

统计 IP 网络质量的模糊评估方法

罗贇骞^{1,2} 夏靖波^{1,2} 智英建¹ 钱 渊¹

(空军工程大学电讯工程学院 西安 710077)¹

(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)²

摘 要 为了科学地评估网络运行情况,提出了网络质量的概念并阐述了其内涵;设计了一组反映网络质量的评估指标体系并以隶属度向量值计算指标的统计值,该值能够明确地反映在统计周期内指标的等级情况;基于模糊数学理论建立了采用统计的网络质量模糊评估模型。以 4 个不同驻地 IP 网络统计数据为例,对 4 个网络的质量进行了模糊评估,从而获得网络质量的量化评估结果。

关键词 网络管理,质量评估,隶属度向量,模糊评估

中图分类号 TP393.07 **文献标识码** A

Statistic IP Network Quality's Fuzzy Evaluation Method

LUO Yun-qian^{1,2} XIA Jing-bo^{1,2} ZHI Ying-jian¹ QIAN Yuan¹

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)¹

(State Key Lab of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China)²

Abstract The definition of network quality was presented and its connotation was expatiated for scientific evaluating network running status. The metrics were designed to reflect the network quality and the membership vector was used to compute its statistic values, the values can definitely reflect the metrics' ranks in the period of statistics. The network quality fuzzy evaluation model based on statistics was designed. The case study evaluated the four local IP networks' qualities based on their statistic values and got the quantitative evaluating results.

Keywords Network management, Quality evaluation, Membership vector, Fuzzy evaluation

1 引言

全网 IP 化是通信网络发展的一种趋势。IP 网络作为各种业务网络的承载基础网络,其网络质量问题一直是一个热门课题。国际上 IETF 和 ITU-T 制定了相应网络性能指标,但是没有建立宏观的评估模型^[1,2]。文献[3]以图论为基础,构造了一种端到端网络性能分析算法;文献[4]提出了一种基于测量方法的网络性能评估模型,采用加权平均方法计算路径性能评估值;文献[5]提出了从全局性或整体性角度评估网络性能;文献[6]对网络监测和管理的指标进行了分类;文献[7]提出了结合网络健康度和路由器健康度的综合性能评估模型;文献[8]提出从维度、空间和时间 3 方面的综合化来评估网络运行质量。综上所述,目前的研究还存在一些问题:(1)缺少从全网、分层、分域和网络运维特点角度定义的网络质量指标体系;(2)目前提出的综合评估值的均值和偏差不能明确地反映网络质量的长期统计变化情况;(3)缺少完善的 IP 网络质量综合评估方法。

本文根据 IP 运营网络的结构体系和运营特点,对网络质量进行了定义并提出了一组新的网络质量评估指标体系;利

用统计的方式计算各指标值的隶属度向量,明确地反映了网络运行质量状况,采用模糊综合评估的方法对网络质量进行了综合评估。

2 网络质量的概念及其统计指标体系

2.1 网络质量的概念

定义 1(网络质量) 为了实现信息传送的通信保障目的,构成通信网络的各要素和相关策略之间必须协同工作,以满足规定需求和潜在需求能力的特征和特性的总和。

网络质量 Q 可以近似表示为

$$Q \approx Q_0 \times Q \quad (1)$$

式中, Q_0 是 IP 网络的固有质量; Q 是 IP 网络在运行过程中固有质量的发挥程度,它受网络维护、网络环境和人等因素的影响。最直接的评估方法是直接测试这两个指标,但这两个指标的实测非常困难。因此,本文从 IP 网络运行过程中的相关统计指标出发,采用模糊综合评估的方法评估网络质量。

网络质量的概念不同于网络性能的概念,它是网络性能的扩展;也不同于业务质量的概念,它直接面向网络而非业务,但是它服务于业务。可以从网络管理功能模型和网络地

到稿日期:2009-09-14 返修日期:2009-12-01 本文受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(2009JM8001-1)资助。

罗贇骞(1981-),男,博士生,CCF 学生会员,主要研究方向为通信网络质量评价,E-mail:immortalluo@163.com;夏靖波(1963-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为信息网络技术和通信网规划。

域两个维度理解网络质量。从网络管理功能看,网络质量应该包括网络性能、网络安全、网络维护(从故障管理演化得到)等方面的内容;网络性能反映了网络运行过程中基本组成要素的运行情况;网络安全反映了相关网络安全措施为网络提供的安全防御能力,它不包含应用安全性;网络运行维护反映了运营维护部门的维护能力。从地域角度看,网络质量应该分为骨干网络、城域网络、接入网络和驻地网络等4个不同网络的质量,不同的层次具有不同网络质量评估标准。本文主要研究驻地网络质量。

2.2 网络质量评估指标体系选择准则

网络质量综合指数通过对若干个指标进行综合得出。这些指标的选取关系着综合评估的全面性和科学性。考虑到统计工作的复杂性和可行性,提出建立指标体系应遵循的下列原则:

(1)全面性原则。构建的指标应该全面完整,能够反映网络质量的基本特性。由于人们对网络质量的认识是一个逐步深入而不断完善的过程,因此指标体系本身将不断地演化、完善。

(2)可比性原则。构建的指标体系应该能够实现对不同网络运行质量的横向比较,还要能够实现对同一网络运行质量的纵向比较。

(3)可测性原则。构建的指标应该含义明确,具有现实统计意义,便于进行定量分析。

2.3 基于统计的网络质量指标体系

根据网络管理实际运营的需求,本文提出了网络质量统计指标体系,如图1所示。本指标体系从网络性能、网络安全和网络维护3方面对网络进行考评。图1中的指标都是建立在月统计的基础之上,其指标的统计值采用隶属度向量的方式表示。隶属度向量能够明确地反映在统计周期内网络运行质量的等级情况,避免了由于平均统计掩盖网络质量细微变化的细节,以及难以度量偏差与实际网络质量波动之间的关系。

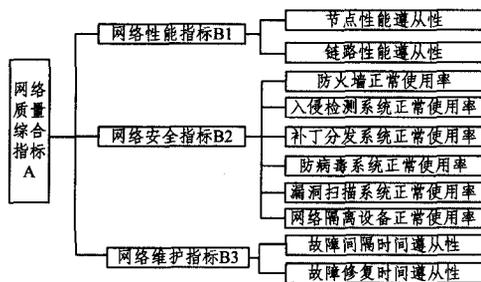


图1 网络质量评估指标体系

定义2(单指标的隶属度向量) 在一个统计周期中,根据规定的指标评级标准($E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\} = \{\text{优, 良, 中, 差}\}$),统计单个指标样本属于相应评级标准的比值构成的向量 $R(r_1, r_2, r_3, r_4)$,其计算公式为:

$$r_i = \frac{\|I(e_i)\|}{n} \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (2)$$

式中, n 为一个统计周期中采样点的个数;集合 $I(e_i) = \{p_j < e_i\}$, p_j 为指标在第 j 次采样的测度值; $<$ 为指标满足相应等级的要求, $\|I(e_i)\|$ 为集合中指标属于等级 e_i 的数量。

定义3(综合隶属度向量) 在一个统计周期中,根据规定的指标评级标准($E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\} = \{\text{优, 良, 中, 差}\}$),对

所有待评设备的多个指标样本进行综合计算得到的向量 $R(r_1, r_2, r_3, r_4)$ 。其计算公式为:

$$r_i = \sum_{j=1}^q (w_j \times (\sum_{k=1}^m \omega_k \times \frac{\|I_{jk}(e_i)\|}{n})) \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

式中, n 为一个统计周期中采样点的个数, q 为设备的数量, w 反映了设备重要性, $\sum_{j=1}^q w_j = 1$; ω 反映了各指标的重要性, $\sum_{k=1}^m \omega_k = 1$,其中 m 为指标的个数;集合 $I_{jk}(e_i) = \{p_{lk} < e_i, \text{且 } k=1, \dots, m\}$, p_{lk} 为第 k 个指标在第 l 次采样的测度值, $<$ 为指标满足相应等级的要求; $\|I_{jk}(e_i)\|$ 为集合中第 j 个设备的第 k 个指标数属于等级 e_i 的数量。

由定义2和定义3可知,隶属度向量中 r_1 和 r_2 的值越大,那么网络质量就越好,这就要求提高网络质量运行在优和良的运行时间。

“节点性能遵从性”表示在一个月的运行时间内评估网络范围内所有路由器性能的综合统计,“链路性能遵从性”表示在一个月的运行时间内评估网络范围内所有链路性能的综合统计。节点性能指标包括路由器CPU利用率和内存利用率;链路性能指标包括带宽利用率、丢包率和差错率。因此,这两个指标按照综合隶属度向量方法计算其统计值。

“防火墙正常使用率”表示防火墙设备的部署情况以及策略配置情况满足期望情况的统计。“入侵检测系统正常使用率”表示入侵检测设备的部署情况、策略配置情况和入侵事件检测情况满足期望情况的统计。“补丁分发系统正常使用率”表示补丁分发系统获取补丁安装情况、分发策略的使用情况和紧急补丁的安装情况满足期望值的统计。“防病毒系统正常使用率”表示监测终端病毒软件使用情况、查看终端病毒告警情况和故障情况、终端防病毒策略的使用情况和病毒事件情况满足期望值的统计。“漏洞扫描系统正常使用率”表示设备部署情况、策略获取情况和高风险漏洞情况满足期望情况的统计。“网络隔离设备正常使用情况”表示网络隔离设备部署情况和隔离策略的配置情况满足期望情况的统计。“故障间隔时间遵从性”表示在一个月的运行时间内评估网络范围内故障间隔时间的统计。“故障修复时间遵从性”表示在一个月的运行时间内评估网络范围内故障修复时间的统计。以上指标由单指标的隶属度向量计算其统计值。

3 基于统计的网络质量模糊综合评估

3.1 模糊评估的基本方法

模糊综合评估^[9]的基本思想是应用模糊关系合成的原理,根据被评估对象本身存在的形态或类属上的亦此亦彼性,从数量上对其所属给以刻画和描述。由于网络质量概念本身具有模糊特性,因此用模糊数学的概念和方法建立网络质量评估模型。模糊综合评估的步骤如下:

Step1 建立评估对象的因素论域 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。

Step2 建立评语论域 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 以及评语分值 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ 。

Step3 确定评估因素的权值向量 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 。权值也要求采用模糊方法来确定,它是评估因素对被评估对象所起作用的隶属程度的度量。权值的确定方法很多,如有Delphi法、层次分析法^[9]等。

Step4 在评估对象的因论域 U 与评语论域 V 之间进行单因素评估,建立模糊关系矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, r_{ij} 表示论域 U 中第 i 个因素 u_i 对应于评语论域 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。

Step5 模糊综合评估模型。网络质量的模糊综合评估模型为 W 与 R 的合成运算, 即

$$B = (b_j)_{1 \times m} = W \circ R \quad (5)$$

式中, “ \circ ” 为模糊合成算子, 常用的 4 种模糊算子为 $M(\wedge, V)$ 算子、 $M(\cdot, V)$ 、 $M(\wedge, \oplus)$ 算子和 $M(\cdot, \oplus)$ 算子。在网络质量综合评估中, 选择加权平均型算子 $M(\cdot, \oplus)$ 进行综合评估; B 为网络质量的评判结果集, $b_j = \sum_{i=1}^n w_i r_{ij} (j=1, 2, \dots, m)$ 。

Step6 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, 计算公式如下:

$$T = \sum_{j=1}^m (s_j \times b_j) \quad (6)$$

对于多评估对象, 计算完被评估各对象的评估结果后就可实现对它们之间的横向比较排序; 对于单评估对象, 可以实现其纵向比较。

3.2 实例分析

本节根据某 4 个驻地 IP 网络网管系统在 1 个月中基于统计的网络质量数据, 按照 3.1 节的模糊综合评估方法对它们的网络质量进行了模糊综合评估。模糊评估的结果表明了 4 个网络在某月的网络质量, 并实现了它们之间的横向比较。具体评估过程如下:

(1) 获取网络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, 获取了 4 个驻地 IP 网络在 1 个月中的网络质量统计数据。网络管理系统对网络性能数据的采集周期为 5min, 对网络安全数据的采集周期为天, 网络维护数据的统计由其故障事件触发进行统计。由于数据量的关系, 详细数据略去而只列出指标的隶属度向量, 见步骤 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。评语等级为 $V = \{\text{优, 良, 中, 差}\}$ 。评语对应的分值为:

$$S = \{1, 0.85, 0.7, 0.55\} \quad (7)$$

各评语还与相应指标值的区间对应, 这些区间值是用于计算各指标隶属度向量的依据。指标值区间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) 采用层次分析法计算评估指标权重。在咨询专家意见基础上采用层次分析法计算出的指标权重为 $A = \{0.28, 0.65, 0.07\}$; $B_1 = \{0.25, 0.75\}$; $B_2 = \{0.1, 0.1, 0.24, 0.17, 0.06, 0.33\}$; $B_3 = \{0.5, 0.5\}$ 。

合成得到的指标权重为

$$W = \{0.07, 0.21, 0.065, 0.065, 0.156, 0.115, 0.039, 0.21, 0.035, 0.035\} \quad (8)$$

(4) 计算模糊关系矩阵。根据步骤 1 中的实测数据和式(2)、式(3)计算隶属度向量, A 网、B 网、C 网和 D 网 4 个网络统计后的网络质量指标隶属度向量矩阵为 R_A, R_B, R_C, R_D :

$$R_A = \begin{bmatrix} 0.695 & 0.3009 & 0.0026 & 0.0015 \\ 0.618 & 0.3721 & 0.0075 & 0.0024 \\ 0.967 & 0.033 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.933 & 0.067 & 0 & 0 \\ 0.933 & 0.067 & 0 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$R_B = \begin{bmatrix} 0.3541 & 0.6157 & 0.0231 & 0.0071 \\ 0.4051 & 0.5734 & 0.0174 & 0.0041 \\ 0.7666 & 0.1 & 0.0667 & 0.0667 \\ 0.6666 & 0.0667 & 0.2 & 0.0667 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.967 & 0.033 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$R_C = \begin{bmatrix} 0.4398 & 0.5232 & 0.0324 & 0.0046 \\ 0.4629 & 0.4944 & 0.037 & 0.0057 \\ 0.6666 & 0.2 & 0.0667 & 0.0667 \\ 0.6333 & 0.2 & 0.1 & 0.0667 \\ 0.8333 & 0.1 & 0.0667 & 0 \\ 0.7333 & 0.1667 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$R_D = \begin{bmatrix} 0.2315 & 0.7129 & 0.0463 & 0.0093 \\ 0.3472 & 0.5833 & 0.0579 & 0.0116 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0.2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

(5) W 与 R 合成运算。根据式(5)可计算出 B 的值。由于涉及向量和矩阵运算, 计算时采用 Matlab 工具实现。4 个网络的模糊综合评估值为:

$$B_A = W * R_A = [0.8677, 0.1299, 0.0018, 0.0006]$$

$$B_B = W * R_B = [0.6686, 0.2468, 0.0746, 0.0100]$$

$$B_C = W * R_C = [0.7131, 0.2300, 0.0467, 0.0102]$$

$$B_D = W * R_D = [0.6037, 0.2658, 0.1053, 0.0252]$$

(6) 综合得分计算。由式(6)可得各网络的综合评分为:

$$T_A = B_A * S = 0.9797$$

$$T_B = B_B * S = 0.9361$$

$$T_C = B_C * S = 0.9469$$

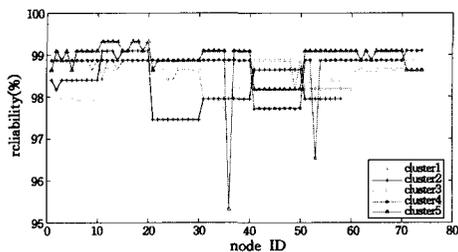


图4 链路可靠性测试结果

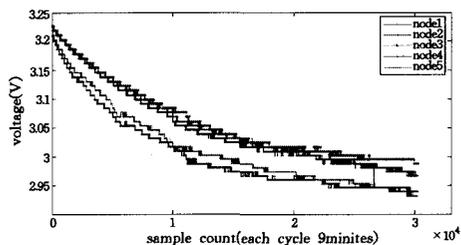


图5 电池电压检测结果

结束语 簇状树形网络是一种在无线传感器网络中常用的拓扑结构,本文通过对该种拓扑特征的分析,结合一种 TDMA 的工业无线传感器网络协议,从理论上分析了可靠性、功耗、时延等应用需求和网络协议参数,以及节点平台参数之间的关系,并通过该关系模型,实现了在一种协议和平台下经过参数调整来满足不同应用的需求,简化了网络的设计,同时也为网络部署到现场之后根据现场环境进行调整提供了理论依据。通过该方法,在工厂设计了一个 406 点的大规模监测网络,实际测试表明,该方法可以较好地预测网络的可靠性和能耗,并能对诸如重传次数、数据发送速率等网络参数的调整给出参考值,便于系统的部署和调试。

参考文献

[1] Johnstone I, Nicholson J, Shehzad B, et al. Experiences from a Wireless Sensor Network Deployment in a Petroleum Environment[C]//Mobisys2007. 2007;382-387
 [2] Wan Yadong, Li Lei, He Jie. Anshan: Wireless Sensor Network

for Equipment Fault Diagnosis in Process Industry[C]//SECON2008. 2008
 [3] He Yulin. Multi-level Clustering Architecture for Wireless Sensor Networks [J]. Information Technology Journal, 2006 5(1): 188-191
 [4] Wan Yadong, Wang Qin, Zhang Xiaotong, et al. A Hybrid TDM-FDM MAC Protocol for Wireless Sensor Network Using Timestamp Self-Adjusting Synchronization Mechanism[C]//WICOM 2007. 2007
 [5] Stanley-Marbell P, Basten T. System Models in Wireless Sensor Networks[R]. ES Reports. Eindhoven University of Technology Department of Electrical Engineering Electronic Systems. May 2008
 [6] Bonivento A, Fischione C, Necchi L, et al. System Level Design for Clustered Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Informatics, 2007, 3(3): 202-214
 [7] 李建波, 黄刘生, 徐宏力, 等. 一种密集部署传感器网络的分簇算法[J]. 计算机研究与发展, 2008(07)
 [8] 沈波, 张世永, 钟亦平. 无线传感器网络分簇路由协议[J]. 软件学报, 2006(7): 1588-1600
 [9] 周祖德, 胡鹏, 李方敏. 无线传感器网络分簇通信协议的可靠性方案[J]. 通信学报, 2008, 29(5)
 [10] Ye W, Heidemann J, Estrin D. An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor network[C]//INFOCOM 2002. 2002
 [11] Polastre J, Hill J, Culler D. Versatile low power media access for wireless sensor networks[C]//SenSys2004. 2004
 [12] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks[C]//HICSS 2000. 2000
 [13] Rabaey J, Ammer J, Da Silva J L, et al. Patel PicoRadio: Ad-hoc wireless networking of ubiquitous low-energy sensor/monitor nodes[C]//IEEE Computer Society Workshop on VLSI 2000. 2000
 [14] Culler D. GENESIS: The Synthesis of a Semi-Random Protocol for Data Collection in Clustered Sensor Networks[R]. CLASS PROJECT, CS294-1. FALL, 2003

(上接第 79 页)

$$T_D = B_D * S = 0.9172$$

T_A, T_B, T_C, T_D 以量化的方式反映了 4 个网络在 1 个月中基于统计的网络质量的高低。从得出的基于统计的网络质量综合分数可知, A 网络的网络质量最好, C 网络质量次之, B 网络质量略低于 C 网络质量, D 网络质量最差。

结束语 网络质量的评估是当前网络运营管理中一个非常关注的问题。本文根据网络的运营特点,提出了网络质量的概念,扩展了网络性能的概念,给出了建立网络质量指标体系的建议,并以此为基础设计了一组网络质量评估指标体系,并提出采用隶属度向量的概念计算指标值。在评估模型建立方面,将模糊数学中的模糊评估方法应用于网络质量评估中,从而建立了网络质量的模糊评估模型。最后将所建立的模糊评估算法对不同驻地 IP 网络的网络质量指标数据进行了模糊评估,为网络质量评估提供了一种新的思路。

参考文献

[1] ITU-T Y. 1541. Network performance objectives for IP-based

services[S]. Feb. 2006
 [2] IETF RFC4148. IP Performance Metrics (IPPM) Metrics Registry[S]. Aug. 2005
 [3] 刘怀亮, 王东, 徐国华. 一种基于流量工程的网络端到端性能分析算法[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(9): 1165-1168
 [4] 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
 [5] 蒋序平. 网络性能综合评估方法 IEMONP 的设计和实现[J]. 海军工程大学学报, 2006, 18(5): 74-78
 [6] Hershey P, Runyon D, Wang Yangwei. Metrics for end-to-end monitoring and management of enterprise systems[C]//2007 IEEE Military Communication Conference. Orlando: IEEE, 2007; 1-7
 [7] 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
 [8] 陈小帅. IP 网络运行质量分析与系统实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2008
 [9] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评估方法与案例精选(第 2 版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008