

无线局域网帧数据流量研究的问题和挑战^{*})

葛晓虎 朱耀庭

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

摘要 无线局域网中的信道要比有线局域网信道复杂得多,研究运载其上的流量成为评估和了解无线局域网行为模式的关键。本文比较了有线和无线局域网在体系结构和协议机制上的差异,进而从 AP 节点处理帧数据流程上分析了无线局域网 IP 数据流量和帧数据流量上的差异,提出了无线局域网流量研究中存在的问题,探讨了无线局域网帧数据流量的研究内容和方向。

关键词 无线局域网,流量,MAC 层协议,帧数据,服务质量

The Questions and Challenges in the Research of Wireless LAN Frame Traffic

GE Xiao-Hu ZHU Yao-Ting

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

Abstract Because the channel of wireless LAN is more complex than that of wireline LAN, the traffic running in the channel is the key of estimation of behavior model in the wireless LAN. The difference of architecture and protocols between the wireless LAN and wireline LAN has been compared in this paper, and then the difference in the IP traffic and MAC traffic has been analyzed from the dealing with frames in AP. Based on those discussions, we present the questions in the research of wireless LAN traffic, and discuss the research object and fields in the frame traffic of wireless LAN.

Keywords Wireless LAN, Traffic, MAC layer protocol, Frame data, QoS

1 引言

随着无线通信技术的飞速发展,无线通信网络尤其是无线局域网正逐渐普及到人们的日常生活中,人们对无线局域网的服务需求也越来越多样化,对无线局域网的性能要求也越来越高。为了提高无线局域网的性能,国内外研究人员围绕无线局域网的信息监测、协议设计、算法仿真、机制建模和性能评估等开展了大量研究^[1~6],而上述这些研究成果增建立在无线局域网流量特性进行准确分析的基础上,因此反映无线局域网行为特征的网络流量动态特性正成为研究的热点。

早期由于受无线网络测量技术的限制,研究人员不可能得到大量的实际业务数据进行分析。最近几年来,随着无线网络测量技术的提高,以及人们对无线网络流量研究的深入,逐渐出现了多篇与无线局域网流量研究有关的文章。Kin Leung 等人提出了一个流量模型,用于描述高速公路中无线网络的呼叫和接入情况,并且通过数值仿真验证了这个模型的有效性,并基于这个模型推导出无线网络中的呼叫中断概率^[7]。Daniel Aguayo 等人实地测量了一个无线 Mesh 网中丢包率的分布,并通过分析试验数据了解丢包率和其它因素之间的关系,测量结果表明无线信道的多径衰弱对丢包率的影响远大于干扰和天线因素^[8]。Ratual Mahajan 等人开发了一套专用测试软件,用于测量和评估无线局域网中数据流量,分析结果显示在大部分情况下信道争用率低于研究人员预期的情况,并且无线空中接口没有得到有效利用,即使是在信道

争用率比较高时,MAC(Medium Access Control)层中的回退机制相对于丢包分布也出现了过大的回退^[9]。Charles Reis 等人通过对无线局域网中数据包流量和 RSSI(Received Signal Strength Indicator)指标之间关系的归纳和总结,提出了一个用于预测无线局域网包传输和吞吐率的实用模型^[10]。Jeremie Leguay 等人测量并分析了由多个无线局域网组成的城域网数据包流量,在此基础上获得网际间信道争用的分布情况,从而设计了一种网际间数据转发机制,用于提高网络传输效率^[11]。Amit Jardosh 等人研究了无线局域网中的数据包包拥塞情况,通过分析实际数据发现链路可靠性和 MAC 层中的重传次数、数据帧的尺寸和发送速率有着密切联系^[12]。剑桥大学的研究人员在对室内无线局域网进行深入研究后,发现无线链路质量对室内无线节点的位置很敏感而对节点间的距离不敏感,并且通过对流量的测量发现室内无线局域网传输速率远没有达到 802.11 协议允许的最大速率^[13]。David Kotz 等人通过实地测量无线校园网内数据流量,分析了学生的行为特征对无线局域网性能上的影响^[14]。清华大学林孝康等人对无线 Mesh 网络中的流量进行实地测量后,揭示了这类无线局域网流量具有自相似特性^[15]。上述研究成果表明,网络设计、控制、分析和管理等方面的需求对无线局域网内数据流量研究提出了更为严峻的挑战。

然而,上述研究成果大都是在对无线局域网中 IP 层数据包流量测量和分析的基础上获得,这种通过对 IP 层数据包流量进行分析以获得网络行为特征和评估网络性能的研究方法在有线网络中是行之有效的,但是在无线局域网中 IP 层数据

^{*})国家自然科学基金(60610106111)项目资助。葛晓虎 博士,副教授。朱耀庭 教授,博士生导师,研究领域均为无线网络流量建模、无线通信系统。

包流量往往不能真实地反映网络行为特性。这是因为目前主流的无线局域网本质上是一种两层协议架构(即只包括数据链路层和物理层)网络,为了深入了解无线局域网的行为特性,有必要对无线局域网中 MAC 层帧数据流量展开深入研究。

2 无线局域网协议结构对流量研究的影响

计算机网络是在 1969 年首次出现,美国建立了全球第一个有线网络 ARPA 网。此后的几十年内,有线网络已经覆盖了全球绝大部分地区。电气电子工程师协会(IEEE)于 1980 年 2 月成立了局域网标准化委员会(简称 IEEE 802 委员会),专门从事局域网标准化工作,并于 1983 年颁布了第一个有线局域网标准 802.3 系列,有力地推动了有线局域网的发展。然而,无线局域网标准的正式颁布只是最近几年的事,1997 年 IEEE 802 委员会颁布了第一代无线局域网标准——IEEE 802.11 标准^[16]。此后又相继颁布了 IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g 等一系列标准,这些标准成为目前无线局域网应用中的主流^[17,18],其对应的体系结构如图 1 所示。

OSI 协议结构

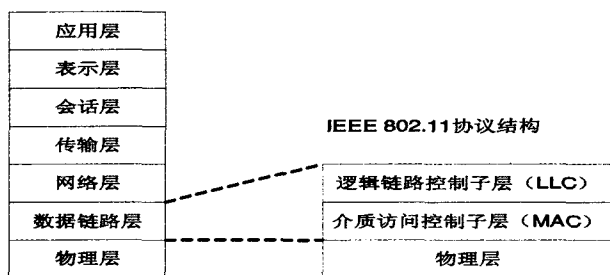


图 1 IEEE 802.11 协议结构与 OSI 协议结构对应关系

在无线局域网中通常采用星型拓扑结构,即网络中有一个网关节点(也称 Access Point),其它所有节点都只和网关节点通信,通过网关节点再连接到其它网络(如 Internet)。因此所有节点和网关之间只有一条链路,无需路径选择,通信控制也较简单。所以,在无线局域网体系结构中只包括了数据链路层和物理层^[19],其主要处理对象是帧数据。目前无线局域网主要采用 IEEE 802.11a 或 b 协议组网通信,IEEE 802.11a 或 b 协议主要包括数据链路层和物理层,其中物理层主要对实际发送的 bite 信号进行处理,其处理对象是 bite 流;数据链路层主要以 MAC 协议为主,其处理对象是 MAC 协议帧,这类帧数据包括三类:控制帧、管理帧和数据帧。控制帧主要用来获得当前无线空中接口的情况并建立相应的无线链路;管理帧是在无线链路建立后对传输的数据进行授权、认证、关联等管理,控制帧和管理帧中不包括需要发送的 IP 层数据内容;数据帧是在无线链路建立后用来发送指定数据的 MAC 帧,这类帧中封装了所要发送的 IP 层数据内容。

对图 1 中帧数据流程进行分析,我们可以发现只有和有线网络关联的数据帧才会被 AP 节点转发到有线网络中,无线局域网内部的数据帧和所有控制帧、管理帧只存在于无线局域网内部,如果对无线局域网流量的采集、测量点设置在与 AP 节点相连的有线网络部分或 AP 节点的地址信息数据库(MIB)上,将会导致部分帧数据流量的丢失,尤其是其中的管理帧和控制帧流量。

目前对无线局域网流量的采集、测量主要是从与 AP 节点相邻的有线网络部分或 AP 节点的 MIB 上获得其中 IP 数

据包流量,因此对这类 IP 数据包流量进行分析和建模所获得的特性不能完全代表无线局域网内的行为特征。

3 无线局域网流量研究中存在的问题

在上一节中我们提到的无线局域网体系结构本质上是一种两层结构,其对 IP 数据包流量的采集、测量会导致部分数据帧、控制帧和管理帧流量的丢失,在这一节中我们将详细分析这些丢失的数据帧、控制帧和管理帧对实际流量研究所带来的问题。

近年来,随着无线网络测量技术的发展,使得网络研究人员可以直接采集、测量到无线局域网内所有的帧数据。研究人员通过对实际无线局域网中 MAC 帧数据的测量,发现在一段时间内,60%的发送时间被用来发送控制帧、管理帧和误帧(差错数据帧),而真正用来发送正确数据帧的时间只占总发送时间的 40%^[23]。也就是说,在实际无线局域网中,很大一部分发送时间被控制帧、管理帧和误帧所占用,因此控制帧、管理帧的发送数量和误帧重传次数将会直接影响到整个无线局域网的传输效率。由于无线局域网 IP 流量数据中忽略了很大一部分实际发送的帧流量(主要是控制帧、管理帧和误帧),而这些帧数据流量对无线局域网的传输效率和服务质量有着重要影响。所以基于无线局域网 IP 层流量所获得的性能分析结果往往不能准确代表实际网络行为的变化。

于以上结论,我们认为如果需要深入了解无线局域网实际网络行为特征,就必须开展数据链路层(尤其是 MAC 层)帧数据流量方面的研究。

4 无线局域网帧数据流量研究的方向

在有线网络中我们开展流量研究的目的是提高传输效率,保障服务质量,这个目标同样也适用于我们在无线局域网中开展的研究。

然而,由于无线局域网在体系结构和协议机制上与有线网络不同,使得我们在研究对象和研究方向上有所区别。在有线网络中导致网络传输效率下降的一个主要原因是重传数据包带来的额外开销,这类额外开销可以通过研究 IP 层流量获得其特性,从而为改进协议和算法提供理论依据,最终提高网络传输效率。而在无线局域网中,导致网络传输效率下降的主要原因是大量的控制帧、管理帧和误帧占用了过多的数据发送时间,从而降低了网络有效吞吐率,而这些帧数据无法在 IP 层流量中体现出来。这个问题无法通过研究无线局域网 IP 层流量获得有效的解决方案,因此需要对无线局域网的帧数据流量进行测量和分析,建立相应的帧数据流量模型,并开展相关的性能分析研究,为提高无线局域网传输效率提供基础理论支撑。

在有线网络中导致网络服务质量下降的主要原因是网络拥塞。而对于网络拥塞现象可以通过对 IP 层流量的建模和性能分析进行了解,进而根据流量的特征改进网络管理策略和方法,从而减少网络拥塞的出现,提高网络服务质量。而在无线局域网中,导致网络服务质量下降的主要原因是误帧,并且这种误帧没有体现在无线局域网的 IP 层流量中,因此在无线局域网中试图通过研究和控制 IP 层流量来解决(主要由误帧导致的)网络服务质量问题可能会带来一些意想不到的后果。基于这个原因,有必要开展无线局域网误帧分布特征等方面的基础研究,并基于误帧分布特征改进现有的 MAC 协议和算法,一方面减少误帧的出现,另一方面基于误帧分布特

性改进差错校验算法,从而减轻误帧对网络服务质量的影响,最终为提高无线局域网服务质量提供基础理论支撑。

由于影响无线局域网服务质量和传输效率的基本因素和有线网络有着较大差异,有线网络中解决这些问题的基本途径(如 IP 层流量建模和性能分析研究)并不一定适合于无线局域网。我们认为应该在问题产生的根源处(MAC 层帧数据处)开展基础研究,寻求解决问题的理论和方法,在此基础上根据实际无线局域网行为(或帧数据流量)特征设计新的 MAC 协议和算法,减少不必要的管理帧流量,降低误帧出现概率,提高差错恢复能力,最终实现提高网络传输效率和服务质量的目的。

5 无线局域网帧数据流量研究内容

国内外无线局域网帧数据流量研究方面还处于起步阶段,相关的研究内容还不多见。我们认为在无线局域网帧数据流量研究上可以借鉴有线网络上成功的研究经验。因此我们提出无线局域网帧数据流量研究可以在以下内容上展开:

- 对无线局域网中帧数据流量进行测量研究,对帧数据内容进行分析比较,获得帧流量中不同种类帧数据在流量中的比例,了解 MAC 层协议工作的真实情况,另一方面通过对帧数据流量进行特征提取,获得帧数据流量变化的主要特性;

- 通过对帧数据流量进行理论建模研究,建立一套研究无线局域网帧数据流量的基础理论,为进一步的仿真研究和系统性能评估提供理论依据;

- 通过对帧流量模型进行理论分析研究,获得无线局域网空中接口部分的基本性能,包括实际空中数据发送的一些关键指标(如 MAC 帧吞吐率,误帧的分布特征等),这些基本性能指标一方面可以用于评价无线局域网的整体性能,另一方面可以用于评估数据链路层协议的效率,通过分析现有的无线局域网数据链路层协议(尤其是 MAC 层协议和相关机制)对发送各类数据的适应性,了解目前采用的数据链路层协议在实际帧数据发送过程中的不足,从而改进现有的协议和算法。

在上述研究内容的基础上,可以进一步开展面向 MAC 层的帧数据流量控制机制研究,在 MAC 层上进行帧数据流量控制能够完整全面的反映无线信道中实际数据发送情况,MAC 层能够对实际帧数据流量的快速变化迅速作出反映,有助于迅速解决无线链路中出现的问题,降低管理帧(包括误帧)在发送数据中的比例,提高无线局域网中数据帧的吞吐率。

总结 无线局域网具有成本低、部署简单、使用方便等优势,已迅速成为人们进行网络互连的主要手段之一。然而在反映网络行为特征的流量研究方面,无线局域网由于受种种原因的局限,在研究对象、研究内容和研究方向上更多的还是沿用有线网络的思路。本文从比较有线和无线局域网在体系结构和协议机制上的差别入手,分析了这两者之间的不同所带来的研究对象上的差别及其原因,进而提出了将无线局域网流量研究重点放在 MAC 层帧数据流量研究上的观点,并详细指出了对帧数据流量开展研究的主要内容和方向,以及开展帧数据流量研究的意义和好处。在无线局域网帧数据流量研究方面,国内外基本上还处于起步阶段,这就需要研究人员在一些基础性研究方面(如无线数据测量、采集和分析方

面)花费更多的努力。

致谢 本文研究工作得到国家自然科学基金委员会基金项目的资助,同时得到了英国伦敦大学杨阳教授的指导和帮助,在此表示深切的感谢。

参考文献

- 1 Crow B P, Widjaja I, Kim J G, et al. IEEE 802. 11 wireless local area networks. IEEE communications Magazine, 1997, 35
- 2 Ware C, Judge J, Chicharo J, et al. Unfairness and capture behavior in 802. 11 ad hoc networks. In: IEEE International Conference on ICC 2000, June 2000(1); 18~22
- 3 Ge Xiaohu, Zhu Guangxi, Zhu Yaoting. An Improved Modeling for Network Traffic Based on Alpha-stable Self-similar Processes. Chinese Journal of Electronics, 2003, 12(4)
- 4 Ge Xiaohu, Zhu Guangxi, Zhu Yaoting. On the testing for alpha-stable distributions of network traffic. Computer Communications (Elsevier), 2004, 27(5)
- 5 Ge Xiaohu, Dong Yan, Zhu Yaoting. Throughput Model of IEEE 802. 11 Networks with Capture Effect. In: IEEE WiCOM, Wuhan, China, Sept 2006. 22~24
- 6 Eshghi F, Elhakeem A K. Performance Analysis of Ad Hoc Wireless LANs for Real-time Traffic. IEEE J Selected Areas in Communications, Feb 2003, 21(2)
- 7 Kin K L, Massey W A, Whitt W. Traffic models for wireless communication networks. IEEE Journal of Selected Area in Communications, Oct 1994, 12(8)
- 8 Aguayo D, Bicket J, Biswas S, et al. Link-level measurements from an 802. 11b mesh network. In: IEEE SIGCOM 2004, Portland, Oregon, USA, 30 Aug - 3 Sept, 2004
- 9 Mahajan R, Rodrig M, Wetherall D, et al. Analyzing the MAC-level behavior of wireless networks in the wild. In: SIGCOMM 2006, Pisa, Italy, Sept 2006. 11~15
- 10 Reis C, Mahajan R, Rodrig M, et al. Measurement-based models of delivery and interference in static wireless networks. In: SIGCOMM 2006, Pisa, Italy, Sept 2006
- 11 Leguay J, Lindgren A, Scott J, et al. Opportunistic content distribution in an urban setting. In: ACM SIGCOMM 2006, Pisa, Italy, Sept 2006
- 12 Jardosh A, Ramachandran K, Almeroth K, et al. Understanding link-layer behavior in highly congested IEEE 802. 11b wireless networks. In: ACM SIGCOMM 2005, Philadelphia, PA, USA, Aug 2005
- 13 Papagiannaki K, Yarvis M, Conner W. Experimental Characterization of Home Wireless Networks and Design Implications. IEEE INFOCOM 2006, Barcelona, Spain, Dec 2006
- 14 Kotz D, Essien K. Analysis of a Campus-wide Wireless Network. Journal of Wireless Networks, 2005, 11
- 15 尹首一, 林孝康. 无线 Mesh 网络流量自相似研究. 电信科学, 2005, 21(4); 53~55
- 16 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) WG. ISO/IEC IEEE 802. 11 Standard, 1997
- 17 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. ISO/IEC IEEE 802. 11 Standard, 1999
- 18 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band, IEEE 802. 11 a standard, 2000
- 19 Xu S, Papavassiliou S, Narayanan S. Layer-2 multi-hop IEEE 802. 11 architecture design and performance analysis. IEE Proc-Communications, October 2004, 151(5)
- 20 Alam M. Retransmission probability selection of multichannel CSMA/CD protocols for LANs. Computer Communications, July 1993, 16(7)
- 21 Ziouva E, Antonakopoulos T. CSMA/CA performance under high traffic conditions; throughput and delay analysis. Computer Communications, February 2002, 25(3)
- 22 Xu Kaixin, Mario G, Bae Sang. Effectiveness of RTS/CTS handshake in IEEE 802. 11 based ad hoc networks. Ad Hoc Networks, July 2003, 1(1)
- 23 Rodrig M, Reis C, Mahajan R, et al. Measurement-based characterization of 802. 11 in a hotspot setting. In: ACM SIGCOMM 2006, Philadelphia, PA, Aug 2005. 22~26