同评估对象中的标准差,  $\bar{r}_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} / n$  为第  $i$  个指标在不同评估对象中的均值。

#### 1.2 离差最大化法

离差最大化法的思想是如果第  $i$  个评价指标对所有评估对象均无差别,则该指标权重为 0;反之,若该指标在不同评估对象中差异较大,那么该指标在综合评估中所起的作用越大,

收稿日期:2009-04-07;修回日期:2009-05-25。 基金项目:国家综合业务网理论及关键技术重点实验室开放基金项目(ISN-9-08)。

作者简介:罗赞骞(1981-),男,四川名山人,博士研究生,主要研究方向:通信网络质量评估; 夏靖波(1963-),男,河北秦皇岛人,教授,博士生导师,主要研究方向:信息网络技术、通信网规划。

应为其赋予较大的权重。离差最大法求解权重向量  $\omega$  等价于求解如下最优化模型:

$$\begin{aligned} \max F(\tau) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{ik}| \tau_i \\ \text{s. t.} \quad &\tau_i \geq 0, \sum_{i=1}^m \tau_i^2 = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

构造拉格朗日函数解此模型,得到最优解  $\tau_i^*$ 。第  $i$  个指标的归一化权重为:

$$\omega_i = \frac{\tau_i^*}{\sum_{i=1}^m \tau_i^*} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{ik}|}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{ik}|} \quad (3)$$

### 1.3 熵权法

熵原本是热力学概念,最先由香农引入信息论,用来衡量事物出现不确定性的概念。如果某个指标的信息熵  $E_i$  越小,表明其指标值的变异程度越大,提供的信息量越大,在综合评价中所起的作用越大,则其权重也越大。反之,某指标的信息熵  $E_i$  越大,表明其指标值的变异程度越小,提供的信息量越小,在综合评价中所起的作用越小,则其权重也应越小。第  $i$  个指标的信息熵计算公式为:

$$E_i = -(\ln n)^{-1} \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}; i = 1, 2, \dots, m$$

其中:  $n$  为被评价对象的数目,  $m$  为评价指标数目; 并且  $p_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}$ , 如果  $p_{ij} = 0$ , 定义  $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。第  $i$  个指标的熵权计算公式为:

$$\omega_i = \frac{1 - E_i}{m - \sum_{i=1}^m E_i}; i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

### 1.4 指标间相关系数的计算方法

为了全面对网络性能进行综合评估,通常需要从不同侧面选择多个反映网络性能的指标,但这些指标之间可能不完全独立。因此,在计算权重时需要将指标之间的相关性进行考虑。在 VOIP 网络中选择的网络性能指标为时延、时延抖动和丢包率,由文献[8]可知时延抖动、丢包率是以时延为基础计算的。因此,在计算 VOIP 网络性能指标权重时需要考虑各指标间相关性。相关系数采用 Pearson 提出的积矩相关计算方法得到,计算公式为:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

其中:  $r_{xy}$  为相关系数;  $x_i, y_i$  分别为指标  $x$  和  $y$  的第  $i$  个样本值;  $\bar{x}$  和  $\bar{y}$  分别表示指标  $x$  和  $y$  的均值。

### 1.5 三种方法的改进算法

得到性能指标的相关系数之后,可计算网络性能指标间的冲突性。性能指标间冲突表明了该指标与其余指标之间的冲突程度;指标间冲突性越小,表明两个指标变化时所反映的信息量相似;指标间的冲突性大,表明两个指标变化时所反映的信息量不同。指标冲突性计算方法为:

$$c_i = \sum_{j=1}^m (1 - r_{ij}); i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

其中:  $r_{ij}$  为指标  $i$  与  $j$  间的相关系数。第  $i$  个指标权重由指标自身变化大小确定权重  $\omega_i$  和指标间的冲突性  $c_i$  共同决定,指标权重  $w_i$  计算方法为:

$$w_i = \frac{\omega_i \cdot c_i}{\sum_{i=1}^m \omega_i \cdot c_i}; i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$w_i$  不仅考虑从单个指标变化程度反映该指标在综合评价中的作用,同时也考虑了指标间由于冲突性而引起的对综合评估影响。通过冲突性的引入,强调了具有较强冲突性的指标在综合评价中应具有较强的作用。两种策略最终反映了综合评估中冲突性较强且自身变化较大的指标对评估贡献最大。其中,标准差法改进后得到 CRITIC 法<sup>[7]</sup>。文献[7]中选择了 PCA 法和利用指标自身变化大小计算权重的标准差法、等权重法与 CRITIC 法进行了比较,且 CRITIC 法自身只考虑了一种利用指标自身变化大小计算权重的方法。但是,PCA 法会略减属性丢失信息,等权重法具有一定的主观性,而利用指标自身变化大小计算权重的方法还有离差最大法和熵权法。因此,文献[7]选择 CRITIC 法作为最优客观权重确定方法并不十分完备,需要将标准差法、离差最大法、熵权法以及它们的改进算法进行比较以便更全面地选择客观权重确定方法。

## 2 实例分析

### 2.1 基于客观权重的网络性能评估模型

本文以 VOIP 网络为例,采用线性加权方法对网络性能进行评估,其评估步骤如下。

1) 网络性能指标的确定。根据面向业务性、全面性、非重复性和可测性的原则,参考文献[9]选取网络时延、时延抖动和丢包率作为网络性能评估指标。

2) 采用仿真方法获取网络性能指标值。客观权重确定方法需要反映不同网络运行状态的指标值,从实际网络中获取这些指标值比较困难,而网络仿真方法可以模拟不同网络运行状态,可以获得网络在不同运行状态下的网络性能指标值。因此,采用 NS2 仿真方法获取网络在不同负载下的网络性能指标值,根据这些指标值的变化来计算指标权重。

3) 计算网络性能评价指标权重。首先将 2) 中获得指标值按成本型指标归一化方式进行处理,然后按第 1 章中的六种方法计算权重。

4) 计算综合评价值。计算得到各指标的相对权重后,可将其应用于实际网络或模拟仿真网络中对网络性能进行综合评估。多个指标的综合评价需要将各个指标同质化,因此需要对评价指标进行无量纲化处理。结合文献[9]中的指标数据,给出 VOIP 网络指标值的无量纲处理方法。对于时延 0 ~ 150 ms 为好,150 ~ 300 ms 为差;对于时延抖动 0 ~ 50 ms 好,50 ~ 100 ms 差;对于丢包率 0 ~ 3% 好,3% ~ 6% 差。三个指标的归一化方法为:

$$c_{\text{delay}} = \begin{cases} 0.6 + \frac{(0.15 - x)}{0.15} \times 0.4, & 0 \leq x < 0.15 \\ \frac{(0.3 - x)}{0.15} \times 0.6, & 0.15 \leq x \leq 0.3 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

$$c_{\text{jitter}} = \begin{cases} 0.6 + \frac{(0.05 - x)}{0.05} \times 0.4, & 0 \leq x < 0.05 \\ \frac{(0.1 - x)}{0.05} \times 0.6, & 0.05 \leq x \leq 0.1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

$$c_{\text{loss}} = \begin{cases} 0.6 + \frac{(0.03 - x)}{0.03} \times 0.4, & 0 \leq x < 0.03 \\ \frac{(0.06 - x)}{0.03} \times 0.6, & 0.03 \leq x \leq 0.06 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

依据上述计算方法可计算得到每个指标的评价值  $c_i$ , 结合每个指标的相对权重, 最后计算得到网络的综合评价值:

$E = \sum_{i=1}^m (w_i \times c_i)$ 。由于时延、时延抖动和丢包率中任何一个指标为差, VOIP 业务将不能正常运行。因此, 在计算综合评价值时, 当其中任何一个指标为差时, 其综合评估值应为差。

## 2.2 样本数据采集

样本数据采用网络模拟器 NS2 构建网络仿真环境仿真获得。该仿真拓扑结构、链路带宽和时延特性如图 1 所示, 图中共有 10 个节点, 节点 0~5 表示路由器, 节点 6~9 表示主机节点。主干链路和接入链路均采用丢弃队尾排队模型。

由节点 6 和节点 7 分别向节点 8 和节点 9 发送恒定的 VOIP 数据流  $f_1$ 、 $f_2$ , 由于瓶颈链路 2→3 的存在, 两个数据流在不同负载情况下将争用带宽。因此, 保持  $f_2$  数据流为 100 Kbps 始终不变; 背景流量  $f_1$  最初被设定为 500 Kbps, 随后逐步增大其流量值, 直到 950 Kbps。因此, 设定 14 个仿真场景, 获得在不同场景下的平均网络时延、时延抖动和丢包率的值, 轻载和重载的场景各占一半, 以保证取得性能指标值的公正性。获取指标值如表 1 所示。

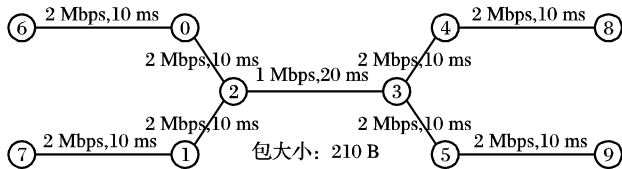


图1 仿真拓扑场景图

表1 网络性能指标值

背景流量/Kbps	时延/s	时延抖动/s	丢包率
500	0.065 506	0.001 649	0.000 000
550	0.065 483	0.001 679	0.000 000
600	0.065 625	0.001 865	0.000 000
650	0.065 668	0.002 790	0.000 000
700	0.065 646	0.002 003	0.000 000
750	0.065 764	0.003 879	0.000 000
800	0.066 084	0.005 085	0.000 000
850	0.066 614	0.006 591	0.000 000
900	0.072 721	0.014 862	0.003 731
910	0.074 368	0.015 066	0.041 199
920	0.076 668	0.011 714	0.060 606
930	0.077 252	0.012 498	0.057 471
940	0.077 784	0.011 760	0.085 603
950	0.077 882	0.012 031	0.120 301

## 2.3 六种方法计算的权重与结果分析

依据表 1 中网络性能指标值由第 1 章的方法可计算出网络性能指标的相对权重。时延与时延抖动、丢包率的相关系数为: 0.829 8、0.832 7; 时延抖动与丢包率间的相关系数为 0.618 1。六种客观权重确定方法求出的权重如表 2 所示。

由表 2 可知, 熵权法、标准离差法和离差最大化方法均采

用指标变化幅度大小来确定指标对综合评估的贡献, 三种方法计算得到的指标权重大小均反映出了表 1 中各指标值在背景流量变化情况下各指标的相对变化情况, 表明这三种方法的合理性。但这三种方法都没有考虑指标间的冲突性, CRITIC 法、改进离差法和改进熵权法均考虑了指标间的冲突性, 得出的指标权重有较大调整, 说明指标冲突性在权重确定中起着较大作用。为了进一步对这些权重方法进行比较, 用不同方法下得到权重求综合评估值, 如图 2 所示。

表2 六种权重确定方法求出权重比较

性能指标	熵权法	标准差法	离差最大化法	CRITIC 法	改进离差法	改进熵权法
时延	0.445 0	0.377 3	0.378 5	0.270 7	0.271 7	0.329 3
时延抖动	0.387 1	0.338 1	0.357 7	0.396 9	0.420 1	0.468 6
丢包率	0.167 9	0.284 6	0.263 8	0.332 3	0.308 2	0.202 1

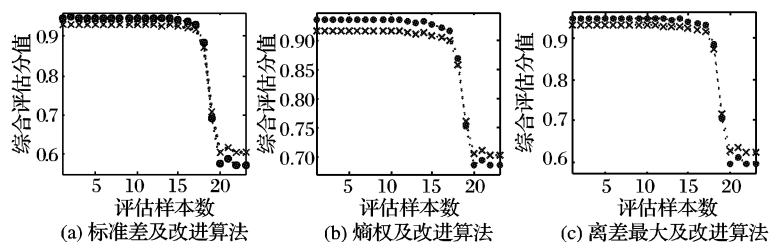


图2 六种方法的综合评估值

图中横坐标表示评估样本点, 纵坐标表示综合评估值;  $\times$  和  $\bullet$  分别表示原方法和改进方法后的评估值。

由图 2 可知六种方法在网络性能指标值较好时均能反映出网络状况, 但在网络性能变差时, 各种方法得出的综合评估值有较大差异。图 2 中最后 5 个综合评估值是表 1 中最后 5 行指标值的综合表象。由于丢包率大小已经超过了其阈值 3% 的大小, 那么该性能状态将不能保障业务正常运行。因此, 最后 5 个综合评估值应该评定为差。六种方法中只有 CRITIC 法和改进离差最大算法的综合评估值部分为差, 且改进标准差算法只有一种情况没有反映为差。并且, 熵权方法及改进算法在指标为差时计算得到的综合评估值均比另外两种原始方法及改进方法计算得到的高而不能反映实际的网络状态, 反映出熵权方法能比较粗略计算出权重以及利用自身变化计算出的权重对综合权重有很大影响。标准差法和离差最大法计算得到综合评估值很相似, 但在网络性能指标为差时改进标准差法比改进离差最大法得出的评估值更能反映网络性能状态。因此, 标准差法能够比较精细地计算权重, 在考虑了相关性后能够更好地计算指标权重。因此, 改进标准差算法求出的网络性能指标权重比较客观地反映了各指标权重大小, 可以采用这种方法来计算网络指标权重。

由于计算出的权重不能反映综合评估所有状态, 因此还需要对权重进行适当调整。主要有两种方法: 1) 可以结合主观赋权法<sup>[10]</sup>, 对其加以修正, 使指标权重符合实际要求; 2) 可以对综合评估方法进行适当调整, 计算时当所有指标的参数

值均为好时,  $E = \sum_{i=1}^m (w_i \times c_i)$ ; 当指标中有参数值为差时,  $E = (\sum_{i=1}^m (w_i \times c_i)) \times \frac{(S_{\text{up}} - S_{\text{bottom}})}{100}$ ,  $S_{\text{up}}$ ,  $S_{\text{bottom}}$  分别为综合评估值的上限和下限, 这里分别为 60 和 0。这种计算方法可以直接地反映出网络的运行状况。

(下转第 2631 页)

区域,可根据节点距离梯度层次边界的距离信息,将转发节点区域限制在一定的范围内以及靠近梯度层次内边界的位置。

对于转发负载不均衡的情况,节点距梯度层次内边界近时转发负载轻,距梯度层次外边界近时转发负载重。因此,在数据汇聚时,可在保证汇聚可靠的前提下,优先选择距梯度层次内边界距离近的节点转发数据分组,以避免转发负载重的节点区域,尽可能均衡负载,延长网络生命周期。

改进后的网络目标模型如图 7 所示,最小跳数梯度场的层次宽度小于节点的有效通信半径,水平线区域为传统 MHR 网络参与数据汇聚的节点区域,黑色阴影区域为改进后的网络参与数据汇聚的节点区域。其中,  $R_e$  为节点有效通信半径,  $R'e$  为梯度层次宽度,且  $R'e < R_e$ 。对于位于网络区域右上角的某数据源节点,图 8 显示了转发区域限制前后各跳承担转发数据流的情况,明显可见限制后数据流分布变小且较均匀。

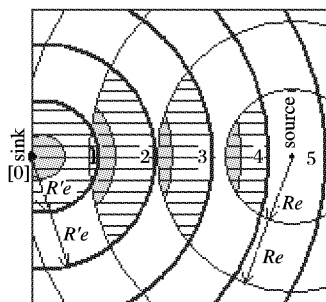


图 7 传统 MHR 网络改进模型

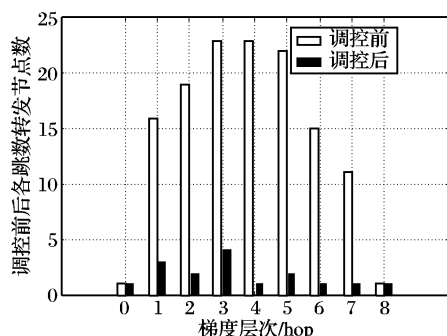


图 8 转发节点区域限制前后各跳转数据流分布情况

## 4 结语

传统 MHR 网络在一定程度上克服了完全 flooding 算法

的缺点,改善了 flooding 算法用于节点密集分布的无线传感器网络的性能,但依然存在与传感器网络特点不相适应的地方,有待进一步改进,主要在于最小跳数梯度场稳定性和参与数据汇聚的节点数以及节点区域确定两个方面;在 MHR 网络运行过程中,可廉价获取节点各类梯度化邻居节点数信息以及节点距汇聚节点的距离信息,用该信息对传统 MHR 网络进行调控,可改善传统 MHR 网络的缺陷,提高网络性能。寻求利用节点的各类梯度化邻居节点数信息以及节点距汇聚节点的距离信息调控 MHR 网络的具体策略以及改进后的效果的定量分析是要进一步完成的任务。

## 参考文献:

- [1] ARAMPATZIS T H, LYGEROS J, MANESIS S. A survey of applications of wireless sensors and wireless sensor networks [C]// Proceedings of the 13th Mediterranean Conference on Control and Automation. Hawaii: IEEE Press, 2005: 719 - 724.
- [2] AKYILDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. Wireless sensor network: A survey [J]. Computer Networks, 2002, 38 (4): 393 - 422.
- [3] ROUSH W. 10 emerging technologies that will change the world [J]. Technology Review, 2003, 106(1): 33 - 49.
- [4] HAN K-H, KO Y-B, KIM J-H. A novel gradient approach for efficient data dissemination in wireless sensor networks [C]// VTC2004-Fall. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004: 2979 - 2983.
- [5] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks [C]// Proceedings of the 6th ACM/ IEEE Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Boston: ACM Press, 2000: 56 - 67.
- [6] YE F, CHEN A, LIU S W, et al. A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks [C]// Proceedings of the 10th International Conference on Computer Communications and Networks. Arizona: IEEE Communications Society, 2001: 304 - 309.
- [7] 郑明才, 张大方, 赵小超. 最小跳数路由无线传感器网络行为特征研究 [J]. 计算机应用, 2007, 27(10): 2552 - 2555.
- [8] 孙勇进, 孙雨耕, 陈宝江, 等. 无线传感器网络 1 点和 2 点连通可靠性研究 [J]. 传感技术学报, 2004, 17(3): 379 - 385.
- [9] 朱红松, 孙利民, 徐勇军, 等. 基于精细化梯度的无线传感器网络汇聚机制及分析 [J]. 软件学报, 2007, 18(5): 1138 - 1151.

(上接第 2626 页)

## 3 结语

本文将客观赋权法应用于网络性能评估指标权重确定,并将指标间的冲突性引入到标准差法、离差最大化法和熵权法中,提出了两种新的改进客观权重确定方法,使网络性能评估中客观权重确定方法的选择更加全面完备。

志谢:衷心感谢评审专家的论文评阅意见和吴继礼博士的建议。

## 参考文献:

- [1] 张冬艳, 胡铭曾, 张宏莉. 基于测量的网络性能评价方法研究 [J]. 通信学报, 2006, 27(10): 74 - 79.
- [2] 陶洋, 张静, 周霞. 基于三角模糊层次分析法与网络仿真的网络整体性能评价研究 [J]. 计算机应用, 2005, 25(10): 2238 - 2240.
- [3] 罗枫, 宋梅, 任志军, 等. 移动网管中多指标综合评估研究 [J]. 北京邮电大学学报, 2004, 27(4): 97 - 101.

- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 张红涛, 毛罕平. 四种客观权重确定方法在粮虫可拓分类中的应用比较 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 132 - 136.
- [7] DIAKOUAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method [J]. Computers & Operations Research, 1995, 22(7): 763 - 770.
- [8] ITU-T Y. 1540—2007, Internet protocol data communication service-IP packet transfer and availability performance parameters [S]. 2007.
- [9] ITU-T Y. 1541—2006, Network performance objectives for IP-based services [S]. 2006.
- [10] 安宏, 高学东, 曾德华, 等. 基于因子分析和模糊数学方法的综合评估 [J]. 计算机工程, 2008, 34(18): 281 - 282.