

无线自组网中 TCP 按需确认机制

韩春燕¹, 陈 渝¹, 易发胜²

(1. 康定民族师范高等专科学校计算机科学系, 康定 626001; 2. 电子科技大学计算机学院, 成都 610054)

摘要: 分析无线自组网中关于传输控制协议(TCP)的问题, 研究基于按需确认的 TCP 协议在无线自组网中的改进算法。该算法规定接收方须根据发送方的要求对数据报文进行确认, 减少确认(ACK)数量并消除延迟 ACK 对 TCP 传输效率的影响, 提高了无线自组网中 TCP 的性能。仿真试验结果证明了该算法的有效性。

关键词: 传输控制协议; 延迟确认; 无线自组网

TCP with Demand-based ACK Mechanism in Ad Hoc

HAN Chun-yan¹, CHEN Yu¹, YI Fa-sheng²

(1. Department of Computer Science, Kangding Nationality Teachers College, Kangding 626001;

2. Computer College, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

【Abstract】 This paper analyzes the problems of TCP in Ad hoc, and studies an improved TCP algorithm with demand-based acknowledgement, which requires that the receiver sends an acknowledgement according to the sender's request. The algorithm improves the performance of TCP in Ad hoc because of reducing the number of ACK, and eliminating delayed ACK's bad influence on efficiency of the data transportation. The simulation results demonstrate that the algorithm is efficient.

【Key words】 Transmission Control Protocol(TCP); delayed ACK; Ad hoc

1 概述

随着因特网的广泛使用, TCP/IP 协议取得了巨大成功。虽然 IP 协议采用数据报机制, 无法保证可靠传输, 也不能处理网络拥塞, 但其实现简单, 且具有鲁棒性特点。TCP 协议通过端到端的机制实现可靠传输、流量控制和拥塞控制, 为因特网的发展奠定了基础。

以前的因特网主要用于有线网络场合, 在这种场合中 TCP/IP 的应用很成功。目前无线网络日益流行, 成为局端网络的一种趋势。无线网络具有较高误码率, 会导致传统 TCP 协议误认为网络拥塞而减小发送速率, 降低无线网络的吞吐量。

一般认为, 在无线 TCP 中, 正确辨别是拥塞丢包还是无线链路错误丢包后, 合理控制发送窗口的大小是提高 TCP 在无线网络中传输率的有效途径。但根据无线网络 MAC 介质共享的特点, 减少 TCP 对介质访问的次数, 也是改进无线 TCP 性能的重要途径^[1]。特别是在多跳无线自组网中, 报文重传和大量 ACK 导致的大量介质访问是影响 TCP 性能的主要原因。

减少报文重传数量和 ACK 数量能有效提高无线自组网中 TCP 的传输性能。本文分析各种延迟 ACK 的算法, 提出了在无线自组网中按需确认的机制。

2 相关研究

标准 TCP 协议要求接收方每收到一个数据报文就回答一个确认。虽然确认可以捎带在接收方向发送方传输的数据报文中, 但这种情况是有限的, 大量冗余 TCP 确认给网络带来较大负担。随着无线网络 TCP 问题的出现, 上述问题受到越来越多的关注。以前认为延迟 ACK 的数量越多越好, 但太大

的延迟 ACK 会影响 RTT 的估计, 或导致发送方超时, 在长延迟链路中难以快速检测到丢失的分组。因此, 在 RFC1122 中, 提出了延迟 ACK 策略来减少 ACK 数量(TCP_DA)。接收方收到一个报文后, 等待 0 ms ~ 200 ms, 这期间若有回送数据报文就捎带 ACK, 如果收到 2 个连续的数据报文或等待超时则发送 1 个独立 ACK。延迟 ACK 的应用虽然减少了 ACK 数量, 但非及时的确认有时会影响发送方的发送效率^[2], 限制了 TCP 在启动阶段的数据率增加。另外, 延迟 ACK 会影响 RTT 的正确估计, 对 TCP 整体性能造成一定影响。针对无线局域网中 TCP 表现不佳的现状, 文献[3]提出了自适应延迟 ACK 的设想, 认为接收方在接收到每个拥塞窗口的所有报文后给出一个确认, 可以获得最佳吞吐量。因此, 接收方根据收到的报文间歇, 自动判断是否应该发送一个确认。这种方法极大减小了确认数量, 提高了 TCP 无线多跳网络的性能, 对长延迟链路有不利影响, 且发送方容易超时重发, 会降低系统整体性能。为了解决此问题, 文献[4]综合了以前 ACK 的优点, 提出接收方动态地计算最佳延迟 ACK 的数量, 动态自适应链路的条件变化(TCP_DAA), 但不超过 4 个报文。这种方法是上述各种方法的折中, 具有较好综合性能, 但不能完全避免上述问题。

按需确认机制^[5]根据发送方的要求进行确认, 发送方提出确认需求后才启动定时器, 不会出现错误超时的情况; 接

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60673142); 电子科技大学青年教师科研基金资助项目(JX05031)

作者简介: 韩春燕(1969-), 女, 讲师、硕士, 主研方向: 软件工程; 陈 渝, 讲师、硕士; 易发胜, 讲师、博士

收稿日期: 2008-04-14 **E-mail:** han@kdntc.cn

收方收到需要确认的要求后立即确认,避免了延迟ACK带给发送方的判断误差且极大减少了ACK数量。因此,在无线自组网中采用按需确认机制可以获得更好的性能。

3 无线自组网中的按需确认机制

3.1 Ad hoc 中 TCP 延迟确认的问题分析

为了减少无线TCP的ACK数量,很多算法^[1,4,6]都采用在接收方根据接收报文的时间间隔自适应判断作出确认的时机。在无线自组网中,这些方案存在如下问题:(1)由于链路状态的变化,同一个窗口中的不同报文在传输过程中,传输带宽可能出现很大变化,使得传输时间间隔出现变化,导致接收方作出错误判断而无法正确给出希望的延迟ACK;(2)由于主机移动造成数据报文传输路径的变化,导致各个报文传输时间间隔变化很大,会影响接收方按希望的目标作出确认。不同确认机制的对比如图1所示。

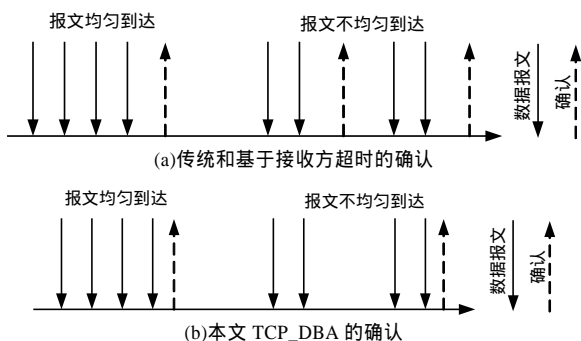


图1 不同确认机制的对比

根据发送方要求的按需确认机制能很好地处理此问题。本文用 TCP_DBA 表示按需确认的 TCP 机制。因为在 TCP_DBA 中,接收方只是按发送方的要求进行确认,所以不存在由链路变化(链路带宽和路径变化)引起的报文间隔;而接收方的及时确认便于发送方正确估计带宽,从而合理计算发送窗口大小。由图1可以看到,TCP_DBA 能很好地适应报文间隔具有较大变化的情况。

3.2 TCP_DBA 在 Ad hoc 中的算法

根据文献[1]的分析,在无线自组网这种共享介质的网络中,最好在发送方发送完一个发送窗口中的所有报文后,由接收方给出一个确认,从而最大限度减少ACK和传输的数据报文争用共享介质而降低TCP吞吐量的情况。因此,在TCP_DBA中,可以让发送方在发送了发送窗口的最后一个报文后,设置需要确认标记并启动定时器,要求接收方立即确认。

接收方收到报文后检查该标记,判断是否需要立即确认,如果是,则立即给出一个确认。如图2所示,发送方根据收到ACK的时间,可以知道准确的往返时延,从而更精确地估计链路带宽,使不同TCP算法可以精确调整发送窗口的大小。另外,此方式可以让TCP在启动阶段快速增加拥塞窗口大小,而以前的算法都会在接收方延误一定时间才确认,导致TCP启动阶段不能快速达到最高吞吐量。

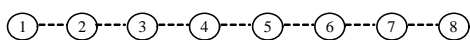


图2 链状网络拓扑

具体算法如下:

(1)发送方在发送了最后一个报文后,添加需要确认的标记,这个标记可以添加到TCP首部的保留位中。对不支持按

需确认的TCP,可以按正常的TCP协议工作,具有良好的兼容性。考虑到发送请求确认的报文或ACK可能丢失,在发送方必须设定定时器超时值,以便于重发。从建立TCP连接开始,发送方记录每次正确确认的往返时延值 τ_i ,发送方利用式(1)来决定定时器超时值。

$$\delta_{i+1} = \alpha\delta_i + (1-\alpha)\tau_{i+1} \quad (1)$$

其中, α 是平滑系数, $0 < \alpha < 1$; δ 表示对下一次超时值的估计值,发送方根据这个估计值很容易确定超时值(可以参照当前TCP发送方timeout的计算方法)。若发送方出现定时器超时,则发送方重发第一个报文,然后重新启动定时器,降低发送窗口大小(类似当前TCP的处理)。

(2)接收方需要知道在什么时候进行确认操作。正常情况下,若收到请求确认的标记则立即确认。而如果携带确认的报文丢失了,接收方也要能够判别并发送出确认。因此,接收方必须计算超时确认的时间。计算方法可以借鉴文献[1,6],设 θ_i 表示接收方接收到相邻2个报文的时间间隔,可以利用式(2)估算下一个相邻报文需等待的时间 β ,即

$$\beta_{i+1} = \alpha\beta_i + (1-\alpha)\theta_i \quad (2)$$

其中, α 是平滑系数, $0 < \alpha < 1$; $\beta_i = \theta_i$ 。

接收方根据式(3)来判断是否需要超时发送确认报文。

$$timeout = (2+k)\beta_{i+1} \quad (3)$$

在上述方法中, k 必须取得足够小,以保证确认尽量及时,提高吞吐量;而在本文方案中, k 可以取得大些,因为它只在异常(报文丢失)情况下起作用。取较大 k 值的好处在于,如果一个窗口的报文在链路带宽或路径发生突然变化时,接收方不会错误判断一个发送窗口的报文传输结束。而在一些意外情况下,及时确认可以改进滑动窗口的效率,不同情况对发送方重发报文的要求不同,具体如下:

(1)当接收方收到不连续的报文时,要立即发送一个需要重传报文的RACK,使发送方收到后可以实现快速重发。笔者在TCP首部保留的3位中选择1位用于接收方指示发送方快速重发。

(2)若接收方向对方发送数据报文,则可以捎带ACK,让发送方尽快释放发送窗口占用的缓冲区空间。

(3)若接收方收到重复报文(窗口外报文)则要求强制ACK。这主要是因为确认丢失造成重发,需要根据滑动窗口规定进行确认。

根据上述情况,发送方收到确认后的动作有如下3种:

(1)收到需要的确认时,释放全部报文,根据拥塞窗口算法得到新的窗口值,发送新窗口的所有报文,并对最后一个报文设置需要确认标记;(2)收到其他正常确认但不是设定需要的确认时,释放确认号前的报文,而不发送新的报文;(3)收到RACK时,释放确认号前的报文,重发确认号后的一个报文,并根据算法调整拥塞窗口大小。

4 算法仿真与分析

本文使用NS2作为仿真工具,对改进的滑动窗口协议算法进行了分析。NS2是Berkeley大学开发的仿真平台。仿真采用的网络拓扑结构是如图2所示的链状无线网络。

在图2中,共有8个节点构成一个具有7跳的链状网络。每个节点一开始都保持150m间距,信道带宽2Mb/s,信道延迟50 μ s,传输距离250m,干涉范围500m。为了比较不同TCP算法的吞吐量,对本文TCP_DBA算法和文献[4]的TCP_DAA算法进行仿真分析,采用FTP协议,报文大小为

1 000 B，每次仿真进行 100 s。

笔者测量了不同节点之间传输数据的吞吐量和每秒产生的 ACK 报文数量，具体如下：

(1)使各个节点保持不动，避免其他流量干扰和 RTT 的变化。图 3 显示了在此情况下测量得的吞吐量，可以发现，TCP_DBA 的吞吐量总是高于 TCP_DAA。这是因为 TCP_DBA 基本以一个发送窗口的数据要求一个 ACK，而 TCP_DAA 最大要求 4 个报文一个 ACK。信道错误经常导致两者的发送窗口大小保持在 4 个报文以内，特别在跳数增加、RTT 增加时更明显，因此，两者的吞吐量随跳数的增加而变得接近。图 4 显示了不同情况下的 ACK 报文数量的变化，可以看到，TCP_DBA 的 ACK 数量比 TCP_DAA 少。这是因为 TCP_DBA 总是一个发送窗口的数据发送完成之后才发送一个请求确认的标记，这时接收方给出一个累计确认。而 TCP_DBA 的平均确认数据报文数量达 6 个左右。同时，随着跳数的增加 2 种 TCP 算法的 ACK 比例都不断提高，这是因为跳数的增加导致很多数据报文延迟和出错的几率增加，从而产生了很多异常情况 ACK。

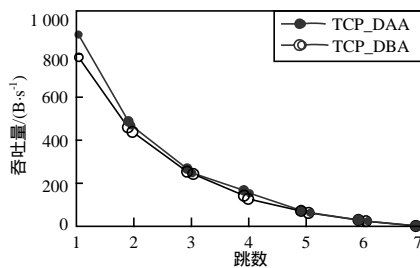


图 3 静态情况下吞吐量的比较

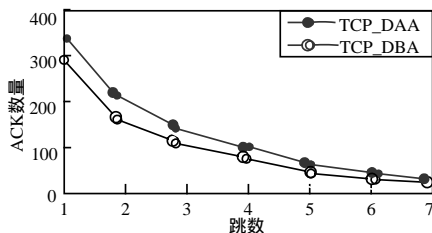


图 4 静态情况下每秒产生 ACK 数量比较

(2)修改仿真条件，让各个节点在 50 m 范围内随机移动，这将改变相邻节点之间的带宽，导致 RTT 的随机变化。图 5 和图 6 分别是在节点移动的情况下，TCP_DBA 和 TCP_DAA 的吞吐量和 ACK 数量。

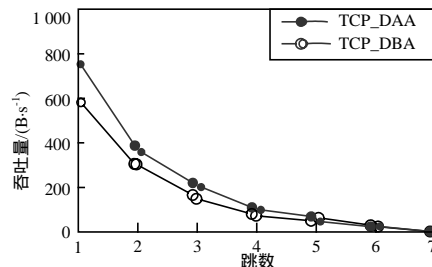


图 5 动态情况下吞吐量的比较

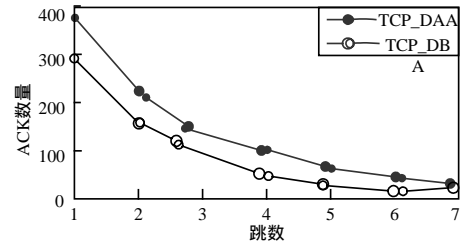


图 6 动态情况下每秒产生 ACK 数量比较

由图 5 可以发现，节点的移动使 TCP_DAA 吞吐量下降了很多，而 TCP_DBA 的吞吐量虽然也有下降，但并不多。由图 6 可以发现，TCP_DBA 产生的 ACK 数量比 TCP_DAA 少很多。

对比图 3 和图 5、图 4 和图 6，可以发现在无线网络处于移动状态时，TCP_DBA 具有更好的吞吐量和更少的 ACK 数量。这说明 TCP_DBA 的适应性较强，更能适应移动网络环境，验证了上述分析。

5 结束语

本文分析了无线自组网中关于 TCP 协议的问题，TCP 数据报文的确认报文占用无线共享信道，严重影响了无线网络的性能。通过对比几种减少 ACK 数量的无线 TCP 方案，指出一些现有无线 TCP 方案的不足，根据目前 TCP 的应用环境，结合文献[5]提出的基于按需确认的 TCP 协议改进算法，笔者研究了 TCP_DBA 算法在无线自组网中的算法适应性和传输性能。

仿真分析结果表明，该算法对无线自组网络有很好的适应性。与其他算法相比，在动态网络环境中，TCP_DBA 算法具有更好吞吐量、所需确认数量更少，保持了良好的数据传输效率，提高了整体网络性能。

参考文献

- [1] Singh A K, Kankipati K. TCP-ADA: TCP with Adaptive Delayed Acknowledgement for Mobile Ad Hoc Networks[C]//Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2004.
- [2] Paxson V, Allman M, Dawson S, et al. Known TCP Implementation Problems[S]. IETF, RFC 2525, 1999.
- [3] Paxson V. Measurements and Analysis of End-to-end Internet Dynamics[D]. California, USA: UC Berkeley, 1996.
- [4] Oliveira R D, Braun T. A Smart TCP Acknowledgment Approach for Multihop Wireless Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2007, 6(2): 192-205.
- [5] 易发胜, 夏梦芹. 一种按需确认的 TCP 协议改进算法[J]. 计算机科学, 2006, 33(5): 77-80.
- [6] Jimenez T, Altman E. Novel Delayed ACK Techniques for Improving TCP Performance in Multihop Wireless Networks[C]//Proc. of Personal Wireless Communications Conference. Berlin, Germany: [s. n.], 2003.