

基于动态赋权的网络性能综合评价研究

郭戎潇^{1,2}, 夏靖波^{1,2}, 董淑福¹

(1 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077;

2 西安电子科技大学 综合业务网理论与关键技术国家重点实验室, 陕西 西安 710077)

摘要: 为解决网络性能综合评价中“定权”难以描述指标值变化对权值影响的问题, 提出了一种“定权+变权”的动态赋权方法, 扩展了基于指标相关性权值计算方法的应用范围, 针对性能指标值是否超出阈值分别采用 CRITIC 法(基于相关系数的标准差法)和激励型变权计算指标权值, 最后将基于定权和基于动态赋权的综合评价结果进行了比较分析. 实验结果表明, 动态赋权方法能够更准确地反映出指标值变化对指标权值以及网络性能的影响程度, 从而使评价结果更加趋于合理.

关键词: 网络性能评价; 指标相关性; 变权; 定权

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)05-0048-05

Research on Network Performance Comprehensive Evaluation Based on Dynamic Weight

GUO Rong-xiao^{1,2}, XIA Jing-bo^{1,2}, DONG Shu-fu¹

(1 Institute of Telecommunication Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China;

2 State Key Laboratory of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710077, China)

Abstract: To solve the problem that invariable weight can't describe the effect of index values on weights, a dynamic weighting method of "invariable + variable" was presented. According the variety of indexes, weights were calculated respectively using CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) and the impulsing variable weight. The two weighting methods were compared by computing the value of network performance comprehensive evaluation. The results show that the dynamic weighting method can reflect the effect of varying indexes on the weights and the network performance more exactly, so the evaluation is more reasonable.

Key words: network performance evaluation; intercriteria correlation; variable weight; invariable weight

1 引言

指标权值是多指标综合评价中的一个重要因素, 在单项指标已经确定的情况下, 权值的变化会对评价结果产生很大影响, 不恰当的赋权甚至使综合评价得到与实际相反的结果, 因此, 指标赋权一直以来都是综合评价中的关键问题.

网络性能评价是对网络总体性能和运行情况进行综合分析的过程, 是指导网络规划、配置和管理的

必要手段. 目前, 网络性能评价中广泛使用“定权”作为指标权值, 即无论指标值如何变化, 权值始终为常数, 然而在实际评价过程中常会出现这类情况: 若某个单项指标超出了允许阈值, 则它对网络性能下降的“促进”程度会明显上升, 即使其他指标仍属正常, 但整个网络性能却已被认为“恶化”了. 此时若仍按照定权进行计算, 必将影响到评价结果的合理性和准确性. 为解决上述问题, 文中将“变权”理论引入网络性能综合评价中, 提出一种“定权+变权”的综合

收稿日期: 2010-05-16; **修回日期:** 2010-08-01

基金项目: 综合业务网理论与关键技术国家重点实验室开放基金项目 (ISN-9-08); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目资助 (2009JM8001-1)

赋权方法,并通过实验与一般定权方法进行比较分析,为网络性能评价和一般多属性综合评价赋权问题提供一种新的研究思路和方法。

2 定权赋权

定权在一定程度上反映了事物各基本属性在综合评价中的相对重要性,计算相对简单。定权的构成方法一般分为“主观赋权”和“客观赋权”两类。主观赋权法多采用定性的方法,由专家根据经验对各属性相对重要程度进行判断,但可能会由于主观因素的引入而形成评价结果偏差;客观赋权法则从定量角度出发,根据指标值本身计算出权值。考虑到主观赋权透明性及再现性较差,评价结果易受评价者知识及经验的影响,文中主要就客观赋权进行定权构造方法的讨论。

文献[1]中的计算结果表明,相对于熵权法、离差最大化法、标准差法等常用客观赋权法^[2],CRITIC^[3](Criteria Importance Through Intercriteria Correlation,基于相关系数的标准差法)能够更精细地计算出指标权值并反映出具有较强冲突性的指标对网络性能较强的影响程度。具体计算方法如下所示。

Step1:计算基于标准差的初始权值

标准差是数据偏离于均值程度的度量。不同评价对象间的同一单项指标标准差越大,表明该指标在不同评价对象之间的变异程度越大,其提供的信息量越大,对综合评价结果影响越大,则其权值也应越大;反之其权值应当越小。设有 n 个评价对象,每个对象均有 m 个评价指标,则第 i 个指标关于标准差的初始权值 ω_i 为

$$\begin{cases} \omega_i = S_i / \sum_{i=1}^m S_i \\ S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_{ij} - \bar{q}_i)^2}{n-1}} \end{cases} \quad (1)$$

式中, q_{ij} 为第 i 个指标的一致化值, S_i 为第 i 个指标在不同评价对象中的标准差, $\bar{q}_i = \sum_{j=1}^n q_{ij} / n$ 为第 i 个指标在不同评价对象中的均值。

Step2:计算相关系数

评价对象中的各单项指标之间可能不完全独立,某些指标是以其他指标为基础计算“衍生”得出,因此,对这些指标赋权时应当考虑指标间的相关性^[4]。相关系数按如下公式进行计算:

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

式中, 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, $\bar{x}, \bar{y}$ 分别为指标 x 和 y 的均值。

Step3:计算基于相关系数的客观权值

在相关系数的基础上可以计算出指标间的冲突性。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;反之则表明两个指标变化时所反映的信息量差异越大。第 i 个指标的客观权值 w_i 为

$$\begin{cases} w_i = \frac{\omega_i * c_i}{\sum_{i=1}^m \omega_i * c_i} \\ c_i = \sum_{j=1}^m (1 - r_{ij}) \end{cases} \quad (3)$$

式中, ω_i 为第 i 个指标关于标准差的初始权值, c_i 表示第 i 个指标与其他指标的冲突性, r_{ij} 为指标 i 与指标 j 间的相关系数。

3 基于动态赋权的网络性能评价

为解决多指标综合评价问题中仅靠“定权”难以满足评价需要的问题,汪培庄教授^[5]首先提出了“变权”思想,李德清^[6]又基于因素空间理论对变权原理进行了深入讨论,给出了变权向量和状态变权向量的公理化定义,刘文奇^[7]对均衡函数做了深入研究,分析了不同均衡函数及其相应变权综合模型之间的关系。

考虑到在网络性能正常状况下若全部采用变权计算,不仅意义不甚重大而且会增加计算复杂度,因此,文中在上述研究基础上,提出一种“定权+变权”的动态赋权法,其基本思路是:若各单项指标均未超出相应阈值范围,则各项指标均按定权计算;若某项指标出现异常(超出阈值范围)则各项指标的赋权应当发生变化,此时按变权处理。以期更准确地反映出各单项指标对于网络综合性能的“贡献”程度和指标值变化对于权值的影响程度,同时减小评价复杂度。

设网络性能指标个数为 m , 评价对象个数为 n , 将综合赋权法运用于网络性能评价中的具体步骤如下:

Step1:指标一致化处理

为消除原始指标值间的量纲差异和由此带来的不可公度性,在进行综合评价之前必须先对指标进

行一致化处理. 线性功效系数法是最常用的一致化方法,其基本形式为

$$q = a + \frac{p-u}{v-u} \times (b-a) \tag{4}$$

式中, q 为指标一致化值, p 为指标原始值, 其阈值范围为 $[u, v]$. 对于指标在阈值范围内的数值, 评价时可将其分为若干等级, 不同等级对应的指标范围为 $[a, b]$; 对于指标超出阈值范围的数值, 将其记为“0”.

该方法的优点在于其对原始数据进行平移、放大或者缩小后可使一致化的处理结果处在一个确定的取值范围内并保持数据的差异比不变. 然而, 将超出阈值范围的原始数据统一记为“0”将会忽视超限指标对于网络性能下降的影响程度, 不利于性能评价结果的分析与排序. 因此, 文中采用非线性功效系数法^[8]对指标进行一致化处理. 对于效益型指标(如可用带宽), 一致化基本形式为

$$q = e^{-\frac{p-u}{v-u}} \tag{5}$$

对于成本型指标(如时延、丢包率等), 一致化基本形式为

$$q = 1 - e^{-\frac{p-u}{v-u}} \tag{6}$$

以上两式中, q 为指标一致化值, p 为指标原始值, 其阈值范围为 $[u, v]$.

Step2: 综合赋权

当网络性能各项指标值均未超出阈值范围时, 按 CRITIC 法计算指标定权; 当某项指标超出阈值, 则作如下变权处理:

定义 1 称 $W_0 = (w_1^0, w_2^0, \dots, w_m^0) \in (0, 1)^m$

为定权向量, 当且仅当: $\sum_{j=1}^m w_j = 1$.

定义 2 给定映射 $(0, 1)^m \rightarrow (0, 1)$, 称 $W(X) = (w_1(X), w_2(X), \dots, w_m(X))$ $j = 1, 2, \dots, m$ 为一组关于 $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ 的变权向量, 且满足以下三条公理:

- (1) 归一性: $\sum_{j=1}^m w_j(x_1, x_2, \dots, x_m) = 1$;
 - (2) 连续性: $\forall j(1 \leq j \leq m), w_j(x_1, x_2, \dots, x_m)$ 关于每个变元 $x_k(k = 1, 2, \dots, m)$ 连续;
 - (3) 惩罚性: $\forall j(1 \leq j \leq m), w_j(x_1, x_2, \dots, x_m)$ 关于变元 x_j 单调下降.
- 其中, 公理(3)可替换为下述内容:
- (3)' 激励性: $\forall j(1 \leq j \leq m), w_j(x_1, x_2, \dots, x_m)$ 关于变元 x_j 单调上升.

对于超出阈值范围的网络性能指标, 应当突出

其对网络总体性能的“恶化”作用, 因此随着该指标值的增大, 其权值应当增大, 因此应当选择激励型变权作为该指标的客观权值, 变权公式^[6]如下:

$$w_j(x_1, x_2, \dots, x_m) = \frac{w_j^0}{x_j} / \sum_{k=1}^m \frac{w_k^0}{x_k} \tag{7}$$

Step3: 综合评价

根据线性加权原理, 按照下式计算得到网络性能的综合评价价值:

$$V_k = \sum_{i=1}^m (w_i * q_i), k = 1, 2, \dots, n \tag{8}$$

4 实例分析

以文献[1]中的数据为例进行网络性能综合评价, 过程如下:

(1) 选出网络性能原始值(表 1).

表 1 网络性能指标原始值

背景流量/ (kb/s)	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) 按文献[9]中对于各指标阈值设定为, 时延(ms): $[0, 150]$; 时延抖动(ms): $[0, 50]$; 丢包率(%): $[0, 3]$. 这三项指标均为成本型指标, 因此由(6)式计算可得各指标一致化值如表 2 所示.

由表 2 可以看出, 当网络流量超过 900 kb/s 时, 丢包率开始超出阈值范围 $[0, 3\%]$, 与未超出阈值时相比, 一致化值明显下降, 并随着网络负载不断增大, 一致化值逐渐减小, 由此表明该一致化处理结果能够反映出各项性能指标的变化情况并刻画出数

据原有的序关系.

表 2 网络性能指标一致化值

背景流量/(kb/s)	时延/s	时延抖动/s	丢包率
500	0.827 3	0.927 9	0.934 0
550	0.827 4	0.927 8	0.934 0
600	0.827 1	0.927 1	0.934 0
650	0.827 0	0.923 5	0.934 0
700	0.827 1	0.926 6	0.934 0
750	0.826 8	0.919 2	0.934 0
800	0.826 2	0.914 2	0.934 0
850	0.825 1	0.907 7	0.934 0
900	0.812 5	0.867 3	0.909 3
910	0.809 0	0.866 2	0.497 7
920	0.804 2	0.883 6	0.302 7
930	0.802 9	0.879 6	0.329 8
940	0.8018	0.8833	0.1450
950	0.801 6	0.882 0	0.048 1

(3)根据文中第 1 部分所述 CRITIC 法,得到网络时延、时延抖动和丢包率权值依次为:0.270 7、0.396 9和0.332 3. 由第 2 部分所述算法计算得综合赋权结果如表 3 所示.

表 3 网络性能指标综合赋权结果

背景流量/(kb/s)	w_1	w_2	w_3
500	0.270 7	0.396 9	0.332 3
550	0.270 7	0.396 9	0.332 3
600	0.270 7	0.396 9	0.332 3
650	0.270 7	0.396 9	0.332 3
700	0.270 7	0.396 9	0.332 3
750	0.270 7	0.396 9	0.332 3
800	0.270 7	0.396 9	0.332 3
850	0.270 7	0.396 9	0.332 3
900	0.270 7	0.396 9	0.332 3
910	0.229 1	0.313 7	0.457 2
920	0.178 7	0.238 5	0.582 8
930	0.187 7	0.251 2	0.561 0
940	0.109 7	0.146 0	0.744 4
950	0.043 9	0.058 5	0.897 7

开始发生变化:随着丢包率逐渐上升,其权值随之增大,反映出该指标对网络综合性能“恶化”的影响程度逐渐增强,同时,其他各项指标权值分配发生相应变化,由此表明变权能够反映出相同指标在不同取值情况下对系统总体性能影响程度的变化.

(4)根据不同的赋权方式计算得到网络性能综合评价结果如表 4 所示.

表 4 网络性能综合评价情况比较

背景流量/(kb/s)	定权赋权	综合赋权
500	0.902 6	0.902 6
550	0.902 6	0.902 6
600	0.902 2	0.902 2
650	0.900 8	0.900 8
700	0.902 0	0.902 0
750	0.899 0	0.899 0
800	0.896 9	0.896 9
850	0.894 0	0.894 0
900	0.866 3	0.866 3
910	0.728 2	0.684 6
920	0.669 0	0.530 9
930	0.676 1	0.556 7
940	0.583 6	0.324 8
950	0.583 0	0.129 9

可以看出,当网络流量超过 900 kb/s 时,由于丢包率超出阈值,网络性能已经开始“恶化”,基于综合赋权计算得到的结果均低于基于定权赋权的计算结果,因此前者更能客观反映出网络性能的实际状态.

5 结束语

权值是指标对系统整体性能影响程度的一个量化的表征,指标的不同取值会令这种影响程度发生变化.网络实际运行中常会出现网络性能指标异常的情况,当一项或多项指标剧烈变化超出允许范围时,不应忽视权值具有的相对性和动态性.因此,进行网络性能综合评价时应当重点考虑同一指标在不同取值时对整体性能的影响程度,从而使权值分配结果更加客观,综合评价结果也才会更趋于合理.

参考文献:

[1] 罗赞骞,夏靖波,陈天平. 网络性能评估中客观权重确定

当丢包率开始超出阈值时,各项指标赋权情况

- 方法比较[J]. 计算机应用, 2009, 29(10): 2624—2627.
- [2] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] Diakoulaki D, Mavrotas G, Papyannakis L. Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method[J]. Computer Ops Res, 1995, 22(7): 763—770.
- [4] Gao Yang, Qiu Tianshuang. Narrowband time delay estimation based on correlation coefficient[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2009, (20)5: 937—942.
- [5] 汪培庄. 模糊集与随机集落影[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1985.
- [6] 李德清, 谷云东, 李洪兴. 关于状态变权向量公理化定义的若干结果[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 5(5): 97—102.
- [7] 刘文奇. 一般变权原理与多目标决策[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 3(3): 97—102.
- [8] 易平涛, 张丹宁, 郭亚军. 动态综合评价中的无量纲化方法[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2009, 30(6): 889—892.
- [9] ITU-T Y. 1540—2007, Internet protocol data communication service—IP packet transfer and availability performance parameters[S]. ITU, 2007.

作者简介:

郭戎潇 女, (1981—), 博士生. 研究方向为军事通信网性能评估.

夏靖波 男, (1963—), 教授, 博士生导师. 研究方向为军事通信网性能评估.

董淑福 男, (1973—), 副教授. 研究方向为军事通信网性能评估.

(上接第 47 页)

- [3] 陈书明, 汪东, 陈小文, 等. 一种面向多核 DSP 的动态存储器分配设计方法[J]. 计算机学报, 2008, 31(10): 1737—1744.
- [4] 郭保东. 异构多核 DSP 互连通信机制的研究与实现[D]. 长沙: 国防科技大学, 2007.
- [5] Jiri Gaisler. BCC—bare—C cross—compiler user's manual (version 1.0.29)[M]. [s. l.]: Gaisler Research, 2007.
- [6] Gepner P, Kowalik M F. Multi—core processors: new way to achieve high system performance[C]//Proceedings of the International Symposium on Parallel Computing in Electrical Engineering (PARELEC'06). Bialys-

tok, Poland: IEEE Computer Society. 2006: 9—13.

作者简介:

吴家铸 男, (1963—), 副研究员. 研究方向为 DSP 集成开发环境.

田 希 男, (1986—), 硕士研究生. 研究方向为 DSP 集成开发环境.

刘继福 男, (1980—), 硕士研究生. 研究方向为 DSP 集成开发环境.

陈跃跃 男, (1960—), 研究员. 研究方向为计算机体系结构.