LEO 卫星环境下的 SNACKTCP 性能分析

张润彤 樊 宁 张伟军
(北京交通大学信息管理系 北京 100044)

摘 要 由于空间 LEO(Low Earth Orbit)卫星通信网络受环境、通信链路、能源等诸多方面的制约,已经非常成熟的地面计算机网络协议在空间 LEO 卫星通信环境下是无法直接应用的. SNACKTCP(Selective Negative Acknowledgment TCP)是解决原有 TCP 不能适用于空间 LEO 卫星通信的改进方案,然而是否完全能在 LEO 卫星通信网络下应用还有待于进一步研究. 作者在研究该改进协议的基础上进行 NS2 环境下的仿真模拟实验,比较分析了 SNACKTCP 和传统 TCP 的性能,还有针对性地进行了线路非对称模拟实验结果分析和链路误码率变化实验结果分析. 证实了 SNACKTCP 在 LEO 卫星通信环境下的优良性能,并发现了其仍存在的问题,进而指出了实验的下一步研究方向.

关键词 LEO 卫星; SNACKTCP; 传统 TCP; NS2; 性能分析
中图法分类号 TP393

An Experimental Study on the Performances of SNACKTCP in the LEO Satellite Networks

ZHANG Run-Tong FAN Ning ZHANG Wei-Jun
(*Department of Information Management, Beijing Jiaotong University, Beijing* 100044)

Abstract LEO(Low Earth Orbit) satellite communication networks are of many constrictions, and generally, territorial communication protocols that have been consummated cannot be directly applied. Selective Negative Acknowledgment (SNACK) TCP is considered as the improved version of TCP to overcome these constraints. However, in the literature, there is no strong evidence to show the applicability of SNACKTCP in such an exceptive environment. This paper presents intensive experiment results in NS2 to study the performances of SNACKTCP in the LEO satellite. In all tests, the authors compared the performance of SNACKTCP to that of conventional TCP. Two typical circumstances in LEO satellite networks, i. e., asymmetric channels and the change about error-prone links are specifically observed and analyzed. While validating its excellent performance, a few problems existed in SNACKTCP are also found out in this paper.

Keywords LEO satellite; SNACKTCP; conventional TCP; NS2; performance analysis

1 引 言

近年来,随着网络通信技术的不断进步,LEO 卫星通信因其宽覆盖范围、优良的传播能力和不受各种地域条件限制等优点成为无线 Internet 接入的重要途径. 因为空间 LEO 卫星通信网络受环境、通信链路、能源等诸多方面的制约,与地面计算机网络

收稿日期:2005-06-06;修改稿收到日期:2006-12-23. **张润彤**,男,1963 年生,教授,博士生导师,主要研究领域为移动通信中的传输工程(业务质量、流量控制等)、协议设计与优化、分布式算法、电子商务等. E-mail: rtzhang@bjtu.edu.cn. **樊 宁**,男,1982 年生,硕士研究生,主要研究方向为 TCP/IP 协议的改进、网格商务等. **张伟军**,男,1979 年生,硕士研究生,主要研究方向为 TCP/IP 协议的改进、移动电子商务等.

相比较表现出很大的不同，所以已经非常成熟的地面计算机网络协议在 LEO 卫星环境下是无法直接应用的[1].

有关卫星网络 TCP 优化的文章大量出现[1-5]，其中，一种可选择性的消极应答机制——SNACK (Selective Negative Acknowledgment)及其多种变体被许多专家应用在卫星网络 TCP 的优化解决方案中[1-3]. 从系统健全性、标准化以及依据我国 LEO 卫星通信的特别之处进一步提高通信效率等多方面考虑，文献[1]中提出的 SNACK 选项方案被人们所借鉴，但其对 SNACK 的研究也仅限于 LEO 卫星与地面基站之间的通信. 目前的 LEO 卫星通信依然采用的是点对点的通信方式，那么，SNACK 协议能否完全应用于 LEO 卫星之间的通信呢？

对此，我们在 NS2[6] 环境下建立了两个 LEO 卫星拓扑结构对 SNACKTCP 在 LEO 卫星通信环境下的性能进行分析，并同时把它与传统的 TCP 进行比较. 希望能够在分析中国 LEO 卫星通信环境的基础上，设计出符合现代 LEO 卫星环境下新的、实用的、改进的 TCP 传输协议.

本文的第 2 节介绍相关算法的基本原理；第 3 节介绍了仿真网络环境 NS2 和 SNACK 选项在 NS2 中各字段的设置情况；第 4 节介绍了模拟拓扑结构的建立和环境参数的设置；第 5 节给出对实验结果的详细分析，包括线路非对称模拟实验结果分析和链路误码率变化实验结果分析；最后对 SNACK-TCP 的优缺点进行论述，并指出了下一步研究的方向.

2 相关算法的基本原理

2.1 TCP 拥塞控制原理

TCP 协议[7-8] 是基于滑动窗口和重传策略来实现数据的无误传输，具有自适应特性. TCP 对于数据传输中的丢包都默认为是由网络拥塞引起的，所以一旦发现丢包，就会进行拥塞控制.

互联网中最基本和传统的 TCP 是由 Jackbson 提出，被称为 TCP Tahoe，其基本特征是拥塞控制时采用的慢启动算法：通过限制发送端向网络注入分组的速率而达到避免拥塞的目的. 决定发送窗口大小的因素有两个：接收方所通告的窗口(receive window)和发送端的拥塞窗口(congestion window)，发送窗口取二者中的较小者. TCP 发现拥塞的途径包括 ICMP 的 source quench 分组和分组丢失. 一旦发现拥塞，TCP 就把拥塞窗口减半，这样拥塞窗口呈几何级数减小，而发送方发送分组的速度和重传分组的速度也呈几何级数减小，最终呈现简单停等状态，从而化解网络拥塞. 拥塞结束后，TCP 又采取算术级窗口恢复策略——慢启动，以避免迅速增加窗口大小造成的振荡. 慢启动的过程是：当在一条新的或经过拥塞后又开始恢复的连接上传输数据时，都要从大小为 1 的拥塞窗口开始，之后每收到一个确认，拥塞窗口大小增加 1；当拥塞窗口增加到原大小的一半时，进入拥塞避免状态，在该状态下，TCP 在收到窗口中所有分组的应答后才将拥塞窗口加 1. 在 1990 年出现的 TCP Reno 版本中，又引入了快速重传和快速恢复算法 FRFR，以保证 TCP 在拥塞不是很严重的情况下不会大幅度的减少发送窗口.

在本文的仿真和比较时所提到的“传统 TCP”或“TCP”系指 TCP Tahoe.

2.2 SNACKTCP 算法基本原理

在空间 LEO 卫星通信环境下，基本上有三种丢包情况：网络拥塞、链路损坏以及连接中断. 由于三种情况对网络的影响是不同的，因此必须对不同的丢包情况进行分析识别，并采用不同方式来处理. SNACK 吸取了 NAK(Negative Acknowledgment)和 SACK(Selective Acknowledgment)两者的优点，不同于传统的 TCP 一旦丢包就进行拥塞控制的方式，SNACKTCP 默认网络中的丢包是由链路损坏引起的，同时能对拥塞情况采用一些有效的方法提前避免，例如提前为每个连接提供固定的带宽等. 它还用一种显示的控制方法来通告丢包原因，即目的宿主或其它网络节点(如路由器或基站节点)可以对发送 TCP 包方发送显示的信号数据，告知丢失包的原因，发送方依据显示信号采取不同的丢包处理方法.

SNACK 是一种消极确认选项，只有当窗口中出现洞时，SNACK 选项才会被应用，但它避免了 NAK 一次只能传送一个洞和 SACK 最多只能传送 3 个洞的情况，SNACK 一次可以传送多于 3 个失序的洞. SNACK 是一个可变长度的 TCP 头选项，共 5 个字段，类别和字段长度为 TCP 所必要的信息. 偏移量和字段长度为强制设定，还有一个可选择的比特位队列. 偏移量实际上代替了 TCP 头上的 ACK 序列号，它显示了 SNACK 选项中出现的第一个洞离接收到的数据包的序列号的相对位置. 长度字段标注了接下来的洞的大小和个数. 偏移量和字段长

度都是以最大报文段(MMS)单位来表示的，比特位队列标注了更多的关于洞的信息. 比特位队列也是按 MMS 来标注接收端缓存区的状况，其中“0”代表报文段未接收到，“1”代表已经接收到该报文段.

当失序的报文段出现后，数据接收端扫描接收端缓存区. 添加 SNACK 选项内容，并且把含有 SNACK 选项的 ACK 数据包发送出去. 当偏移量字段被设置为“0”时，SNACK 可以标注紧随 ACK 序列号后的洞. 相应的，如果偏移量字段不为“0”时，SNACK 可以标注 ACK 序列号后任意位置的洞，同时利用比特队列可以标注接下来的更多的洞.

当数据发送端接收到一个含有 SNACK 选项的 ACK 数据包后，发送端会立刻重发 SNACK 中标注的所有的洞，此时的传送机制类似于 NAK 选项的方法. 同时，由于 SNACK 发送的频率是变化的，这可以防止不必要的延时重传或导致过多的失序报文段. 由于 SNACK 选项已经触发了重传，那么也不再需要快速重传算法来探查数据丢失情况. 这种不依靠于快速重传算法的特点在非对称的 LEO 卫星通信环境下是相当重要的，因为 ACK 数据包发送的频率是相当低的，发送端几乎不能收到重复的 ACK 包. 因此，在此情况下，重传超时只能成为识别数据丢失的唯一手段[1].

3　NS2 的配置处理情况

3.1　仿真网络环境 NS2

本文所提到的 NS2 指的是 UC Berkeley 发布的 NS[6] 版本 2. NS 是一个面向对象的网络模拟器，采用 C++编写，其前端是 Otcl 解释器(Otcl 是面向对象的 Tcl 脚本语言). NS 支持两种层次结构，一种是 C++的类层次结构，另一种是 Otcl 的类层次结构. 因为 NS 需要做两类不同的事情：一类是协议的详细模拟，这要求模拟器必须有一种可编程语言以及能够有效地控制字节、包头和处理大量数据的算法. 对于这种任务，运行时速度非常重要；另一类是协议研究人员需要改变协议的参数或配置，或者在短时间内就可以对很多方案进行研究. 对于这种情况，改变配置所需要的时间才是重要的. NS 使用 C++写详细的协议实现部分(因为 C++运行速度快)，而使用 Otcl 来对模拟进行配置(因为 Otcl 可以被迅速地改变). 使用 NS 的用户既可以采用 C++也可以采用 Otcl. 通常 Otcl 用于配置和操作现有的 C++类做用户希望做的事情，而 C++用于处理数据流的每一个包或用于改变现存的 C++类的行为. 在 NS 中，用户可以配置模拟实例参数，选择用于驱动模拟的时间调度器类型，也可以调用模拟器实例方法建立节点和拓扑结构，连接节点形成链路，还可以设置模拟实例的其它参数.

3.2　SNACK 选项在 NS2 中各字段的设置

SNACK 选项位于 TCP 头包的选项域内，包含以下字段：Option Type，Option Length，Hole1 Offset，Hole1 Size 和 SNACK Bit-Vector.

Option Type 为强制添置位，添加于选项域的第 1 个八位组，选项类别包含一个共认的 SNACK 选项的类别数.

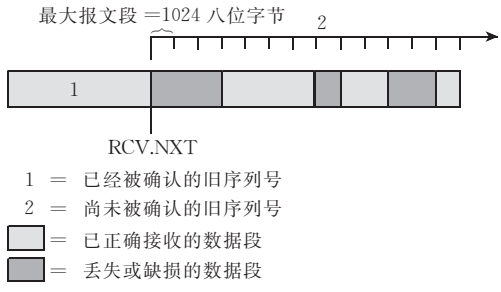
Option Length 为强制添置位，它位于选项域的第 2 个八位组，该字段数字表示 SNACK 选项的整个八位组的长度. 当 SNACK Bit-Vector 位未用时，Option Length 应固定为 6. 而当 SNACK Bit-Vector 被应用时，Option Length 应固定为 8.

Hole1 Offset 为强制添置位，位于选项域的第 3 个和第 4 个八位组，它包含了出现第一个洞与 ACK 序列号的相对位置.

Hole1 Size 为强制添置位，位于选项域的第 5 个和第 6 个八位组，它以双方互相协调的最大报文段(MSS)为单位标注连续洞的个数.

SNACK Bit-Vector 是一个可选项，只有当接收端缓存区出现的洞为非连续时才会应用，它以“0”、“1”来标注非连续的洞.

现在我们以一个简单的例子来说明 SNACK 选项的添加情况，如图 1 所示.



(a) 缓存区的包接收情况

1	8	16	24	32
Kind=15	Length=8	Hole1 Offset=0		
Hole1 Size=3		11110110	01000000	

(b) SNACK 选项添加情况

图 1　例子

从图 1 显示的缓存区接收到的情况可以看出，在 RCV.NXT 后有 3 个连续的未接到的洞，这之后还有两处非连续的洞. 由于出现了非连续的洞，所以

SNACK Bit-Vector 位将被添加，因此 Length 应为 8，Kind 是 SNACK 的识别公共号，为 15. 由于 RCV. NXT 的下一个就有洞，故相偏移量 Hole1 Offset 设置为 0，Hole1 Size 表示每一个连续洞的大小个数，此处为 3，SNACK Bit-Vector 应从 Hole1 Size 标注后开始对应添加.

4 LEO 卫星实验环境下的拓扑和环境参数设置

在 NS2 环境下，我们建立了两个实用的 LEO 卫星通信拓扑，见图 2 和图 3. 第 1 个拓扑结构主要验证一下改进的协议是否能正常运行，第 2 个拓扑结构是为了在更真实的环境下对 SNACKTCP 进行各种性能指标的分析.

在 LEO 卫星拓扑 1 中，有 4 颗在同一轨道面的卫星，N4 为地面接收站，实验中由 N0 和 N1 这 2 颗卫星同时分别以 FTP 流的方式经过其它 3 颗同轨道面的卫星路由，再由卫星接收站 N4 经路由器 N5 向地面节点 N6 传送数据流. LEO 卫星拓扑 2 把地面接收站增加到了 5 个，采用了三颗同轨道面卫星 N0，N1，N2 分别与地面 2 个接点建立了六组数据传送连接，数据传送方式同拓扑 1. 两个拓扑结构都分别用传统 TCP 和 SNACKTCP 进行了模拟.

在 LEO 卫星参数设置上，我们采用了最为常用的状态，比如卫星的极地坐标、卫星间的 Handoff 以及地面接收站的设置，主要环境参数设置见表 1.

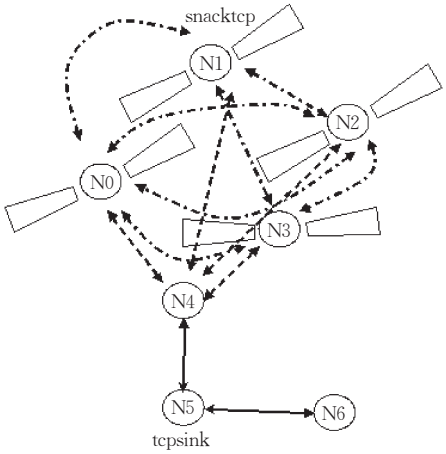


图 2 LEO 卫星通信拓扑 1

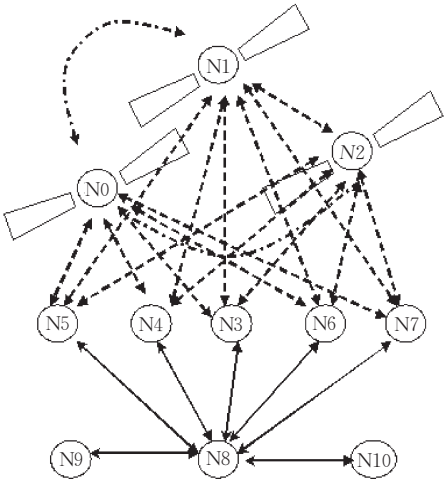


图 3 LEO 卫星通信拓扑 2

表 1 LEO 卫星拓扑图的实验参数设定

	实验参数取值	
	LEO 卫星拓扑图 1	LEO 卫星拓扑图 2
下行(卫星到地面)链路带宽	1.5Mb	1.5Mb
上行链路带宽	1.5Mb	0.015Mb
带宽_ISL	25Mb	25Mb
物理层协议	Phy/Sat	Phy/Sat
Mac 层协议	Mac/Sat	Mac/Sat
队列类型	Queue/Drop Tail	Queue/DropTail
界面队列长度	50	50
链路层类型	LL/Sat	LL/Sat
有线路由	On	on
卫星极地高度	780	780
相对赤道的倾斜度	90	90
N0 位置	Altitude(0)；longitude(0)	Altitude(0)；longitude(0)
N1 位置	Altitude(0)；longitude(90.73)	Altitude(0)；longitude(120.3)
N2 位置	Altitude(0)；longitude(180.45)	Altitude(0)；longitude(240.45)
N3 位置	Altitude(0)；longitude(270.18)	
终端最小覆盖角	10 degrees	10 degrees
终端切换时间	10 seconds	10 seconds
卫星切换时间	10 seconds	10 seconds
卫星经度阈值	70 degrees	70 degrees

5　实验结果分析

5.1　LEO 卫星拓扑 1 的实验结果分析

LEO 卫星拓扑 1 在 650s 时间段内发送数据的参数统计见表 2，传输流量结果和 TCP 序列号结果分别见图 4 和图 5.

由拓扑 1 的实验数据结果可以看出，在相同的 650s 里，SNACKTCP 传输的数据量是传统 TCP 的 1.34 倍，SNACKTCP 的平均数据传输率为 0.02061，也优于传统 TCP.

表 2　LEO 卫星拓扑图 1 实验结果

	统计参数							
	发送的总的数据包个数	发送的总的数据字节数	重传包数	超时重传次数	重传率	发送的 ACK 包总数	平均数据传输率/(Mb/s)	传输率相对百分比/%
TCP	15640	14630760	1566	374	0.10016	4318	0.01533	100
SNACKTCP	31295	24424000	6864	61	0.21906	14315	0.02061	134

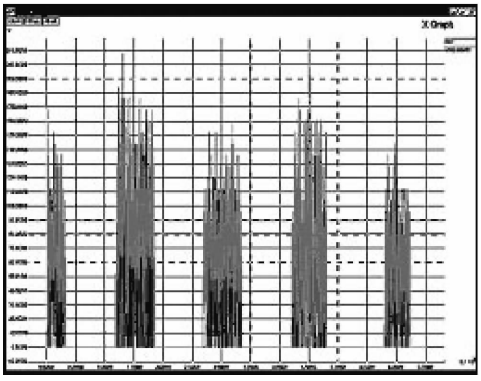


图 4　(LEO 卫星拓扑 1)TCP 与 SNACK 流量对比(浅为 SNACKTCP)

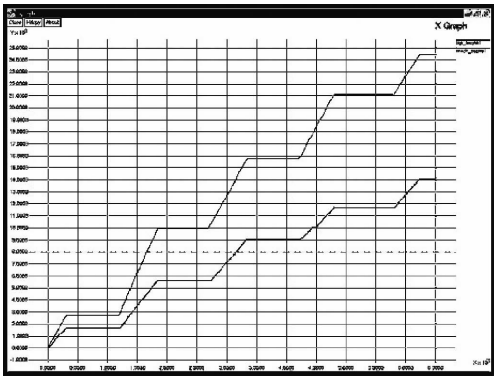


图 5　(LEO 卫星拓扑 1)SNACKTCP 与 TCP 的序列号对比(上为 SNACKTCP)

理论上，只有一个地面基站的情况会使得卫星与地面基站通信过程中出现较大的中断情况. 图 4 结果显示了出现间断的没有数据流现象. 图5中 TCP 数据包的序列号也相应表现出某一段时间内保持平滑不变的状态. 此情况验证了 SNACKTCP 可以在大段的中断时间后继续保持重传，并能确保在正常的通信过程中优于原有 TCP 的流通速率. 从图 5 还能看出，SNACKTCP 序列号在相同时间内可超过原 TCP 发送的有效序列号.

5.2　LEO 卫星拓扑 2 的实验结果分析

LEO 卫星拓扑 2 在 650s 时间段内发送数据的参数统计见表 3，图 6～图 9 是 SNACKTCP 和传统 TCP 的性能比较图.

由拓扑 2 的实验数据结果可以看出，在相同的 650s 里，SNACKTCP 传输的数据量是传统 TCP 的 1.34 倍；SNACKTCP 的平均数据传输率为 0.02061，也优于传统 TCP.

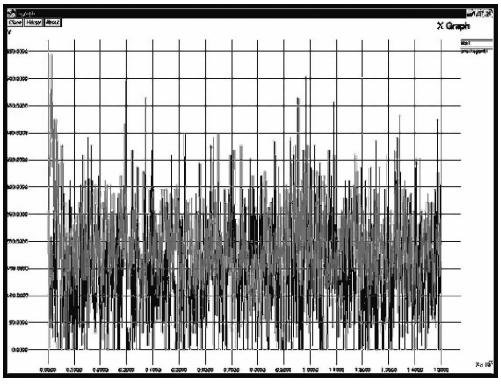


图 6　TCP 与 SNACK 流量对比(浅为 SNACKTCP)

表 3　LEO 卫星拓扑图 2 实验结果

	统计参数							
	发送的总的数据包个数	发送的总的数据字节数	重传包数	超时重传次数	重传率	发送的 ACK 包总数	平均数据传输率/(Mb/s)	传输率相对百分比/%
TCP	46255	14630760	1566	374	0.10016	4318	0.01533	100
SNACKTCP	80464	74047000	6379	0	0.21906	10777	0.02061	134

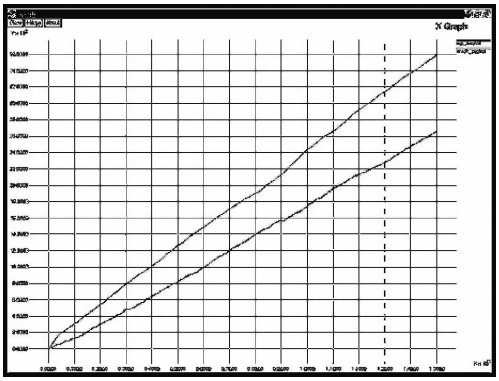


图 7 SNACKTCP 与 TCP 的序列号对比(上为 SNACKTCP)

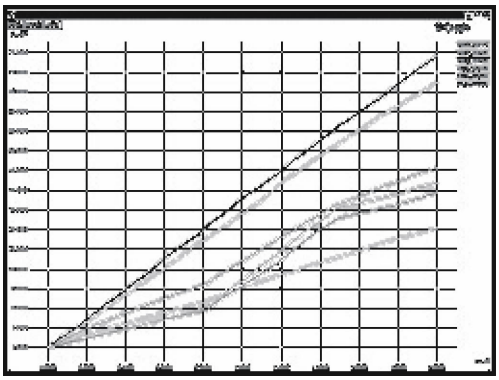


图 8 6 条 SNACKTCP 连接的序列号比较

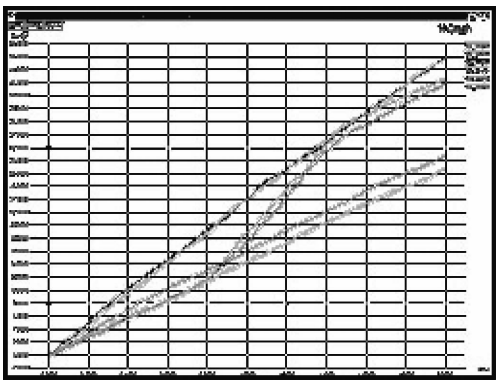


图 9 6 条 TCP 连接的序列号比较

图 6 是连接中选择的一个 TCP 连接与 SNACKTCP 连接的流量比较,TCP 连接抖动的相当剧烈,而 SNACKTCP 却能保持较稳定的数据流量传输.由于原 TCP 不能有效处理误码数据,当误码出现时,TCP 会认为是以超时重传或是等三次的 ACK 后才处理,使得出现误码后导致流量的较大幅度的变化. SNACKTCP 却不会因为误码的出现而变得过度地抖动,但从图中也可以看出,由于 ACK 是以周期性地发送,因此也影响了发送端获得 ACK 确认的时间,从而导致数据流量的最高处低于 TCP 数据流量的最高处.

因为 SNACKTCP 流量较稳定,所以最终的传输能力依旧优于原 TCP,并且会随着误码率的增加而明显超过原 TCP 的吞吐量. 图 7 是两者的发送的序列号的对比,可以看出 SNACKTCP 序列号的稳定性好于 TCP.

我们同时进行了多链路连接下数据流量的模拟,分别在 6 条 SNACKTCP 连接和 TCP 连接下,数据的藕合性如图 8 和图 9 所示. SNACKTCP 虽然整体上数据传送的效率较好,但在藕合性上,略低于传统的 TCP. 这可能是传输时,互相竞争链路带宽时,算法有一定的不稳定性,从而导致了各连接占有较大的带宽,而个别的却只能维持在较小的吞吐量.

5.3 线路非对称模拟实验结果分析

LEO 卫星通信中上行与下行带宽比的变化将影响 TCP 流量,我们在此以 LEO 卫星拓扑 2 的结构为例,通过改变其参数中上下行带宽比例设置,来考察 SNACKTCP 与传统 TCP 处理带宽比变化的能力. LEO 卫星拓扑 2 的参数设置中,下行带宽保持1.5Mb/s 不变,上行带宽由 0.15Mb/s 到 1.5Kb/s,从而下、上带宽比由 10∶1 到 1000∶1,其它参数保持不变. 实验数据结果如图 10,可以看出,在 10∶1 链路带宽比下,SNACKTCP 吞吐量就已经好于 TCP,这主要是 SNACKTCP 处理链路损坏的原因. 在链路损坏的比率不变的情况下,随着链路带宽比的加大,SNACKTCP 受影响的程度明显小于传统 TCP. 在数据链路带宽比变到 1000∶1 时,传统 TCP 的流量已经维持在相当低的传输率上,但 SNACKTCP 却可以维持在传统 TCP 的 300∶1 下的吞吐量. 显然优于传统 TCP 处理非对称带宽环境的能力.

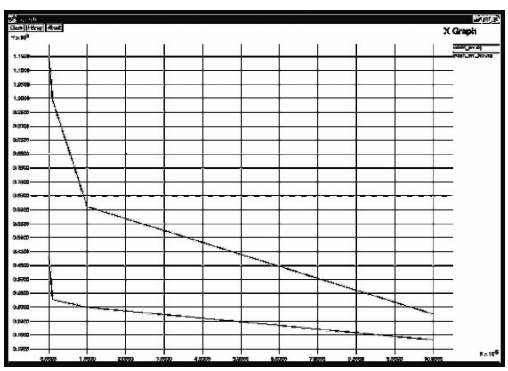


图 10 SNACKTCP 与 TCP 随链路非对称性加大情况下的吞吐量(上为 SNACKTCP)

5.4 链路误码率变化实验结果分析

链路损坏的测试环境,也是依照 LEO 卫星拓扑 2 的环境设置的. 我们在 5 个基站与卫星通信之

间的链路设置了误码率，误码率从 1E-18 到 1E-05 之间变化. 其中链路带宽比设为 100∶1，其它参数保持不变. 实验结果如图 11 所示，可以看出，随着误码率的增加，SNACKTCP 与 TCP 的数据的吞吐量都减少，并且 TCP 下降的过程快于 SNACKTCP. 但是从理论上而言，SNACKTCP 对链路损坏的处理效果应该比实验数据更好. 这可能由于 NS2 实验环境或是本文实验总结所列的主要问题的影响，需要在接下来的实验中进行优化.

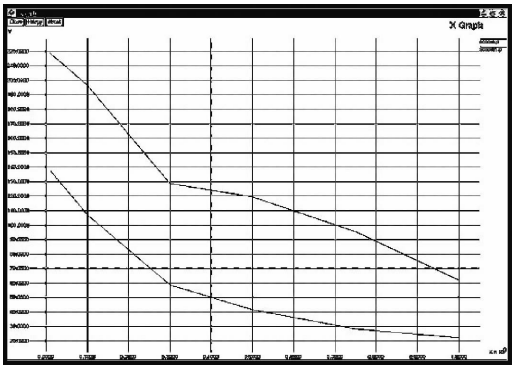


图 11　SNACKTCP 与 TCP 随着误码率增加情况下的数据吞吐量(上为 SNACKTCP)

6　实验总结

实验中，SNACKTCP 已经表现出在 LEO 卫星通信环境下较优的数据传输能力，它有效改善数据通信的效率，并明显增大了带宽利用率. 同时，它减少了 ACK 的发送频率，相应解决了非对称性线路如何有效利用窄带宽的问题.

但是，我们在实验中还发现 SNACKTCP 还存在一定的问题，需要在接下来的研究中进行改进. 主要问题如下：

(1) ACK 发送频率对链路吞吐量的影响. 为了处理 LEO 卫星与地面间上行链路较窄的情况，SNACKTCP 采用了定期发送 ACK 的方式. 但是，ACK 的发送频率将影响数据发送端发送数据的能力. 如果 ACK 的发送频率过大，则会出现几个 ACK 带有相同信息的状况，这样发送端会认为是链路拥塞，从而调小拥塞窗口，导致数据在一个较小的吞吐量下发送，不能有效利用线路带宽. 如果 ACK 的频率过小，则有可能因发送的 ACK 太慢，而影响发送端发送数据的速度，这样也会导致不能有效利用线路带宽. 同时，由于RTT的变化也会影响数据发送端接受 ACK 的时间，从而影响数据流量.

(2) 拥塞与链路损坏同时出现时对数据通信的影响. SNACKTCP 采用不同的方式对拥塞和链路损坏情况进行处理，在两种情况不同时出现时可以分别予以处理. 但是，如果两种情况同时出现，SNACKTCP 就很难做出选择，无伦以何种方式处理，都会造成对另一方面处理的影响.

总之，通过我们的实验发现，SNACKTCP 是适合于 LEO 卫星通信环境下的各种数据传输的. 我们也相信，只要根据我国的 LEO 卫星通信的特点对所发现的问题做算法上的改进，我们就能完成将 Internet 接入 LEO 卫星通信领域，实现有线与空间通信的对接，充分共享信息资源，达到各种信息资源的协同工作.

参　考　文　献

[1] Durst Robert C, Miller Gregory J, Travis Eric J. TCP extensions for space communications//Proceedings of the ACM/IEEE Mobile Communications Conference (MOBICOM). New York, USA, 1996: 15-26

[2] Sun Fang-Lei, Li Victor O K, Liew Soung C. Design of SNACK mechanism for wireless TCP with new snoop//Proceedings of the WCNC 2004/IEEE Communications Society. Atlanta, 2004: 1051-1056

[3] Wang Ru-Hai. A novel acknowledgment scheme for space Internet//Proceedings of the 2004 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-2004/Fall). Los Angeles, 2004: 4056-4060

[4] Wang Ru-Hai, Bandekodige Vani, Banerjee Mitliun. An experimental evaluation of link delay impact on throughput performance of TCP and SCPS-TP in space communications//Proceedings of the 2004 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-2004/Fall). Los Angeles, 2004: 4061-4065

[5] Scott Keith, Feighery Patrick, Crow Brian, Jurik Mark. TCP congestion control in shared satellite environments//Proceedings of the IEEE Military Communications Conference MILCOM. Anaheim, United States, 2002: 46-50

[6] Xu Lei-Ming, Pang Bo, Zhao Yao. NS and Network Simulation. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2003 (in Chinese)
(徐雷鸣，庞　博. NS 与网络模拟. 北京：人民邮电出版社，2003)

[7] Richard Stevens W. TCP/IP Illustrated Volume 1, the Protocols. Reading, MA: Addison-Wesley, 1994

[8] Andrew Tanenbaum. Computer Network. 3rd Edition. Reading, MA: Addison-Wesley, 1996

ZHANG Run-Tong, born in 1963, professor and Ph. D. supervisor. His current research interests include protocols design and optimization, traffic engineering (QoS, flow control, etc.) in mobile communication, grid and distributing computing, and E-commerce.

FAN Ning, born in 1982, M. S. candidate. His current research interests include improvement of TCP, and grid-commerce.

ZHANG Wei-Jun, born in 1979, M. S. candidate. His current research interests include the improvement of TCP, and mobile-commerce.

Background

Along with the continual progress of network communication techniques, LEO (Low Earth Orbit) satellite communication has become an important way to access the wireless Internet because of its many advantages, such as the broad overlay scope, the excellent transmit ability, the irrelevancy of various region conditions. However, LEO satellite communication networks are of many constrictions in various aspects, such as environments, communication links, energy sources and so on, and hence generally, territorial communication protocols cannot simply adopted.

SNACK (Selective Negative Acknowledgment) option scheme, which was designed by experts in the research of communication between satellites and ground station, has been referenced in this work in order to study the transport protocols in the LEO satellite communication networks. Because peer-to-peer communication way is still used in the current LEO satellite communication, the authors' consideration is whether SNACKTCP can be apply completely in LEO satellite communication. Hence, they carry on the experiment on the performances of SNACKTCP in the LEO satellite networks as mentioned, and hope that a new enhanced TCP transport protocol suitable for the environment of modern LEO satellite communication will accordingly be designed based on Chinese LEO satellite communication environment.