

基于误码丢包率监测的无线 TCP 改进

胡 晗

(襄樊学院 物理与电子工程学院,湖北 襄樊 441053)

(xfhuan@163.com)

摘 要:针对无线环境下 TCP 错误调用拥塞控制算法致使性能下降的情况,提出一种基于误码丢包率监测的无线 TCP 改进方法。利用显式拥塞通知的路由器配合区分分组丢失性质,在数据发送端采用实时误码丢包率监测,并根据监测结果调整 TCP 段尺寸。仿真结果表明,改进后的 TCP 吞吐量在误码率为 $1\text{E}-4$ 时超过 TCP_SACK 和 TCP_Reno 近 1 倍。

关键词:无线 TCP;拥塞控制;显式拥塞通知;误码丢包率;TCP 段尺寸

中图分类号: TP393.03 **文献标志码:** A

Improvement of wireless TCP based on monitoring error packet loss rate

HU Han

(School of Physics and Electronic Engineering, Xiangfan University, Xiangfan Hubei 441053, China)

Abstract: In wireless environment, TCP erroneously responds to all losses by invoking congestion control algorithm, which results in degraded end-to-end performance. Concerning this problem, this paper proposed a method of wireless TCP based on monitoring the packet loss rate due to bit error in real-time. The data sender cooperated with the router configured with the function of explicit congestion notification to distinguish the characteristics of packet losses; at the same time, the sender took advantage of the monitor result to adjust the TCP segment size. The simulation results show that the throughput of modified TCP outperforms TCP_SACK and TCP_Reno by 100% approximately when the bit error rate is $1\text{E}-4$.

Key words: wireless TCP; congestion control; Explicit Congestion Notification (ECN); error packet loss rate; TCP segment size

0 引言

当现有 TCP 运行在蜂窝网、卫星网络、Ad Hoc 网络和一些异构网络中时,由于较高的误码率、传输错误、移动切换等原因造成丢包数量增多,此时的丢包已经不能够作为网络发生拥塞的标志。但是现有 TCP 由于无法区分丢包原因,仍然会频繁调用拥塞控制算法,这样就使得 TCP 发送窗口被降得很低,吞吐量也下降很多, TCP 的性能受到很大影响^[1-2]。近年来,很多改进无线 TCP 的方案被提出来,文献[3-4]对这些方案进行了归纳和总结,这些改进方案均不同程度地提升了 TCP 的性能。但是这些方案中有的失去了端对端的语义,还有一些改进方案或存在公平性方面的问题,或链路层的重传与 TCP 层的重传存在冲突,或实现起来非常复杂。文献[5-7]所提出的方案是一种基于带宽估计的无线 TCP 改进方案,用估计出的可用带宽来优化拥塞窗口(congestion window, cwnd)和慢启动阈值(slow start threshold, ssthresh),取得了一定效果,这些方案是通过计算返回 ACKs 的间隔中所发送的数据量来估计可用带宽,而当返回 ACKs 在反向路径中受到压缩时,估计出的带宽偏高。文献[8]所提出的方案实际上是一种间接 TCP,由于主机接收到的 ACKs 事实上是边界路由器发出的,主机收到了 ACKs 并不能说明接收端已经收到了相应的分组,因此该协议失去了 TCP 端到端的语义,另外由于有线链路速率可能比无线的快很多,边界路由器的缓存压力很大。文献[9]是一种基于误码率估计改善无线 TCP 性能的方法,然而其需要计算每个 10 s 内发送的数据总量和重传的数据段总量来估算误码率,实时性较差,而且不能有效区分丢包性质。针对上述问题,本文提出一种基于误码丢包率估计来自适应调整 TCP 段尺寸的方案,即发送端通过

显式拥塞通知(Explicit Congestion Notification, ECN)机制区分误码丢包与拥塞丢包,然后对误码丢包率进行实时监测,当误码丢包率上升到某种程度时,说明此时无线环境的误码率较高,为了降低因误码而丢弃分组的数量,发送端自动减小发送的 TCP 段尺寸,进而提升无线 TCP 的性能。

1 ECN 机制

路由器可以通过主动队列管理(Active Queue Management, AQM)来参与控制 TCP 流的速率,随机早期检测(Random Early Detection, RED)就是一种在路由器中实现的 AQM 机制,与尾部丢弃相比,RED 为队列管理增添了两种新机制:1)不是等队列全满后再丢弃到来的分组,而是利用概率判定机制事先丢弃部分分组来预防可能发生的拥塞;2)通过平均队列而非即时队列调整分组丢弃概率,由此来尽可能地吸收部分短暂的突发流量。分组的丢弃使得数据接收端产生重复 ACKs(DUPACKs)并发送回发送端,数据发送端也因此通过拥塞控制手段调整拥塞窗口尺寸以响应分组的丢弃;早期的分组丢弃预防了路由器进入严重的拥塞状态。

ECN 是对 RED 的扩展,配置有 ECN 功能的路由器不是把分组丢弃,而是对分组进行标记,用来指示路由器可能会发生拥塞。在 IPv4 版本中(IPv6 也有相应的域),IP 首部 TOS 域的第 6 和 7 位被用来作为 ECN 的域,其中,第 6 位作为 ECT 位(ECN-Capable Transport),它是由发送端设置用来指示 ECN 功能可用的;第 7 位作为 CE 位,它是由路由器设置用来向端节点指示该 IP 分组经历了拥塞;进而当数据接收端收到这样的分组时,再通过向返回的 TCP 确认报文段的首部设置 ECN-Echo 标志位,来通知发送端接收到了经历拥塞的分组;发送端接收到这样的 ACK 时,在紧接着发送的 TCP 报文段的首部

设置 CWR(拥塞窗口减少)标志位来告知数据接收端;发送端已经降低了数据发送窗口。ECN-Echo 和 CWR 标志位分别位于 TCP 首部中保留域的第9位和第8位。

由于 ECN 的这些特性使得 TCP 有可能将无线丢包和拥塞丢包区分开来,因此也就能方便地统计误码丢包情况。

2 误码丢包率

在无线数据传输中,由于无线信道的时变多径衰落特性以及容易受突发干扰影响,分组数据常会受到破坏,而路由器等中间节点接收到这样的数据则会将其丢弃,数据接收端也就无法接收到这个分组数据了。而分组数据丢失的概率与误码率、发送的 TCP 段尺寸密切相关,从概率论可以知道:

$$segment_loss = 1 - (1 - p_e)^{segment_size} \quad (1)$$

其中: $segment_size$ 是 TCP 段尺寸大小, p_e 是误码率, $segment_loss$ 是数据段丢失的概率。从式(1)可看出,在特定误码率情况下,数据段尺寸越小,则丢失的可能性越小。因此当使用 ECN 机制区分出误码丢包和拥塞丢包后,则可在发送端对误码丢包情况进行统计,并进而对 TCP 段尺寸进行适当调整。当发送端 TCP 检测到一个误码丢包并进入到快速重传阶段时,此时的误码丢包率按式(2)进行估算:

$$segment_loss = 100 / ((snd_max - snd_una) / snd_mss) \quad (2)$$

其中: $segment_loss$ 为当前数据段丢失的百分比,可以近似看成误码丢包率; snd_max 是发送数据中的最大序列号; snd_una 是发送了但尚未被确认的当前数据的序列号; snd_mss 为 TCP 最大段尺寸(单位为 B)。

为了考查在不同误码环境中的丢包率情况,这里建立了纯无线环境中的客户服务器的形式,仿真工具为 Opnet 10.0。

率进行监测,此时的丢包基本为误码丢包, TCP 段尺寸为 1000 B。无线环境的误码率分别取 $1E-4$ 和 $1E-5$,误码丢包率仿真结果见图2。



图1 误码丢包监测仿真

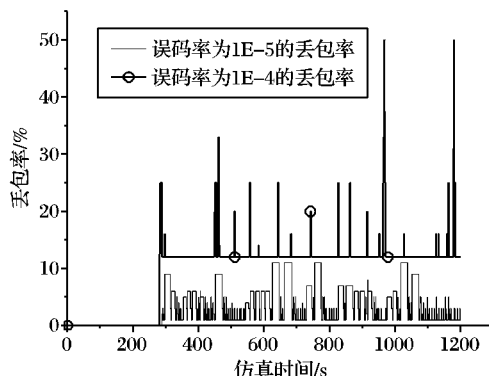


图2 误码丢包率估计

从仿真结果可看出:误码率为 $1E-4$ 时误码丢包率明显较高, $segment_loss \geq 15\%$;而误码率为 $1E-5$ 时, $segment_loss \leq 10\%$ 。从平衡吞吐量和通信效率两方面考虑,可按式(3)来选择不同 TCP 段尺寸,这里借鉴了文献[10]推荐的 TCP 段尺寸(单位:B):

$$segment_size = \begin{cases} 536, & segment_loss \geq 15\% \\ 1000, & segment_loss < 15\% \end{cases} \quad (3)$$

3 改进机制

本文 TCP 的改进是建立在 Reno 版本之上的。首先将中间的路由器配置 ECN 功能,发送端和接收端都允许使用 ECN。当发送端接收到带有 ECE 的 ACK 时,表明曾经发送的

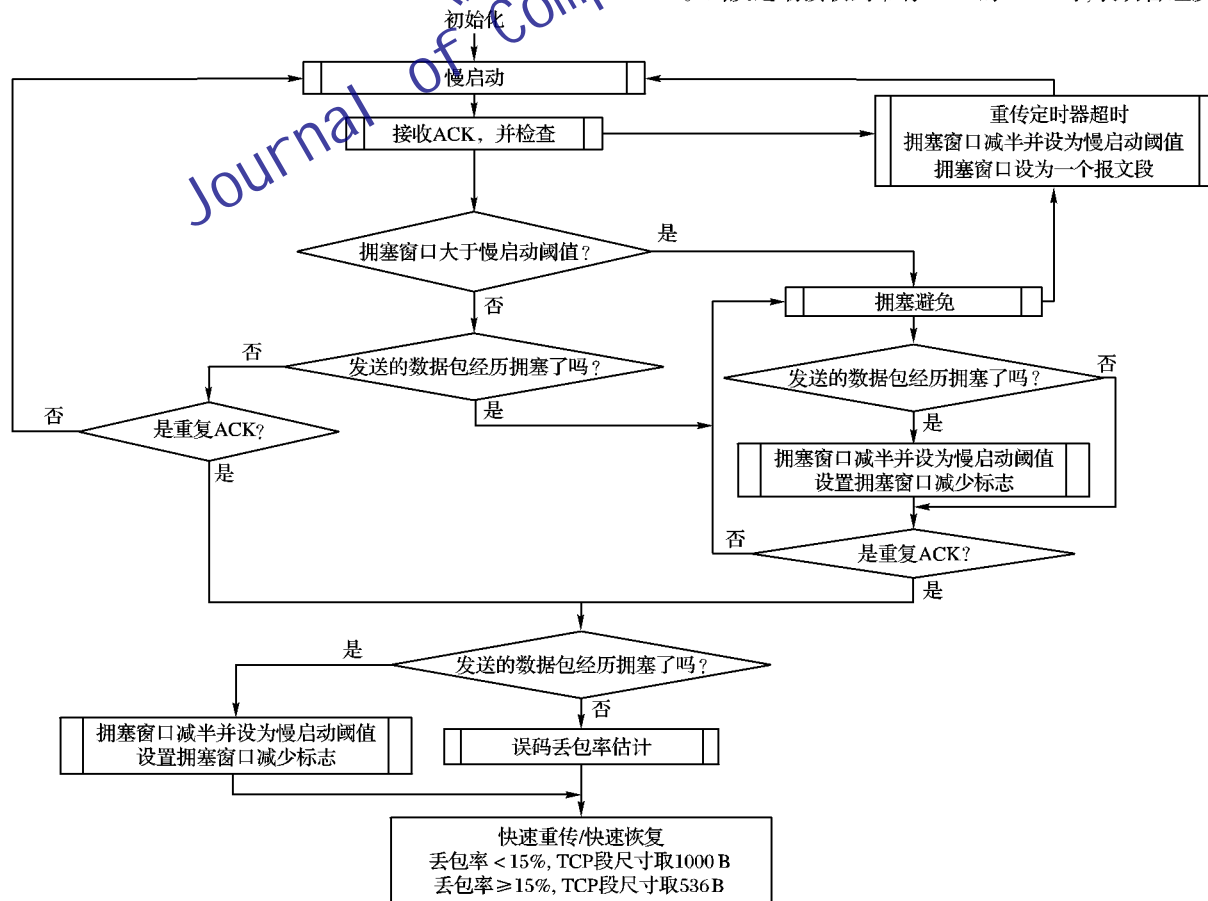


图3 修改后的 TCP 状态机

分组经历了拥塞,如果收到3个带有ECE的重复ACKs,则可判断丢包是由于网络拥塞造成的,仍然采用窗口减半策略,设置CWR后进入快速重传和快速恢复阶段;如果收到的3个不带有ECE的重复ACKs,则可以判断出此时的丢包是误码丢包,此时的拥塞窗口(cwnd)不进行减半退避,而是保持cwnd不变,直接进入快速重传和快速恢复阶段,同时发送端对误码丢包率进行监测,根据不同的误码丢包率,选择不同的TCP段尺寸。由于发送端TCP本身就保存着发送数据的序号,仅仅利用路由器ECN功能区分丢包性质,然后通过这些序号来计算误码丢包率,因此相对于修改前的TCP而言,无论在空间复杂性和时间复杂性方面几乎没有任何变化。修改后的TCP拥塞控制有限状态机如图3所示。

4 异构网络拓扑下的仿真

4.1 仿真拓扑与参数配置

为了更好地检验改进后TCP的性能,本文建立了如图4所示的异构网络拓扑结构,误码率为 $1E-4$,仿真工具为OPNET 10.0。在这个结构里,无线接入点与以太网路由器之间建立瓶颈链路,带宽为1 Mbps;服务器1和服务器2均通过10 Mbps带宽的链路以太网交换机连接起来;交换机与路由器之间带宽为10 Mbps;客户端1和客户端2也都是以5.5 Mbps的速率通过无线接入点与以太网内部节点通信;无线接入点和路由器都配置ECN功能。以太网内部节点服务器1为无线局域网的客户端1提供FTP业务;客户端2和服务器2之间建立视频会议业务,目的是为了与服务器1的FTP流争抢带宽,使得在整个通信过程中,既存在拥塞丢包,同时还存在误码丢包。

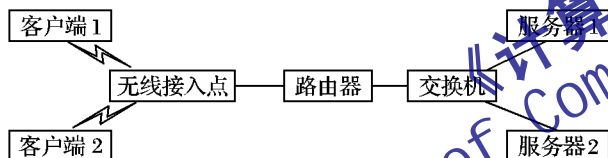


图4 仿真拓扑配置

视频会议流具体参数为10 fps,帧尺寸为5 000 B。中间节点路由器的ECN配置参数为:最大队列长度100个分组,队列最小门限40个分组,队列最大门限80个分组,最大标记概率0.1。服务器1的TCP段尺寸为1 000 B。

4.2 吞吐量、TCP数据段时延仿真

这里将改进后TCP与其他版本TCP(如Reno、SACK等)在同样环境下的吞吐量、TCP数据段时延进行了比较。仿真结果分别如图5~6所示。从仿真结果来看,改进后的TCP吞吐量明显高于其他版本TCP,改进Reno的平均吞吐量比SACK高64%,比Reno高近81%;同时在 $BER=1E-4$ 时,TCP段尺寸采用536 B的TCP吞吐量也高于其段尺寸为1 000 B时的吞吐量近21%,其主要原因在于改进后TCP能够区分出误码丢包和拥塞丢包,并采取了正确的措施,同时通过对误码丢包率的实时监测,并选择了合适的TCP段尺寸,因此很大程度上提升了无线TCP的性能。另外,从TCP数据段时延仿真结果上,可看出改进后的Reno平均时延稍高,这是因为改进后TCP数据发送速率较高,造成分组在路由器中排队产生延迟,也说明了改进TCP对网络资源的利用率比没有改进的版本要高一些;同时还可看出由于TCP段尺寸的减小,使得误码丢包数量减少,因此时延抖动也比没有改进的TCP_Reno有所改善。

5 结语

由于与具有ECN功能的路由器节点相结合,使得TCP在

遭遇丢包时可以在一定程度上把随机误码丢包和拥塞丢包区分开;另外,在数据发送端采用了误码丢包率估计算法,通过对误码丢包率的实时监测,选择适当的TCP段尺寸进行数据传输,使得改进TCP_Reno在无线环境中的性能有了较大提升。当前的路由器本身都具备ECN功能,仅需对TCP稍加修改,因此本文提出的改进方案简单易行。下一步的研究工作一方面是要更准确地区分丢包性质,另一方面是与其他跨层技术结合起来,以进一步改善TCP在无线环境中的性能。

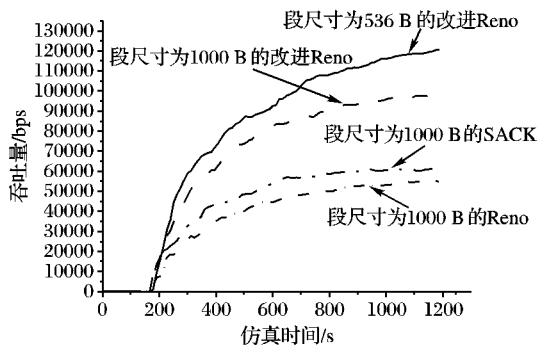


图5 3种版本TCP在不同段尺寸时的吞吐量比较

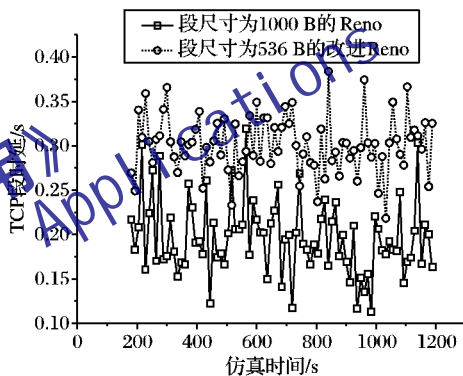


图6 改进Reno与Reno之间的TCP段时延比较

参考文献:

- [1] CHAN A C F, TSANG D H K, GUPTA S. TCP (transmission control protocol) over wireless links [C]// Proceedings of IEEE the 47th Vehicular Technology Conference. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1997: 1326-1330.
- [2] XYLOMENOS G, POLYZOS G C. TCP performance issues over wireless links [J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(4): 52-58.
- [3] ANJUM F, TASSIULAS L. Comparative study of various TCP versions over a wireless link with correlated losses [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11(3): 370-383.
- [4] 周建新, 邹玲, 石冰心. 无线网络TCP研究综述[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(1): 53-59.
- [5] 胡晗. 基于带宽估计和ECN的无线TCP改进[J]. 计算机工程, 2010, 36(21): 112-114.
- [6] KAI XU, YE TIAN, ANSARI N. TCP-Jersey for wireless IP communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(4): 747-756.
- [7] WANG REN, YAMADA K, SANADIDI M Y, et al. TCP with sender-side intelligence to handle dynamic, large, leaky pipes [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2): 235-248.
- [8] 王凌云, 王辉. 基于SACKTCP的提高异构网络性能模型[J]. 计算机工程, 2009, 35(3): 136-138.
- [9] 刘树立, 马争, 蔡爱华. 一种自适应改进无线TCP性能的算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(2): 282-284.
- [10] 刘俊, 隆克平, 徐昌彪, 等. 两种改善无线TCP性能的新机制[J]. 电子学报, 2004, 32(12): 2059-2062.