



信毅学术文库

IEEE 802.11e无线网络中的 跨层自适应视频传输研究

万征 著

复旦大学出版社



信毅学术文库

IEEE 802.11e无线网络中的 跨层自适应视频传输研究

万 征 著

 复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

IEEE802.11e 无线网络中的跨层自适应视频传输研究/万征著. —上海:

复旦大学出版社, 2015. 12

(信毅学术文库)

ISBN 978-7-309-11970-1

I. I… II. 万… III. 无线电通信-图象编码-研究 IV. ①TN92②TN919.81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 275923 号

IEEE802.11e 无线网络中的跨层自适应视频传输研究

万 征 著

责任编辑/宋朝阳 谢同君

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路 579 号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

江苏凤凰数码印务有限公司

开本 787×960 1/16 印张 9.5 字数 134 千

2015 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-11970-1/T·556

定价:29.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究

总序

书籍是人类进步的阶梯。通过书面记载,语言、文字、图画能够较为完好地保存下来,可以大量印制和快速传播,大大地方便人类的阅读和学习。当下,国家和社会对创新性知识的巨大需求促成了中国学术出版的新一轮繁荣。学术能力已成为当前高校综合服务水平的重要体现,是学校价值追求和人才培养的关键影响因素。

科学合理的学科专业结构、能够引领学科前沿的师资队伍、作为知识载体和传播媒介的优秀作品,是高校作为学术创新主体必备的三大要素。江西财经大学较为科学合理的学科结构和相对优秀的师资队伍,为学校的学术发展与繁荣奠定了坚实的基础。学校教师中教材、学术专著编撰出版活动活跃。

为加强学术专著出版管理,锤炼教师学术科研能力,江西财经大学与复旦大学出版社经过充分磋商,达成共识,分批次推出高品质专著系列。为此,我们根据江西财经大学“信敏廉毅”的校训精神,将之命名为“信毅学术文库”。前期我们已分批出版了“江西财经大学学术文库”和“江西财经大学博士论文文库”,为打造学术精品,突出江财特色,现将上述两个系列整合汇编为“信毅学术文库”。

本期“信毅学术文库”共选取了9部学术专著予以资助出版。这些学术专著囊括对经济、管理、法律、社会等各方面内容的研究,关注了社会热点论题与有重要研究和参考价值的选题,有一定的学术价值和现实指导意义。专著的作者既有学术领域的资深学者,也有初出茅庐的新聘博士。资深学者学术涵养深厚,且精于写作,他们专著的出版必定能够带来较好的学术影响和社会效益。作为青年学者,优秀博士学术思维活跃,容易提出新的甚至是有突破性的学术观点,从而成为学术研究或学术讨论的焦

点,把他们的学术研究成果编撰成书,其社会效益不言自明。一般而言,国家级课题项目的研究在专业领域具有较强的创新性,必须达到国内甚至国际的领先水准,基于此,我们也吸纳了部分国家级科研课题项目的研究成果。

“信毅学术文库”将分期分批地出版问世,我们将严格质量管理,努力提升学术专著水平,力争将“信毅学术文库”打造成业内有影响的高端品牌。“信毅学术文库”的出版,得到了复旦大学出版社的大力支持,对他们的敬业精神和远见卓识,我感到由衷地钦佩。

王 乔

2014年11月6日

前言

无线网络具有随时随地、不受限制访问的优点。随着无线通信标准的不断完善,以及无线基础设施和无线带宽的持续增加,无线联网已经成为一种趋势。另一方面,在文本、图像、声音和视频这几类媒体形式中,视频最为直观,其所蕴含的信息也最为丰富。过去,大容量的数据成为阻碍视频应用普及的主要因素。近年来,随着视频编码压缩标准的不断完善和有线、无线网络带宽的提升,无线视频监控、视频会议、远程教育和VOD等应用迅速发展,这一切都促使无线视频传输技术成为网络领域新的研究热点。

本书讨论的无线网络,主要包括有基础设施的无线局域网和无中心的无线多跳网络,不包含手机使用的蜂窝通信系统。一直以来,无线网络的通信协议沿用 IEEE 802.11 系列,它是 IEEE 802 系列局域网的一个分支,而无线多跳网络也大多沿用 802.11 协议。IEEE 802.11 标准比较适合“Best effort”的服务,但随着语音、视频等多媒体实时业务的涌现,产生了区分业务类型提供差异化服务质量(QoS)保障的要求,于是 IEEE 802.11 工作组推出了 802.11e 协议。IEEE 802.11e 一经提出就受到学者的广泛关注。由于它直接将语音和视频纳入了业务体系,因此尤其受到多媒体业务传输领域的关注。

无线信道低带宽、高误码率和信号不稳定的特点,要求编码算法能根据动态变化的网络状态调整输出码率,同时使用更为有效的差错控制和错误恢复技术。视频编码则要求无线网络在有限的带宽条件下尽可能地减少视频传输失真。目前为止,无线视频传输领域仍有两大问题需要解决。

第一个问题是,如何在带宽受限的无线链路上优化视频的传输。由

于视频流需要大量的带宽,所以分组丢失是无法避免的。因此,有必要对视频分组的重要性进行标识,从而保障高优先级分组的传输。为实现这一目的,就要结合编码和传输进行跨层优化,并对不同重要性的视频分组实施不平等的传输保护。在这种方案中,应用层负责计算和标识视频分组的优先级,而网络层或 MAC 层则根据分组的优先级执行不平等的传输调度。

第二个问题是,如何使视频传输方案能够适应视频码率、编码结构及网络状况的实时变化。这一问题的解决方案要求网络调度算法和视频编码算法能够紧密地结合在一起,而且由于获取网络状态并对其做出正确的反应均非易事,所以解决这一问题的复杂度和难度都远远高于前一个问题。

本书以 IEEE 802.11e 为网络环境,通过对 IEEE 802.11 和 802.11e 无线网络及其下的视频传输进行形式化建模,并推导视频解码失真与编码算法及分组丢失之间的关系,找出影响 IEEE 802.11e 网络中视频流传输性能的关键因素;接着,提出了适用于 802.11e 无线局域网和无线多跳网络的、支持视频编码自适应和网络状况自适应的若干个跨层视频传输方案;最后,将 Evalvid 工具集导入 ns-2 网络仿真器,对视频在 802.11e 网络中的传输性能进行评估。书中提出的跨层、自适应无线视频传输方案主要包括以下四个方面。

(1) 基于相对排队延时的无线视频传输方案,提出“相对排队延时”的概念并用它近似计算各个 AC 队列的排队时间,进而提出一种跨层考虑视频帧优先级和相对排队延时的视频帧调度算法。

(2) 支持网络自适应和编码自适应的不平等保护方案,在前述方案的基础上,利用模糊逻辑控制器来实现关键参数的自动调整,使其适应网络状况和编码的实时变化。

(3) 基于多径路由与单径路由的性能比较,提出一种相对简单的多径路由算法,将视频分组所属的帧类型看作优先级,并动态地将每个视频分组动态地分派给一条合适的路径。路径分派的依据包括视频分组的优先级,不同路径的质量差异以及视频序列的编码结构。

(4) 一种跨层多径路由方案,由三个模块组成:模块一根据各路径的



实时参数将路径排序,排序过程和结果定期更新;模块二是流量分配,每当接入新视频流的时候调用;模块三是流量调整,即根据环境的变化调整流量的分配。

随着无线通信技术的发展,各种类型的无线接入网络如 WiFi、WiMax、3G、传感器网络等,以及无线 Mesh 骨干网络,都得到了越来越广泛的应用。无线骨干与无线接入相结合的“异构无线网络”,将凭借其灵活、方便和经济的特点,逐步取代传统的无线仅到终端的“有线+无线”混合接入方式,成为大规模 Internet 接入和 Intranet 联网的主流技术。这也将是笔者今后的研究方向。

由于笔者水平和时间所限,书中难免出现一些错误和不足,望读者包涵并批评指正。

本书作者

2015 年 10 月 23 日

江西财经大学枫林园

目 录

1	引言	1
1.1	研究背景与意义	1
1.1.1	无线视频传输保障	1
1.1.2	IEEE 802.11e 的提出	3
1.1.3	IEEE 802.11e 视频传输的改进	4
1.2	研究方法	5
1.3	内容安排	5
2	IEEE 802.11e 无线视频传输研究综述	7
2.1	无线视频传输研究概述	7
2.1.1	无线局域网中的视频传输研究	7
2.1.2	无线多跳网络中的视频传输研究	9
2.1.3	视频传输的自适应机制	11
2.2	IEEE 802.11e 协议	13
2.2.1	IEEE 802.11 DCF 机制	14
2.2.2	IEEE 802.11e EDCA 机制	16
2.3	IEEE 802.11e 视频传输研究综述	18
2.3.1	调度机制的改进研究	18
2.3.2	EDCA 参数调整研究	21
2.3.3	其他改进方案	22
2.4	两项典型研究的深入讨论	24
2.4.1	静态映射方案——ICM	24
2.4.2	动态映射方案——Lin	25



3	仿真实验平台	27
3.1	网络仿真器——ns-2	27
3.1.1	ns-2 简介	27
3.1.2	ns-2 的结构	28
3.1.3	ns-2 的功能模块	28
3.1.4	ns-2 的核心思想	30
3.1.5	ns-2 的仿真步骤	31
3.2	Evalvid 架构与工具集	31
3.2.1	Evalvid 架构	32
3.2.2	YUV 视频介绍及获取	33
3.2.3	编码并生成视频 trace	35
3.2.4	评估接收视频的质量	37
3.3	EvalVid 与 ns-2 结合	39
3.3.1	myEvalVid 对 ns-2 的扩展	39
3.3.2	发送端和接收端 trace	40
3.3.3	myEvalVid 仿真脚本解析	41
3.3.4	针对视频流的传输控制	43
4	基于相对排队延时的无线视频传输	44
4.1	问题描述	44
4.1.1	IEEE 802.11 链路的失真模型	44
4.1.2	IEEE 802.11e 链路的失真模型	46
4.1.3	考虑视频帧的优先级	46
4.2	算法描述	47
4.2.1	AC 队列分析	47
4.2.2	总体思路	47
4.2.3	相对排队延时	48
4.2.4	视频帧调度算法	49
4.2.5	参数分析	51
4.3	仿真结果	53



4.3.1	性能比较	53
4.3.2	参数比较	58
4.4	小结	61
5	支持自适应和不平等保护的无线视频传输	62
5.1	自适应的视频传输方案	62
5.1.1	符号及缩写	62
5.1.2	系统框架	63
5.2	性能分析	64
5.2.1	EDCA 与 ICM	64
5.2.2	动态方案(Lin 与 DFAA)与静态方案(ICM)	65
5.2.3	Lin 与 DFAA	65
5.3	模糊逻辑控制器	66
5.3.1	DFAA 参数分析	66
5.3.2	FL 控制器的设计	67
5.3.3	在 MPEG4 上的实现	68
5.4	WLAN 的性能评估	71
5.4.1	四种方案的性能比较	72
5.4.2	参数设置的影响	81
5.4.3	DFAA-FL 的性能	84
5.5	多跳网络的性能评估	86
5.5.1	单个视频流的性能评估	86
5.5.2	多个视频流的性能评估	90
5.6	小结	93
6	多跳网络中多径路由的视频分组分派	95
6.1	IEEE 802.11 多径路由性能分析	95
6.1.1	场景 1 下的实验结果	96
6.1.2	场景 2 下的实验结果	99
6.2	IEEE 802.11e 多径视频传输分析	101

6.2.1	单径与多径的比较	101
6.2.2	最小跳数路由的性能	103
6.3	PDAA 思路与细节	103
6.4	PDAA 仿真分析	105
6.4.1	PDAA 与其他路由算法的比较	105
6.4.2	参数 R 的影响	110
6.5	小结	115
7	多跳网络中的跨层视频传输	116
7.1	网络层方案	116
7.1.1	总体框架	117
7.1.2	路径排序	118
7.1.3	流量分配	121
7.1.4	流量调整	121
7.2	链路层方案	123
7.3	性能评价	123
7.3.1	网络层方案的性能	123
7.3.2	跨层方案的性能	129
7.4	小结	131
8	结束语	132
8.1	总结	132
8.2	后记	133
	参考文献	135

引 言

1.1 研究背景与意义

1.1.1 无线视频传输保障

无线通信标准的不断完善使无线接入成为一种趋势。随着无线网络带宽的逐步增长,无线视频监控、视频会议、远程教育和视频点播(VOD)等应用的迅速发展,促使无线视频通信技术成为网络领域新的研究热点。无线信道低带宽、高误码率和信号不稳定的特点,要求编码算法能根据动态变化的网络状态调整输出码率,同时使用更为有效的差错控制和错误恢复技术。视频编码则要求无线网络在有限的带宽条件下尽可能地减少视频传输失真。近年来,国内外众多学者在这一领域进行了大量研究,提出视频可分级编码、自适应码率控制、“不平等”编码与传输控制及跨层优化等技术,并取得了一定的研究成果。

无线网络主要包括无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLAN)和无线多跳网络(Wireless Multi-hop Networks, WMN),后者又包括无线/移动自组织网络(Mobile Ad Hoc Networks)、无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)和无线网状网络(Wireless Mesh Networks, WMN)等。无线网络中的跨层自适应视频传输控制正成为一个重要的研究课题,其原因在于三个方面。

(1) 新的视频应用不断出现。在多现场抢险救灾环境中,视频会议

和基于视频的远程专家系统能协助各领域专家进行现场交流和即时指导,节约人力物力成本的同时赢得了宝贵的时间。在无线传感器网络普遍应用的军事和环境监测领域,枯燥的感应监测方式已逐渐被灵活的视频监控方式取代。随着无线 Mesh 网在民用领域应用的不断深入,视频聊天、VOD 等网络多媒体业务正成为网络的核心业务。

(2) 无线视频通信领域的研究尚未成熟,互联网工程任务组(IETF)和国际电信联盟(ITU)等国际标准化组织、各大研究机构和众多学者对于网络自适应视频编码与传输控制的解决方案未形成统一认识。无线多跳网络的一些特性又使无线局域网环境的视频通信研究面临一些新的挑战。

(a) 无中心的路由环境。不同于无线局域网,无线多跳网络由无线节点自身充当“路由器”。虽然研究者提出了 AODV、DSDV、DSR 等特点鲜明的多跳路由协议,但是这些协议都无法满足视频通信的要求。

(b) 动态变化的网络拓扑。无线终端的移动与能量枯竭、无线信道间的相互干扰、气候与地形的变化等都可能造成网络拓扑发生变化,进而对视频编码、分组路由与调度产生影响。

(c) 数量有限且动态变化的资源。无线链路的带宽,无线终端的计算能力、存储容量和能量供给都受到不同程度的限制,无线信道的不稳定性又使得这些资源总是处在不断变化中,这些因素都加大了视频编码与传输控制的难度。

(3) 提供自适应性是无线网络视频传输的内在要求和中心任务。无论是视频编码算法还是网络传输控制策略,都必须根据网络环境和资源的动态变化进行相应调整。网络状态变化的复杂性和不可预测性,使研究人员难以借助理论分析或经验知识预先设计调整策略,这就要求自适应算法和策略能在运行过程中实现自我优化。

综上所述,无线网络由于其广泛的应用前景得到了学术界、工业界、国防军事部门和民用部门等各方面的高度重视。随着无线网络应用领域的不断拓展和网络带宽的稳步增长,视频业务在实际应用中发挥着越来越重要的作用。研究一套具有网络变化适应能力的视频传输控制机制,不仅能有效减少失真、提高视频接收质量,而且能大大简化网络部署任



务、提高无线视频通信系统的自主性和抗干扰能力、扩大无线网络的应用范围,并为国防现代化水平、信息化水平及政府应急响应能力的提高提供技术上的支持。本项目考虑视频编码的层次性和无线网络带宽的有限性,结合分组路由与调度策略研究视频分组的自适应不平等传输问题,能显著改善资源匮乏条件下的视频传输质量,其研究成果在视频编解码、分组路由、网络服务质量、队列调度等领域具有一定的学术价值。

1.1.2 IEEE 802.11e 的提出

无线网络,包括无线局域网和无线多跳网络是指依靠无线介质进行网络设备间通信的网络。它是计算机网络技术和移动通信技术相结合的产物,为无线通信的移动化、个人化提供了手段,同时它也为多媒体应用提供了可能。无线网络非常适用于移动接入,能在有线电视不方便的地方发挥重要的作用,具有易于安装、移动性高、抗干扰能力强和维护方便等优点。随着个人数据通信的发展,人们对功能强大的便携式数据终端以及多媒体业务的应用要求越来越高,为了实现任何人在任何地点、任何时候都能进行数据通信的要求,通信手段也开始逐步转型。通信介质由有线转向无线,通信设备由固定转向移动,业务要求由单一类型到多媒体应用,这一切的转变都契合无线网络的特性,因此无线网络得到了大力发展。

无线网络的通信协议一直沿用 IEEE 802.11 协议,它是 IEEE 802 系列局域网的一个分支,而无线多跳网络也大多沿用 IEEE 802.11 协议。在无线网络迅速发展的过程中,涌现 IEEE 802.11、802.11b、802.11a、802.11g 以及 802.11n、802.11ac 等协议,发展的趋势是最大传输速率逐渐提高,采用的天线也越来越多。

传统的 IEEE 802.11 主要采用分布式控制的 DCF 和集中式控制的 PCF 两种方式,两者各有所长。DCF 的构造简单且稳定性好,是当前的主要应用方式;PCF 则基于轮询原理,可以提供一定的实时保证。尽管无线局域网中的传输速率越来越高,但同有线以太网相比还有一定差距。在以往的有线以太网中,由于丰富的带宽资源和高效的信息传输,人们对网络的服务质量(QoS)没有太多的关注。在无线网络中,有限的带宽资

源与复杂多变的信道特性导致的高误码率,限制了那些对带宽、时延有较高要求的视频、语音等多媒体实时业务在无线网络中的应用。传统的 DCF 和 PCF 比较适合“Best Effort”的服务。随着视频、语音等多媒体实时业务的涌现,对 QoS 的要求逐渐提高,于是,IEEE 802.11 工作组于 2005 年底推出了 802.11e 协议,用以在无线网络中提供 QoS 保证。由于 802.11e 可以显著提高无线局域网中的 QoS,实现语音视频及数据等业务的区分服务,在 2007 年 6 月最新出台的 IEEE 802.11 系列的修订版中,已经将 802.11e 由最初的可选功能要求为无线局域网设备所必须支持的功能。

IEEE 802.11e 是对 IEEE 802.11 标准的增强协议,它提出了两种新的 MAC 层接入机制,即增强型分布式信道访问(Enhanced Distributed Channel Access, EDCA)和混合协调功能控制信道访问(Hybrid Coordination Function Controlled Channel Access, HCCA),引入了业务等级的概念,增加了一些新的 QoS 参数和帧结构,增强了 WLAN 的 QoS 性能。HCCA 是一种集中控制方法,而 EDCA 属于分布式控制方法。由于无线网络中的集中控制需要更多的管理开销,同时,网络健壮性要远低于分布式,不如分布式控制有效灵活,因而 EDCA 得到了更广泛的应用。

IEEE 802.11e 一经提出就受到学者的广泛关注。由于它直接将语音和视频纳入了业务体系,因此它尤其受到多媒体业务传输领域的关注。

1.1.3 IEEE 802.11e 视频传输的改进

到目前为止,视频传输领域仍有两大问题需要解决。

第一个问题是如何在带宽受限的无线链路上优化视频的传输。由于视频流需要大量的带宽,所以分组丢失是无法避免的。因此,有必要对视频分组的重要性进行标识,从而保障高优先级分组的传输。为实现这一目的,就要结合编码和传输进行跨层优化,并对不同重要性的视频分组实施不平等的传输保护。在这种方案中,应用层负责计算和标示视频分组的优先级,而网络层或 MAC 层则根据分组的优先级执行不平等的传输调度。

第二个问题是如何使视频传输方案能够适应视频码率、编码结构及



网络状况的实时变化。这一问题的解决方案要求网络调度算法和视频编码算法能够紧密地结合在一起,而且由于获取网络状态并对其做出正确的反应均非易事,所以解决这一问题的复杂度和难度都远远高于前一个问题。

本书以 IEEE 802.11e 为网络环境,在深入分析 IEEE 802.11e 协议工作过程和 MPEG4 视频编码细节的基础上,提出适用于 IEEE 802.11e 无线局域网和无线多跳网络的、支持视频编码自适应和网络状况自适应的跨层视频传输方案。

1.2 研究方法

(1) 对 IEEE 802.11 和 IEEE 802.11e 无线网络及其下的视频传输进行形式化建模,通过推导视频解码失真与编码算法和分组丢失之间的关系,找出影响 IEEE 802.11e 网络中视频传输性能的关键因素。

(2) 进行实验分析,主要体现在发现问题和验证新方案的性能两个方面。一方面,许多时候新问题都是在之前实验的过程中发现的。由于实验结果达不到预期,引导作者思考其中的原因,从而发现了新的问题。另一方面,所有新方案的性能验证也都是通过仿真实验的方式来完成。

本书的基础实验平台为网络研究领域中的应用最为广泛的网络仿真器 ns-2。由于它是一个开放的实验平台,众多学者将自己的研究成果和最新的通信标准均打包为该平台中的独立模块,供其他学者使用。因此,该平台几乎能够仿真所有的网络环境和网络协议。

为了研究无线网络的视频传输性能,本书将 EvalVid 工具集导入 ns-2,使视频流能够在仿真平台中传送,并再现接收端的视频。

1.3 内容安排

本书接下来的内容安排如下。

第二章对 IEEE 802.11e 网络中的无线视频传输研究进行了综述。首先,对无线视频传输包括无线局域网和无线多跳网络中的视频传输进