

一种基于 Ad hoc 网络的拥塞检测方法

印石林, 姚放吾

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:在移动 Ad hoc 网络中传输多媒体流会因为无线网络中诸如节点移动、网络拥塞、信道故障等各种复杂的网络事件而变得很具有挑战性和研究价值。如何区分各种不同的网络事件从而采取相应的对策是一大难题。在文中, 基于 TCP 友好协议 TFRC, 提出了一种检测网络事件的方法, 能够将网络拥塞事件和其他的网络事件区分出来, 从而能更好地应用于多媒体流的传输。最终通过 NS2 仿真来验证这种多参数的检测方法比起单一的端到端的检测方法具有更好的精确性, 能够更好地为多媒体流服务。

关键词:ad hoc; TFRC; 拥塞控制

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)06-0171-04

A Congestion Detecting Method Based on Ad hoc Network

YIN Shi-lin, YAO Fang-wu

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Since there are lots of complicated events such as nodes movement, network congestion, channel errors, the transmission of the real-time multimedia stream in the Ad hoc network is challenging and requires deep research. And how to distinguish all the different events and take actions is a big problem. In the paper, based on the TCP-friendly protocol TFRC proposed a method to observe the network congestion from other events so that this protocol can perform better in multimedia stream. Use the NS2 simulator to prove the advance of this multi-metric method to other single metric end-to-end method.

Key words: ad hoc; TFRC; congestion control

0 引言

通常情况下, UDP 协议被广泛地用于传输多媒体流, 但是由于 UDP 协议没有拥塞控制机制, 因此当网络发生拥塞时 UDP 流不像 TCP 流那样减少向网络发送的数据, 结果造成 TCP 流得到的网络带宽越来越少, UDP 流得到的网络带宽越来越多, 并最终导致网络带宽分配的严重不公平, 严重影响网络的质量^[1]。在 ad hoc 网络中, 节点的移动、故障以及链路的失效会引起网络拓扑的变化并可能导致重路由, 此外, 无线信道的传输错误率较高并且随时间动态变化, 这些都会引起分组的突然丢失和时延。

而为传统固定网络设计的 TCP 并没有考虑 ad hoc 网络的动态多跳特性。TCP 是基于链路的传输出错率非常低并且链路是准静态链路这一假设而设计的,

因此它无法区分网络拥塞、路由失效和链路错误造成的分组丢失, 而是将分组的丢失无一例外地看成是网络拥塞的结果, 从而启动拥塞控制过程: 超时重传未确认的分组, 重传定时器指数退避, 并且减少窗口大小, 甚至进入慢启动阶段, 这些都不是我们所希望看到的^[2]。因此, 为了提高 TCP 在无线环境下的性能, 目前已经提出了多种解决方法, TFRC 协议也是方法之一。

TFRC 全称是 TCP-Friendly Rate Control protocol, 是一种基于速率控制的单播传输协议, 它的提出是为了在与 TCP 流的竞争环境中保持友好性, 并使传输速率保持比较平稳, 因此更适合实时多媒体传输流^[3,4]。

TFRC 将 TCP 稳态时的平均速率计算公式作为拥塞控制公式, 其目的是使 TFRC 流与 TCP 流在相同环境下的抢占带宽的能力相同, 以达到与 TCP 协议的友好性。

其拥塞控制思想是通过 TCP 吞吐量模型速率公式来计算发送速率, 公式如下^[5]:

$x =$

收稿日期: 2009-10-08; 修回日期: 2010-01-10

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划项目(2006AA01Z208)

作者简介: 印石林(1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为计算机在通信中的应用; 姚放吾, 教授, 硕士生导师, 研究方向为并行计算机及其体系结构、嵌入式技术、计算机在通信中的应用。

$$t_{RTT} * \sqrt{\frac{2bp}{3}} + t_{RTO} * (3\sqrt{\frac{3bp}{8}}) * p * (1 + 32p^2) \quad (1)$$

其中, t_{RTT} 为报文段的往返时间, 单位为秒; $t_{RTO} = 4 * t_{RTT}$, 为 TCP 超时重传时间; s 为发送的数据包的大小, 单位为字节; p 为丢包事件率, 大小在 0 到 1 之间。在 TFRC 中, 采用的参数是丢失事件率而不是报文丢失率, 一个丢失事件是指一个窗口的数据至少有一个报文发生丢失, 而不管这个窗口内报文丢失的个数。因此, 一个丢失事件可能包含几个报文丢失。

研究 TFRC 协议的拥塞控制对提升该协议的质量是很有意义的, 而在复杂的 ad hoc 网络中, TFRC 协议也存在这样那样的问题, 如何能更好地实现拥塞控制, 改进 TFRC 在 ad hoc 网络中的工作效率, 也成为文中的研究内容。

1 端到端参数设计

在文中, 采用一种端到端的多参数联合测量方法来区分各种不同的网络事件。在因特网中有两种方法来检测网络拥塞: 一种是基于端到端的测量, 另一种则是基于网络中间网关的反馈。在无线 ad hoc 网络中, 由于节点移动而造成的链路丢失经常发生, 文献[6]中提出了一种显示链路故障通知机制(ELFN), 在这种机制下, TCP 的发送端能很好地区分出链路错误丢失和拥塞丢失。文献[7]中则研究了使用单一参数来区分各种网络拥塞, 而事实上当节点频繁移动并且信道故障发生很频繁时这种测量方式很容易受到干扰, 并变得不是那么准确。

采用这种多参数的联合检测方法通过端到端测量来提高 TFRC 在移动 ad hoc 网络中的性能。在节点上采用这种方法来检测拥塞、连接丢失、路由变换以及信道故障各种不同的网络事件, 然后 TFRC 的发送端就能够根据各种不同的网络事件来采取相应的措施, 以此能提高移动 ad hoc 网络中传输多媒体流的质量^[8,9]。

首先来看一下哪些网络事件需要 TFRC 来检测, 并对应采用哪种端到端参数来检测:

- a. 拥塞;
- b. 信道故障;
- c. 路由变换;
- d. 连接丢失。

在一些情况下, 一个包的丢失可能是有几种网络事件共同作用引起的, 例如, 路由的变化会使过多的流经过同一个节点, 并导致拥塞的发生, 或者信道故障会

引起路由变化和连接丢失, 由于主要目标是研究 TCP 的友好性, 因此把对拥塞的检测放在首要位置^[10,11]。

接下来设计端到端的参数。在 TCP 中, RTT 是由发送端保留的并以此来计算超时重传时间 RTO。在文献[12~14]中使用与延时有关的参数来测量网络的拥塞程度, 在 ad hoc 网络中, 包的延迟不仅仅是由网络等待队列长度决定的, 还受到诸如路由变动、MAC 层争用等其他因素的影响, 这些因素使得这种测量受到很大的干扰。因此, 任何使用单一参数的测量都是不可靠的, 在后面的设计中将把两个单一参数联合起来使用。这两个单一参数分别是:

1) IDD: $A^{i+1} \sim A^i - (S^{i+1} - S^i)$, 其中 A^i 表示报文 i 到达的时间, S^i 表示从发送端发出的时间, 也叫做连续包延时差别。它通过对传送路线上各中间节点瞬时队列大小的直接取样来反映网络的拥塞程度。与传统的连续包到达延时不同, IDD 不会受到随机的信道故障和包发送速率变化的影响。这个参数主要用来检测网络拥塞情况, 在 ad hoc 网络中, IDD 仍然会受到不少因素的影响从而无法准确地判断出网络拥塞状况, 例如, 在非网络拥塞情况下, 由于节点移动而导致的包传递的延迟以及节点速度的增加都会严重影响 IDD 对网络拥塞检测的精确性。

2) STT: $N_p(T)/T$, 其中 $N_p(T)$ 表示 T 时间间隔内收到的报文的个数, 也叫做短时间间隔内吞吐量。比起 IDD, 它对短间隔内的无序报文更不敏感, 因此它更适合于短暂的路由变化。然而, 单独使用 STT 来检测拥塞状况也会受到信道故障、网路丢失等状况的干扰, 在后面的仿真中, 将 IDD 和 STT 联合起来, 一起来测量网络拥塞。

在下面的仿真实验中, 对单一参数的测量结果和联合参数的测量结果进行比较, 来验证使用多参数的测量方法是完全合理的, 并具有更高的精确度。

2 实验分析和对比

在 NS-2 仿真中, 在 400m * 800m 的拓扑结构中设置了 30 个无线节点, 并且每个都处于一种随机的无停顿的移动状态, 无线链路带宽为 2Mbps, 分别使用 IEEE802.11b 和 DSR 作为 MAC 层和网络层的路由协议。引入一条 TFRC 流, 报文大小为 1000 字节, 同时为了实现网络拥塞, 引入三条 180kbps 的 UDP 流与 TFRC 流进行竞争, 整个仿真时间持续 300 秒。

为了研究网络拥塞和 IDD、STT 的关系, 设计了两种场景: 静止场景和运动场景。在仿真中, 一条 TFRC 流和三条 UDP 流如我们预期的那样发生了网络拥塞。图 1, 图 3 是在静止场景下的, 而图 2, 图 4 是带有 5m/s

的节点移动速度和 5% 的链路故障。图中的横坐标均为网络中的节点最大队列长度。从图中的趋势可以看出,随着网络最大队列长度的增加,IDD 的值是越来越高,而 STT 的值则是越来越低,在这里根据文献[15]定义两个门限值,当样点的值在所有样点的值的 30% 以下时,称之为 LOW;反之,当其在所有样点的值的 70% 以上时称之为 HIGH。

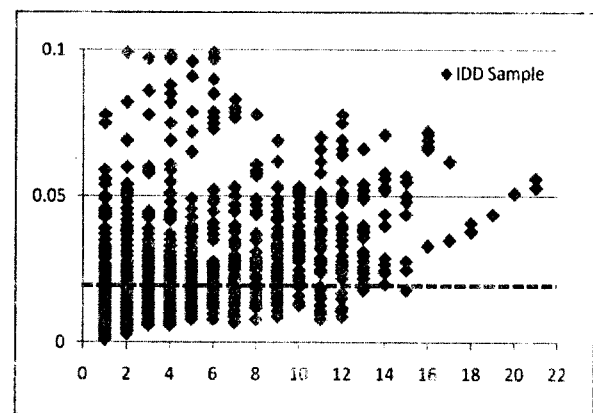


图 1 非移动下 IDD 与最大队列长度关系

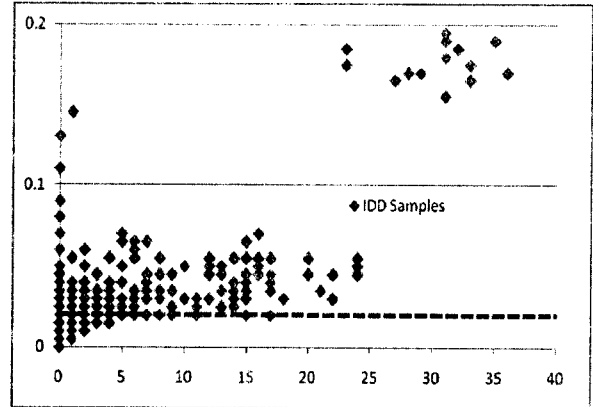


图 2 移动下 IDD 与最大队列长度关系

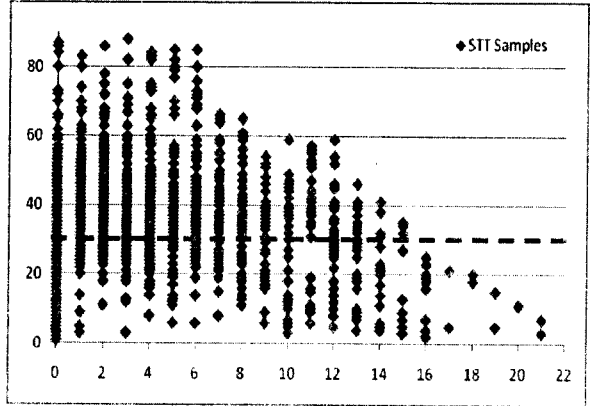


图 3 非移动下 STT 与最大队列长度关系

在单独使用 IDD 或者 STT 作为唯一参数来进行检测时,当网络没有产生拥塞,并且处于运动场景时,检测的准确度受到很大的干扰。而所提出的则是将这两个参数联合起来使用,以此来提高检测的准确性。

在这里可以假设当 IDD 处于 HIGH 状态而 STT 处于 LOW 状态时是网络拥塞状况,反之则是非网络拥塞状况。当网络处于拥塞状态时,设 IDD 处于 HIGH 的概率为 P_1 ,STT 处于 LOW 的概率为 P_2 ,则使用单一参数测量得到的准确度分别为 $ACC_{IDD} = P_1, ACC_{STT} = P_2$,而用两种参数测量得到的准确度 $ACC_{multi} = P_1 * P_2$,从图中可以看出, $P_1 \approx P_2 \approx 1$,在拥塞状态下,三个准确度的值是基本一致的。但是,当网络没有发生拥塞时,设 P'_1, P'_2 分别为 IDD 处于 HIGH 和 STT 处于 LOW 的概率,这时对应产生的三个准确度分别为 $1 - P'_1, 1 - P'_2$ 和 $1 - P'_1 * P'_2$,可以看出,多参数得到的结果要比单一的准确度高。因此这种方法能在情况复杂的网络中表现的更好。

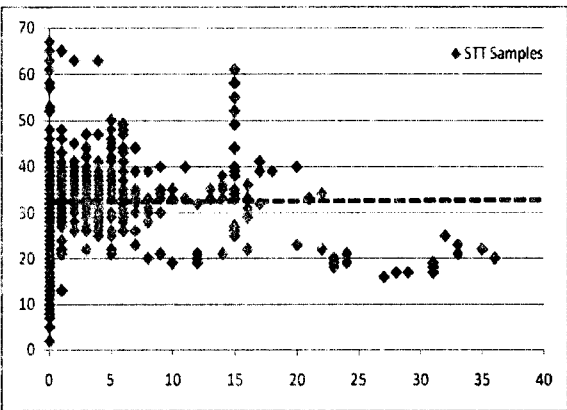


图 4 移动下 STT 与最大队列长度关系

这里需要指出的是,在非拥塞状况下,IDD 和 STT 会受到各种不同的网络事件的影响而有不同的反应,而在网络拥塞情况下,它们都长时间的受到队列的延时影响,因此 P'_1 和 P'_2 在很大程度上是相互独立的。只要所有的网络事件不是同时长期的并发,这种多参数联合检测的方法还是比较有效的。

从表 1 中可以看出,对于四种不同的网络事件,IDD 和 STT 这两个值能够表现出大致三种不同的情况,其中由路由变化和信道故障产生的丢包现象是无法通过 IDD 和 STT 联合起来进行区分的,而另外两种情况则能很好地用这种联合参数的方式来区分,准确地找到网络拥塞的情况,从而来采取相应的对策。

表 1 区分事件表

IDD 和 STT	
网络拥塞	HIGH, LOW
路由变化	NOT HIGH, NOT LOW
信道故障	NOT HIGH, NOT LOW
连接丢失	约等于 0

下面来看这种拥塞检测机制的精确度,对单一使用 IDD,单一使用 STT 以及联合使用 IDD 和 STT 三

种方式进行仿真,同时对其都引入 1% 的随机信道故障,和 0 到 20m/s 变化的节点移动速度,同时向前面一样引入两条 UDP 流来进行竞争以产生拥塞,并通过多次的模拟以消除随机拓扑结构的影响(见图 5)。

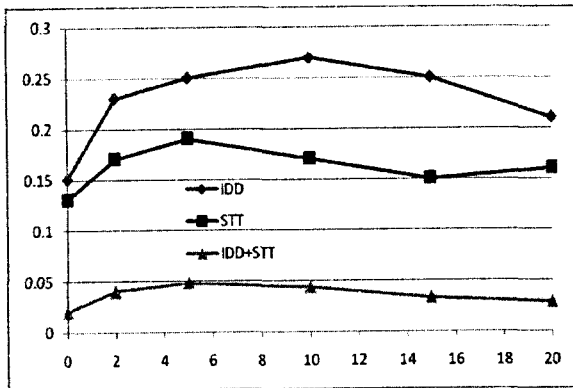


图 5 单一参数和多参数检测的精确度比较

图中横坐标是节点的移动速度,纵坐标是拥塞检测的不精确百分比。从图中可以看出,使用联合参数的方法能得到不低于 95% 的精确度,而使用单一参数只有 70% 到 80%,精确度的提高还是比较明显的。所以,用这种联合参数的方法来判断能更好地区分出网络中的拥塞情况,从而能采取相应的对策来解决。

3 结束语

展现了在 ad hoc 网络环境下用于 TFRC 协议的拥塞检测方法,这是一种使用联合参数的检测方法,并通过仿真实验证明这种方法比起单一参数的检测方式具有更好准确度,从而使 TFRC 协议能很好服务于实时多媒体业务。

现实中的 ad hoc 网络中存在着更多的不确定性,还可以设计其他更合理的参数以此来更好地区分出各种不同的网络情况,并通过仿真实验来证明参数选择的合理性和精确性,这些都将是今后的工作。

参考文献:

- [1] Liu J, Suresh S. A TCP: TCP for mobile Ad Hoc networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2001, 19(7): 1300-1315.
- [2] Rejaie R, Handley M, RAP E D. An End-to-End Rate-Based Congestion Control Mechanism for Real Time Streams in the Internet [C]//IEEE INFOCOM'99. New York: IEEE, 1999: 1337-1345.
- [3] 张冰, 李振, 刘增基. 基于接收端二项式算法的拥塞控制机制[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2003, 30(7): 47-52.
- [4] Chen K, Nahrstedt K. Limitations of Equation-Based Congestion Control in Mobile Ad hoc Networks [C]//Proc IEEEICDCSW'04. River Side, USA: IEEE, 2004: 756-761.
- [5] Wdmer J, Denda R, Mauvern. A Survey on TCP-Friendly Congestion Control[J]. IEEE Network, 2001, 15(3): 28-37.
- [6] Handley M, Floyd S, Padhye J, et al. TCP Friendly Rate Control Protocol Specification[S]. RFC3448, 2003.
- [7] Monks J, Sinha P, Bharghavan V. Limitations of TCP-ELFN for ad hoc networks[C]//MOMUC. [s.l.]: [s.n.], 2000: 650-670.
- [8] 苏晓丽, 郑明春, 孟强. TCP 友好多播拥塞控制算法研究[J]. 计算机工程与科学, 2003, 25(4): 26-29.
- [9] 方旭明. 移动 ad hoc 网络研究及发展现状[J]. 数据通信, 2003(4): 15-23.
- [10] 王珍, 刘飒. 无线 ad hoc 网络及其关键技术[J]. 电信科学, 2003(4): 10-13.
- [11] 李云, 陈前斌, 隆克平, 等. 无线自组织网络中 TCP 稳定性的分析及改进[J]. 软件学报, 2003, 14(6): 1178-1186.
- [12] Floyd S, Handley M, Padhye J, et al. Equation-Based Congestion Control for Unicast Applications[C]//Proc. ACM SIGCOM. [s.l.]: [s.n.], 2000.
- [13] Hassan S, Kara M. Simulation-based Performance Comparison of TCP-Friendly Congestion Control Protocols[C]//UKPEW2000. Durham: [s.n.], 2000.
- [14] Anker T, Shnayderman I, Dolev D, et al. TCP-friendly many-to-many end-to-end congestion control[C]//IEEE, Reliable Distributed Systems, Proceedings 22nd International Symposium. [s.l.]: [s.n.], 2003: 209-218.
- [15] Fu Z, Greenstein B, Meng X, et al. Design and Implementation of a TCP-Friendly Transport Protocol for Ad Hoc Wireless Networks[C]//In Proceedings of ICNP2002. Paris, France: [s.n.], 2002.

(上接第 136 页)

机技术与发展, 2006, 16(8): 16-17.

- [7] 柯尼汉, 里奇. C 程序设计语言[M]. 徐宝文, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [8] 赵毅. 跨平台程序设计语言——Java[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.
- [9] 谭浩强. C++ 面向对象程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

版社, 2006.

- [10] 丁展, 刘海英. Visual C++ 网络通信编程实用案例精选[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- [11] 施伯乐, 丁宝康. 数据库技术[M]. 北京: 科学出版社, 2002.