

基于模糊控制的 ad hoc 网络 TCP 算法研究

李丽君¹, 刘鸿飞^{2,3}, 张仔兵³, 杨祖元²

LI Li-jun¹, LIU Hong-fei^{2,3}, ZHANG Zi-bing³, YANG Zu-yuan²

1.重庆工学院 数理学院, 重庆 400050

2.重庆大学 自动化学院, 重庆 400044

3.重庆通信学院, 重庆 400035

1.School of Mathematics and Sciences, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China

2.College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China

3.Chongqing Communication College, Chongqing 400035, China

LI Li-jun, LIU Hong-fei, ZHANG Zi-bing, et al. Research of improving TCP algorithm based on fuzzy control in mobile ad hoc networks. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(18): 124-126.

Abstract: TCP is a transport protocol formally designed for the wired network and it is known to suffer from performance degradation in mobile wireless environment. In this paper, the authors propose modifications to the congestion avoidance mechanism of the TCP Vegas to overcome these limitations. The solution is depended on average and variance of round trip time, TCP data sender may utilize different congestion avoidance algorithms to optimize congestion window size, aims is to improve ad hoc network throughput. Simulation results show the algorithm is able to overcome several of the identified problems—it can obtain more throughput than TCP Reno and TCP Vegas.

Key words: MANETs; transmission control protocol; instability; round trip time

摘要: TCP 协议是针对固定可靠网络设计的一种传输协议, 它把数据包丢失或延迟的原因都归结为网络拥塞。在移动自组网上直接应用 TCP 协议, 网络性能会因比特出错率高等原因大幅下降。针对无线自组织网络高误码的基本特征, 基于 TCP Vegas 协议和环回时间的均值和方差改变趋势, 采用不同的控制策略调节发送端的数据发送速率, 从而优化传输控制协议的吞吐量, 提高网络资源的利用率。仿真研究结果表明, 与传统的传输控制协议相比, 该算法具有更高的吞吐量和稳定的拥塞控制窗口。

关键词: 移动自组织网络; 传输控制协议; 不稳定性; 环回时间

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.18.039 **文章编号:** 1002-8331(2008)18-0124-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TN915.04

1 引言

TCP(Transmission Control Protocol)^[1,2]是一种面向连接的可靠数据传输协议, 最初是针对有线网络设计的。由于有线网络链路可靠性高, 数据发送端认为包的时延增加或者丢失是由网络拥塞所致。但在移动自组织网络(mobile ad hoc networks, MANETs)中, 链路的高误码率和节点移动均会导致丢包, 多路径路由和节点移动切换等会导致乱序, 基于有线网络的 TCP 没有考虑这些非拥塞导致的丢包因素。因此, 如果不加改进地把传统 TCP 应用于 MANETs 中, 它会把非拥塞因素也当作是网络拥塞标志, 从而错误地进入拥塞控制, 导致 TCP 性能大幅度下降^[3]。

近年来学术界已经提出了多种方法来改善移动自组织网络中 TCP 的性能。通过多种技术使发送端识别网络中的拥塞

丢包和非拥塞丢包^[4,5]。最具有代表性的是显式状态通知法^[6], 该方法或者依靠来自沿 TCP 连接的转发节点的信息, 或者通过链路层将状态信息作为 TCP 的选项捎带在 TCP 确认 ACK 包中发送回发送端, 显式地通知发送端链路产生了拥塞或者非拥塞造成的丢包, 发送端根据具体的网络状态信息决定是启动拥塞控制算法还是采用新的处理机。这类方法为了让发送端觉察到丢包的本质原因, 需要修改中间结点和发送端的 TCP 协议, 与现有的传输控制协议存在兼容性和公平性问题, 同时该方法存在较大的安全隐患^[6]。

C Liang^[8]等人利用模糊逻辑理论对 TCP 发送端接收到的反馈信息进行有效的处理, 判断出当前网络所处的状态, 从而指导发送端采用何种发送策略。该方法只需要在发送端增加模糊控制器, 简单易行。

基金项目: 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60573001); 重庆市自然科学基金(the Natural Science Foundation of Chongqing of China under Grant No.CSTC.2006BA6016); 重庆大学研究生科技创新基金(No.200701Y1A0030189)。

作者简介: 李丽君(1973-), 女, 讲师, 研究方向为理论物理、计算机仿真; 刘鸿飞(1973-), 男, 博士研究生, 讲师, 研究方向为移动自组网络、智能交通信息系统; 张仔兵(1968-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为通信与信息系统; 杨祖元(1974-), 男, 博士研究生, 讲师, 研究方向为智能交通与信息系统。

收稿日期: 2007-09-25 **修回日期:** 2007-11-30

首先简述 TCP Vegas^[5-7]协议, 介绍用于判断网络状态的 FEDM 算法^[8], 同时借鉴该算法思想提出一种采用不同传输策略的 TCP Vegas_M 算法, 以提高移动自组织网络在不同网络状态下的吞吐量性能, 最后通过仿真进行分析验证。

2 TCP Vegas 协议和 FEDM 算法

2.1 TCP Vegas 算法

TCP Vegas 算法利用期望吞吐量(*Expected*)和实际吞吐量(*Actual*)之间的差值(*Diff*)估算网络的可用带宽和拥塞程度, 如果 *Diff* 较小, 那意味着网络的运行情况良好, 此时可以增加拥塞窗口的大小; 如果 *Diff* 较大, 那意味着网络发生拥塞, 此时要减小拥塞窗口的大小, 具体方式如下:

(1) 计算数据流速率的期望值

$Expected = cwnd / base_RTT$, 其中 *cwnd* 表示当前传输窗口值, *base_RTT* 表示环回时间的最小值。

(2) 计算当前数据流速率的实际值

$Actual = cwnd / RTT$, 其中 *RTT* 表示分组传输经历的实际环回时间。

(3) 数据流速率期望值与实际值之间的差值

$Diff = (Expected - Actual) / base_RTT$

(4) 根据期望值与实际值之间的差值调整数据传输窗口值

if $Diff < \alpha, cwnd = cwnd + 1$;

if $Diff > \beta, cwnd = cwnd - 1$;

if $\alpha \leq Diff \leq \beta, cwnd = cwnd$;

根据 TCP Vegas 算法可知, 一旦拥塞窗口值收敛于一个平衡点, 数据发送速率将不会像 TCP Reno 协议那样剧烈波动。但是将该协议直接应用于 ad hoc 网络时, 并不能明显改善 TCP 性能。因为无线链路是开放的有损介质, 存在着多径衰落、阴影效应, 加之 MANETs 信道选用开放频段, 使得无线网络具有比特误码率(Bit Error Rate, BER)高, 这会导致数据包损害和丢失, 发送端会仅仅认为网络处于拥塞状态, 从而可能导致发送端频繁进入慢启动, 造成 TCP 性能降低。

另一个主要原因是移动自组织网络中节点之间的位置频繁改变使得网络的拓扑结构迅速改变, 从而造成比传统有线网络更多的路由重选问题, 而 TCP Vegas 是根据传播时延的最小值修改传输窗口值, 因此需要对该参数进行精确的估计, 但是频繁的路由重选问题使得该参数的精确性难以得到保证, 造成数据传输的速率与网络状态不匹配, 从而严重影响网络的吞吐量。为了简单起见, 本文主要讨论误码和拥塞丢包对 TCP 性能的影响, 其它影响 TCP 的因素将另文分析。

2.2 FEDM 算法描述

为了解决 TCP 发送端不能区分网络拥塞丢包、误码丢包问题, C Liang^[8]等人基于模糊逻辑提出了 FEDM 算法。该算法定义了节点跳数 NH(Number of Hops)和环回时间的增长速率 RR(RTT increase Rate)参数, 根据环回时间的均值和方差参数判断网络状态(拥塞或者误码), 从而基本可以解决传统的 TCP 发送端不能区分网络状态的问题。其基本思想如图 1 所示。

其模糊逻辑的输入参量为环回时间的均值和方差, 如下公式定义。

$$t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i; \quad \delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - t)^2$$

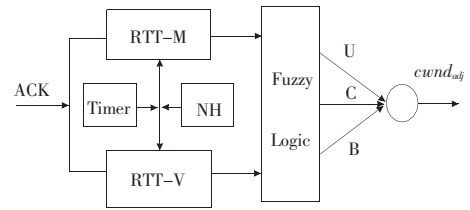


图1 基于模糊逻辑的 FEDM 结构

另外, C Liang 采用 Gaussian 成员函数作为模糊逻辑的输入成员变量, 如图 2、图 3 所示。具体的模糊运算规则和其他细节参见文献[8]。

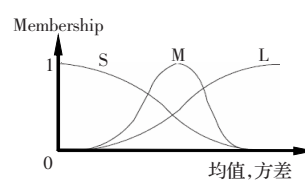


图2 环回时间隶属度函数

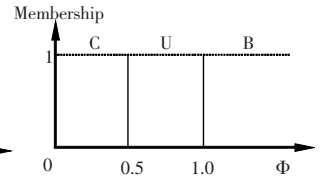


图3 输出模糊隶属度函数

虽然文献[8]利用模糊理论判断网络所处的状态, 但没有进一步提出具体的 TCP 改进策略, 更没有提出基于 TCP Vegas 的移动自组织网络改进协议。本文正是基于此提出 TCP Vegas_M 算法。

3 TCP Vegas_M 算法描述

在 TCP Vegas_M 算法中, 主要改进了 TCP Vegas 算法的拥塞避免机制, 而慢启动和拥塞恢复机制与 TCP Vegas 一致, 在此不重复讨论。

算法的基本思想是: (1) 保证 TCP 发送端数据发送速率的稳定性, 在网络的不同状态下对拥塞窗口的调节度不宜太大, 保持数据发送的平稳性。(2) 当无线链路的误码率较高时, 即使网络处于轻负载情况下, 数据发送端也需要降低发送速率, 从而避免过多的数据重传, 浪费宝贵的无线资源。(3) 提出的协议应该提高 TCP 发送端吞吐量和网络资源的利用率, 降低数据传输的时延。因此, 提出的拥塞避免算法如下:

算法 1 congestion

```
if diff < alpha {
    cwnd = cwnd + 1;
} else if alpha < diff < beta {
    cwnd = cwnd;
} else if diff > beta {
    cwnd = cwnd - 1; end if;
```

算法 2 bit error

```
if diff < beta {
    cwnd = cwnd + 1;
} else if diff > beta {
    cwnd = cwnd; end if;
```

算法 3 uncertain

```
if diff < alpha {
    cwnd = cwnd;
} else if diff > alpha {
    cwnd = cwnd - 1; end if;
```

当 FEDM 输出值为 *congestion* 时, 说明网络处于高负载状态, 因此 TCP 发送端应该减小数据的发送速率, 该算法与 TCP

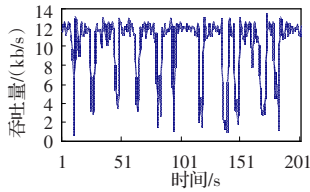


图5 TCP Reno 吞吐量

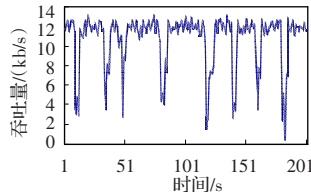


图6 TCP Vegas 吞吐量

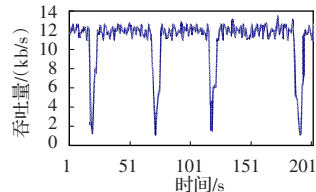


图7 TCP Vegase_M 吞吐量

Vegas 一致。当 FEDM 输出值为 uncertain 时,表示网络可能处于拥塞或者误码率大的不确定状态,在这种状态下也应该在一定条件下适当减小 TCP 发送端的数据发送速率。当 FEDM 输出值为 bit error 时,说明网络的资源还是比较充足,只是信道的状态较差,这时,也应该根据发送窗口值与理论值之间的关系调节 TCP 发送端速率。

4 仿真实验分析

为了验证算法的有效性,基于 UCB/LBNL 开发的网络仿真软件 ns2[®]对 TCP Vegas_M 进行仿真。由于本文没有考虑链路丢失问题,因此采用了静态的仿真拓扑结构,如图 4 所示,共 10 个节点,节点之间的间隔为 250 m,链路带宽为 2 Mb/s,并且采用 DSR 路由协议。为了比较算法的性能,同时对传统的 TCP Reno 和 TCP Vegas 协议进行仿真。



图4 仿真拓扑结构

首先,为了比较不同的传输控制协议在一定误码条件下的吞吐量性能,将信道的误码设置为 1%,且不采用其他数据包纠错机制。TCP 发送端的最大发送窗口值为 32,数据包的大小为 512 bit。图 5~图 7 分别表示了 3 种协议在 5 跳节点传输范围内各自的吞吐量情况。可以看出,基于 TCP Reno 和 TCP Vegas 协议的数据发送速率的波动性较大,其发送窗口值不断地在最大和最小值之间波动,而 TCP Vegas_M 更稳定。这是因为 TCP Reno 和 TCP Vegas 不能区分网络的丢包是由网络拥塞引起还是由误码引起,一概将丢包归结为拥塞丢包,从而减小发送窗口,从而导致吞吐量的降低。TCP Vegas_M 正好克服了这一问题,当 TCP 发送端检测出网络的丢包是由误码引起时,发送端并不过多减小发送窗口值,当然可以获得更好的吞吐量性能。

为了比较 3 种协议受到网络拥塞和信道误码共同影响下,发送端随着跳数增加时数据发送速率的变化情况,分别仿真 5、10 跳下的标准吞吐量性能,如图 8、图 9 所示。在信道错误概率较小的情况下,3 种算法的性能趋于一致,但是当信道误码

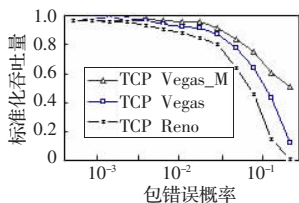


图8 5跳内的标准化吞吐量

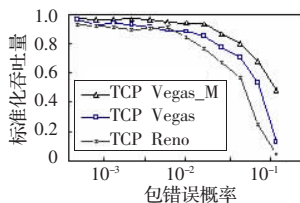


图9 10跳内的标准化吞吐量

率逐渐增大时,TCP Reno 和 TCP Vegas 的吞吐量急剧降低,这说明两种算法没有区分网络的拥塞丢包和误码丢包情况,仅仅将丢包归结为拥塞丢包,然后采用降低发送窗口值进行传输,导致吞吐量大幅度降低。相反,由于 TCP Vegas_M 根据不同的网络状态采取相应的传输控制窗口,因此能够克服误码丢包对 TCP 发送端的影响,使得发送端的吞吐量受误码丢包的影响较小,提高了网络资源的利用率。

5 结论

基于 FEDM 算法提出了适应移动自组织网络特点的传输控制协议-TCP Vegas_M。TCP 发送端根据网络的状态采用不同的拥塞控制算法调节数据发送速率,达到提高网络吞吐量的目的。仿真实验表明,该算法与传统的 TCP Reno 和 TCP Vegas 相比具有稳定 TCP 传输速率,提高网络吞吐量的优点。在下一阶段研究中,我们将研究改进 TCP Vegas_M 在更复杂的网络拓扑结构下的性能。

参考文献:

- [1] Li Xia,Chua K C,Kong P Y,et al.The impact of lossy links on tcp performance in IEEE802.11 based ad hoc Networks[C]//WCNC IEEE Communications Society,2005:1545-1550.
- [2] Gong C,Zhao Z,Wang G.Research of TCP Vegas congestion control algorithm in ad hoc networks[J].Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies,2005:644-648.
- [3] Fu Zheng-hua,Meng Xiao-qiao,Lu Song-wu.How bad TCP can perform in mobile ad hoc networks[C]//Proceedings of the Seventh International Symposium on Computers and Communications,2002:298-303.
- [4] de Oliveira R,Braun T.A delay-based approach using fuzzy logic to improve TCP error detection in ad hoc networks[J].WCNC IEEE Communications Society,2004:1666-1671.
- [5] Brakmo L S,Peterson L L.TCP Vegas:end to end congestion avoidance on a global.Internet[J].IEEE Journal on Selected Areas in Communications,1995:1465-80.
- [6] Singh A K,Iyer S.A.TCP:improving TCP performance over mobile wireless environments[C]//4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network,2002:239-243.
- [7] Hengartner U,Bolliger,J,Gross T.TCP Vegas revisited[C]//Proceedings IEEE Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies INFOCOM 2000,2000,3:1546-1555.
- [8] Cheng L,Marsic I.Fuzzy reasoning for wireless awareness[J].International Journal of Wireless Information Networks,2001:15-26.
- [9] The ns-2 Network Simulator[EB/OL].http://www.isi.edu/nsnam/ns/.