

基于混沌预测的 IP QoS 模型与机制

赵其刚, 李群湛

(西南交通大学计算机与通信工程学院, 成都 610031)

摘要: 利用混沌相关理论对具有综合业务应用的 IP 网流量进行了混沌特性与预测分析, 提出了基于混沌预测的 IP QoS 实现模型与算法。OPNET 的网络仿真实验表明, 与传统的静态 QoS 参数配置方法和基于测量的 QoS 设置方法比较, 该模型及方法在网络重负载环境下使各业务的 QoS 性能指标得到有效改善。

关键词: 混沌预测; DiffSer; IP QoS; QoS 模型

IP QoS Model and Scheme Based on Chaos Prediction

ZHAO Qigang, LI Qunzhan

(School of Computer & Communication Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

【Abstract】 The chaos related theories are used to analyze the real network traffic about its chaos prediction attributes and the prediction-based IP QoS model and scheme are firstly given. The OPNET-based simulating result shows that the QoS performances in heavy-load environment are all improved remarkably, comparing with the traditional static QoS configuring and measure-based dynamic QoS setting methods.

【Key words】 Chaos-based prediction; DiffServ; IP QoS; QoS model

1 概述

当前路由器对不同业务的资源分配方法仍主要采用静态分配方法, 静态资源分配算法具有如下缺陷: (1)业务源实际统计特征很难被一种业务模型精确描述; (2)由于排队影响, 业务流的统计特性将发生变化; (3)不同业务类型, 往往具有不同的流量变化特征。由于上述原因, 静态资源分配算法既难以做到在网络拥塞时有效保证优先业务的服务质量, 又难以在网络较为空闲时提高网络的吞吐量。

基于静态资源分配所存在的问题, 文献[1]提出了基于测量的参数估计方法, 该方法在边界路由器中周期性地测量网络流量参数, 并利用大数据量业务源复用渐近分析理论估算 QoS 指标, 根据估算值动态调整网络资源分配参数; 文献[2]则提出基于对各业务流量的测量, 动态调整 WFQ 的权值来实现不同业务的资源分配。文献[3,4]已证明, 网络流量具有长期相关性 & 短期多重分形特征, 与混沌吸引子的宏观和微观特性正好对应。网络流量具有的突发特性及复杂的混沌动力学特征, 使网络流量参数的测量具有较明显的滞后性, 当前各业务流量的分配关系与流量特性, 并不代表几小时、几分钟或几秒钟后的流量分配特征, 因此基于测量的动态资源分配方法仍然具有较大的局限性。

基于静态资源分配算法所存在的严重缺陷及基于测量的动态资源分配算法的局限性, 以及网络流量所具有的混沌与分形特征, 本文根据混沌预测方法在短期预测中所表现出的优良特性, 提出了基于预测的 IP QoS 模型与算法。网络仿真结果表明, 本方法对网络中各类业务服务质量的保证具有更好的鲁棒性, 网络吞吐率亦得到显著提高。

2 网络流量分析与预测

2.1 网络流量的混沌特性

混沌是非线性动力学系统的无序中的有序现象(混沌吸

引子), 对系统混沌特性、初始敏感性一般使用 Lyapunov 指数来描述, 正的 Lyapunov 指数即意味着系统存在混沌。混沌时间序列的判别方法目前具有频谱法、Lyapunov 指数法、频闪法、主分量法等多种, 其中主分量法是近年来提出的一种混沌识别方法, 方法简洁, 计算量小, 并能有效识别混沌与系统噪声。

文献[3,4]基于 Lyapunov 指数、频闪法分析了局域网及广域网中流量数据存在混沌特征, 本文利用主分量法对从天府热线(www.tyfo.com.cn)视频服务器所采集的视频业务流量与从四川联通城域网 Cisco 路由器中采集来的数据业务流量进行混沌特性分析, 其步骤如下:

对所采集的网络流量时间序列 $\{x^1, x^2, x^3, \dots, x^n\}$, 以采样间隔为 τ_i 进行相空间重构, 选取嵌入维数为 d , 形成轨线矩阵(其中 $l=N-(d-1)$)。

$$X_{l \times d} = \frac{1}{l^{\frac{1}{d}}} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_d \\ x_2 & x_3 & \dots & x_{d+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_l & x_{l+1} & \dots & x_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

计算协方差矩阵 A 为

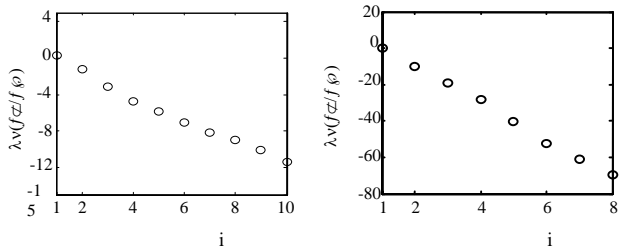
$$A_{d \times d} = \frac{1}{l} X_{l \times d}^T X_{l \times d} \quad (2)$$

(3) 矩阵 A 的特征值 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, d)$ 和相应的特征向量 $U_i (i = 1, 2, \dots, d)$, 计算特征值的和 γ , 并将特征值排序。

(4) 以 i 为横轴, $\ln(\lambda_i/\gamma)$ 为纵轴作图, 获得主分量(PCA)谱图 1(a)与图 1(b)。

基金项目: 成都市重大科技攻关计划基金资助项目(R054321103010027)

作者简介: 赵其刚(1975—), 男, 博士生、讲师, 主研方向: NGN 关键技术, 软交换呼叫控制与网络 QoS 保证; 李群湛, 教授、博导
收稿日期: 2005-09-08 **E-mail:** qgzha@swjtu.edu.cn



(a)天府热线视频业务PCA (b)四川联通城域网视频业务PCA

图1 IP业务流量数据的主分量

依据主分量法,噪声与周期信号的主分量谱图是一条与X轴几近平行的直线,而混沌信号的主分量谱图是一条过定点且斜率为负的直线。从上述主分量谱图可见,无论是视频业务流量,还是数据业务流量,其主分量直线斜率均为负数,具有显著的混沌特征。

2.2 网络流量混沌预测

由于混沌系统的“蝴蝶效应”,混沌时间序列是长期不可预测的,但在短期内,系统运动轨道发散小,从而可利用观测值进行短期预测。

在混沌系统中, Lyapunov 指数作为量化初始轨道的指数发散和估计系统的混沌量,是系统的一个很好的预报参数。

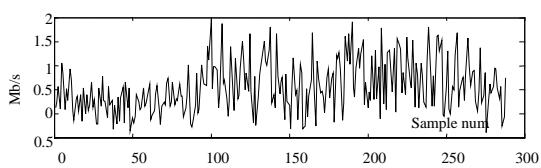
设 Y_M 为预报的中心点,相空间中 Y_M 的最近的邻点为 Y_k ,其距离为 $d_M(0)$,最大的 Lyapunov 指数为 λ_1 ,即

$$d_M(0) = \min_j \|Y_M - Y_j\| = \|Y_M - Y_k\| \quad (3)$$

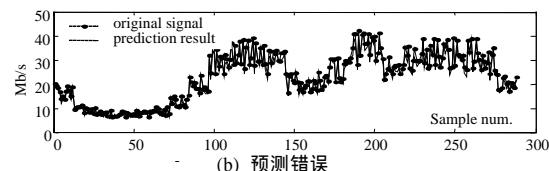
$$\|Y_M - Y_{M+1}\| = \|Y_k - Y_{k+1}\| e^{\lambda_1} \quad (4)$$

式中点 Y_{M+1} 在重构相空间中只有最后一个分量 $x(t_{n+1})$ 未知,因此 Y_{M+1} 可基于式(4)计算获得。最大 Lyapunov 指数 λ_1 的计算可参照文献[5]。

根据从四川联通城域网路由器所采集的 2003 年 1 月 ~ 3 月历史流量数据序列(采样间隔 5min),进行坐标延迟的相空间重构,建立数据流量短期混沌预测模型。为确保预测精度,采用一步一步预测,每步预测结束后,重新寻找参考向量集,进行下一步预测。图 2 是 2 月 6 日的预测值与实际值的流量曲线,表 1 是预测结果的相关统计值。



(a) 原始信号和预测结果



(b) 预测错误

图2 四川联通城域网流量数据与预测结果比较

表1 混沌预测结果统计值

月份 (Month)	平均预测 误差 APE	最大预测 误差 MPE	误差 2% 以下
1月	1.62%	8.34%	75%
2月	1.57%	7.23%	83%
3月	1.60%	7.91%	79%

从表中可见,混沌预测的误差基本控制在 3% 以内,而且误差 2% 以内超过 75%。混沌预测的前述性能已足以满足 IP 网络动态 QoS 控制的需要。

3 基于预测的 IP QoS 模型与算法

IP 网中决定业务的 QoS 指标主要包括两个层面:网络层与业务层,两个层面间存在互动与相互影响的关系,而非一个层面单一地决定另一个层面的 QoS 指标。网络层的 QoS 指标如时延、时延抖动、丢包率与带宽等,直接影响业务层的通信质量,如语音通信的语音清晰度与语音抖动;而业务层对业务的接纳控制(Admission Control)则直接影响网络的整体流量,进而影响时延、时延抖动与丢包率等网络层 QoS 指标。因此,对 IP 网 QoS 的正确控制策略应该是:

(1)业务层进行业务接纳控制应该基于网络层当前的通信资源使用状况;

(2)网络层对各业务流量的控制应基于各业务的传输性能要求;

(3)业务层与网络层应该建立有效的通信机制,通过信息互动形成的反馈机制分别控制两个层面的 QoS 指标。

但由于 IP 网长久以来作为一个数据通信网存在,数据业务所要求的主要质量指标——数据传输的正确性可以通过 TCP 的丢包重传机制轻松实现,因此业务层接纳控制与网络层流量控制间的互动机制一直未受到重视并建立。当前,在 IP 网上承载语音与视频等实时业务已有了业务层与网络层间交互信息的强烈需求,但由于网络流量的复杂性与高度变化性,业务层接纳控制事实上是与网络层的流量控制相互分离、互不相干的,如当前绝大多数 SoftSwitch 设备在接纳语音呼叫前均未查询网络的状况,致使在通信过程中经常出现语音不清晰、抖动,甚至掉线等情况。

基于本文所提出的网络流量预测模型与方法,业务接纳控制设备将具备业务接纳控制的信息基础,从而可在网络层与业务层间建立有效的信息互动机制。相较 DiffServ 模型,本模型增加一组件——网络资源控制服务器。本模型中,边界路由器负责各业务流量数据的采集与上载,并接受资源控制服务器发来的传输资源分配指令(QoS 控制命令);资源控制服务器负责业务流量的预测计算,向边界路由器、核心路由器发送资源分配指令,并向业务接纳控制服务器如 SoftSwitch、Web 服务器、视频服务器提供网络资源状况服务。

网络流量的控制流程如下:

(1)边界路由器周期性地采集当前各类业务的流量,以 UDP 报文实时地传递给资源控制服务器;

(2)资源控制服务器根据所有边界路由器的上报流量数据及历史数据,基于前述的混沌预测模型预测下一时段的网络流量;

(3)基于下一时段各业务的流量预测,及当前网络带宽、各业务的优先级指数等,计算各业务的资源分配参数;如下是带宽资源分配参数的计算式:

$$\text{若 } S_{pt}(1) + S_{pt}(2) + \dots + S_{pt}(n) \leq B_T, \quad (5)$$

$$B_A(i) = B_T \times \frac{S_{pr}(i)}{\sum_j S_{pr}(j)}$$

$$\text{若 } S_{pt}(1) + S_{pt}(2) + \dots + S_{pt}(n) > B_T, \quad (6)$$

$$B_A(i) = B_T \times \frac{W(i)}{\sum_j W(j)}$$

式中, $S_{pr}(i)$ 、 $B_A(i)$ 、 w_i 分别为业务类型为 i 的预测流量、

分配带宽、优先级指(权)数,而 B_T 为相应路由器的总带宽。

(4)将计算所得的资源分配参数,以指令方式发送给边界路由器及核心路由器;

(5)路由器更新其 PHB 参数,以新的 PHB 参数为各业务分配内存、队列等传输资源,并根据业务的优先级标识与 PHB 参数执行传输与路由操作。

业务接纳控制的流程如下:

(1)业务请求者向业务控制服务器发出业务服务请求;

(2)业务接纳控制服务器获得业务请求后,向资源控制服务器查询未来时段网络流量状况;

(3)根据未来时段网络流量状况,接受或拒绝呼叫请求。

4 网络仿真与分析

为了评估基于预测的 QoS 控制模型的性能,OPNET Modeler 网络仿真工具对该模型进行了仿真计算,并与静态资源配置算法、基于测量的资源配置算法进行了仿真比较。

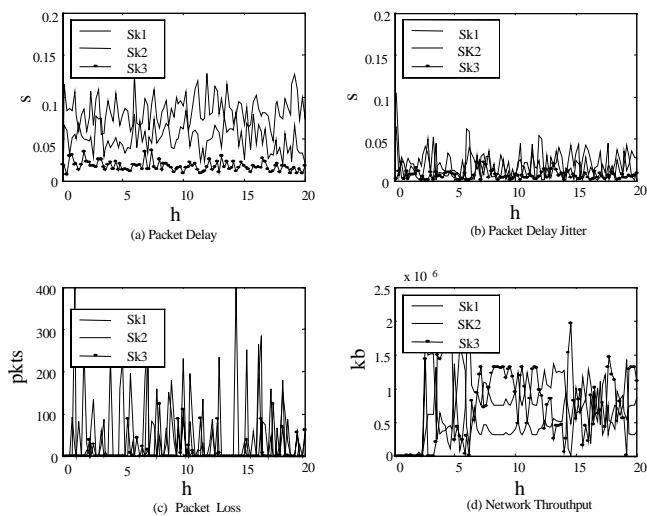


图 3 网络仿真对比曲线

表 2 网络仿真性能比较

Sch	Service Type	Packed Delay		APL	ATT(MB/S)
		APD(s)	MPD(s)		
Sk1	Voice	0.083 9	0.128 6	55.691 7	0.5128 0
	Video	0.102 5	0.185 6	213.347 8	0.4512 1
	HTTP	0.153 1	0.213 4	823.353 2	0.390 82
Sk2	Voice	0.049 7	0.084 4	24.133 3	0.726 92
	Video	0.071 2	0.156 7	163.347 8	0.471 33
	HTTP	0.160 1	0.202 9	845.353 2	0.401 85
Sk3	Voice	0.017 0	0.035 4	0.122 2	0.762 59
	Video	0.062 3	0.143 7	12.121 3	0.512 64
	HTTP	0.145 3	0.210 9	113.156 8	0.481 27

注: APD, Average Packet Delay; MPD, Max Packet Delay; APL, Average Packet Loss(packets); ATT, Average Traffic Throughput.

SK1 为静态设置方案;SK2 为基于测量的方案;SK3 为基于预测的方案。

仿真模型中分别包括 3 类业务流量源(HTTP Client、Video Conference Client、Voice Client)与一个干扰流量源(Interference Client),分别对应 3 类业务控制服务器与一干扰源终端,4 类业务流量均采用仿自相似(Pseudo-self-Similar)流量模型。4 类业务的业务类型具有 4 个级别的优先级数。在边界路由器结点中基于 VC++ 增加设计了一个用于业务流量数据采集的模块。增加设计的资源控制服务器结点基于混沌预测算法预测下一时段的网络流量,并通过 OPNET 的 ICI 通信机制与边界路由器、核心路由器和业务控制服务器通信。边界路由器与核心路由器之间为网络带宽瓶颈,带宽 2Mb/s;网络仿真在重负载下进行,仿真时长为 20h。

3 种资源分配算法语音业务所对应的 Packed Delay 曲线如图 3(a)所示,Packet Delay Jitter 曲线如图 3(b)所示,Packet Loss 曲线如图 3(c)所示,网络 Traffic Throughput 曲线如图 3(d)所示。3 种资源分配算法的相关仿真性能指标见表 2。

由曲线图与表 2 可见,当网络存在带宽瓶颈,并处于重负载情况下时,静态资源配置算法的时延、时延抖动与丢包均较显著,基于测量的资源配置算法次之。由于引入了基于预测的业务接纳控制与资源分配方法,基于本模型的业务性能维持在较好状态,丢包率、包时延、时延抖动在 3 类方案中都为最低,同时由于丢包率的减少,降低了包重传所需带宽,在 3 类方案中本方案的整体吞吐率达到最大。

5 结论

IP 网多业务流量的突发性、混沌与多重分形特征决定了网络带宽分配、QoS 控制是一个复杂的动态过程,因而静态 QoS 策略将无法保证 IP 网综合业务的全过程服务质量,而基于测量的动态 QoS 控制由于并未把握网络流量的混沌动力学行为特征,对网络 QoS 指标尽管有所改善但并不显著。本文基于对网络流量的混沌变化本质的分析,对网络流量采用混沌预测方法进行了评估,并提出了基于混沌预测的 IP QoS 模型及应用机制,通过网络仿真分析,该模型在多业务的 IP 网中可显著改善网络的 QoS 指标,并有效提高网络的吞吐量。

参考文献

- 1 Zhao Bin, Liu Zengji. Estimation of QoS Parameters Based on Measurement and Its Application[J]. Journal of Software, 2002, 13(7).
- 2 Jin Xiaohui, Li Jiandong. Using Measurement-based WFQ to Implement PDS and Its Performance Analysis[J]. ACTA Electronica Sinica, 2002, 30(3).
- 3 Leland W E, Taqqu M S, Willinger W. On the Self-similar Nature of Ethernet Traffic[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994, 2(1): 115.
- 4 Feldmann W, Gilbert A C, Willinger W. Data Networks as Cascades: Investigating the Multifractal Nature of Internet WAN Traffic[C]. ACM SIGCOMM '98 Conference. Vancouver, BC, Canada, 1998.