



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
全国高等职业教育规划教材

短距离无线通信设备检测

主 编 于宝明

副主编 王书旺 吴珊珊 胡国兵

- 紧贴社会需求，根据岗位能力要求确定教材内容。
- 立足高职院校的教学模式和学生特点，确定适合高职生的知识深度和广度。
- 工学结合，基于典型短距离无线通信设备检测的工作过程组织教学内容。



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
全国高等职业教育规划教材

短距离无线通信设备检测

主 编 于宝明

副主编 王书旺 吴珊珊 胡国兵

参 编 周 波 高申存 毕言顺



机械工业出版社

本书系统地阐述了短距离无线通信系统的基本概念、原理,并对目前实际应用中典型的短距离无线通信设备的检测方法和过程进行了介绍。本书共分为7章:第1章介绍了无线通信的基础知识,第2章对无线通信设备检测的基础知识作了介绍,第3章阐述了无线通信设备测试参数及测试流程;第4章介绍了无线局域网技术,并给出了无线局域网设备的检测方法,第5章介绍了蓝牙无线接入技术及蓝牙设备的检测方法,第6章介绍了 ZigBee 无线接入技术及 ZigBee 无线网络的设置过程,第7章对红外无线接入技术及红外通信系统的调试过程进行介绍。

本书在内容编排上充分考虑到高职院校的教学模式及学生的实际情况,以典型短距离无线通信设备检测的工作过程为逻辑起点,分别从相关系统的技术原理、通信系统的组网配置方法到设备的检验测试过程等环节进行展开,层层递进,并将企业实际测试案例引入到书中,体现了“工学结合”的特点。

本书可作为高职高专应用电子技术、物联网技术及无线电技术等电子信息类相关专业的教学用书,还可作为科研人员、工程技术人员的参考书。

本书配套授课电子课件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

短距离无线通信设备检测/于宝明主编. —北京:机械工业出版社, 2014.8
“十二五”职业教育国家规划教材 全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-48462-2

I. ①短… II. ①于… III. ①短距离—无线电通信—通信设备—检测—高等职业教育—教材 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 258150 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王颖 责任校对:张艳霞

责任印制:刘岚

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2015 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·10 印张·245 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-48462-2

定价: 25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010)88379833

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

全国高等职业教育规划教材

电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐
华永平 吴元凯 蒋蒙安 祖 炬 梁永生

委 员 （按姓氏笔画排序）

于宝明	尹立贤	王用伦	王树忠	王新新	任艳君
刘 松	刘 勇	华天京	吉雪峰	孙学耕	孙津平
孙 萍	朱咏梅	朱晓红	齐 虹	张静之	李菊芳
杨打生	杨国华	汪赵强	陈子聪	陈必群	陈晓文
季顺宁	罗厚军	胡克满	姚建永	钮文良	聂开俊
夏西泉	袁启昌	郭 勇	郭 兵	郭雄艺	高 健
曹 毅	章大钧	黄永定	曾晓宏	谭克清	戴红霞

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 蔡建军

出版说明

《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》指出：到 2020 年，形成适应发展需求、产教深度融合、中职高职衔接、职业教育与普通教育相互沟通，体现终身教育理念，具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系，推进人才培养模式创新，坚持校企合作、工学结合，强化教学、学习、实训相融合的教育教学活动，推行项目教学、案例教学、工作过程导向教学等教学模式，引导社会力量参与教学过程，共同开发课程和教材等教育资源。机械工业出版社组织全国 60 余所职业院校（其中大部分是示范性院校和骨干院校）的骨干教师共同策划、编写并出版的“全国高等职业教育规划教材”系列丛书，已历经十余年的积淀和发展，今后将更加结合国家职业教育文件精神，致力于建设符合现代职业教育教学需求的教材体系，打造充分适应现代职业教育教学模式的、体现工学结合特点的新型精品化教材。

“全国高等职业教育规划教材”涵盖计算机、电子和机电三个专业，目前在销教材 300 余种，其中“十五”“十一五”“十二五”累计获奖教材 60 余种，更有 4 种获得国家级精品教材。该系列教材依托于高职高专计算机、电子、机电三个专业编委会，充分体现职业院校教学改革和课程改革的需要，其内容和质量颇受授课教师的认可。

在系列教材策划和编写的过程中，主编院校通过编委会平台充分调研相关院校的专业课程体系，认真讨论课程教学大纲，积极听取相关专家意见，并融合教学中的实践经验，吸收职业教育改革成果，寻求企业合作，针对不同的课程性质采取差异化的编写策略。其中，核心基础课程的教材在保持扎实的理论基础的同时，增加实训和习题以及相关多媒体配套资源；实践性较强的课程则强调理论与实训紧密结合，采用理实一体的编写模式；涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法，同时重视企业参与，吸纳来自企业的真实案例。此外，根据实际教学的需要对部分课程进行了整合和优化。

归纳起来，本系列教材具有以下特点：

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度，强调专业技术应用能力的训练，适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁，多用图表来表达信息；增加相关技术在生产中的应用实例，引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新，及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念，并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合，提高教学服务水平，为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快，加之我们的水平和经验有限，因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和疏漏。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息，以利于我们今后不断提高教材的出版质量，为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前言

随着社会的不断发展，人类走过了农耕时代、工业时代，进入到了信息时代。在这个信息交流越来越频繁的年代，如何保证信息可以安全、快速和方便地传输成为人们需要持续关注的话题。无线通信，尤其是短距离无线通信技术，由于其出色的便捷特性，应用范围越来越广泛。另一方面，一个性能优良的短距离无线通信设备不仅要能够实现自身的功能，而且应该遵从一定的技术规范，从而保证对周围设备和环境的影响最小化。

本书的目标是帮助学习者建立短距离无线通信系统的基本概念，了解常用的短距离无线通信系统和设备的检测环境、方法和步骤。本书首先介绍了短距离无线通信的基本概念和基本知识，然后介绍了系统测试所需的环境、场地以及设备，并介绍了常用的几种接入技术和短距离无线通信网络，最后给出了实际测试的规范及测试流程和方法。本书以常见系统为主线，一步步从基本知识、基本技能到最后的测试检验，把专业课程知识及技能融入到真实项目的工作过程中，并试图将相关职业资格证书的内容融入到书中。

本书适用于高职高专应用电子技术、物联网专业以及无线电专业的专业课程教学或专业基础课程教学，使用本书的学生应具备一定的网络和通信等方面的知识。建议各章节学时安排如下：

章 名	学 时
第 1 章 无线通信基础	5 学时
第 2 章 无线设备检测基础	4 学时
第 3 章 无线通信设备测试参数及测试流程	4 学时
第 4 章 无线局域网	10 学时
第 5 章 蓝牙无线接入技术	8 学时
第 6 章 ZigBee 无线接入技术	8 学时
第 7 章 红外无线接入技术	6 学时

本书由南京信息职业技术学院于宝明担任主编并统编全稿，由王书旺、吴珊珊、胡国兵担任副主编，周波、中兴通讯股份有限公司高申存工程师及新美科（南京）信息技术有限公司毕言顺工程师参与了本书的编写。其中，第 1、4 章由于宝明编写，第 7 章由王书旺编写，第 3 章由吴珊珊编写，第 5 章由胡国兵编写，第 6 章由高申存编写，第 2 章及实验由周波和毕言顺编写。本书在编写过程中得到了新美科（南京）信息技术有限公司柏立州博士的大力协助，在此表示衷心的感谢。

最后，由于编者水平有限，本书仍有许多不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 无线通信基础	1
1.1 无线通信的基本概念	1
1.2 无线通信使用的频率和波段	2
1.3 无线通信系统的组成	2
1.3.1 发信机	3
1.3.2 天线	3
1.3.3 收信机	3
1.4 无线通信的工作方式	3
1.4.1 单工通信方式	4
1.4.2 半双工通信方式	4
1.4.3 双工通信方式（全双工通信方式）	4
1.5 无线介质的特性	4
1.5.1 有线介质与无线介质的比较	4
1.5.2 电波传播机制	5
1.5.3 传播性能的指标	9
1.6 噪声	9
1.7 干扰	11
1.7.1 邻道干扰	11
1.7.2 同信道干扰	12
1.7.3 互调干扰	15
1.7.4 远近效应	16
1.8 无线介质的接入方式	17
1.8.1 面向语音网络的固定分配接入	17
1.8.2 面向数据网络的随机接入	17
1.9 习题	20
第 2 章 无线设备检测基础	21
2.1 无线检测认证简介	21
2.1.1 北美洲方向	21
2.1.2 欧洲方向	22
2.1.3 亚洲方向	23
2.2 测试场地与设备	23

2.2.1	测试场地	23
2.2.2	测试设备	27
2.3	常见测试项目	31
2.3.1	带宽测试	31
2.3.2	频率稳定度测试	32
2.3.3	功率测试	32
2.4	实验 RF 设备的带宽测试	34
2.5	习题	36
第 3 章	无线通信设备测试参数及测试流程	37
3.1	基本概念	37
3.1.1	定义	37
3.1.2	单位符号	38
3.1.3	缩略词	39
3.2	检测连接设备	39
3.2.1	连线	39
3.2.2	同轴转接头	40
3.3	无线通信设备常用检测参数	40
3.3.1	等效全向辐射功率	41
3.3.2	最大等效全向辐射功率谱线密度	41
3.3.3	频率范围	41
3.3.4	跳频扩频技术要求	41
3.3.5	媒体介质接入协议	42
3.3.6	发射机杂散发射功率	42
3.3.7	接收机杂散发射功率	42
3.4	短距离无线通信设备基本参数测试流程	43
3.4.1	等效全向辐射功率	43
3.4.2	最大等效全向辐射功率谱密度	44
3.4.3	频率范围	45
3.5	习题	45
第 4 章	无线局域网	47
4.1	无线局域网概论	47
4.1.1	无线局域网的基本概念	47
4.1.2	无线局域网的历史与发展	49
4.1.3	无线局域网的组成原理	53
4.2	无线局域网标准	56
4.2.1	无线局域网协议体系	56
4.2.2	无线局域网物理层	59
4.2.3	无线局域网 MAC 层	60
4.3	无线局域网关键技术	63

4.3.1	物理层关键技术	63
4.3.2	MAC 层关键技术	71
4.4	无线局域网的应用——无线校园网	74
4.4.1	楼宇内的无线局域网	74
4.4.2	楼宇间的无线局域网	76
4.5	实验 WiFi 设备检测	76
4.6	习题	79
第 5 章	蓝牙无线接入技术	81
5.1	蓝牙技术概述	81
5.1.1	无线个域网	81
5.1.2	蓝牙技术的产生	84
5.1.3	蓝牙技术的特点	85
5.2	蓝牙技术标准	89
5.2.1	蓝牙技术版本的演进	89
5.2.2	蓝牙技术的发展与展望	91
5.3	蓝牙系统及关键技术	92
5.3.1	无线射频单元	92
5.3.2	链路(基带)控制单元	93
5.3.3	链路管理单元	98
5.3.4	软件功能单元	98
5.4	蓝牙技术的典型应用	99
5.5	实验 蓝牙设备检测	100
5.6	习题	103
第 6 章	ZigBee 无线接入技术	104
6.1	ZigBee 技术概述	104
6.1.1	ZigBee 技术的产生	104
6.1.2	ZigBee 技术的发展	105
6.1.3	ZigBee 技术的特点	106
6.2	ZigBee 技术标准	107
6.2.1	ZigBee 协议概述	107
6.2.2	IEEE 802.15.4 协议	109
6.2.3	ZigBee 网络层	118
6.2.4	ZigBee 应用层	122
6.3	ZigBee 技术的典型应用	123
6.4	实验 ZigBee 协议栈网络设置实验	125
6.5	习题	131
第 7 章	红外无线接入技术	132
7.1	红外通信技术概述	132
7.2	红外通信系统的组成	134

7.2.1 红外发射器	134
7.2.2 通信信道	134
7.2.3 红外接收器	135
7.2.4 红外链路选择	136
7.3 红外通信的关键技术	137
7.3.1 IrDA 通信协议	137
7.3.2 红外信号的调制和解调	141
7.3.3 红外通信系统的拓扑结构	145
7.4 红外无线通信的应用	146
7.5 实验 红外通信系统的测试	147
7.6 习题	149
参考文献	150

第1章 无线通信基础

1.1 无线通信的基本概念

利用电磁波的辐射和传播,经过空间传送信息的通信方式称为无线电通信(Radio Communication),也称为无线通信。利用无线通信可以传送电报、语音、数据、图像以及广播和电视节目等通信业务。

信道就是从发送端到传输端之间的路径,包括两个通信设备之间的所有的物质——线路、中继器和无线电波等。按信道的传输介质来分,可将信道分为有线信道和无线信道;按频率来分,可将信道分为窄带信道和宽带信道等;按它所传输的信号类型来分,可将信道分为数字信道和模拟信道;按存在形式来分,可将信道分为物理信道和逻辑信道。无线通信的信道属于无线信道。

无线信道是对无线通信中发送端和接收端之间的通路的一种形象比喻。对于无线电波而言,从发送端传送到接收端,其间并没有一个有形的连接,它的传播路径也有可能不只一条。为了形象地描述发送端与接收端之间的工作,人们想像两者之间有一个看不见的通路衔接,把这条衔接通路称为信道。信道有一定的频率带宽,正如公路有一定的宽度一样。

无线信道中的电波不是通过单一路径来传播的,而是由许多路径上的众多反射波合成的。由于电波通过各个路径的距离不同,因而从各个路径来的反射波到达时间不同,也就是各信号的时延不同。当发送端发送一个极窄的脉冲信号时,移动台接收的信号由许多不同时延的脉冲组成,称为时延扩展。同时,由于各个路径来的反射波到达时间不同,相位不同,所以产生了多径衰落(即快衰落)。

此外,接收信号除瞬时值出现快衰落之外,场强中值还会出现缓慢变化。这种变化主要是由地区位置的改变以及气象条件变化造成的,以致电波的折射传播随时间变化而变化,使多径传播到达固定接收点的信号的时延随之变化。这种由阴影效应和气象原因引起的信号变化,称为慢衰落。

在无线通信中,除了移动台的移动性,如前所说的那样,在无线信道中还会有“多普勒效应”。在无线通信中,当移动台移向基站时,频率变高;当远离基站时,频率变低。在无线通信中要充分考虑这种多普勒效应。虽然在日常生活中,移动台移动速度有一定的局限,不可能带来十分大的频率偏移,但是这不可否认地会给无线通信带来影响。为了避免这种影响,人们不得不在技术上加以各种考虑。由此也加大了无线通信的复杂性。

综上所述,无线信道包括了电波的多径传播、时延扩展、衰落特性以及多普勒效应,在无线通信中,要充分考虑这些特性并提出解决方案。

1.2 无线通信使用的频率和波段

无线通信初创时期使用的频率较低，频率范围较窄，波段主要限于长波和中波。随着科学技术的不断进步，逐步扩大了使用的频率范围。目前无线通信使用的频率从超长波波段到亚毫米波段（包括亚毫米波以下），直至光波。无线通信使用的电磁波的频率和波段如表 1-1 所示。

表 1-1 无线通信使用的电磁波的频率和波段

频段名称	频率范围	波段名称		波长范围
极低频 (ELF)	3~30Hz	极长波		100~10Mm ($10^8\sim10^7\text{m}$)
超低频 (SLF)	30~300Hz	超长波		10~1Mm ($10^7\sim10^6\text{m}$)
特低频 (ULF)	300~3 000Hz	特长波		1000~100km ($10^6\sim10^5\text{m}$)
甚低频 (VLF)	3~30kHz	甚长波		100~10km ($10^5\sim10^4\text{m}$)
低频 (LF)	30~300kHz	长波		10~1km ($10^4\sim10^3\text{m}$)
中频 (MF)	300~3 000kHz	中波		1000~100m ($10^3\sim10^2\text{m}$)
高频 (HF)	3~30MHz	短波		100~10m ($10^2\sim10\text{m}$)
甚高频 (VHF)	30~300MHz	超短波 (米波)		10~1m
特高频 (UHF)	300~3 000MHz	微波	0 分米波	1~0.1m ($1\sim10^{-1}\text{m}$)
超高频 (SHF)	3~30GHz		厘米波	10~1cm ($10^{-1}\sim10^{-2}\text{m}$)
极高频 (EHF)	30~300GHz		毫米波	10~1mm ($10^{-2}\sim10^{-3}\text{m}$)
至高频 (THF)	300~3 000GHz		亚毫米波	1~0.1mm ($10^{-3}\sim10^{-4}\text{m}$)
		光波		$3\times10^{-3}\sim3\times10^{-5}\text{mm}$ ($3\times10^{-6}\sim3\times10^{-8}\text{m}$)

一些欧美等西方国家常常把部分微波波段分为 L、S、C、X、Ku、K 和 Ka 等波段（或称为子波段）。无线通信使用的部分微波波段代号如表 1-2 所示。

表 1-2 无线通信使用的部分微波波段代号、频率范围和波长范围

波段代号	频率范围/GHz	波长范围/cm
L	1~2	30~15
S	2~4	15~7.5
C	4~8	7.5~3.75
X	8~13	3.75~2.31
Ku	13~18	2.31~1.67
K	18~28	1.67~1.07
Ka	28~40	1.07~0.75

1.3 无线通信系统的组成

无线通信系统一般由发信机、收信机及与其相连接的天线（含馈线）组成，其框图如图 1-1 所示。

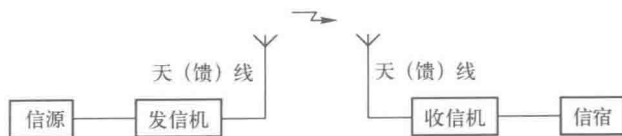


图 1-1 无线通信系统的组成框图

1.3.1 发信机

发信机的主要作用是，首先将所要传送的信号对载波信号进行调制，形成已调载波；再将已调载波信号进行变频（有的发射机不经过这一步骤）成为射频载波信号，送至功率放大器，经功率放大器放大后送至天（馈）线。一种短波发信机的组成框图如图 1-2 所示。



图 1-2 一种短波发信机的组成框图

1.3.2 天线

天线是无线通信系统的重要组成部分。其主要作用是把射频载波信号变成电磁波或者把电磁波变成射频载波信号。按照规范性的定义，“天线就是把导行模式的射频电流变成扩散模式的空间电磁波的传输模式转换器，及其逆变换的传输模式转换器”。馈线的主要作用是把发射机输出的射频载波信号高效地送至天线。因此，一方面要求馈线的衰耗要小；另一方面要求其输入阻抗应尽可能与发射机的输出阻抗匹配。

1.3.3 收信机

收信机的主要作用是，首先把天线接收下来的射频载波信号进行低噪声放大，然后经过变频（一次、两次甚至三次）、中频放大和解调后还原出原始信号，最后经低频放大器放大输出。一种短波收信机的组成框图如图 1-3 所示。这里需要说明的是，目前实用的无线通信系统大多数采用双工通信方式，即通信双方各自都有发信机、收信机以及与其相连的天（馈）线，而且将收、发信机制作在一起（且带有双工器）。



图 1-3 一种短波收信机的组成框图

1.4 无线通信的工作方式

无线通信的工作方式可分为单工通信、双工通信和半双工通信 3 种。

1.4.1 单工通信方式

单工通信方式就是通信双方中的一方只能接收信号，而另一方只能发送信号，不能互逆。收信方不能对发信方直接进行信息反馈。陆地无线通信系统中的无线寻呼系统（称为BP机）就采用这种工作方式，它只能收信而不能发信。

1.4.2 半双工通信方式

半双工通信就是指无线通信的双方只能交替地进行发信和收信，而不能同时进行发信和收信。半双工通信方式示意图如图 1-4 所示。

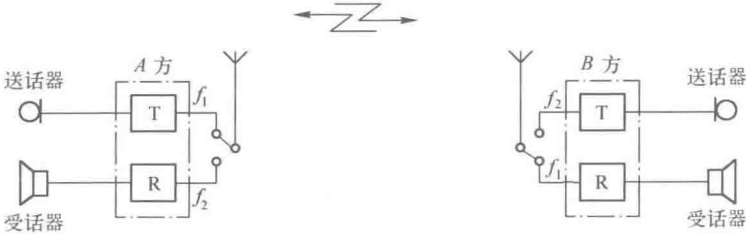


图 1-4 半双工通信方式示意图

1.4.3 双工通信方式（全双工通信方式）

双工通信就是指无线通信双方可同时进行发信和收信。收信与发信必须采用不同的工作频率，称为频分双工（FDD）。用户使用时与“打电话”时的情况一样。这时通信双方的设备一般通过双工器来完成这种功能。图 1-5 给出了双工通信方式示意图。

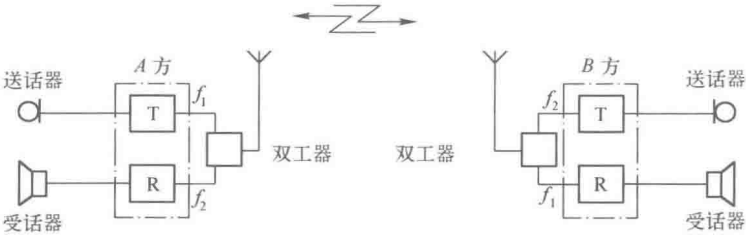


图 1-5 双工通信方式示意图

1.5 无线介质的特性

1.5.1 有线介质与无线介质的比较

有线介质提供了一种可靠的、定向的（guided）连接，它把携带信息的电信号从一个固定终端传输到另一个固定终端。有线连接的方式有多种，包括在高速 LAN 中使用的双绞线电话布线、在电视发送中使用的同轴电缆和在远程连接骨干网中使用的光缆。电线用做滤波器（filters），它因频带受限的频率特性而限制了信道的最大数据传输速率。信号通过电线时会产生一定程度的辐射，这会对附近的电波或其他电线传输产生干扰。这些特点在不同的有

线介质中是不同的。通常额外铺设电缆可以增加有线介质的数量，进而增加带宽。

与有线介质相比，无线介质是不可靠的，带宽低并且有广播特性。但是由于无线介质具有无束缚的特点，它可以被用在无线通信中。不同的信号通过有线介质，在物理层上看是通过不同的电线，而所有的无线传输都是共享同一种介质——空气。各种现有的无线网络是通过工作频率和接入频段的合法性加以区别的。无线网络的工作频率有：1GHz（蜂窝电话）、2 GHz（PCS 和 WLAN）、5 GHz（WLAN）、28~60 GHz[本地多点分布业务（LMDS）和点到点的基站连接]以及用于光通信的 IR 频率。在这些频段中，有的频段需要许可证，比如蜂窝移动电话、PCS；有的频段免许可证，比如 ISM 频段和 U-II（免许可证的国家信息基础结构）频段。随着工作频率和数据速率的增加，硬件实现的成本也相应增加，但无线信号穿透墙壁的能力却减弱了。随着时间的推移，无线网络在电子设备上的费用变得越来越不重要，而进入建筑物的穿透能力和区分需要许可证的频段和免许可证的频段变得十分重要。当频率为几十 GHz 时，信号可以穿过墙壁，这样在大楼内部只要使用最小的无线基础结构就可以实现室内通信。对于更高频率的信号，来自室外的无法进入建筑物之内，而产生于室内的却被限制在房间之内。这种现象强行限制了无线通信中对合适频率的选择。

对于有线介质有一种简单增加容量的方法，只要支付得起就可以在需要增容的地方铺设更多的线缆。而对于无线介质而言，可以得到的使用频段是受到限制的，我们无法获得新的频段，不能简单通过介质的重复使用来容纳更多的用户。因此，研究人员开发了一系列技术，用于在固定带宽下增加无线网络所支持的用户数量。与在有线网络中铺设新线缆相比，最简单的方法是使用蜂窝体系结构，当两个小区之间达到适当的距离时，可在这两个小区中使用相同的工作频率。此外，为了增加蜂窝网络的容量，可以减小小区的大小。在有线网络中，增加一条线路就可以增加一倍用户数量，但付出的代价是要增加一倍于终端的连接；而在无线网络中，只要小区的大小减小一半，就可以增加一倍的用户数量，但减小的尺寸会增加小区互连基础结构的成本和复杂性。

1.5.2 电波传播机制

在无线通信过程中，接收点接收到的信号一般是直射波、反射波和地表面波的合成波。但是地表面波随着频率的升高，衰减增大，传播距离有限，所以分析无线通信信道时，主要考虑直射波和反射波的影响。图 1-6 示出了典型无线信道电波的传播路径。

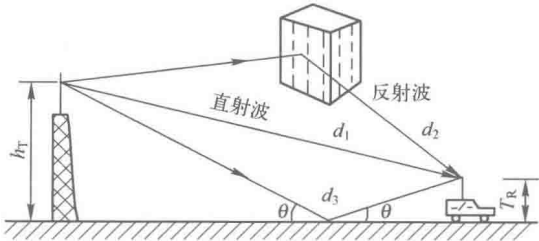


图 1-6 典型无线信道电波的传播路径

1. 直射波

直射波可以按自由空间传播来考虑，电波在自由空间经过一段距离的传播之后，辐射能量的扩散会引起衰落。式（1-1）示出了无方向性天线接收场强的有效值与辐射功率和距离

的关系，即

$$E_0 = \frac{\sqrt{30P_T}}{d} \quad (1-1)$$

式中， P_T 为辐射功率，单位为瓦（W）； E_0 为距离辐射天线 d （单位为 m）处的场强。若考虑到收发信机天线的增益 G_R 和 G_T ，则距离发射天线 d 处的电场强度为

$$E_0 = \frac{\sqrt{30P_T G_T}}{d} \quad (1-2)$$

此时接收天线上的功率为

$$P_R = P_T \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_T G_R \quad (1-3)$$

式中， λ 为电磁波的波长。

电波在自由空间的传播损耗 L_{fs} 定义为

$$L_{fs} = \frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{1}{G_T G_R} \quad (1-4)$$

在自由空间中，一般可将收发天线看做为两个理想的点源天线，故增益系数 $G_R = 1$ ， $G_T = 1$ 。工程上对传播损耗常以分贝（dB）表示，即

$$L_{fs} = 20 \lg \frac{4\pi d}{\lambda} \quad (1-5)$$

故电波在自由空间的传播损耗为

$$L_{fs} = 32.45 + 20 \lg d + 20 \lg f \quad (1-6)$$

式中， d 的单位为 km； f 的单位为 MHz。

直射波传播的最大距离由收、发天线的高度和地球的曲面半径以及大气折射影响共同决定。图 1-7 示出了视线传播的极限距离。

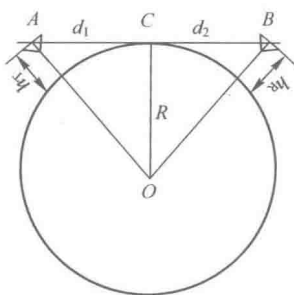


图 1-7 视线传播的极限距离

设收、发信机的天线高度分别为 h_R 和 h_T ，从几何关系上可求出发射天线 A 点到切点 C 的距离为

$$d_1 = [(R + h_T)^2 - R^2]^{\frac{1}{2}} = [(2R + h_T)h_T]^{\frac{1}{2}} \approx \sqrt{2Rh_T}$$

同样可求出从 C 点到接收天线 B 点的距离为

$$d_2 \approx \sqrt{2Rh_R}$$

所以视线传播的极限距离为

$$d = d_1 + d_2 \approx \sqrt{2R}(\sqrt{h_R} + \sqrt{h_T}) \tag{1-7}$$

将 $R=6370\text{km}$ 代入式 (1-7) 中, 令 h_R 和 h_T 的单位为 m , 则有

$$d = d_1 + d_2 \approx 3.57(\sqrt{h_R} + \sqrt{h_T}) \tag{1-8}$$

式中, d 的单位为 km 。

实际上, 电波在传播过程中会受到空气不均匀性的影响, 应将直射波传播所能到达的视线距离加以修正。在标准大气折射情况下, $R=8500\text{km}$, 则有

$$d = 4.12(\sqrt{h_R} + \sqrt{h_T}) \tag{1-9}$$

由上式可见, 视线传播的极限距离取决于收、发天线架设的高度, 故在系统设置中, 应尽量利用地形、地物把天线适当架高。

2. 绕射损耗

在无线通信中, 实际情况是很复杂的, 很难对各种地形引起的电波损耗做出准确的定量计算, 只能进行一些定性的分析。在实际情况下, 除了考虑电波在自由空间中的传播损耗之外, 还应考虑各种障碍物对电波传播所引起的损耗, 通常把这种损耗称为绕射损耗。

设障碍物与发射点、接收点的相对位置如图 1-8 所示。图中 x 表示障碍物顶点 P 至直线 $T \sim R$ 之间的垂直距离。在传播理论中, x 称为费涅尔余隙。

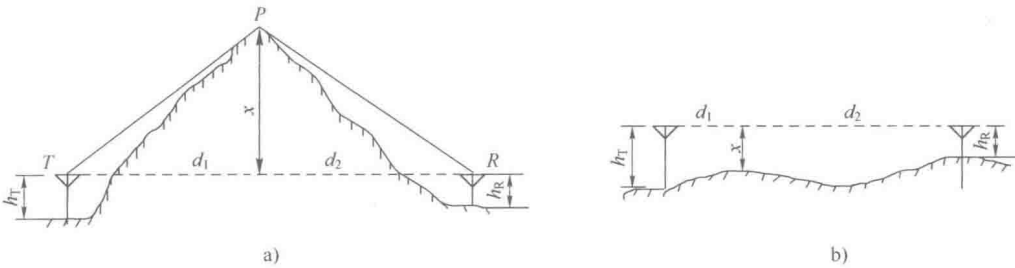


图 1-8 障碍物与发射点、接收点的相对位置
a) 负费涅尔余隙 b) 正费涅尔余隙

根据费涅尔绕射理论, 可得到障碍物引起的绕射损耗与费涅尔余隙之间的关系如图 1-9 所示。

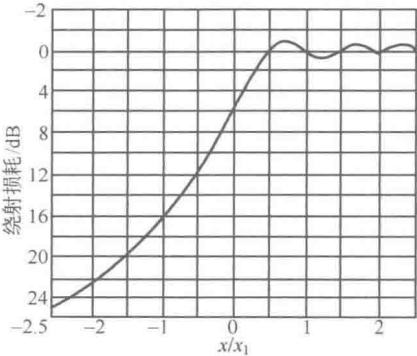


图 1-9 绕射损耗与费涅尔余隙之间的关系