



华南理工大学

South China University of Technology

工程硕士学位论文

WiFi 网络构建与应用研究

作者姓名	李先权
工程领域	电子与通信工程
校内指导教师	胡斌杰 教授
校外指导教师	宋永胜 高级工程师
所在学院	电子与信息学院
论文提交日期	2012 年 11 月

分类号: TN929. 5

学校代号: 10561

学 号: 200920202830

华南理工大学硕士学位论文

WiFi网络构建与应用研究

作者姓名: 李先权 指导教师姓名、职称: 胡斌杰教授、宋永胜高级工程师

申请学位级别: 工程硕士 工程领域名称: 电子与通信工程

论文形式: ☐ 产品研发 ☐ 工程设计 ☐ 应用研究 ☐ 工程/项目管理

☐ 调研报告

研究方向:

论文提交日期: 年 月 日 论文答辩日期: 年 月 日

学位授予单位: 华南理工大学 学位授予日期: 年 月 日

答辩委员会成员:

主席: 黄惠芬副教授

委员: 周伟英副教授, 刘雄英副教授, 张岚高级工程师

The construction of WiFi network and wireless applications theory

A Dissertation Submitted for the Degree of Master

Candidate: Li Xianquan

Supervisor: Prof. Hu Binjie

South China University of Technology

Guangzhou, China

华南理工大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名：李光敏

日期：2012年11月30日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属华南理工大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许学位论文被查阅（除在保密期内的保密论文外）；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。

本学位论文属于：

☐ 保密，在_____年解密后适用本授权书。

☒ 不保密，同意在校园网上发布，供校内师生和与学校有共享协议的单位浏览；同意将本人学位论文提交中国学术期刊(光盘版)电子杂志社全文出版和编入CNKI《中国知识资源总库》，传播学位论文的全部或部分内容。

(请在以上相应方框内打“√”)

作者签名：李光敏

日期：2012.11.30

指导教师签名：杨明生

日期：2012.12.1

作者联系电话：

电子邮箱：

联系地址(含邮编)：

摘要

现今，运营商WiFi网络不断完善，用户数以及数据流量不断提升，WiFi网络信号覆盖区域越来越广，建网环境越来越复杂，这就给组建WiFi网络提出更大挑战。由于资源分布不均，组建WiFi网络方式也灵活多样，总之，降低网络建设成本，提高网络质量，保障用户体验永远是指导一切工程的设计及实施首要条件，也是本次论文讨论主要内容。

本论文首先介绍了WiFi网络组网方式，分别从无线侧和传输侧两方面进行阐述，无线侧技术包括用户终端与AP之间组网方式等；而传输侧技术则涵盖用户数据从AP到网络实现互联互通技术和AP的上联方式，包括采用DSLAN接入、LAN接入以及POE接入三种方式。本论文着重于WiFi网络组织架构的分析与介绍，希望能对WiFi组网在工程建设实际应用中起参考作用。

其次，在WiFi无线宽带使用过程中，影响用户感知的因素很多，最常见的现象就是上网速度慢，网络延迟大或者更加严重的是直接掉线，这就需要从理论上来分析这些现象，寻找合适解决方法，也是本论文讨论的内容。造成这些原因一般有设备负荷过重，末端接入AP容量不够，信号覆盖差，还有射频干扰等。此外由于对市场需求估算不足，造成现有部分热点容量不能满足当前需要，为了避免出现这种情况，需要对WiFi网络的容量进行合理估算和规划，这也是本论文所讨论的重点内容。

本文对WiFi网络总体进行阐述，分析WiFi网络现状以及未来发展趋势、WiFi网络架构、WiFi网络中所涉及技术理论，此外还通过分析华南理工大学广州学院某通信运营商WiFi组网方案，为WiFi组建良好的网络结构提供参考。

作者所在单位是一家通信设计企业，作者作为该公司一名WiFi项目区域负责人，其中承担华南理工大学广州学院某通信运营商WiFi组网设计工作，并最终完成该校WiFi网络构建和设计工作，目前该网络已经投入使用，本文是作者对WiFi网络组建的总结。

关键字： WiFi网络 频点 干扰 容量

ABSTRACT

Today, The business of WiFi network constantly improve, However, a huge user demand for WiFi network puts forward higher requirements. The number of users as well as data traffic is increasing .the increasingly wide the WiFi network signal coverage area, building a network environment has become increasingly complex, which proposed to set up a WiFi network greater challenge. Due to the uneven distribution of resources, the Building WiFi network flexible. Reducing the cost of network construction, improving the quality of the network, and protecting the user experience is always guide all engineering design.

This paper first briefly introduces the WiFi networks method for the WiFi network applications and takes a solid foundation, the main content is to illustrate from the wireless side and the transmission side, I will introduce the wireless side technology and transmission side technology in this paper. Wireless side technologies include way between the user terminal with AP .Transmission side technology covers the user data from the AP to the network interconnection technology, AP on the ways of using DSLAN access, LAN access, POE access in three ways .This paper focuses on the WiFi network structure analysis and introduction in the hope of providing some references to the WiFi network in the construction engineering practical application.

Secondly, WiFi wireless broadband use process, the factors that affect the user perception of many, the most common phenomenon is slow access, network latency or more serious is directly dropped, which requires theoretical analysis of these phenomena, looking for the Suitable solution, but also the content discussed in this paper. Causing these reasons general equipment overloading capacity is not enough AP end access, poor signal coverage, in addition to RF interference. In addition, due to the lack of market demand estimates, resulting in the existing part hotspots capacity are able to meet the needs of the present, in order to avoid this situation, the need for the WiFi network capacity reasonable estimates and planning, which is discussed in this paper focus on the content.

WiFi network elaborate analysis of the WiFi network status and future trends WiFi network architecture, WiFi network involved in technical theory, in addition to analysis of South China University of Technology, Example Guangzhou Institute of Telecom operators WiFi networking program to supply WiFi network architecture is a good network structure as a reference.

Keywords: WiFi Network interference capacity engineering

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT	II
第一章 绪论.....	1
1.1 WiFi网络概述	1
1.2 IEEE 802.11技术介绍.....	2
1.3 WiFi网络现状以及其发展	4
1.4 论文结构及内容安排	6
第二章 WIFI网络组网介绍	8
2.1 WiFi网络组网形式.....	9
2.1.1 WiFi网络组网方式.....	9
2.1.2 商用WiFi网络实现.....	9
2.2 WiFi网络无线侧组网介绍	10
2.2.1 无线侧接入点AP（Access Point）	10
2.2.2 WiFi网络无线侧组网结构.....	11
2.3 WiFi网络传输侧组网介绍.....	12
2.3.1 传输侧接入控制器（AC）	12
2.3.2 传输侧WiFi网络接入方式.....	13
2.3.3 传输侧网络接入方式选择	17
2.4 本章小结.....	18
第三章 WIFI网络涉及相应技术难题以及解决方法	19
3.1 WiFi网络接入端射频干扰分析	19
3.1.1 WiFi网络中使用频段.....	19
3.1.2 WiFi网路干扰问题.....	21
3.1.3 WiFi网络中干扰解决措施.....	22
3.2 WiFi网络覆盖分析.....	23
3.2.1 WiFi信号覆盖特点.....	24
3.2.2 WiFi信号链路传播损耗计算模型 ^[19]	24
3.2.3 WiFi信号覆盖方法.....	25

3.3 WiFi网络容量估算和规划.....	28
3.3.1 WiFi网络中影响容量的主要因素.....	29
3.3.2 WiFi网络吞吐效率.....	29
3.3.3 WiFi网络容量一般计算方法.....	31
3.3.4 WiFi网络中干扰对网络容量影响.....	32
3.4 本章小结.....	37
第四章 华南理工大学广州学院WIFI网络组网分析	39
4.1 华南理工大学广州学院建设热点需求以及意义	39
4.2 组网方案	39
4.3 传输侧方案	41
4.4 无线侧方案以及测试效果	42
4.5 本章小结	47
第五章 结束语.....	48
参考文献.....	50
致谢.....	52

第一章 绪论

1.1 WiFi网络概述

WiFi全称Wireless Fidelity,是由AP(Access Point)和无线网卡组成的无线网络,无线网络的目标就是通过终端设备不受任何约束随时随地无缝与互联网实现互联互通。AP一般称为网络桥接器或接入点,它是当作传统的有线LAN网与无线局域网络之间的纽带,因此任何一台安装有无线网卡终端都均可透过AP上互联网,实现网络互联互通,其工作原理是相当于一台无线路由器,能实现数据收发功能。WiFi作为无线网络实现一种技术,它是一种可以将个人电脑、手持设备(如PDA、手机)等终端以无线方式互相连接的技术。WiFi是一个无线网路通信技术的品牌,由WiFi联盟(Wi-Fi Alliance)所持有,目的是改善基于IEEE 802.11标准的无线网路产品之间的互通性。现时一般人会把WiFi及IEEE 802.11混为一谈,甚至把WiFi等同于无线网际网路。它使用开放的2.4GHz直接序列扩频,最大数据传输速率为11Mbps,也可根据信号强弱把传输率调整为5.5Mbps、2Mbps和1Mbps带宽。一般WiFi技术采用AP的发射功率为100mW和500mW,而二者覆盖范围一般可以实现50米到300米有效信号覆盖。

从WiFi发展来看,1997年美国电机电子工程师协会(IEEE802.11)发表第一个版本,主要技术在于介质访问接入控制层(MAC层)和物理层内。物理层实现工作在2.4GHz的ISM频段上的两种无线调频方式和一种红外射频传输的方式,而且总数据传输速率为2Mbit/s。两年后加上802.11 -- 初期的规格采直接序列展频技术(Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)或跳频展频技术(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)的两个补充版本,并且制定了在红外射频频段2.4GHz上的运用,提供了传输速率在1Mbps、2Mbps以及许多基础讯号传输方式与服务。802.11a定义了一个在5GHz ISM频段上的数据传输速率可达54Mbit/s的物理层,802.11b定义了一个在2.4GHz的ISM频段,在2.4GHz频段上运用DSSS技术,且由于这个衍生标准的产生,将原来无线网路的传输速度提升至11Mbps并可与Ethernet相媲美。802.11g -- 在2.4GHz频段上提供高于20 Mbps的速率规格。WiFi频段采用2.4GHz 和5.8GHz,而2.4GHz的ISM频段被世界上绝大多数国家所使用,因此802.11b得到了最为广泛的应用。2009年美国电气电子工程师学会(IEEE)批准了无线局域网WiFi的一项新标准802.11n, IEEE 802.11n使用2.4GHz频段和5.8GHz频段, IEEE 802.11n标准的核心是MIMO(multiple-input multiple-output, 多入多出)和OFDM

技术, 传输速度300Mbps, 最高可达600Mbps, 可向下兼容802.11b、802.11g, WiFi网络和其他网络的互联互通问题也纳入了802.11n工作组的考虑范围。

WiFi的应用, 由于2.4GHz的频段在世界范围内是政府公开的免费频段, 因此其无线设备也实现了在全世界范围内使用的成为可能。由于WiFi费用极其低廉且数据带宽极高, 用户可以在WiFi覆盖区域内实现啦打长途电话(包括国际长途), 浏览网页、音乐下载、收发电子邮件、数码照片传递等, 再无需担心花费高和速度慢的问题。

1.2 IEEE 802.11技术介绍

WiFi无线网络中接入AP实现的无线接入功能采用IEEE802.11技术, IEEE802.11是IEEE最初制定的一个无线局域网标准, 主要用于解决办公室局域网和校园网中, 实现用户与用户终端的无线接入, 802.11系列技术包括802.11、802.11a、802.11b、802.11g和802.11n四大技术类型, IEEE802.11技术类型介绍如表1.2.1所示。

IEEE802.11a 在射频方面工作在ISM频段中高频段--2.4GHz和5 GHz频段。在国内5 GHz频段选用的频段是5.728GHz -5.825GHz, 考虑到隔离, 实际可以使用的频点是4个, 可以提供从6Mbit/s 到54Mbit/s 的业务速率。在空中接口技术方面采用正交频分复用(OFDM)的独特扩频技术, 可提供25Mb/s 的无线ATM 接口和10Mb/s 的以太网无线帧结构接口, 以及TDD/TDMA 的空中接口; 在终端应用方面支持语音、数据、图像业务; 在接入终端方面一个扇区可接入多个用户, 每个用户可带多个用户终端。802.11a 抗多径时延扩展能力要优802.11b, 但由于工作频率较高, 导致其相等功率的实际覆盖不如802.11b。IEEE802.11b 可以提供1Mbps、2Mbps、5.5Mbps 和11Mbps 四种工作速率。802.11b 使用动态速率漂移, 可因环境变化, 速率在11Mb/s 、.5Mb/s 、2Mb/s、1Mb/s 之间切换。工作在2.4GHz-2.4835GHz 频段上, 每5MHz一个载频, 一共有14个频点, 但由于信道带宽是22MHz, 故实际可同时使用的频点只有3个。IEEE802.11g 协议与IEEE 802.11b 工作在同样的频点, 目前正在IEEE 的制定中, 将采用OFDM 技术, 其优势在于保护了802.11b 的投资, 同时提供更高的速率。802.11g 既能适应传统的802.11b 标准, 在2.4GHz 频率下提供每秒11Mbit/s 数据传输率, 也符合802.11a 标准在5GHz 频率下提供54Mbit/s 数据传输率。802.11n技术能兼容802.11a/b/g标准, 其特点如下: 首先在数据速率方面能提高更大数据速率, 对于20MHz信道, 采用一到四个最大数据发射: 72, 144, 216, 288Mbps, 对于40MHz信道, 则为150, 300, 450及600Mbps; 其次在调制方面根据需要, 不平等调整BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM; 此外在编码方面采用码率1/2, 2/3,

3/4，5/6几种技术。IEEE802.11技术几大类型介绍如表1-1所示：

表1-1 IEEE 802.11技术介绍表

标准	802.11b		802.11g	802.11a	802.11n
网络 拓扑	ad hoc, Infrastructure				
LLC 协议	802.2 LLC				
MAC 协议	802.11 MAC: CSMA/CA (DCF 和 PCF(可选), RTS/CTS)				
安全 机制	IEEE 802.11 WEP 协议、WPA、WPA2				
工作 频段	2.4GHz, ISM 频段(83.5MHz)			2.4GHz, 5 GHz, UNII 频段(300MHz)	
抗干 扰通 信机 制	DSSS/FHSS/IR		DSSS(CCK), OFDM	OFDM	OFDM
信道 带宽	FHSS	DSSS	14 个信道, 每个 20MHz	20MHz, 16.6MHz(-3dB)	20MHz 以及 40MHz
	75 个信道, 每个 1MHz	14 个信道, 每个 22MHz			
调制 方式	GFSK	平等调制 BPSK/QPSK	平等调制 BPSK, QPSK,16-QAM, 64-QAM	平等调制 BPSK, QPSK,16-QAM, 64-QAM	根据需要, 不平等调整 BPSK, QPSK,16-QAM, 64-QAM
数据 速率	1,2,5,11 Mbps	1,2 ,5,11Mbps	1,2 ,.5,11Mbps/6,9,12,18,24,36,48 和 54 Mbps	6,9,12,18,24,36,48 和 54 Mbps	对于 20MHz 信道, 采用一到四个最大数据 发射: 72,144,216,288Mbps, 对于 40MHz 信道, 则为 150,300,450 及 600Mbps
编码	CCITT CRC-1/6 卷积码, 码率 1/2, 2/3, 3/4			K=7 卷积码, 码率 1/2, 2/3, 3/4	码率 1/2, 2/3, 3/4 , 5/6
发射 功率	20dBm ,27dBm			20dBm ,27dBm	20dBm ,27dBm
覆盖 范围	室内: 50m 室外: 300m			室内: 50m 室外: 300m	室内: 50m 室外: 300m

IEEE802.11 WiFi 是802 系列局域网的一个分支。其与802.3[10]以太网等其他LAN 只是逻辑链路控制层以下的MAC 子层和PHY (Physical Layer) 物理层不同, WiFi 的特

色充分体现在这两层上。LAN 的协议结构见表1-2:

表1-2 LAN 的协议结构

802.10 Standard for Interoperable LAN/MAN Security			
802.1 Bridging & Management			
802.2 Logic Link Control			
802.3M AC	802.4M AC		802.11M AC
PHY	PHY		PHY

WiFi 主要包括802.11 系列（802.11、802.11a、802.11b、802.11g）、HiperLAN2、HomeRF 等几种技术。802.11 协议仅仅规定了（OSI/RM）的物理层和MAC 层，其中的差异性诞生出802.11b、802.11a、802.11g和802.11n 四者技术。MAC子层主要技术在于利用载波监听多重访问/冲突避免（CSMA/CA）协议，物理子层定对红外线、跳频扩谱方式（FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum）以及直扩方式（DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum）三种传输介质进行定义。

由于802.11 系列协议仅仅提供了MAC 和物理层，因此在业务提供方面是完全基于IP 协议的，为了更好的可运营、可管理特性，IEEE 802.11组 在加快制定相关协议，提供动态密钥、漫游、切换、远端供电和QoS 等特性。总的来讲，无线局域网升级有两个总的方向，一个是提供更强的QOS 功能；另一个是提供更快的速度。^[5-9]

1.3 WiFi网络现状以及其发展

无线局域网技术最初设计应用于企业内部网，以无线接入的方式来解决传输布线方面的问题，随着近年来WiFi 技术受到越来越多的关注和重视，其应用更拓展到个人用户、家庭社区以及机场酒店等公众环境，并且不断拓展在更多领域内的应用尝试。WiFi 特点是可以提供热点覆盖、高数据传输速率和低移动性，一方面WiFi技术作为高速有线接入技术的延伸，广泛应用于有线接入需无线延伸的领域，如办公室，会议室，酒店等。

由于数据速率、覆盖范围和可靠性的差异以及现有资源丰富程度等，这些条件决定着WiFi的延伸广度和宽带。同时通过OFDM、MIMO（多入多出）、智能天线和软件无线电等技术，进一步提升WiFi性能，比如说802.11n采用MIMO与OFDM相结合，使数据速率成倍提高。另外，天线及传输技术的改进使得无线局域网的传输距离大大增加，可以达到几公里。另外一方面WiFi是现有3G通信网的补充，3G网络可以提供广覆盖、高移动性和中低等数据传输速率，它可以利用WiFi高速数据传输的特点弥补自己数据传输速率受限的不足，同时，对某些数据流量比较大的热点区域也起到分流作用。其次WiFi是现有通信系统的补充。无线接入技术则主要包括IEEE的802.11的WiFi标准、802.15的无线局域网WPAN（蓝牙与UWB）的标准以及802.16的WiMAX和802.20的宽带移动接入WBMA标准。具体定义区分：一般地说WiFi可以实现热点覆盖、低移动性和高数据传输速率等；而在超近距离无线高数据传输速率连接采用WPAN技术；WMAN提供城域覆盖和高数据传输速率以及WBMA提供广覆盖、高移动性和高数据传输速率；无线通信技术的发展呈现宽带化、移动化和IP化三大趋势。如图1-1所示：

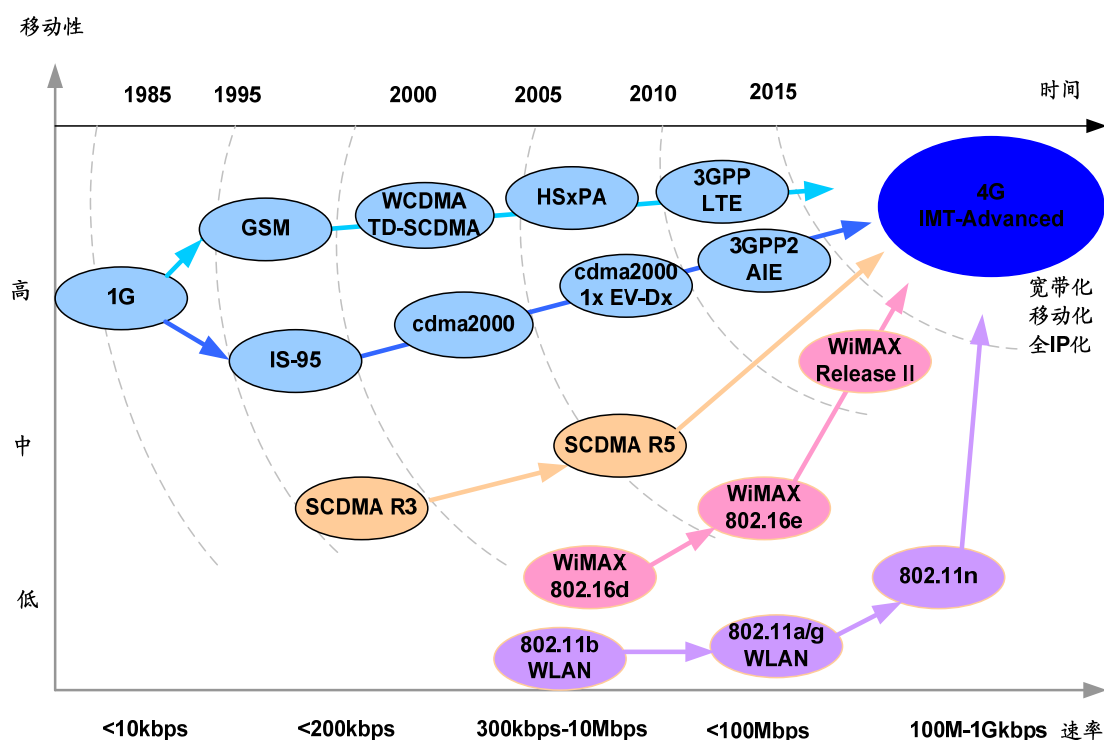


图1-1 无线通信技术的发展趋势图（来源互联网）

3G系统能提供2Mb/s的带宽，但是2Mb/s的带宽是共享式的，当多个用户同时使用的时候，平均每个用户可使用的带宽远远低于2Mb/s，这并不能满足某些多媒体业务的需求。新一代移动通信(Beyond 3G/4G)可以提供的数据传输速率将高达100Mb/s，甚至更高，支

持从语音到多媒体的业务等。^[10]WiFi在提供宽带无线接入服务方面仅次于3G增强型技术。在技术方面, WiFi较高的传输速率弥补了覆盖和移动性方面的不足, 特别是802. 11n产品的应用, WiFi仍将保持在无线宽带接入技术领域中较高传输速率的优势; 在政策环境方面, 由于WiFi技术得到宽松的政策环境支持, 这些是该技术快速发展的关键因素; 在市场方面, WiFi已经形成了完整而顺畅的产业联盟, 生产成本可以得到更好的控制以及资金投入也得到保障, 市场上越来越丰富内置WiFi的终端种类, 这表明了WiFi市场将会有更广阔的发展前景。同时WiFi技术自身缺陷使其主要应用于特定场景造成市场发展受到限制。而WiFi市场优势表现在无线局域网范围内占主导地位, 尤其是在热点和室内的覆盖中占据绝对优势。此外在应用方面, 在手机、游戏机、数码相机等内置WiFi芯片终端消费类电子产品越来越普及, 终端产品丰富使WiFi的普及率将会越来越高, 反过来推动WiFi进一步发展。

从 WiFi 的实际应用场景来看, 目前大致有:

一是WiFi应用于企业, 企业建立的自己内部用户的 WiFi 网络, 以替代企业有线网或是有线宽带网的补充。比如一个大型仓库, 通过WiFi 网络, 可以在仓库内的任何柜台, 通过手持终端, 统计存货情况, 交由中央系统处理, 就可以快速、高效地掌握仓库情况。随着企业对信息化的重视, WiFi在企业中得到迅速发展。^[1]

二是WiFi应用于家庭, 通过无线高速数据传输, 共享宽带接入的需求以及摆脱有线网络的束缚, 家庭WiFi 应用越来越广。而随着家庭中越来越多的数码产品内置WiFi功能, 通过与电脑、电视和音响系统结合, 可以构建家庭无线网络多媒体中心。

三是电信运营商WiFi组网大规模商业应用, 首先在网络高速发展的时代, 人们已经尝到WiFi给生活带来的便利, 无论在家里, 还是在企业、学校、医院、宾馆等, 都享受到无线网络带来便利性, 巨大用户需求推动WiFi网络商业化快速发展。其次在3G时代, 手机基站由于自身带宽不够, 而用户数据需求巨大, WiFi对3G业务起到很好分流作用。此外, 由于带WiFi功能终端普及应用, 进一步推动WiFi商业化发展。总之, 这些为WiFi商业化的发展提供巨大条件便利。^[6-10]

1.4 论文结构及内容安排

随着宽带移动化趋势的飞速发展, WiFi已成为在办公场所、商务大楼以及热点地区最方便, 最受消费者欢迎的上网方式, 各通信运营商正积极致力于WiFi无线接入的网络建设。

本论文第一章主要是对WIF网络进行概述，详细介绍WiFi采用IEEE 802.11技术，同时也分析WiFi网络现状以及未来发展。

第二章通过对现有网络架构进行分析，从以下两个方面开始阐述：第一从无线侧方面：在重要建筑物内部有着复杂的环境以及WiFi技术本身的缺陷很大程度上影响了WiFi网络的可用度和用户体验，根据不同情况选用选择合适AP组网进行无线覆盖，这样更加有利于对控制网络投资规模，并降低施工难度，以期获得最高的投资回报。第二传输侧方面：由于资源等各种因素限制，选择良好的网络结构有利于快速、有效、经济组建WiFi网络，以便满足用户需要，同时对传输侧AC进行简单阐述，内容包括分析说明AC与AP之间的关系以及AC对整个WiFi网络架构影响；WiFi网络组织方式以及方法有多种，通过对各种不同接入方式进行分析与对比，希望本文能对选取良好的WiFi网络组织方案能够起指导作用。

第三章旨在对WiFi网络涉及相应技术进行理论分析，主要从WiFi网络中射频干扰分析、覆盖效果分析、网络容量估算和规划以及干扰对容量影响等方面展开论述。首先对射频干扰进行分析，内容包括WiFi网络选用频段，WiFi网络中干扰问题以及相应解决措施；其次对WiFi网络覆盖效果进行分析，其内容包括分析WiFi信号覆盖特点，WiFi信号空间传播模型以及理论分析，此外还阐述一些WiFi网络末端AP组网覆盖方法等；最后是对WiFi网络容量和规划进行分析，内容包括对影响WiFi网络容量因素、WiFi网络吞吐效率、WiFi网络中容量估算的方法以及干扰对WiFi网络容量影响等方面进行理论分析和论述。这些都有利于在寻求适用在WiFi覆盖网络设计时，选取理论上可行，并能经过实际工程验证的室内WiFi 信号传播模型和容量配置模型来指导工程设计。

文章最后通过对某通信运营商在华南理工大学广州学院建设WiFi网络组网的分析与研究，对WiFi组网方式方法进行论证，此外通过部分场景模拟测试，分析出最优该校建设方案。

总之，良好网络设计方案有利于降低网络建设成本，提高网络质量，保障用户体验，是永远指导一切工程的设计及实施首要条件，也是本论文讨论主要内容。

第二章 WiFi网络组网介绍

WiFi作为无线网络实现一种技术，它是一种可以将个人电脑、手持设备（如PDA、手机）等终端以无线方式互相连接的技术，基于IEEE802.11协议系列标准制定与发展一种以无线信道作传输媒介的计算机局域网。图2-1 是WiFi（无线宽带）网络结构图（商用WiFi网络）如图2-1^[7]：

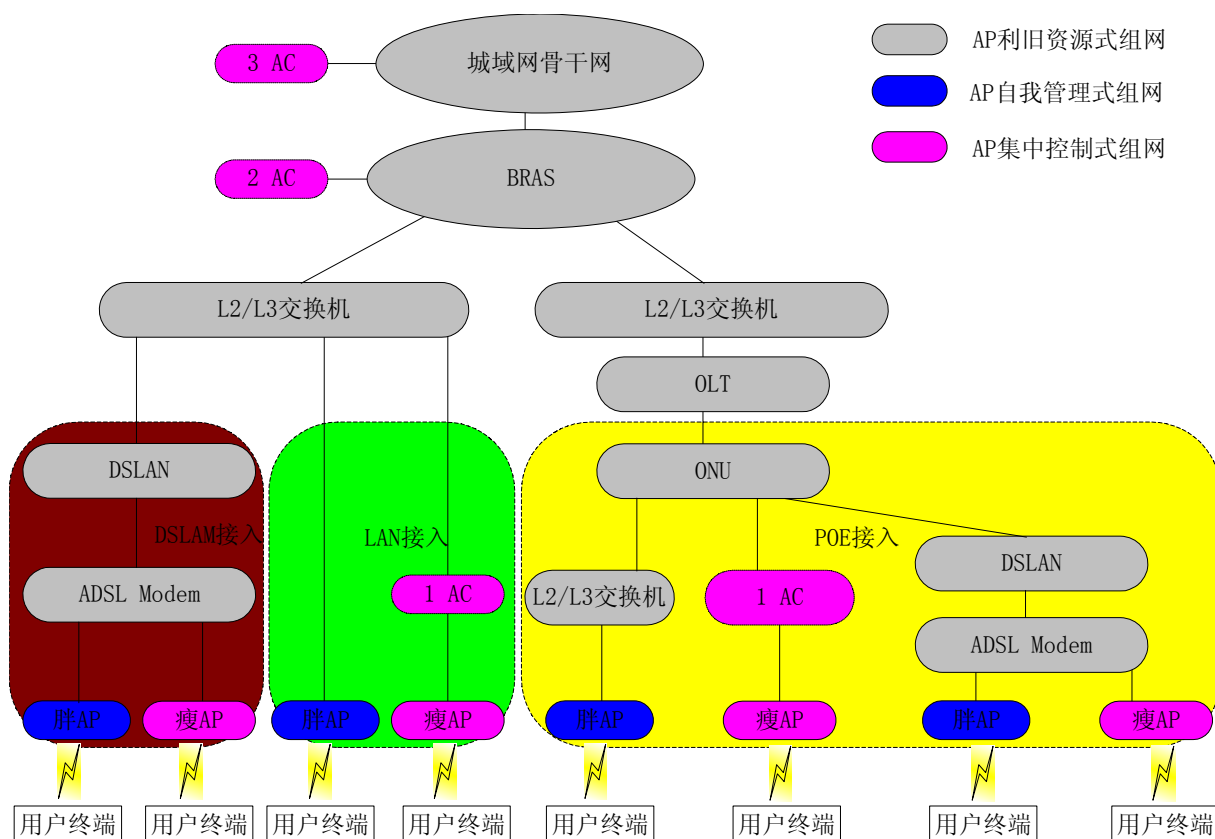


图2-1 WIFI（无线宽带）网络结构图

图2-1可以看出，从WiFi无线宽带网络组网方式分为集中式和分布式；根据组网资源配置分为利用原有资源组网，自我管理式组网和集中控制式组网；技术分类则包括无线侧技术和传输侧技术。本论文主要从无线侧和传输侧两方面技术来阐述，无线侧技术包括用户终端与AP之间连接技术、涉及射频干扰、网络效果覆盖、网络容量估算以及规划等内容等；而传输侧技术则涵盖用户数据从AP到网络实现互联互通技术，AP的上联方式采用DSLAM接入、LAN接入以及POE接入三种方式。此外AP作为WiFi整个网络接入端，其结构主要有以下几种结构：点对点型、点对多点型、多点对点型和混合型，各种结构都有不同的适用场合，用户应根据实际情况加以选择。

2.1 WiFi网络组网形式

构建良好WiFi网络，需要理解WiFi网络结构，对WiFi网络组网形式主要内容有两方面：首先是WiFi网络组网方式；其次是商用WiFi网络的实现方法。

2.1.1 WiFi网络组网方式

WiFi网络一般有集中式、分布式等组网方式：**集中式组网**：集中式组网是指将无线局域网接入的流量通过中继网络汇聚到相对集中的一个或多个无线接入业务网关。用户规模不是很大时宜采用集中式组网，所有数据流量均接入无线接入业务网关，集中式组网方式宜采用PPPoE认证方式或DHCP+WEB认证方式。**分布式组网**：分布式组网是指采用二层以太网交换机汇聚多个AP的流量，连结到设置在每个服务区（用户驻地）的无线接入业务网关。具有较大规模用户的公共场合宜采用分布式组网，多个服务区需要多个无线接入业务网关。分布式组网方式宜采用PPPoE认证方式或DHCP+WEB认证方式。

2.1.2 商用WiFi网络实现

商用WiFi网络中一般由客户终端通过无线网卡接入瘦AP，由瘦AP接入访问控制器AC，再由AC分别接入AAA服务器和Internet。无线侧采用普通AP来实现桥接功能，传输侧通过AC实现的功能为管理AP、对客户终端实现接入控制、采集计费信息，这样WiFi网络能支持AAA协议，实现对用户的认证、授权和计费。WiFi网络结构框图2-2：

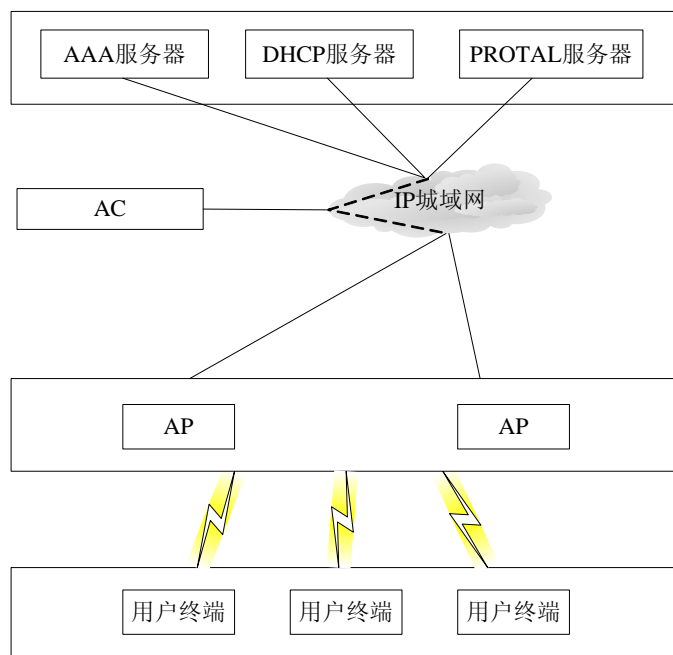


图2-2 商用WiFi网络结构框图^[11]

2.2 WiFi网络无线侧组网介绍

在传输网络中，一般架构分为接入层，汇聚层和核心层，而在WiFi网络中无线侧内容包括无线接入点设备AP以及如何通过AP实现与用户终端有效接入等方面。无线接入点AP严格来说相当于一个无线交换机，提供无线信号发射接收的功能等，在传输网络中处于接入层。同时无线接入点AP是WiFi的小型无线基站，完成IEEE802.11a、IEEE802.11b/g或IEEE802.11n等无线接入功能，它也是一个桥接器，连接有线网络和无线网络的桥梁，任何带有无线网卡的计算机设备，均可通过无线接入点连入无线网络，访问网络资源，高速与网络进行数据通讯，并且具有一定的漫游性，满足移动商务，移动互连的用户群的需要。下面主要从AP介绍、WiFi网络无线侧组网结构以及对WiFi网络无线侧做总结等方面展开论述。

2.2.1 无线侧接入点AP (Access Point)

无线AP (Access Point) 即无线接入点，相当于一个无线交换机，提供无线信号发射接收的功能，也是无线网络的核心。其特点：便于接入，不需要采用有线连接就实现无线连接功能，此外组网方式简单，能对目标覆盖区域进行有效覆盖。

无线接入点AP又分为胖AP(非集中控制型AP)和瘦AP(集中控制型AP)，胖AP(非集中控制型AP)和瘦AP(集中控制型AP)的定义如下：

胖AP(非集中控制型AP)：具备一定的认证、被网管等功能的AP，不需要无线控制器即可接入网络，其缺点是不能集中管理，不支持无缝漫游；胖AP组网部署简单快速，适用于AP分散的热点场所，如咖啡厅、西餐厅等公共热点区域。

瘦AP(集中控制型AP)：仅提供WiFi无线接入，无其它任何功能的AP。其优点就是能集中管理，支持无缝漫游，而缺点需配合无线控制器(AC)接入网络，适用于用户规模大、AP配置多、需大规模连续覆盖、有漫游切换需求的场所，如大型公共场所(机场、会展、高校)等应用场合，便于控制与管理。

如今的WiFi网络覆盖，多采用AC+AP的覆盖方式，无线网络中一个AC(无线控制器)，多个AP(收发信号)，支持无缝漫游，通俗定义，用户处于无线网络中，经过了一定距离后还能实现不中断的无线覆盖，即是尽管用户经过了多个AP的信号，但信号间无缝的切换，让用户感觉不到信号的转移。

其中AP (Access Point) 设备处于无线宽带网络的末端，由802.11系列协议与用户终端通过无线方式相连，上行通过ADSL、LAN、PON接入数据网络，实现用户接入等功能。

2.2.2 WiFi网络无线侧组网结构

AP在布放主要有以下几种结构：点对点型、点对多点型、多点对点型和混合型，各种结构都有不同的适用场合，用户应根据实际情况加以选择。详细介绍如下：

1、点对点型；该网络优点是传输速率高，传输距离远以及受外界环境影响较小。一般用于有固定要组网的两个位置之间，是一种无线组网的常用方法。

2、点对多点型；该类型站点常用于有一个中心点，多个远端点的情况下。其最大优点是网络结构简单、组网成本低以及维护容易；其次，由于中心使用了全向天线，没有对某一目标方向进行专门调测，设备调试相对容易。该种网络的缺点也是由于多个远端站共用一台设备导致传输速率降低，造成网络延迟增加，且中心设备损坏情况下会导致整个网络瘫痪。其次所有的远端站与中心站都使用的相同频率，在其中一个远端站受到干扰的情况下，也导致其他远端站也要更换相同的频率，可以想象如果有多个远端站都受到干扰，频率更换更加麻烦，且不能互相兼顾；同时该类型站点一般使用了全向天线，波束的全向扩散使得功率大大衰减，网络传输速率低，对于较远距离的远端点，网络的可靠性不能得到保证。

3、多点对点型；该类型实际上是多个点对点的组合，常用于在有一个中心点和多个远端点的网络，其中每一个远端点在中心点都有各自对应的设备，如果中心点的一台设备损坏后，只会影响相关的一个点，不会使整个网络受到影响。其优点是网络建成后要求在使用上的有非常高稳定性以及可靠性。但缺点建网成本高，如果在组建一个较大的网络时，每个点都采用点对点方式，增加了网络成本。此外调测困难，由于点对点方式在两个方向上都使用了相应方向定向天线，在设备安装调试过程中会增加困难。

4、混合型；由于目标覆盖区域复杂性以及AP本身覆盖的范围限制性，在组建这种网络时，综合使用上述几种类型的网络方式，例如：对于远距离的点使用点对点方式，近距离的多个点采用点对多点方式，有阻挡的点采用中继方式。^[12]

WiFi网络无线侧组网总结：

WiFi网络实现无线数据传输，即便没有数据线也能够和其他WiFi设备进行数据交换。其中AP (Access Point) 设备处于无线宽带网络的末端，一般称为网络桥接器或接入点，它主要在媒体存取控制层 MAC 中扮演无线工作站与有线局域网络的桥梁，由802.11系列协议与用户终端通过无线方式相连，上行通过ADSL、LAN、PON接入数据网络，实现用

户的接入等功能。

由于WiFi网络特点在于无线连接,信号在空间中实现自由传播,占用2.4GHZ和5.8GHZ,而该频段在于ISM频段中属于高频段,其特点穿透能力比较差,空间衰落比较大,覆盖范围相对来说比较小,同时由于AP本身技术以及带宽限制,单个AP接入终端数有限制,在一定程度上影响到网络容量。其次,由于2.4 GHZ频段属于免申请信道,很多设备都占用该频段,很容易造成AP设备与其他设备之间相互干扰。此外,信道之间只有三个无干扰频点,而单个AP容量有限,通过增加AP数来提高容量,容易造成AP之间信号干扰,最终会影响到网络的稳定。总的来说WiFi网络无线侧工作环境比较复杂,而对WiFi网络无线侧技术分析一般包含射频干扰分析、网络容量分析、覆盖分析以及网络速率等。本论文在第三章详细分WiFi网络接入端射频干扰、WiFi网络覆盖效果以及WiFi网络容量估算和规划。

在一个巨大商用网络中,良好的网络实现不但包括无线侧部分,而且包括传输侧部分,在接下来章节2.3对WiFi网络传输侧组网进行详细介绍。

2.3 WiFi网络传输侧组网介绍

通过AC来管理AP,便于大规模WiFi网络维护,现在被运营商所采用的一种建网方式,即是采用AC+瘦AP的覆盖方式,无线网络中一个AC(无线控制器),多个AP(收发信号)来构建,本章节主要通过对AC介绍、接入方式以及接入方式选择来阐述传输侧WiFi网络组网。

2.3.1 传输侧接入控制器(AC)

如今的WiFi网络覆盖,多采用AC+AP的覆盖方式,即是无线网络中一个AC(无线控制器),多个AP(收发信号)来构建。AC能够对瘦AP进行集中管理和下发配置,支持用户的多种接入等。无线接入控制器(AC、Access Controller)是专用的无线局域网接入访问控制器,在Internet和无线局域网之间,担当网关作用,其特点包含具备功能全面、性能稳定、业务丰富等,能够提供强大的WLAN接入管理与控制能力,也能够提供VLAN、QoS、DHCP等业务支持能力,还可以提供用户接入管理与控制能力,同时还支持用户漫游及切换等功能,还包括支持鉴权与记费用接口等。AC通过认证服务器,还可以对用户进行管理,制定多种适合运营商运营的计费机制,比如:按流量计费、按时间计费、预付费、包月等不同的适合多种需求的计费方式。

AC 作为 AP 控制器，AC 容量估算以及规划在 WiFi 网络中就显的特别重要。AC 的容量需求即 AC 所需管理的 AP 数量，可根据业务发展和热点需求预测新建 AP 规模，即是根据实际 AP 需求来配置 AC，采用大容量 AC 进行组网后，为减少网络流量的迂回，要求 AC 旁挂 IP 城域网核心路由器，尽量集中设置，分区域管理 AP。对于 AP 数量较大，并有客户自用 SSID 和独立认证需求的多个地理位置相对集中的大型场点热区，如高校区、CBD 区等，也可采用旁挂汇聚交换机或 BRAS 方式部署 AC，覆盖多个集中场点 AP 的接入需求。假如选择大容量 AC 需集中部署城域网，统一接入各个热点的 AP，用于管理分散的集中控制型 AP 接入；AC 的网络侧端口直连 BRAS，通过 BRAS 实现对 WiFi 用户的业务认证和访问管理。与以前的采用自治式组网方式相比，集中式组网 WiFi 用户的用户侧、网络侧的数据流都通过 AC 设备集中转发到城域网设备，而这种集中转发的模式将大大增加城域网设备承载的压力，通过建设 WiFi 专用的 BRAS 设备来减轻这方面压力。也可以采用的 AC 设备可以提供 DHCP SERVER 的功能，并可以在 AC 设备内配置相应的地址池，集中控制型 AP 通过 DHCP 方式获取 IP 地址。AC 接入方案组网在 2.3.2 传输侧 WiFi 网络接入方案有详细介绍。

也可以通过AC可以实现管理不同VLAN, 对不同接入方式的理解，首先从VLAN理解开始。VLAN是建立在物理网络基础上的一种逻辑子网，VLAN技术的出现，使得管理员根据实际应用需求，通过虚拟手段使其形成的LAN具备有物理上相同的属性，即是根据不同用户逻辑地的需求把同一物理局域网划分成不同的广播域，每一个VLAN都包含一组有着相同需求的计算机工作站。借助VLAN技术，能将不同地点、不同网络、不同用户组合在一起，形成一个虚拟的网络环境，就像使用本地LAN一样方便、灵活、有效。VLAN 将用户和网络设备聚合到一起，以支持商业需求或地域上的需求。通过职能划分，项目管理或特殊应用的处理都变得十分方便，特别是运营商谈点进场时候，经常会遇到用户要求附带帮其建设其单位内部LAN，例如某通信运营商建设WiFi网络捆绑高校内部网络一起建设，通过双SSID来实现。^[11-12]

2.3.2 传输侧WiFi网络接入方式

根据无线接入点AP分为胖AP(非集中控制型AP)和瘦AP(集中控制型AP)，胖AP备一定的认证、被网管等功能的AP，不需要无线控制器即可接入网络。而瘦AP仅提供WiFi无线接入，无其它任何功能的AP。故需配合无线控制器（AC）接入网络，因此在胖AP和瘦AP有不同网络数据接入方案。不同的组网方式实现条件不同，但都采用通过VLAN方式实现

最终网络构建。

胖AP方式组建WiFi网络方案如图2-2所示：

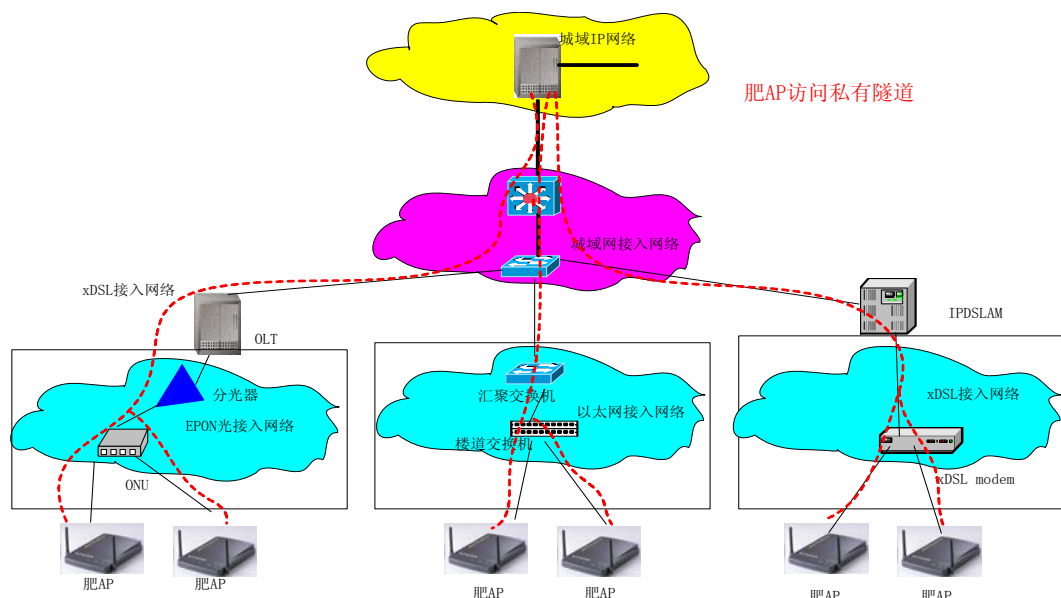


图2-2 胖AP的各种组网方式

EPON接入方式：AP与ONU连接，ONU经EPON光网络汇聚到OLT设备，再经园区出口交换机接入电信IP城域网。WiFi业务在城域网以太网汇聚层实现使用专用的VLAN ID接入，终结到BRAS。

LAN接入方式：AP通过上联以太网端口楼道交换机，而楼道交换机对各个AP接入汇聚后，再上联接入园区出口交换机，接入电信IP城域网。WiFi业务在城域网以太网汇聚层使用专用的VLAN ID提供接入，终结到BRAS。

XDSL接入方式：AP通过上联以太网端口接入到xDSL modem，xDSL modem启用BRIDGED RFC1483功能，再上联IP DSLAM，IP DSLAM通过接入城域网以太网汇聚层，城域网以太网汇聚层使用WiFi业务专用的VLAN ID提供接入，终结到BRAS。

● 瘦AP(集中控制型AP)网络数据接入方案

AC+瘦AP方式组建WLAN网络方案一般有三种组网方式：第一种是AC旁挂BRAS组网方式，第二种是AC直接上连城域网交换机组网方式，第三种是旁挂城域网交换机组网方式。

AC旁挂BRAS组网方式如图2-3:

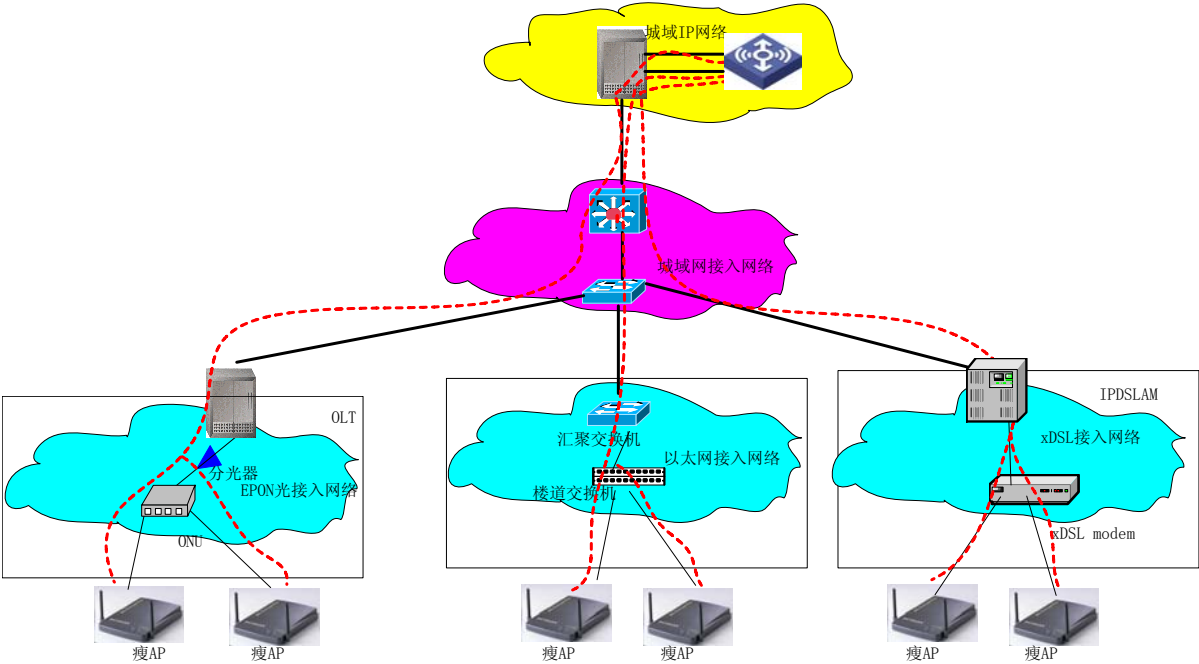


图2-3 AC旁挂BRAS组网方式

AC直接上连城域网交换机组网方式如图2-4:

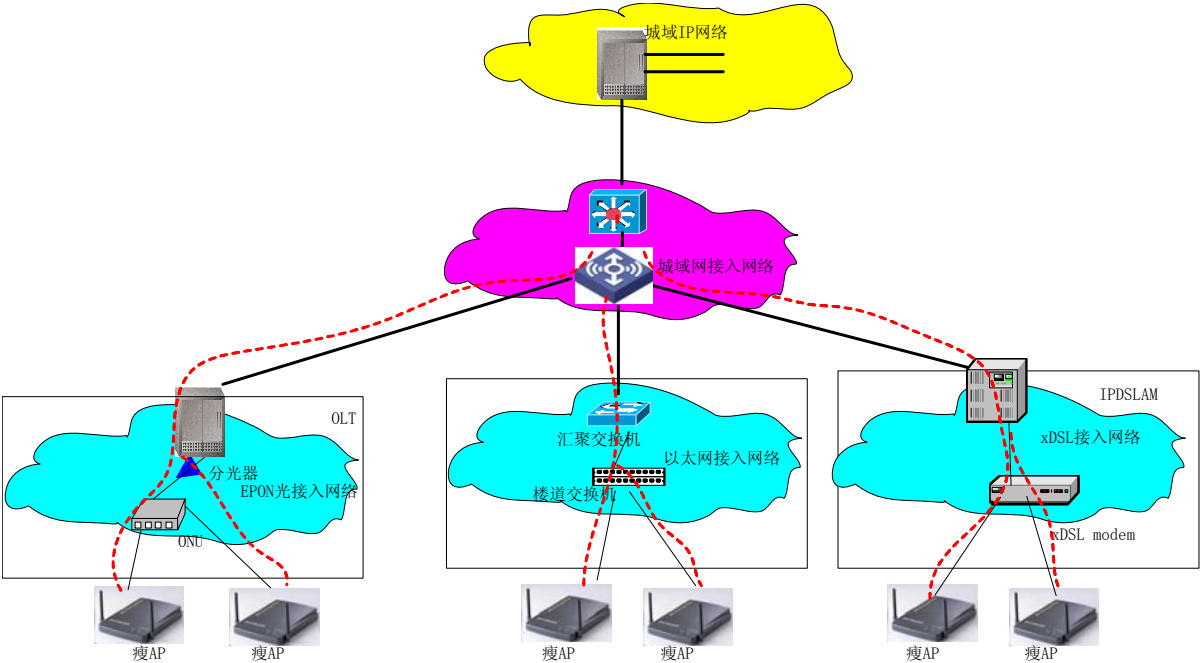


图2-4 AC直接上连城域网交换机组网方式

AC旁挂城域网交换机组网方式如图2-5:

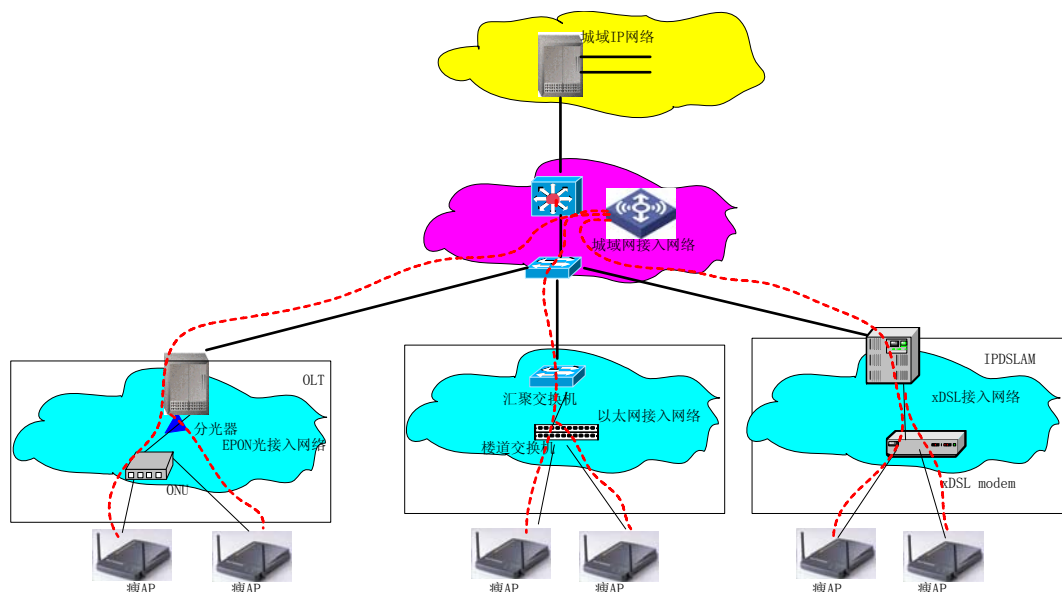


图2-5 AC旁挂城域网交换机组网方式

为了快速组网和利用原有资源，例如在政府机关、图书馆、无线城市热点、大专院校及机场等大型的热点只采用LAN方式或EPON方式接入。而连锁餐饮店、休闲娱乐及其它场所等普通热点在没有LAN和EPON等接入的方式的情况下，可采用ADSL接入方式，不考虑使用电信以外的其它运营商的网络解决AP上联问题。

系统速率是由上联接入速率和AP空口速率共同决定的，AP空口速率随无线传播链路性能的恶化而下降，如表2-1:

表2-1 AP上联方式及接入速率

AP 上行接入方式	物理接口	网络侧上行速率 (Mb/s)	网络侧下行速率 (Mb/s)
ADSL	双绞线接入	0.512	2
ADSL+		1	4
VDSL		2	2
LAN 专线	以太网线接入	10	10
		100	100
EPON (FTTH)	以太网线接入	32	32
EPON (FTTB)		10	10

表 2-2 802.11 系列理论速率和实测吞吐量表

	802.11 b	802.11 a/g	802.11n 单流 —HT20	802.11n 单流 —HT40	802.11n 双流 —HT20	802.11n 双流 —HT40
物理层理论速率 (Mbps)	11	54	72	144	150	300
单用户实际吞吐量 (Mbps)	6	25	40~45	80~90	80~90	140~160
多用户实际吞吐量 (Mbps)	5	22	40	70~80	50~60	80~100

备注：以上 11n 数据均为纯 11n 用户接入时的速率。

AP网络数据接入方案应充分利用现有的网络资源，结合网络的规模和业务需求，优先采用LAN方式和EPON方式接入，ADSL网络由于受带宽限制，应只作为一种补充方式。

由于ADSL本身速率不高，建议尽量避免多个AP共用ADSL上联，在ADSL资源受限且目标区域内带宽需求较低时才予以考虑。

2.3.3 传输侧网络接入方式选择

AP上行接入方式充分利用现有的网络资源，结合网络的规模和业务需求，采用光纤上行，即LAN方式和EPON方式接入，xDSL网络由于受带宽限制，只作为光纤短期无法到位的区域的补充方式。

从接入速率来看，PON接入能力最大，最大能达到1000M，是一种较成熟技术，较易于管理，属于网络发展的方向，采用POE接入目前应用于接入资源新建、热点集中和带宽要求高的区域；而LAN接入能力在三者之中适中，也是一种成熟技术，也易于管理，未来发展方向在逐步由裸纤+LAN接入向PON+LAN的接入方式演进，这种技术一般应用于热点集中和带宽要求高的区域；接入速率最差就是XDSL接入，距离越远，接入速率就越低，但它是一种非常成熟技术，充分利用原有电信系统资源，由于接入增加DSLAM和Modem设备，容易发生故障，建议使用区域是一些零散热点，光纤短期无法到位、带宽要求不高的区域使用。三种技术对比如下表2-3：

表2-3 xDSL接入、LAN接入以及PON接入优劣对比表

xDSL接入、LAN接入以及PON接入优劣对比表			
比较项目	LAN接入	xDSL接入	PON接入
接入速率	100M	与距离相关：2公里，8M；500米，20M	100M~1000M
技术成熟度	成熟技术	成熟技术	较成熟
AP维护管理	易于管理	增加DSLAM和Modem设备，故障点增多	较易于管理
网络发展趋势	逐步由裸纤+LAN接入向PON+LAN的接入方式演进	不利于管理和维护，逐步改为其他接入方式	技术发展方向，新建区域以PON建设为主
建议	热点集中，带宽要求高的区域使用	零散热点，光纤短期无法到位、带宽要求不高的区域使用	接入资源新建、热点集中，带宽要求高的区域使用

2.4 本章小结

本章首先介绍了WiFi网络组网实现方式方法，特别是商用网络组建一般形式，重点阐明WiFi网络的架构，分为无线侧架构和传输侧架构两部分，为后文的具体WiFi网络组网提供理论支撑；其次描述了无线侧AP和无线侧组网结构，阐明了无线侧组网一般的结构，分别为点对点型、点对多点型、多点对点型和混合型四种结构方式，各种结构适用不同的场合，用户应根据实际情况加以选择。随后还有传输侧组网介绍：包括AC控制器、接入方式以及接入方式选择等。阐述WiFi网络组网过程中所涉及架构方式和方法，有助于建立好良好WiFi网络架构。

在无线宽带使用过程中，影响用户感知的因素很多，最常见的现象就是上网速度慢，网络延迟大或者更加严重的是直接掉线。造成这些原因除设备负荷过重和信号覆盖差之外，还有射频干扰。WiFi对射频干扰出在物理层上出现破外之外，还有当大量终端共享一个相同的空中信道进行持续大流浪传输时，会加大信道中数据帧冲突的概率，增多数据帧的重发频率，导致单数据帧的传输时间变长，最终降低空口信道的传输效率。当空口负荷增大到一定程度时，就会出现影响用户感知的网速慢，丢包，甚至掉线等现象。

根据图1.2 802.11技术介绍表可以看出,802.11a/b/g/n都可以在2.4GHz频段在工作。2.4GHz工作频段2.410GHz-2.483GHz,带宽为83.5MHz,根据2.4GHz工作频率频点与信道的计算公式: $f(\text{中心频率})=2412+5x(n_{\text{ch}}-1)$ (MHz),划分为14个子频道,每个子频道带宽为22MHz。子频道分配如下图3-1所示:

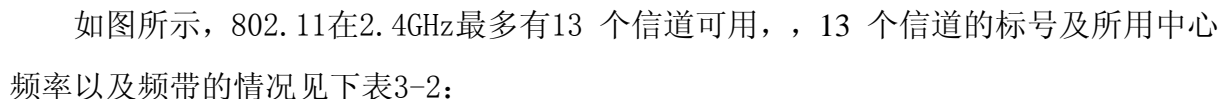


表3-2 2.4GHz频段配置表

2.4GHz 频段 WiFi 信道配置频率表		
信道标号	中心频率	信道低端/高端频率
1	2412MHz	2401/2423MHz
2	2417MHz	2406/2428MHz
3	2422MHz	2411/2433MHz
4	2427MHz	2416/2438MHz
5	2432MHz	2421/2443MHz
6	2437MHz	2426/2448MHz
7	2442MHz	2431/2453MHz
8	2447MHz	2436/2458MHz
9	2452MHz	2441/2463MHz
10	2457MHz	2446/2468MHz
11	2462MHz	2451/2473MHz
12	2467MHz	2456/2478MHz
13	2472MHz	2461/2483MHz

在多个频道同时工作的情况下，为保证频道之间不相互干扰，要求两个频道的中心频率间隔不能低于25MHz。也就是说，不相干扰的频道序号要相差5以上，因此，在一个蜂窝区内，直序扩频技术最多可以提供3个不重叠的频道同时工作，如频点1、6、11。虽然中国WiFi标准与欧洲相同都是1-13频点可用，但美国许多WiFi设备和终端（比如网卡）都是北美标准，建议12、13频点不要做为用户频点来使用。因此，最优的频点规划方案是1、6、11，在WiFi无线网络频点规划要首先考虑这三个频点。在WiFi的网络规划中，为了实现AP的有效覆盖，同时避免频点间的相互干扰，在频点的分配时可以采用蜂窝无缝覆盖的原理，进行频点的分配，因此，设计之前要做好频率规划工作，可以从水平和空间两个角度来考虑合理安排频率规划，相邻AP不能使用相同频点，以确保WiFi网络的正常工作。一般合理频率规划如表3-3：

表3-3 频率规划表

CH1	CH6	CH11
CH6	CH11	CH1
CH11	CH1	CH6

5.8 GHz的频段与信道

802.11a/n 的工作频段在5.8GHz (5.725GHz-5.850GHz)可用带宽为125MHz，频点与信道的计算公式： $f(\text{中心频率})=5000+5x_{n_{ch}}(\text{MHz})$ ，频点间隔20MHz才算互不干扰信道，在此频段上我国划分为5 个信道，每个信道带宽为20MHz。子频道分配如下图3-2所示：

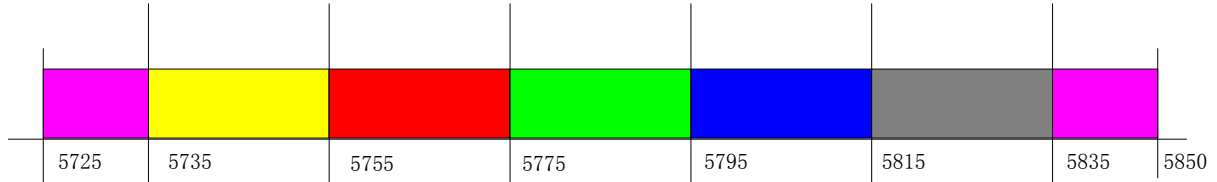


图3-3a 802.11在5.8GHz工作频率分配图

802.11a/n 5.8GHz 频段信道的标号及所用中心频率以及频带的情况见下表3-4：

表3-4 5.8GHz 频段WiFi 信道配置频率表

5.8GHz 频段 WiFi 信道配置频率表		
信道	中心频率(MHz)	信道低端/高端频率
1	5745	5735/5755
2	5765	5755/5775
3	5785	5775/5795
4	5805	5795/5815
5	5825	5815/5835

3.1.2 WiFi网路干扰问题

由于2.4GHz ISM频段属于无需申请的自由频率，因此会出现不同电信运营商或者其它专业的设备在同一地点使用同一频点的情况，而5.8G频段需要申请。图3.1.2 ISM频段使用情况图3-3所示：

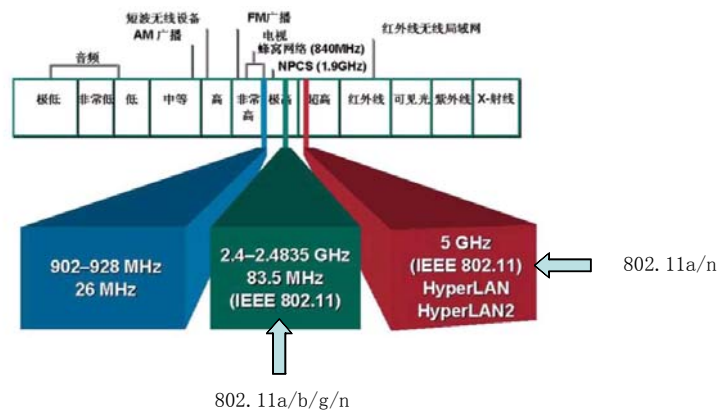


图3-3b ISM频段使用情况

目前主要的干扰原因有：

(1) 其他运营商或用户自行架设的 AP，这种干扰是目前最主要干扰源，特别是其他运营商 AP 的情形，由于射频之间规划不好造成相互之间干扰，这些干扰明显会降低 AP 速率。

(2) 室外环境被其他其他专用网络的干扰如公安、交通等

(3) 2.4GHz 802.11 WiFi网络属于ISM频带，存在多种类型设备，如微波炉、无绳电话、蓝牙设备、无线摄像机、户外微波链路、无线游戏控制器、Zigbee、荧光灯等等。蓝牙、短距离遥控设备等使用2.4GHz的其他无线电子终端，由于这些干扰功率较小，一般对AP影响比较少，如图3-4所示。对于WiFi网络，这些设备信号均属于外部干扰源。2.4GHz非802.11干扰源信号，网卡或AP设备不能识别，一般不会和WiFi设备协作，容易产生速率补偿等二次效应，导致匹配更低速率集，使网络吞吐量、信道利用率、系统性能严重下降。^[15]

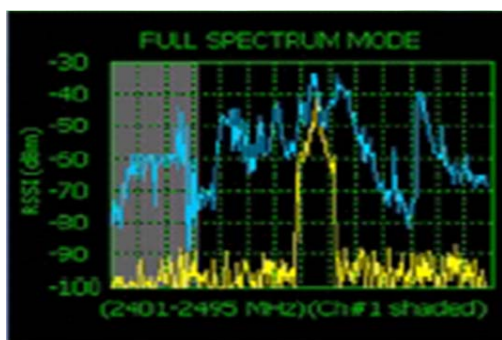


图 3-4 微波炉干扰信号

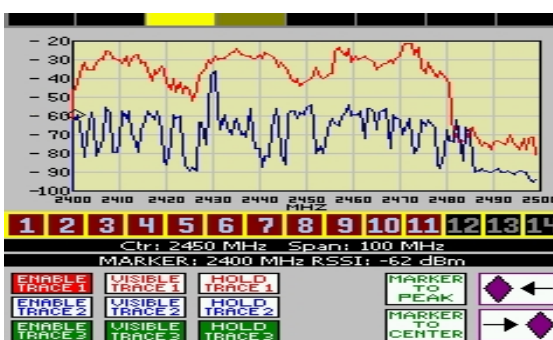


图 3-5 蓝牙干扰信号

3.1.3 WiFi网络中干扰解决措施

(1) 为避免频率干扰，需进行频率规划；由于2.4GHz ISM频段属于无需申请的自由频率，因此会出现不同电信运营商或者其它专业的设备在同一地点使用同一频点的情况，热点的前期环境测试是尤为必需，直接关系到热点覆盖效果。前期的测试工作完成后，后期的覆盖方案就可以结合原有的无线环境情况，规划出最佳的频点。为避免频率干扰，需进行频率规划，主要包括在开站时或优化时通过扫频设定频点，任意相邻区域使用无频率交叉的频道，一般采用CH1、CH6、CH11；因802.11n设备采用信道捆绑的技术，若使用40MHz频宽的模式，2.4GHz频率资源将无法满足不同要求。因此若使用该模式，只能考虑使用5.8GHz频段丰富的频率资源。

(2) 限制接入速率，在一定程度上规避空口信号干扰。连续低速空口信号的接入

影响空口信道使用质量,可以通过控制AP的用户协议速率来限制用户接入,即禁止1、2、5.5、6、9、24Mb/s接入协议速率,这样就可以在设备上避免低速率的信号接入,在一定程度上规避空口信号干扰。

(3) 优化射频算法,解决自干扰现象。 WiFi使用2.4GHz频段是一个公开的频点,通过限制接入速率避免本设备的低速率信号干扰。但是如果空口上如果还有其他无线设备的低速率信号干扰,则难以避免,所以,优化空口算法,提高AP抗干扰能力,是一个非常有效的手段。IEEE 802.11 MAC层采用CSMA/CA -- DCF(载波侦听多点接入/冲突避免)方式,具有避免冲突的载波侦听多路存取,而载波射频干扰的原因源于空口信道中出现了占用大时隙的DBPSK的数据报文,占用了下一个64QAM方式传输的数据时隙,最终导致64QAM的不停退避,继而降速。但是,DBPSK下的数据帧间的传输有时隙的。所以优化射频算法的思路就是增大station的监听信道帧的频率,以见缝插针的方式,插入DBPSK数据帧与数据帧之间的时隙,从而保证64QAM的数据成功概率,继而不使其降速,成功回避自干扰现象的出现。

(4) 采用2.4GHz和5.8GHz双频接入,解决同频干扰。 由于2.4GHz互不干扰的频点只有3个,同一地区大量布放AP组网,信道干扰不可避免。所以,在做好频率规划和优化射频算法的同时,可以通过802.11a/n的5.8GHz的频段进行优化补充。采用2.4GHz和5.8GHz双频进行覆盖,其中5.8GHz起到分流作用,使支持802.11a/n的网卡的终端从2.4GHz的信道转移到干扰小、空口信道负荷低得5.8GHz的信道上。这样,由于2.4GHz的信道接入终端转移到5.8GHz的信道上,从而减少2.4GHz的信道接入终端,因此,终端间干扰也就被降低,又缓和了2.4GHz的信道上的压力,保证了2.4GHz的信道上的用户有效应用。所以,在高密度的网络接入环境中,已开始使用双频覆盖的模式。通过双频模式解决同频干扰,优化效果明显。^[17]

3.2 WiFi网络覆盖分析

WiFi无线网络是由AP(Access Point)和无线网卡组成的无线网络,有较广的局域网覆盖范围,一般的覆盖半径可达100米左右,相比于蓝牙技术覆盖范围较广。在覆盖范围方面,802.11n采用智能天线技术,可以动态调整波束,保证让WiFi用户接收到稳定的信号,并可以减少其它信号的干扰,从而将获得更宽的覆盖范围。

3.2.1 WiFi信号覆盖特点

WiFi网络覆盖效果主要体现在室内无线覆盖，而WiFi室内覆盖特点就是AP发射功率较小，覆盖距离近，传播环境复杂。对于建筑物内部结构差异性而言，相关室内布置、材料结构、建筑物厚度和应用类型等因素的变化都很大，这就给信号在传播环境下传播结构产生了很大的差异。例如，在办公室信号强度很大程度上依赖于办公室的门是开还是关以及建筑间隔材料构成。不同建筑隔材料制成的墙体和一些其他障碍物都影响信号穿透能力，因此路径损耗衰落指数变化也比较大。设计前可以对信号传播进行评估，主要通过一些传播模型来分析，具体就是用一系列的算法、数学表达式以及图表来表示现场环境下的无线电波的特性差异。

3.2.2 WiFi信号链路传播损耗计算模型^[19]

信号通过空间进行传播，无论在室内或者在室外，都会遇到各种阻碍物损耗信号传播。在室外，如遇到树木，招牌，矮墙等阻碍物影响到信号传播，同时在室内使用无线系统将是网络设计中最大的难点和挑战之一，因为无线信号在室内要穿透不同的场景，这些不同场景影响无线信号覆盖效果。WiFi信号空间链路传播可以通过以下计算模型进行计算估算设计效果：

接收机接收的功率电平如公式3-1：

$$Pr = Pt + Gt + Gr - LD(d) - Ls \quad (3-1)$$

Pt：发射机功率； Gt：发射天线增益； Gr：接收天线增益

LD(d)：空间路径损耗； Ls：电缆及各类器件的损耗

室外环境如公式3-2：

$$LD(d)[dB] = 32.45 + 20 \lg(d) + 20 \lg(f) \quad (3-2)$$

d：距离（m）； f：频率（GHz）

对于WiFi这类高频信号，穿透不同楼层间的楼板损耗很大，一般都在30dB以上，所以使用某层天线覆盖其他楼层的区域几乎不可能，于是我们使用公式时只关心信号在同一楼层传播时的损耗。

将Keenan-Motley模型简化后的公式为3-3：

$$L = 32.5 + 20 \lg(d) + 20 \lg(f) + p * W(k) \quad (3-3)$$

其中L为传播损耗； d为信号传播距离，单位是km； f为信号频率，单位是MHz，对WiFi

信号来说, f 此处可设定为2500Mhz, p 为信号穿透的墙或障碍物的数量, $W(k)$ 为穿透损耗, 对于不同材质不同厚度的墙或障碍物, 穿透损耗都是不一样的, 此处使用的均为经验值, 表3-5 2.4GHz信号传播损耗的一些典型值:

表 3-5 2.4GHz信号传播损耗的一些典型值

2.4GHz 信号传播损耗的一些典型值	
材料类型	损耗
轻墙（干墙）	5dB~8dB
中墙（木制）	10dB
重墙（实心 15cm）	15dB~20dB
超重墙（实心 30cm）	20dB~25dB
玻璃窗（含金属氧化物）	5dB~8dB
玻璃窗（不含金属氧化物）	3dB
地板/天花板（实心）	15dB~20dB
天花板（加厚）	20dB~25dB

根据不同场景公式对不同场景进行链路计算, 为我们提供最优化WiFi系统设计理论支持, 下表是不同场景下链路预算示例表3-6:

表3-6 不同场景下链路预算信号强度示例表

项目	单位	符号	室外直接覆盖 (公园、广场)	室外覆盖室内 (教学楼)	室内直接覆盖 (会展展区)	接入室分系统 (一般办公环境)	建设小型分布系统 (宾馆酒店客房)	备注
发射功率	Pt	dBm	27	27	20	27	27	标准值
发射天线增益	Gt	dBi	11	11	3	3	3	不同厂家, 取值不同
接收天线增益	Gr	dBi	3	3	3	3	3	不同厂家, 取值不同
器件及缆线	Ls	dB	5	5	5	10	5	1/2" 同轴电缆上的损耗是0.18dB/m; 二、四功分器的插损分别为3dB、6dB
隔墙损耗	Lw	dB	0	30	0	10	20	参考值
无线网卡接收灵敏度	S	dBm	-75	-75	-75	-75	-75	参考值
最大允许路径损耗	LD(d)	dBm	111	81	96	88	83	$LD(d) = Pt + Gt + Gr - Ls - Lw - S$
频率	f	GHz	2.4	2.4	-	-	-	参考值
衰减因子	n		-	-	2.76	2.76	3.14	一般写字楼内的办公环境情况下取值
覆盖半径	d	m	3526.1	111.5	64.8	33.2	15.1	室外: $d = 10^{\frac{1}{n}((LD(d) - 32.45 - 20 \times \log(f, 10)) / 20)}$ 室内: $d = 10^{\frac{1}{n}((LD(d) - 46) / 10)}$

3.2.3 WiFi信号覆盖方法

目前在热点区域进行WLAN信号覆盖的方式主要以下几种:

一、AP建设小型室分系统; AP加功分器多带几个吸顶天线对目标区域进行覆盖, 形成一个小型室分系统。这种方式出于投资考虑, 对某些目标区域只要求泛覆盖, 无线上网需求比较少, 同时没有原有室分系统, 需单独新建一套该系统的进行有效覆盖, 并不需要考虑容量问题而采取一种节资覆盖方式。一般建设方式如图3-6所示:

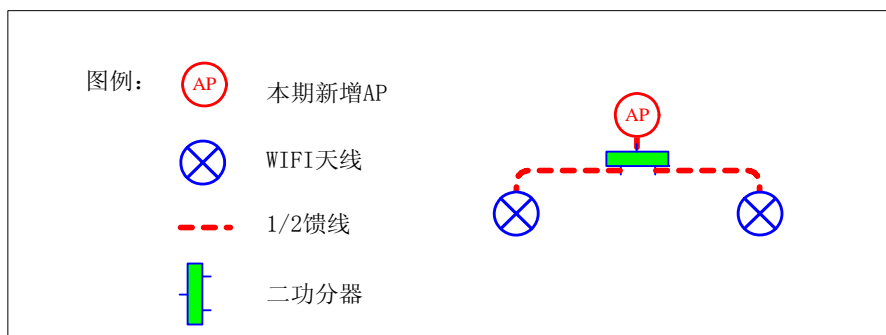


图3-6 AP建设小型室分系统图

采用AP+多面外接天线的覆盖方式，如：覆盖区域面积较大（如大于3000平米）、场景开阔、对容量要求不高的区域，如机场、会展厅、大型商场、大型图书馆等。其次、对容量需求较少，覆盖面积较大的场所，如一些大商场，空旷的公共地区等，也适用于间隔比较多微型办公室等。

二、AP直接覆盖；AP直接放装是最简单的WLAN覆盖方式，在需要进行覆盖的区域根据信号传输损耗的链路计算结果和容量需求选择合适的位置直接放置AP。一般来说，单独放装AP的点位选择比较灵活，基本可以选择适合WLAN覆盖的最佳安装位置，并且由于单个AP直接覆盖的范围一般不会很大，在覆盖面积较大或结构复杂的场所时会使用较多的AP，这样可以获得较大的网络容量。一般直接覆盖AP采取100mW小功率AP进行覆盖，AP直接覆盖能力如表3-7所示：

表3-7 AP直接覆盖能力表

覆盖方式	图书馆阅览区、会展展区（完全开阔，无墙体阻挡）		一般办公环境（较开阔，有玻璃墙或普通砖墙间隔）		宾馆酒店客房（较封闭）	
	覆盖半径（米）	覆盖面积（平方米）	覆盖半径（米）	覆盖面积（平方米）	覆盖半径（米）	覆盖面积（平方米）
100mW AP 直接覆盖	30 ~ 50	800 ~ 1500	15 ~ 30	600 ~ 800	10 ~ 20	300 ~ 450

此覆盖方式适合于对容量需求较大的场合，使用场景如下：一、业务量较高，用户较集中，如会议厅；二、目标覆盖区域开阔，大部分可视，如酒店大堂；三、覆盖区域较离散，如写字楼个别楼层的会议室；如会议室、机场的VIP候机区、咖啡吧、业主要求的无线上网需求较大的区域等。四、适用于覆盖区域较小并且较空旷的区域如电信营业厅、小型卖场等。

三、AP接入原有系统，一般可以通过以下三种方式：1、AP接入室内分布系统；2、

通过WOC组网；3、AP通过原有LAN网进行组网。具体如下：

1、AP接入室内分布系统；此方式将AP作为信源连接到楼内的分布式天线系统中，通过合路器合进改系统，WiFi信号通过分布式小天线覆盖热点区域。由于WLAN系统的工作频率为2.4G频段，其在空间的传输损耗相比CDMA 800Mhz信号高很多，AP本身作为信号源的输出功率相比CDMA基站也低很多，一般只有500mW，故AP合路点比较多，如果待覆盖区域面积较大或内部楼宇结构复杂时，这种建设方式最有效，最快捷一种方式。AP接入室内分布系统如图3-7所示：

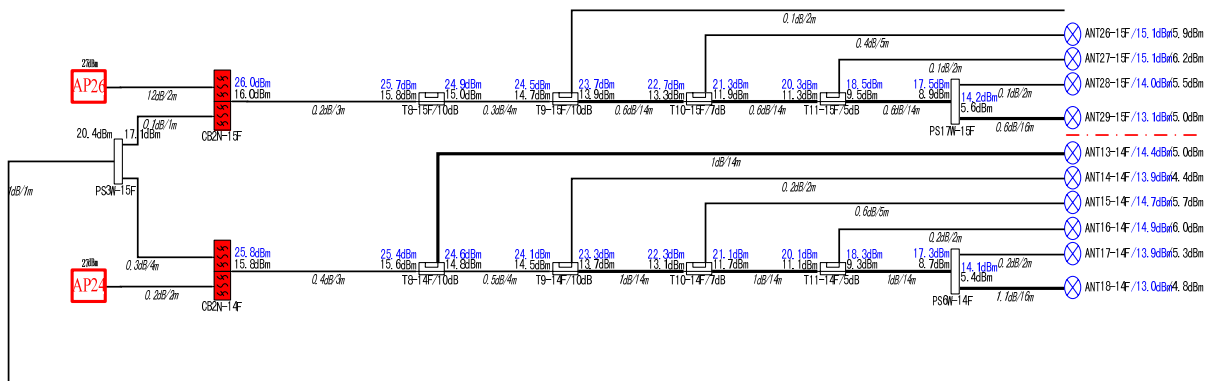


图3-7 AP接入室内分布系统原理图

此覆盖方式适合于已经建立起原有室内分布系统，并且原有器件符合WiFi系统器件要求，同时该系统对容量需求较少，覆盖面积较大的办公室，大商场等场所。

2、通过WOC组网；CATV（含数字电视）工作频段为5~860MHz，WLAN工作频段2400~2500MHz，隔离带很大，采用CATV和WLAN合路器可以简单的实现两种系统的信号复用。同时发现，WOC系统所采用的器件插损指标好于原CATV系统器件指标，因此CATV系统改造为WOC系统后，CATV信号大部分时候不降低或略有增强，通过合适的方案设计可以保证CATV信号在经过WOC系统改造后降低不超过3dB，而CATV系统信号一般有10dB以上的冗余。因此CATV系统改造为WOC系统后不会影响到CATV系统的性能。某酒店WOC示意图：

[illegible]

28

干扰，降低用户体验。基于一种网络容量的定义，充分考虑到网络AP及用户的空间部署模式，建立了网络容量的概率统计模型，并就此模型给出了网络容量的估计算法。另外对分析通过规避干扰的方法来提升网络容量。

3.3.1 WiFi网络中影响容量的主要因素

1、最大并发用户数：由于 WiFi采用CSMA/CA 机制，如果接入用户过多，那么同一时刻发生冲突的概率明显增大，也必定会延长每个用户等待的时间，而使得系统带宽闲置；如果用户超过一定的限度，会导致系统的瘫痪。

2、吞吐量要求^[25]：在设计中应充分考虑各类数据业务特点和带宽的需求，可结合并发用户数，并参考宽带用户平均速率进行估算；图 0.1是802.11系列吞吐量对比图如下图3-10:

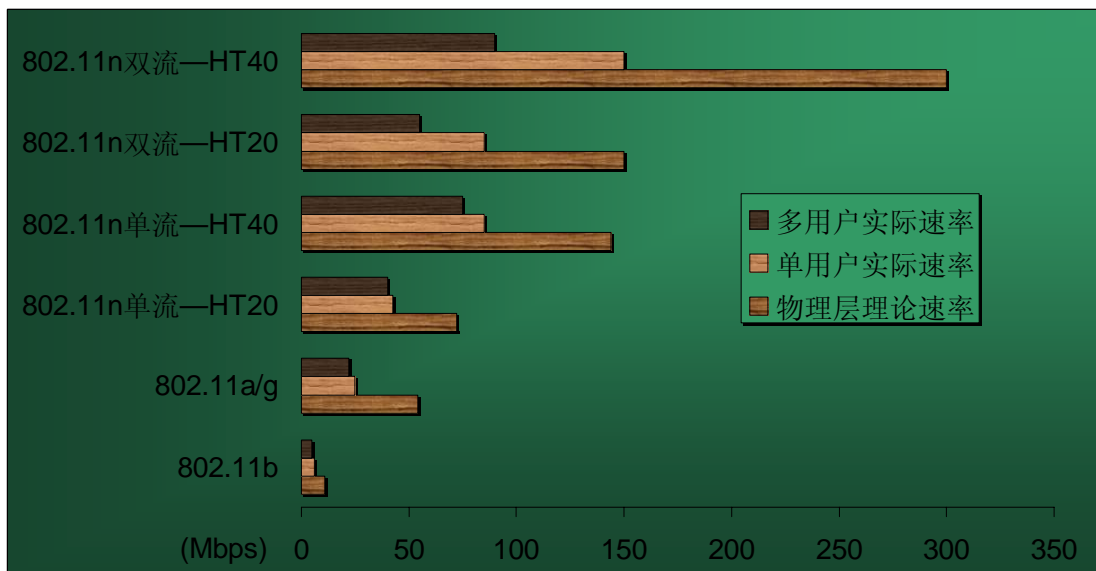


图3-10 802.11系列吞吐量对比图

3、频率干扰：在无法避免干扰的情况下，按50%的AP吞吐量进行容量估算；

4、目标覆盖区域：根据用户分布确定目标覆盖区域，调整所需AP数量；

3.3.2 WiFi网络吞吐效率

WiFi网络吞吐量，即是吞吐率是指单位时间内在WiFi网络上传输的数据量，它依赖于网络带宽，以及接入设备性能等。无线局域网的性能实际是指一个共享空间媒质所能支持的最大传输能力。在这个空间媒质中（即同一信道）的所有设备都将共享空间媒质，也就是共同抢占空间媒质资源。由于媒质共享，WiFi采用分时传输机制，这在一定程度上消耗了空口资源，降低了空口的传输能力。

在WiFi网中，IEEE 802.11定义下的MAC层，支持多用户在共享媒体上共享资源，但发送消息者必须先侦听网络是否可用，这样保证数据包怎样在介质上进行传输，实现线路控制、出错通知（不纠正）、帧的传递顺序和可选的流量控制等。其MAC层定义了分布式协调功能(DCF, Distributed Coordination Function)和可选的点协调功能(PCF, Point Coordination Function)两种接入控制方式。分布式协调功能（DCF）是基于具有冲突避免的载波侦听多路访问方法（CSMA/CA, Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance），它把CSMA/CA技术和确认（ACK）技术结合起来，同时它支持竞争型异步业务，提供最优的业务能力。但是PCF 模式在现有的802.11 设备中并没有实现，现有普遍应用的还是DCF方式。DCF方式很大程度上决定AP吞吐能力。

DCF工作过程如图3-11^[26]：

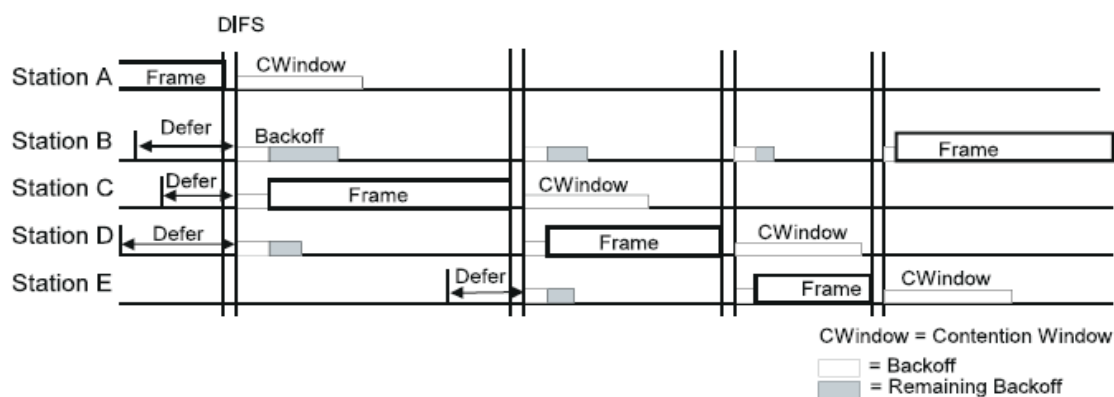


图3-11：DCF工作过程图

1、STA在传输数据之前要侦听信道。如果信道是忙的，它就等待。如果信道在指定时间是空闲的，STA将允许传送。

2、接收站检测接收到包的CRC（循环冗余码校验）并发送应答包（acknowledgment packet 简称：ACK）；

3、收到ACK指示传送过程中是否没有碰撞，如果发送者没有接收到ACK，它将重传这个帧，直到收到ACK或是在指定资料传送失败后丢掉这个帧；

802.11n在MAC层引入帧聚合技术（Aggregation），使得多个帧尽可能合为一个帧进行发送，只抢占一次信道，减少了因竞争信道而产生冲突的概率，提高了MAC层效率。帧聚合技术包括针对MSDU的聚合和MPDU的聚合。采用A-MPDU帧聚合方式时，可以对整个聚合帧进行块确认（Block Acknowledgement），而不需要对其中的每一个MPDU帧进行确认，降低了应答帧ACK的数量，提高了链路效率。

在理想环境下，无任何干扰和其他报文开销，仅单方向数据传输与ACK报文确认，无报文重传，且整个传输过程使用恒定速率发送，得到最大传输能力。但实际环境，WiFi性能实际上是一个共享的空间媒介所能支持的报文传输能力，在整个空间媒介中（同信道）的所有设备都将共享空间媒介的性能，即共同抢占空间媒介，WiFi通过这个机制实现了设备在空间媒质的报文的分时传输，在一定程度上同样会消耗空口资源，降低空口传输能力。以最大理论传送值作为WiFi实际应用性能，但实际应用中报文占比不高，并且为单用户，即整个空间媒质仅两台设备工作，保证空口丢包率小，达到所有报文均以最高速率传输，但实际不可能的，不但报文大小影响到这个空间媒质的传输性能，而且干扰信号源在一定程度上消耗空口资源，同时随着信道设备增加，也会消耗一定的空口资源，这些都会引起空口传输能力进一步下降，最后影响WiFi网络容量。

3.3.3 WiFi网络容量一般计算方法

由于WiFi采用CSMA/CA机制，从单个AP接入能力来看，如果接入用户过多，那么同一时刻发生冲突的概率明显增大，也必定会延长每个用户等待的时间，而使得系统带宽闲置；如果用户超过一定的限度，会导致系统的瘫痪，所以控制单个AP接入能力很重要。一般情况下采用以下计算方式：

每用户平均带宽 = 每AP实际吞吐率/并发用户数

其中，**并发用户数 = 覆盖用户数 × 业务渗透率 × 并发率**

在做WiFi网络设计之前，要对WiFi网络进行评估，在网络中可以假设有AP最大吞吐率以及预先估计每用户平均带宽，就不难对WiFi容量进行估算：

最大并发用户数=每AP最大吞吐率/每用户平均带宽

并且，一般用户浏览网页需要100Kbps，高质量的视频流所需要的带宽约2Mbps。

针对802.11n技术，国内某通信运营商暂时只要修改下行速率的达标值（以下速率指标是指95%覆盖范围内要求达到的最低速率）。

天线2×2以上；40MHz：≥2Mbps；

天线2×2以上；20MHz：≥1Mbps；

天线1×1；40MHz：≥1Mbps；

天线1×1；20MHz：≥500Kbps。

1、室内分布型AP（单信道/20MHz带宽，天线1*1）：测试表明，多用户下的AP实际吞吐率为30Mbps左右。若提供1Mbps的每用户平均带宽，最大并发用户数可以达到为30；

若提供600Kbps的每用户平均带宽，最大并发用户数可以达到为50。

2、室内分布型AP（双信道/40MHz带宽，天线1*1）：测试表明，多用户下的AP实际吞吐率为60Mbps左右。若提供1Mbps的每用户平均带宽，最大并发用户数可以达到为60人；若提供600Kbps的每用户平均带宽，则最大并发用户数可以达到为100。

由于40MHz信道带宽（双信道捆绑）易受干扰，一般建议5.8GHz频段使用，2.4G频段则不建议使用该种11n工作模式。

3、分布型/室外型AP（单信道/20MHz带宽、天线2*2）：测试表明，多用户下的AP实际吞吐率为50-70Mbps，按保守的50Mbps吞吐率估算。若提供1Mbps的每用户平均带宽，则并发用户数可以达到为50；若提供600Kbps的每用户平均带宽，则并发用户数可以达到为83。

4、分布型/室外型AP（双信道/40MHz带宽、天线2*2）：测试表明，多用户下的AP实际吞吐率为80-100Mbps，按保守的80Mbps吞吐率估算。若提供1Mbps的每用户平均带宽，则最大并发用户数可以达到为80；若提供600Kbps的每用户平均带宽，则最大并发用户数可以达到为133。

实际网络建设的目标是：在保证用户网络吞吐率的前提下，用尽可能少的AP(最少的代价)获得尽可能多的用户覆盖，同时追求好的均衡覆盖结果。显然，网络容量与AP数量呈正比关系。在考虑到网络建设和运营成本以及实际使用环境后，我们不可能单纯的以增加AP数量的方法来提高网络容量。也就是说，对WiFi网络使用率高的目标区域进行直接增加AP覆盖，而针对一些使用率低但又要求覆盖的地方，可以采用建设小型室分系统或者接入原有室分系统进行覆盖，并不是任何时候都采用最大容量下的网络部署方案是没有实际应用价值。因此有必要综合考虑各个因素，求出一个相对最优的网络部署方案，该方案能很好的统筹成本与效益。

AP容量是有限的，由于AP处于ISM频段中一个公共频段，容易受到外来干扰。同时AP自省的也容易受到干扰，对网络容量估算不能单从AP容量考虑，还要考虑干扰对AP的容量影响。为啦提升网络容量不单单靠增加AP来解决，也考虑通过避免干扰来提升网络容量。^[17、24]

3.3.4 WiFi网络中干扰对网络容量影响

（一）干扰对WiFi网络影响的数学模型

容量规划在于保证网络具备有一定量吞吐率以及抗干扰能力等，主要体现在WiFi网

络的具有有效性和可靠性。通过规避干扰提升网络容量，尤其是在小范围提供大容量的无线局域网是WiFi设计的难点。针对干扰规避来实现WiFi网络容量提升，WiFi网络的抗干扰来源主要体现以下三个方面：一、在对外来同频段设备干扰；二、网络内部同频干扰；三、网络内部邻频干扰的抵抗能力。

干扰对网络容量的影响分析主要在于分析各类干扰对AP吞吐量的影响。依据信息论 Shannon 公式(1)以及无线电波传播理论中自由空间信号传播模型(3-3)：

Shannon 公式

$$C = B \cdot \log_2 (1 + S/N) \quad (3-3)$$

其中，B 为信道带宽(Hz)，S 为信号功率(W)，N 为干扰噪声功率(W)。

无线电波传播理论中自由空间信号传播：

$$Pr = Pt + Gt + Gr - Lt - Lr - Lf \quad (3-4)$$

其中，Pr 为自由空间接收电平(dBW)，Pt 为发射功率(dBW)，Gt 为发射天线增益(dBi)，Gr 为接收天线增益(dBi)，Lt 为发射端馈线损耗(dB)，Lr 为接收端馈线损耗(dB)，Lf 为自由空间传播基本传输损耗(dB)，见式(3-5)。

自由空间传播基本传输损耗(dB)：

$$Lf \text{ (dB)} = 20 \lg R \text{ (km)} + 20 \lg f \text{ (GHz)} + 92.44 \quad (3-5)$$

其中，R是两点之间的距离，f是频率=2.4GHz

忽略白噪声的影响以及天线增益、馈线损耗，对于WiFi，取B=22M、f=2.4GHz，综合式(3-3)、(3-4)、(3-5)可得(3-6)式：

$$C \approx 22 \times 10^6 \times \log_2 \left(1 + \frac{10(10 \lg Pt1) - 20 \lg d1 - 160}{10(10 \lg Pt2) - 20 \lg d2 - 160} \right) \quad (3-6)$$

其中，Pt1 为信号源AP的发射功率(mw)，Pt2 为干扰源辐射功率(mw)，d1 为测试点距有用AP信号的距离(m)，d2 为测试点距干扰源AP的距离(m)，WiFi工作模拟场景见示意图3-12：

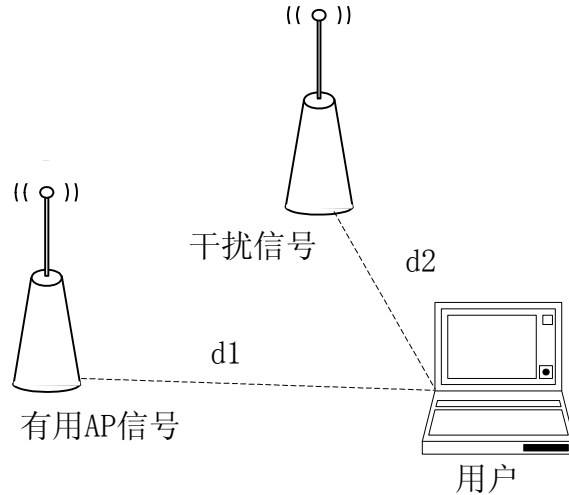


图3-12: WiFi工作模拟场景

（二）各类干扰对网络容量的影响

1、在对外来同频段设备干扰

蓝牙等小功率设备对目前常用的2.4G 频段的802.11b/g 设备的WiFi网络的影响很小，可以忽略。而电池炉等大功率设备对WLAN 网络的影响较大，对于AP 发射功率，取国际标准限值 $P_t = 50\text{mw}$ 。根据图3，由式(3-7)得：

$$c \approx 22 \times 10^6 \times \log_2 \left(1 + \frac{10^{(10\lg 50\text{mw} - 20\lg d1 - 169)/10}}{10^{(10\lg P_{t2}(\text{mw}) - 20\lg d2 - 169)/10}} \right) \quad (3-7)$$

取 $d1=d2=5\text{m}$ ，遍历干扰功率 P_t ，则可得图3-13 所示吞吐率——干扰功率 P_t 曲线

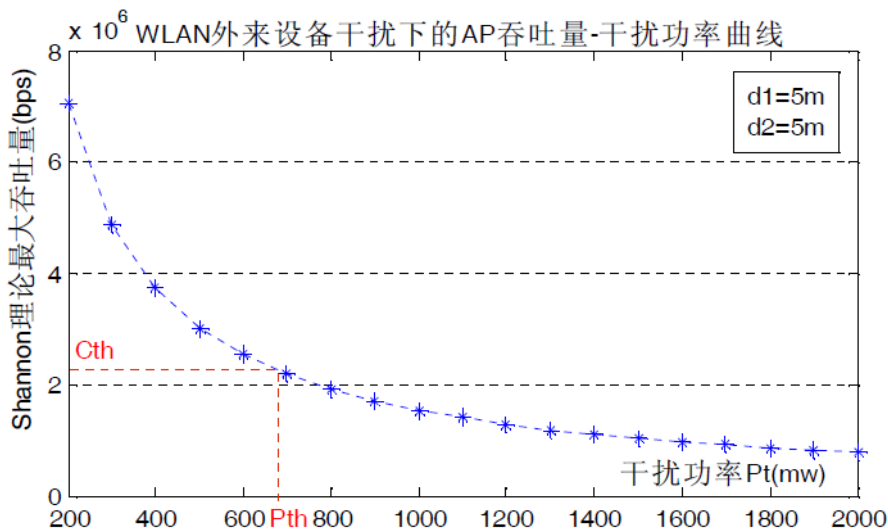


图3-13: WIFI外来设备干扰下的AP吞吐量-干扰功率曲线

通过图3-13曲线图中可以看出：根据指定AP吞吐量的值就可以确定最大外来设备干扰功率的强度，并且AP理论吞吐量随着外部干扰功率的增强呈迅速递减趋势。因此其意

义在于：指定一个最低吞吐量门限值就可以定量描述AP 的抗干扰程度，即确定了网络正常工作的电磁环境容许范围。

当取其干扰辐射功率为500mw，遍历空间距离 d_1 ， d_2 ，则可得图5 所示吞吐率——考察点位置曲线图3-14：（其中， d_1 为距信号源AP 距离； d_2 为距干扰源AP 距离）：

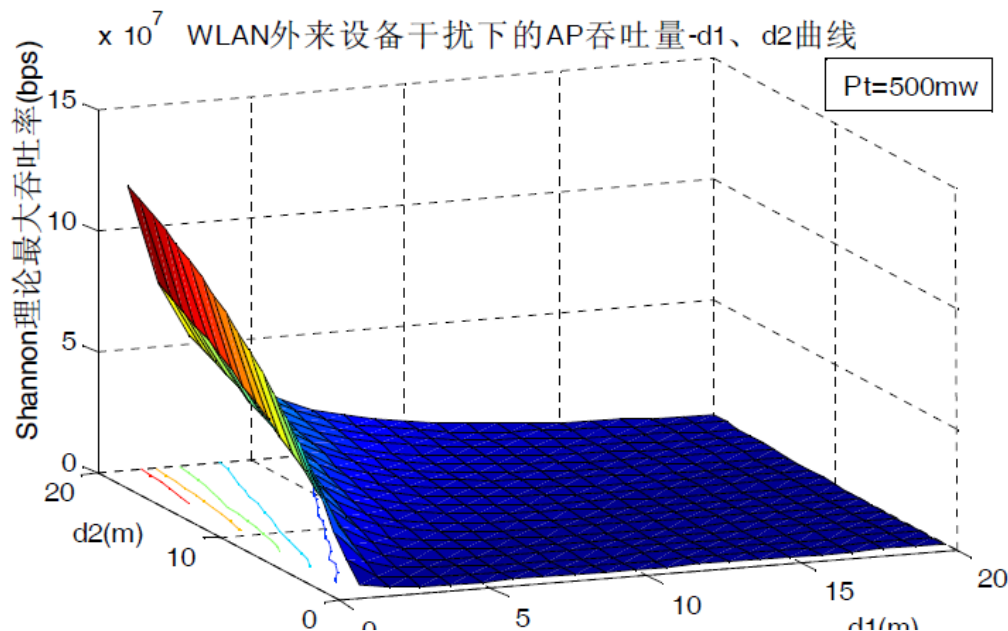


图3-14 WIFI外来设备干扰下的AP吞吐量- d_1 、 d_2 曲线

图3-14 通过AP有用信号源与干扰信号源之间定量距离来描述最佳网络吞吐量的影响。通过固定有用AP信号源，以距干扰源距离为变量，可以得到网络最佳吞吐量，得到图中干扰源的曲线变化；或者通过固定干扰源，以距有用AP信号源距离 d 为变量，可以得到网络最佳吞吐量——得到图中有用AP信号源移动变化的曲线。此图的指导意义在于：通过固定有用AP信号源或者干扰源，而得到移动中AP信号源或者是干扰源之间最佳吞吐量的变化曲线值。

2、网络内部同频干扰影响网络容量

同频干扰即是无用信号的载频与有用信号的载频相同，并对接收同频有用信号的接收机造成的干扰，WiFi通过标准直接序列扩频技术的扩频码，相同的扩频码在不同设备中使用，因此相邻小区不能使用相同频率，否则将造成同频干扰。

图3-15 是相距40m的802.11b的AP使用1、6信道网络吞吐量，如下

Group/Pair	平均 (Mbit/s)	最小 (Mbit/s)	最大 ((Mbit/s)
All Pairs	10.941	1.136	6.504
Pair 1	5.988	1.970	6.504
Pair 2	5.024	1.136	5.517
总计	10.941	1.136	6.504

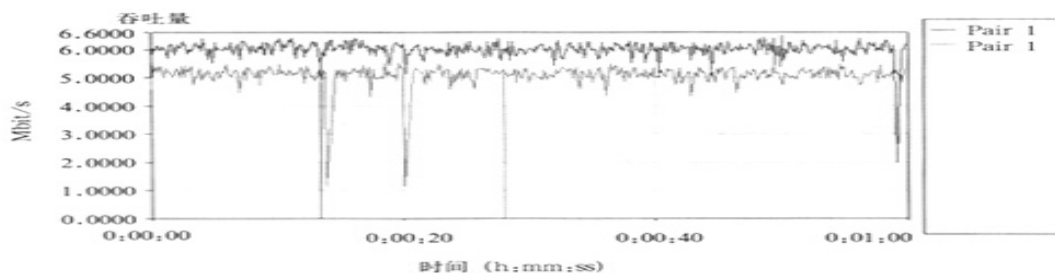


图 3-15 两 AP 使用 1、6 信道网络吞吐量

图3-16是相距40m的802.11b的AP使用1、1信道时的网络吞吐量，如下：

Group/Pair	平均 (Mbit/s)	最小 (Mbit/s)	最大 (Mbit/s)
All Pairs	5.769	0.134	6.400
Pair 1	4.700	0.473	6.400
Pair 2	1.102	0.134	5.298
总计	5.769	0.134	6.400

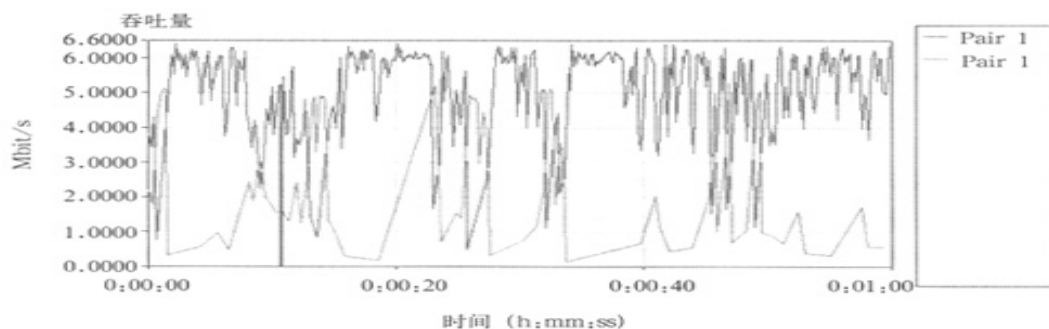


图3-16 两AP均使用1信道

在图3-15中，两个相邻AP采用不同信道进行传输，两个AP吞吐量都非常稳定，AP总吞吐量可以接近11Mbit/s；而在图3-16中，两个相邻AP采用相同信道进行传输，两个AP吞吐量都波动很大，吞吐量非常不稳定，总吞吐量不足6Mbit/s，由此可以看出在有限范围内单纯采用增加AP的办法是无法提高网络容量的。

3、网络内部邻频干扰的抵抗能力

所谓邻频干扰，即指干扰台邻频道功率落入接收邻频道接收机通带内造成的干扰，WiFi网络两信道中心频率小于25MHz时，信道之间存在重叠区域，会有部分干扰。图3-17曲线是两AP信道间隔分别为0~5情况下的总吞吐量曲线。

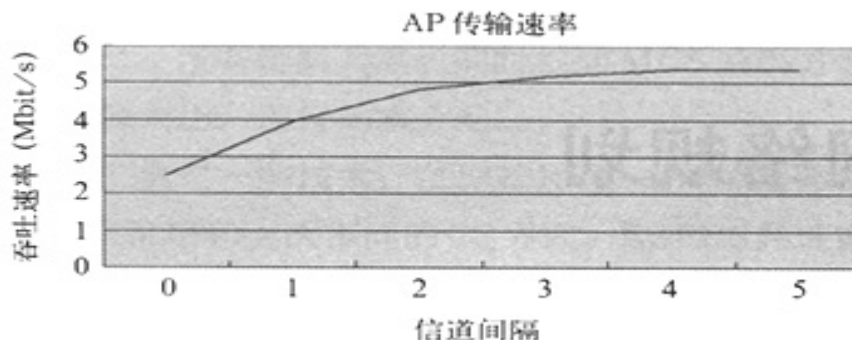


图 3-17 两 AP 信道间隔分别为 0~5 情况下的总吞吐量曲线图

由图 3-17 中可以看出，信道间隔越近，对吞吐量影响就越大，使用邻频可以增加可用频点数，但会引入干扰，工程上一般仍采用 1、6、11 三个完全不干扰的频段。

WiFi 网络中通过规避干扰来提升网络容量方法

针对干扰规避使容量提升，有如下几种建议：第一、由于 WiFi 采用 2.4GHz 和 5.8GHz 高频段，空间信号传播损耗大，穿透能力低，可以充分利用天然隔断（如建筑物、墙体等）阻隔信号穿透，规避 ISM 频段外来设备干扰；第二、降低 AP 发射功率，减少 AP 相互间干扰。通过降低 AP 发射功率可以减少 AP 的覆盖范围，从而增大频率复用度。第三、使用定向天线或智能天线。此技术用于蜂窝网络，使容量得以提升，WiFi 使用扇区天线或智能天线，可以减少 AP 之间以及终端与 AP 之间的干扰，在一定程度上能够提升容量。但是终端均使用全向天线，功率不可调，终端之间的干扰依然无法避免；另一方面，WiFi 覆盖半径一般不会大于 200m，在室内或是地形、地貌复杂的情景下，折射、反射、绕射等因素使得在如此小范围内精确控制天线方向比较困难，使用定向天线或智能天线带来的容量提升就会大打折扣，所以，目前定向天线更多地应用于信号回传和增大覆盖范围。降低 AP 发射功率、使用扇区天线或智能天线规避同频干扰及邻频干扰。^[27-30]

3.4 本章小结

在 WiFi 无线宽带使用过程中，影响用户感知的因素很多，最常见的现象就是上网速度慢，网络延迟大或者更加严重的是直接掉线，这就需要从理论上来分析这些现象，寻找合适解决方法。造成这些原因一般有设备负荷过重，末端接入 AP 容量不够，信号覆盖差，此外还有射频干扰等。本章首先分析射频干扰，内容包括 WiFi 使用频段，产生射频干扰原因以及解决措施；其次从无线信号传播理论进行分析，涉及 WiFi 覆盖特点、WiFi

空中传播理论以及WiFi覆盖的方法；此外还分析WiFi网络容量估算和规划，由于对市场需求估算不足，造成现有部分热点容量不能满足当前需要，为了避免出现这种情况，需要对WiFi网络的容量进行合理估算和规划，这也是本论文所讨论的重点内容。以上都是WiFi网络所涉的相应技术和方法，这些也为后文的具体设计提供方法指导。

第四章 华南理工大学广州学院WiFi网络组网分析

4.1 华南理工大学广州学院建设热点需求以及意义

华南理工大学广州学院位于广州市花都区学府路一号，学校占地面积1723亩，已完成基建规模50多万平方米，在校生人数达到17000多人。华南理工大学广州学院包括10栋教学楼、图书馆、学生食堂、20栋学生公寓、综合实验楼、学生活动中心、综合体育馆等。华南理工大学广州学院无线化是一所重要民营高校，对提升某通信运营商的品牌与社会影响力的基础建设之一，有利于扩大社会影响，更方便交流与信息化应用。建设无线网络，具有以下方面的作用：

- (1) 提升学校无线上网质量的要求；
- (2) 开展更深层次的信息化应用，面对笔记本电脑普及和无线上网终端普及的趋势，满足该校师生的无线上网的需求；
- (3) 对提升某通信运营商的品牌，扩大社会影响，更好推动某通信运营商品牌发展以及方便交流与信息化应用。

4.2 组网方案

某通信运营商在华南理工大学广州学院热点建设无线覆盖方案，保证华南理工大学广州学院WiFi网络的应用需求。WiFi无线覆盖必须同时满足信号覆盖和用户容量的要求。信号覆盖是指保证热点使用WLAN的区域的无线信号质量，无线信号质量最关键的有两个指标，一是信号强度，二是频率干扰。对于用户容量，方案设计时，用户容量按每个AP不超过30-40个并发用户进行方案编制并计算所需AP数量。

覆盖方式主要是指采用室内AP直接覆盖、室内AP外接小型分布系统、室外AP直接覆盖对热点区域进行信号覆盖。不同的覆盖方式对AP设备及天线的选择也不同。对于热点楼宇，应根据覆盖区域、安装条件、投资效益等因素，综合选用室内/室外方式覆盖，以有效提高覆盖质量，减少建设投资。

由于在该校某通信运营商在图书馆和部分教学楼已经建有WiFi，但是由于该校师生无线上网需求大，原有网络已经不能满足需求，现在需在教学楼、图书馆增加覆盖，新增实验楼，宿舍楼以及其他公共区域覆盖，由于宿舍区建设有LAN网，而且每间宿舍都有LAN网端口，所以宿舍区采用LAN接入方式，其他区域都采用PON接入方式组网，具体

覆盖如下表4-1:

表4-1 华南理工大学广州学院新建WiFi网络覆盖情况表

华南理工大学广州学院 X 新建 WiFi 网络覆盖情况表					
名称	区域	AP 数	区域覆盖说明	上行方式	覆盖方式
华南理工大学广州学院	B1 栋实验楼	8	办公室、实验室	EPON 接入	直接覆盖和新建小型室分系统
	B5 栋实验楼	5	办公室、实验室		直接覆盖和新建小型室分系统
	B2 栋实验楼	4	办公室、实验室		直接覆盖和新建小型室分系统
	B3 栋实验楼	1	办公室、实验室		直接覆盖和新建小型室分系统
	B5 栋实验楼	5	办公室、实验室		直接覆盖和新建小型室分系统
	B7 栋实验楼	3	办公室、实验室		直接覆盖和新建小型室分系统
	B8 栋实验楼	5	办公室、实验室		直接覆盖和新建小型室分系统
	学生活动中心	3	办公室、休息区		直接覆盖和新建小型室分系统
	图书馆	5	预览区, 休息区		直接覆盖
	A1 栋教学楼	12	教室室和办公室		直接覆盖和新建小型室分系统
	A2 栋教学楼	12	教室室和办公室		直接覆盖和新建小型室分系统
	A3 栋教学楼	12	教室室和办公室		直接覆盖和新建小型室分系统
	A4 栋教学楼	12	教室室和办公室		直接覆盖和新建小型室分系统
	A5 栋教学楼	12	教室室和办公室		直接覆盖和新建小型室分系统
	操场	1	休息区域		室外覆盖
	C1 栋宿舍楼	8	学生宿舍	LAN 接入	新建小型室分系统
	C2 栋宿舍楼	8	学生宿舍		新建小型室分系统
	C3 栋宿舍楼	12	学生宿舍		新建小型室分系统
	C4 栋宿舍楼	12	学生宿舍		新建小型室分系统
	C5 栋宿舍楼	25	学生宿舍		新建小型室分系统
	C6 栋宿舍楼	18	学生宿舍		新建小型室分系统
	C7 栋宿舍楼	28	学生宿舍		新建小型室分系统
	C8 栋宿舍楼	28	学生宿舍		新建小型室分系统
	C9 栋宿舍楼	46	学生宿舍		新建小型室分系统
	C10 栋宿舍楼	40	学生宿舍		新建小型室分系统
	C11 栋宿舍楼	24	学生宿舍		新建小型室分系统
	C12 栋宿舍楼	24	学生宿舍		新建小型室分系统
	C13 栋宿舍楼	24	学生宿舍		新建小型室分系统
	C14 栋宿舍楼	48	学生宿舍		新建小型室分系统
	C15 栋宿舍楼	48	学生宿舍		新建小型室分系统
	C16 栋宿舍楼	47	学生宿舍		新建小型室分系统
	C17 栋宿舍楼	48	学生宿舍		新建小型室分系统
	C18 栋宿舍楼	35	学生宿舍		新建小型室分系统
	C19 栋宿舍楼	48	学生宿舍		新建小型室分系统
	C20 栋宿舍楼	35	学生宿舍		新建小型室分系统
合计		706			

4.3 传输侧方案

AC直接上连城域网交换机组网方式图4-1:

图4-1 华南理工大学广州学院WiFi组网图

2、AP广播双SSID，SSID1为电信SSID，SSID2为学校内网SSID，分别连接某通信运营商WiFi用户和学校内部访问用户，分别连接某通信运营商WiFi用户和学校内部访问用户。AC其中一条路由接入某通信运营商IP城域网，经城域网以太网汇聚层接入后终结到

BRAS；另一条接入学校内部网络，提供对学校内部网络的访问。

3、AP的上联端口开启TRUNK功能，有2个VLAN上行，2个SSID分别绑定到不同的VLAN，其中VLAN1提供电信业务，承载WiFi用户业务接入和瘦AP网管数据，经AC设备会聚和转发后，接入电信IP城域网；VLAN2提供学校内部网络访问，承载学校访问流量，经AC设备会聚和转发后，上行接入到学校内部网络。

4.4 无线侧方案以及测试效果

无线侧方案

由于该校区面积比较大，楼宇比较多，楼层与楼层之间也有差异，建设方案需要根据楼宇实际情况来设计，此外避免信道干扰，要严格按照频率规划表进行频率规划。部分场景覆盖方案如下：

场景一、教学楼A3栋 1-4F：

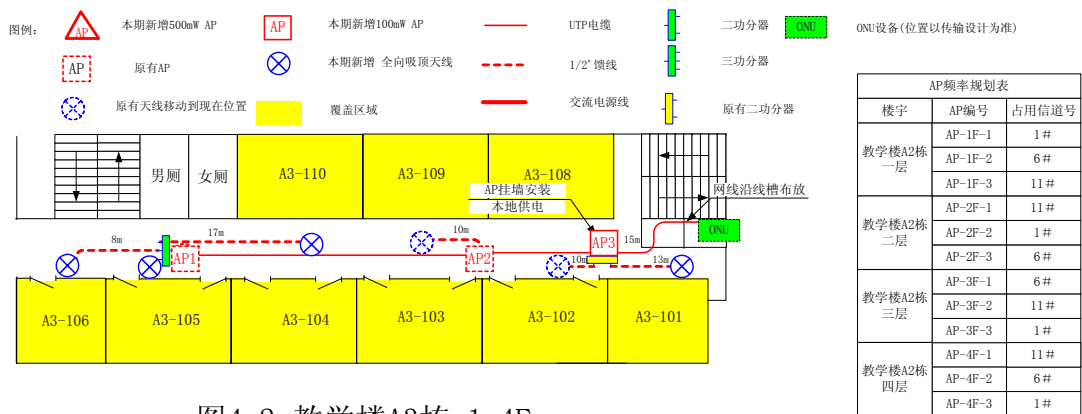


图4-2 教学楼A3栋 1-4F

场景二、图书馆4F覆盖方案：

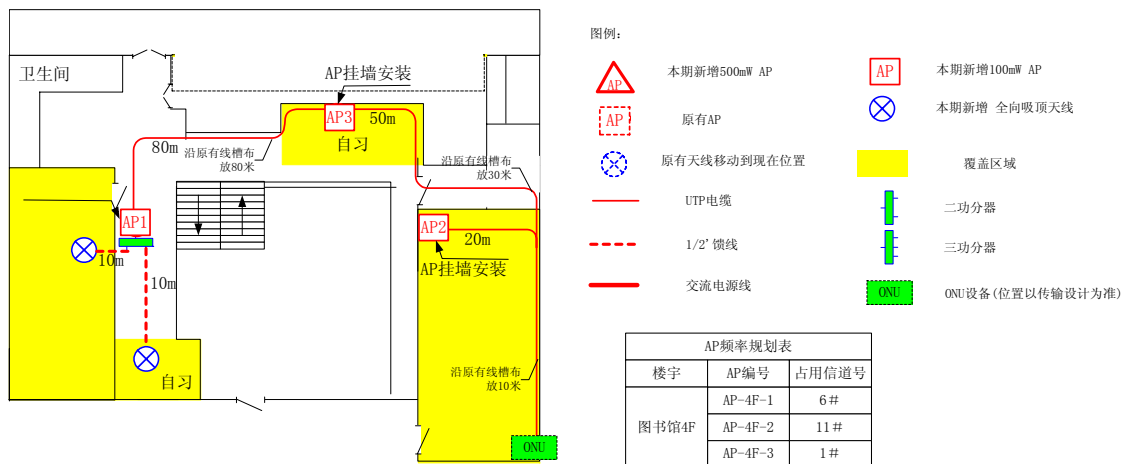


图4-3 图书馆4F

场景三、操场看台：

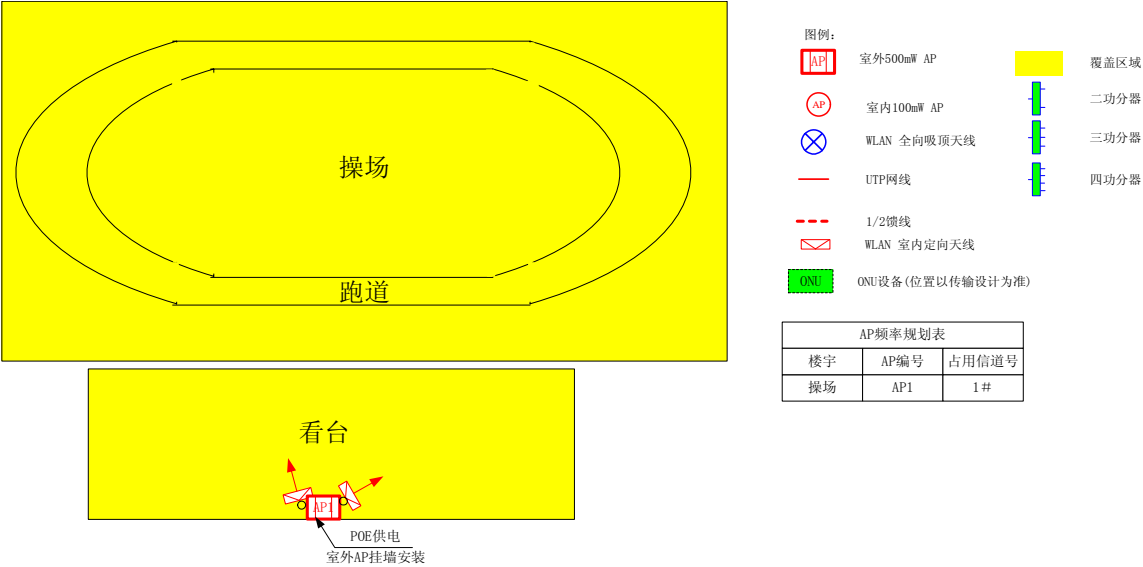


图4-4 操场看台

场景四、11栋-13栋的2F-6F覆盖方案：

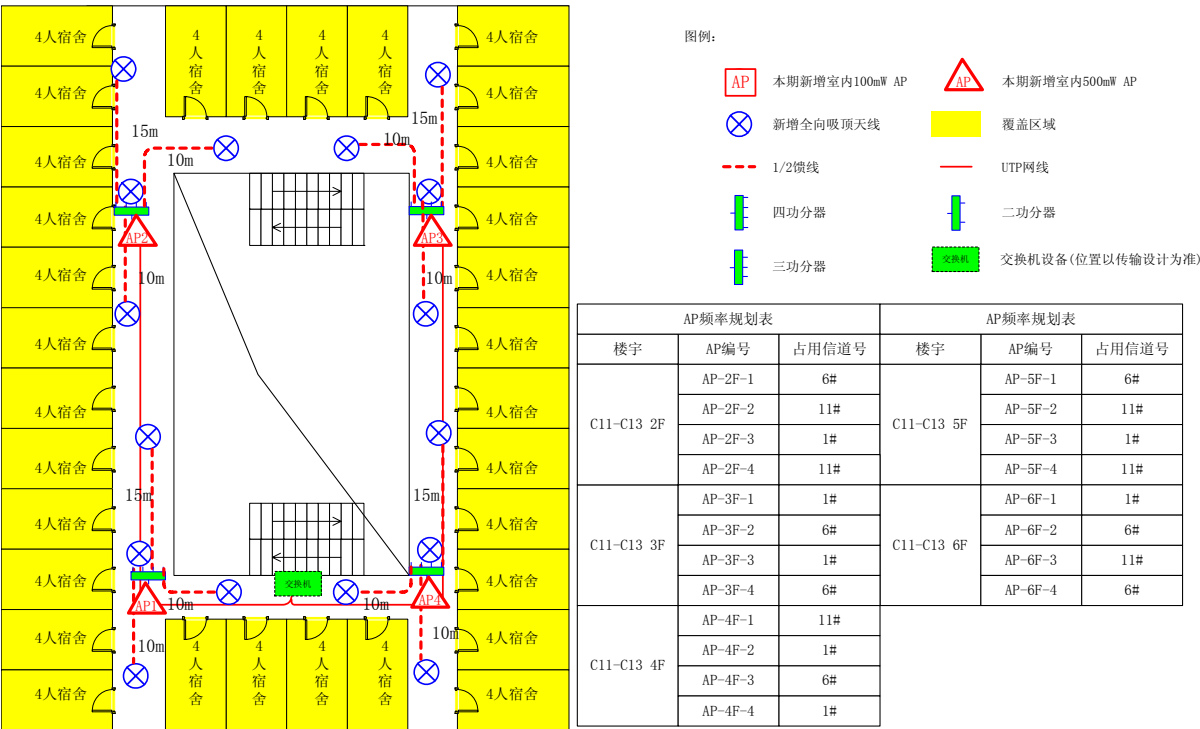


图4-5 11栋-13栋的2F-6F

场景五、C17栋宿舍楼1F覆盖方案：

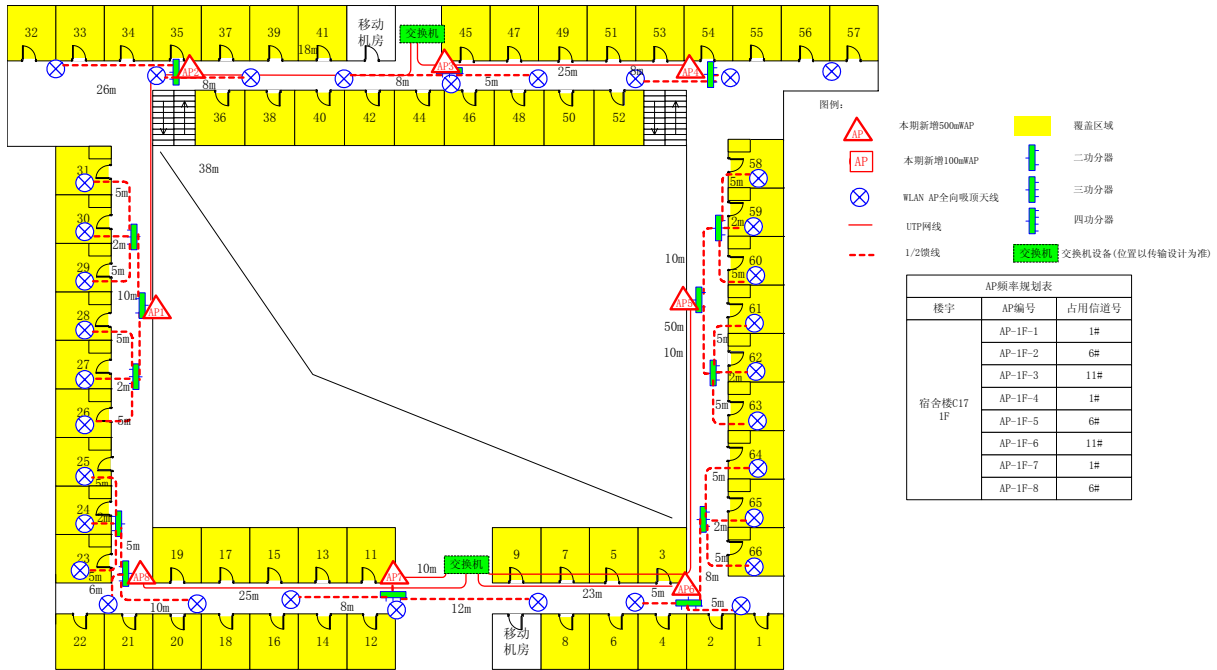


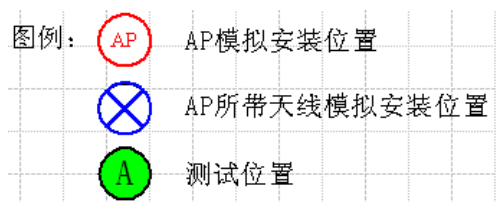
图4-6 C17栋宿舍楼1F

通过五种不同场景覆盖方案，采取不同建设方式。场景一，由于教学楼已有WiFi网络覆盖，但不能满足现在需求，需增加AP方式来实现AP覆盖容量最大化，此外，还新建小型室分系统来平衡各教室的WiFi上网需求；场景二，属于图书馆直接布放AP覆盖，图书馆是该校师生学习重要场所，特别是阅览室对WiFi需求特别大，而选取覆盖方式是直接布放AP进行覆盖。场景三，在该校操场看台新增一台室外大功率AP覆盖，操场是该校学生主要活动场所，也是该校一些大型活动举办主要场所，但到操场对WiFi需求少，而合适选取室外AP进行泛覆盖。场景四和场景五都是学生宿舍经典场景，天线设计在走廊外面横梁安装，由于学生宿舍靠近门口旁边都有一个大窗，而信号窗透玻璃窗损耗小，顾能满足宿舍内部覆盖，而不用把天线直接放进宿舍覆盖。此外，在场景五中有些宿舍进门旁就是卫生间，假如在按照之前覆盖方式，把天线放在走廊上进行覆盖，信号要穿透卫生间最终到达宿舍，根据现场测试结果，到达宿舍内信号不稳定，达不到建设要求，一般选取这样场景，建议把天线伸进宿舍进行覆盖，以下是该场景模拟测试结果：

测试效果

测试工具：WPB-5000-I-G-20P福建三元达500mW室内AP（FAT）、三功分器、四功分器、全向吸顶天线、笔记本电脑和测试软件采用WirelessMon测试软件。

测试地点：华南理工大学广州学院男生宿舍C11栋105房间、C17栋115房间房间。



(测试信号源SSID为ChinaNet) C11栋105房间

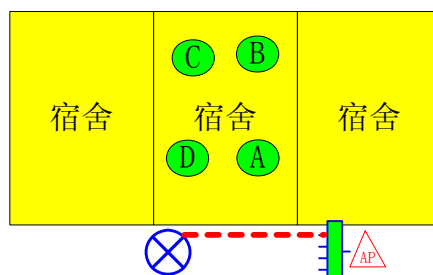


图4-7 C11栋105房间安装图

表4-2 C11栋105房间采取三功分方式和四功分方式进行覆盖模拟测试结果记录表：

AP测试方式	A (dBm)	B (dBm)	C (dBm)	D (dBm)
三功分方式	66	56	64	61
四功分方式		58	64	67

C11栋105房间模拟测试结果数据：

A点测试数据（四功分器）



A点测试数据（三功分器）



B点测试数据（四功分器）



B点测试数据（三功分器）



C点测试数据（四功分器）



C点测试数据（三功分器）



D点测试数据（四功分器）



D点测试数据（三功分器）



C17栋115房间天线置于两房间之间梁位

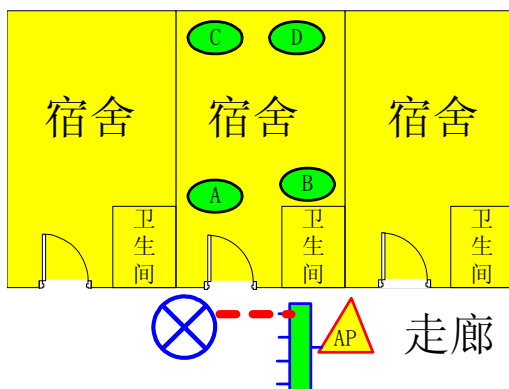


图4-6 C17栋115房安装图

表4-3 C17栋115房间采取三功分方式和四功分方式进行覆盖模拟测试记录表

AP 测试方式	A (dBm)	B (dBm)	C (dBm)	D (dBm)
三功分方式	54	75	57	74
四功分方式	70	64	65	77

C17栋115房间模拟测试结果数据:

A点测试数据 (四功分器)

可用	ChinaNet	1	非必需	-70	18.0 Mb/s	12.0 Mb/s	11.0 Mb/s...	00 60 b3 2f 76 f5	OFDM24
----	----------	---	-----	-----	-----------	-----------	--------------	-------------------	--------

B点测试数据 (四功分器)

可用	ChinaNet	1	非必需	-64	18.0 Mb/s	12.0 Mb/s	11.0 Mb/s...	00 60 b3 2f 76 f5	OFDM24
----	----------	---	-----	-----	-----------	-----------	--------------	-------------------	--------

C点测试数据 (四功分器)

可用	ChinaNet	1	非必需	-65	18.0 Mb/s	12.0 Mb/s	11.0 Mb/s...	00 60 b3 2f 76 f5	OFDM24
----	----------	---	-----	-----	-----------	-----------	--------------	-------------------	--------

D点测试数据 (四功分器)

可用	ChinaNet	1	非必需	-74	18.0 Mb/s	12.0 Mb/s	11.0 Mb/s...	00 60 b3 2f 76 f5	OFDM24
----	----------	---	-----	-----	-----------	-----------	--------------	-------------------	--------

A点测试数据 (三功分器)

可用	ChinaNet	1	非必需	-54	18.0 Mb/s	12.0 Mb/s	11.0 Mb/s...	00 60 b3 2f 76 f5	OFDM24
----	----------	---	-----	-----	-----------	-----------	--------------	-------------------	--------

B点测试数据 (三功分器)

可用	ChinaNet	1	非必需	-75	18.0 Mb/s	12.0 Mb/s	11.0 Mb/s...	00 60 b3 2f 76 f5	OFDM24
----	----------	---	-----	-----	-----------	-----------	--------------	-------------------	--------

C点测试数据 (三功分器)

可用	ChinaNet	1	非必需	-57	18.0 Mb/s	12.0 Mb/s	11.0 Mb/s...	00 60 b3 2f 76 f5	OFDM24
----	----------	---	-----	-----	-----------	-----------	--------------	-------------------	--------

D点测试数据 (三功分器)

可用	ChinaNet	1	非必需	-74	18.0 Mb/s	12.0 Mb/s	11.0 Mb/s...	00 60 b3 2f 76 f5	OFDM24
----	----------	---	-----	-----	-----------	-----------	--------------	-------------------	--------

在该校宿舍区采用两种建设方式，一种与C11栋宿舍结构相似的，把天线放在走廊进行覆盖宿舍为榜样，经过现场测试，采用三功分和四功分覆盖方式，在宿舍里面信号稳定，强度达到-60dBm左右，满足覆盖要求。另外一种与C17栋宿舍结构相似的，AP采用四功分方式接入天线，把天线安装在宿舍走廊天花上时，由于房间比较封闭，信号穿透墙和卫生间时衰减较大，到达宿舍内信号不稳定，影响上网速率。在C17栋115宿舍模拟测试信号强度超出-70dBm，满足不了覆盖要求。考虑到该栋宿舍都为4人一间，在征得校方同意时，将方案改为把天线安装于房间内，根据WiFi网络容量一般估算方法，一个AP外接6个天线，覆盖6个宿舍方式进行覆盖，最大用户数达到24个人，没有超出单个AP处理数据用户最大使用率，这样既能满足WiFi网络容量需求，也能保证宿舍内的信号强度和稳定性。

4.5 本章小结

本章详细介绍了某通信运营商在华南理工大学广州学院WiFi网络的设计思路，阐述了该校WiFi组网方式和方法，包含了传输侧方案和无线侧方案。首先，某通信运营商在该校已经建设部分AP热点，属于已有的WiFi覆盖，但很多区域没有覆盖，再通过合理网络设计方案，实现原有WiFi网络与新网络相结合，得到最优化建设方案。其次，由于该校楼宇结构方式不同，信号空中传播环境差异很大，这就需要到现场进行模拟测试，才能确定最终最优建设方案。结果表明，本章设计方案均满足预定的性能要求。

第五章 结束语

在手机、游戏机、数码相机等消费类电子产品越来越普及，终端产品丰富使WiFi的普及率将会越来越高，这表明了WiFi市场将会有更广阔的前景。随着用户量和数据量的不断增加以及组网环境越来越复杂，如何建设良好的WiFi网络就日益重要。

在通信市场的竞争中，用户关注网络的问题主要是：上网速度慢，网络延迟大、信号覆盖差和网络掉线等，所有的指标都需要通过在WiFi网络组建前进行有效网络规划而达到，这既可以提高WiFi网络的运行质量，同时维护运营商的形象，增强运营商的市场竞争力，扩大市场份额，保证了运营商的经济利益。

关于WiFi网络组网的课题比较多，本论文只是系统地归纳和研究WiFi网络组织架构方式方法以及相应的理论知识，具体安排如下：

1、介绍了WiFi网络基础原理，论述WiFi网络的关键技术。为后面具体的组网过程和组网内容提供相关理论支持。

2、对WiFi网络组织架构的方式方法进行详细的说明和探讨，介绍无线侧和传输侧的组网过程，由于资源分布不均衡，具体组网过程中的方式方法也有差异性，因此对网络不同接入方式方法的探讨，为后续组网提供详细的数据理论支持。

3、对WiFi网络涉及相关技术难题以及解决方法进行说明和探讨，首先分析射频干扰，内容包括WiFi使用频段，产生射频干扰原因以及解决措施；其次从无线信号传播理论进行分析，涉及WiFi覆盖特点、WiFi空中传播理论以及WiFi覆盖的方法；此外还分析WiFi网络容量估算和规划。从理论上探讨影响用户感知的因素的技术以及解决的方法，为组建良好WiFi网络提供技术支持。

4、通过对WiFi网络组织架构方式方法的整理总结，对华南理工大学广州学院WiFi组网方式方法进行论述以及无线覆盖效果测试，通过WiFi网络组建过程中的具体案例分析说明如何对现有资源进行合理化的应用，实现降低网络建设成本，提高网络质量以及保障用户体验，为同类工程提供指导性的参考。

本课题总结了WiFi网络组织架构方式方法，论述了影响用户感知的技术难题，并提出相应解决方法，这样通过系统对WiFi网络进行总结和论述，有利于降低网络建设成本，提高网络质量以及保障用户体验。

本文仅仅是对WiFi网络组织架构方式方法、影响用户感知的技术难题以及相应解决方法进行简单的分析，由于水平有限，对于优化WiFi网络，解决影响用户体验的技术难题等方面还需要进一步加强。希望以后在工作中能不断地发现问题，找到解决问题的更多的方法。

参考文献

- [1] 朱雨虹. WLAN覆盖分析及容量规划设计
- [2] IEEE. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. IEEE Standard 802.11. 1997.
- [3] G. A. Halls. HIPERLAN: the high performance radio local area network standard. Electronics and Communication Engineering Journal. 6:289 - 296, December 1994.
- [4] IEEE. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications
 - Amendment 2: Higher speed physical layer (PHY) extension in the 2.4 GHz band. IEEE Standard 802.11b. 1999.
- [5] IEEE. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications- Amendment 4: Further higher-speed physical layer extension in the 2.4 GHzband. IEEE Standard 802.11g. 2003.
- [6] Adi Shamir. 无线电传播简介: 专用术语, 室内传播和路径损耗 计算及实例. 今日电子. 2002 No. z1 P. 26-30.
- [7] Theodore S. Rappaport. 无线通信原理及应用. 电子工业出版社. 1999-11.
- [8] 杨大成. 移动传播环境: 理论基础、分析方法和建模技术. 机械工业出版社. 2003-08.
- [9] Theodore S. Rappaport. 无线通信原理及应用. 电子工业出版社. 1999-11.
- [10] 刘艳萍, 章秀银, 胡斌杰4G核心技术原理及其与3G系统的对比分析 [J]. 移动通信, 2004年第28卷第10期;
- [11] 广州市电信设计有限公司. AC技术原理及应用[C] 广州市电信设计有限公司培训资料. 2011年
- [12] 广州市电信设计有限公司. WiFi技术原理及其应用[C] 广州市电信设计有限公司培训资料. 2009年
- [13] 山东电信. 山东电信WiFi建设规范(最新)V2[C] 山东电信内部培训资料. 2011年
- [14] 金纯. 陈林星. 杨吉云 IEEE 802.11无线局域网. 北京. 电子工业出版社. 2004
- [15] 中国电信集团广州研究院. WiFi网络无线优化技术介绍 [C] 中国电信集团广州研究院 邓博存培训资料. 2011年

- [16] 关键. 无线个人区域网ZigBee与WiFi的干扰分析. 2009年
- [17] 王镭 陈鹏 徐民. WiFi射频干扰和优化探讨. 江苏通信. 2011-27(3)
- [18] 郭仕刚, 狄强. 无线局域网技术的概念及特点. 现代通信. 2006-01.
- [19] 谢益溪. 无线电波传播——原理与应用. 北京: 人民邮电出版社, 2008. 07: 134.
- [20] 薛强 马向辰 张海涛 程日涛. WLAN网络规划设计. 泰尔网. 2008-1-29.
- [21] 中国电信广东公司网络发展部. WLAN网络覆盖规划方法[C] 中国电信广东公司网络发展部培训资料. 2009年
- [22] 刘英. 堃书喜 移动通信系统中的天线. 北京. 电子工业出版社. 2011
- [23] 李勇刚 宋永胜 借无线市话网优势实现无线网格网的快速建网[J]. 山东通信技术, 2007年3期;
- [24] 宋永胜. 引入第三方或更有利于基站共建共享[J]. 移动通信, 2010年3期;
- [25] 杭州华三通信(H3C)技术有限公司. WLAN 理论速率计算方法[C] 杭州华三通信(H3C)技术有限公司内部培训资料. 2011年
- [26] 阿德利亚科技有限公司. IEEE 802.11基础[C] 阿德利亚科技有限公司内部培训资料. 2011年
- [27] 长河落日. WLAN 技术标准最新://labs.chinamobile.com/groups/10322_21586, 2009. 11. 25
- [28] 牛超, 李书芳. WLAN 网络容量估计及其在网络规划中意义研究
- [29] 史凡, 刘乃安, 付卫红. 无线局域网的网络规划技术研究. 重庆邮电学院学报, 2005, Vol. 17.
- [30] 吴伟陵, 牛凯. 移动通信原理. 北京: 电子工业出版社, 2007. 10: 490~491

致谢

本文是在我的导师胡斌杰教授悉心指导和严格要求下完成的。胡老师知识渊博，治学态度严谨。在胡老师的指导下，我不仅提高了理论水平，而且增强了自己独立分析问题、解决问题的能力。从论文的选题与资料搜集，实验中具体问题的详细研究探讨与测量，到论文的撰写与修改，无一不受益于胡老师言传身教。值此论文完成之际，特向胡老师表示最诚意的感谢！

衷心感谢中睿通信设计有限公司对本课题研究的大力支持。另外感谢我校外导师宋永胜高级工程师，以及我的同事们，特别是无线一所徐灿辉工程师在课题研究过程中给予的真诚帮助，使我能顺利完成课题！在此向他们表示衷心感谢。

感谢电子与信息学院各位老师的教学和指导，也特别感谢林俊浩、吴壮群、高山、沈晓羽等各位同学和朋友，陪我一起走过三年充实的研究生生活，他们是我的良师益友，非常感谢他们。

深深感谢我的家人，我成长路上的每一步都凝聚着他们的心血和期盼。家人的无言付出为我提供了最温暖坚实的后盾，他们永远是支撑我不断拼搏进取的精神支柱！

最后，我感谢审阅我的论文的老师們。

李先权

2012年11月于 华南理工大学

IV - 2 答辩委员会对论文的评定意见

该论文以 WIFI 网络构建与应用为研究对象，通过对 WIFI 网络技术与应用发展趋势的分析，以及讨论了 WIFI 网络构建和在应用过程中该网络技术对用户体验的影响具有重要意义，通过不同组网方式和组网技术的分析，说明降低网络建设成本，提高网络质量，保障用户体验永远是指导一切工程的设计及实施首要条件。该选题具有一定的理论价值和实用性。

在深入分析 WIFI 网络构建与应用的基础上，系统地分析了 WIFI 网络构建在实施过程中的主要技术问题和实际应用中所存在的不足，提出了构建 WIFI 网络方案以及解决该网络中影响用户感知因素，并对其进行了理论分析与实验验证，通过对华南理工大学广州学院某通信运营商 WIFI 网络系统的设计验证，说明在 WIFI 网络具体设计时选取合理方案有利于降低 WIFI 网络建设成本，提高网络质量和保障用户体验。论文反映了作者具有良好的基础理论和系统的专业知识，具有独立分析和解决工程问题的能力，对具体工程建设方面具有一定的参考价值。

论文选题合理，写作认真，条理清楚，文笔流畅，论文验证分析方法科学、合理，达到工程硕士学位论文要求。答辩中叙述清楚，回答问题正确。表明作者具有比较扎实的基础理论和系统深入的专门知识，具有独立从事科学研究工作的能力。

答辩委员会经过无记名投票，一致同意通过硕士学位论文答辩，并建议授予工程硕士学位。

论文答辩日期：2012年12月8日

答辩委员会委员共4人，到会委员4人

表决票数：优秀(0)票；良好(4)票；及格(0)票；不及格(0)票

表决结果(打“√”)：优秀()；良好(√)；及格()；不及格()

决议：同意授予硕士学位(√) 不同意授予硕士学位()

答辩
委员会
成员
签名



(主席)

周伟英



