

适用于异构网络的改进 TCP 协议研究

韩 涛 黄友锐 曲立国 史 明

(安徽理工大学电气与信息工程学院 淮南 232001)

摘 要 在有线网络中,网络丢包主要是网络拥塞造成的,而传统的 TCP 协议主要是针对有线网络设计的。对于无线网络,链路错误的随机丢包成为其主要的丢包,传统的 TCP 已不再适用。为了使 TCP 适用于有线-无线的异构网络中,提出一种改进的 TCP 协议(命名为 TCP-Ackflag)。此协议通过接收端判断分组数据的相对延迟趋势来判断网络拥塞情况,并在接收端反馈给发送端的 ACK 包中定义一个拥塞标志位。接收端在接收 ACK 包中,记录这个拥塞标志位。为了使网络能达到最大吞吐量,发送端只有在发现产生网络丢包现象后再立即对记录的拥塞标志位的值进行检测,通过检测到的拥塞标志位的值来判断网络拥塞情况,最终决定是进入网络拥塞处理过程还是简单地快速重传过程,从而保证了有线-无线异构网络的传输性能。仿真结果表明,此方案对网络拥塞判断准确性和灵敏性都有极大提高,并在此基础上保证了网络传输性能。

关键词 异构网络, TCP, 网络拥塞

中图分类号 TP393 **文件标识码** A

Research on Improving the Performance of TCP for Heterogeneous Networks

HAN Tao HUANG You-rui QU Li-guo SHI Ming

(Department of Electrical & Information Engineering, Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001, China)

Abstract In wired network, the packet loss is caused by network congestion. TCP protocol was designed for wired network. But it isn't adapted to the wired-wireless networks anymore because packet loss is mainly caused by link errors in wireless networks. So it proposed a new protocol (named TCP-Ackflag) based on TCP. It judges network congestion according to trend of relative time delay in receiver. Then the receiver sends an ACK with network congestion flag bit (NCF) to the sender. For the maximum throughput, the sender checks the NCF in ACK which is received recently when it has found the packet loss. It will deal with network congestion or fast retransmit according to network congestion flag bit in ACK. The simulation results show the accuracy and sensitivity in this programs on the network congestion to determine are greatly improved, and on this basis to ensure the network transmission performance.

Keywords Heterogeneous networks, TCP, Network congestion

随着信息化、现代化的发展,无线网络日益普及,使用范围越来越广,有线网络与无线网络如何高效无缝连接的问题日益明显。传统 TCP 协议主要针对有线网络设计,而有线网络中网络拥塞是造成网络丢包的主要原因,链路错误造成的随机丢包几乎不计。故传统的 TCP 协议是通过丢包的产生来判断网络拥塞情况,进而采取相应的措施避免网络拥塞或从网络拥塞中恢复,从而保证网络传输性能的高效^[1-4]。对无线网络,链路传输错误产生的随机丢包增多,已经占到不可忽略的地位,故 TCP 再根据丢包去判断无线网络拥塞情况已经不适合^[5,6]。

为了使 TCP 适应于有线-无线异构网络,有些学者研究提出根据接收端计算出的往返时延 RTT(Round-Trip Time)进行网络拥塞的判断,一定程度上提高了网络拥塞判断的准确性,保证了网络的最佳传输性能。但由于要对往返时延 RTT 进行计算处理,其中存在发送端和接收端时钟匹配等问

题,导致 RTT 的准确计算难度较大,网络拥塞判断的准确性和时效性也大大降低,从而影响了网络传输的性能。有的学者提出在发送端判断数据包往返延迟趋势来判断网络拥塞情况,避免了 RTT 的复杂计算,但在发送端判断延迟趋势会降低判断网络拥塞的灵敏性。由于根据网络延迟趋势判断网络拥塞,还可能会导致过早的进入网络拥塞处理工程,而不能使网络达到最大传输性能。

1 基本原理

网络拥塞,即为网络中需要传递的数据流量超过了网络本身的处理能力。在初始时,新到的数据包由于不能发送出去,将不断地被存储到缓冲队列中,延迟处理转发,分组从发送端到接收端就会产生一个延迟,若网络一直处于拥塞状态,这个延迟有增加的趋势。

据此提出一种新的 TCP 改进方案,在网络接收端统计最

本文受国家自然科学基金(61073101)资助。

韩 涛(1984—),男,硕士生,主要研究领域为物联网的研究及应用;黄友锐(1971—),男,博士后,教授,主要研究领域为智能信息处理;曲立国(1979—),男,硕士,讲师,主要研究领域为智能控制和计算机网络;史 明(1982—),男,硕士生,主要研究领域为计算机网络与通信。

近分组的发送时间和接收时间的相对延迟时间,根据最近数个相对延迟时间判断出相对延迟趋势,从而判断出网络的拥塞情况。在接收端反馈给发送端的 ACK 包中设置一位拥塞标志位(命名为 NCF),如果产生网络拥塞,则该位置为 1;若没有发生网络拥塞,则该位置为 0。为了能使网络传输达到最大吞吐量;为了避免在网络可以承受的范围内,相对延迟趋势增加而导致发送端过早地进入拥塞处理阶段,接收端只对接收到 ACK 包的拥塞标志位进行记录,而只有在发现网络产生丢包后,才立即检测其记录的 NCF 位;若为 1 则认为此次丢包为网络拥塞丢包,从而调用网络拥塞处理机制,进入拥塞处理过程;若 NCF 位为 0,则判断此次丢包为链路传输错误引起的随机丢包,只要将丢包的数据进行简单的快速重传即可。因为是计算相对延迟趋势,避免了往返时延 RTT 的复杂计算处理过程,同时也不需要关心收、发端之间的时钟同步问题,使计算过程更加简单准确。而在接收端计算网络延迟趋势,比在发送端通过往返时间计算延迟趋势花费时间更少,在一定程度上提高了判断网络拥塞的灵敏度。而在网络产生丢包后再立即进行拥塞标志位的检测,以免使网络在本身可以承受、而仅仅是相对延迟趋势变大的情况下,过早地进入拥塞处理机制,这样就可以使网络传输达到最大的吞吐量,进而一定程度上提高了网络传输性能。

2 实现方案

1)接收方在接收到数据包 i 时,记下当时时刻 R_i ,从中取出发送时刻 T_i ,则 $D_i=R_i-T_i$ 为相对传输延迟。其值为发送端到接收端的传输时间加上发、接收端的时钟偏差。因为此算法是根据相对传输延迟变化的趋势来判断网络拥塞情况,与时钟偏差无关,故可以不用考虑发、接收端时钟偏差,即不用进行发、收端的时钟同步,这也是此种算法的一个优点。

2)根据这 N 个传输延迟的变化趋势即可判定网络拥塞情况。此处采用类似于 Pathload 算法^[7]中用到的统计方法来判定 D_i 的变化趋势。

(1) 把 N 个相对传输延迟 $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ 分成 $\Gamma=\sqrt{N}$ 组,每组有 Γ 个连续样本。求出每组的中值 \hat{D}_Γ 。

(2) PCT(Pairwise Comparison Test)

$$S_{PCT} = \frac{\sum_{k=2}^{\Gamma} I(\hat{D}_k > \hat{D}_{k-1})}{\Gamma - 1}$$

$I(X)$:若 X 成立, $I(X)=1$;否则, $I(X)=0$ 。

PCT 测量的是相邻两个呈增加趋势的样本在所有样本中占的比例, $0 \leq S_{PCT} \leq 1$,如果两个样本是不相关的,那么 S_{PCT} 的期望值是 0.5;如果有很强的增加趋势,那么应该接近 1。在 Pathload 算法中,如果 $S_{PCT} > 0.66$,即判为增加趋势;如果 $S_{PCT} < 0.54$,则判为非增加趋势;否则即为不确定趋势。

(3) PDT(Pairwise Difference Test)

$$S_{PDT} = \frac{\hat{D}_\Gamma - \hat{D}_1}{\sum_{k=2}^{\Gamma} |\hat{D}_k - \hat{D}_{k-1}|}$$

PDT 量化了相对于样本值的绝对变化其首尾变化的程度,其中 $-1 \leq S_{PDT} \leq 1$ 。如果样本是不相关的,那么 S_{PDT} 的期望值为 0;如果有很强的增长趋势, S_{PDT} 接近 1。在 Pathload 算法中, $S_{PDT} > 0.55$ 时,为增加趋势;如果 $S_{PDT} < 0.45$,则判为非增加趋势;否则,即为不确定趋势。

(4) 如果 PCT/PDT 之一为增加趋势,另一个为增加或者不确定趋势,那么即可判为相对延迟时间呈增加趋势,否则相对延迟时间不呈现明显的增加趋势。

3)若判断出相对传输延迟有明显增加的趋势,则在接收端发送的 ACK 包中的网络拥塞标志位 NCF 置 1,否则将 ACK 包中的网络拥塞标志位 NCF 清 0,然后再把 ACK 包反馈于发送端。

4)发送端在接收到 ACK 包后,记录下 NCF 的值。当网络中产生丢包时则立即读取此前记录的 NCF 的值,若 NCF 为 1,则认为此时丢包为网络拥塞丢包,需调用传统的 TCP 协议中的网络拥塞处理机制,进行网络拥塞处理。若网络拥塞标志位 NCF 为 0,则认为此时的丢包为链路传输错误造成的随机丢包,只需将所丢的包进行简单的快速重传即可。接收端和发送端实现方法流程图分别如图 1 和图 2 所示。

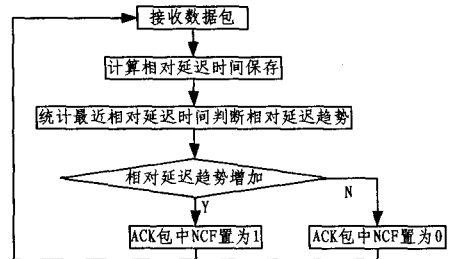


图1 接收端流程图

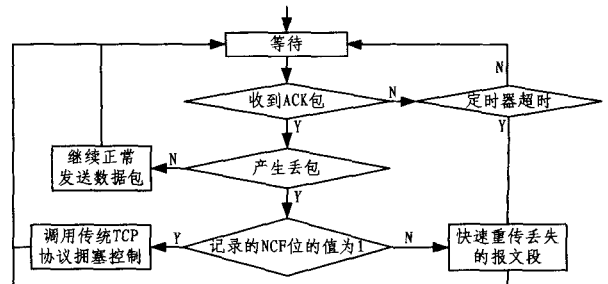


图2 发送端流程图

3 性能评价

本方案采用 Berkeley 开发的 NS-2.34 网络仿真平台进行性能仿真^[8,9],并与 Newreno 和 Westwood 协议^[10]进行比较。结果表明,采用本方案使有线-无线异构网络的拥塞情况得到准确判断,进行相应控制,网络传输的吞吐量大幅增加。

本仿真实验采用最简单最典型的有线-无线异构网络拓扑结构,如图 3 所示。有线部分为从固定的源端 S 到基站 BS,带宽 10Mbps,单向传播延迟 35ms;基站 BS 到无线终端 D 为带宽 6Mbps,延迟 0.01ms 的有差错无线链路。数据包的大小取固定值 1400 字节,路由器缓冲区大小等于管道容量均为 32 个包。

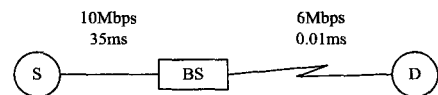


图3 节点拓扑结构图

随着无线链路错误的不断增加,采用不同协议的异构网络的吞吐量也有所不同,如图 4 所示。由图可以看出,虽然带拥塞标志的 Ackflag 协议在开始时吞吐量不及 Newreno,但这个区间很小,在之后的很大误码率区间内,采用 Ackflag 协

议的异构网络吞吐量一直大于 Newreno 和 Westwood。而之前吞入量没有 Newreno 高的原因可能是因为此种算法需要在接收端进行相对延迟趋势的判断过程,并需要对 ACK 包中的拥塞标志位置 1 或清 0,占用了一定时间,从而在误码率很小甚至没有误码的时候此方案的吞吐量比其他两种协议的稍小一点。

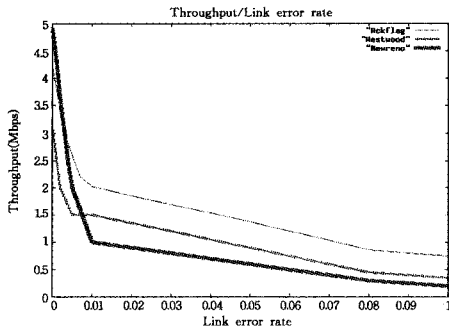


图 4 不同误码率下的异构网络吞吐量比较图

在做了不同端到端延迟情况下的 3 种协议吞吐量的比较后,结果如图 5 所示。此结果说明采用带拥塞标志位的 Ack-flag 协议在不同的端到端延迟的情况下,吞吐量都大于其他两种协议。

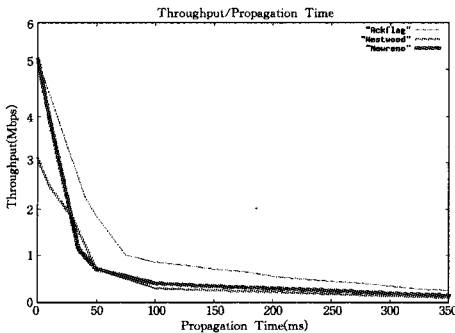


图 5 不同端到端延迟时间下的吞吐量比较图

另外,在无线网络中,无线衰落和临时掉线情况是产生数据丢包的主要原因^[11,12],故将此 3 种协议在无线衰落情况下和临时掉线情况下做了对比仿真实验,实验结果分别如图 6 和图 7 所示。在无线传输过程中,由于距离、障碍物的其他环境因素,无线信号有着一定的衰落,数据丢包造成无线衰落和临时掉线,而传统的 TCP 协议会误判断为拥塞丢包,采取拥塞处理,降低了网络性能,而 Ackflag 协议可以判断出无线网络中丢包的原因,进行简单的快速重发,从而在一定程度上保证了网络性能。

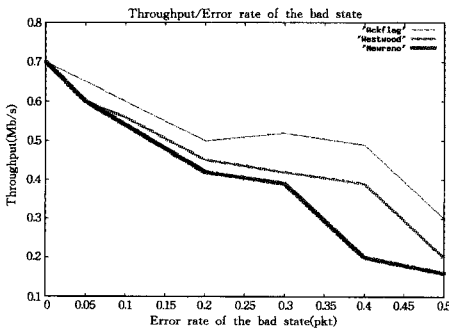


图 6 吞吐量 VS bad 状态的错误率

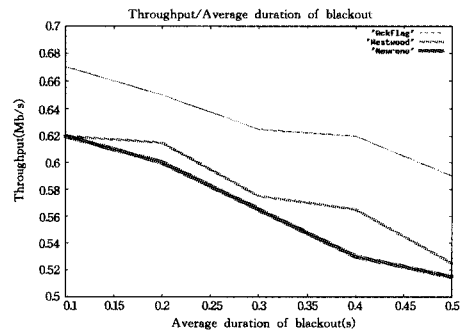


图 7 吞吐量 VS 平均掉线时间

结束语 本文基于传统 TCP 协议,提出了一种适合于有线-无线异构网络的改进型 TCP 协议 TCP-Ackflag,即通过对接收端接收的到数据包的相对延迟时间的计算,判断出相对延迟趋势,接收端在反馈的 ACK 包中设置网络拥塞标志位。在网络产生丢包时,发送端通过对记录到的网络拥塞标志位进行检测,实现网络拥塞与否的准确判断,并针对拥塞丢包和随机丢包采用不同的处理机制,从而提高网络的传输性能。仿真实验表明,此种改进型 TCP 协议性能高于传统的 TCP 协议有一定的研究价值。

参考文献

- [1] Stevens W R. TCP/IP 详解·卷 1:协议[M]. 北京:机械工业出版社,2000
- [2] Stevens W R. TCP/IP 详解·卷 2:实现[M]. 北京机械工业出版社,2004
- [3] Comer D E. 用 TCP/IP 进行网际互连(第 1 卷):原理、协议与结构(第 5 版)[M]. 北京电子工业出版社,2007
- [4] Comer D E. 用 TCP/IP 进行网际互连:设计、实现与内核(ANSI C 版)(第 3 版)(第 2 卷) [M]. 北京电子工业出版社,2008
- [5] Zhou J X, Zou L, Shi B X. A Survey of TCP Performance in Wireless Network[J]. Journal of Computer Research and Development, 2004
- [6] Barakat C, Altman E, Dabbous W. On TCP Performance in a Heterogeneous Network: A Survey[J]. IEEE Communications Magazine, 2000
- [7] Jain M, Dovrolis C. Pathload: a measurement tool for end-to-end available bandwidth [C] // Proceedings of Passive and Active Measurements (PAM). 2002
- [8] 黄化吉,冯穗力,秦丽姣,等. NS 网络模拟和协议仿真[M]. 北京:人民邮电出版社,2010
- [9] 方路平,刘世华,陈盼,等. NS-2 网络模拟基础与应用[M]. 国防工业出版社,2008
- [10] Mascolo S, Sanadidi M Y, Casetti C, et al. TCP Westwood: End-to-End Congestion Control for Wired/Wireless Networks[J]. Wireless Networks, 2002
- [11] 曲大鹏,黄东军,齐芳. 异构网络环境下 TCP 协议性能提高方法[J]. 计算机工程,2006
- [12] 曲大鹏,黄东军. 一种新的适用于异构网络的 TCP 算法[J]. 计算机应用,2007(10)