

## 基于三角模糊数层次分析法与网络仿真的网络整体性能评价研究

陶 洋, 张 静, 周 霞

(重庆邮电学院 软件技术中心, 重庆 400065)

(stu\_hb@cqupt.edu.cn)

**摘 要:**结合模糊理论提出了改进的模糊 AHP 算法——基于三角模糊数层次分析法 (Triangular Fuzzy Number Analytic Hierarchy Process, TFAHP), 使得结论更加客观、合理, 同时简化了 AHP 算法的步骤。在提出基于 TFAHP 网络整体性能评价模型的基础上, 阐述了应用网络仿真技术进行网络整体性能评价的方法。包括性能指标选取、仿真试验设计、仿真性能参数计算和仿真结果处理与分析的方法, 并给出了对一个具体的多媒体网络进行网络整体性能评价的应用实例。

**关键词:**网络性能评价; 网络仿真; 指标; 三角模糊数层次分析法

**中图分类号:** TP393.02 **文献标识码:** A

### Research of network performance evaluation based on TFAHP and network simulation

TAO Yang, ZHANG Jing, ZHOU Xia

(Center of Software Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunication, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** Based on fuzzy theory, an improved fuzzy AHP—TFAHP (Triangular Fuzzy Number Analytical Hierarchy Process) was given. TFAHP is more objective and reasonable; it is also briefer than AHP. On the basis of the introduction of network performance evaluation model based on TFAHP, the method of network performance evaluation using network simulation was proposed, including the following aspects: the determination of performance measurement, the network simulation design, the calculation of performance parameters and the analysis of result. And then, we applied this method to a real multimedia network.

**Key words:** network performance evaluation; network simulation; indexes; TFAHP

## 0 引言

随着网络新技术新业务的飞速发展, 网络用户对网络的性能要求越来越高, 网络整体性能的评价显得尤为重要起来。如文献[1]中描述, 有关网络性能分析的研究主要侧重于协议或算法性能的分析方面, 而对实际或设计的网络本身的总体性能指标, 以及网络对各种应用的支持性能的研究还很欠缺。然而随着网络环境日益复杂, 对网络应用系统本身的性能进行评估和预测, 对其运行效率进行监控和性能分析显得越来越重要。网络性能的评价是一项复杂的工作, 有必要确立一种综合的性能评价体系对网络性能进行评价分析, 利用改进后的评价方法通过分析各性能参数对网络性能的影响程度, 从而达到对网络性能进行较为准确的状态及性能评价。

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是美国运筹学家 A. L. Saaty 教授于 20 世纪 70 年代提出的一种能将定性分析和定量计算相结合的系统评价分析方法。基于 AHP 的合理性和简便性, 该算法已被多个领域<sup>[2,3]</sup>广泛采用。但 AHP 在标度法方面和判断矩阵方面都存在较大缺陷, 改进的 AHP 算法引入模糊理论, 使用模糊理论的程度和角度各不相同<sup>[4,5]</sup>。一直以来, 对于模糊 AHP 没有明确的定义, 本文改进的 AHP 算法对元素判断标度和判断矩阵元素都使用模糊数学的方法, 即得到基于三角模糊数 (Triangular Fuzzy Number) 的模糊 AHP (TFAHP)。

## 1 基于 TFAHP 的网络评价模型

### 1.1 TFAHP 算法结构描述

为了便于描述, 定义如下的符号为:  $\mathbf{R} = (r_{ij})_{n \times n}$  为模糊一致矩阵, 其中  $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$ ;  $\mathbf{B} = (B_{ij})_{n \times n}$  为模糊互补矩阵, 其中  $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$ ;  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  为对象集,  $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$  为目标集;  $M_{E_i}^m$  为同一层次中第  $i$  个对象满足  $m$  个目标的程度值, 其中  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $S_i$  为同一层次中第  $i$  个对象满足  $m$  个目标的综合程度值;  $\mathbf{W}' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$  表示综合权重值,  $\mathbf{W} = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T$  表示  $\mathbf{W}'$  归一化之后的最终权重值;  $S$  表示最终的综合评价价值。

TFAHP 的基本步骤为:

- 1) 首先建立系统层次结构;
- 2) 利用三角模糊数, 建立元素两两间三角模糊判断矩阵  $\mathbf{R}$ ;
- 3) 对模糊互补矩阵  $\mathbf{B}$  按行求和, 得  $r_i = \sum_{k=1}^n b_{ik}, i = 1, 2, \dots, n$ ;
- 4) 利用数学变换  $r_{ij} = \frac{r_i - r_j}{a} + 0.5$ , 其中  $a = 2(n-1)$ ,  $n$  为判断矩阵的阶数, 得到模糊一致判断矩阵  $\mathbf{R}(r_{ij})_{n \times n}$ ;
- 5) 根据公式  $S_i = \sum_{i=1}^m M_{E_i}^i \odot [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{E_i}^j]^{-1}$ , 计算指标的

收稿日期: 2005-04-20; 修订日期: 2005-06-21 基金项目: 重庆市科技攻关重点项目基金资助项目 (2003-361)

作者简介: 陶洋 (1964-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向: 网络管理及软件; 张静 (1980-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 网络管理及应用; 周霞 (1982-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 网络管理及应用。

综合程度值;

6) 根据公式  $d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ , 计算  $W'$ , 并对权重进行归一化处理得到  $W$ ;

7) 根据公式  $S = \sum_{i=1}^n (W_i \times C_i)$ , 计算综合评判值。

事实上,改进的模糊 AHP 实际上增加了一个“加强的”调整器,当判断矩阵出现不一致时,通过简单的参数设置完成一致性转换,从而简化掉 AHP 算法中的一致性检验过程。同时,在得到综合权重值后,利用区间中值法对参数进行综合处理,可以计算出最终的评价分值。

## 1.2 基于 TFAHP 的网络评价模型及算法

本文对网络整体性能的评价通过改进的模糊 AHP 方法——TFAHP 来实现,由于网络的具体应用,业务类型的差异,所要求的性能指标参数各有不同。本文以多媒体网络为例分析 TFAHP 在其网络评价中的具体步骤和实际应用。

### 1.2.1 网络整体性能评价模型的建立

#### 1) 评价准则元素集

网络指标参数是进行网络性能评价的基础元素集,本文以多媒体网络为例<sup>[1]</sup>,采用统计指标参数为:时延、时延抖动、链路利用率和吞吐量及丢包率。根据仿真中指标参数的变化率从小到大的顺序,依次对应着评价准则元素集(即性能指标参数集): $R = (r_1, r_2, r_3, r_4, r_5)$  中的元素。

#### 2) 评语准则集

确定评价通信的各个因素集后,把每个因素进行适用分级,一般分为 4 ~ 5 级较为合适,本文对多媒体网络性能评价中每个指标的评价等级分为四档:优、良、中、差,相对应的评语分值分别为:优为 85 分 ~ 100 分;良为 75 分 ~ 85 分;中为 60 分 ~ 75 分;差为 < 60 分。求综合分值时,采用区间中值法求得等级参数集,即  $C = (92.5, 80, 67.5, 30)$ 。

### 1.2.2 构造模糊判断一致矩阵

在综合评价中,最基础也是最重要的就是判断矩阵的构造,即最底层元素两两间重要程度的大小问题。权重的实质是一种结构相对数,反映系统的总体结构。指标间的相对重要程度通常是通过专家打分计算出来的,与传统的判断矩阵构造方法不同,网络评价中每项指标参数的重要程度无法依据专家的个人偏好、知识结构来构造判断矩阵元素的大小。这里的判断矩阵元素是在对大量仿真原始数据进行定量分析的基础上得来的,避免了人为主观确定权重的缺点。

本文使用 OPNET 提取相关的网络性能参数,依据仿真结果的定性分析,构造出基于三角模糊数的判断矩阵  $R$ 。本文在构造判断矩阵的每个元素时,充分考虑了判断矩阵的模糊一致性。即矩阵中元素根据定义构造,本文构造的判断矩阵  $R$  是模糊一致判断矩阵,不用再通过数学变换进行一致性转换。

由于矩阵元素  $r_{ij}$  在构造之初就严格依据定义构造,所以该矩阵是模糊一致的,不需要进行一致性转换。直接根据步骤 5) 中的公式计算五个指标参数的综合程度值。

### 1.2.3 确定权重集

根据上面计算得出的每一指标参数的综合程度值,可以由步骤 6) 中的公式计算出每一指标同所有其他指标比较的综合重要程度值,即  $V(S_i \geq S_j), i \neq j$ 。

### 1.2.4 计算综合权重值

再由步骤 7) 中的公式,系统评价中的综合权重值即是由每一权重元素的相对权重集中的最小值矩阵  $W'$ 。归一化后,权重值  $W$  即时延、吞吐量、链路利用率、时延抖动和丢包率在网络性能评价中量化的权重值。

### 1.2.5 评价结果处理

通过监控实际的网络或模拟仿真设计中的网络,获取其各个参数值,可以对网络的性能进行进一步的结果处理。结合网络指标的标准和前人的实验结果数据<sup>[1]</sup>,本文给出了多媒体网络中指标参数的评价等级表 1。对照表 1,可以给每一个参数的等级进行标度,结合每个参数的量化权重值,最后可以

计算出所有参数综合的分值,即由公式  $S = \sum_{i=1}^n (W_i \times C_i)$  求出对网络性能评价的最终分值。由于本文根据 TFAHP 计算的指标参数权重值借鉴了网络仿真的使用结果,结论相对客观,因此这里给出性能评价最终分值的思路也是比较客观的。

表 1 评价指标的评价标准汇总表

指标	标准			
	优 (85 ~ 100)	良 (75 ~ 85)	中 (60 ~ 75)	差 ( < 60)
时延	150ms	400ms	1s	> 1s
时延抖动	50ms	50ms	1s	> 1s
链路利用率			< 70%	
丢包率			越小越好	
吞吐量			越大越好	

## 2 网络仿真及应用

### 2.1 仿真网络模型及参数设置

网络承载的业务有所差别,网络提供服务的偏重也有差异,评价网络性能最优的主要指标也各不相同。随着网络中多媒体业务的普及应用,多媒体网络已逐渐成为网络服务类型中的主流服务。本文以多媒体网络为例,仿真模型参照某实际的网络拓扑搭建了一个局域网结构,视频是该网络上的主要业务流量。仿真网络拓扑如图 1 所示。

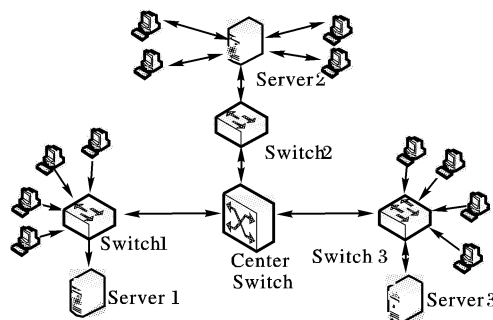


图 1 仿真拓扑图

核心层交换机到接入层交换机的连接采用 100M 的链路标准,接入交换机到各终端及服务器的连接采用 10M 标准的链路,以满足不同链路级别上的流量需求。

仿真的基本思路是在网络中加载多种类型的业务流量,包括 FTP, HTTP, EMAIL, TELNET, VIDEO; 改变以上服务加载于网络中的轻重载流量,观察不同的情况下,其对网络性能指标参数(时延、网络利用率、丢包率、时延抖动及吞吐量)的影响。本文仿真实验以多媒体网络为例,流量模型主要采用了两种组合:流量模型 1, 数据 + email + http + ftp + telnet(即无 video 视频业务);流量模型 2, 数据 + email + http + ftp + telnet + video(即加载 video 视频业务)。下面的仿真结果分析主要针对这两种流量模型进行。

### 2.2 仿真结果分析

从仿真实验中,得到了在不同流量模型:“no video”与“加载 video”下,网络的时延等性能指标仿真结果。在 video

轻载时,时延和网络利用率都较低;重载时,时延和网络利用率都出现数量级的变化。而在 video 轻载,其他业务重载时,对时延、网络利用率等参数的影响近乎忽略。因此,通过比较加载 video 业务前后仿真结果,指标参数都有十分显著的变化,反映这几个指标参数可以反映出多媒体网络的性能情况。

表2 仿真结果统计

指标	数据			
	实验 1	实验 2	实验 3	实验 4
时延(s)	0.012 8	0.013 4	0.014 8	0.016 9
时延抖动(ms)	2.2	5.1	7.3	9.5
链路利用率(%)	40.3	50.7	62.9	69.6
吞吐量(bit/s)	6 025 897	7 025 897	8 540 078	10 077 325
丢包率(%)	0	0	0	0

从数据中可以粗略看出,指标参数在实验结果中的变化幅度各不相同。观察和计算指标参数的变化率,可以得出两两指标相互间的影响情况,由算式  $\frac{\Delta r}{r_0}$  计算表中的数据,可近似得出指标参数的变化率情况(其中,  $\Delta r = r - r_0$  为参数的绝对变化量)。

表3 指标变化率

指标(%)	变化量					
	$\Delta_{12}$	$\Delta_{13}$	$\Delta_{14}$	$\Delta_{23}$	$\Delta_{24}$	$\Delta_{34}$
时延	4.6	15.6	32	10.4	26.1	14.2
时延抖动	131.8	231.8	331.8	141.9	86.2	30.1
链路利用率	25.8	56.1	72.7	24	37.2	10.5
吞吐量	16.5	41.7	67.2	21.5	43.4	18.0
丢包率	-	-	-	-	-	-

从表3中的数据可以看出,同等网络模型的不同流量大小下,时延的变化率小于其他几个参数。时延发生较小的变化时,其他几个参数均出现了不同程度的变化但都大于时延的变化率。因此,时延的微小变化均能引起其他指标不同程度的较大变化。即可得出,时延对其他几个多媒体网络性能指标的影响要大于他们对时延的影响程度。而丢包率由于为0,本身的变化就非常微小,因此对其他参数的影响最小。

综合分析之后得出,指标参数变化率表中数据定性地反

映了多媒体网络中的主要指标参数之间的相互影响程度。根据指标参数的变化率排序从小到大分别为:时延、吞吐量、链路利用率、时延抖动、丢包率,由此构造出基于三角模糊数的判断矩阵  $R$ 。再按照前面所介绍的 TFAHP 基本步骤,最终计算出时延,吞吐量,链路利用率,时延抖动,丢包率在网络性能评价中量化的权重值  $W = \{0.350\ 2, 0.250\ 1, 0.165\ 0, 0.204\ 1, 0.030\ 6\}$ ,由此可以看出各参数权重值与实际值吻合,可以直接用于网络性能评价中的参数加权,最终可计算出网络的最终性能评分。

### 3 结语

以多媒体网络为例,本文利用 OPNET 对网络性能进行了仿真,提取相关的网络性能参数。通过 video 流量加载前后的各指标参数变化情况,可以得出时延,时延抖动,吞吐量,链路利用率是以 video 为主要业务流量的多媒体网络的主要性能指标。对加载 video 业务后,指标参数的变化率反映了指标参数相互间的不同影响程度,从定性的角度为构造判断矩阵提供了客观依据。理论分析结合仿真结果表明,理论权重值与实际经验值相吻合,可以直接用于网络性能评价中的参数加权,使得评价结果更加直观。

#### 参考文献:

- [1] YEALI Y, SUN S, KU C-F, *et al.* Performance Analysis of Application-Level Traffic Shaping in a Real-Time Multimedia Conferencing System on Ethernets[A]. Proceedings of the 21st IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN'00) [C], 1996, 433 - 442.
- [2] KAHARAMAN C, CEBECI U, ULUKAN Z. Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP[J]. Logistics Information Management, 2003, 16(6): 382 - 394.
- [3] LEE JW, KIM SH. Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection [J]. Comput Oper Res, 1998, 27(2000): 367 - 382.
- [4] VAN PJ, AARHOVEN M, PEDRYCZ W. A Fuzzy Extension of Saaty Priority Theory[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1999, 11(3): 229 - 241.
- [5] LIPOVETSKY S, TISHLER A. Interval estimation of priorities in the AHP [J]. European Journal of Operational Research, 1999, 114(1): 153 - 164.

(上接第 2237 页)

### 4 结语

总之,在用蚂蚁算法进行网格环境任务调度时,为了更适应网格环境任务的优化调度,对基本蚂蚁算法的多个方面进行了调整:

针对网格环境中资源选取的重要性和路径的不确定性,将基本蚂蚁算法中路径分布信息素改为节点分布信息素,用以描述网格节点的当前处理能力;

将初始信息素相同改为初始信息素按资源原始处理能力分配,以使资源的处理能力在系统初始状态就能影响资源的选择;

信息素的含义由被选中次数改为代表节点现有的处理能力、当前负载以及处理经验,符合任务调度时对资源选取的衡量指标;

利用蚂蚁算法的可扩展性和信息素的积累作用将一次性全局优化的蚂蚁算法用于长期的反复选择资源中,便于网格环境中连续的任务调度,适合网格环境任务调度的要求,使经

验数据作用更大;

针对网格任务调度高吞吐率的优化要求,将蚂蚁算法中的路径长度之和最小改为负载平衡度,利于取得更好的负载均衡效果。

#### 参考文献:

- [1] BUYYA R. Economic-based Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing[D]. Doctor of Philosophy, Monash University, 2002.
- [2] DORIGO M, MANIEZZO V, COLORNI A. Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating of Agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-part B: Cybernetics 1996, 26(1): 29 - 41.
- [3] LIANG YC, SMITH AE. An Ant System Approach to Redundancy Allocation[A]. In Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation[C]. Washington D. C., IEEE, 1999. 1478 - 1484.
- [4] CHU C-H, GU JH, HOU XD. A Heuristic Ant Algorithm for solving QoS Multicast Routing Problem[A]. Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation CEC2002, 2002. 1630 - 1635.