

无线 mesh 网 TCP 性能改进研究

张登银, 曲 旭

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:无线 mesh 网(WMN)是一种近年来快速发展起来的新型网络技术,支持宽带高速多媒体业务服务,是一种有效的无线宽带接入手段。为了提高无线 mesh 网络的性能,使 TCP 协议在可靠性低、突发错误时间长以及切换时延高的无线移动环境更为有效地工作,人们提出了种种改进传输层 TCP 技术的方案。文中结合无线 mesh 网络的自组织、自修复和多跳的特点,将目前的 TCP 改进方案进行了归类 and 比较,并分析了其性能特点,同时指出了今后可能的研究方向。

关键词:无线 mesh 网;多跳;TCP;跨层设计

中图分类号:TP393.4

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)08-0030-04

Study on TCP Performance Improvement in WMNs

ZHANG Deng-yin, QU Xu

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

Abstract:The wireless mesh network (WMN) is emerging as a promising technology in providing economical and scalable broadband Internet accesses to communities. In order to promote the performance of the wireless mesh networks and make TCP work more efficient in the environment with low reliability, longer burst errors and larger handover delay, a lot of schemes have been designed. Based on the characteristic of the mesh networks, analyzes the performance of those schemes designed for the TCP and makes a comparison. Finally, propose a future research suggestion.

Key words:wireless mesh network; multi-hop; TCP; cross-layering design

0 引 言

无线 Mesh 网(Wireless Mesh Network, WMN)是一种新型的宽带无线网络结构,是一种高容量、高速率分布式网络,不同于传统的有线或无线网络。它融合了无线局域网和 Ad hoc 网络的优势,具有自组织、自修复、多跳级联、节点自我管理智能优势以及移动宽带、无线定位等特点。无线网状结构作为一种可以解决“最后一公里”网络接入瓶颈的关键技术,已成为 IEEE802.16 (WiMax)无线宽带接入网络标准,目前也纳入到 IEEE 802.15 Mesh 和 IEEE802.22 Mesh 标准框架。从技术特点来看,WMN 将成为未来无线城域网核心网理想的组网方式,极有可能挑战 3G 技术,成为构建 B3G/4G 的潜在技术之一,也是迄今为止唯一一种建设商用移动 Ad hoc 网络的可行技术。

随着网络应用规模的扩大和承载业务的增多,如何有效地提高无线 mesh 网络性能和运行效率以满足

越来越多终端业务的需求变得十分重要,现已成为许多研究关注的热点。文中将就其中传输层的 TCP 性能进行研究,探讨在这种特定网络形式下 TCP 协议遇到的问题及其解决途径。

1 无线 mesh 网 TCP 协议的缺陷

TCP 最初是针对有线网络而设计的面向连接的、端到端的传输控制协议,它采用基于窗口的拥塞控制机制,其目的主要是在有线网络条件下,避免产生不合理的大量的网络流量。目前常用的拥塞控制算法有慢启动、拥塞避免、快速重传和快速恢复等,由于有线网络特别是光纤主干网具有较高的稳定性和可靠性,因此,TCP 对于所有数据分组的丢失都是由于网络拥塞而引起的假设是合理的,这也正是它的成功之处。

但是在无线 mesh 网络中,TCP 遇到的情况却要复杂得多。由于传输链路是无线电波而不是可靠的有线介质,不可预见的外界干扰、衰落和阴影效应会降低链路的质量(即很高的差错率),这会使数据分组在中间节点处就被丢弃并发生频繁的重传,从而导致源节点长时间内(定时器超时前)接收不到该分组的确认信

收稿日期:2008-11-26;修回日期:2009-02-15

基金项目:国家 863 计划(2007AA701302,2008AA701202)

作者简介:张登银(1964-),男,江苏靖江人,研究员,博士,CCF 会员,研究方向为信号与信息处理、IP 网络技术、服务质量与信息安全。

息。另外,无线电波有限的覆盖范围以及节点的移动性使得为业务传输建立起来的多跳路由稳定性降低,频繁的路由失败和重建将使得多数从源节点发送出来的顺序分组按照不同的路由进行转发,致使在到达目的节点时产生错序,进而导致源节点多次收到相同的确认信息。以上情况都会被源节点错误地理解成网络内部发生了拥塞,并触发相应的拥塞控制机制来降低发送速率,而这显然是不合理的,甚至是错误的。

2 无线 mesh 网 TCP 性能改进方案

传统 TCP 协议在无线 mesh 网络环境下遇到的问题,主要是其单一的拥塞检测和控制机制不能适应 mesh 网的特性,因此需要进行适当的改进。研究人员已经提出了很多方案。根据其基本作用原理,这些方案大致可以划分为四类:TCP 协议改动方案(TCP modification scheme),分段连接方案(split connection scheme),链路层方案(link-layer scheme)和跨层设计方案(cross-layer designing scheme)。

2.1 TCP 协议改动方案

TCP 协议改动方案需要对 TCP 协议进行修改,由 TCP 发送端对传输过程中发生的不同错误进行处理,使得发送端能有效处理各种无线 mesh 网络环境下造成的数据包丢失。这种方案的目的是使 TCP 发送端能够区分拥塞相关的数据包丢失和其它形式的数据包丢失。只有当网络拥塞发生时,TCP 拥塞控制处理过程才被激活,而对于其他形式的丢包则执行其他错误恢复处理过程。这种方案的优点是保持了 TCP 的端到端语义(semantics),缺点是需要对固定网络主机上的 TCP 算法进行改动。显然,如果要对 Internet 上现存的所有 TCP 应用进行修改,是一件极其困难的事情。根据此原理提出的改进方案,有 TCP Vegas^[1]和 TCP Westwood^[2]。

2.2 分段连接方案

分段链接方案是在连接有线网络的无线 mesh 网关路由器上终止 TCP 连接,进而对有线网络隐藏无线链路。这种方案主要思想,是在无线网关路由器上将源端和目的端的 TCP 连接分为两个独立的部分来分别实现。也就是说,一个 TCP 连接是在有线网络和无线网关路由器之间,另一个 TCP 连接是在无线网关路由器和移动设备之间。前者使用传统的 TCP 协议,后者使用经过修改的 TCP 协议,从而增强处理无线链路上各种错误的能力。这种方案是基于局部问题应该局部解决的思想,也就是由于无线/移动的原因造成的错误应该对固定主机(源端)TCP 屏蔽,从而无需修改固定主机上的 TCP 协议。分段连接方案由于无线网关

路由器维持了两段连接,因此必须缓冲大量的状态信息,包括连接控制信息和未确认数据包。当业务量很大时,路由器的负荷会变得非常重,而且需要更大的缓冲区。如果移动设备频繁地切换,路由器之间状态信息的传输会带来较大时延,导致丢包。典型的分段连接方案有 M-TCP^[3]和 I-TCP^[4]。分段连接示意图见图 1。

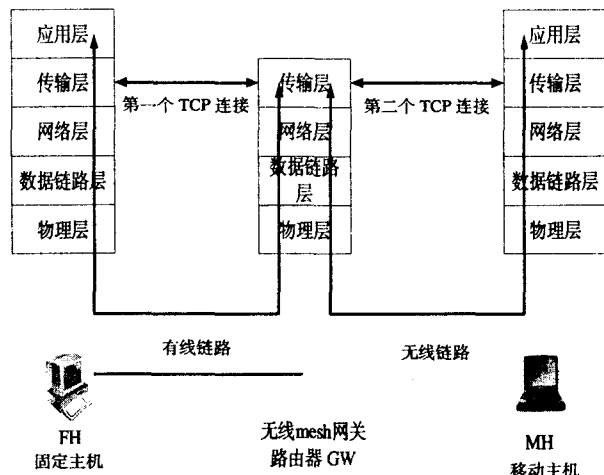


图 1 分段连接示意图

2.3 链路层方案

链路层方案的目标,是通过在无线链路上进行重传或错误纠正来屏蔽不可靠的无线链路对有线网络的影响。其优点是可以独立于高层协议而提高数据传输的可靠性,并且无需保留每个连接状态信息。目前常用的两种链路层纠错技术为:前向错误纠正(Forward Error Correction, FEC)及自动重传请求 ARQ 技术。对于丢包不是很频繁并且时延不是很敏感的应用,ARQ 是一种非常有效的方法;缺点是可能会和 TCP 重传机制互相影响。FEC 的优点是发送时包含了一些冗余信息,以便能够恢复损毁的包,这对于时延较长的情况非常有利。而且 FEC 不会和 TCP 的重传机制相互影响。FEC 的缺点是信道利用率不高,并且还需要额外花费时间和存储空间。这种方案的典型代表是 Snoop^[5]。链路层方案见图 2。

2.4 跨层设计方案

传统的无线通信系统设计沿用严格分层的 OSI 参考模型,单独对各层进行设计和优化,这种模块化的设计方法简化了整体网络设计的复杂性,而且满足了软件设计的信息隐藏原则,因而得到了广泛应用。因为遵循 OSI 设计理念必然摒弃协议层之间跨层交互,不过,不同协议层中存在一定的信息冗余。例如,物理层和 MAC 层对信道估计、同步信息、误码率以及信号强度等信息的处理结果,可以应用到发送端到接收端的距离估计中来^[6];另一方面,节点位置和网络拓扑信

息也可以被其他协议层充分利用,如信道估计、功率控制、移动性管理等。因此,传统 OSI 严格分层的参考模型不能对无线网络资源进行整体管理,也使得网络性能不能得到整体优化。

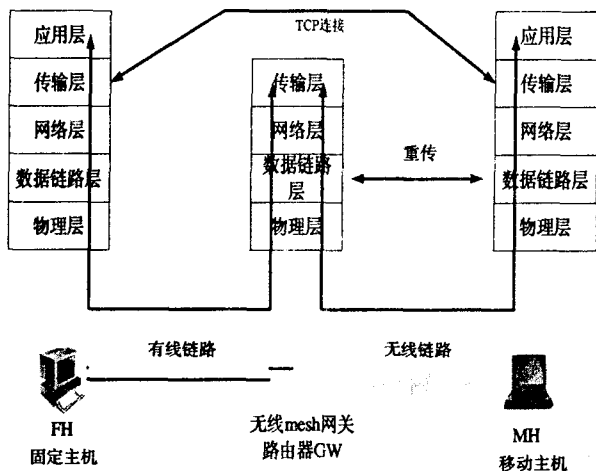


图 2 链路层方案

跨层机制的基本设计思想是将静态方法改变为结合网络其他协议层参数的动态方法,其目的是综合利用各层之间的关系依赖和信息交互共享,包括信道自适应自下而上的信息以及 QoS 自适应自上而下的信息,从而有效改善 TCP 协议的性能,使网络性能得到整体优化。

如果对 TCP 协议实施跨层设计,TCP 层就可以通过检测物理层 SNR 的变化,判定是由于拥塞或移动性而导致的数据包丢失,从而分别采用不同的窗口控制和包重传机制。研究表明,科学的跨层设计机制使 TCP 会话的有效吞吐率改善 75%,在某些情况下,如果跨层设计的决策准则选择恰当,端到端的 TCP 性能有望提升一倍以上^[7]。此外,有了跨层控制机制,TCP 协议还可以将 ACK 消息跨层传递给 MAC 层实施流控制,实现多个 TCP 流的公平调度。一种跨层的改进机制 LLT-TCP^[8]中,通过链路层发送消息冻结 TCP 定时器,避免了 TCP 超时,使得链路层能够使用完全可靠 ARQ 来提高 TCP 性能。LLT-TCP 将 ARQ 的

窗口限制在一个包的大小,这样避免了包的失序,但是只能用于时延积很小的网络中。跨层信息交互见图 3。

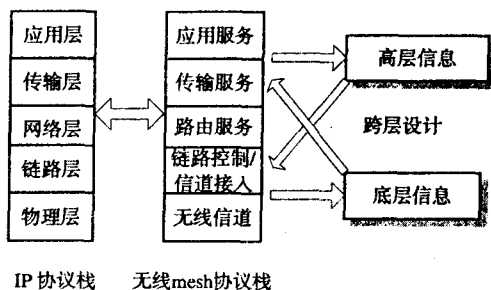


图 3 跨层信息交互

3 几种技术方案的比较

从表 1 可以看出,很难说哪种技术方案是很优化的。例如,在跨层方案中的 LLE-TCP,其优点是对于现有 TCP 协议栈本身不用修改,部署的难度相对较容易,只需要在网络层和链路层之间加入一个 ARQ 代理 (ARQ agent),这个代理只是一个软件模块,和传输层和链路层之间有通信接口;但是带来了区分错误的精确性降低以及无线 mesh 网关路由器执行功能变复杂的问题^[9]。比如 TCP-Vegas,其优点是保持了端到端的特性,并且无需网关路由器的参与从而减轻了无线网关路由器的负荷;但其区分错误的精确性较低,并且需要修改固定主机上的 TCP 协议。再比如 M-TCP,它的优点是能精确地区分错误原因,并且也保持了端到端的特性;但其需要同时修改固定主机、网关路由器和移动设备的 TCP 协议,并且使得网关路由器的负荷较重^[10]。

因此这几种方案各有优劣,并且这几种方案都没有能够很优化地解决移动计算环境下的 TCP 问题。之所以这样,一方面是由于 TCP 是一种可靠的面向连接的传输协议;另一方面就是由于移动/无线网络环境的特点造成的。这也决定了增强移动计算环境下的 TCP 性能将仍然是一个热点研究问题,也是一个难点

表 1 TCP 性能改进方案比较

类型	典型方案	优化层	端到端特性	错误定位精确性	网关参与	网关路由复杂度	需要修改代码设备
TCP 协议改动	TCP-westwood	传输层	是	中等	否	简单	FH
	TCP-vegas	传输层	是	中等	否	简单	FH
分段连接	I-TCP	传输层	否	高	是	复杂	GW/MH
	M-TCP	传输层	是	高	是	复杂	GW/MH
链路层方案	Snoop	传输层/链路层	否	较高	是	复杂	GW
跨层方案	LLE-TCP	链路层以上	否	高	否	复杂	GW

问题^[11]。

4 结束语

TCP 是目前 Internet 上使用最广泛的一种传输协议,由于其最初是为固定主机及有线网络设计的,因此并不能很好地适应无线 mesh 网络环境。文中对无线 mesh 网络中的 TCP 协议性能的问题进行了深入的调研,在对现有的主要方法进行归类的基础上,对各种技术方案的特点及优缺点进行了评述,并对这些方案进行了比较。

目前提出的技术方案都能或多或少地解决无线网络环境下的问题,但这些方案基本上都是针对某些特定问题进行研究然后采取相应的改进措施。还没有一个方案能够较好地处理无线 mesh 环境下存在的普遍问题,比如切换、能耗、链路突发性错误等。因此如何全面地兼顾这些特点,从而提出一个整体上较优化的方案仍然有待于进行深入研究。

参考文献:

- [1] Brakmo L, Peterson L. TCP Vegas: end to end congestion avoidance on a global Internet[J]. IEEE JSAC, 1995, 13(8): 1465 - 1480.
- [2] Mascolo S, Casetti C, Gerla M, et al. TCP Westwood: end-to-end bandwidth estimation of efficient transport over wired and wireless networks[C]//Proceedings of ACM Mobicom.

(上接第 29 页)

3) 业务逻辑处理类完全是普通的 Java 类,无需继承特定的框架类,如 Struts 的 Action 类,因此更方便进行单元测试,并且具有良好的移植性与复用性。

4 结束语

文中详细分析了 Struts + Spring + Hibernate 架构,从表示层及业务逻辑层入手,充分利用了现有优秀的开源技术,提出了基于 ExtJS + DWR + Spring + Hibernate 的架构模式,并通过实例应用说明了这种架构模式的应用。此架构模式,不但提高了 Web 应用的开发效率和访问效率,而且从结构上进一步优化了 Web 应用的架构^[7,9],主要从以下几个方面改善了 Web 应用:

1) Web 页面实现组件化设计,提高了 Web 界面品质和开发效率,并且具备跨浏览器特性;

2) 有效地解决了 AJAX 动态技术的开发复杂性问题,降低了表示层与业务逻辑层的耦合度;

3) 无侵入式设计提高了软件的复用度和可维护性。

Rome, Italy: [s. n.], 2001: 216 - 228.

- [3] Brown K, Singh S. M - TCP: TCP for mobile cellular networks[J]. Computer Communication Review, 1997, 27(5): 106 - 107.
- [4] Bakre A, Badrinath B R. I - TCP: indirect TCP for mobile hosts[C]//Proceedings of the 15th International Conference on Distributed Computing Systems. Vancouver, British Columbia: [s. n.], 1995: 196 - 203.
- [5] Carla - Fabiana C, Michela M. A reconfigurable protocol setting to improve TCP over wireless[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2002, 51(6): 1608 - 1620.
- [6] Chinta M, Helal S. ILC - TCP: An Interlayer Collaboration Protocol for TCP Performance Improvement in Mobile and Wireless Environments[C]//In Proceedings of the Third IEEE Wireless Communications and Networking Conference. New Orleans, Louisiana: [s. n.], 2003: 1004 - 1010.
- [7] 姜永, 郑明春, 李国强. IEEE802.16 中的无线 Mesh 网络研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(5): 234 - 237.
- [8] 方旭明, 马忠建. 无线 Mesh 网络跨层设计研究[J]. 数据通信, 2005(4): 15 - 20.
- [9] 赵广元. 无线网状网及相关标准[J]. 电信工程技术与标准化, 2006(7): 37 - 39.
- [10] 范涛, 张燕. 无线 Mesh 网络的组网及其相关标准[J]. 数据通信, 2005(4): 40 - 42.
- [11] 曾晶萍, 杨文俊. TCP 友好速率控制协议的分析及应用[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(1): 210 - 212.

参考文献:

- [1] 张琛, 吴跃, 邱会中. 基于 Struts + Spring + Hibernate 的整合架构及其在电信业中的应用[J]. 计算机应用, 2006, 26(12): 265 - 266.
- [2] Garrett J J. AJAX: A New Approach to Web Application[EB/OL]. 2005 - 02. <http://adaptivepath.com/publication/essays/archives/00385.php>.
- [3] 孙卫琴. 精通 Struts: 基于 MVC 的 Java Web 设计与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [4] 张敏. 基于 J2EE 多层架构技术的 Web 应用与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2007: 15 - 16.
- [5] 徐驰. AJAX 模式在异步交互 Web 环境中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(11): 228 - 233.
- [6] 张栗, 张凤元, 危胜军. 基于 DWR 框架的 Web 应用的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(8): 84 - 87.
- [7] 李兵, 刘淑芬. 海量数据下的 Web 呈现研究[J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2005, 23(5): 517 - 521.
- [8] Crane D, James D. AJAX in action[M]. US: Addison - Wesley, 2005.
- [9] 刘松, 付晓江. 面向服务的企业应用集成架构[J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2005, 23(6): 659 - 662.