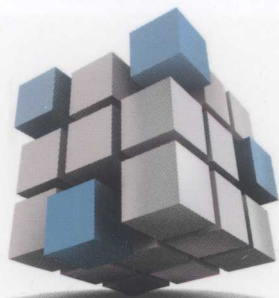


无线

自适应接入机制及 OPNET仿真

石春 邓正杰 何书前◎著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

013061680

TN925
81

内容简介

无线自适应接入机制及 OPNET 仿真

石春 邓正杰 何书前 著



国防工业出版社

· 北京 ·



北航

C1667949

TN925
81

082120810

内 容 简 介

本书主要介绍了基于 IEEE 802.11 协议的无线接入优化机制和自适应接入机制的仿真实现程序,共 6 章,包括 WLANs 网络介绍、IEEE 802.11 协议、接入机制优化算法、AMOCW 接入机制以及退避时间计数器分布规律研究,最后针对部分优化算法,给出了 OPNET 的仿真源代码。

本书可作为高等学校通信专业或者计算机类专业的本科生和研究生参考教材,也适合广大科技工程人员工作中参考。

图书在版编目(CIP)数据

无线自适应接入机制及 OPNET 仿真/石春,邓正杰,何书
前著. —北京:国防工业出版社,2013.6

ISBN 978-7-118-08793-2

I. ①无… II. ①石… ②邓… ③何… III. ①无线接入
技术 ②计算机网络—计算机仿真—应用软件 IV. ①TN925
②TP393.01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 108365 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 5 1/4 字数 115 千字

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 49.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

前 言

随着无线应用的迅猛发展,让用户能体验好的无线使用环境是电信服务提供商的一个主要出发点。无线接入技术也在日新月异发展过程中,IEEE 802.11 协议族在 WLANs 中更是得到广泛的运用。

当前市场上介绍 WLANs 配置以及应用知识方面的书籍很多,为用户初步了解 IEEE 802.11 协议族以及 WLANs 运用带来了方便。但是,介绍 IEEE 802.11 协议优化机制方面以及 OPNET 仿真代码方面的书籍并不多见。结合作者研究内容编写了本书籍,希望能为协议研究以及 OPNET 仿真工程实践的学习者提供参考,并希望能借此和同行深入讨论研究。

全书分为 6 章,分别介绍了 IEEE 802.11 优化的分布式接入机制和 OPNET 仿真源代码,按照内容模块组织章节,读者可以根据自己的需要有选择地阅读和使用。

第 1 章,介绍了 WLANs 的一些基本情况。

第 2 章,IEEE 802.11 分布式接入机制。主要介绍 IEEE 802.11 协议族中的分布式接入机制基础内容,并给出了一些经典的分析模型。

第 3 章,优化的分布式接入机制研究。介绍了固定竞争窗口优化接入机制和自适应优化的分布式接入机制研究。

第 4 章,介绍了基于最优竞争窗口的分布式接入机制(AMOCW 机制),并给出了对应的性能分析。

第 5 章,介绍了退避时隙计数器分布规律的研究内容。

第6章,给出了分布式自适应接入机制中 OPNET 的核心代码。

本书的特点如下:

(1) 算法的新颖程度和实用性。本书选取了部分国内外期刊的研究成果,对结果进行了分析和讨论,同时,本书内容不仅是实验室内容,还具有极大的工程运用价值,在工程运用中具有极高的指导意义。

(2) OPNET 仿真源代码说明。这个是目前相关的书籍所不具备的,是编者多年工作和科研成果。本书介绍了分布式自适应接入机制仿真成果,给出了核心内容在 OPNET 中的实现过程,对于科研和工程运用具有极高的参考价值。

全书由石春策划、统稿和定稿。何书前和邓正杰参与了第1章、第2章的编写工作。其余章节主要由石春编写。吴淑雷教授、曹均阔博士、罗志强博士和张瑜博士参与了本书部分程序的编写和调试工作,并参与了第6章内容的编写。刘雁翎和邓佩等参与了全书的校对工作。

本书得到海南师范大学学术著作出版、海南省自然科学基金(No.611128, No.612122, No.612120, No.613163, No.613164)、海口市重点科技计划(No.2012-050)、海南省高等学校科学研究(NO.Hjkj2012-14)、国家自然科学基金(No.61262077, No.61163042)等项目资助。

本书在编写过程中得到很多专家的帮助、支持和指导,在此表示衷心的感谢。

由于编者知识水平有限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

海南师范大学

石 春

2013年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 无线局域网	2
1.1.1 WLANs 历史	3
1.1.2 WLANs 拓扑结构	5
1.1.3 WLANs 的特点	7
1.1.4 WLANs 的主要应用前景	8
1.1.5 WLAN 关键技术	10
1.1.6 WLANs 中 MAC 研究	10
1.1.7 WLANs 的发展趋势	12
1.2 WLANs 两个技术标准	14
1.2.1 IEEE 802.11 标准	14
1.2.2 HiperLAN	16
第 2 章 IEEE 802.11 分布式接入机制	20
2.1 IEEE 802.11 标准	20
2.2 IEEE 802.11 中 MAC 协议	23
2.3 DCF 机制简介	24
2.3.1 Data/ACK 方式	25
2.3.2 RTS/CTS/Data/ACK 方式	26
2.3.3 帧间隔	28
2.3.4 二进制指数退避算法	29
2.4 PCF 机制简介	32
2.5 EDCA 接入机制	34

2.5.1	EDCA 用户等级和接入类别	34
2.5.2	EDCA 接入过程和竞争窗口范围	35
2.6	拥塞反应分析及研究现状	37
2.7	DCF 接入方式饱和吞吐率分析方法	38
2.7.1	数据包传输概率 τ	39
2.7.2	DCF 接入机制饱和吞吐率 S	43
2.7.3	最大饱和吞吐率	45
2.8	改进的 Markov 吞吐率模型	46
2.8.1	模型时间刻度	49
2.8.2	二维 Markov 链	51
2.9	网络时延模型	51
2.9.1	接入时延分析	51
2.9.2	接入时延的表达式	52
2.10	EDCA 接入机制分析模型	55
第 3 章	接入机制优化研究	59
3.1	优化目标	59
3.2	DCF 的优化算法	60
3.2.1	固定竞争窗口接入机制	61
3.2.2	自适应分布式接入机制	66
3.3	EDCA 优化机制研究	68
3.3.1	AEDCF (Adaptive EDCF)	69
3.3.2	FCR (快速碰撞解决机制)	70
3.3.3	AFEDCF (Adaptive Fair EDCF)	72
第 4 章	基于最优竞争窗口接入机制	75
4.1	新的网络时延模型	75
4.2	饱和吞吐量	80
4.3	新的节点个数估计算法	84
4.3.1	空闲时隙间隔计算方法	84
4.3.2	新的活动节点个数估计算法	85

4.4	AMOCW 接入机制	88
4.5	性能分析	89
4.5.1	最佳传输次数阈值	89
4.5.2	吞吐量性能分析	92
4.5.3	基于竞争窗口的公平性指标计算方法	94
4.6	仿真验证和性能比较	96
4.6.1	运行时刻竞争窗口指配和公平性	97
4.6.2	随节点个数变化的吞吐量和公平性	100
4.6.3	适应时间和 P_C/P_S 比率关系	102
4.7	AMOCW 算法小结	104
第 5 章	退避时间计数器分布规律研究	106
5.1	DCF 的退避时间计数器取值规律	107
5.1.1	DCF 机制中均匀分布的退避时间计数器取值规律	107
5.1.2	DCF 机制中指数分布的退避时间计数器取值规律	108
5.2	AMOCW 的退避计数器选择规律分析	113
5.3	仿真验证和性能分析	117
5.4	小结	121
第 6 章	OPNET 仿真	122
6.1	仿真工具比较	124
6.1.1	NS 简介	124
6.1.2	OPNET 介绍	126
6.1.3	NS 与 OPNET 优、缺点比较	130
6.2	OPNET 系列产品介绍	131
6.3	OPNET 中的 WLAN 模型	132
6.3.1	未包含协议特性	133
6.3.2	模型属性	134
6.3.3	WLAN 配置技术	135
6.3.4	节点模型结构	138
6.3.5	MAC 进程模型	139

6.4	算法仿真	139
6.4.1	OPNET 中各种变量的区分	139
6.4.2	Idle Sense 算法仿真程序	140
6.4.3	AMOCW 机制仿真程序	144
6.5	小结	151
参考文献		152

第1章 绪 论

无线网络以其“无所不在”的魅力正成为人们追逐的焦点。无论是网络升级还是重新组网，人们总希望自己的网络能够摆脱线缆的束缚，走进自由的天地。同时，用户对速度的需求是永无止境的，对无线接入 Internet 的需求也在飞速地增长^[1]。

随着无线通信业务（3G/4G 业务）的快速增长，我国的通信市场也在不断开放中。由于市场准入制度的改革和多次的市场重组，新运营商不断加入移动服务供应商的行列，比如，中国电信也进军移动市场，形成了多方竞争的局面，而客户通过无线方式接入网络获取资源是相互竞争的关键点之一。同时，电信业务正向数据化、宽带化、综合化、个性化发展，为了争取更多的用户，如何快速、有效、灵活、低成本地提供客户所需要的各种业务成为运营商首要考虑的问题。由于 WLANs 布设方便，只要安放一个或多个接入点（Access Point，AP）设备就可以建立覆盖整个建筑或地区的局域网络。同时，WLANs 能胜任只有几个用户的小型局域网到有上千用户的大型网络，并且能够提供“漫游（Roaming）”等功能，具有较强的可扩展性。WLANs 支持移动特性以及便捷的组网覆盖区域特性，可以迅速推广相应的语音和数据业务，提供丰富的增值业务来吸引更多的用户。另外，WLANs 利用电磁波在共享信道中进行数据的发送和接收，数据传输速率为 11Mb/s ~ 54Mb/s，一直到现在的上千 Mb/s，使得移动设备和终端具有可移

动性,能快速、便捷地解决以有线方式不易实现的网络联通问题。

IEEE 802.11 标准是目前 WLAN 发展中得到普遍认可的技术规范,其介质接入控制(Media Access Control, MAC)机制采用了基于 CSMA/CA 的多址随机信道接入机制。国内三大移动通信巨头(中国移动、中国联通和中国电信)展开了大规模的采购招标。2008 年开始的 Wi-Fi 之战,进一步推动了无线接入技术的普及和运用。比如,中国电信的“C+W”(“CDMA+Wi-Fi”)策略的启动,是其移动业务的最大亮点之一^[2]。这也加快了移动通信中的 Wi-Fi 建设,形成了对于机场、学校、CBD、咖啡厅、酒吧等热点地区的服务覆盖面。从 2010 年 10 月以来,中国联通启动了 20 万台 WLAN 设备采购;中国移动也开展了 38 万台 WLAN 设备的招标采购;2011 年 3 月,中国电信也开始了新一轮的 IEEE 802.11n 设备招标^[3]。在 WLAN 中,无线接入技术主要来自 IEEE 802.11 协议族。IEEE 在 1997 年就已经制定了第一个 WLAN 标准协议——IEEE STD 802.11-1997^[4],之后,针对不同的要求,比如数据传输速率、不同优先级用户对应的资源占用等内容,一直在优化制定新的协议。在 IEEE 802.11 协议族中,无线接入技术是用户接入网络的关键。

1.1 无线局域网

无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLANs)是利用射频(Radio Frequency, RF)技术,取代旧式的双绞铜线所构成的局域网络^[5]。WLANs 利用电磁波在空气中发送和接收数据,而无需线缆介质。WLANs 凭借其移动性强、灵活性好、易于扩展、成本低廉等特点,近年来得到了迅速的发展并被广泛应用,被看

作是未来个人通信系统的重要组成部分。

1.1.1 WLANs 历史

WLANs 的历史可以追溯到 20 世纪 70 年代。在 1968 年,由夏威夷大学组织开展的 ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) 研究项目建立了第一个基于分组交换的无线通信网络 ALOHA (Additive Link On-line HAWAII system)。该项目中,研究人员首次研究了多个站点竞争单个共享信道使用权的问题,提出了一种巧妙设计的方法来实现多个站点之间共享信道的占用分配,即 ALOHA 协议。随后,美国国防部高级研究计划署于 1973 年启动了研制开发应用于军事战场通信的分组无线网络 PRNET (Packet Radio Network) 的项目计划^[6],其目的是在没有基础固定通信设施的战场环境条件下,利用无线通信技术建立一个使得可移动通信终端之间能够交换数据分组的网络系统。PRNET 将 ALOHA 的单跳无线网络通信结构扩展到了多跳,并综合采用了 ALOHA 和 CSMA (Carrier Sense Multiple Access) 两种信道访问技术。ALOHA 和 PRNET 网络的研究对后续无线网络的发展产生了深远的影响,奠定了现如今形形色色不同类型无线网络的发展基础。

20 世纪 70 年代末,瑞士 IBM Rueschlikon 实验室的 Gfeller 为了解决生产车间里的布线困难,克服大型机器的电磁波干扰,采用红外线进行无线传输。由于红外线的传输速率太小,低于 1Mb/s,虽然该红外无线方案并没有投入使用,但是他提出了 WLANs 的概念。

1980 年,位于加利福尼亚的惠普实验室的 Ferrer 从事的研究项目可以称得上是一个真正的 WLANs。在这里,传输介质是 900MHz 频段的无线电,使用直接序列扩频(Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)的调制技术,传输速率能够达到 100Kb/s,使用

载波侦听多路访问 (CSMA) 技术作为媒体访问控制 (Medium Access Control, MAC) 层的接入方式, 而 CSMA 也是当今 IEEE (国际电子电气工程师协会) 802.11 系列标准中的媒体接入方法。尽管 FCC (Federal Communications Commission, 美国联邦通信委员会) 与该项目负责人签订了试验许可协议, 然而却并没有为该项目分配一定的频段, 因此该项目最终未能实现。在后来的几年中, 很多希望在 WLANs 这个领域进行研究的多家公司都由于没能获得需要的频段而未能开展相关项目, 因此, WLANs 的发展在 20 世纪 80 年代初的几年停滞不前。

到了 1985 年, FCC 对无线电波的管理出台了相应的政策, 普通用户可以使用保留给工业、科学或者医疗设备使用的 ISM (Industrial Scientific Medical, 工业、科学、医疗) 频段, ISM 频段工作于 902MHz ~ 5.85GHz 的范围内, 无线网络设备的供应商可以生产工作于该频段的无线产品, 而且用户也不必得到 FCC 的允许就可以直接使用这样的无线设备。ISM 频段的出现无疑是无线通信产业历史发展中的一件大事, 它为 WLANs 后来的高速发展提供了平台和基础, 促进了无线通信产业的商业化发展。

1990 年 7 月, 负责制定 WLANs 物理层以及 MAC 层协议标准的 IEEE 802.11 任务组成立。在经历了多年的发展之后, 1997 年 6 月 26 日, IEEE 802.11 标准^[4]出台。在同一年, 无线局域网联盟 (Wireless Local Area Network Alliance, WLANA) 成立, 该联盟起初由 AMD、Harris、3COM、Aironet、Lucent 等多家公司参与, 而且在后来有更多的通信公司加入进来。IEEE 802.11 标准和联盟协议促进了无线设备的标准化进程, 基于 IEEE 802.11 标准的无线设备随后逐渐出现。同时, 在欧洲, 关于高速无线局域网 (HperLAN) 的标准化组织也宣告成立。

1.1.2 WLANs 拓扑结构

根据网络覆盖区域范围大小的不同,现代无线通信网络可以大致分为以下几种类型:无线个域网络(Wireless Personal Area Networks, WPANs)、无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLANs)、无线城域网(Wireless Metropolitan Area Networks, WMANs)及无线广域网(Wireless Wide Area Networks, WWANs)。WPANs 主要服务于个人使用的多个设备之间的通信需要,如 PDA 与笔记本电脑之间的数据交换,其通信范围一般在 10m 左右。WLANs 通常用作有线网络的延伸和补充,为满足小范围内移动用户对高速数据通信的需要而提供一种无线的网络连接方式,因此其通信范围一般在 1km 左右。WMANs 和 WWANs 是为了适应大范围通信覆盖需要的网络设计,其中 WMANs 用于城市区域范围内的移动通信,而 WWANs 则是服务于较一个城市更广地域范围的移动通信。本书主要关注 WLANs 相关内容。

WLANs 最初是在扩展有线局域网的基础上发展起来的,是计算机网络与无线通信技术成功结合的产物。可以说,基于 IEEE 802.11 协议族的 WLANs 占据了整个目前 WLANs 发展的主导地位。促使 IEEE 802.11 WLANs 快速发展的因素存在于多个方面。首先,受广大设备制造厂商的普遍支持,加上 Intel 迅驰移动计算技术“Centrino”的大力推广,IEEE 802.11 WLANs 获得了被广泛应用的基础先决条件。其次,无线通信技术的发展进步使得设备成本不断降低,并且基于 IEEE 802.11 协议族的 WLANs 采用无需申请授权的公共 ISM 频段,使得 WLANs 的网络建设成本非常低廉。最重要地,人们对无线技术所带来的自由移动通信有着迫切的需求,大量的各种手持设备以及笔记本电脑需要为其提供一种便捷的无线宽带接入方式。

WLANs 是一种区别于传统的有线方式连接的新的数据通信系统^[5]。在 WLANs 中,计算机与计算机之间、计算机与集线器之间及打印机与集线器之间,以无线的方式进行连接。在当今社会高速发展的情况下,人们对便携式计算机的需求也日益增多,WLANs 凭借其能够摆脱线缆限制的优点、灵活方便的特性快速普及。按照基本的网络拓扑结构进行分类,WLANs 可以分为 AP (Access Point, 接入点) 的 Infrastructure (基础结构) 网络和没有 AP 的 Ad Hoc (自组织) 网络。在 Infrastructure 结构中,各个节点通过 AP 进行通信,如图 1-1 所示;在 Ad Hoc 结构中,没有 AP 进行中转,节点之间直接进行通信,如图 1-2 所示。

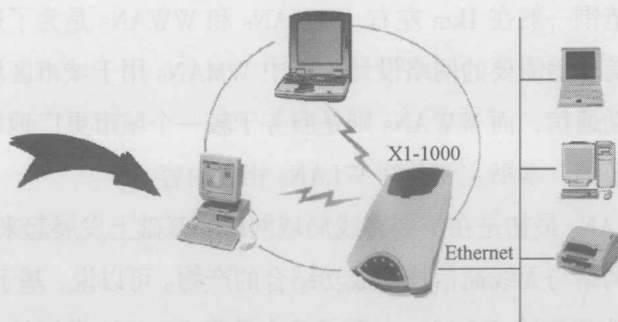


图 1-1 Infrastructure (基础) 结构

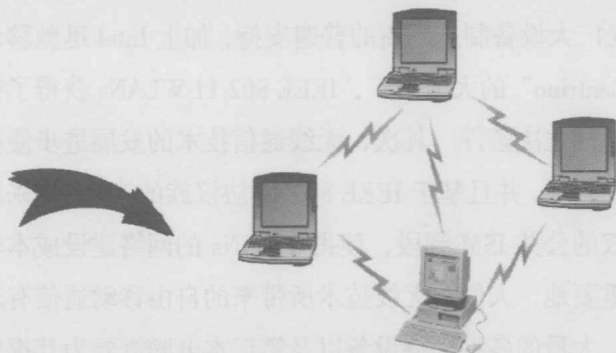


图 1-2 Ad Hoc 结构

1.1.3 WLANs 的特点

1) 移动性

由于没有线缆的束缚, WLANs 最独特的优点就是它的移动性。WLANs 的通信范围不再受环境的约束, 因此其用户可以更方便、随意地进行各种操作, 随时随地保持与网络的连接, 方便地获取所需要的信息。在 WLANs 中, 用户和无线设备可以在移动中通信。当然, 在现在的 WLANs 中, 还不支持高速移动, 但是已经逐渐开始支持慢速移动。移动性作为 WLANs 中最独特的优点, 为人们提供了更为丰富多彩的生活方式, 使 WLANs 在现实生活中日益普及。

2) 安装便捷

一般在网络建设中, 施工周期最长、对周边环境影响最大的, 就是网络布线施工工程。在施工过程中, 往往需要破墙掘地、穿线导管。而 WLANs 最大的优势就是免去或减少了网络布线的工作量, 一般只要安装一个或多个 AP 设备, 就可以建立覆盖整个建筑或地区的局域网络。特别对于恶劣的地理环境, WLANs 有得天独厚的优势, 比如在一些危险地区(地质灾害等)或者需要特殊保护的场合, 采用 Ad Hoc 组网方式, 无线设置在 WLANs 可以直接相互通信。

3) 使用灵活

在有线网络中, 网络设备的安放位置受网络信息点位置的限制。而一旦 WLANs 建成后, 在无线网的信号覆盖区域内任何一个位置都可以接入网络。

4) 传输速率高

在现有的无线传输技术条件下, WLANs 的比特传输速率通常

已经能够达到几十 Mb/s 甚至几百 Mb/s, 作为有线网络的补充, 基本能够满足用户现阶段无线连接 Internet 的需要。

5) 经济节约

由于有线网络缺少灵活性, 这就要求网络规划者尽可能地考虑未来发展的需要, 这会导致预设大量利用率较低的信息点。而一旦网络的发展超出了设计规划, 又要花费较多费用进行网络改造。而 WLANs 可以避免或减少以上情况的发生。

6) 易于扩展

WLANs 有多种配置方式, 能够根据需要灵活选择。一种是无线设备之间采用 Ad Hoc 方式进行组网通信。另一种是通过 AP 之间的互连、或者 AP 与因特网的连接, WLANs 容易形成多区网, 使网络的覆盖范围进一步扩大。在适当的位置放置或添加 AP 或扩展点 (Extend Point, EP), 就可以满足扩展组网的需要。这样, WLANs 就能胜任从只有几个用户的小型局域网到上千用户的大型网络, 并且能够提供像“漫游”等有线网络无法提供的特性。

1.1.4 WLANs 的主要应用前景

WLANs 有着非常广泛的应用前景, 它的应用范围可以大致分为两种, 即室内应用和室外应用。在室内应用中, 包括家庭小型办公室 (Small Office Home Office, SOHO) 以及在公司企业、车间商场、列车飞机等候区等地的使用。在室外应用中, 包括校园、医院、居民小区中的网络建设, 以及通过无线路由器等中继节点形成的更大范围的无线网络。而且, 有些网络还综合了室内和室外的应用, 形成更大规模和范围的无线网络。下面简单介绍以下几类 WLANs 的主要应用^[7,8]。