

## 基于灰色关联的网络性能模糊评估

钟 贇, 夏靖波, 吴吉祥, 柏 骏, 张毅卜

(空军工程大学信息与导航学院, 陕西西安, 710077)

**摘要** 随着网络规模的不断扩大,对IP网络性能进行评估可以指导网络设计并为改进网络运行状况提供支持。针对模糊法、投影寻踪法的不足,提出了一种新的灰色模糊网络性能评估方法。首先选取了影响网络性能的5个关键指标,利用灰色关联分析得到各评估指标的关联度,进行归一化处理作为指标权重集,然后构建了指标集到评语集的模糊关系矩阵,进行模糊运算后,最终完成对7个网络对象的性能评估和排序。与灰色关联、TOPSIS以及投影寻踪法进行对比后发现,利用文中算法,评估结果中体现了指标的内在关联性,算法权重确定更为客观,并给出了网络性能的具体分值。文中算法简单,为网络性能评估提供了一种新的思路。

**关键词** 网络性能;关联度;指标权重集

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.03.018

**中图分类号** TP393.07 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)03-0076-04

## Network Performance Fussy Evaluation Based on Grey Correlation

ZHONG Yun, XIA Jing-bo, WU Ji-xiang, BAI Jun, ZHANG Yi-bo

(Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** With the continuous expansion of network scale, evaluating the performance of IP network can help guide network design and provide support for improving the operation of the network. Aimed at the shortcomings of the fussy method and projection pursuit method, a new grey fussy evaluation method is put forward. Five key indexes to influencing the network performance are selected firstly, and the correlation degree of each evaluation index is obtained by using grey relational analysis, which is used as index weight set through normalizing. And the fussy relationship matrix of index set to the comments set is constructed after the fussy calculation is performed, finally the performance evaluation and the ranking of the seven networks are completed. Compared with grey correlation, TOPSIS and projection pursuit method, the result shows that the inner relationship of index is reflected in the results of evaluation, the algorithm is more objective in determining the weight and the specific value of network performance is given. The algorithm is simple, and provides a new idea for the network performance evaluation.

**Key words:** network performance; correlation degree; index weight set

Internet 技术和网络业务的发展,使得网络规模更加庞大和复杂,包括传统的电话、视频等业务开

收稿日期:2013-10-29

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2012JZ8005)

作者简介:钟 贇(1990-),男,江苏金坛人,硕士生,主要从事网络性能评估研究. E-mail:718227697@qq.com

**引用格式:**钟贇,夏靖波,吴吉祥,等.基于灰色关联的网络性能模糊评估[J].空军工程大学学报:自然科学版,2014,15(3):76-79. ZHONG Yun, XIA Jingbo, WU Jixiang, et al. Network performance fussy evaluation based on grey correlation[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2014, 15(3): 76-79.

始或已经承载在 IP 网络上,全网 IP 化成为一种趋势,而网络的可靠性、稳定性和高效性等性能也越发起引起研究人员的关注。由于难以全面地理解和掌握网络的运行行为,如何应用有限的网络性能指标参数来衡量、分析、评估已有网络的优劣,已经成为国内外研究的热点。

目前,网络性能评估是热门课题,提出的评估方法较多,研究也相对比较深入。一些国际组织,如 IETF 和 ITU-T 定义了各自的性能指标,但很少对具体的性能评估模型进行研究<sup>[1-2]</sup>。文献[3]提出了路径健康度和路由器健康度的概念,建立了综合评估模型;文献[4]提出了遗传投影寻踪法确定权重的网络评估方法,但并不能深入挖掘指标间的内部结构信息;文献[5]定义了网络质量的概念,提出了 IP 网络质量模糊综合评估方法,但缺乏较为客观的评估指标权重确定算法;文献[6]建立了 UTRAN 网络质量评估指标体系,提出了基于神经网络的综合评价模型,但神经网络法存在过度拟合、局部最小值问题,评估过程不可控;文献[7]针对神经网络的不足,提出了基于改进支持向量机法的网络综合评价策略,考虑各性能指标的语义相关性,对原始数据进行了维度变换,提高了训练效率,但是算法复杂度比较高。

IP 网络性能指标间具有内在的关联性,如丢包率与时延有很大关系;同时,在实际评估过程中,对于网络性能的描述并不总是确定的,而是倾向于使用“优良中差”等模糊评语。基于以上 2 点,本文综合利用灰色关联和模糊数学理论,充分挖掘 IP 网络性能指标间的“灰性”关系,从而确定各指标权重;利用三角隶属函数得到模糊关系矩阵,经过模糊运算实现网络运行质量聚类;赋予各类模糊评语具体分值,最终得到网络性能得分,实现各网络性能排序。

## 1 网络性能指标选取

网络性能指标的选择对分析、评估网络性能有举足轻重的作用。评估指标的选取,要视具体评估问题而定,在建立评估指标体系时,应遵循以下原则<sup>[1]</sup>:①指标应具有精简性,指标数量太多会导致评估复杂化;②指标应具有可测性,尽量选择容易定量计算的指标和容易准确确定的关键指标;③指标应具有代表性,能够全面准确地反映研究评估对象的属性。

根据以上原则以及国际互联网标准化组织 ITU-T 和 IETF 分别对网络性能的定义<sup>[8]</sup>,文中选取以下 5 个指标:时延、时延抖动、丢包率、连通率、

吞吐量。其中,时延、时延抖动和丢包率为成本型指标,越小越优;连通率和吞吐量为效益型指标,越大越优。

## 2 灰色模糊综合评估模型

### 2.1 确定评估相关集合

评估网络集为  $X$ ,对象有  $l$  个,记为  $x_1 \sim x_l$ ;评估指标集为  $U$ ,指标有  $m$  个,记为  $u_1 \sim u_m$ ;评估评语集为  $V$ ,评语有  $n$  个,记为  $v_1 \sim v_n$ 。

### 2.2 评估指标的规范化处理

为解决评估对象指标值之间的量纲差异,在评估前必须对指标进行归一化处理。设第  $j$  个指标  $u_j$  变化范围为  $[u_j^{\min}, u_j^{\max}]$ ,则成本型指标归一化为:

$$u_{ij}^+ = \frac{u_j^{\max} - u_{ij}}{u_j^{\max} - u_j^{\min}} \quad (1)$$

效益型指标归一化为:

$$u_{ij}^* = \frac{u_{ij} - u_j^{\min}}{u_j^{\max} - u_j^{\min}} \quad (2)$$

式中  $u_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, l; j=1, 2, \dots, m$ ) 为第  $i$  个被评对象中第  $j$  个指标值。

### 2.3 指标综合权重确定

IP 网络性能指标的权重是指各指标值对网络性能影响程度的大小。通过灰色关联分析确定指标关联度,即各指标与最优指标间的接近程度。接近程度越大,则说明该指标影响网络性能的程度越大,即指标权重也就越大;反之,接近程度越小,则最终指标权重越小。网络性能指标权重过程具体如下:

1) 确定最优指标序列。

$$u^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_m^*) \quad (3)$$

式中  $u_j^*$  为所有评估对象中第  $j$  个指标值的最优值归一化处理后的结果。

2) 计算灰色关联系数。

分别求得第  $i$  个评估对象的第  $j$  个指标值与最优指标值之间的关联系数:

$$e_{ij} = \frac{\min_i \min_j |u_j^* - u_{ij}^*| + \rho \max_i \max_j |u_j^* - u_{ij}^*|}{|u_j^* - u_{ij}^*| + \rho \max_i \max_j |u_j^* - u_{ij}^*|} \quad (4)$$

式中:  $\rho \in [0, 1]$ , 一般取  $\rho=0.5$ 。

3) 计算各指标值与最优指标值之间的关联度。

将被评对象的第  $j$  个指标值求均值后,即得第  $j$  个指标值与最优指标值之间的关联度:

$$e_j = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l e_{ij} \quad (5)$$

4) 由关联度向权重的转化。

进行归一化处理,得到指标权重序列  $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ ,其中:

$$a_j = e_j / \sum_{j=1}^m e_j \quad (6)$$

2.4 模糊关系矩阵构造

对于每个被评对象来说,具体指标值所对应的评语是模糊的。因此,每个被测对象可以构造各指标下对应评语的模糊关系矩阵。本文采取三角形隶属函数<sup>[11]</sup>,评估评语为优秀、良好、合格、差、很差,图形见图 1。

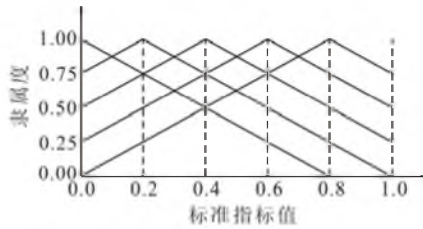


图 1 三角隶属函数

Fig.1 Triangular membership function

5 类评语的隶属函数见表 1。在表 1 中  $r_{jk}(i)$  为第  $i$  个被评对象  $x_i$  中第  $j$  个指标  $u_j$  对应等级  $v_k$  的隶属度,最终可以求得模糊关系矩阵  $R(i) = (r_{jk}(i))_{m \times n}$ 。

表 1 5 类评语对应的隶属函数

Tab.1 The corresponding membership function of 5 kinds of comments

| 评语 | 隶属函数   |
|----|--|
| 优秀 | $r_{j1}(i) = \begin{cases} u_{ij}^* / 0.8, 0 \leq u_{ij}^* \leq 0.8 \\ (1.6 - u_{ij}^*) / 0.8, 0.8 < u_{ij}^* \leq 1 \end{cases}$            |
| 良好 | $r_{j2}(i) = \begin{cases} (u_{ij}^* + 0.2) / 0.8, 0 \leq u_{ij}^* \leq 0.6 \\ (1.4 - u_{ij}^*) / 0.8, 0.6 \leq u_{ij}^* \leq 1 \end{cases}$ |
| 合格 | $r_{j3}(i) = \begin{cases} (u_{ij}^* + 0.4) / 0.8, 0 \leq u_{ij}^* \leq 0.4 \\ (1.2 - u_{ij}^*) / 0.8, 0.4 \leq u_{ij}^* \leq 1 \end{cases}$ |
| 差  | $r_{j4}(i) = \begin{cases} (u_{ij}^* + 0.6) / 0.8, 0 \leq u_{ij}^* \leq 0.2 \\ (1 - u_{ij}^*) / 0.8, 0.2 \leq u_{ij}^* \leq 1 \end{cases}$   |
| 很差 | $r_{j5}(i) = \begin{cases} (1.6 - u_{ij}^*) / 0.8, 0 \leq u_{ij}^* \leq 0.8 \\ 1, 0.8 \leq u_{ij}^* \leq 1 \end{cases}$                      |

2.5 模糊评估结果计算

本文采用  $M(\cdot, +)$  模型对指标权重序列  $A$  和模糊关系矩阵  $R(i)$  进行模糊运算,即:

$$b_k(i) = \sum_{j=1}^m a_j r_{jk}(i) \quad (7)$$

归一化处理后,根据最大隶属度原则,选取  $b_k(i)$  中的最大值所对应的评语作为最终评语。

2.6 将模糊评估结果映射为具体的评估值

对评语集  $V$  进行量化,分别赋予具体分值  $v_k$ 。最后综合得分表达式记为:

$$Z_i = \sum_{k=1}^n b_k(i) v_k \quad (8)$$

3 实例及分析

设评估网络集有 7 个网络;评估指标集中元素为时延、时延抖动、丢包率、连通率、吞吐量;评估评语集中元素为优秀、良好、合格、差、很差,分别赋值 90,80,60,50,40。

借鉴文献[9]中的实验场景,利用灰色模糊评估模型对各网络的性能进行评估,表 2 为该网络的各指标值。

根据式(3)~式(6),可得灰色权重向量  $A = (0.2204, 0.1715, 0.2211, 0.1933, 0.1937)$ ,从权重序列来看,丢包率和时延对网络性能的影响较大;时延抖动对网络性能的影响最小。

根据式(7),最终得到各网络对应各评语的隶属度向量:

$$B = \begin{matrix} B(1) \\ B(2) \\ B(3) \\ B(4) \\ B(5) \\ B(6) \\ B(7) \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0.3466 & 0.2675 & 0.1883 & 0.1092 & 0.0884 \\ 0.0770 & 0.1576 & 0.2383 & 0.2816 & 0.2455 \\ 0.2027 & 0.2495 & 0.2540 & 0.1796 & 0.1142 \\ 0.2339 & 0.2353 & 0.2089 & 0.1824 & 0.1395 \\ 0.2661 & 0.2493 & 0.2162 & 0.1581 & 0.1103 \\ 0.2326 & 0.2670 & 0.2362 & 0.1677 & 0.0965 \\ 0.0327 & 0.1259 & 0.2190 & 0.2826 & 0.3398 \end{bmatrix}$$

从隶属度向量可知,网络 1 对应于各评语的隶属度分别为 0.3466、0.2675、0.1883、0.1092、0.0884,根据最大隶属度原则,可知网络 1 的最终评估结果为优秀。同理可知,网络 5 也为优秀,网络 4、6 为良好,网络 3 为合格,网络 2 为差,网络 7 为很差。

根据式(8),各被评网络性能综合得分分别为 72.89、57.74、66.99、67.11、69.18、68.71、53.88,则性能排序依次为为网络 1、网络 5、网络 6、网络 4、网络 3、网络 2、网络 7。

将本文提出的灰色模糊综合评估方法与神经网络方法、投影寻踪方法、灰色关联分析方法进行对比,具体对比结果见表 3。

从表 3 中可以看出,文中方法与其他方法都认为网络 1 和网络 5 是性能最优的,网络 2、网络 7 性能最差,在排序上主要的不同主要是体现在网络 3、网络 4、网络 6 的次序上。由灰色权重向量的最终计算值可知,时延和丢包率 2 个指标关联度较大,所以权重相对较大,而网络 6 的这 2 项指标较网络 3、网络 4 较优,所以排序靠前。

表 2 各网络性能指标值

Tab.2 The network performance index

|      | 时延/s      | 时延抖动/s    | 丢包率       | 连通率  | 吞吐量/Mbps |
|------|-----------|-----------|-----------|------|----------|
| 网络 1 | 0.009 550 | 0.011 649 | 0.002 853 | 0.62 | 4.12     |
| 网络 2 | 0.086 272 | 0.044 862 | 0.023 731 | 0.59 | 2.86     |
| 网络 3 | 0.047 636 | 0.045 066 | 0.002 699 | 0.74 | 3.14     |
| 网络 4 | 0.038 366 | 0.053 714 | 0.004 606 | 0.87 | 2.23     |
| 网络 5 | 0.029 178 | 0.038 760 | 0.025 962 | 0.92 | 4.55     |
| 网络 6 | 0.013 457 | 0.047 675 | 0.015 738 | 0.77 | 3.78     |
| 网络 7 | 0.097 201 | 0.061 813 | 0.029 437 | 0.71 | 2.13     |

表 3 与投影寻踪方法、灰色关联分析方法对比

Tab.3 Compared with the projection pursuit and grey relational analysis method

| 方法        | 网络 1    | 网络 2    | 网络 3    | 网络 4    | 网络 5    | 网络 6    | 网络 7    | 网络排序              |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------|
| 灰色关联分析    | 0.751 7 | 0.380 2 | 0.580 4 | 0.620 3 | 0.748 7 | 0.579 9 | 0.365 3 | 1>5>4><br>3>6>2>7 |
| TOPSIS 方法 | 0.674 2 | 0.220 9 | 0.544 3 | 0.519 8 | 0.616 1 | 0.579 3 | 0.147 7 | 1>5>6><br>3>4>2>7 |
| 投影寻踪方法    | 0.936 9 | 0.358 3 | 0.642 4 | 0.622 5 | 0.698 6 | 0.635 9 | 0.329 4 | 1>5>3><br>6>4>2>7 |
| 灰色模糊方法    | 72.89   | 57.74   | 66.99   | 67.11   | 69.18   | 68.71   | 53.88   | 1>5>6><br>4>3>2>7 |

#### 4 结语

本文从影响 IP 网络的关键性能指标出发,采用灰色关联法确定指标权重,并利用三角隶属函数构建了各评估网络性能指标映射到评语集的模糊关联矩阵,实现了 IP 网络性能排序。实例验证表明,该方法客观性较强,在评估 IP 网络性能方面具有有效性和合理性。

网络性能评估是一项复杂的工作,需要深入挖掘评估指标之间的内在关系,并充分考虑评估过程中定性与定量的关系,指标体系的构建合理性以及指标到评语的映射算法的科学性是下一步研究工作的重点。

#### 参考文献(References):

[1] ITU-T Y. 1540-2007 internet protocol data communication service-IP packet transfer and availability performance parameters[S]. ITU, 2007.

[2] SIEPHAN E. IETF RFC 4148 IP performance metrics(IPPM) metrics registry[S]. Internet engineering task force,2005.

[3] 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 Weike. ZHANG Guoqing, WEI Zhenghao. Comprehensive evaluation model of IP network[J]. Computer engineering,2008, 34(8):99-101.(in Chinese)

[4] 曹庆璞. 遗传投影寻踪确定权重的网络仿真评价方法[J]. 计算机仿真, 2010, 27(10):103-106, 262.

CAO Qingpu. Evaluation of network performance using genetic projection pursuit model weighted method[J].Computer simulation, 2010, 27(10):103-106, 262.(in Chinese)

[5] 罗贇, 夏靖波, 智英建. 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, 103.

LUO Yunqian, XIA Jingbo, ZHI Yingjian. Statistic IP network quality's fuzzy evaluation method[J]. Computer science,2010, 37(8):77-79, 103.(in Chinese)

[6] 徐海东, 李治文, 江峰. 基于神经网络的 UTRAN 网络质量综合评估[J]. 北京邮电大学学报, 2005, 28(4):41-49.

XU Haidong, LI Yewen, JIANG Feng. Comprehensive evaluation of the quality of UTRAN network based on neural network[J]. Journal of Beijing university of posts and telecommunications, 2005, 28(4):41-49.(in Chinese)

(下转第 84 页)

- JI Jiarong. Advanced course of optics: the electromagnetism of light[M]. Beijing: Science press, 2007: 74-79. (in Chinese)
- [8] 赵建林. 高等光学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 36-44.
- ZHAO Jianlin. Advanced optics[M]. Beijing: National defense industry press, 2002: 36-44. (in Chinese)
- [9] Born M, Wolf W. Principles of Optics [M]. 6th ed. Oxford: pergamon press ltd, 1980: 47-51.
- [10] 李林, 肖循. 光的全反射中倏逝波的研究[J]. 武汉科技学院学报, 2006, 19(12): 37-39.
- LI Lin, XIAO Xun. Study on evanescent wave in the total internal reflection of light[J]. Journal of wuhan university of science and engineering, 2006, 19(12): 37-39. (in Chinese)
- [11] 张晋鲁. 全反射中的倏逝波及其应用[J]. 重庆师范学院学报: 自然科学版, 1995, 12(S): 87-89.
- ZHANG Jinlu. A study on evanescent wave in the total reflection[J]. Journal of chongqing teacher's college: natural science edition, 1995, 12(S): 87-89. (in Chinese)
- [12] 胡三珍. 全内反射和倏逝波[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 1996, 30(2): 169-173.
- HU Sanzhen. Total internal reflection and evanescent wave[J]. Journal of central China normal university: natural science edition, 1996, 30(2): 169-173. (in Chinese)
- (编辑: 徐敏)

(上接第 79 页)

- [7] 于艳华, 宋梅, 潘阳发. 改进的基于支持向量机的网络综合评估策略[J]. 北京邮电大学学报, 2007, 30(6): 85-88.
- YU Yanhua, SONG Mei, PAN Yangfa. Comprehensive evaluation strategy of network based on improved support vector machine[J]. Journal of Beijing university of posts and telecommunications, 2007, 30(6): 85-88. (in Chinese)
- [8] 杨雅辉, 李小东. IP 网络性能指标体系的研究[J]. 通信学报, 2002, 23(11): 1-7.
- YANG Yahui, LI Xiaodong. The study of a framework for IP network performance metrics[J]. Journal of communication, 2002, 23(11): 1-7. (in Chinese)
- [9] 罗赞筹, 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): 2624-2626, 2631.
- LUO Yunqian, XIA Jingbo, CHEN Tianping. Comparison of objective weight determination methods in network performance evaluation[J]. Journal of computer application, 2009, 29(10): 2624-2626, 2631. (in Chinese)
- [10] 万中, 梁文冬, 卢宗娟. 模糊数的隶属度区间分布函数[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2011, 25(1): 107-112.
- WAN Zhong, LIANG Wendong, LU Zongjuan. Study on the membership interval distribution function for fuzzy sets[J]. Journal of Chongqing university of technology: natural science edition, 2011, 25(1): 107-112. (in Chinese)
- [11] 白亮. 基于熵权模糊综合评价法的情报融合性能评估[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(4): 32-35.
- BAI Liang. Performance evaluation of intelligence fusion based on entropy fuzzy comprehensive evaluation [J]. Ship electronic engineering, 2013(4): 32-35. (in Chinese)
- [12] Gao yang, Qiu Tianshuang. Narrowband time delay estimation based on correlation coefficient[J]. Journal of systems engineering and electronics, 2009, 20(5): 937-942.
- [13] Chen T Y, Tsao C Y. The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis[J]. Fuzzy sets and systems, 2008, 159(11): 1410-1428.
- (编辑: 徐楠楠)