

混合式的网络拥塞控制算法

王满喜^{1,2}, 胡向晖¹, 马刘非¹

(1. 解放军理工大学通信工程学院 南京 210007; 2. 解放军63880部队 河南 洛阳 471003)

【摘要】在对端到端拥塞控制算法的研究和改进的基础上,结合当前网络层拥塞控制算法,提出了一种把运输层和网络层拥塞控制算法结合起来的混合式网络拥塞控制算法TCP-M,并通过NS2软件的仿真,证实了该混合式网络拥塞控制算法TCP-M比单一拥塞控制算法有效。

关键词 拥塞控制; 端到端; 丢失区分算法; 混合式
中图分类号 TN915.04 文献标识码 A

A Mixed Algorithm for Network Congestion Control

WANG Man-xi^{1,2}, HU Xiang-hui¹, MA Yi-fei¹

(1. Institute of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007; 2. PLA 63880 Unit Luoyang Henan 471003)

Abstract Some End-to-end congestion control algorithms are researched and improved. Incorporating with network layer congestion control algorithms, this paper presents a mixed algorithm for network congestion control named TCP-M, which unites the algorithms of network layer and transmit layer into one. After the simulation by NS2 software, it is verified that TCP-M is more effective than single congestion control algorithms.

Key words congestion control; end-to-end; loss differentiation algorithm; mixed

网络拥塞问题是自网络诞生伊始就一直困扰着用户的难题。TCP协议作为互联网中的运输层协议,承担着拥塞控制的主要任务。但是面对网络的千变万化,TCP协议已经很难解决所有网络环境的拥塞问题,尤其是在无线和卫星网络中,由于无线链路的高误码率等特性,使得现有的拥塞控制协议无法有效地工作。对此,研究人员分别对链路层、网络层、运输层进行研究和探讨。由于链路层方法存在诸多缺陷,分割连接方法运行效率较低,因此,网络层和运输层控制算法得到了更多的重视。然而,无线和卫星网络中的拥塞控制问题仅仅通过网络层或者运输层控制算法是无法得到有效解决的,将网络层和运输层的拥塞控制算法相结合是一种能够解决无线和卫星网络拥塞控制的新方法。

1 端到端拥塞控制算法

1.1 算法概述

目前端到端拥塞控制算法中应用最为广泛的是TCP协议的拥塞控制机制。TCP协议经过TCP Tahoe、TCP Reno、TCP NewReno和TCP SACK等协议的改进,性能得到了不断改善。目前TCP协议的拥塞控

制机制主要包括慢启动、拥塞避免、快速重传和快速恢复四种拥塞控制算法。其中慢启动和拥塞避免被TCP发送端用来控制正在向网络传输的数据量。为了实现这些算法,TCP协议必须在TCP连接状态中加入拥塞窗口(cwnd)和慢启动门限值(ssthresh)两个变量。cwnd是数据发送方在收到应答报文之前能向网络发送的报文数上限;ssthresh用来确定是用慢启动还是用拥塞避免算法来控制数据传输。快速重传算法和快速恢复算法是检测到报文丢失后,TCP协议所采用的重发和支配新数据传送的机制。这四种算法保证了TCP协议在有线网络和差错概率非常低的环境中具有良好的性能。

2.2 端到端拥塞控制算法面临的问题

虽然标准的TCP协议机制在有线网络环境下具有良好的性能,但是,在无线网络中,却导致了性能的急剧下降。在无线网络或混合网络中,由于无线链路的特殊性,TCP拥塞控制方案主要面临以下主要问题。(1) 随机丢包。TCP协议假设所有报文丢失都是由于网络拥塞的原因,因此发生报文丢失时,会触发协议的拥塞控制算法。如果网络中大部分报文丢失是由于传输中的比特误码,那么丢包就不应

该再被看作拥塞的标志。(2) 链路非对称。在目前的互联网中,尤其是在非对称网络中(如ADSL和HFC),TCP协议吞吐量常常受到反向链路上拥塞现象的影响。根据文献[1]中的定义,通常说TCP连接遇到了非对称现象,是指前向数据速率与反向数据速率的比值大于1。如果TCP发送端由于反向路径的一些不确定因素导致突然收到一个突发ACK流,会使TCP发送端对网络状态产生错误判断,导致网络负担的突然增大甚至产生拥塞。(3) 大时延。同步轨道卫星(GEO)链路是典型的大时延链路,单程270 ms的时延使得这种链路的往返时延大约为540 ms,将增加TCP协议慢启动所需的时间,会严重降低短文件传输的性能。

2.3 基于LDA的TCP拥塞控制算法

针对TCP拥塞控制方案面临的问题,本文结合丢失区分算法(Loss Differentiation Algorithm, LDA)和文献[2]的TCPW算法,提出了一种改进的基于LDA的TCP拥塞控制算法TCP- m^2W 。LDA是TCP拥塞控制协议判断网络状态的一种手段,可以区分出报文丢失是由网络拥塞引起的还是由无线链路错误引起的。TCPW是对TCP Reno的改进。TCPW协议中最关键的部分在于TCP源端不停地检测ACK的到达速率,然后根据带宽估计算法计算出当前连接的带宽,在源端有报文丢失时,根据其拥塞控制策略对cwnd和sssthresh进行设置。

TCP- m^2W 协议与TCPW类似,通过不停地检测ACK流的特征,TCP- m^2W 利用带宽估计算法计算出当前连接的带宽,并在检测到报文丢失的情况下,由三个DUPACK或者超时来表征,根据计算出的带宽适当设置慢启动门限sssthresh和拥塞窗口cwnd。当判断到在同一个窗口内存在多个报文丢失的情况时,由局部ACK表征,根据LDA得出的报文丢失原因确定是否调用BulkRepeat策略同时恢复多个丢失的报文。本文对TCP- m^2W 协议的性能进行仿真,仿真结果表明TCP- m^2W 协议的性能在一般情况下较TCPW-BR优秀。但在误码率特别高(0.01)时性能下降比较快,这是由于TCP- m^2W 协议中的LDA算法误判引起的^[3]。

2 混合式网络拥塞控制算法

2.1 网络层拥塞控制算法

虽然集中在端系统上的网络拥塞控制策略已经很多,性能也有较大改进,但是各种算法都是局部优化,并或多或少地存在某种缺陷,不能有效解决

问题(特别是无线和卫星网络中拥塞控制问题),仅仅通过运输层端到端的方法是无法得到有效解决的。现在很多研究已经开始转向网络中的路由器等中间节点设备,期望通过增强它们的功能来实现端系统无法达到的目标。目前对网络层拥塞控制算法的研究主要集中在主动队列管理算法(Active Queue Management, AQM)上。

主动队列管理算法对队列管理算法进行了改进。该算法基于FIFO调度策略,使路由器能够控制何时丢弃多少报文,以支持端到端的拥塞控制。AQM的代表方案有RED(Random Early Detection)算法及其改进方案等。RED算法是IRTF推荐的在网络节点中使用的主动队列管理和调度算法,该算法能够检测到网络中最初的拥塞,并通过丢弃一些报文向端主机提供反馈信息。RED算法的设计目的是使网络节点的队列长度减小,以降低数据流的突发性,解决数据源同步的问题。RED算法在实际的队列占满之前就按照一定的概率丢弃报文,丢弃概率的大小依赖于队列的平均长度,当队列平均长度从一个最小门限到最大门限发生变化时,丢弃报文的概率就从0变化到一个最大丢弃概率。一旦平均队列长度超过最大门限时,所有报文都将被丢弃。下面提出的混合网络拥塞控制算法采用的就是以RED的增强算法ECN算法^[4]作为网络层的拥塞控制策略的。

2.2 混合式网络拥塞控制算法

运输层算法和网络层算法各有利弊,为了获得最佳性能,需要将源端和中间节点紧密配合,实现全局优化,而不仅仅是孤立地解决局部问题,进行局部优化。因此,采用网络层拥塞控制算法和运输层的端到端TCP协议机制相结合,才是全面解决无线和卫星网络拥塞控制的新途径。正是基于这种全局优化的思想,本文提出了将网络层和运输层的拥塞控制协议相互结合进行拥塞控制的方案。对于运输层端到端拥塞控制算法,采用本文提出并经过仿真验证的TCP- m^2W 协议;对于网络层的拥塞控制策略,本文选用主动队列管理算法的RED算法及其增强算法ECN,并将这两者的结合称为混合式拥塞控制协议TCP-M。

TCP-M协议是TCP- m^2W 和ECN的结合体,TCP- m^2W 作为运输层的拥塞控制协议,在改进的LDA算法 m^2SPIKE 给出对网络拥塞原因的判断之后,TCP-M将根据TCP- m^2W 的拥塞控制策略对cwnd和sssthresh进行相应的调整;ECN作为与网络层的拥塞控制策略,与RED算法的不同之处在于当队列长

度超过相应门限时不是以一定的概率丢弃报文,而是对报文的相应比特进行标记。在ECN中定义了两个门限值minthresh和maxthresh,当队列长度超过minthresh时,路由器就以某个概率 p 对发出的报文进行CE位的设置, $p \in [0, \max_p]$,且 p 随着路由器队列长度的增加而相应增加。当队列长度超过maxthresh时,ECN就对每个发出的报文进行CE位的标记。接收端在收到标记了CE位的报文后就在ACK报文中使能ECN-ECHO,发送端在收到标记有ECN-ECHO的应答ACK后,就进行相应的cwnd的调整。在本文的TCP-M协议中,每收到一个标记有ECN-ECHO的报文就进行cwnd的调整,不管当时是否有报文丢失发生,调整的策略均如下式所示:

$$\begin{aligned} \text{cwnd} &= \text{cwnd} * 0.9 \\ \text{if}(\text{cwnd} > \text{ssthresh}) \\ \text{cwnd} &= \text{ssthresh} \end{aligned}$$

2.3 仿真分析

为了测试TCP-M协议的性能,本文利用NS2软件对其进行仿真,并将仿真结果与没有采用AQM算法的结果进行比较和分析。仿真的网络环境如图1所示,图中C、D、S均为链路节点。在路由器 R_1 和 R_2 之间是一条无线链路,路由器 R_1 和 R_2 上运行的是主动队列管理算法ECN。

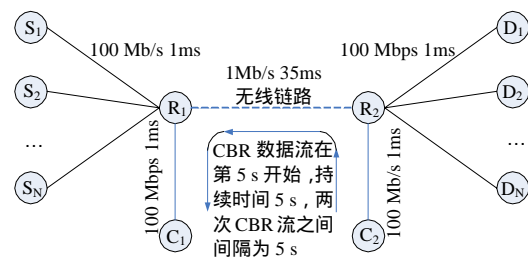


图1 仿真网络拓扑图

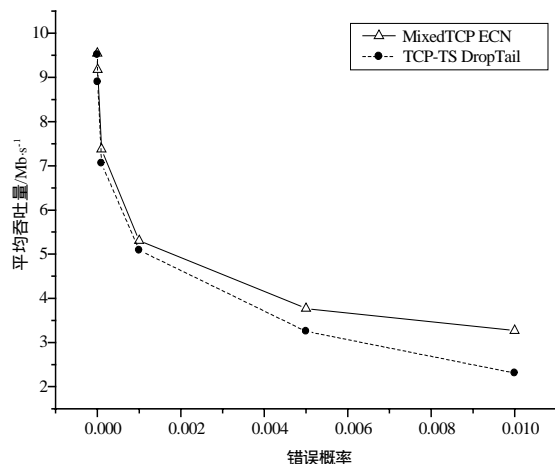
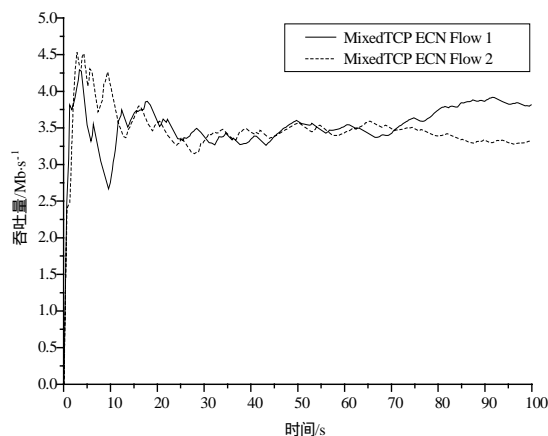


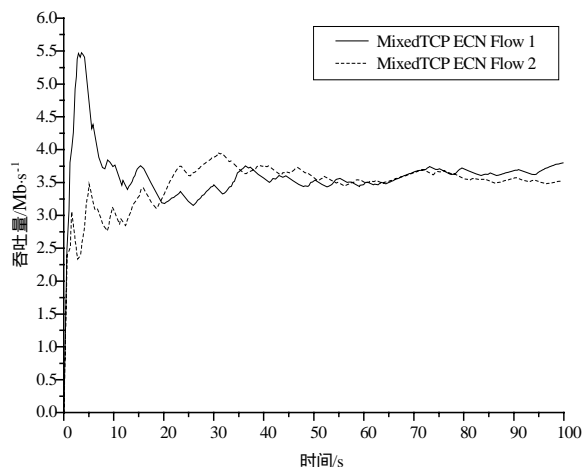
图2 TCP-M与TCP- m^2W 协议的平均吞吐量曲线

仿真结果如图2、图3所示。图2比较的是TCP-M

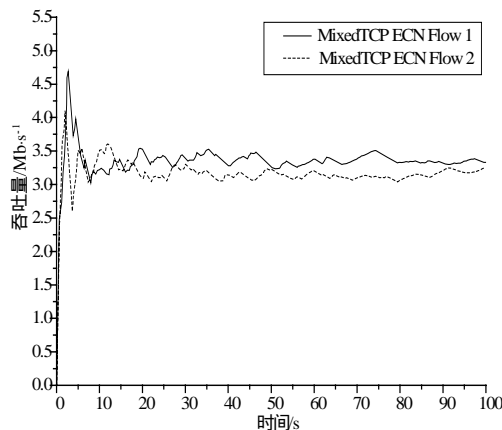
和TCP- m^2W 在不同误码率下的性能,本文用平均吞吐量作为比较的对象,由图可看出TCP-M的性能与使用DropTail队列的TCP- m^2W 协议相比要好,这是因为当TCP发送端收到标记有ECN-ECHO的ACK报文时会对cwnd进行相应的微调,大大减少了拥塞发生的可能。图3a~图3d给出的是TCP-M协议在不同误码率下的公平性性能曲线,可以认为TCP-M的公平性也很好。



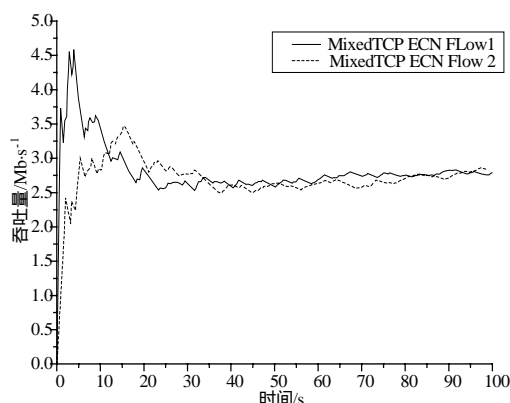
a. 误码率为0.00001时TCP-M协议的公平性性能曲线



b. 误码率为0.0001时TCP-M协议的公平性性能曲线



c. 误码率为0.001时TCP-M协议的公平性性能曲线



d. 误码率为0.01时TCP-M协议的公平性能曲线

图3 不同BER的TCP-M协议公平性能曲线

3 结束语

针对网络的拥塞控制问题, 本文提出了一种把运输层和网络层拥塞控制算法结合起来的混合式网络拥塞控制算法TCP-M, 通过仿真实验证实了TCP-M比单一拥塞控制算法有效。但是, 本文也存

(上接第641页)

3 结束语

针对胎儿心电图的提取问题, 本文利用胎儿心电图与其他源信号互相独立, 且具有一定的自相关结构的特点, 提出了一种基于峭度和自相关函数联合最大化的源信号提取算法。大量的仿真试验证明, 该算法收敛速度快, 能有效地抑制各种噪声, 提取的FECG更为清晰。尽管该算法需要事先估计FECG的周期, 但允许有较大的估计误差, 人工干预少, 并且各种参数允许的取值范围比较大, 还可以改成在线处理(Block Online)形式。

参考文献

- [1] WIDROW B. Adaptive noise canceling: principles and applications[J]. Proc. of the IEEE, 1975, 63(12): 1692-1716
- [2] LATHAUWER L D E, MOOR B D E, VANDEWALLE J.

在一定的缺陷, 如算法TCP-M只是利用了ECN算法作为主动队列管理算法, 但对ECN算法本身存在对网络环境适应性差的缺点并没有修正。因此, 研究更有效的主动队列管理算法与端到端拥塞控制算法的综合是值得关注的方向。

参考文献

- [1] LAKSHMAN T V, MADHOW U, SUTER B. Window-based error recovery and flow control with a slow acknowledgement channel: a Study of TCP/IP performance[C]. Proceedings of the IEEE INFOCOM'97. Kobe: [s.n.], 1997.
- [2] MASCOLO S, Sanadidi M Y, CASETTI C. TCP westwood: end- to-end congestion control for wired/wireless networks[J]. Wireless Networks Journal, 2002, 8: 467-479.
- [3] 胡向晖. 无线网络环境中端系统拥塞控制方案的研究[D]. 南京: 解放军理工大学, 2005.
- [4] RAMAKRISHNAN K K, JAIN R. A Binary feedback scheme for congestion avoidance in computer networks[J]. ACM Transactions on Computer Systems, 1990, 8(2): 158-181.

编辑 熊思亮

Fetal electrocardiogram extraction by blind source subspace separation[J]. IEEE Trans. on Biomedical Engineering, 2000, 47(5): 567-572.

- [3] AMARI S, CICHOCKI A. Adaptive blind signal processing -neural network approaches[J]. Proc. of the IEEE, 1998, 86 (10): 2026.
- [4] BARROS A K, CICHOCKI A. Extraction of specific signals with temporal structure[J]. Neural Computation, 2001, 13 (9): 1995-2003.
- [5] ZHANG Z L, YI Z. Extraction of temporally correlated sources with its application to non-invasive fetal electrocardiogram extraction[J]. Neurocomputing, 2006, 69 (7-9): 900-904.
- [6] 张开滋, 郭继鸿, 刘海洋, 等. 临床心电图信息学[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2002:117-398.
- [7] BART D, MOOR E. Database for the identification of systems[DB/OL]. <http://www.esat.kuleuven.ac.be/sista/daisy>, 2006-04-17.

编辑 孙晓丹