

文章编号 :1000-582X(2007)11-0050-04

TCP VenO 在无线 Ad Hoc 网络中的性能分析

唐 述,谢显中,赵 锐

(重庆邮电大学 移动通信重点实验室,重庆 400065)

摘 要 :分析了 TCP VenO 在无线 Ad Hoc 这样的多跳的网络中的性能,并分 SANET(静态无线多跳网络)和 MANET(移动无线多跳网络)两种网络环境进行仿真分析,结果显示 TCP VenO 的性能较 TCP Reno 有一定程度的改进,但并没有在无线单跳网络中的性能优势出色,这对实际应用 TCP VenO 很重要。

关键词 :无线多跳网络;TCP VenO;静态无线多跳网络;移动无线多跳网络;点到多点

中图分类号 :TP393

文献标志码 :A

无线 Ad Hoc 网络是一种具有高度动态拓扑结构、节点任意移动的自组织网络。由于两个(点对点)或多个(组播)需要通信的节点之间常常没有直接的链路,而需要其他节点的多次中继转发,所以也可称之为“ 移动多跳网络 ”。在无线 Ad Hoc 网络中,链路的高误码率和节点移动等都会导致数据包的丢失,而多路路由和节点移动切换等问题又会导致乱序。

TCP VenO^[1]是专门针对解决无线网络环境中高误码率问题而提出的传统 TCP 改进方案,而且大量的试验也已经证明它在像小区蜂窝通信这样的单跳无线 PMP 网络和像 UMTS 那样的无线 3G 网络中,对 TCP 的性能都有较好的改进^[2]。但是在像无线 Ad Hoc 这样的多跳网络环境中,因为存在多路径路由,中继节点转发数据和节点移动切换等问题,TCP VenO 的性能又如何呢?是否还是能够很好的提高 TCP 的性能呢?是值得广泛的关注和深入的研究的。笔者专门探讨这个问题,分 SANET(静态 Ad Hoc 网络)和 MANET(移动 Ad Hoc 网络)两种网络环境进行仿真分析,结果显示 TCP VenO 的性能较 TCP Reno 有一定程度的改进,但并没有在无线单跳网络中的性能优势出色,这对 TCP VenO 的实际应用具有重要参考价值。

1 TCP VenO 协议

TCP VenO 拥塞控制(主要对传统 TCP(TCP Reno)的^[2-3] 拥塞避免算法(Congestion Avoid)、快速重传(Fast Retransmit)和快速恢复(Fast Recovery)机制进行了改进,而对慢启动算法没有进行任何修改。当 VenO 判断出网络的丢包是由高误码率造成的时候,就采用改进的拥塞控制机制,相反,当网络的状态处于拥塞时,就还是采用传统的 TCP 拥塞控制机制来处理丢包。

1.1 TCP VenO 的拥塞避免算法

TCP VenO 对该算法的修改表现在:在原有增加方式的基础上,考虑了连接所处的阶段。当估计到连接处于拥塞阶段时(也就是当队列中积压的报文个数 N 超过门限值 β 后)这时的拥塞避免算法就由以前的 $cwnd$ 在每个 RTT 内增加 1,变为每两个 RTT 内才增加 1。

可以看到,当队列中积压的报文个数超过门限值 β 后,TCP VenO 每两个 RTT 窗口数目增加 1,很明显的在原有增加方式的基础上降低了窗口的增加速度,使 TCP VenO 能更长时间的处于较大的窗口数目状态,使窗口可以更长时间的处于可工作状态,提高效率和吞吐量。

收稿日期 2007-06-06

基金项目 国家自然科学基金资助项目(60572089)

作者简介 唐述(1981-)男,重庆邮电大学硕士研究生,主要研究方向为移动通信。谢显中(联系人),男,教授,博士, (E-mail)xiexianzhong@tom.com。

1.2 TCP Veno 的快速重传和快速恢复算法

通过两种机制检测拥塞的发生——接收 ACK 确认超时和收到重复的 ACK 确认。

1.2.1 接收 ACK 确认超时

在传统的 TCP 算法中,当发送的数据包在指定时间段内未收到 ACK 确认时,发送端定时器超时,此时启动慢启动算法,TCP 慢启动门限值 $ssthresh$ 设定为 $cwnd/2$, $cwnd$ 设定为 1。TCP Veno 仍然沿用了这种机制。

1.2.2 收到重复 ACK 确认

由于接收端收到了顺序错乱的数据包后,仍然回应最后收到的正常数据包的 ACK 确认。此时,发送端会收到多个相同的确认 ACK。在 Reno 中,当收到 3 个重复的 ACK 确认后,尽管此时发送端定时器尚未超时,但发送端认为对应的数据包已经丢失。开始进行拥塞处理,重传丢失的数据包,这种机制称为快速重传机制

TCP Veno 对快速重传之后的窗口调整算法(快速恢复算法)中的 $ssthresh$ 的设定做了修改:

如果 $N < \beta$ (随即丢包是由高误码率引起的),那么:

$$ssthresh = cwnd \times (4/5)$$

如果 $N > \beta$ (丢包是由网络拥塞引起的)那么:

$$ssthresh = cwnd/2$$

可以看到,当丢包是由网络的拥塞造成的时候,TCP Veno 的快速重传算法和传统的 TCP 一致,没有进行修改,但是当链路出现随机丢包后,如果处于正常阶段 ($N < \beta$),TCP Veno 适度的降低了慢启动门限值 ($ssthresh$),使 TCP 窗口 ($cwnd$) 处于较大值状态,提高吞吐量。

2 无线 Ad Hoc 网络对 TCP 的影响

2.1 高比特误码率

无线链路是开放的有损介质^[4],存在着多径衰落和阴影效应,加之许多无线 Ad Hoc 信道选用开放频段,使得无线网络具有比特误码率 (bit error rate, 简称 BER) 高,这会导致数据包损害和丢失;这时传统的 TCP 发送端就会误认为是网络拥塞引起的丢包,导致频繁进入慢启动,造成 TCP 性能下降。

2.2 节点移动问题

在无线的 Ad Hoc 网络中^[5-6],节点的移动会造成路由的中断,但是传统的 TCP 不能分辨拥塞和路由中断。如果路由中断的时间超过了 RTO,传统的 TCP 会盲目的进入慢启动阶段,这将极大的降低 TCP 的性能。

3 仿真与性能分析

主要分析 TCP Veno 在处理无线 Ad Hoc 网络(这里我们研究两跳的情况,即三个节点的情况)中的高误码率问题和由节点移动引起的路由问题。在仿真和性能分析中主要考虑拥塞窗口 ($cwnd$, 单位:个)和吞吐量 (throughput, 单位:bit/s) 拥塞窗口 $cwnd$ 表示源节点能够发送的最大数据包个数,而吞吐量则代表数据传输速率的大小。

因为无线 Ad Hoc 网络中节点与 PMP 等移动蜂窝网中移动站的不同,在无线 Ad Hoc 网络中每个节点 TCP 传输层的随机丢包率是由每个移动节点 MAC 层的最大重传次数 $ShortRetryLimit_$ 和 $LongRetryLimit_$ 两个参数以及无线物理层的误码率 p 共同决定的。因为我们这里研究的是两跳的情况,也即是单播 (unicast),那么 TCP 传输层的随机丢包率 = 无线物理层的误码率 p 的 N 次方,而 N 就是由 MAC 层的最大重传次数: $ShortRetryLimit_$ 和 $LongRetryLimit_$ 共同决定的。

采用 NS2 仿真工具 3 个无线节点均匀的分布在仿真网络环境中,并且每个节点的通信范围为 250M,MAC 层的最大重传次数 $ShortRetryLimit_$ 和 $LongRetryLimit_$ 分别为 7 和 3。均使用 AODV 路由协议^[7]。

3.1 SANET 网络中的 TCP Veno 性能分析

TCP 层的参数设置为 wnd (接受端的通告窗口) 和 $cwnd$ (发送端的拥塞窗) 均为 50,节点队列为 30,仿真时间 100 s。

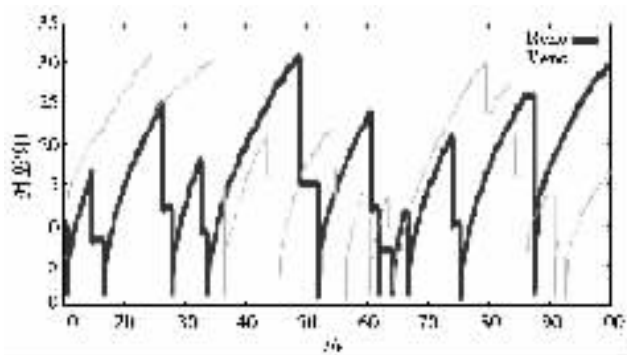


图 1 SANET 中 $reno$ (粗线为 $reno$) 与 $veno$ (细线为 $veno$) 的窗口比较图 ($p=0.03$)

图 1 为无线物理层误码率 $p=0.03$ 下的 $reno$ 与 $veno$ 的窗口变化图。窗口的变化一般都是由网络拥塞丢包或者高误码率的随机丢包造成的。从图中看到, $veno$ 分别在第 24.5 s、43.6 s、79.54 s 等时刻 $cwnd$ 窗口发生了变化 ($cwnd$ 窗口值下降),而在这些时刻 $cwnd$ 窗口的大小几乎都是小于 30 (我们设置的节点队列大小),所以可判定在这些时刻网络是没有拥塞的,那么窗口的下降一定是因为高误码率引起的随机

丢包造成的。同时,reno 也分别在 22.1s、30.77s、48.9s和 67.25s 等时刻发生了随机丢包(判断同上)

接着,来比较在这些高误码率发生的时刻,TCP Veno 和 TCP Reno 的窗口变化情况:veno 对链路状态并不拥塞的时刻(43.45 s 和 79.54 s)所发生的随机丢包,窗口只下降了 1/5。

而 reno 会认为丢包都是由网络拥塞造成的,所以就算在网络并不拥塞的 22.1、30.77、48.9 s 等时刻窗口的下降,reno 都会认为是由网络拥塞造成的,这时 reno 都会将窗口减小 1/2,从而引起了 TCP 性能不必要的下降。

图 2 为无线物理层误码率 $p = 0.03$ 下的 reno 与 veno 的吞吐量变化图。从图中我们看到 TCP Veno 的吞吐量曲线大部分在 TCP Reno 的上方,性能明显较 TCP Reno 略好。

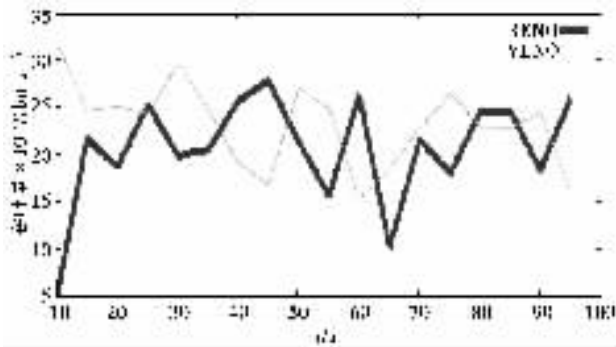


图 2 MANET 中 reno(粗线为 reno)与 veno (细线为 veno)的吞吐量比较图($p = 0.03$)

3.2 MANET 网络中的 TCP Veno 性能分析

节点移动参数:节点 0 的移动速率 4 m/s;节点 1 的移动速率 2 m/s。

TCP 层的参数设置为:wnd 和 cwnd 均为 50,节点队列为 30。仿真时间 200 s(图 3)。

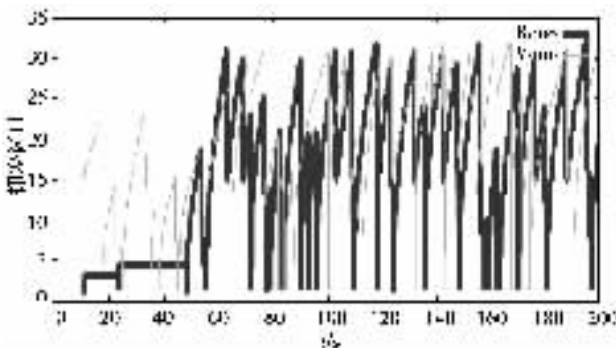


图 3 MANET 中 reno(粗线为 reno)与 veno (细线为 veno)的窗口比较图($p = 0.03$)

图 3 所示为 veno 与 reno 在无线物理层误码率 $p = 0.03$ 时的窗口变化图。从图中可看到,在 MANET 中,因为有拥塞,误码率,节点移动和路由变化的原因,veno 和 reno 的窗口变化都很剧烈,但是通过仔细观察和对 trace 文件的分析,可以得到如下的结果:

Veno 路由的变化是发生在 93 s 左右,而在路由变化前后,可看到 veno 的窗口都明显比 reno 要好,不仅持续时间比 reno 长,而且在有随机丢包产生的时候(这些时刻,cwnd 窗口值的大小一般都小于 30,因此可判断在这些时刻窗口的下降是由于高误码率引起的随机丢包造成的而不是网络拥塞造成的),窗口只下降了 1/5,比起 reno 下降的 1/2,veno 很好的保证了 TCP 窗口的性能。

而 reno 路由的改变则是发生在第 55.4 s;同样也可看到,无论是在路由断路前,还是在新建了路由之后,reno 的窗口性能都不如 veno 好(一旦有丢包发生 cwnd 窗口就会马上减半,引起 TCP 性能不必要的下降)。

图 4 所示为 veno 与 reno 在无线物理层误码率 $p = 0.03$ 时的吞吐量变化图。TCP Veno 的吞吐量曲线前半部分在 TCP Reno 的曲线上。

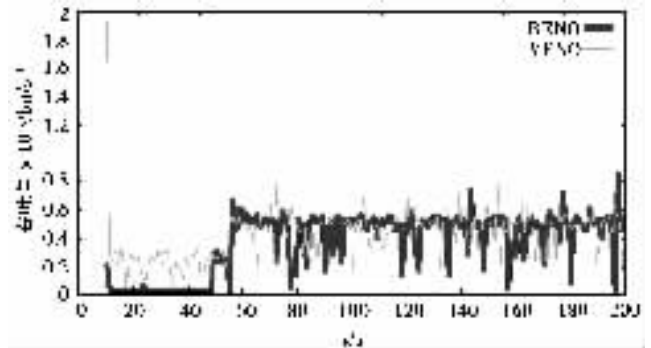


图 4 MANET 中 reno(粗线为 reno)与 veno (细线为 veno)的吞吐量比较图($p = 0.03$)

4 TCP Veno 在 PMP 网络与 Ad Hoc 网络中的性能比较

图 5 所示为 TCP Veno 在不同网络环境中的窗口变化图,无线物理层误码率 $p = 0.03$ 。从图中我们可以看到 TCP Veno 在 PMP 网络环境中的性能明显比在 Ad Hoc 网络中好,特别是在处理随机丢包的时候,TCP Veno 在 PMP 网络中几乎没有将随机丢包误认为网络拥塞丢包,而不必要的触发慢启动,降低 TCP 的性能。

图 6 所示为 TCP Veno 在不同网络环境中的吞吐量变化图,无线物理层误码率 $p = 0.03$ 。从图中也可以看到 PMP 中的吞吐量明显较 Ad Hoc 好。

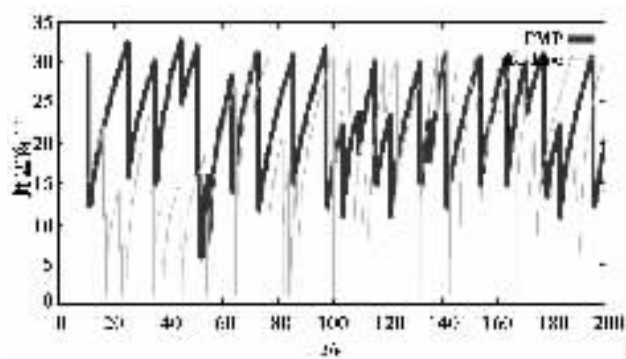


图 5 TCP VenO 在 PMP 小区蜂窝网络中的 cwnd 与在 Ad Hoc(MANET)网络中的 cwnd 比较图($p=0.03$)

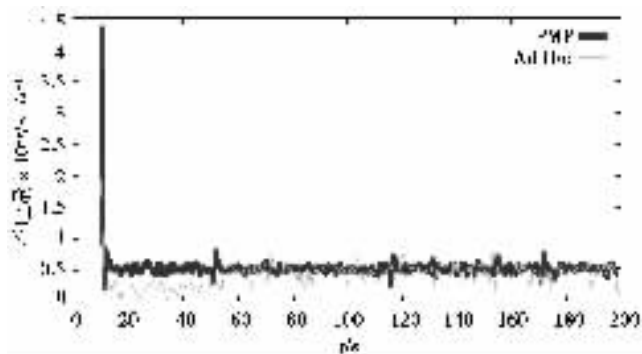


图 6 TCP VenO 在 PMP 小区蜂窝网络中的吞吐量与在 Ad Hoc(MANET)网络中的吞吐量比较图($p=0.03$)

5 结 论

针对 TCP VenO 在 Ad Hoc 多跳环境下的性能进行了不同误码率的多个仿真,可以看到,无论是在静态的 Ad Hoc 网络,还是在移动的 Ad Hoc 网络中为了路由断路和节点的移动,使得在有随机丢包发生的时候 TCP VenO 并不能像在单跳网络中一样发挥出很好的性能,反而会触发不必要的慢启动导致性能的下降。但是另一方面,无论是在网络拥塞,还是在随机丢包发生的时候, VenO 还是能够比较好的提高 TCP 的性能,

较 Reno 有较大的改善。

笔者在 Ad Hoc 网络中仿真了 TCP VenO 的性能,并将其与 PMP 网络中的性能进行对比。可得到如下结论:TCP VenO 在处理 Ad Hoc 网络中的高误码率问题时是可行的,但是性能不如在 PMP 网络中的表现。因为 Ad Hoc 网络中特殊性, TCP VenO 有时会将 Ad Hoc 网络中的随机丢包误认为网络拥塞丢包;而且不能处理由于随机丢包和节点移动造成的路由断路问题,从而引起性能的下降。这对实际应用 TCP VenO 很重要。

参考文献:

- [1] C P FU. TCP VenO :end-end congestion control over heterogeneous networks[D]. Hong Kong : The Chinese Univ Hong Kong , 2001 :201-209.
- [2] CHENG PENG FU , LIEW S C. TCP VenO :TCP enhancement for transmission over wireless access networks[J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications , 2003 , 5 :312-326.
- [3] 韩智华. 一种 TCP 窗口控制协议[J]. 微计算机信息 , 2006 , 5(3) :194-196.
- [4] JOHNSON D , MALTZ D. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks[EB/OL]. Internet Draft , Internet Engineering Task Force , Mar. 2001 , <http://www.ietf.org> , 2004-03-14.
- [5] HOLLAND G , VAIDYA N. Analysis of TCP performance over mobile ad hoc networks[J]. Wireless Networks 2002 , 8(2) : 275-288.
- [6] 刘景, 陆松年, 李今鹏. Ad-hoc 网络的 TCP 性能[J]. 计算机工程 2003 , 29(16). 199-215.
- [7] 于宏毅. 无线移动自组织网[M]. 北京 :人民邮电出版社 , 2005 :141-196.

Investigation of TCP VenO Performance over Wireless Ad Hoc Network

TANG Shu , XIE Xian-zhong , ZHAO Rui

(MII Key Lab of Mobile Communications Technology , Chongqing University of Posts and Telecommunications
Chongqing 400065 , P R China)

Abstract : TCP VenO Performance over Wireless Ad Hoc was studied. The performance of TCP VenO over SANET and MANET were simulated. The results show that the performance of TCP VenO is not good enough when it is working on the Wireless Ad Hoc , and is worse than TCP Reno over the Wireless one hopnetwork.

Key words : Ad Hoc , TCP VenO , SANET , MANET , PMP

(编辑 张小强)