

# 基于往返延迟抖动区分丢包的 TCPW 改进

冯 伟, 陈元琰, 王 斌, 胡 愚

(广西师范大学 计算机科学与信息工程学院, 广西 桂林 541004)

**摘 要** :针对 TCP Westwood (TCPW)在高误码率无线网络环境下不能区分无线丢包和拥塞丢包的问题,提出了一种基于往返延迟抖动区分丢包的 TCPW 改进协议,称之为 TCPW BJ。它根据测得的往返延迟抖动划分拥塞等级,区分无线丢包和拥塞丢包,并根据拥塞等级进行相应的拥塞控制。仿真结果表明,TCPW BJ 算法在高误码率无线网络中,显著提高了带宽利用率和吞吐量,并保持良好的公平性与友好性。

**关键词** :往返延迟抖动; 误码率; 区分丢包; 无线丢包; 拥塞丢包

**中图分类号** :TN915.04 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-7024 (2011) 04-1203-04

## TCPW improvement based on round-trip delay jitter loss differentiation

FENG Wei, CHEN Yuan-yan, WANG Bin, HU Yu

(Department of Computer Science and Information Engineering, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

**Abstract** : In high bit error rate wireless network environment TCP Westwood (for short TCPW) could not differentiate the wireless packet losses from the congestion packet losses. So, a new TCP scheme called TCPW BJ is proposed, which is based on round-trip delay jitter loss differentiation and is a revision of TCP Westwood. It divided network status into different congestion levels by the measured round-trip delay jitter. According to congestion levels, it differentiated the wireless packet losses from the congestion packet losses and carried on the appropriate congestion control. The experiments show that in high bit error rate wireless networks TCPW BJ algorithm significantly improves bandwidth utilization and throughput, and maintains the fair and friendly behavior with respect to other TCP flows.

**Key words** : round-trip delay jitter; bit error rate; loss differentiation; wireless packet losses; congestion packet losses

## 0 引 言

传统的TCP协议难于适应无线网络的主要原因是它认为一切丢包都是由网络拥塞引起的。而在无线网络中,无线链路随机错误也能引起丢包。因此,如何区分丢包原因成为了对传统TCP协议改进的一个研究热点。目前典型的适于无线网拥塞控制改进协议是TCPW协议<sup>[1]</sup>,它通过在发送端监测返回ACK的时间间隔来估计端到端链路上的可利用带宽。当拥塞发生时用带宽估计调整拥塞窗口和慢启动阈值,采用和式增加适度减少AIAD(additive increase adaptive decrease)拥塞控制机制。它在一定程度上消除了无线丢包的影响,提高了无线链路的带宽利用率和吞吐量,具有良好的公平性和友好性。但它不能区分无线丢包和拥塞丢包,在高误码率的情况下无线丢失被误认为拥塞丢失,频繁调用拥塞控制机制,明显降低了带宽的利用率和吞吐量。

针对TCPW不能区分丢包原因的问题,研究人员提出了

很多改进方案。文献[2]提出一种基于ECN机制的改进TCPW算法,通过中间节点标记拥塞划分网络的拥塞等级判断丢包类型。文献[3]根据队列长度来区分丢包原因。文献[4]提出了一种自适应丢包区分方法,通过动态调节与队列的丢包特征相匹配的模式,保证丢包区分的准确率。文献[5]引入fuzzy模型,即采用条件概率构造不同丢包模式下的隶属度函数,然后按照隶属度原则进行丢包区分。本文借鉴上述文献划分等级和模糊控制的思想,采用实时测量的往返延迟抖动将网络状态进行细粒度划分,以区分丢包并采取相应的调整策略,对TCPW协议进行修改,提出了一种新的改进算法TCPW BJ(TCP westwood based jitter),旨在克服TCPW不能区分丢包原因的缺陷,提高TCPW在高误码率无线网络中的性能。

## 1 往返延时抖动的测量及拥塞等级的划分

一个数据报的往返延时(RTT)可以分为3个部分:传送延时、传播延时和排队延时。如果所有的包都通过相同的路由

收稿日期:2010-04-22;修订日期:2010-06-22。

基金项目:广西自然科学基金项目(0728099);广西研究生教育创新计划基金项目(2010106020821M61)。

作者简介:冯伟(1985-),男,湖北枝江人,硕士研究生,研究方向为计算机网络拥塞控制;陈元琰(1961-),男,福建仙游人,博士,教授,研究方向为计算机图形学、计算机网络;王斌(1985-),男,安徽芜湖人,硕士研究生,研究方向为计算机网络拥塞控制;胡愚(1985-),男,河北固安人,硕士研究生,研究方向为计算机网络拥塞控制。E-mail:liushaangel@126.com

到达接收端,然后返回到发送端,且包的大小相同,则传送延时和传播延时均相同。由此可知往返延迟的变化取决于排队延时的变化。显然,往返延迟抖动反映的是排队延时的变化。排队延时的变化表明了链路的拥塞程度。因而往返延迟抖动在很大程度上反映了网络的状态。所以本文采用往返延迟抖动预测网络状态,然后根据预测将网络拥塞程度划分为不同的拥塞等级。

### 1.1 往返延迟的测量

为了计算往返延迟抖动,我们首先要计算往返延迟。当前测量 RTT 值的版本很多<sup>[6-8]</sup>,本文采用超时重传定时器的方法来预测往返延迟。算法的伪代码如下

$$srtt_{k+1} = a \cdot srtt_k + (1-a) \cdot rtt_{k+1}$$

$$serr_{k+1} = rtt_{k+1} - srtt_k$$

$$D_{k+1} = b \cdot D_k + (1-b) \cdot |serr_{k+1}|$$

$$RTO_{k+1} = srtt_{k+1} + c \cdot D_{k+1}$$

式中:  $srtt$ ——RTT 的指数加权滑动平均值,  $serr$ ——期望值与观察值之差,  $D$ ——被平滑过的偏差变量,  $RTO$ ——超时定时器。它是将估计的平均偏差的倍数加到  $srtt$  上来形成重发定时器。基于实验各常数取以下值  $a = 1/8$   $b = 1/4$   $c = 4$ 。

### 1.2 往返延迟抖动的测量

在计算出往返延迟之后,我们采用下面的公式计算往返延迟抖动的测量值

$$j_{sample}(k) = rtt_k - rtt_{k-1}$$

式中:  $j_{sample}(k)$ ——第  $k$  个往返延迟抖动测量值,  $rtt_k$ ——第  $k$  个往返延迟。为了提高往返延迟抖动的准确性,我们根据 TCP 定义描述<sup>[9]</sup>,对往返延迟抖动用如下公式进行估算

$$j_k = \partial \cdot j_{k-1} + (1-\partial) \cdot j_{sample}(k) \quad (1)$$

式中:  $j_k$ ——第  $k$  个往返延迟抖动的估计值,  $j_{sample}(k)$ ——第  $k$  个测量值,  $\alpha \in [0, 1]$   $\alpha$  的推荐值是 0.125。由式(1)可知,若  $\alpha$  取值较小,则  $j_k$  取决于  $j_{sample}(k)$ ;反之则  $j_k$  取决于  $j_{k-1}$ 。

根据文献[10],在变化较大的网络下采用固定的  $\alpha$  很难得到准确的往返延迟抖动估计值。由上述对等式(1)的分析可知,较小的  $\alpha$  适于瞬时快速变化的网络,较大的  $\alpha$  适于网络状态稳定的网络。为此,本文结合两者的优点,提出一种动态更新  $\alpha$  的算法。它在网络快速变化时,使用较小的  $\alpha$ ;在网络稳定时,使用较大的  $\alpha$ 。从而确保往返延迟抖动估计值的准确性。

### 1.3 拥塞等级的划分

本文使用网络拥塞标识 NCI(network congestion indicator)对网络拥塞程度进行细粒度划分。NCI 具体含义是往返延迟抖动与某一常量( $T$ )相差的比例,即  $NCI = (j(k) - T)/T$ 。其中常量  $T$  为 0.5ms,是由仿真实验所得的经验值。本文根据 NCI 的值将网络拥塞程度具体划分为 5 个等级,如表 1 所示。

## 2 TCPWBJ 算法改进

当拥塞等级小于 4 时,证明网络状况较好,拥塞可能性小,如果此时发生了丢包,则认为是无线丢包;当拥塞等级大于等于 4 时,证明网络出现拥塞,则认为丢包是拥塞丢包。同时,根据不同的网络拥塞程度采取不同的拥塞控制。当拥塞等级等于 1 和 2 时,网络利用率低下,将增加因子分别设置为 1.2 和 1.1,使得网络尽可能快的高效的利用网络资源;当拥塞等

表 1 拥塞程度等级划分

NCI 值的范围	(-∞, -4)	(-4, -1)	[-1, 0.5]	(0.5, 1)	(1, +∞)
网络拥塞等级	1	2	3	4	5
网络拥塞程度	网络严重欠载	网络轻微欠载	网络负载正常	网络轻度拥塞	网络严重拥塞

级等于 3 时,网络处于正常状态,将增加因子恢复为默认值;当拥塞等级等于 4 时,网络轻度拥塞,执行适当拥塞避免,并适当减缓窗口增长率;当拥塞等级等于 5 时,网络严重拥塞,执行拥塞避免,并更大幅度地减缓窗口增长率。当拥塞等级小于 4 时发生超时,重传丢失的分组;当拥塞等级为大于 3 时发生超时,进入慢启动。具体的算法伪代码描述如下:

(1)每次收到一个新数据段的 ACK 后,计算往返延迟抖动的估计值

```

if(NCI < -4){
    increase_num_ = 1.2; //将增长因子设置为 1.2
    grade_ = 1; //网络严重欠载,拥塞等级设为 1
}
if(-4 < NCI < -1){
    increase_num_ = 1.1; //将增长因子设置为 1.1
    grade_ = 2; //网络轻微欠载,拥塞等级设为 2
}
if(-1 < NCI < 0.5){
    increase_num_ = 1.0; //将增加因子恢复为默认值 1.0
    grade_ = 3; //网络正常,拥塞等级设为 3
}
if(0.5 < NCI < 1){
    grade_ = 4; //网络轻度拥塞,拥塞等级设为 4
    dec_ = 0.8; //将拥塞避免阶段的增长因子设置为原值的 0.8
}
if(NCI > 1){
    grade_ = 5; //网络严重拥塞,拥塞等级设为 5
    dec_ = 0.6; //将拥塞避免阶段的增长因子设置为原值的 0.6
}

```

(2)在超时之前收到 3 个重复 ACK 后

```

if(拥塞等级为 1 或 2 或 3)
    认为是无线丢包,快速重传,快速恢复;
if(拥塞等级为 4)
    认为是拥塞丢包,慢启动或拥塞避免;
ssthresh_ = (int)(ssthresh/2);
if(cwnd_ > ssthresh_){cwnd_ = (cwnd_ + ssthresh)/2;}
if(拥塞等级为 4)
    认为是拥塞丢包,慢启动或拥塞避免;
ssthresh_ = (int)(ssthresh);
if(cwnd_ > ssthresh_){cwnd_ = cwnd_ * 0.6;}

```

(3)超时

if(拥塞等级为 1 或 2 或 3)  
快速重传;  
if(拥塞等级为 4 或 5)  
慢启动;

3 仿真实验与分析

本文采用了 NS2 仿真平台对 TCP 版本 Newreno、TCPW 版本 Newreno(TCPWNR)以及 TCPW BJ 在无线链路上进行了仿真。实验网络采用传统的哑铃型拓扑结构,如图 1 所示。网络相关参数:主机到路由器链路的速率均为 100mbps,1ms 传播时延,分组大小为 1000Bytes。瓶颈链路的速率为 5mbps,10ms 的时延,使用 droptail 队列机制,无线丢失率为 0.01~0.05 不等,路由器的缓存大小为 62,模拟时间为 100s。

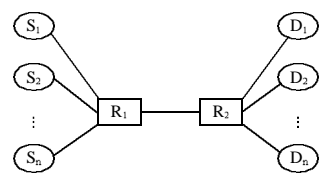
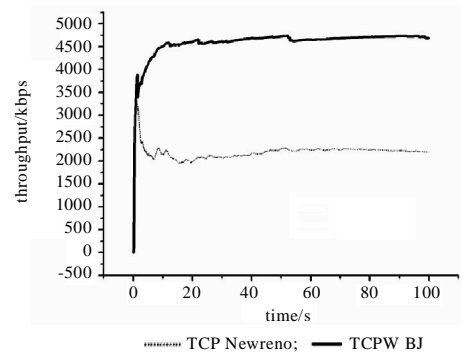


图 1 哑铃拓扑结构

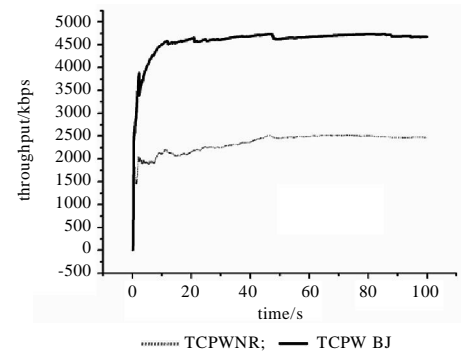
实验 1 不同误码率(0.01~0.05)下平均吞吐量测试。如表 2 所示,在高误码率无线网络中 TCPW BJ 的平均吞吐量显著高于 TCP Newreno 和 TCPWNR 的平均吞吐量。在误码率为 1%时,TCPW BJ 的平均吞吐量比 TCP Newreno 的平均吞吐量提高了 113.9%,比 TCPWNR 的平均吞吐量提高了 94.5%。随着误码率的不断增加,TCPW BJ 的平均吞吐量相对于 TCP Newreno 和 TCPWNR 的平均吞吐量提高的比率越来越大。显然,这是因为 TCPW BJ 能够很好地区分无线丢包和拥塞丢包的结果。TCPW BJ 分别与 TCP Newreno 和 TCPWNR 在误码率为 1%时的平均吞吐量的比较如图 2 所示。

实验 2 公平性测试。本文采用 3 个发送端和 3 个接收端,同时发送数据,统计每个流的吞吐量,使用 Jain 公式<sup>[2]</sup>计算其公平性指数,其公式为  $F(x) = (\sum x_i)^2 / (n \sum x_i^2)$ ,其中 n 表示流的个数, $x_i$  表示某连接或流的平均吞吐量, $F(x)$  越接近 1,公平性越好。不同误码率(0.01~0.05)下 TCP Newreno、TCPWNR 和 TCPW BJ 的公平性的对比如图 3 所示,可以看出,在不同误码率下 3 种协议均具有良好的 RTT 公平性。

实验 3 友好性测试。本文采用 2 个发送端和 2 个接收端,分别建立一条 TCP Newreno 流和一条 TCPW BJ 流,共享 5M 的无线瓶颈链路。在不同误码率(0.01~0.05)下 TCPW BJ 对 TCP Newreno 的友好性如表 3 所示。虽然 TCPW BJ 的平均吞吐量要远高于 TCP Newreno 的平均吞吐量,但通过对比表 2 和



(a) TCPW BJ 与 TCP Newreno 平均吞吐量的比较



(b) TCPW BJ 与 TCPWNR 平均吞吐量的比较

图 2 在误码率为 1%时 TCPW BJ 分别与 TCP Newreno 和 TCPWNR 的平均吞吐量的比较

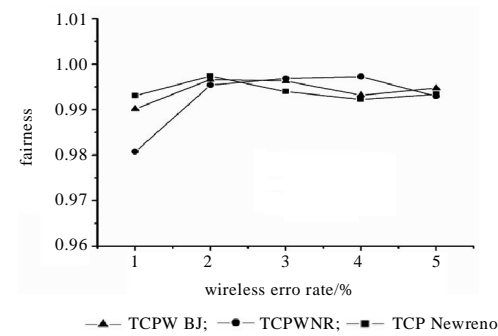


图 3 不同误码率下 TCP Newreno、TCPWNR 和 TCPW BJ 公平性的对比

表 3 我们发现随着误码率的增加 TCP Newreno 的平均吞吐量并没有发生较大的变化,所以 TCPW BJ 对 TCP Newreno 的友好性是随误码率的递增而增强的。误码率为 0.01 时 TCP Newreno 流和 TCPW BJ 流竞争瓶颈链路平均吞吐量的比较如图 4 所示,TCPW BJ 对 TCP Newreno 保持了友好性。

表 2 不同误码率下 TCP Newreno、TCPWNR、TCPW BJ 平均吞吐量的比较 (kb/s)

误码率	1%	2%	3%	4%	5%
TCP Newreno	2183.32	1326.846	1005.086	815.9977	655.3013
TCPWNR	2401.063	1421.651	1015.678	809.128	676.8222
TCPW BJ	4670.237	3978.395	3229.395	2493.507	2122.144
增加比例(较 TCP Newreno)	113.9%	199.8%	221.3%	205.6%	223.8%
增加比例(较 TCPWNR)	94.5%	179.8%	218.0%	208.1%	213.5%

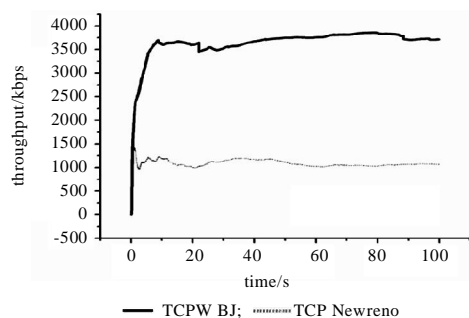


图4 误码率为0.01时TCPW BJ与TCP Newreno竞争瓶颈链路平均吞吐量的比较

表3 不同误码率下TCP Newreno流和TCPW BJ流竞争瓶颈链路平均吞吐量的比较(kb/s)

误码率	1%	2%	3%	4%	5%
TCP Newreno	1090.167	1130.602	972.224	804.586	690.672
TCPW BJ	3745.315	3311.556	3071.122	2556.184	2170.197

通过仿真结果的分析：在高误码率无线网络环境下，TCPW BJ算法能够有效区分无线丢包和拥塞丢包，显著地提高了TCPW端到端的吞吐量，并且保持了良好的公平性和友好性。

#### 4 结束语

在高误码率无线网络环境下TCPW不能区分无线丢包和拥塞丢包，因而其性能受到了严重影响。为此，本文提出了一种新的TCPW改进算法。它通过测得的往返延迟抖动预测网络所处的状态，然后根据所预测的网络状态区分丢包原因，从而采取不同的拥塞控制策略。它极大地改善了高误码率无线网络环境下链路的利用率和吞吐量，并且具有良好的公平性

和友好性。

#### 参考文献：

- [1] Gerla M, Ng BKF, Sanadidi M Y, et al. TCP westwood with adaptive bandwidth estimation to improve efficiency/friendliness tradeoffs[J]. Computer Communications, 2004, 27(1): 41-58.
- [2] 张军洲, 陈元琰, 罗晓曙, 等. 高误码率无线环境的 TCPW 改进算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(9): 122-124.
- [3] 邓晓衡, 陈志刚, 张连明, 等. TCP Yuelu: 一种基于有线/无线混合网络端到端的拥塞控制机制 [J]. 计算机学报, 2005, 28 (8): 1342-1350.
- [4] 叶进, 王建新, 龚浩. 无线/有线网络中基于自适应丢包区分的 TCP 改进[J]. 通信学报, 2007, 28(5): 15-21.
- [5] 苏放, 范英磊. 一种基于 Fuzzy 丢包区分的 TCP 拥塞控制算法 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(8): 1904-1911.
- [6] Xu L, Harfoush K, Rhee I. Binary increase congestion control for fast long distance networks [C]. HongKong: Proceedings of the IEEE INFOCOM, 2004: 2514-2524.
- [7] Injong Rhee, Xu Lisong, CUBIC: A new TCP-friendly high-speed TCP variant [EB/OL]. <http://www.csc.ncsu.edu/faculty/rhee/export/bitcp/cubic-paper.pdf>, 2005.
- [8] Leith D, Shorten R. H-TCP: TCP for high-speed and long-distance networks [EB/OL]. <http://www.hamilton.ie/net/research.htm>, 2004.
- [9] RFC 793, Transmission control protocol specification [S].
- [10] Natsuki Itaya, Shoji Kasahara, Kenji Sugimoto. Sample available-bandwidth estimation for TCP in wired-wireless network: Performance evaluation of web document transmission [J]. Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 2002, 102(694): 233-305.

(上接第 1164 页)

#### 4 结束语

本文在遵循企业整合架构设计原则上，提出了一种轻量级的 SOA-ESB 企业整合架构，重点分析了架构中 ESB 总线层的传输适配、内容路由、消息安全等关键技术，实现了整合系统数据交互的统一性、灵活性、可靠性等特点。经实践证明，采用该整合架构的系统，能够松散耦合得把异构系统连接到 ESB 总线上，提高其系统的重用性和数据交互的能力，为企业的发展带来更高的效益，同时也为系统开发人员带来便利。

#### 参考文献：

- [1] 张启文, 徐琪. 基于 SOA 和 ESB 的供应链快速响应系统集成研究[J]. 计算机应用, 2009, 29(9): 2523-2526.
- [2] 曾文英, 赵跃龙, 齐德昱. ESB 原理、构架、实现及应用[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(25): 225-228.
- [3] 刘贤梅, 刘茜, 徐锋. 基于 SOA 的企业应用集成模型的研究[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(16): 3790-3793.

- [4] 单建洪, 卢中延. SOA 整合之道 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 168-170.
- [5] Schmidt M T, Hutchison B, Lambros P, et al. The enterprise service bus: Making service-oriented architecture real [J]. IBM Systems Journal, 2005, 44(4): 781-797.
- [6] 边小凡, 代艳红, 马兵会. 基于 ESB 的企业内部构件与 Web 服务的集成 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(4): 918-924.
- [7] 陈莉, 张浩军, 祝跃飞. XKMS 的应用研究 [J]. 计算机应用研究, 2006, 23(1): 116-118.
- [8] 陈传波, 徐峰, 陈世雄. 基于 XML 的 SOAP 消息的安全研究 [J]. 计算机工程与科学, 2004, 26(8): 1-3.
- [9] 邵欢庆, 康建初. 企业服务总线的应用 [J]. 计算机工程, 2007, 33(2): 220-222.
- [10] 李晓东, 杨扬, 郭文彩. 基于企业服务总线的数据共享与交换平台 [J]. 计算机工程, 2006, 32(21): 217-223.
- [11] 丛林, 杨扬, 郭文彩, 等. 基于企业服务总线的内容管理系统的研究应用 [J]. 计算机应用研究, 2007, 24(1): 255-257.