

基于 GEO 卫星网络的 TCP 增强代理模型

王辉, 吴震, 宋广飞, 王峰

(河南科技大学电子信息工程学院, 洛阳 471003)

摘要: 为提高在长时延、高误码率和带宽非对称性的卫星网络环境中的 TCP 性能, 在 NS2 环境下搭建有线网络与卫星网络间的仿真环境, 利用性能增强代理(PEP)建立由有线网络、PEP 和地球同步轨道卫星网络构成的异构网络体系结构模型。仿真结果表明, 该模型能改善卫星网络中 TCP 的传输性能。

关键词: 地球同步轨道卫星网络; TCP 性能; 性能增强代理

TCP Enhancing Proxies Model Based on GEO Satellite Network

WANG Hui, WU Zhen, SONG Guang-fei, WANG Feng

(Faculty of Electronic Information Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003)

【Abstract】 In order to improve TCP performance in the satellite network of a long delay, high bit error rate and asymmetrical bandwidth, this paper builds a heterogeneity network architecture model consisting of limited network, Performance Enhancing Proxies(PEP) and Geosynchronous Orbit(GEO) satellite network by PEP. It builds simulation environment between wired network and satellite network in NS2. Simulation results show the model can improve the performance of TCP in satellite network.

【Key words】 Geosynchronous Orbit(GEO) satellite network; TCP performance; Performance Enhancing Proxies(PEP)

1 概述

在 Internet 上广泛应用的 TCP 传输控制协议最初是为有线网络设计的, 但随着基于有线网络、无线网络、卫星网络等异构网络互连的 Internet 的发展使 TCP 性能受到很大影响。

TCP 是通过确认反馈机制进行端到端的流量控制以及可靠地传输数据, 发送端通过接收目的端的确认信号来逐步调节发送窗口尺寸以达到控制报文发送速率。卫星网络的长时延特性(特别是地球同步轨道(Geosynchronous Orbit, GEO)卫星的往返延迟达到 500 ms 左右)将导致目的端确认信号延迟, 会影响发送窗口尺寸的增大, 还会引起已发数据包的重传使得网络可能出现阻塞, 从而导致有线网络与卫星网络在互连时 TCP 传输性能的下降。

卫星信道容易受到各种因素的影响(如干扰、雨衰等), 使信道传输有很高的误码率。TCP 的差错检测和恢复策略不适用于卫星网络, 其原因是 TCP 无法区分网络拥塞和传输错误造成的数据包丢失, 即使网络中数据包由于传输错误造成丢失, TCP 也会认为是网络拥塞造成的, 此时 TCP 就会减小发送窗口尺寸以缓解网络的拥塞现象, 因此会降低网络带宽的利用率。

卫星传输信道的前向和反向数据信道间有较大的带宽不对称性, 虽然采用速度较慢的反向信道可以节省卫星带宽资源, 但可能造成应答(Acknowledge, ACK)确认包的丢失或者在较多数据包后排队, 这样会降低慢启动和拥塞避免阶段的工作速度, 从而减小吞吐量, 影响带宽利用率。

目前用于提高卫星网络环境下 TCP 性能的技术主要包括: 通过改进 TCP 协议的一些相关参数来部分改善 TCP 的传输性能; 针对卫星网络环境的特性而设计出相应的协议来克服卫星传输信道的非对称特性以提高 TCP 传输性能, 但对

TCP 协议进行修改后, 将不易于推广实现; 采用分裂 TCP 链接方案^[1], 将原先的 TCP 端到端连接分为卫星链路部分(采用适合卫星传输的协议)和非卫星链路部分(采用 TCP 协议), 在两者之间安装协议网关进行协议转换, 这样就对长时延、高误码率的卫星网络进行了屏蔽, 使得该环境下的 TCP 传输性能得到改善。

本文通过对卫星网络中影响 TCP 性能因素的分析, 提出基于 GEO 卫星网络的 TCP 性能增强代理(Performance Enhancing Proxies, PEP)模型。

2 有线网络与 GEO 卫星网络的互连模型

在 NS2^[2]平台环境下搭建地面有线网络与 GEO 之间的链路模型^[3-4], LAN-GEO 网络互连模型如图 1 所示。

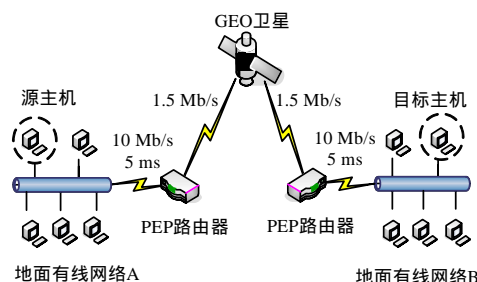


图1 LAN-GEO 网络互连模型

基金项目: 河南省高校杰出科研人才创新基金资助项目(2006K YCX004)

作者简介: 王辉(1966-), 女, 副教授, 主研方向: 计算机网络, MIS 系统开发, 数据挖掘; 吴震, 硕士研究生; 宋广飞、王峰, 工程师

收稿日期: 2009-04-03 **E-mail:** wh@mail.haust.edu.cn

地球同步轨道卫星位于地球赤道上方 35 786 MK 附近的地球同步赤道上，卫星绕地球公转与地球自转的方向和周期相同使得卫星相对地球静止，其原因是卫星距地球较远，使得信号传输会有较大时延。本文在地面有线网络 A、地面有线网络 B 与卫星网络的边界处设置具有 PEP 功能的路由器，数据从地面有线网络 A 中的源主机发送经过卫星链路到地面有线网络 B 中的目标主机，从目标主机只返回 ACK 信号。

3 PEP 原理及模型建立

3.1 PEP 原理

PEP 被设置在异构网络边界处的路由器上，对不同结构的 2 个网络中传输的数据分别进行处理。在 PEP 的内部结构中设置 2 类先进先出的缓存：(1)存储发送缓存(Store and Forward buffer, SF buffer)，其存储发送方发送给接收方的所有数据；(2)PEP 缓存(PEP buffer)，控制向发送方发送提前应答的数量，并负责重传部分在 D-Net 端丢失的数据包。PEP 路由器内部结构如图 2 所示，其中，S-Net 和 D-Net 代表不同结构的网络。

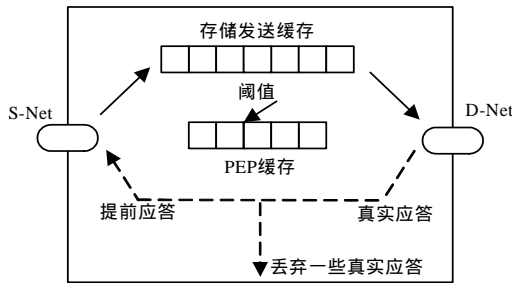


图 2 PEP 路由器内部结构

PEP 监控通过它的所有 TCP 链接中的数据包，并对其进行处理确认，具体执行过程如下：

(1)当 PEP 从 S-Net 中的源主机端接收到一个数据包后，将它转发给 D-Net 中目标主机的同时，将其备份到 PEP buffer 中以该数据包的备份(如果该数据包丢失)，然后发送一个提前应答给源主机以代替目标主机发送给源主机的应答，源主机接收到此提前应答后就继续发送出新的数据包，这样就缩短了往返延迟(Round-Trip Delay, RTP)的时间，增加了源端发送数据包的数量，从而提高数据吞吐量。

(2)当 PEP 转发给目标主机的数据包到达目标主机后，目标主机会产生一个真实应答。PEP 将根据接收到的此真实应答信号来决定是否删除 PEP buffer 中的备份数据包，如果数据包被目标主机正确接收，那么删除 PEP buffer 中对应真实应答的数据包备份，否则 PEP 将重传丢失的数据包。

3.2 PEP 模型的建立

在 NS2 中建立 PEP 模型的原理是通过扩展节点的属性来实现 PEP 功能，即继承 NS2 中原有的节点类，并在其上添加 PEP 的特殊功能得到 PEP 节点。本文建立文件名为 classifier-pep.h, classifier-pep.cc, pep_buffer.h 和 pep-buffer.cc 4 个 PEP 节点的基本文件，主要作用是实现 PEP 节点点分类器中的功能(接收数据包或 ACK 信号及其相应的处理过程)，而同时还要对相关文件(ns-lib.tcl)进行修改，最后运行编译命令重新编译 NS2，这样 PEP 的体系结构就嵌入到 NS2 中。

4 互连仿真模型在 NS2 中的建立

地面有线网络与 GEO 卫星网络互连仿真模型的拓扑结构，在 NS2 中的建立过程如下：

(1)地面有线网络 A 和地面有线网络 B 的参数是一样的：包含 5 个节点，节点列表在变量 \$nodelist 中存放。采用带宽为 10 Mb/s、时延 1 ms、队列类型为丢尾队列、MAC 层为 CSMA/CD 协议。NS2 中 TCL 脚本如下：

```
set lan [$ns make-lan $nodelist 10Mb 1ms LL Queue/DropTail Mac/Csma/Cd Channel]
```

(2)卫星网络采用 GEO 卫星链路，上行链路和下行链路的带宽均为 1.5 Mb/s，链路队列大小为 50，队列类型同样采用丢尾队列，这样的参数配置基本上反映出 GEO 卫星网络环境的长时延、带宽不对称性的特性。同时，在仿真的过程中在 GEO 卫星链路端取不同的误码率以反映卫星网络的高误码率。NS2 中 TCL 脚本如下：

```
set opt(chan) Channel/Sat
set opt(bw_down) 1.5 Mb; #下行链路带宽
set opt(bw_up) 1.5 Mb; #上行链路带宽
set opt(phy) Phy/Sat
set opt(mac) Mac/Sat
set opt(ifq) Queue/DropTail; #丢尾队列
set opt(qlim) 50; #链路大小
$ns node-config -satNodeType geo; #定义卫星节点及位置
set n1 [$ns node]; $n1 set-position-100
```

(3)从地面有线网络 A、地面有线网络 B 到 PEP 路由器均采用时延为 5 ms 和带宽为 10 Mb/s 的链路。

5 仿真结果及分析

在仿真过程中，本文共测试 2 类仿真数据，单条链接和多条链接分别在有误码率和没有误码率情况下的仿真，得出不同连接数和误码率下 PEP 模型的效果。当假定有 1 条 TCP 链接从地面有线网络 A 的源主机通过卫星链路连接到地面有线网络 B 的目标主机时，误码率为 0 的吞吐量如图 3 所示，误码率为 0.000 5 时的吞吐量如图 4 所示。其中，PEPSat 表示使用 PEP 功能所得到的吞吐量的仿真结果；TCP Newreno 表示没有使用 PEP 功能。

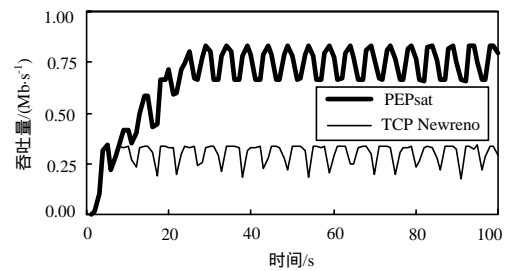


图 3 误码率为 0 的吞吐量

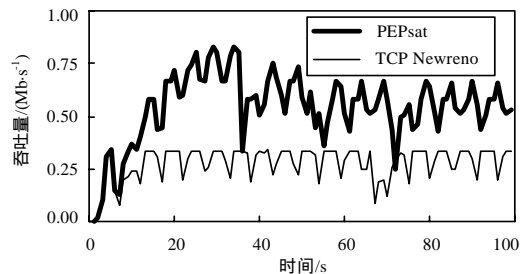


图 4 误码率为 0.000 5 的吞吐量

当假定有 4 条 TCP 链接从地面网络 A 的源主机通过卫星链路连接到地面有线网络 B 的目标主机时，误码率为 0 的吞吐量如图 5 所示，误码率为 0.000 5 时的吞吐量如图 6 所示。在仿真中，每条 TCP 链接均采用 TCP Newreno 协议，初始拥

塞窗口为 1, TCP 链接中发送的数据包大小为 1 000 Byte, 整个仿真时间为 100 s。

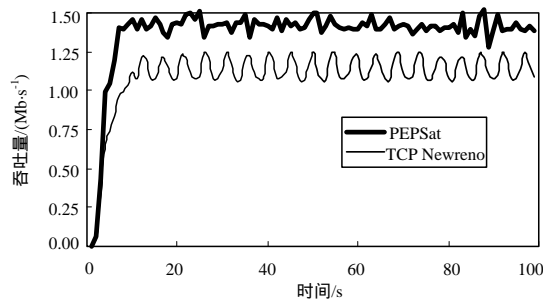


图 5 4 条 TCP 链接时误码率为 0 的吞吐量

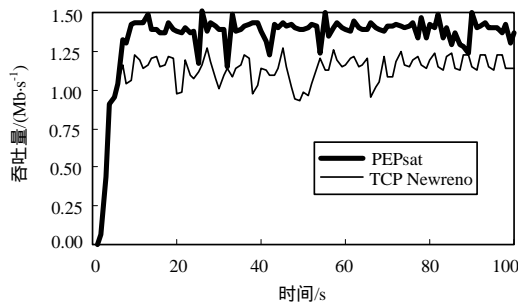


图 6 4 条 TCP 链接时误码率为 0.000 5 的吞吐量

5.1 单条链接的情况

(1)没有误码时的仿真。图 3 描述了在没有误码时单条链接的仿真情况,由此可知,使用 PEP 功能后仿真所得到的总吞吐量效果比没有使用 PEP 的功能好,单链接中使用 PEP 功能后吞吐量最高达到 0.83 Mb/s,而没有使用 PEP 功能的吞吐量最高只能达到 0.33 Mb/s。由于 GEO 卫星链路的长时延使得数据包确认信息返回延缓,没有使用 PEP 功能使得 TCP 链接的拥塞窗口始终维持在一个较低的数值,因此造成链接吞吐量保持在较小的范围内。

(2)有误码时的仿真。图 4 描述了单链接在误码率为 0.000 5 时的仿真情况,由此可知,使用了 PEP 功能的效果要比 TCP Newreno 性能好。由于数据传输中的误码原因造成平均吞吐量变化起伏较大,没有使用 PEP 功能的 TCP 链接中,由于高误码率造成数据包频繁丢失,使得 TCP 链接的拥塞窗口持续减半从而造成吞吐量下降。而 PEP 模型的存在使源主机并不知道链路中已经发生了数据包丢失,因此发送方的拥塞窗口始终维持在一个较大的数值从而使吞吐量的数值比 TCP Newreno 的好。虽然有时误码可能导致吞吐量急剧下降,但在 PEP 模型的调整下吞吐量又会恢复较高的数值,带宽的利

用率一直保持很高。单链接中使用 PEP 功能的平均吞吐量为 0.67 Mb/s,而没有使用 PEP 功能的平均吞吐量为 0.29 Mb/s。

5.2 多条链接的情况

(1)没有误码时的仿真

图 5 描述了 4 条 TCP 链接在误码率为 0 时吞吐量总和的仿真情况,可以明显看出使用 PEP 功能后仿真得到的总吞吐量效果比没有使用 PEP 功能好。由于每条链接在 PEP 的调控下使其链接吞吐量达到最大且共享带宽,因此总吞吐量几乎接近带宽满值(总的带宽为 1.5 Mb/s)。而没有使用 PEP 功能的每条链接,由于卫星链路的长延时使得其每条链接的平均吞吐量都维持在一个比较小的范围内,因此总的吞吐量最高只达到 1.24 Mb/s。

(2)有误码时的仿真

图 6 描述了 4 条 TCP 链接在误码率为 0.000 5 时吞吐量总和的仿真情况。由于误码原因导致吞吐量起伏较大,但仍可以看出使用了 PEP 的性能要比 TCP Newreno 好。

理论分析和大量的仿真实验结果表明 PEP 模型对长时延、高误码率的 GEO 卫星环境下的 TCP 传输性能有着明显改善。

6 结束语

本文提出在地面有线网络与 GEO 卫星网络之间设置具有传输控制功能的 PEP 理论模型。实验结果表明该模型对改善卫星网络环境下的 TCP 传输性能具有良好的作用,但过多提前应答很容易引发源主机发送大量的数据包,造成网络出现拥塞,因此,下一步的工作是根据网络状态的变化和 PEP 缓存中数据包的数量,对提前应答数量进行调整,从而更好地利用带宽。

参考文献

- [1] Luglio M, Sanadidi M Y, Gerla M, et al. On-board Satellite "Split TCP" Proxy[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(2): 362-370.
- [2] The Network Simulator-NS2[Z]. [2009-02-11]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [3] Borderetal J. Performance Enhancing Proxies Intended to Mitigate Link-related Degradations[S]. RFC 3135, 2001.
- [4] Wang H, Osada S, Yokohira T, et al. Throughput Optimization for TCP with an Active Proxy in Long-delay Satellite Environments[C]//Proc. of 2006 Joint Conference on Satellite Communications. Jeju-Do, Korea: [s. n.], 2006: 125-130.

编辑 陆燕菲

(上接第 226 页)

声进行判别。如果无法取得原始录制设备,则需比对音频每一段本底噪声的相似度,如差异较大,则该音频很有可能融入了多个设备录制的音频。

参考文献

- [1] Cox I J, Miller M L, Bloom J A. Digital Watermarking[M]. [S. l.]: Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [2] Lin Qiguang, Jan Ea-Ee, Flanagan J. Microphone Arrays and Speaker Identification[J]. IEEE Trans. on Speech and Audio

Processing, 1994, 2(4): 622-629.

- [3] Lukáš J, Fridrich J, Goljan M. Digital Camera Identification from Sensor Pattern Noise[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2006, 1(2): 205-214.
- [4] Morlet J. Wave Propagation and Sampling Theory and Complex Waves[J]. Geophysics, 1982, 47(2): 222-236.
- [5] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

编辑 张帆

