

The Essential Guide to RF and Wireless (Second Edition)

射频和无线技术入门 (第2版)

Carl J. Weisman 著

刘志华 徐红艳 李萍 译

冯玉珉 审

- * 概念、技术、器件和系统等，介绍无线通信系统的基本知识和关键技术
- * CDMA、GPS、宽带固定无线、无线因特网、蓝牙和智能天线等，帮助您理解最新无线通信技术革命
- * 极适合市场人员、投资商、技术作家、PR专家及其他非技术工程师



清华大学出版社

射频和无线技术入门 (第2版)

Carl J. Weisman 著

刘志华 徐红艳 李萍 译

冯玉琨 审

清华大学出版社

北京

Simplified Chinese edition copyright © 2004 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS.

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: The Essential Guide to RF and Wireless, Second Edition by Carl J. Weisman, Copyright © 2002, 2000 by Prentice Hall PTR

EISBN: 0-13-035465-1

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall PTR.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macao).

本书中文简体翻译版由 Pearson Education 授权给清华大学出版社在中国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区)出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2002-3017

版权所有,翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

本书封面贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

射频和无线技术入门(第2版)/韦斯曼(Weisman, C. J.)著;刘志华等译. —北京:清华大学出版社,2005.6

书名原文: The Essential Guide to RF and Wireless (Second Edition)

ISBN 7-302-10657-6

I. 射… II. ①韦… ②刘… III. ①射频接转—通信技术 ②无线电通信—通信技术 IV. TN92

中国版本图书馆(CIP)数据核字(2005)第 020108 号

出版者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机: 010-62770175

地址: 北京清华大学学研大厦

邮编: 100084

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 刘彤

印刷者: 北京四季青印刷厂

装订者: 三河市春园印刷有限公司

发行者: 新华书店总店北京发行所

开本: 185×230 印张: 13.75 字数: 295千字

版次: 2005年6月第1版 2005年6月第1次印刷

书号: ISBN 7-302-10657-6/TN·239

印数: 1~3000

定价: 25.00元

译者序

近几年来,无线通信系统在世界范围内得到了迅速发展,并不断有新技术出现,主要在于射频硬件处理技术的不断发展。从第1代模拟蜂窝移动通信,到当前普遍使用的第2代数字蜂窝移动通信,再到以宽带、多媒体业务为标志的第3代移动通信,无论从用户数量、业务范围,还是从服务质量上都得到了长足的发展。迄今,我国移动用户已超过3亿,并与固话普及率并驾齐驱。

作为这方面的基础知识,Carl J. Weisman 以其多年的工作经验,用幽默诙谐的语言、简洁明了的篇幅书写了“The Essential Guide to RF and Wireless”(射频和无线技术入门)。本书简明地对无线通信中的基本概念、主要射频器件做了全面的介绍,并以数字移动电话为例,详细介绍了无线通信系统中的基本常识。

本书对基本射频硬件及无线通信系统从概念到工作原理上都有较为详细的介绍,并系统而具体地介绍了无线通信系统发展过程中所出现的关键技术及系统,如广播、雷达、点到点微波以及移动电话系统等;对无线通信中较新领域的关键技术也进行了简单介绍,如宽带固定无线通信、无线网络、移动 Internet 等。

由于本书内容以理解射频硬件和无线系统主要概念为主,因此,本书适合射频和无线通信初学者阅读,也可作为在射频和无线通信领域工作人员的自学参考书。

本书由通信专业高级工程师刘志华和优秀的研究生李萍、徐红艳女士翻译。本书中的电气图形符号保留了原书的形式。由于译者水平有限,难免会出现一些不妥,甚至错误,敬请通信界同仁和读者批评指正。

冯玉珉

2004年7月于北京

前 言

自从我写了第1版《射频和无线技术入门》以后,射频(RF)和无线领域发生了很多变化。实际上,很多技术已经出现很长时间了,只是在近两年才得到广泛应用。不可否认,我们的生活将随着正在经历的无线技术革命而发生变化。

这本书是为那些想了解这项神秘技术的实际工作情况,但没有好运气获得工程学学位的人而写。自始至终,本书最重要的目的是要简化射频电子学和无线技术,因此应用了类比、比喻和少量数学写作手法。为进一步解释内容,还包括很多图形和数字。不同于其他通信技术类的图书,本书语言清晰、明快、幽默诙谐。依我看来,一本有关RF的介绍性的书无论多么正确或有内涵,如果冗长而枯燥,通常读者连第1章也没兴趣读完。

《射频和无线技术入门》尽量用简单方法解释概念,在其指导下,本书想达到两个主要目标:提供射频器件和无线系统的概念理解,并给出行业中的主要术语。若事先没学习术语,很难理解像无线通信这么复杂的内容。

《射频和无线技术入门》主要面向那些对射频知识没有什么基础,但又需要或者很想了解的非技术人员。对于工作在RF领域的工程师,有很多是这个领域的非技术人员,他们从理解和交流RF中得到益处。他们包括非技术经理、销售主管、调度专家、制造商代表、销售人员、市场和通信人员、广告代理商、零售摊人员、招聘人员、金融分析人员和技术专家等。本书第1版在投资银行家和风险资本家中很畅销。

可以有三种方法使用本书。第一,将本书通读一遍,每一章都是以前一章为基础写的,并以基本概念和术语开头,以各种无线系统类型结尾。第二,若读者想快速掌握单个名词和概念,可只阅读部分内容。在不同章节中对有些名词进行了重复解释,比单个章节的描述更便于理解。第三,本书可作为参考书目。其中很多表、术语、附录都能使读者快速掌握无线行业中的术语、缩写和规范。

不论读者如何使用本书,如果是初次接触射频,建议读者先阅读第1部分的全部内容(第1、2章),它为本书其余部分奠定了概念基础。

第2部分(第3~5章)主要面向工作在射频和无线行业的人员,详细介绍了射频系统的基本技术。解释了所有用于制造射频硬件的重要功能模块,以及制造它们的不同方法。同时还讲述了关于调制的引人入胜的话题,这是进入无线世界的预备知识。

在第2版中,第2部分增加的新内容,包括智能天线和超导滤波器。第2版增加的其他新器件是移相器和相位检测器(和它们在相位调制中的角色)。同时相应地加入了相位调制的扩展讨论和形象描述。同时第2版新增加了一些当今使用的更新型半导体材料。

最后,第3部分(包括第6~8章)内容很有趣。这部分给读者几种无线系统一个总的看

法。第6章讨论一些已经出现一段时间的无线系统。这些系统中的大多数读者已经很熟悉,但很可能不了解它们的工作原理,新版的第6章包括GPS的扩展讨论及对卫星因特网传送的介绍。

第2版对第7章进行了重新修订,专门讨论移动电话。讨论了世界范围内选择的不同移动电话系统及它们的工作原理,并给出一般数字蜂窝电话框图。由于对未来移动电话很重要,第7章还专门用一节讨论了CDMA的工作过程。第7章还对未来移动电话进行了讨论。

第8章是第2版新增部分,讨论所有这些无线技术、系统和应用(它们在出版第1版时就已经出现了),包括宽带固定无线、无线互联和移动因特网接入的发展。还讨论了一些前沿无线技术、无线安全和健康问题。

感谢所有对第1版反馈信息的人,并希望得到更多补充性反馈内容,尤其希望得到一些批评性建议来改进第2版内容。

如果你愿意给本版反馈信息,请用电子邮件联系我: cjweisman@yahoo.com

目 录

第 1 部分 基本原理

第 1 章 基本概念	1
1.1 简介	1
1.2 词汇	2
1.2.1 词头	2
1.2.2 基本电子术语	2
1.3 射频基础	3
1.3.1 发射机和接收机	3
1.3.2 信号	4
第 2 章 射频行为	8
2.1 损耗和增益	8
2.1.1 器件	8
2.1.2 衰减	8
2.1.3 插入损耗	9
2.2 分贝	10
2.2.1 定义	10
2.2.2 分贝数学表达	10
2.3 带宽	12
2.4 宽带和窄带	13
2.5 环境中的射频	13
2.6 匹配	15
2.6.1 匹配的概念	15
2.6.2 不良匹配的结果	17

第 2 部分 射频硬件

第 3 章 基本系统器件	19
3.1 方框图	19

3.2	天线	20
3.2.1	方框图	20
3.2.2	天线特性	21
3.2.3	天线如何工作	23
3.2.4	天线性能	23
3.2.5	极化	25
3.2.6	天线维数	25
3.2.7	智能天线	26
3.3	放大器	27
3.3.1	方框图	27
3.3.2	放大器的基本属性	27
3.3.3	放大器如何工作	30
3.3.4	特殊放大器	31
3.4	滤波器	32
3.4.1	方框图	32
3.4.2	滤波器的功能	33
3.4.3	滤波器的类型	33
3.4.4	滤波器的性能	34
3.4.5	特殊滤波器	35
3.5	混频器	37
3.5.1	方框图	37
3.5.2	混频器的功能	37
3.5.3	混频器如何工作	38
3.5.4	混频器的配置	39
3.6	信源	40
3.6.1	方框图	40
3.6.2	振荡器如何工作	40
3.6.3	不同类型的振荡器	41
3.6.4	特殊振荡器——压控振荡器	42
3.6.5	合成器	43
3.7	快速回顾	43
3.7.1	发射机和接收机方框图	43
3.7.2	回顾	44

第 4 章 其他器件	46
4.1 开关	46
4.1.1 方框图	46
4.1.2 开关的功能和性能	47
4.1.3 开关的类型	47
4.1.4 系统应用	49
4.2 衰减器	50
4.2.1 方框图	50
4.2.2 衰减器的功能	50
4.2.3 衰减器的类型	50
4.3 分配器和组合器	53
4.3.1 方框图	53
4.3.2 分配器和组合器的功能	53
4.3.3 系统应用	54
4.4 耦合器	54
4.4.1 方框图	54
4.4.2 耦合器如何工作	54
4.4.3 耦合器的类型	55
4.5 循环器和隔离器	56
4.5.1 方框图	56
4.5.2 循环器如何工作	56
4.5.3 系统应用	57
4.5.4 隔离器	57
4.6 变换器	58
4.6.1 方框图	58
4.6.2 变换器的功能	59
4.7 检测器	60
4.7.1 方框图	60
4.7.2 检测器的功能	60
4.8 移相器	60
4.8.1 方框图	60
4.8.2 移相器的功能	61
4.9 相位检测器	62

4.10 器件回顾	62
第5章 电路和信号	63
5.1 半导体	63
5.1.1 材料和器件	63
5.1.2 二极管	65
5.1.3 晶体管	65
5.1.4 集成电路(MMIC)	67
5.2 电路技术	68
5.2.1 集总和分散电路	68
5.2.2 分立、混合和 MMIC 电路选择	69
5.2.3 组件	72
5.2.4 空穴	72
5.3 调制	73
5.3.1 调制的概念	73
5.3.2 调制的类型	73
5.3.3 调制器和解调器	78
5.4 传播	79
5.4.1 电缆	80
5.4.2 连接器	81
5.4.3 波导	84
5.4.4 电路迹线	84

第3部分 射频系统

第6章 传统技术	86
6.1 广播	87
6.1.1 广播的概念	87
6.1.2 频率的角色	88
6.1.3 调谐	90
6.1.4 电视传输	91
6.2 雷达	93
6.2.1 雷达的概念	93
6.2.2 雷达如何工作	95
6.2.3 各种雷达系统	97
6.3 卫星通信	99

6.3.1	为什么使用卫星	99
6.3.2	卫星如何工作	100
6.3.3	卫星系统	105
6.3.4	一种特殊的卫星系统——GPS	107
6.3.5	下一代卫星——LEO	110
6.3.6	互联网构建	112
6.4	点到点微波	115
6.4.1	点到点微波概念	115
6.4.2	点到点操作	116
第7章	移动电话	119
7.1	世界的选择	119
7.1.1	区别	119
7.1.2	世界范围的系统	120
7.2	蜂窝的概念	121
7.2.1	拓扑	121
7.2.2	基础结构	122
7.2.3	移动	123
7.2.4	增容	124
7.3	根本技术	125
7.3.1	频率复用	125
7.3.2	空中接口	127
7.3.3	蜂窝电话方框图	129
7.4	CDMA	131
7.4.1	扩频	131
7.4.2	信道	136
7.5	蜂窝发展	136
7.5.1	发展历程	136
7.5.2	通向 3G 的道路	138
第8章	无线新领域	142
8.1	宽带固定无线	143
8.1.1	无线本地环	143
8.1.2	空间链路传输技术	148
8.2	无线网络	151

8.2.1	局域网	151
8.2.2	个人局域网	155
8.2.3	家用网络	157
8.3	移动 Internet	159
8.3.1	技术	160
8.3.2	移动商务	161
8.4	前沿	162
8.4.1	技术展望	162
8.4.2	安全问题	166
8.4.3	关注健康	168
附录 A	术语表	170
附录 B	缩写词	189
附录 C	规范	202
参考书目		204
关于作者		205

第 1 部分 基本原理

第 1 章 基本概念

本章将介绍学习射频所需要了解的最基本词汇和概念。在学习读写之前,读者要先学习 ABC,本章就是学习射频的 ABC。这里可能会看到曾经在学校里学习过的一些术语,同时将会了解到一些不只与射频相关,而且在所有电子领域中使用的词,如瓦特、电路、赫兹等。当然,我们会透彻地解析射频的含义。

本章介绍的一个重要概念是方框图,它是射频硬件组成的图形描述。本章介绍了描述所有无线系统中的两个基本功能模块:发射机和接收机;同时讨论了电能量存在的两种模式,即两种类型的电信号:数字信号和模拟信号。

频率是理解射频的最重要的概念,在此也作了详细解释。最后,本章还突出了无线通信中的一个独特之处,即无线通信是两个不同形式电信号的结合:一个是存储信息,一个是承载信息。

1.1 简介

警告! 本书是非常复杂问题的一个超简化版本。阅读完本书,读者不会设计射频电路……也不应该会。但是,读者应该能够在行地谈论射频和无线概念,理解业内人士的行话,并能够很形象地了解正在发生的事情。

阅读本书的动力就是简单,也就是说,可以很容易地理解内在的量化概念。本书也采用很多比喻和类比手法来帮助读者理解概念,如果要在简单化和精确事实之间作个选择的话,本书宁愿选择简单化。这就如吃比萨一样,根本不必知道如何种西红柿;读者想了解射频,同样也没有必要非知道麦克斯韦方程式不可。

本书是为那些在射频和无线领域或相关行业工作的、没有获得技术学位的人士而写,读者不需要懂得电子、射频或任何其他神秘科学。为了努力达到该目的,整本书里,只在这里介绍一个公式,希望读者记住,即

$$B=M$$

这个等式的意思是,此书卖得越多,我赚的钱就越多。也就是说,读者可以尽管放松。

本书中“射频”和“无线”两个词交替使用,目的就是为了不显得太单一。无线主要是一个市场术语,用来描述一个新的射频应用子集,同时该应用还包括像蜂窝电话和寻呼等。本书经常用蜂窝电话来举例,帮助读者理解发生的事情。

有两件事情注意。第一,本书使用方框图来描述射频系统,如果还有其他方式,我也会选择;不幸的是,这是最简单的描述方法。方框图由直线连接特殊符号来系统地构成。某种意义上,方框图就像是一门外语,射频工程师们用它来交流在射频领域内所发生的事情。当读者阅读本书的时候,会理解基本的方框图。

第二,本书力求达到的另一个特点就是生动有趣。

1.2 词汇

在真正开始阅读本书之前,有必要熟悉几个术语。第一个也是最为重要的就是 RF。RF 的字面意思是射频,不过,该词更常用于名词和形容词形式,例如射频(名词)或者射频信号(形容词)。射频也可以表示频率范围,后面还有更多描述。本书很快就会告诉读者,最好把射频认为是运动的电信号。

1.2.1 词头

接下来要知道的是 10 的多次幂的词头表示法,只有 4 种结果,如表 1-1 所示。

表 1-1 射频中有用的词头

词头	含义	举例	解释
m(毫)	10^{-3}	5mW	0.005W
k(千)	10^3	3kg	3 000g
M(兆)	10^6	2MHz	2 000 000Hz
G(吉)	10^9	100G\$	比尔·盖茨的净资产

1.2.2 基本电子术语

表 1-1 引入了您需要了解的另外一个词:瓦特(W)。瓦特是功率测量单位。如果读者不知道瓦特是什么,就想像一下摸着一个发烫的电灯泡。和功率相关的是能量(J),即功率乘以时间。如果 100W 的灯泡点 2 个小时,就等于 200W·h 能量。如果要想像一下能量是什么,就想像摸了两小时发烫的电灯泡。但请注意,在奇特的射频世界里,功率和能量两个词经常替换使用。

与功率和能量密切相关的两个词是电压和电流。电压就是一种电能势,它分两种:AC(交流)电压是墙上插座提供的电压类型;DC(直流)电压是电池所提供的电压类型。电流仅仅是电子的移动。与电压一样,电流也可以是交流或者直流。电压、电流和功率之间确切的关系很简单:电压乘以电流等于功率。

与电流、电压相关并经常使用的一个重要的词就是电路。电路就是电材料之间的互连,电路有时被加工在印刷电路板(PCB)上。如果读者曾经看过计算机、录像机或其他电子仪器的内部结构,就会看到PCB。其实它就是一块布满电子材料的硬而薄的塑料板。

偶尔还会见到的一个词是微波。它经常和射频混用,但更常见于描述频率范围。毫米波也常用于描述频率范围。

现在读者可能已经感觉到频率一词在射频世界里的重要性,这个词将在后面详细描述,但它的重要怎么强调都不为过。如果读者打算彻底了解射频,就一定要了解频率这个词。如果已经理解了频率是什么,那么你就成功了。如果你认为频率就是某事重复发生的程度,你是对的,接着往下看吧。

下面将用蜂窝电话来解释射频如何工作,因此还要熟悉一个词——基站。蜂窝基站由那些路边的蓝色或灰色的钢塔构成,它属于蜂窝运营商,用于蜂窝电话间的通信。

在射频世界里,所有术语都最终被它的缩写词代替,在解释了概念,并将缩写词标注在括号中以后,本书将交替使用这些概念和缩写词。这样就不需要阅读几百页的大部头了。但是不用担心,附录B提供了这些缩写词的说明,从而帮助读者理解。

1.3 射频基础

1.3.1 发射机和接收机

电能量以如下两种方式中的一种从一个地方转移到另一个地方,它或者像电流沿着导体流动(电子束沿着金属线移动),或者在空气中以不可见波传播。在一个典型的无线系统里,电能量开始时为电流沿导体流动,接着转为空气中传播的波,然后又转回电流沿导体流动(见图1-1)。



图 1-1 通用无线系统方框图

在图 1-1 中,电信号随电流在导体中移动(从左开始),进入标注为“T”的盒子内。盒子 T 就是发射机,它将电子电流转换成空气中的波。波以光速传播,再到达标注为“R”的盒子。盒子 R 就是接收机,它将波再转换成电子电流。

你知道吗?

有时射频工程师将发射机和接收机结合成一个功能单元,现在读者能想像到这个独特的产物叫什么吗?收发机。

1.3.2 信号

1. 模拟信号

如果使电能强度(电流或波)随时间而变化就可以存储信息。当电能量以受控方式随时间变化时就称为信号。信号可分为两类:模拟和数字。读者如果学习过中学的三角学,可能还记得正弦波。冒着可能会激起你可怕回忆(不幸遗忘了)的风险,图 1-2 还是描述了一下正弦波。正弦波当从 A 点增长到 B 点达到最大值,在 C 点返回 0,接着在 D 点达到最小值,在 E 点又返回到 0 值。如此周而复始持续下去。

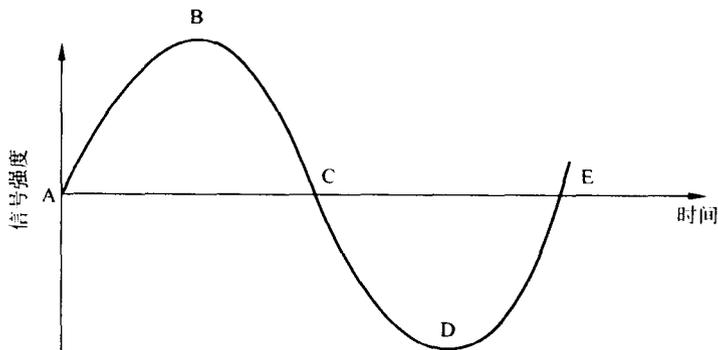


图 1-2 一个正弦波

正弦波是模拟信号的一个例子。不论是电流沿导线流动还是波在空气中传播,一个正弦信号强度的变化就是图 1-2 中所描述的那样。在射频世界里,信号强度通常都是以功率(W)来衡量。信号在 1 秒内完成一个完整正弦波(从 A 到 E)的次数就是信号的频率(以赫兹为单位,符号为 Hz)。如果读者觉得很难理解赫兹,那么每次听到赫兹一词就用“每秒周期数”替代。为理解这些信号上下振荡是多么快,举个例子,例如蜂窝电话中使用 900MHz 信号,也就是说在 1 秒内信号上下振荡了 9 亿次。以今天的标准来看,它还不算是一个非常高的频率。

2. 频率

正如前面所提及的,频率概念是理解射频的关键。因为射频所涉及到的事物都是与频率相关的,可以完全依据信号的不同频率将不同信号区别开。根据频率,可以将一个射频信号和另一个射频信号隔离,也可以区分不同的无线应用,表 1-2 包含了不同频率的电子和无线活动。读者可能还不全知道它们是什么,但从中可以观察出两件事情。首先,注意到其中包含了多少种和频率相关的应用——这只是一小部分例子。第二,请注意表的结构,并要意识到所有频率数量级的变化。

表 1-2 各种活动的频率

频率/Hz	应 用
60	电源插座
2 000	人的噪音
530 000	调幅广播
54 000 000	电视频道 2 (VHF)
88 000 000	调频广播
746 000 000	电视频道 60 (UHF)
824 000 000	蜂窝电话
1 850 000 000	PCS 电话
2 400 000 000	无线局域网
2 500 000 000	MMDS
4 200 000 000	大碟形卫星天线
9 000 000 000	机载雷达
11 700 000 000	小碟形卫星天线
28 000 000 000	LMDS
500 000 000 000 000	可见光
1 000 000 000 000 000 000	X-Files

表 1-3 用频率来表示前面介绍的一些术语的数量范围,虽不属于严格定义,但可以作为大致参考。

很显然,仅以一个数字来描述信号频率太简单了,所以早期的射频工程师决定使用字母来描述一定范围的频率,并称之为波段。更糟糕的是,当人们记住了这些波段后,技术又向

表 1-3 部分频率范围定义

术 语	频率范围/GHz
射频频率	<1
微波频率	1~40
毫米波频率	>40

前发展,把这些彻底改变了。纯粹为了娱乐,在表 1-4 中给出了过去较为流行的波段定义。现在如果有人说卫星工作在“C-波段”,那么读者至少要明白它的信号频率范围是什么。

因此一个 3GHz 信号,可以称为 3GHz 信号、微波信号或者 S-波段信号。

表 1-4 部分频率波段(频带)的定义

波 段	频率范围/GHz
L-波段	1.0~2.0
S-波段	2.0~4.0
C-波段	4.0~8.0
X-波段	8.0~12.0
Ku-波段	12.0~18.0

你知道吗?

大约在 1889 年,一个名叫 Heinrich Hertz 的德国物理学家在他的实验室成功地产生了第一个空气传播的射频波。为了纪念他,射频工程师们将他的名字作为频率单位。我们实在很幸运,第一个产生射频波的人不叫 Heinrich Schmellingstonberger。

3. 数字信号

另一类电信号是数字信号,就是和计算机中使用的信号一样。不像模拟正弦波信号,模拟信号在它的高点和低点之间逐渐改变,数字信号是在两个值之间瞬间变化。实际应用中,数字信号在两个高、低电平之间没有其他值。如图 1-3 中所描述的就是数字信号,注意其中只有两个信号电平:高和 low。数字信号可以以这种高和低的模式来描述信息,例如,一定模式的高和 low 电平可以表示蜂窝电话上的声音。

数字信号是用来表示信息的,而不用来承载空气中传播的信息。只有模拟信号(正弦波)可以“在它们的背上”承载信息。这些模拟载波信号可以承载模拟或数字的信息信号。将信息信号承载到载波信号上的过程称为调制,后面将会讨论。信息信号和载波信号结合的结果就是无线通信,做承载工作的模拟信号称为射频或载波。举例来说,第一代移动电话就是一个模拟无线通信应用,第二代移动电话——个人通信服务(PCS)就是一个数字无线通信应用,它们都使用射频来承载不同格式的信息。

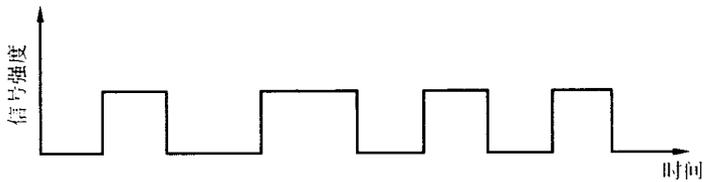


图 1-3 一个数字信号

你知道吗?

当发射机连续工作时,不断地发出射频信号,这个射频信号就叫做连续波射频信号。后面将学到,有的无线应用中发射机不停地快速开和关,这样发出的射频波是不连续的。读者可能想当然地会认为这种射频信号该称为“断续”波射频信号,实际上不是。射频工程师称这种射频信号为脉冲射频信号。

读者可能很想知道哪一种通信方式更好——是模拟还是数字无线通信?简单地说,要视情况而定,因为它们各有优缺点。但有两点是一定的。第一,数字无线通信是一种更新的技术,大多数老的无线系统都是模拟的。第二,数字无线通信可以无缝地和其他数字应用系统进行互操作,如计算机。基于这个原因,可以肯定地认为很多将要出现的新的无线通信系统将是数字的。

第2章 射频行为

本章描述射频能量的行为,它或者是电路中的一个信号或者是空气中的波。影响射频能量的两个基本概念是:损耗和增益。射频能量在传播过程中会发生变化:变大、变小或失真。有时这些变化是有意产生的,有时只是射频世界中多余的东西。

这里还会了解到如何将频率概念拓宽来描述射频领域里的一个非常重要的参数:带宽。任何射频事物的性能都与它的带宽有关。带宽还可以用来定义一个射频应用的边界。所有的无线应用都受限于预定义的频率边界。在美国,这些边界由通信委员会(FCC)来决定,委员会不仅有权选择每个带宽的精确频率和应用,而且有责任强制执行,以确保不会发生滥用频率或者发射非法射频信号的行为。

本章中,吸收和反射概念是用来描述当射频波遇到实心物体时所发生的行为。这种行为对一些应用系统可能产生有害影响,而有些应用却要依赖于此行为。

最后,本章将介绍一个有趣的术语——匹配,以及它的两种度量方法——VSWR 和回波损耗。

2.1 损耗和增益

2.1.1 器件

电信号以电流形式存在于发射机或接收机中,它沿着某些导体流动,在此过程中,会遇到很多不同的叫做器件或元件的物体。表面上,有数百种不同元器件存在,但所有元器件都可归为有源的和无源的两类。区别很简单,需要供电装置才能正常工作的叫有源器件,反之叫无源器件。

所有器件(有源和无源)都或者显示损耗特性,或者显示增益特性。如果出来的信号大于进去的信号,表明该器件有增益,这样的器件叫做放大器。所有放大器都是有源器件(即它们都需要电源)。如若不相信,把你手机里的电池取出来再打个电话试试,在手机里,电池就和若干个放大器连接着。

2.1.2 衰减

如果出来的信号小于进去的信号,表明该器件有损耗。任何信号通过一个器件表现出

损耗现象时可称为经历衰减或被衰减。

有很多具有损耗的器件，一些是无源的，一些是有源的。读者可能想知道（也可能不想），当一个大的射频信号进去，变成一个小的射频信号出来，那么剩下的那部分没出来的信号呢？它转变成了热能。表现出损耗现象的器件将变暖，损耗越多，就越热，甚至熔化。这就是为什么无源器件中对功率的处理能力是非常重要的。

图 2-1 是一个增益和损耗的图示。左边信号通过一个有源器件后经历增益，信号（正弦波表示）被放大。如果信号变大，这个器件叫什么？给你一个提示，字母“a”开始，以“mplifier”结束（放大器）。右边信号经历损耗，输出信号比输入信号小。如果信号变小，这个设备叫什么？后面还会讨论它。

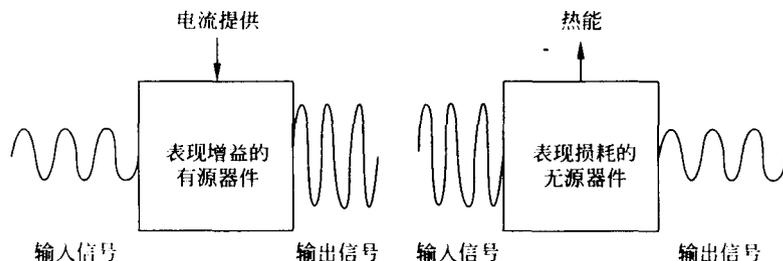


图 2-1 表现增益和损耗的器件

如果放大器输出的信号是输入信号的 10 倍，则该放大器的增益为 10。如果有两个这样的放大器串接，增益结果将是 100（而不是 20）。即信号放大 10 倍后，再放大 10 倍，最后的信号将是原始信号的 100 倍。这是简单的乘法（见图 2-2）。

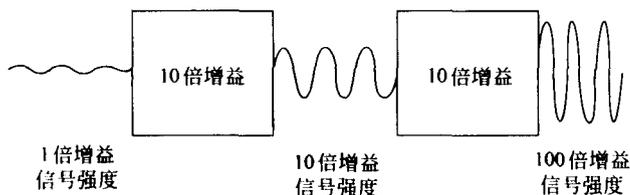


图 2-2 多级增益的结果

2.1.3 插入损耗

无源器件表现出和有源器件正好相反的行为。如果从一个无源器件出来的信号是进入信号的 $1/100$ ，那么该器件的损耗为 100，将输入信号除以 100 得到输出信号的幅度。如果输入信号为 100W，经历损耗为 100，输出信号将为 1W。射频工程师称信号通过一个无源器件所经历的损耗为插入损耗。

你知道吗?

由于它们的散热特性,大多数无源射频器件被列为热阻抗。一个器件的热阻抗仅仅是,在给定输入功率后,所能产生多少热量的度量。热阻抗的度量单位是摄氏度每瓦($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)。

2.2 分贝

2.2.1 定义

如果没有出现数学家,那么故事发展到这儿,你将是损耗和增益方面的专家了。不幸的是,发射机所发射的信号可能会是到达接收机信号的十亿倍,乘或除这么大的一个数字是很难把握的。所以数学家提出了一个用小数表示大数字的方法,使用加法和减法来代替乘法和除法。他们把这称为对数(或者,就像有些人亲切地称它们为那些代数里没人能理解的讨厌的小东西)。在惊慌地要丢掉本书之前,请相信我,对数真的很简单。

在射频当中,只需要知道有关对数的两样东西。其一,对数是两个值的比值;其二,该比值的单位为分贝(就像某些家伙的姓 Bel 一样)。分贝也常写成 dB。如果你们当中有受虐倾向,就请记住下面 dB 的定义吧:

$$10 \times \lg(\text{输出功率}/\text{输入功率})$$

2.2.2 分贝数学表达

正如上面所提及的,如果放大器的输出信号是输入信号的 100 倍,那么该放大器的增益为 100。或者使用上面介绍的公式,这个放大器的增益为 20dB。在你转身要去寻找中学时代的计算器之前,让我简单地告诉你,只需要两种 dB 转换。记住:

+3dB 指的是两倍大(乘以 2)

+10dB 指的是 10 倍大(乘以 10)

这里还有两个结论(还记得几何学吗?)必须知道。第一,如果数字变小,dB 值将是负值:

-3dB 指的是减小到 1/2 (除以 2)

-10dB 指的是减小到 1/10 (除以 10)

第二,dB 只能进行加或减,不能乘或除。这样,就已完全掌握必须要了解的对数和分贝了。现在给一个简单的例子,见例 2-1。

例 2-1 简单的分贝转换。

如果信号经历的增益为4 000(变大4 000倍),那么增益为多少dB?

最好将4 000分成如下的最小因数:

$$4\,000 = 10 \times 10 \times 10 \times 2 \times 2$$

现在可以将这些因数替换成简单的dB加法(根据已经知道的两个值)。

$$4\,000 = 10\text{dB} + 10\text{dB} + 10\text{dB} + 3\text{dB} + 3\text{dB} = 36\text{dB}$$

4 000增益等效于36dB增益。如果4 000增益变成4 000损耗又会是什么结果呢?这很简单。4 000损耗相当于-36dB。如果是5 000增益呢?如何利用已经知道的两个值呢?请发挥创造力。

$$5\,000 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \div 2$$

$$5\,000 = 10\text{dB} + 10\text{dB} + 10\text{dB} + 10\text{dB} - 3\text{dB} = 37\text{dB}$$

如果增益为6 000呢?它不能完全转化为2和10的乘除怎么办呢?用近似法。由上可知,4 000增益为36dB,那么8 000增益为39dB,既然6 000正好在4 000和8 000中间,可以取36dB和39dB之间的一个数(37.5dB)作为近似值,其实较为确切的值为37.78dB,但这两个值很近似。现在你可以算得上是专家了。

既然已经知道了如何转换,就可以忘记它了,因为不再需要它了。射频世界里只处理dB,所需要做的是,进行加加减减就足够了。

注意:

当器件表现出损耗特性时,可能会说有“6dB的损耗”,必须知道它等效于-6dB的变化,而不是说有“-6dB的损耗”。

假设如图2-3所示,A端一个电信号进入器件1,损耗2dB,接着进入器件2,增益30dB,再进入器件3和4,损耗分别为7dB和1dB,那么B端信号相对于A端信号会是多少?最后表现为增益还是损耗呢?现在可能还不很熟悉,我会引导你分析,但将来要读者自己来分析。

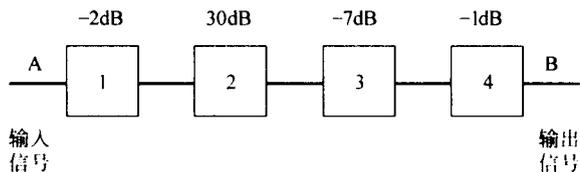


图2-3 分贝计算

A端信号减2dB,加30dB,减7dB,减1dB就等于B端信号。所以,A端信号加20dB后就等于B端信号。既然是20dB加在了A端信号上,也就是说A端信号到达B端变大了,表现为增益。所以,B端信号比A端信号大20dB(或100倍)。如果理解了该解释,祝贺你,你已经掌握了射频的关键要素。

但是为了确保已经真正理解,请读者参考图2-4,计算一下B端信号相对于A端信号的大小。

答案是-10dB(原信号的1/10)。值得注意的一件有趣的事情是,在图2-3和图2-4中连接元器件间的线也有损耗。大多数情况下,这些线上的损耗相对于实际器件中的损耗是

很微小的,所以可以忽略。但应该意识到,当系统中一点的信号比另一点信号小 10dB 时,可称小信号是大信号“降 10dB”后的信号。

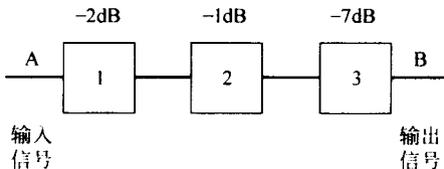


图 2-4 分贝测试

你知道吗?

也许射频中最著名的表达是术语“降 3dB”。若认为信号是一个参考信号的“降 3dB”,就意味着它是参考信号的 1/2。有时,射频工程师开玩笑地说,“我需要我的体重降 3dB。”听起来很有趣,不是吗?

2.3 带宽

也许在射频世界里没有比带宽更常用的词了。既然知道频率是什么了,理解带宽也不会很困难。带宽是描述频率范围的方法,它等于器件或应用中最高频率和最低频率的差值,所以需要两个频率值来定义带宽。例如,如果一个特殊器件能容纳从 75MHz 到 125MHz 之间的所有频率,那么它的带宽就是 50MHz(125MHz-75MHz)。

有时带宽也用百分比来表达,它等于实际带宽除以上下频率的平均值。见例 2-2 所描述。

例 2-2 计算百分比带宽。

如果设备能容纳从 75MHz 到 125MHz 之间的所有频率,它的百分比带宽是多少?

首先,计算实际带宽。本例中实际带宽为 50MHz(125MHz-75MHz)。

接下来,计算两个频率的平均值。本例中,平均值为 100MHz((125MHz+75MHz)÷2)。

最后,用实际带宽除以平均值,再乘 100%:

$$50\text{MHz} \div 100\text{MHz} \times 100\% = 50\%$$

工作在 75MHz 到 125MHz 的设备有 50%的带宽。

在后面章节中还可以学到,带宽和数据承载能力(数据速率)有直接关系。无线系统的带宽越宽(即频率范围越大),在一定时间内所承载的数据就越多,所以数据速率就越高。

倍频和十倍频

带宽的另外两个术语就是:倍频和十倍频。倍频和十倍频来源于对数算法,其中倍频指 2 倍大,十倍频指 10 倍大。如果器件的上边频是下边频的 2 倍大,那么器件具有倍频带

宽。例如,器件工作在 100MHz 到 200MHz 之间就具有倍频带宽。同样,设备的下边频为 1.2GHz,上边频为 2.4GHz,结果也相同。真正混淆的是,如果器件的下边频是 100MHz,上边频是 400MHz,那么器件具有两个倍频带宽。设备带宽大于一个倍频的都叫做多倍频带宽。

如果器件的上边频 10 倍于下边频,那么可以说器件具有十倍频带宽。举一个十倍频带宽的例子:器件工作于 100MHz 到 1 000MHz(1GHz)之间。

2.4 宽带和窄带

为什么宽带和窄带很重要呢?因为所有射频器件都可以归为两类:窄带(窄的带宽)或者宽带(宽的带宽)。窄带和宽带的区分没有严格规定,所以我决定,如果设备带宽小于 50%就是窄带,大于 50%就是宽带。

好了。接下来会有什么结果呢?器件的带宽越宽,所容纳的频率越多,但是它的成本就越高,操作性能就越差。例如,一个窄带无源器件可能有 1dB 的插入损耗(好),而同样的宽带无源器件的插入损耗可能会是 3dB~4dB(坏)。设计射频电路时,在容纳所有要求的频率情况下,要尽量使用带宽最窄的器件。例如,移动电话通信时,从手机终端到基站,频率覆盖范围为 824MHz~849MHz,最明智的设计就是正好容纳这个频率范围,不要包含更多的频率。

说一个有趣的事情(如果你实在很无聊了),窄带和宽带器件的制造过程完全不同,这就说明了为什么在射频行业里,有些公司专门生产窄带产品,有些专门生产宽带产品。

你知道吗?

今天,当射频工程师想要说一些最新的行话时,通常会将带宽说成“管道”。他们会说,“如果我们希望更快地传送数据,我们需要一个更大的管道”。他们的意思是,如果想要传送数据更快,需要一个更宽的带宽。

2.5 环境中的射频

信号行为

1. 趋肤效应

读者已经知道了,射频信号不是存在于导体中,就是以波的形式存在于空气中。当射频信号存在于导体,即任何金属上时,它只是挂在金属物体表面。给一个砖头形状的实心金属拍照,如果射频信号放在该砖头上,那么它只出现在该砖头的表面,不会冒险进入里面。如

果可以将一个检测器放在砖头里面,它将检测不到射频信号的存在。射频信号所呈现的这种行为称为趋肤效应,这是不言自明的。

如果读者有一个电子工程专业学位的话,趋肤效应发生的原因很容易理解。但是本书的前提是假设你没有任何电子工程学位,或者说你是一个有很多空闲时间的工程师,给你解释一下。射频信号天性喜欢逃离实心物体,在空中遨游,但是由于某些原因,这些原因以后会解释,它们不可能总能达到目的;所以接下来,这些不安分的射频信号所能做的最好的事情就是尽可能地靠近实心物体外层,希望终有一天会逃出去到达真正的目的地:被从外星球来的异族检测到。

2. 自由空间损耗

一旦射频信号逃离导体边界,飞翔在空气中,它们将经受所谓的自由空间损耗。为帮助了解,请想像一个带有喷头的浇花软管,水从喷头流出后开始扩散。如果将食指和拇指搭成一个圈放在喷头跟前,几乎所有的水都可以从圈中通过。但当这个圈离开喷头,部分水就不会从圈中通过,实质上,所有的水仍然在那里,只不过喷洒的范围更大了。把这个圈想像成一个接收机,离得越远,所接收的水(信号)就越少。所以对于接收机来说,类似于从喷头(发射机)流出的信号,接收到的信号丢失了部分能量。

忽略其他,接收机离发射机越远,所接收到的信号就越小,原因就是自由空间损耗。现在从浇花软管类推,这次不用拇指食指构成圈,而用一个方形的框,假设每边1m,像前面所说的,当方框离发射机越来越远时,通过它的射频能量就越来越少,这次通过它的射频能量是有意义的,该值的单位是瓦特每平方米(或者有时为微瓦每平方米),称为功率密度。功率密度是空气中传播的信号强度的度量,射频领域内会经常用到它。

3. 吸收

如果自由空间损耗值不太大,几乎射频信号在空气中传播所遇到的任何东西,都会使射频信号发生一定形式的变化。这些变化归为两种:或者变得更小,或者改变传播方向。

射频所遇到的大部分事物都是使射频信号变得更小,包括我们所呼吸的空气、雨、玻璃、木头,甚至植物。我们可以把这些事物看成具有一定插入损耗的某种类型的无源器件(当然,以dB表示),这些事物所表现出来的插入损耗称为吸收,因为它们吸收射频信号。

吸收的一个很好的例子就是雨对家庭卫星电视的影响,它主要在Ku波段。很凑巧的是,承载家庭卫星电视的射频信号大小正好接近于平均雨滴的大小,这是吸收的理想条件。当天气良好,信号对于接收机来说只有自由空间损耗。但当下雨时,一些信号会被雨滴吸收,到达屋顶小碟形卫星天线的信号就很少。如果雨很大,很有可能发生严重的吸收而导致信号消失,令卫星电视服务质量很差。这种情况不是因为服务提供商插播广告造成的,应该意识到这种情况的存在。

若射频信号穿过暴风雨经历损耗,损失的能量到哪里去了?变成热量了!无论相信与否,实际上雨会变暖。当然它的温度变化很小,很难测量得到,更别说取出温度计前,交织的雨滴可能早就不见了。现在提一个价值 64 000 美元的问题。什么时候移动电话会有更大的呼叫范围,晴天还是雨天?请读者自己回答。

你知道吗?

吸收正好解释了微波炉是如何工作的。微波炉内辐射水容易吸收的某个频率的射频信号。当射频信号遇到水时,信号变得越来越小,水就变得越来越热。这就是为什么没有水的东西在微波炉里无法变热的原因。

4. 反射

不是所有东西遇到射频波后都要吸收射频能量。有些东西遇到射频后会改变射频信号的方向,这种方向的改变叫做反射。大致上,射频信号会以遇到物体时相同的角度反射回去(见图 2-5)。

很多物体至少会将部分射频信号反射。反射值与两个因素有关:射频频率和物体的材料。有些材料只是以一定程度反射射频信号,如混凝土。而其他材料会发生完全反射,如金属。对于只是部分反射射频波的材料,剩下的信号会怎样呢?我会给你一个提示,返回去看看吸收。现在该知道答案了,当射频信号遇到这种材料时,射频能量或者被完全吸收(如水),或者被部分吸收部分反射(如混凝土),或者完全反射(如金属)。祝贺你,现在你已经理解了射频行为。

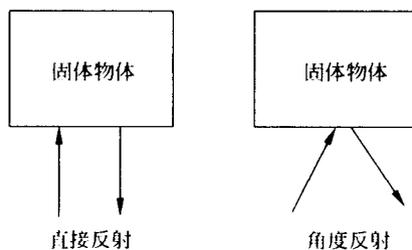


图 2-5 直接反射和角度反射

2.6 匹配

2.6.1 匹配的概念

1. 50 欧姆的含义

在射频信号进入空气之前,会在导体或器件内游荡。每个器件都有一个入口或出口,或两者都有。很容易将导体和器件看成花园软管系统的一部分,射频信号就像水一样在里面流动,如果射频信号穿过导体进入一个器件,导体(花园软管)和器件(喷头)之间要有连接。这似乎简单。

因为工程师操纵着射频世界,没有两个花园软管大小完全一样。所以无论什么导体和什么器件连接,部分射频信号(水)还是会泄漏(这毫不奇怪)。为了方便,射频世界的工程师将软管大小标准化,并都同意使用它们。这样,一个公司生产的导体(或器件)就可以和另一个公司生产的器件协同工作,只有很小的泄漏发生。如果正在谈论的是软管,标准化的尺寸可能是“直径 0.5in”(1in=0.025 4m),既然在谈论射频,它的标准尺寸是 50 欧姆(Ω)。欧姆(以某个著名的工程师名命名)是阻抗的度量单位,它描述射频信号(水)通过导体(软管)的困难程度。任何物体的阻抗都以它的物理尺寸和材料类型来规定。很自然,一个小口径软管的阻抗比一个大口径软管的阻抗高。

读者会问为什么是 50 Ω 呢?我所能告诉的是,第二次世界大战期间,军队需要连接一些碰巧是 50 Ω 阻抗的天线(后面讨论)。结果,他们开发了一些 50 Ω 的电缆(第 5 章讨论),后来称为 RG-58。一旦他们有了这些电缆,其他所需要连接的东西都只能是适从这 50 Ω 了。

50 Ω 是最佳的吗?不是的。就说电缆吧,75 Ω 的性能更佳(即衰减更小)。因为它是近期开发的,75 Ω 是用于有线电视中的阻抗。相应地,现在有两种阻抗标准:射频用 50 Ω 和视频用 75 Ω 。当两个领域要互连该怎么办呢?对于低功率和(或)低频率(<300MHz)来说,连接 50 Ω 和 75 Ω 的物体不会有什么问题。但在高频或高功率时,需要阻抗匹配电路,这将要费 3 页纸才能说清楚。

射频工程师最想知道的是,既然他们已经同意了标准大小,当和其他软管连接时到底会泄漏多少,这是很重要的。因为我们的目的就是要使信号从一个导体或器件传输到另一个时不会失去太多。如果泄漏太多,系统将无法正常工作。

2. VSWR

要测量泄漏量,射频工程师提出了一个术语叫 VSWR。从技术角度讲,VSWR 代表电压驻波比。VSWR 是描述匹配情况的数字度量,匹配越好,泄漏越小。

VSWR 公式很复杂,更糟糕的是,它没有度量单位。它的表达方法是 $X:1$, X 越大,泄漏越多(见表 2-1)。

表 2-1 VSWR 的含义

VSWR	含 义
1.0:1	完美匹配,没有泄漏的软管,不可能制成
1.4:1	优良匹配,很小泄漏,通常作为设计目标
2.0:1	良好匹配,可接受的泄漏量
10:1	可怕的匹配,读完本书后设计电路的结果
$\infty:1$	企图将浇水管和林肯隧道连接 ^①

① 对于那些有幸逃过微积分学的人来说, ∞ 指无穷大。

3. 回波损耗

因为射频工程师拒绝适可而止,认为一个度量不够。还有另一个度量匹配的术语叫回波损耗,以 dB 为单位。有一个很直接的公式可以将 VSWR 换算成 dB,但由于没有人肯记住它(包括很多射频工程师),因此可以用表 2-2 转换表来近似。可以看到,VSWR 越大,回波损耗越小。

表 2-2 VSWR 和回波损耗

VSWR	回波损耗
1.0 : 1	∞
1.4 : 1	15.6
2.0 : 1	9.5
10 : 1	1.7
∞ : 1	0

2.6.2 不良匹配的后果

尽管射频工程师们弄了很多不必要的复杂东西,但下面是使用回波损耗术语的一个很好理由。当匹配不够好,软管发生泄漏时,水(射频)实际上不会流出。现实当中,射频能量沿着来的方向返回。当射频能量开始沿着来时的方向返回时,称为反射(听起来很熟悉?)。由于没有完美匹配,经常会有一些射频信号被反射。通常,被反射的射频能量很小而不被注意。在匹配很差的情况下,大部分射频能量被反射,发送射频能量的设备会爆炸,通常这种很差的匹配会被发现。

你知道吗?

关于回波损耗有两个极端例子:理想开路和理想短路。发生理想开路的情况是,若有人忘记将电路的其他部分连接到器件的输出,从而使射频信号只遇到空气而没有其他情况。发生理想短路的情况是,有人用一个螺丝刀跨接一个理想开路。在这两种情况下,几乎所有射频能量都被反射,VSWR 接近于无穷大。不用说,应该避免这些情况,除非射频器件爆炸很有趣。

阻抗匹配

在射频电路设计中经常会遇到不得不连接两个匹配很差的东西(一个导体和器件)。例如,导体可能大小(阻抗)很合适(50Ω),但是它所连接的器件阻抗为 100Ω 。这种连接将导致匹配很差,大量功率被反射,电路也不能很好地工作。在这种情况下射频工程师该怎么办

呢？哭吗？不，他们会在两个不同阻抗之间插入一个精巧的阻抗匹配电路。在上面的例子中，阻抗匹配电路将 50Ω 阻抗变成 100Ω ，这两个东西就可以很好地连接了。图 2-6 是一个阻抗匹配电路的图形表示。



图 2-6 匹配电路的图形描述

后面将讨论，阻抗匹配电路有很多种，但它们的目的相同：将某些射频器件的阻抗变为 50Ω 。

第2部分 射频硬件

第3章 基本系统器件

本章的开始介绍了器件的方框图,这些器件组成了无线系统的两个基本模块:发射机和接收机。一旦明白了发射机和接收机的工作原理及其承担的角色,就可以很快理解无线通信。而且,这两个方框相当简单,便于查看也便于理解,因为它们仅由5个射频器件组成,这些器件将在本章讲述。

本章将解释天线、放大器、滤波器和混频器在改变信号的本质、大小、形状和频率中的作用。同时,本章也指出射频信号从哪里来,即信源。本章每一部分证明了这5个基本器件都可能取不同变量,完成特定的目标。这通常需要在生产仪器时,使一两个关键性能参数达到最优,这样自然增加了成本。附录C是一个全面的列表,其中包含了很多用来量化射频器件性能的参数。

射频产业的制造商总是试图使这5个器件更小、更轻、能量效率更高并且损耗更低,以此来改善器件的性能。大批量生产的无线产品,如手机,已经增加了对上述条款的需求,这些需求有助于大幅降低无线产品的成本。由于竞争刺激创新,这些条款需求不断改变。例如,至少有30家公司为无线设施生产高功率放大器,这种竞争最终为消费者带来更低的价格和更多的特色。

最后,本章结尾将回顾两个基本组成方框,希望引起读者的注意。

3.1 方框图

虽然发射机和接收机都是有許多内部器件的复杂系统,但是所有的发射机和接收机完成相同的基本功能,因此都被描述成简单的方框图(如图3-1和图3-2)。在这些图中,信号流从左到右。奇形怪状的东西是器件,直线是连接它们的导线。从这些方框图中可以看出来,一个信号通过导线从一个器件传到另一个器件。接收机将无线波变成电信号,发射机将电信号变成无线波。

考虑最简单的情况,所有的发射机和接收机都仅由5个基本的功能块构成(注意图3-1和图3-2,虽然有些器件是重复的,但在每个方框图中只有5个不同的器件组成)。一旦理解

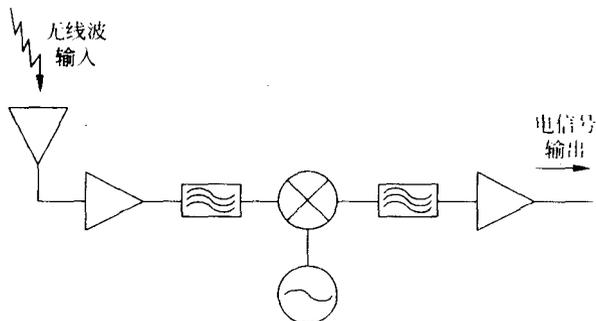


图 3-1 接收机方框图

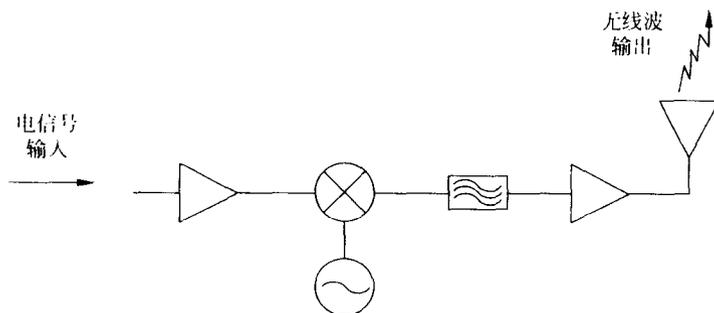


图 3-2 发射机方框图

这 5 个组成块以及它们的功能,对射频系统和无线通信就等于明白了一半(读者将在调制那部分明白另一半)。下面将讨论每个功能块,以及它们在无线系统中承担的角色。

3.2 天线

3.2.1 方框图

第一个器件称作天线(如图 3-3)。如果从这本书上只学到一件事,那就是:每个无线系统都有天线。读者也许没看到,没认识到,但事实上它就在那里。天线的任务很简单:它把电信号转化成无线波(在发射机中),或是把无线波转化成电信号(在接收机中),或者二者兼而有之。天线是无线系统的核心:没有天线就没有无线通信。直观地讲,可以看成无线波进入(或离开)方框图顶

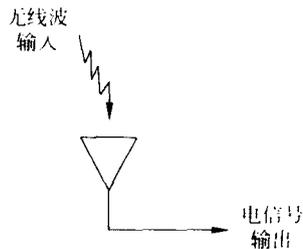


图 3-3 天线方框图

部的烟筒状结构并且沿方框图底部的导线离开(或进入)。当无线电波离开天线,我们称之为无线电波从天线辐射出去。大部分的天线都双向工作得很好。

3.2.2 天线特性

1. 有源和无源

天线可以有源器件也可以是无源器件。无源天线就是一大块金属,以一种特殊的方式配置。如果天线是有源的,它有电源。有源天线仅仅是比无源天线在内部多了放大器。读者将会在下一章了解到更多关于放大器的知识。

你知道吗?

大部分有源天线只有一个电路连接。有源天线在相同的导线上既传输射频信号又传输能量信号,这样不但能减少材料成本,而且还能减少为建立另一个连接需要的额外5秒钟。每一点小的改进都很有用。

2. 大小和形状

正如读者可能已经观察到的,天线有许多形状和规格,既有发射调幅无线信号的巨大发射塔,又有大大小小的接收卫星信号的碟形卫星天线,还有手机上可爱的橡皮天线。各种天线如图3-4所示。图3-5显示了一个蜂窝基站塔,在塔的顶部的垂直结构就是天线。

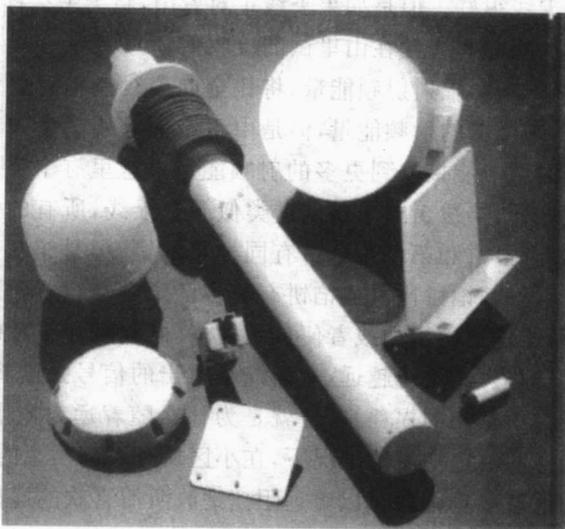


图 3-4 天线样本, M/A-COM 公司提供



图 3-5 基站天线,
Alpha 企业提供

任一种天线的形状和大小都依赖于 3 个因素。天线的物理特性依赖的首先就是频率,即天线需要处理的频率。总的来说,天线处理的频率越低,天线规模越大。这也是为什么调幅广播站在 530kHz 频率广播时,它的天线有几百米高,而手机工作在 900MHz,它的天线仅有 6in 长。

第二个决定天线大小和形状的因素就是无线电波传播的方向。如果要在各方向同等接收或发送无线电波信号,那么天线将是某个形状。这种天线类型称作全向天线,意味着它要求各个方向都工作。另一方面,如果只在一个方向发送(或接收)无线波信号,那么天线将是完全不同的形状。这种天线被简单地称为定向天线。

最后决定天线大小和形状的就是天线发送或接收的功率。作一个粗略的近似,功率越大,天线规模越大。

3. 信号强度和方向

如果不是射频系统工程师没情趣的话,那么他们为什么选择一种天线类型而不选其他的?在发射信号的例子中,由于只有有限的射频能量进入天线,除非读者相信牙齿仙女,否则只有有限能量从天线中以无线电波辐射出来。如果使用全向天线,所有的射频能量必须均匀地分布在各个方向。如果天线在一个大城市的中央或是手机的组成部分,那么全向天线很好。但是如果天线正对着山,将会怎么样?直接向山辐射一部分射频能量是一种浪费,除非有人住在山里试图接收 HBO^①。

一个定向天线严格不向山辐射射频能量,将比全向天线能辐射更多的射频能量给非山区。这两种天线都输出同样多的射频能量,但是由于定向天线能集中在一个更小的区域上分配能量,因而那个小区域上能接收到更多的射频能量。这里有个类比。假设读者有两个苹果饼,第一个馅饼很普通,馅覆盖整个饼。这类似于全天线,所有的卡路里(射频能量)均匀覆盖整个馅饼。第二个馅饼和第一个馅饼有同样量的馅,但是馅只夹在饼的一半里。这和定向天线相似,“那一半的”馅饼比普通馅饼有更多的卡路里(射频能量)。增加的射频能量使从天线出来的信号传输范围增加或者使数率提高(或者两者都提高)。

从个人体验可能会知道,离天线越远,从天线辐射出的信号强度将越小(回忆一下前面章节,这种行为是由于自由空间的损耗)。这就是为什么随着远离城市边缘,对广播站的接收会减弱。所以,在同样的输出功率的情况下,在小区域具有高功率的定向天线将比全向天线有更大的信号范围,这意味着读者可以更远地收听所喜欢的广播。

① 译者注: HBO 是美国一个著名的收费电视频道。

3.2.3 天线如何工作

天线是如何实现它的功能的？弄清这个问题需要对数学、物理和电子学的精确理解，它超出了本书的范围，但是我会试着解释清楚。为了讨论，假设度量射频信号长度的量为波长，再假设波长与信号频率成反比，这意味着频率越高，波长越短。例如，手机的射频信号(900MHz)在频率上比调幅广播信号(530kHz)高，所以手机信号的波长更短。当天线承载的射频信号的波长与天线长度相近时，天线开始辐射射频能量(以波的形式)。流进天线的电流开始以看不见的波的形式从天线辐射出去。这很神奇！反过来也是。看不见的适当波长的波进入天线，然后变成电流顺着导线从天线流下来。所有这些解释了为什么手机接收1ft(1ft=0.305m)波长的信号只需要6in的天线。一个6ft的天线不能很好地工作，0.5in的天线也不行。

正如趋肤效应讨论中所提到的，天线解释了射频能量如何逃离实心物体。天线就是实心物体。事实上，只要金属物体像作用在它上面的射频信号波长那么长，它就成了一个天线。正如以前提示的，如果物体比波长小很多，它根本就不会辐射射频能量，如果物体比波长大许多，它会辐射一部分射频能量，但是效果不好。

3.2.4 天线性能

1. 天线方向图

天线设计仍然是一门需要试错的艺术，射频工程师需要一个工具来知道他们设计的天线是否能实现所需要的功能。他们利用的工具称为天线方向图。最简单的形式是，从天线中辐射出的射频能量的眼图。在天线方向图中，中间的实心点代表天线，环绕天线的线代表从天线辐射出来的功率。一般，线画在半功率点处，即从天线辐射出来的功率下降到天线自身功率一半的地方。两个代表性天线方向图如图3-6所示。

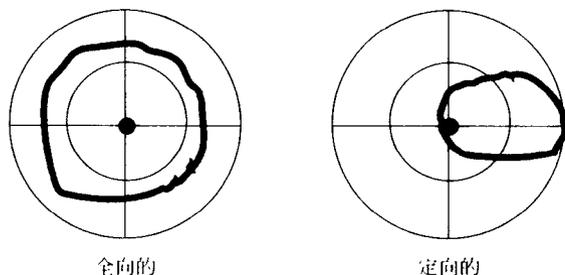


图 3-6 天线方向图

你知道吗?

通常对于天线成立的理论对于射频世界也成立:频率越高,东西越小。当今手机那么小的一个原因就是因为他们工作在高频,这允许内部器件可以做得非常小,小得可以放在手机内部。下面是3个普通的无线应用的波长:

调幅广播: 566m

蜂窝电话: 1ft

卫星电视: 1in

正如读者在图3-6的左侧所看到的,有一个(近似)的圆形图样与中心天线等距。这是典型的全向天线方向图,显示了射频能量均匀从各个方向辐射出来。在图3-6的右侧是许多可能的定向天线方向图的一种。注意所有的射频能量辐射到中心天线的右侧。这个天线方向图可以用来在两个高山间的狭窄关口辐射射频能量。

2. 天线增益

所有天线都有增益,甚至无源天线都有。这怎么可能,增益总是需要电源的?我忘了提到,天线除外。天线增益有一点不同,射频能量的绝对值并没有真正变大。

为了解释这一现象,假定有一种虚构的天线称为各向同性天线(说它虚构是因为不能做出来这样的东西)。各向同性天线是空间中一个单点,向各个方向辐射能量(它的三维天线方向图是天线在中心的一个球)。既然射频能量在所有三维方向均匀辐射,它可以以任意薄进行传播(也就是它有最低的可能功率密度)。

使用同样的射频能量(记住馅饼的例子),任一个在一个方向上辐射射频能量的天线,必然比一个各向同性天线发射信号更远(在同样的方向上)。既然定向天线发射同样的射频能量比各向同性天线传得更远,定向天线相对于各向同性天线被认为是具有增益。这是方向增益,而不是功率增益。天线束越集中,它的增益越大。

令人吃惊的结果是,所有天线和各向同性天线相比都有增益,即使全向天线也有增益,尽管很小。这怎么可能?不要忘记,各向同性天线从三维空间辐射射频能量,全向天线限制射频能量到二维空间。一个全向天线的三维天线方向图看起来更像一个酪饼,天线在中间做牙签。

所以天线增益是方向增益,并且它相对于各向同性天线进行度量。增益仍然用dB度量,但是由于它是相对于各向同性天线,度量单位为dBi,“i”代表各向同性(最后的“i”与Internet无关)。

天线增益引出一个有趣的问题:从天线出来的功率是什么?天线增益是否被加到所有其他增益和损失中,来决定发射机的输出功率呢?是的。但是当天线增益用来决定发射机的输出功率时,输出功率被赋予了一个非常专业的名字:有效各向同性辐射功率或EIRP。读者现在知道很多天线增益的方式了吧。

3.2.5 极化

当射频波在空气中传播,正弦波自身有方向:垂直或水平。这个方向称作极化,这很好想像。如果手机被这样放置,将其天线颠倒,出来的射频(正弦)波将被垂直极化(正弦波在传播的时候将会上下变化)。但是如果手机天线侧向放置,出来的信号将是水平极化,正弦波在传播时将从一边到另一边变化。

你知道吗?

如果读者带着有趣的眼镜看过三维电影,可能直接感受过极化的效果。所有的电磁波,不止射频,由传播的正弦波组成。可见光由水平和垂直正弦波组成。在三维电影中,两个稍有不同的形象,通过不同极化,被投影出来。眼镜的每一边只让一种极化通过,这导致每只眼睛看到不同的形象,欺骗了读者,使读者认为看到了一个有深度的形象。

谈这些的目的是什么?极化是一种方法,把两个相同频率的不同信号同时放到同一个地方。所有射频系统的目的就是把尽可能多的信息放到分配的带宽中,将两个完全相同的信号仅仅通过不同的极化使之不同。在理论上,通过使用水平和垂直极化,在同样的带宽内,可以实现2倍的转换。

可以通过观察手机上的信号强度指示来亲身见证这种现象。如果要接收的手机信号和大多数手机信号一样是垂直极化,读者水平拿着手机,将收到很弱的信号。当把手机的天线竖起来,在它完全竖立起来前,信号强度将会增加。

因为射频工程师有很多空闲时间,他们计算出如果垂直极化信号和水平极化信号合并,结果将是一个全新的极化类型,叫做圆形极化。在这种极化形式中,射频正弦波在传播时,不断从水平变到垂直。

你知道吗?

有两种不同的圆形极化(我告诉过读者射频工程师有很多空闲时间)。一种类型叫做右手圆形或RHC,自然另一种叫做左手圆形或LHC。

3.2.6 天线维数

1. 一维天线

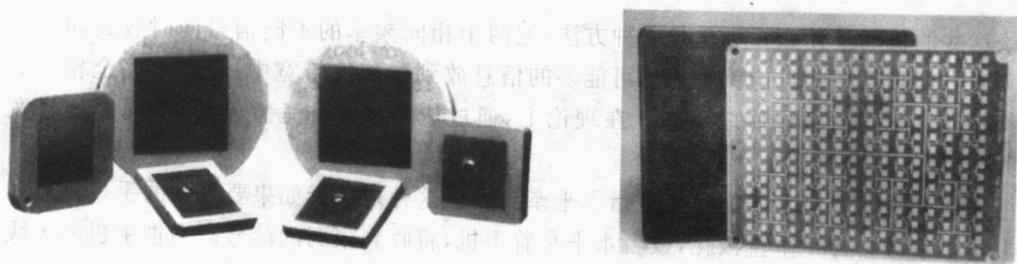
正如以前提到的,有许多不同形状的天线,但它们往往都可以归纳为两种类型:一维天线和二维天线。一维天线由许多电线组成,这些电线或者像手机上用到的直线,或者是一些灵巧的形状,就像出现电缆之前在电视机上使用老兔子耳朵。

单极和双极天线是两种最基本的一维天线。一个单极天线仅仅是一个直的天线,它的长度近似于要辐射的射频信号波长的 $1/4$ 。双极信号长度近似于射频信号波长的一半。为什么是半波长?原来是当天线是半波长时,它辐射射频能量效果很好(这是一个物理现象)。

所以如果天线是半波长时,它工作得很好,还要 $1/4$ 波长的单极天线有什么用?单极天线辐射能量虽然不如双极好,但是当使用单极天线时,它通常直立在地面上。因为大地是良导体(如果读者不相信,试着在雷雨中打高尔夫球),它可以作为射频的“镜子”。其实从射频行为的观点说,埋在地里的单极天线就等效于双极天线。在低频应用中使用单极天线是很重要的。一个 100ft 高的单极天线和 200ft 高的双极天线,读者会竖哪一个?

2. 二维天线

二维天线变化多样,有片状、阵列状,还有喇叭状、碟状。一个片状天线就是一块正方形的金属,而一个阵列天线就是组织好的二维模式的一束片。这两个例子如图 3-7 所示。喇叭状天线类似于以前高中拉拉队队长用的扩音器。



(a) 片状天线, Alpha 企业提供

(b) 阵列天线, Epsilon Lambda Electronics 提供

图 3-7 二维天线

碟状天线等效于收集主要来自卫星的射频能量的大漏斗。碟状天线有很多规格,大到当地电视台使用的巨型天线,小到直接面向家庭(DTH)的卫星电视使用的 18in 天线。碟子的大小取决于两方面:一是频率,读者现在已经知道的,频率越高,所需要的碟子越小;二是发射或接收的功率,例如,另一方的发射功率越大,接收用的天线就越小。现在读者可能意识到了,由于最新代的卫星具备了发送高频大功率信号的能力,才使带有小碟状天线的 DTH 卫星电视成为可能。一个大的碟状天线如图 6-9 所示(见 6.3 节)。

3.2.7 智能天线

有一种新类型的天线叫做智能天线,它主要用于移动电话。如果仔细看图 3-5,读者可以发现基站天线实际上是三套天线。在大多数蜂窝系统中,蜂窝被分成 3 个 120° 的扇区。每套天线负责 120° 的覆盖,因此当看一个天线方向图时,存在 120° 的波束宽度。

当一个天线(或一套天线)负责 120° 覆盖时,出现两个问题。第一个问题就是浪费射频能量。可能在整个扇区内只有一个或两个移动手机用户,但是射频能量被辐射到各个地方。

第二个问题是干扰。最简单的解释,干扰就是不需要的信号。由于天线不知道某个移动用户的位置,它们就必须到处发送信号。尽管这个信号对于使用它的用户来说非常有用,但它对于扇区内的其他用户来说都是干扰。

一个简单的解决办法就是把 120° 扇区分成更小的一束区域,每个区域有它自己的天线。这样不仅会减少干扰,而且会增加蜂窝自身的范围。这多少就是智能天线完成的工作。智能部分来自于天线在扇区内跟踪用户的能力。这种把扇区分为更小的部分,并且跟踪移动用户,被称为空分多址或 SDMA。

有两种类型的智能天线:交换波束和适应阵列。交换波束使用许多窄波束天线,每个指向一个微有不同的方向,以此覆盖整个 120° 扇区。当扇区内的移动用户移动时,系统内的智能天线从一个天线变换到另一个天线。适应阵列使用一个阵列天线(如图 3-7(b)所示)和成熟的数字信号处理来从一个位置到下一个位置转换天线束。

3.3 放大器

3.3.1 方框图

接下来要介绍的器件如图 3-8 所示,叫做放大器,它使信号放大。当射频信号从一个地方传到另一个地方,经常需要放大。这就像开车,读者开车到处转,就要消耗汽油,当汽油减少后,读者要去加油。一个放大器对于射频信号来说就是一个加油站。直观地看,一个小信号进入方框图大的一端(左侧),从尖端出来时就成为一个大信号。



图 3-8 放大器的方框图

3.3.2 放大器的基本属性

1. 增益

放大器有 3 个基本属性:增益、噪声系数或输出功率、线性。增益是度量输出信号比输入信号大多少,正如读者所猜到的,用 dB 度量。在射频系统中的某些地方需要大增益(40dB 或 50dB),而一些地方只需要很小的增益(5dB~10dB)。

放大器主要分3类:低噪声、高功率和其他。低噪声放大器是信号通过接收器天线后遇到的第一个放大器。高功率放大器是在信号从发射机出来前通过的最后一个放大器。

2. 噪声系数

低噪声放大器(LNA)用于监听非常小的射频信号,所以它们必须非常非常安静。LNA的安静度量叫做噪声系数(NF),用dB做度量单位。LNA的基本属性是噪声系数。LNA的NF越低越好。一些射频工程师在低NF的LNA上投入很多资金(我们其他的人只投资共有基金)。什么是好的NF?视情况而定。可以这样思考:噪声系数越低,LNA可以听到的信号越小,LNA可以离得更远,这样手机的范围就越大。

3. 输出功率

在射频信号从天线出来之前,高功率放大器(HPA)尽可能放大射频信号。信号越大,它传输得越远,也就是说手机的范围越大。HPA的第二个基本属性是输出功率,用瓦特(W)来度量。一般来说,功率越高越好。

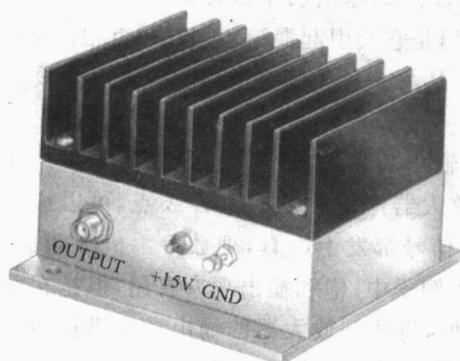
不幸的是,射频工程师坚持把事情搞复杂,趋向于用dBm表示输出功率。dBm的意思是什么?它的字面意思是比1mW大的dB数。例如,10dBm就是一个信号比1mW大10dB,30dBm就是比1mW大30dB,如此类推。一个30dBm信号就是比1mW大30dB(1000倍),也就是1W。所以30dBm等于1W。可恶的工程师!一些通常的转换请见表3-1。

表 3-1 W 与 dBm 的转换

W 表示的功率	dBm 表示的功率
0.1mW	-10dBm
1mW	0dBm
1W	30dBm
1000W	60dBm

图3-9(a)表示了一个LNA的例子,图3-9(b)表示了一个HPA的夸张例子。这两个用来说明与LNA比起来HPA是多么大。HPA这么大是由于它需要散热。因为放大器不是100%的效率,进入放大器的一些能量以射频信号形式出来,其余以热量散发出来,这正是为什么像汽车发动机内有风扇一样,HPA的风扇用来提供内部冷却。如果HPA风扇停止工作,读者或许可以从里面得到软糖。

当讨论HPA的输出功率时,读者需要知道与其相关的每个事情。比如,大部分手机内的输出放大器的输出功率小于1W,基站端的输出放大器输出50W,两个放大器都是HPA。这是因为一个HPA并不意味着它输出很大功率,但是意味着它是发射器的最后放大器。



(a) 低噪声放大器(LNA)



(b) 高功率放大器(HPA)

图 3-9 放大器

4. 线性

在数字通信时代,放大器的第三个属性叫线性。数字无线通信的一个含义就是当一个数字信号加载到射频的载波上,信号通过的任一个放大器都必须是真正的线性。线性用来度量放大器使信号形状失真的程度。在后面的 5.3 节中,读者将会学到,射频载波的微小变化部分实际上都包含着信息;因此不需要的信号形状的变化会使信息严重失真。射频工程师在放大器的输出端希望得到的信号是比输入信号大但形状却和输入信号完全一样。作为一种可视化方法来介绍线性的概念,我提供给读者放大器的最重要信息——传输曲线(如图 3-10)。传输曲线就是放大器的输出功率对输入功率的图。所有放大器表现出了这种行为。

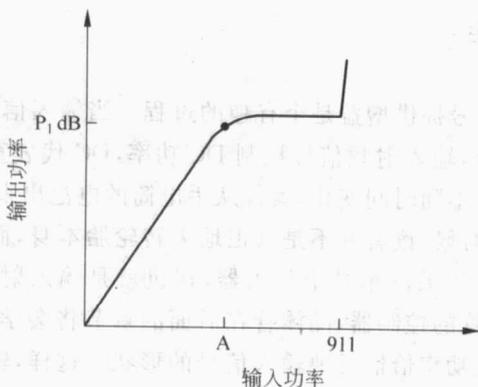


图 3-10 放大器的输出功率、输入功率比较

参考图 3-10,随着放大器的输入功率增加(移动到水平轴的右侧),至少在 A 点前,放大器的输出功率都有一定量的增加。直到 A 点前的范围被称为放大器的线性区。如果要避免射频信号失真,放大器必须在这个区域内工作。A 点的输出功率被称为 $P_{1\text{dB}}$ 点或 $P_{1\text{dB}}$ 功率点或 1dB 压缩点。虽然 $P_{1\text{dB}}$ 有精确的定义,但是它会引起混淆。这样想很简单:放大器的 $P_{1\text{dB}}$ 是放大器在线性区输出的最大功率。从另一种角度去看, $P_{1\text{dB}}$ 是一个放大器输出的最高线性功率。

超过水平轴的 A 点(再增加输入功率),注意输出功率不再增长而是保持平坦。换言之,输入功率的增加不再导致输出功率的增加。放大器停止放大。过了 A 点,可以说放大器饱和了,进入了非线性区。在非线性区,所有的信号都发生失真,把数字手机呼叫搞乱。比 $P_{1\text{dB}}$ 大的输出功率叫做饱和输出功率。在一些例子中,饱和输出功率有用,但是在数字无线通信中没用。注意:如果输入功率进一步增加,将达到放大器的输出功率迅速增加的那点,如图 3-10 所示。当然在这点,输出功率像火焰一样从放大器中投射出来,这就是为什么这点被称为(戏称为)911 点。

测量放大器线性的一个方法就是利用它的互调点(通常称为三阶互调点)。互调点越高,放大器的线性越大。互调点由符号 I_{p3} 表示(有时放大器的 I_{p3} 称为动态范围)。就像功率一样,互调点也用 dBm 度量。一个有 40dBm 互调点的放大器比有 30dBm 的放大器线性要大。所有射频工程师使用的经验准则是,放大器的 I_{p3} 比 $P_{1\text{dB}}$ 点大 10dB。没有必要再深究了。

你知道吗?

三阶互调点是一个虚构点,它事实上不存在,不能直接测量。取而代之,制定了许多其他度量,于是放大器的 I_{p3} 使用这些度量来计算。如何把这个关键器件的性能构建在不存在的东西上面还是留给射频工程师研究吧。

3.3.3 放大器如何工作

放大器如何给输入信号提供增益是个有趣的过程。当输入信号通过放大器时,它本身并没有真正变大。实际上,输入射频信号控制 DC 功率,DC 代表直流(DC 功率或 DC 电压不同于正弦波,它是常量,不随时间变化,就像从手电筒的电池出来的电压)。类似于读者转动汽车的轮胎,当开车的时候,读者并不是真正地去转轮胎本身,而是通过称为方向盘的控制器来控制轮胎的转动。如果汽车是个放大器,司机就是输入射频信号,轮胎将是 DC 功率,方向盘就是称为晶体管的控制器,晶体管在后面的章节将会学到。在放大器中,射频输入信号告诉晶体管使直流功率恰恰反映输入信号的形状。这样,输出信号与输入信号有完全相同的形状,仅仅是变大了而已。变多大,这依赖于有多大的直流输入功率。HPA 和其他放大器的主要区别是 HPA 有更大的输入功率。

3.3.4 特殊放大器

1. 限制放大器

如果读者真的想留下射频工程师一点印象,应注意两种特殊的放大器。第一种类型叫做限制放大器,正如名字所暗示的,它限制了输出功率。这种放大器用于这种地方,如果放大器的输入功率太大时,它后面的器件将被损坏,这时就需要用限制放大器。限制放大器为下一个器件提供保护。读者可以回顾一下图 3-10,所有放大器都有些限制放大器的性质。在某个输入功率范围内,输出功率稳定。基本上可以这样说,限制放大器和其他放大器的惟一区别就是限制放大器不让发生在理论 911 点爆炸。

2. 平衡放大器

另一种类型的放大器叫做平衡放大器。它的不同之处在于设计。在平衡放大器中,有并联的两个放大器。

参考图 3-11,在平衡放大器的设计中,射频信号照常进入左侧。一旦进去,信号分成两半,一半进入一个放大器,另一半进入另一个放大器。在放大器内,这两个半信号被分别放大,然后在从右侧输出前再合到一起。从外部看,平衡放大器看起来和工作起来就像一个普通的放大器。

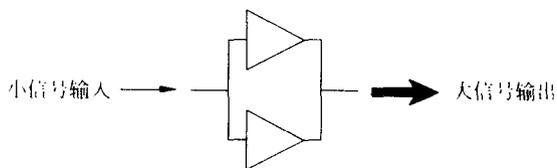


图 3-11 平衡放大器的方框图

读者肯定奇怪,为什么一个放大器就能完成,这里却要用两个。因为平衡放大器具有两个优点,这是单一放大器不能实现的:第一个优点就是如果两个放大器中有一个坏了,另一个仍然可以工作,但是性能将有所降低。平衡放大器经常用于要求高可靠性和具有容错能力的环境中。

第二个优点,就是平衡放大器比普通的放大器提供更好的匹配,读者只要记住我的话就行了,因为这一点很难解释。它们的泄漏很少,这就意味着有更好的性能,而有一些射频系统仅仅是能正常工作就行。

你知道吗?

放大器的价格变化很大。通常来说,频率越高,或者带宽越宽,或者输出功率越大,放大器的成本就越高。有超低噪声系数的放大器也很贵。举个例子,一些低成本的表

面安装的放大器仅卖 50 美分,而一些大功率、宽带宽的放大器卖到 50 000 美元。很高兴的是,射频工程师不在读者的圣诞节购物清单上。

3. 可变增益放大器

还有最后一种类型的放大器需要知道,就是可变增益放大器或 VGA。大多数的放大器有固定增益(即增益只有一个值)。一个 10dB 增益的固定增益放大器将使所有输入变大 10 倍。可变增益放大器有一个外部控制,它允许用户在预定义的范围内变化增益。所有的 VGA 都由增益范围来区分,比如 10dB~20dB。一个 VGA 就像气体范围,热量(增益)从温热慢慢变化到沸腾,外部控制就像炉子的旋钮。VGA 的方框图如图 3-12 所示,读者可以看到它只是比普通放大器多了一个穿过它的箭头。

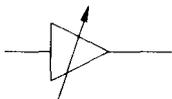


图 3-12 可变增益放大器的方框图

实际上, VGA 的外部控制很少像炉子的旋钮那样与外面相连。常常是, VGA 的控制与射频系统的某个点相连,那点感觉发生变化,然后相应地改变 VGA 的增益。器件根据系统某处的变化改变它的性能,这就叫做反馈。VGA 经常感觉到一个射频信号“顺着线路走下去”。如果 VGA 感觉到信号太大,它降低增益,如果信号不够大, VGA 加大增益。直到 VGA 感到信号合适了,就不再改变它的增益,并在那点保持它的增益。

你知道吗?

电子学有一个分支叫做反馈理论,它预测反馈电路的行为。自动调温器控制屋子里的温度就是反馈理论的一个典型例子。所有反馈电路都是以同样的方式工作,感觉输出(房间温度),然后变化输入(炉子火苗)来取得特定结果(所需要的温度)。射频系统就像所有的电子系统一样,广泛使用反馈电路。我猜测当输出太凉时,器件不会喜欢它。

3.4 滤波器

3.4.1 方框图

接下来的器件叫做滤波器(如图 3-13)。滤波器完成读者所想像的工作,它滤除所有不需要的信号。表面上看,它可以被看作是一束不同频率的信号在左侧(f_1 f_2 f_3)进入滤波器,在右

侧(f_2)只有需要的信号(以需要的频率)出来。这些不需要的信号从何而来?到处都是。

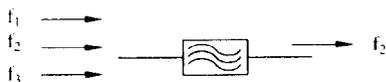


图 3-13 滤波器的方框图

3.4.2 滤波器的功能

任意时刻都有许多看不见的射频波以各种频率游荡在空气中。这些波来自于所有射频发射发生的地方,如手机、卫星通信、雷达甚至太阳黑子。所有这些游荡的波试图通过接收机的天线进入接收机,并且许多都成功了。一些信号甚至通过了 LNA,这些地方正是需要滤波器的地方,滤波器就像一个夜总会的保镖,让许多可接受的信号进入,拒绝其他所有无用信号。滤波器选择信号不是依据吸引力或是财富,而是依据频率。

在一个理想(简化的)世界,当滤波器完成它的工作时,惟一留下的信号恰恰就是需要得到的信号。但是,世界并不是理想的,这就是为什么读者经常在发射机和接收机中看到有几个滤波器。

理解接收机中滤波器的目的很简单,但是为什么发射机中也需要滤波器呢?读者很快就会了解到,在所有的射频系统中有一个很不好的器件称作混频器。这个坏器件所做的工作(在其他器件中)就是将不需要的信号(以不需要的频率)注入发射信号。但是,发射机笑到最后,因为就在信号被 HPA 放大送往天线之前,滤波器可以清除所有由混频器注入原始信号中的不需要的信号。呵呵……

FCC 的角色

在大多数情况下,联邦通信委员会(FCC)要求在发射端有滤波器。当某人被批准在特定频率发射信号时,他们被禁止在其他频率发射信号,以免把别人的信号搞乱。发射滤波器确保没有“非法”信号离开发射机。

你知道吗?

FCC 掌管分配所有在美国的无线电波传输的权利,许多年前它通过抽签方式分配蜂窝频率带宽。发现这个小策略几乎没从美国政府那里获得一元钱之后,FCC 变得精明起来了。自那之后,所有无线传输的权利都被以很高的价钱拍卖。

3.4.3 滤波器的类型

滤波器的类型太多了,以至于可以就这个题目写一本书,这正解释了为什么在这个题目

上有那么多书。但是所有的滤波器,不管它们是怎么构造的,都可以归为4种,如表3-2所示。

表 3-2 不同的滤波器类型

滤波器类型	解 释
低通	允许小于一定频率的所有频率通过,拒绝所有其他频率。就像只让矮个子通过栅栏
高通	和低频相反
带通	允许两个特定频率之间的所有频率通过,而拒绝所有其他的。就像允许身高在 5ft10in 和 6ft2in 之间的人通过栅栏
带阻	和带通相反,也被称为陷波滤波器

几种滤波器如图3-14所示。注意所有不同的形状和大小(多美丽)。就像所有其他射频材料,滤波器拥有共同的频率属性:频率越高,滤波器越小。

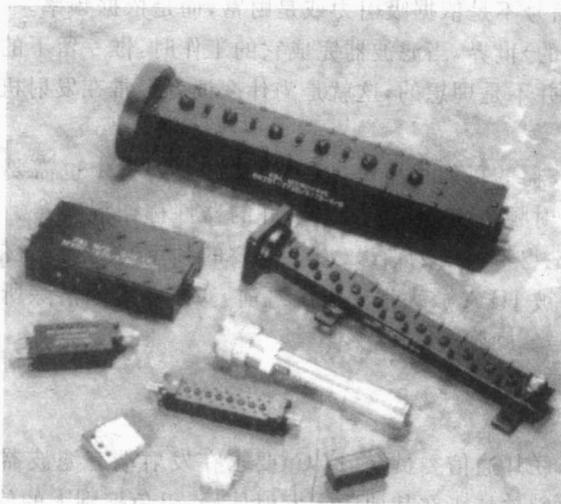


图 3-14 滤波器

3.4.4 滤波器的性能

频率响应

通常来说,滤波器是无源器件,所以不需要电源。事实上,滤波器通过改变它们的插入损耗来工作,而插入损耗是频率的函数(见图3-15)。图3-15所示称为滤波器的频率响应曲线(它还能被称为别的东西吗?)。每个滤波器都有一个频率响应,这是描述滤波器时所必需的。图3-15显示了带通滤波器的频率响应。在频率小于A点,大于B点区间,插入损耗

很高。滤波器的高插入损耗可能是 30dB,这意味着在这些频率,滤波器去除射频信号的 99.9%。相反地,A 点和 B 点之间的频率是低插入损耗。低插入损耗可能是 1dB,只清除了信号的 20%。

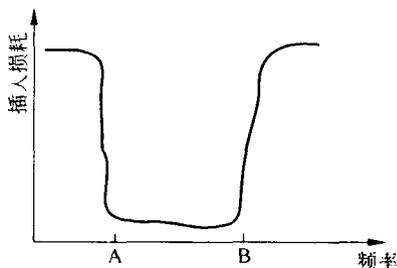


图 3-15 带通滤波器的频率响应

再次参考图 3-15,A 点和 B 点之间的频率称为通带,因为滤波器允许这个带宽的频率通过。相似地,A 点和 B 点之外的频率称为阻带。如果阻带不允许射频能量通过,这些能量将发生什么?它转化为热量,这就解释了为什么射频工程师希望在信号还是低功率(如在 HPA 前)时,对所有信号进行滤波。在很多情况下,这是可能的,但是读者很快就会知道至少在一种流行的无线系统中,这是不可能的。提示:想想蜂窝系统。

3.4.5 特殊滤波器

1. 双工机

读者可能听到过双工机这个词(或同向双工器),这是个很奇特的设备,它能把两个滤波器放入一个器件里。双工机经常用于与基站天线的连接。通过把发射机和接收机的滤波器放在同一个设备中,同样的天线既能用于发射又能用于接收,这样减少了基站所要求的天线数目。如果双工机在一个设备中有两个滤波器,读者猜猜三功器有多少滤波器?

2. SAW 滤波器

还有一种类型的滤波器应该知道,那就是 SAW 滤波器,当然它不是用木头造的切割工具。SAW 代表声表面波,这是一种奇特的描述声波的方法。记住随着频率变小射频器件变大,在一定频率以下,标准射频滤波器变得非常大。直到某一天,某个聪明的射频工程师发现如果射频信号首先转变成声音信号,滤除这种声波所需要的器件将小多了,这就是 SAW 滤波器的工作原理。首先,它们将射频信号转化为声音信号,然后它们滤出声音信号,最后它们再把声音信号转化为射频信号。

因为 SAW 滤波器的制作很像半导体,它们批量生产很便宜,所以,优先考虑尺寸小而且成本低时(不是这样的时候呢?),SAW 滤波器是一个非常好的选择,这就是为什么它们广泛用于移动电话的原因。不幸的是,由于生产限制,SAW 滤波器真正商业化的只在 10MHz 到大约 3GHz 之间。

关于一般的无源设备,尤其是滤波器,还有一件需要提及的是:放大器不是惟一的有 1dB 压缩点(P_1 dB)和一个三阶互调点(I_{p3})的器件。像滤波器这样的无源器件也有这些参数。在无源器件中,这两种参数测量的不是器件输出的功率(因为它们是无源的),而是在不引起信号失真的情况下,器件能处理的功率。读者可以想像,如果一个很大的信号输入一个小滤波器,将会出现一些坏的结果。事实上,发生的坏事就是信号变形,也就是信号大小和形状发生任何预料以外的变化。当然,如果信号相对于滤波器来说变得过大,滤波器可能会着火,这也是信号失真的一种形式。

3. 超导滤波器

如果读者回忆一下图 3-2,射频信号在传到发射器(在天线之前)的路上通过的最后一个装置就是 HPA。有时功率很大,且 FCC 的要求很严格,需要在 HPA 之后加一个滤波器,以保证输出没有干扰的信号。这在蜂窝基站的发射机输出中是很普遍的。这是一个所有的滤波都不能在低功率工作的例子。

回忆一下通带的情况,即使最好的滤波器也有一些(插入)损耗。当滤波器在 HPA 之后时,滤波损耗是一件很坏的事。它削弱了信号,这将减小无线系统的范围。但是如果有一个去除滤波器插入损耗的方法,将会怎么样?

加入超导滤波器。如果读者从不知道超导滤波器,可能知道超导是特殊材料,它表现为没有阻抗。用超导材料做一个滤波器将会怎么样?它将没有(或非常小)插入损耗。

举个例子,假定一个典型的用于蜂窝基站输出的滤波器有 0.5dB 通带插入损耗(这并不坏),基站输出 40W 的射频功率(在滤波器前)。由于滤波器的插入损耗引起的功率损耗超过 4.5W。这意味着发射机的真正输出功率小于 35.5W。

现在如果换成超导滤波器将会怎么样?比如超导滤波器只有 0.1dB 的插入损耗。读者可能在想,这有什么好处,我们仅节省了 0.4dB?但这个例子中真正的输出功率几乎是 39W,或比原来增加 3.5W。3.5W 可能听起来并不多,但事实上,它很多了。它会急剧增加蜂窝基站的传输范围,或急剧延长读者移动电话电池的使用寿命。

越来越多的超导滤波器应用于蜂窝基站,这是它们目前惟一真正的应用。它们用于蜂窝基站而不是移动电话的原因是,它们非常大。这里忽略的一点是超导滤波器工作时需要保持温度很低,比如零下几百度(摄氏或华氏)。为了使它们保持低温,必须有冷却系统。但是它们仍有经济价值,所以得到应用。

3.5 混频器

3.5.1 方框图

啊,邪恶的混频器。组成混频器(如图 3-16 所示)的数学和物理公式太复杂了,需要一个扩展页来描述。幸运的是,从概念上很容易解释它。

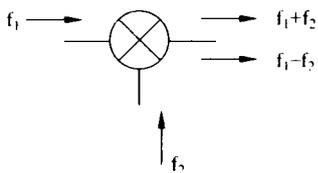


图 3-16 混频器的方框图

3.5.2 混频器的功能

1. 数学表达

混频器的目的就是改变信号的频率但保持信号的其他特性不变。表面上,一个信号在左侧以特定频率(f_1)进入混频器,另一个信号以第二个频率(f_2)进入混频器的底部,从右侧出来的是两个不同的信号。一个信号的频率等于两个信号频率和($f_1 + f_2$),另一个信号的频率等于两个信号频率差($f_1 - f_2$)。下面举例说明(见例 3-1)。

例 3-1 混频器的数学表达。

两个信号进入混频器。一个信号频率是 500MHz,另一个信号频率是 400MHz。那么从混频器出来的两个信号的频率是多少?

第一个频率可以通过两个频率相加得到

$$500\text{MHz} + 400\text{MHz} = 900\text{MHz}$$

第二个频率可以通过两个频率相减得到

$$500\text{MHz} - 400\text{MHz} = 100\text{MHz}$$

从混频器出来的两个信号的频率是 900MHz 和 100MHz。

这里提出三个问题。(1)为什么一个信号的频率需要改变?(2)现在有两个信号怎么解决?(3)什么使得混频器变得邪恶?

2. 改变频率

首先,信号的频率必须改变,因为我们在日常生活中遇到的信号是在空中传播的不同频

率的、携带信息的信号。例如,当读者讲话时,在周围引起 2kHz ($2\,000\text{Hz}$) 的声波。然而,如果读者希望用蜂窝电话打电话,声音的频率 (2kHz) 需要变换成蜂窝通信中使用的频率 (900MHz)。为了将人的语音频率搬移到蜂窝载波上,需要一个或多个混频器。

其次,在从混频器出来的两个信号中,需要去除一个不需要的信号。在例 3-1 中,如果需要的信号是 900MHz ,那么 100MHz 的信号就被删除。接下来是最危险的问题, 100MHz 的信号如何去除? 用滤波器。这就是为什么在一个混频器后恰好有一个滤波器,因为混频器输出两个信号,滤波器滤除一个不需要的信号。如果读者给它一个机会,这个信号也是有用的。

最后,为什么混频器是有害的? 如果混频器恰恰如上面所描述的那样,它们并无害处。正如读者已经学到的,在射频世界中,事情并不是那么简单。实际上,当两个信号进入混频器,输出的并不是两个很干净的信号。许多信号以各种频率出来了,这使得射频工程师发疯(想想吧,这是混频器的最大益处之一)。这些不需要的信号在工程术语中被松散地定义为噪声。一个射频系统中的噪声,或者是一个不需要的频率的信号,或者是需要的射频信号的瑕疵。混频器之所以声名狼藉,就是因为它将噪声加入到射频系统,这是混频器后有滤波器的另一个原因。

3. 混频器的其他名字

需要指出的是,混频器有时需要被称作上变频器或下变频器。如果混频器是接收机的一部分,那么它就是下变频器。如果它是发射机的一部分,读者可以推测出结果。

3.5.3 混频器如何工作

1. 三个端口

为了努力扩大读者已经很丰富的射频词汇,再介绍混频器中的两个输入和一个输出(称作端口)被称为 RF、LO 和 IF。RF 就是有高频信号(在例 3-1 中 900MHz) 的端口。IF 或称为中频,是有稍低频率的信号的端口。LO 将在本章后面讲到。正如读者所猜到的,RF、IF 和 LO 端口在它们有限的频率范围工作。在端口频率范围之外,操作混频器将会导致很坏的电子性能。正如其他射频器件一样,三个端口的频率范围越宽,混频器损耗越大,性能越差。设计混频器的射频工程师选择最窄的频率范围来完成任务。一种典型的混频器如图 3-17 所示。注意混

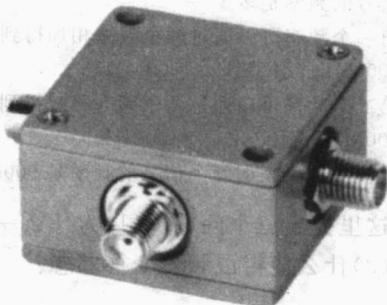


图 3-17 混频器,Mini-Circuits 提供

频器事实上有三个端口。

既有有源混频器又有无源混频器,但是说实话,95%的混频器都是无源的。虽然有源混频器有增益,这通常是件好事,但是有源混频器的性能参数低劣,所以几乎没什么人使用它们。

2. 转换损耗

就像所有的无源器件,无源混频器表现出插入损耗。现在射频工程师不把它称之为插入损耗,因为这太简单了。为了区别,混频器中的插入损耗叫做转换损耗(CL)。转换损耗是无源混频器中两个最重要的参数之一。CL越低越好。无源混频器的另一个主要参数是噪声系数(NF)(还记得噪声系数吗?)。读者认为只有放大器有NF,其实并非如此。就像LNA那样,混频器中的NF越低越好。同时,正如上面所暗示的,RF、IF和LO端口的频率范围越宽,参数CL和NF也越差,如果读者能够理解这句话的首字母简略词,就真正掌握了混频器的术语。

3.5.4 混频器的配置

1. 两级混频器

这是最后的使事情复杂化的努力。通常是在发射机或接收机中有两个混频器,在它们中间的信号是IF,最低频率的信号叫做基带信号(如图3-18)。

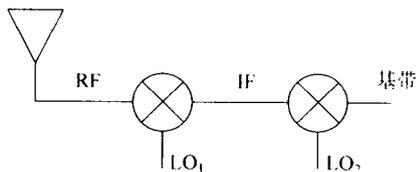


图3-18 接收机中两级混频器的方框图

注意基带信号是射频信号的低频版本。在它顶部还有信息信号。一个完整的接收机可以被认为是完成两个功能。第一个功能就是降低载波的频率,第二个功能是从基带信号取出信息信号。第二个功能将在5.3节详细讨论。这两步同样也发生在发射机中,只是顺序相反。

你知道吗?

当一个接收机在一行中使用两个混频器,如图3-18所示,它就称为超外差接收机。就如同两个五分硬币相加后称为一角。

2. 混频器类型

顺便提一下,读者应该知道混频器分为3种:单端、双平衡、三平衡。这些区别与混频器内部如何构建有关,与混频器的功能无关。上面任何关于混频器的描述,都是以一种慢而长的方式来讲述的,忽略它们,只想混频器即可。

3. 倍频器

这是与混频器紧密相连的又一个器件:倍频器。冒着对读者无礼的危险,倍频器的输出频率是输入频率的二倍。还记得混频器是如何产生各种频率不同的不需要的信号吗?倍频器用它的这种特性来使信号倍频。说得够多了。

3.6 信源

3.6.1 方框图

最后介绍信源或振荡器(见图3-19)。给混频器提供一个输入的振荡器叫做本地振荡器或LO(我猜这是用来区别位于金星的远端振荡器)。现在读者知道LO端口在混频器中的作用了:它与一个振荡器建立连接。

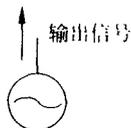


图 3-19 振荡器的方框图

3.6.2 振荡器如何工作

虽然振荡器的实际工作原理有点复杂,但是它们从概念上很好理解。接上电源之后,理想状态是输出一个完美的预定频率的正弦波信号(这就是为什么在圆圈内有一个小正弦波)。不必说,所有的振荡器都是有源器件。

振荡器就是射频最先发出来的地方。它们是射频的源。从振荡器顶部发出来的只是一个正弦波信号,如图3-19所示。图3-20是一些用于目前无线系统中的表面安装的振荡器。注意一下它们多小呀。

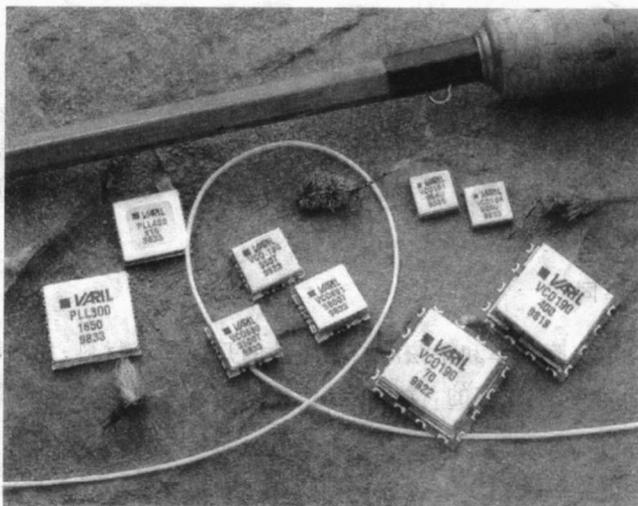


图 3-20 表面安装振荡器, VARI-L 有限公司提供

你知道吗?

几乎每个存在的实体都有自共振频率。那意味着如果读者可以用电能(或胳肢它)激发材料,这种材料将产生一个正弦波!不是开玩笑。

3.6.3 不同类型的振荡器

有许多不同类型的振荡器,可以表示为只取首字母组成的字母表,详细情况见表 3-3。这些振荡器中的每一个都有相同的目标:在给定条件下(温度、频率等)提供最完美的正弦波。引起问题的正弦波是非理想的,需要使用额外的滤波器。

表 3-3 振荡器类型

缩写词	振荡器	用途
DRO	电介质共鸣振荡器	精确的高频
DTO	电介质调谐振荡器	可变的电介质共振器
OCXO	恒温晶体振荡器	精确的,带有内置恒温箱
SAW	表面声波	低损耗小型号
TCXO	温补晶体振荡器	准确的温度控制
VCO	压控振荡器	可变频率
VCXO	压控晶体振荡器	非常准确而且可变
XO	晶体振荡器	非常准确
YIG	钇铁石榴石	准确,甚高频

1. 使用不同振荡器的原因

选择何种振荡器取决于对正弦波完美的要求。自然地,正弦波越完美,振荡器越昂贵。实际的正弦波要求由系统要求决定。例如,数字无线通信系统,如新的蜂窝电话,对来自LO的理想正弦波的要求,比调频广播站的通信系统的要求高。LO正弦波的不完美性显示为系统噪声,使系统性能降低。

2. 振荡器为何不同

在振荡器内,决定实际频率和正弦波的完美性的是一些小材料,如陶瓷或晶体。确切的频率是由材料的成分和大小决定的,读者现在应该知道所需要的频率越高,给定材料越小。

你知道吗?

有一种振荡器叫做YIG振荡器。YIG代表钇铁石榴石,这是冶金学的化合物,正好可以产生难以置信的完美正弦波。至于射频工程师是如何偶然发现这种珍品的信息的,就超出了本书的范围。

3. 如何确定频率

振荡器应该具有什么频率?为了回答这个问题,读者可以回顾一下混频器的操作。混频器加减频率,在发射机中是用来在射频信号从天线发射之前,提高它的频率。在这种情况下,混频器把两个频率加到一起(而不是相减)。如果进入混频器(IF)的信号是400MHz,我们需要输出的信号(射频)是900MHz,那么LO的频率是多少呢?我将等待读者计算。答案是500MHz。但是混频器得到两个频率,不需要的频率(100MHz)被滤波器去除,这读者已经知道了。

3.6.4 特殊振荡器——压控振荡器

一种特殊的振荡器通常称为压控振荡器或VCO。VCO就是可以对应输入电压变换输出正弦波频率的振荡器。VCO的方框图如图3-21所示。

它们如何工作

随着作用于VCO的电压变化,VCO的输出频率改变。不像一个固定频率的振荡器,VCO有一个可操纵的频率范围。所有规则也适用于VCO:频率范围越宽,振荡器越贵,性能越差。在这种情况下,性能差指的是正弦波的不完美性。当射频工程师设计一个需要VCO的系统时,就选择一个足够宽的频率变化范围的振

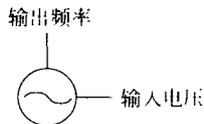


图 3-21 压控振荡器(VCO)的方框图

荡器来满足要求,但 VCO 的频率不能更宽。

射频系统中 VCO 用在哪里?正如读者在后面的 5.3 节将会学到的,有一种调制叫做频率调制或 FM,这是应用在调频广播信号中的调制。频率调制通过使信息无线发射,同时通过使射频载波的频率变化将信息加载到射频载波中。读者认为射频系统中用什么设备来改变射频载波的频率?提示:参考图 3-21。

3.6.5 合成器

1. 使用反馈

还有一种设备与振荡器有关,称为合成器。在一些情况下,从普通振荡器出来的正弦波不够完美。最后,射频工程师发现如果振荡器与其他电路结合起来,利用反馈,可以使正弦波更完美,这就是合成器的功能:一个振荡器加上一些其他使用反馈的电路来产生完美的正弦波。

2. 锁相环

正如以前提到的,在电子系统中的反馈只是感觉某些器件的输出,如果输出不正确,就改变它的输入使它正常。这是合成器工作的基本原理,通过感应振荡器的输出,并且如果正弦波不够完美的话,在振荡器内部稍微改造一下来改善它的性能。当合成器执行反馈时,它们有时称为锁相环或 PLL。

实际生活中的合成器非常复杂,也很昂贵。它们可以完成许多功能而不仅仅是反馈。合成器的一个功能就是完成频率的可编程性。合成器的输出频率可以是渐变的,也可以从一个离散频率迅速变到另外一个频率。由于这些离散频率,一个合成器就像一个内部装有几个不同频率振荡器的盒子。系统可以选择合成器输出哪个频率,这样,合成器可以即时转换到不同(振荡器)频率上。这种在两个不同频率间迅速转换的能力在保密军事通信中很有用,在最新的数字无线通信中也有用。

3.7 快速回顾

3.7.1 发射机和接收机方框图

为了快速回顾前面讲到的内容,使用如图 3-2 和图 3-1 所示的射频信号穿过通用发射机和接收机的方框图说明之。这里重复这两个图是为了方便,见图 3-22、图 3-23。

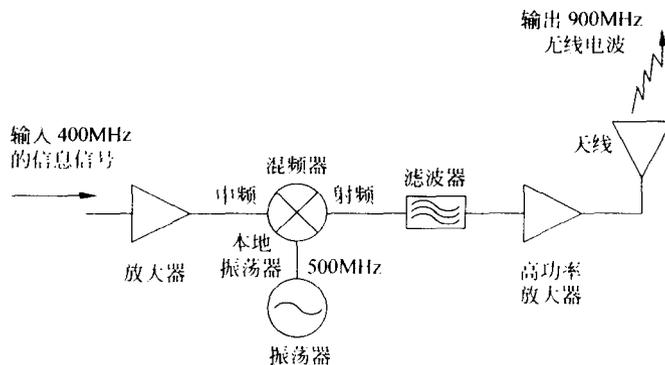


图 3-22 发射机方框图

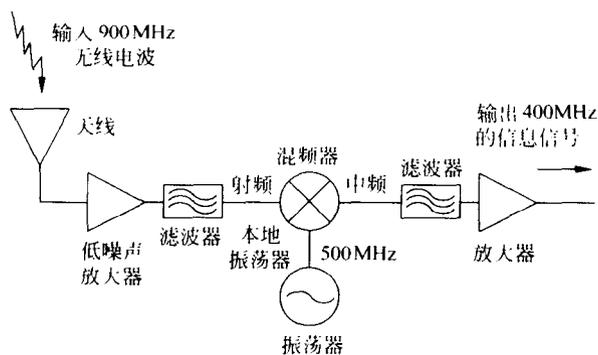


图 3-23 接收机方框图

3.7.2 回顾

1. 发射机

从图 3-22 的发射机开始,电源连到振荡器,输出一个 500MHz 的完美正弦波。接下来,输入另一个已经装载要发射的信息(400MHz)的信号。首先放大输入的 400MHz 信号,因为它对于混频器的使用来说可能不够大。在这种情况下,混频器是一个上变频器。从混频器出来两个信号 900MHz 和 100MHz,由于这是发射机,更低的频率将被随之而来的滤波器去除。最后,信号进入天线(如导线上的电流)之前通过 HPA 放大,以不可见波输出,通过空气传播。

2. 天线

如果天线是全向天线,那么发射信号到处传播;如果信号足够大,并且没有障碍物,信号

将会进入指定接收机的天线。注意：信号也会进入非预定的天线束，比如邻居的蜂窝电话。事实上，信号同样到达了非预定接收机，但是此后信号将停止了，因为在蜂窝电话内的数字信号处理器(DSP)会忽略非预定信号。DSP功能的一个简要的回顾在7.4.1节中介绍。

3. 接收机

预定接收机天线将不可见波转化成导线上的电流。信号由于路径损耗和吸收变弱。在它发挥作用之前，需要将它变大(放大)。所以它被送进LNA，此后它就大得可以被“看见”，然后滤波器去除所有通过天线进入的不需要信号(噪声)。

现在，通过从900MHz信号中减去500MHz恢复原始400MHz信息信号。这是通过给另一个混频器(下变频器)发送信号来完成的，此信号是由与发射机相同频率的振荡器反馈回来的。混频器的输出将得到两个信号(和与差)，一个是1400MHz，另一个是400MHz。高频信号通过滤波器去除。最后，因为信号已经通过阻碍，所以它利用最后一个放大器有了一点增大。原始400MHz信息信号通过无线方式从一点移到了另一点。生活是不是更精彩？

你知道吗？

对于一个被正确接收的无线信号，它并不需要非常强大。由于无线通信系统的路径损耗和吸收，接收信号通常是百万分之一瓦的数量级(称为微瓦)。它是看不见且极小的，但是非常有用。我喜欢射频。

第4章 其他器件

除了以前章节讲到的5个基本器件外,在射频系统中还有许多其他器件。其中一些器件非常容易理解,另一些则不然。这些器件大部分完成一个或两个目标。它们从不同方向或多个方向发送射频信号,或者改变信号的大小和形状。所有这些“其他”器件在射频系统中有效地合作,并最终完成无线通信。记住,任何时候的目标都是获取正好大小且仅有一个频率的理想正弦波。

本章将讲述11个用于射频系统的器件及其衍生件。开关、分配器、组合器、耦合器、循环器、隔离器,在系统内的一个或多个方向上重新路由选择射频信号。这些器件的一个主要设计目标是在重新路由选择信号时,使插入损耗最小化。另一方面,在保持射频信号形状的同时,衰减器、变换器、检测器、移相器和相位检测器改变射频信号的大小和本质。就像前面章节所讲到的器件,这些其他器件中的每一个都可以用来优化一个或两个主要参数。至少可以给出一个它们被用在无线系统中的例子。

和第3章中讲过的5个器件不同,本章列出的器件通常由很少的公司生产,因为它们不常用。这为生产这些器件的小型厂家提供了一个规模虽小,但利润丰厚的商机。

还有一些其他用于射频的深奥的器件超出了本书的范围(如果读者真想了解它们,那么先读一个工程学位)。本章的目的是想让读者了解除了用于发射机和接收机的5个基本器件,射频电路有多么复杂。

4.1 开关

4.1.1 方框图

开关的方框图见图4-1。

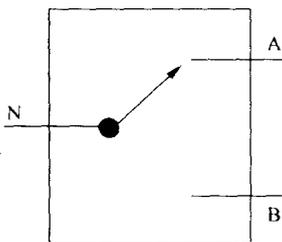


图4-1 单极双掷开关方框图

4.1.2 开关的功能和性能

1. 功能

开关完成读者所想像的工作：它们改变射频信号的路径，就像火车铁轨的转辙器。参考图 4-1，除非在最后被转到轨道 B，否则一个顺着轨道 N 传输的射频信号将被引导至轨道 A。一个有趣且需要注意的事情是，一些开关可以双向工作。任何在两个方向上工作得很好的器件通常被称为双向的。如果在图 4-1 中的开关是双向的，那么两个火车（射频信号）能同时从轨道 A 和 B 过来，但是只有一个连到 N 的能通过。所有开关都是有源设备（也就是说它们需要一定的功率来实现功能）。

2. 性能

当设计射频开关时，射频工程师需要注意两个关键性能参数。第一个重要的性能参数是损耗。射频开关有两种不同的损耗。在图 4-1 的例子中，一个射频信号从 N 到 A 将会经历一些损耗。从 N 到 A 的路径是低损耗路径，射频信号所经历的损耗叫做插入损耗（记得插入损耗吗？）。在射频开关的（闭路）低损耗路径中插入损耗是 1dB 或者更小。另一方面，如果 N 点信号想到达 B，将不会成功，因为从 N 到 B 的路径是开路，所以是高损耗路径。可以这样想，开路同样也有插入损耗（只是比闭路的要高）。但是，射频工程师终归是工程师，感到有必要把这个开路中的“高”插入损耗称为绝缘。开关中的绝缘可以被看成是开路的插入损耗。射频开关中的绝缘由许多因素决定，但是最小的有用绝缘大约是 20dB。

几乎在每种情况下，射频工程师总想要设计出有尽可能低的插入损耗和尽可能高的绝缘的开关。同射频中的其他器件一样，射频开关也可制成有超级低插入损耗和（或）超级高绝缘（这取决于价格）。

另一个重要的性能参数就是转换速度，它可以用来测量开关从一个位置转换到另一个位置所需要的时间。通常地，对于一定价钱及给定使用开关的类型，射频工程师需要尽可能快的转换速度。

4.1.3 开关的类型

1. 机电开关

在射频系统中，有两种基本类型的开关：机电的和固态的。机电开关类似于食堂里控制灯的墙壁开关。在机电开关中，控制信号在交换过程中引起接触，改变物理位置。机电开关的优点就是它们可以处理高功率射频信号，因为它们的插入损耗很低，而且绝缘很高。由于这个原因，它们经常用于射频测试设备中。相比之下，关于机电开关的其他性能都是坏

的。它们又大又沉,转换速度慢,损耗又高(此外,它们还很可怕)。机电开关的转换速度在毫秒数量级(千分之一秒),这在射频世界中是永恒的。图 4-2 展示了 3 个机电开关。

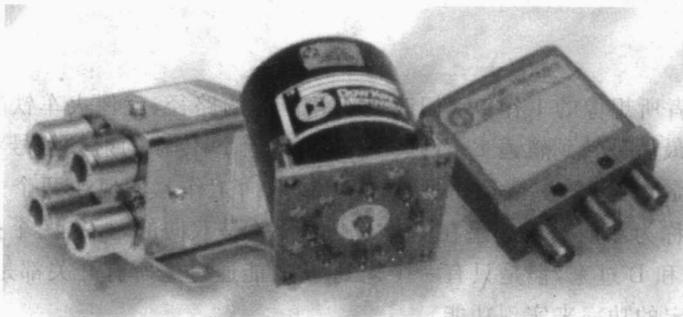


图 4-2 机电开关,Dow-Key 微波公司提供

2. 固态开关

另一种开关是固态开关,这意味着这种开关的核心是某种半导体设备。和机电开关不同,当这种开关转换时,在固态开关内没有东西真正动。这使它们工作非常快,尽管它们不能像机电开关那样处理大信号。固态开关的转换时间是纳秒级的(十亿分之一秒)。固态开关如图 4-3 所示,它由二极管或晶体管做成,读者将会在第 5 章半导体中学到这些。为什么有两个选择?因为二极管开关的插入损耗很低,而晶体管做成的开关速度极快。

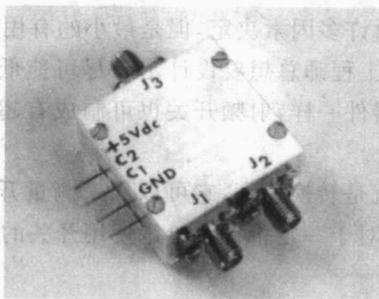


图 4-3 固态开关,JFW 企业提供

3. 电极和射程

所有的射频开关按照电极和射程分为不同类型(听起来像奥运会)。参考图 4-1,开关中央的大圆点称为电极。电极就是连接开关活动部分的铰链。一个开关可以有一个或多个电极。本质上说,每个电极代表开关内一个分离的开关,但是,单个开关内不同电极不是独立的,它们同时进行转换。

射程是开关可以转换的不同位置。在图 4-1 中,开关可以被掷在两个不同的位置 A 和 B,因此开关是两掷开关。事实上,图 4-1 中的开关称作单极双掷开关。一个开关可以有任意的掷程。一个 10 掷的开关可以有 10 个位置转换,从 A 到 J。一个双极双掷(DPDT)开关的方框图如图 4-4 所示。注意到,它有两个电极(大圆点),每个电极可以两掷(位置),因此,是双极双掷。

这里有个有趣的问题。如果双极双掷开关缩写成 DPDT,图 4-1 中的单极双掷开关将怎么缩写? SPDT。还有个复杂的,单极四掷开关怎么缩写? SP4T。我认为我已经把这个讲透了,因此我想读者可以推测出任何读者未来可能遇到的开关的缩写,这还是值得的。

你知道吗?

有一种射频开关叫做单极单掷(SPST),这意味着开关有一个输入(单极)且只有一个输出(单掷)。这引出了问题,当 SPST 开关没有接到一个输出上,而射频信号加到输入上了,信号将往哪里走? 信号被反射,这就是为什么 SPST 开关只用在低功率应用中。

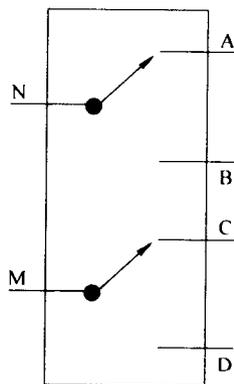


图 4-4 双极双掷开关方框图

4.1.4 系统应用

射频系统中的开关在哪里? 假设一个蜂窝电话想用它的天线既接收又发送。电话将使用 T/R 开关,天线连接到 N 路径,接收机连到 A 路径,发射机连到 B 路径,如图 4-5 所示。而且,每次信号进入时(对方在说话),将天线转换到接收机路径上,每次信号出去时(读者在说话),将它转换到发射机路径上。

T/R 开关不仅能很好地工作,而且省去了再用一根天线,而且那恰恰就是许多手机工作的真实情况。

任何既连到发射机又连到接收机的开关如图 4-5 那样,被称为发射接收开关,或简称 T/R 开关。

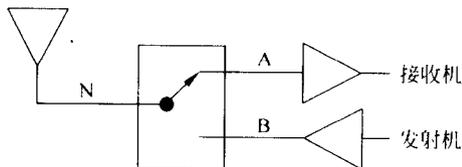


图 4-5 位于天线、发射机和接收机之间的 T/R 开关

4.2 衰减器

4.2.1 方框图

衰减器方框图见图 4-6。

4.2.2 衰减器的功能

衰减器就是反放大器。通用衰减器的方框图如图 4-6 所示。很难相信的是,有时在无线系统中补丁信号太大,这就需要引入衰减器。通过衰减使信号变小。读者可以回忆一下前面的章节,衰减是插入损耗的结果。衰减和插入损耗是等价的。衰减器允许射频工程师在电路中安装一个已知量的插入损耗。

表面上看,一个大的信号在左侧进入衰减器,在右边以一个更小的信号离开。其他的信号跑到哪里去了?读者现在应该知道了:热量。这就是为什么衰减器总是伴随着最大的功率比率。它说明了在衰减器不熔化的情况下能处理的最大的射频输入功率。衰减器也可以由图 4-7 所示的方框图说明。

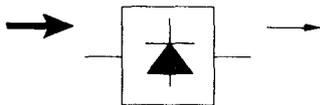


图 4-6 通用衰减器的方框图

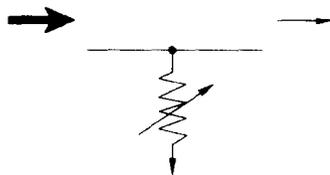


图 4-7 通用衰减器的另一种方框图

为了证明一般射频工程师的复杂个性,在一些射频系统中放大器后立刻跟随一个衰减器。现在谈谈工程师的犹豫不决。他们不能决定是否需要一个更大或更小的信号。其实这样做有电路方面的合理原因,但是其解释超出了本书的范畴,而且可以简单认为射频工程师就是很令人费解的。

4.2.3 衰减器的类型

1. 固定衰减器

衰减器可以分为两种类型:固定的和可变的。正如名字所暗示的,固定衰减器,使信号经受固定量的损耗,以 dB 来度量。有时固定衰减器被称为常量衰减器。一个典型的固定

衰减器可能会表现出 3dB 的插入损耗,因此是 3dB 衰减器。在这个例子中,出来的信号是进去信号的一半大小(-3dB 等于除以 2)。一对固定同轴衰减器如图 4-8 所示。注意到它们就像金属圆柱块,这就是它们的本质。固定衰减器是无源器件。



图 4-8 固定同轴衰减器, JFW 企业提供

2. 电压可变衰减器

另一种衰减器叫做可变衰减器。可变衰减器允许射频工程师在任何时候通过使用外部控制,来控制确切的衰减(插入损耗)量。有两种不同类型的可变衰减器:电压可变衰减器(VVA)和数字衰减器,两者都是有源器件。

电压可变衰减器在给定衰减范围内变化衰减,受外部控制电压控制(我猜那是为什么称它为电压可变衰减器的原因)。例如,一个 VVA 可以标注为衰减范围是 2dB~30dB,这意味着通过变换控制电压,可以得到从 2dB 到 30dB 的任何连续插入损耗。如果需要的话,它甚至可以调整到 π 衰减(3.14dB)。VVA 被用在系统中需要插入损耗的地方,通常用在和反馈的连接中。

3. 数字衰减器

另一种可变衰减器是数字衰减器。不像 VVA 的单输入控制,数字衰减器有多个输入控制,每个控制不同的衰减量。最容易的理解就是把数字衰减器看成是一束固定衰减器,它们都在一排,可以在任何时候换进电路或者换出电路。精妙之处在于每个随后的“固定”衰减器是前面衰减器的两倍衰减量。快速看一下图 4-9 将会把事情解释清楚。

一个射频信号在左侧进入数字衰减器,在它从右侧出去之前,通过了 4 个固定的衰减器。如果信号通过的每个衰减器处于开启状态,每个衰减器就产生显示的衰减量;如果衰

器处于关闭状态,衰减的值是零。每个衰减器通过各自的控制行 ABCD 进行开关。这样信号经历的总衰减可以从衰减器全关掉时的 0dB 变到全开启时的 30dB。但是注意到,衰减值并不是连续地从 0dB 变到 30dB。它不能够在两个端值之间取任意值,只能是通过 4 个衰减器的不同组合的相加。例如,衰减 20dB 是可能的(通过关掉 2dB 和 8dB 衰减器,打开 4dB 和 16dB 衰减器),但是,哎呀,πdB 的衰减是不可能的。要想得到一个衰减值需要一个 VVA。

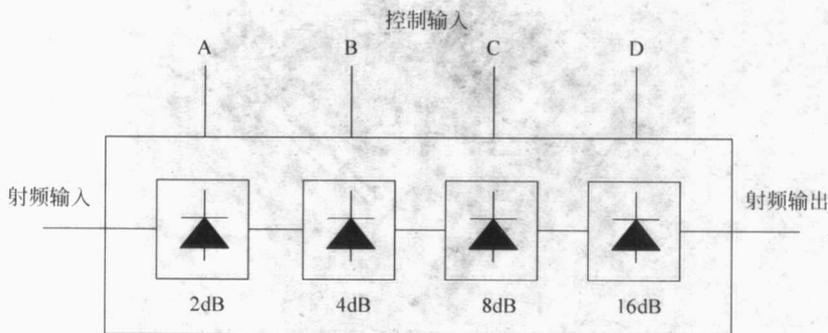


图 4-9 数字衰减器方框图

数字衰减器可以被同类型的在计算机内的信号控制,这就是为什么当射频工程师想在电路中编程衰减量时使用数字衰减器。一个数字衰减器如图 4-10 所示。从外部看不到什么,但是内部却是非常复杂的电路。同时,比较图 4-10 的数字衰减器和图 4-8 中的固定衰减器。它们看起来区别很大,很难想像它们都是衰减器。

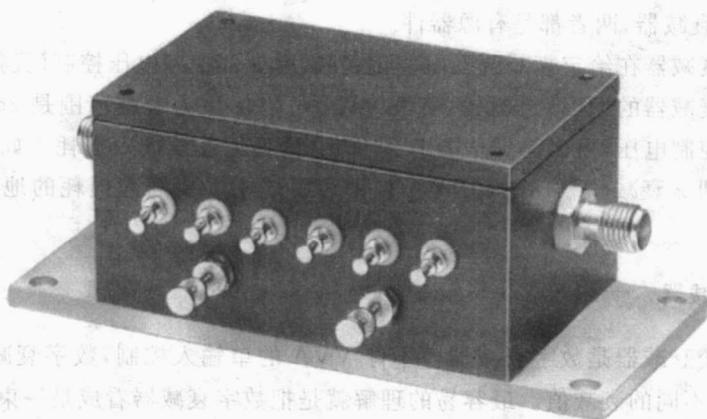


图 4-10 数字衰减器,Mini-Circuits 公司提供

各种类型的衰减器的主要参数就是准确性。无论是固定的还是可变的,衰减值不仅要求量的确切值,而且衰减值不能随时间、温度或其他因素改变。

4.3 分配器和组合器

4.3.1 方框图

分配器方框图见图 4-11。

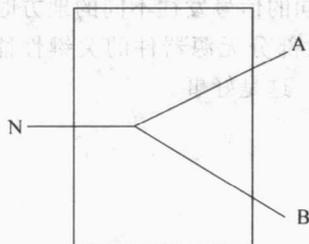


图 4-11 两路功率分配器方框图

4.3.2 分配器和组合器的功能

分配器负责信号分配。表面上看,一个信号顺着路径 N 游荡(看图 4-11),信号功率的一半顺着路径 A,而另一半顺着路径 B。信号被分成了两部分。它的形状保持不变,但是功率减小了。分配器也叫做功率分配器。

分配器可以被分成两个或更多个部分。4 路的功率分配器还有路径 C 和 D,原始信号的 1/4 功率进入每条路径。分配器在所有的输出中,均匀地分配输入信号。

如果反过来,两个不同的信号通过路径 A 和 B,那么信号在路径 N 将成为两个信号的组合。读者认为射频工程师管这个反向分配器称作什么?组合器。一个双路功率分配器(组合器)如图 4-12 所示。所有的功率分配器和组合器都是无源器件。

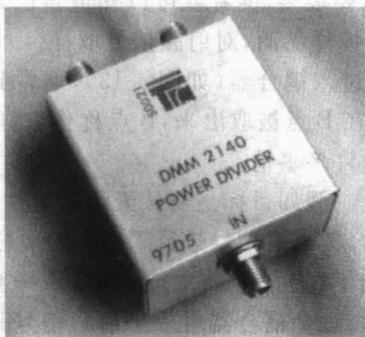


图 4-12 双路功率分配器,TRM 有限公司提供

4.3.3 系统应用

为什么需要分配器？可能是无线系统在同一个地方需要使用两个相同的发射机（不要问为什么）。两个发射机需要两套东西，包括两个功率放大器、两个混频器、两个信号源等。如果单独使用一个振荡器，它的输出分成两部分（通过分配器）。一个信号送到一个混频器，另一个信号送到另一个混频器。假定分配器比振荡器便宜，这就减少了硬件的成本。在射频系统中，当射频工程师想把相同的信号发往不同的地方时，就使用分配器。

组合器和分配器以及其他大部分无源器件的关键性能参数是插入损耗。插入损耗越低，信号通过器件的能量就越多。这是好事。

4.4 耦合器

4.4.1 方框图

耦合器方框图见图 4-13。



图 4-13 定向耦合器方框图

4.4.2 耦合器如何工作

为了理解耦合器是如何工作的，我将用品酒来进行类推。在买一瓶昂贵的葡萄酒时，读者需要品一下样品。样品不需要很多，读者就可以知道自己是否需要享受整瓶酒。这就是耦合器工作的原理：仅仅替换掉样品酒，对射频信号取样。

表面上，一个信号在 A 点进入耦合器（如图 4-13），通常到达 C 点。此外，当它从 A 到 C，信号的一小部分被虹吸掉，在 B 点被取出来，B 点称作取样端口。B 点信号是取样信号。对取样信号做些什么呢？要做许多事情。

想像一下射频信号有颜色。假如目标是要从天线发射一个橙色的信号。在信号辐射出来之前，在天线前放置一个耦合器来对信号进行采样。只要样本是橙色的，就万事大吉。但是如果耦合器采样的信号变成了红色怎么办？在这时，采样会告诉电路的其他部分准备黄色，这恰恰就是耦合器的作用。一个耦合器对一个射频信号采样，如果有什么不对的地方，返回时就告诉其他器件进行改变。如果读者用心了，就会认出来这可解释为反馈。在射频

系统中耦合器经常用作反馈电路的一部分。一个定向耦合器如图 4-14 所示。耦合器是无源器件。

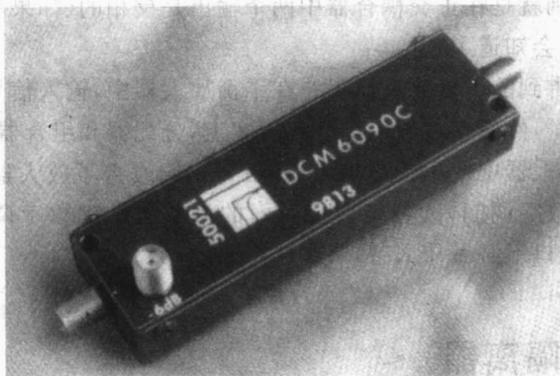


图 4-14 定向耦合器, TRM 有限公司提供

4.4.3 耦合器的类型

1. 定向和双向耦合器

上面讨论的耦合器是定向耦合器,这意味着它有一个采样端口,只在一个方向工作。定向耦合器的堂姐妹是双向耦合器。双向耦合器在两个方向上工作,有两个采样端口(由于射频的离奇本质,需要分离的采样端口来采样相反方向传播的波)。

另外可以把定向耦合器看成是双路的分配器,其中功率被不均匀分配:99%的功率到达输出,1%到达采样端口。

除了插入损耗,定向耦合器的关键性能参数是耦合准确性。为了使耦合器工作正常,必须确切地知道从采样端口出来的信号量,不能随着频率、时间、温度或其他因素变化(影响因素不能太多)。

2. 正交耦合器

就在读者认为已经掌握了耦合器这个领域时,射频工程师们又发明了一个全新类型的耦合器,称作正交或兰格耦合器,也称作正交混合。不像定向耦合器带有采样端口,正交耦合器几乎和双向功率分配器完全一样。它们的输出功率在两个输出间被均分。兰格耦合器的方框图如图 4-15 所示。

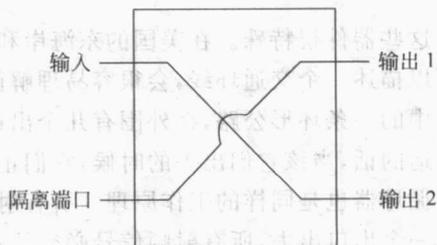


图 4-15 兰格耦合器方框图

在正交耦合器和双向功率分配器间一定有些区别,对吧?是的,这也正是射频的精妙之处,但对它的进一步描述超出了本书的范围;这并不会阻止我来解释它。在双向功率分配器和正交耦合器间的区别就是在正交耦合器中两个输出是反相的(如果不明白这是什么意思,不要着急,因为很快就会知道了)。

还记得前面章节讲到的平衡放大器吗?在平衡放大器中,输入信号被分成两部分,通过两个并联的放大器发送,然后在输出端汇合。事实上,分配器和组合器是正交耦合器。为了使事情简化,在平衡放大器中使用正交耦合器,因为它们改善了放大器的匹配性(还记得匹配吗?)。它们也用于数字调制,读者将会在后面的章节中学到数字调制。参考图 4-15,作为一个信息点,隔离端口不必做什么事,只是迷惑人的。

4.5 循环器和隔离器

4.5.1 方框图

循环器方框图见图 4-16。

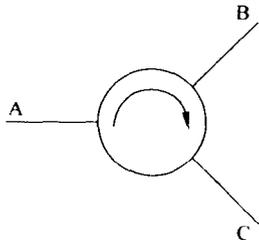


图 4-16 循环器方框图

4.5.2 循环器如何工作

这些器件很特殊。在美国的东海岸和欧洲的城市,汽车有时会被交通环线困住,如果读者可以描述一个交通环线,会很容易理解循环器的。一个交通环线或交通环岛就是在高速公路中的一条环形公路,在外围有几个出口。所有汽车都以同一方向绕着环形行驶,如果它们幸运的话,当该它们出去的时候,它们正好在环形的外部。循环器的方框图如图 4-16。

循环器也是同样的工作原理。所有射频信号以同样的环形方向传输(见箭头),但是只能从一个出口出去,所有射频信号必须从它们遇到的第一个出口出来。例如,一个射频信号在 A 点进入循环器,顺时针绕圆环必须在 B 点离开。这些是规则。一个循环器在图 4-17 的右侧。看到三个连接(端口)了吗?

循环器是如何工作的？建立在电磁定律基础上，循环器结合磁铁和一种特殊类型的材料即铁素体来完成这奇特的功能（铁素体是磁场里的一种材料）。现在读者在社交谈话中随意地说出铁素体这个词，可以给朋友留下深刻的印象。

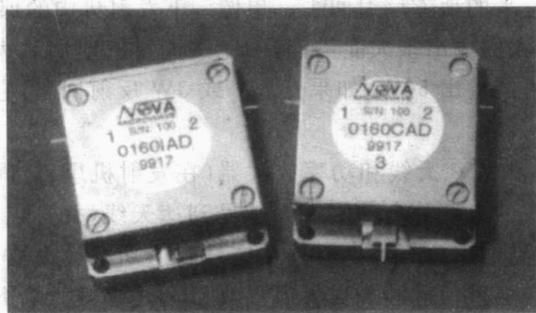


图 4-17 隔离器和循环器, Nova 微波公司提供

4.5.3 系统应用

在射频系统中,循环器用在哪里? 回头想刚才的那个例子,开关是用来连接天线和收发机的。如果开关被换成图 4-18 中的循环器将会怎么样?

如图 4-18 所示,依照循环器的规则,任何从天线进来的信号顺着循环器的特定路线到达预定的接收机。任何从发射机出来的信号顺着循环器的特定路线到达预定的天线。最后,从接收机出来的信号,等一下,不应该有任何信号从接收机出来。循环器就像一个智能开关,不必实际去转换什么。顺便提及一下,循环器是无源器件。

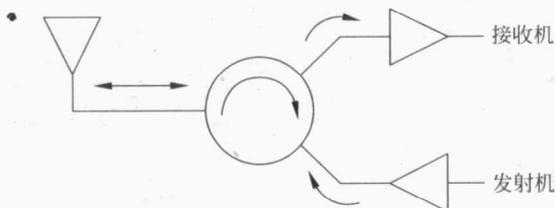


图 4-18 天线、接收机和发射机之间的循环器

4.5.4 隔离器

有一种特殊类型的循环器,其中 3 个端口中只有 2 个可使用,称作隔离器。事实上,第三个(没使用的)端口被充入一块某种材料(称为电阻或负载),惟一的目的是分散热量。它被称为负载的原因是它使电路断开。回顾一下关于匹配的讨论,如果电路是开路,射频能

量将被反射回去。负载不是使能量反射回来,而是接收射频能量,然后将其全部转化为热量。好了,我解释了我对循环器的认识,但是隔离器有什么用途呢?

回到匹配的讨论上,当两个射频器件连接在一起,一些射频能量将泄漏。事实上,它并没有泄漏出去,而是从它来的地方反射回去。想像一下发射机中的那点,在那点上功率放大器连到天线上。功率放大器输出很大能量,其中一些能量反射回放大器。功率放大器就像是学校里的暴徒,它们可能输出 50W,如果有 2W 或 3W 反射回来,它们就会哭着去找原放大器。有的会由此发生爆炸。

图 4-19 表示了一个放置在天线和功率放大器(在发射机里)之间的隔离器。在这种情况下,从功率放大器出来的大部分高功率射频信号到达天线,并且以不可见波输出。但是,有一小部分从天线反射到功率放大器。但是在信号到达功率放大器引起损耗之前,信号由隔离器引导进入负载,在那里信号被无损害地以热量形式驱散。隔离器通过将反射能量与射频设备隔离,来保护射频设备免受反射射频能量损害。图 4-17 的左侧为隔离器。

隔离器和循环器的主要性能参数是插入损耗。射频工程师希望插入损耗尽可能小,只有很小一部分信号损耗(以热量形式),大部分的信号达到目的地。

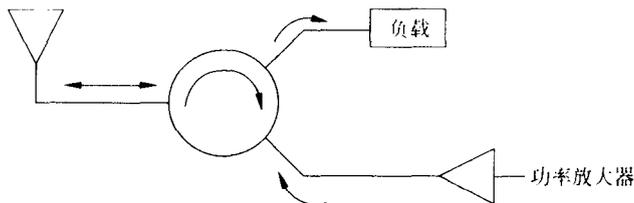


图 4-19 功率放大器和天线之间的隔离器

4.6 变换器

4.6.1 方框图

变换器方框图见图 4-20。

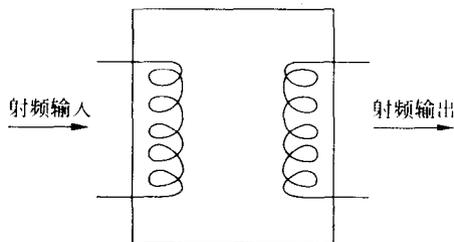


图 4-20 变换器方框图

4.6.2 变换器的功能

在关于匹配的讨论中,提到了对于所有的器件有一个标准的输入和输出的大小,是 50Ω 的阻抗。当一个设备的输出和另一个设备的输入阻抗都是 50Ω 时,两个设备就直接连起来,稍微有些不匹配(泄漏)是可以容忍的。但是,有时一个设备的输入或输出和 50Ω 相差很远,却又和另一个正好有 50Ω 输入的设备相连接,将导致严重的不匹配(泄漏)。在这种情况下需要一个匹配电路,所以采用变换器。它可以将错误的阻抗(可能是 100Ω)转换成正确的阻抗(50Ω)。这样带有错误阻抗的设备可以被利用起来。变换器就是由阻抗匹配电路代表的实际设备,在图 2-6 中用图形表示。变换器的方框图如图 4-20 所示。

回顾一下与花园里的软管类比,想像着试图将两个大小不同的软管连在一起。为了使大软管适应小软管,需要在两个软管中放置变换器,这正是射频变换器的功能。两个小的表面安装变换器,如图 4-21 所示。如果读者仔细观察,读者可以看到电线卷成一圈,这就是图 4-20 曲线所代表的。

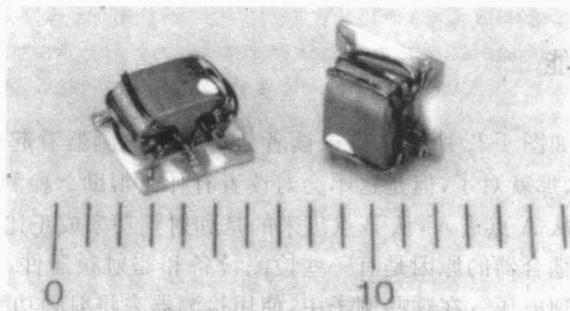


图 4-21 表面安装变换器,Coilcraft 有限公司提供

你知道吗?

在射频世界,前缀“trans”使用太频繁,所以射频工程师缩写成字母“X”。所以,变换器一词缩写成 xformer,发射机缩写成 xmitter,依此类推。现在读者可以将射频 xlate 转换成英语。

阻抗比

正如读者可以想像的,有许多错误的阻抗输出,所以有各种不同的变换器。变换器的主要性能参数是它的阻抗比。阻抗比指示变换器可以将什么样的错误阻抗变成正确的。如果阻抗比是 $2:1$,那么变换器可以将 100Ω 变换成 50Ω 。因此,当错误阻抗是 100Ω 时,应该使用一个 $2:1$ 的变换器。

变换器还有其他用途,但是它们更多地依赖于电子器件的精细。为了本书,最简单的办

法是将它们忽略。在射频世界中,变换器经常被用来转换阻抗,这是思考它们的最好方式。

4.7 检测器

4.7.1 方框图

检测器方框图见图 4-22。

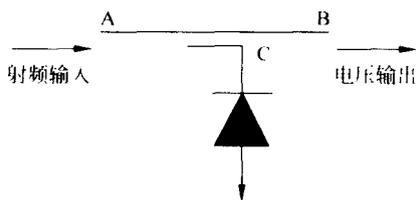


图 4-22 检测器方框图

4.7.2 检测器的功能

检测器的方框图如图 4-22 所示。如果读者认为一个检测器看起来像是一个耦合器和衰减器之间的十字架,那就对了,但是这不会对读者有什么帮助。检测器主要是功率到电压的变换器。射频功率从 A 点进入,从 B 点出来的是和射频功率成正比的电压。

使用检测器代替耦合器的原因是有一些检测设备和非射频器件,非射频器件不能直接处理功率但是可以处理电压。在这些例子中,使用检测器来将射频功率转化为电压,然后将电压送到其他地方(在射频系统内或是一片检测设备),这样可以基于电压作一些判断。

如果读者想知道检测器看起来像什么,看看图 4-8 的固定衰减器。它们看起来几乎一模一样。事实上,就连射频工程师有时也会将它们弄混,这可以作为电路趣闻。

4.8 移相器

4.8.1 方框图

移相器方框图见图 4-23。

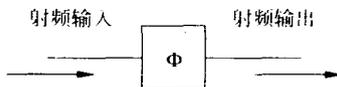


图 4-23 移相器方框图

4.8.2 移相器的功能

读者的耐心现在将会得到回报。这里读者将会学到“反相”是什么意思。首先,读者需要知道正弦波有一个相位。正弦波的相位用度数来度量,一个完整的周期覆盖 360° 。参见图 1-2,从 A 点到 E 点就是 360° 。

在移相器中(它的方框图如图 4-23 所示),输入信号作为参考信号,输出信号随着输入信号改变相位。想像在一个测试设备上看到两个信号,输入信号在上,输出信号在下,如图 4-24 所示。如果移相器改变输出 0° (没有相移),两个正弦波将恰好互相重合(在图的左侧)。在这种情况下,两个信号“同相”。当相移增加到 90° 时,从检测设备上看输出信号将左移四分之一波长(图形的右侧)。这两个信号相差 90° 。

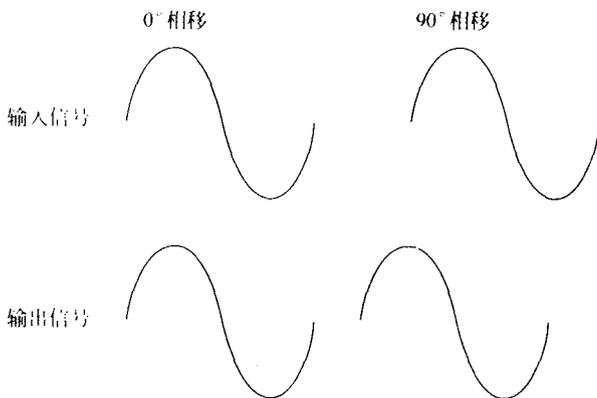


图 4-24 移相器举例

由于许多很显然的原因,能根据另一个信号准确控制一个信号的相位是很有用的,这就是移相器的由来。移相器是可变的或是固定的。在可变移相器中,相位可以根据外部控制连续变化。当测试射频电路或使用反馈(读者知道这是什么)时,经常需要用可变移相器来优化射频电路的性能。一个固定移相器有一个设置值,普遍使用 90° 或 180° 。移相器可以有源的或无源的,就像许多其他射频器件,移相器通常由二极管做成。

你知道吗?

在移相器方框图中间的符号是希腊字母 Φ 。全世界的射频工程师都用 Φ 来表示相位,在射频世界中,还使用其他希腊字母,如 λ 代表波长, ω 代表频率。读者可能会认为只有联谊会学院才用希腊字母。

4.9 相位检测器

如果相位改变不能被检测出来,改变射频信号的相位偏移就没有什么好处。这就是检测器的由来。一个相位检测器有两个输入和一个输出(没有相位检测器的方框图的原因是,它通常是一个写着“相位检测器”的盒子)。两个不同的正弦波作为两个输入,输出的是一个和相位差成正比的电压值。

相位检测器不同于前面章节讨论的检测器。前面提到的检测器将一个射频信号转换成等效电压,因此相位检测器将两个正弦波的相位差转换成等效电压。

相位检测器可以用于解调过程中将数字信息与射频载波分离。相位检测器是由什么做成的?最简单的相位检测器就是双平衡混频器,RF和LO端口是输入,IF端口是(电压)输出。

4.10 器件回顾

这里回顾一下第3和第4章所学过的器件。表4-1通过类型和功能可以快速回顾。

表 4-1 器件回顾

器 件	有源/无源	主要功能
天线	均有	转化为无线波和从无线波转化过来
放大器	有源	使信号变大
滤波器	无源	通过频率分离信号
混频器	均有	增加/减少信号的频率
振荡器	有源	产生理想的正弦波
开关	有源	改变信号传播方向
衰减器	均有	使信号变小
分配器	无源	分裂信号
组合器	无源	将信号加到一起
耦合器	无源	以不平等比例分裂或增加两个信号
循环器	无源	在三个器件中控制信号流向

第 5 章 电路和信号

本章将把所有讨论过的器件联系起来。介绍 3 种用于制造射频器件的电路技术：离散、混合以及 MMIC。它们的区别很显著，在特定情况下选择某特定器件的原因也很明确。下面将从性能和成本的角度来讨论这 3 种技术。此外，本章将讲述 3 个不同器件的互联方案：电缆、波导和迹线。并再次指出，为什么选择一种器件而不是其他的原因。

本章还将介绍给读者两种不同的电路哲学：集总元件和分散元件。可以用这两种方式来实现一些射频器件。选择哪一种依赖于想要使用的频率。

本章将详细讲述射频半导体器件，包括用于射频电子器件的原始材料和所有射频硬件中的两个主要器件：二极管和晶体管。同时还包括对集成电路的讨论，当比较其他选择时，还讨论各自的优缺点。

本章将讲述复杂的调制原理，在无线通信中调制是指信息信号与载波信号的联合。还将讨论主要的调制技术以及它们的变体。读者会认识到数字技术在调制方案发展中的角色，这些调制方案在当今最成熟的无线系统中非常流行。

5.1 半导体

5.1.1 材料和器件

1. 固态技术

由于半导体技术的发展，无线通信才开始真正地起飞。半导体技术的另一个名字叫固态技术。把它称为固态技术的原因是半导体是一种固态材料（它可以区别于液态技术，在液态技术中电子器件由巧克力牛奶做成）。另一种很快就消亡的技术，叫电子管技术。在电子管技术中，所有的电子材料在真空中产生。电子管技术的一个例子就是在 20 世纪 60 年代的电视机中所用的真空电子管。许多老的电子管实际上就是射频放大器。在那些电子管中，当射频信号漂移在电子管的真空中时，射频信号就被放大了。

真空电子产品除了个别以外（比如非常高的功率要求），不再用于射频通信。并不是老的电子管不能完成半导体的功能，只是半导体有两个非常吸引人的特性，而这些特性是电子管不具备的：半导体可以做得很小，而且很便宜（更不必说当读者把它们掉在地上时，它们不会碎）。

2. 硅和砷化镓

制造射频器件主要有两个半导体材料：硅(Si)和砷化镓(GaAs),也称为“gas”。一般来说,GaAs用于高频应用。如果一些射频器件使用了GaAs,可能是硅在预定高频率的工作性能不好。在做选择时,射频工程师通常会选择硅器件而不是GaAs,因为硅更便宜。

3. 更新更奇异的材料

有两种让射频世界震动的新材料,它们是锗化硅(SiGe)和磷化铟(InP)。SiGe发展的动力是手持移动电话。直到最近,手机的输出功率放大器几乎都是由GaAs做成的。但是SiGe不仅比GaAs有更好的线性性能,而且更有效率。高效率可以转化为更长的电池寿命。当SiGe可以像普通硅器件一样便宜时,我们将期待在下一代移动无线器件中看到更多的SiGe器件。

InP后面的驱动力就是高频率,可以工作在毫米波频率(大于40GHz)。在高频时InP在所有材料中有最低的噪声性能。InP还可以用来做在毫米波频率的功率放大器,但是,和SiGe不同,目前InP制造费用仍然相对比较昂贵。

4. 二极管和晶体管

在射频世界只有两种基本的半导体：二极管和晶体管。读者可能会认为只有两种基本的半导体材料将使事情非常简单,但是要知道有许多不同的二极管和晶体管,它们都有不同的用途。表5-1列出了用于射频系统中最流行的二极管。

表 5-1 射频二极管和晶体管类型

二极管类型	晶体管类型
PIN	MOSFET&MESFET
Schottky	Bipolar
Gunn	HBT
Impatt	HEMT&PHEMT
Tunnel	JFET
Varactor	LDMOS

在看到有这么多种不同二极管和晶体管类型而感到压抑的时候,读者要理解它们的主要区别是:它们是如何构造的以及它们是用什么材料做成的。所有的二极管几乎完成同样的功能,但是因为它们构造不同,所以在不同领域各有更高的电子性能。例如,Schottky二极管速度快,PIN二极管能处理大功率。晶体管也是同理。表5-1指出的大多数二极管类型是由硅或GaAs制成的,而晶体管是由硅或GaAs或两种材料混合制成的。

例如,读者可以买到由硅或 GaAs 制成的 PIN 二极管(至于读者为什么需要就超出了本书的范围)。每一种都有它的优点,但是单凭经验就可以知道:硅的频率更低,GaAs 的频率更高。现在有了更新更奇特的材料,读者还可以买到由这种材料制成的二极管。

晶体管变幻莫测。正如二极管一样,晶体管可以由不同材料制成,但是和二极管不同的是,当材料类型改变时,晶体管的类型也发生改变。这将在下面详细讨论。

5.1.2 二极管

在射频世界中,二极管用于许多不同器件,但是它们主要用于三种器件:开关、混频器和可变电压衰减器(VVA)(如果想知道在方框图中二极管的样子,请看图 4-6 中显示的衰减器上古怪形状)。如果 Schottky 二极管速度快而 PIN 二极管可以处理大功率,那么当开关需要快速时,应该使用哪种二极管? 如果它需要处理大功率怎么办?

正如 3.6 节所提到的,大多数振荡器使用某种材料来决定振荡器的频率。这种技术适用于低射频。对于高射频(大于 10GHz),材料的选择受到限制,所以振荡器经常使用二极管来决定振荡器的频率。在振荡器中,Gunn、Tunnel、Impatt 二极管都用来产生这些高的射频频率,尤其是 Impatt 用来产生超高射频(大于 100GHz)。

变容二极管可以看成是可变二极管,用于压控振荡器(VCO)。回忆一下第 3 章,VCO 是输出频率在一定范围变化的振荡器。可变的原因就是它用了—个可变二极管(变容二极管)来决定它的频率(所有这些材料都很有用)。

5.1.3 晶体管

晶体管在射频中广泛使用,从低噪声放大器,到高功率放大器,再到开关、衰减器、混频器、振荡器。晶体管是射频的主力,晶体管由两种不同的方法制成。它们或者做成双极型晶体管(BJT)或者称作双极,或者做成场效应晶体管(FET)。读者需要知道这两种结构的区别是双极在材料突然改变时有连接点,而 FET 没有。这两种普通晶体管类型的方框图如图 5-1 所示。

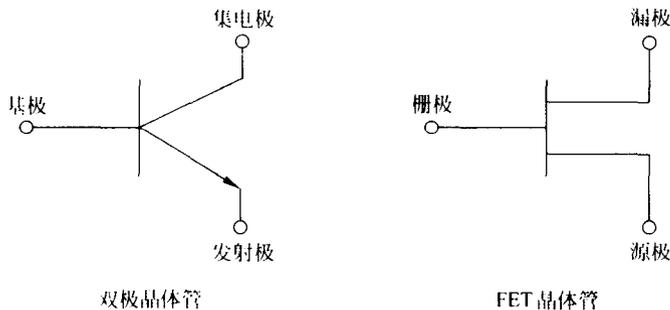


图5-1 双极和场效应晶体管(FET)的电路描述

1. HBT 晶体管

现在有一种新型的双极晶体管叫做异质结双极晶体管或 HBT。最初,BJT 晶体管仅仅由单一材料做成,通常是硅。但是一些物理博士在某些地方发现如果用多种材料做一个 BJT,可以改善它的性能。来看看 HBT,简单地说,一个 HBT 就是由多种材料制成的 BJT。所以一个由硅制成的 BJT 称作 BJT,由 GaAs 制成的 BJT 称作 HBT。正如上面提到的,当材料改变时,晶体管类型改变。

2. 晶体管的用途

这里有一个规则:如果有增益,就至少有一个晶体管。所有固态放大器使用一种晶体管。为了产生大增益,放大器需要两个或更多的晶体管。

用在射频中的最低频率(低于 1GHz)晶体管是 MOSFET,它代表金属氧化物半导体场效应晶体管(读者可以猜猜这是 BJT 还是 FET?)。直觉应该告诉读者 MOSFET 是由硅制成的(提示:低频),而且它们主要用于高功率放大器(HPA)。

当频率在 1GHz 以上时,射频工程师在双极性晶体管和 MESFET 中选择,MESFET 代表金属半导体场效应晶体管。正如读者已经知道的,BJT 由单一材料制成,通常是硅。类似地,MESFET 通常由 GaAs 制成。哪种晶体管类型更好?如果考虑成本,那么(硅)BJT 更好,因为它们更便宜。如果从另一角度考虑,晶体管需要工作在特定的高频,那么(GaAs)MESFET 更好。另一点考虑是,在晶体管类可以使用的频率上,双极性晶体管用来产生比 MESFET 更多的射频功率,而 MESFET 提供更低的噪声系数(NF)。总而言之,双极型更便宜而且产生更高的功率,而 GaAs 的 MESFET 成本更高,但是当在高频传输低噪声系数时它工作得很好。

有一种新型的 FET 晶体管,称为 LDMOS,它代表横向扩散金属氧化物半导体(我没有整理这部分材料)。一些年轻聪明的射频工程师发现,如果一个 MOSFET 制作稍有不同,它就可以在高于 1GHz 频率下工作。读者认为这些 LDMOS 晶体管用在哪里?如果读者说在 1GHz 以上的高功率放大器中,那么可以奖励一下自己。

3. HEMT 晶体管

这有一个新的晶体管家族,尤其是为超高频应用所设计的,如 HEMT 和 PHEMT,它们分别代表高电子移动晶体管和假 HEMT(读者猜猜找到一个知道“假晶”的人之前,要问多少人?)。HEMT 晶体管就是增加了一层超快半导体材料,如 InP 的 MESFET(当材料改变时,这是另一个晶体管类型改变的例子)。

想像一下普通 MESFET 中的电子就像在普通的高速公路上行驶的汽车(限速 55MPH)。HEMT 晶体管就是 MESFET,只是电子有自己的 InP 高速公路。如果电子可以运行得更快,那么晶体管就可以在更高的频率工作。HEMT 晶体管尤其适合高频、低噪

声的应用。

需要注意：当我说某些晶体管在更高频工作而其他的不好时，我的意思是说某些晶体管在更高频工作得好，而其他的工作性能不好，即便是在技术上它们都可以在更高频工作，但功率、增益和噪声系数这些电参数的下降表明了较差的性能。

5.1.4 集成电路(MMIC)

后来，一些聪明的工程师想到，如果一个放大器需要3个晶体管，两个二极管和其他一些电子器件，为什么不把所有这些东西放到一个单一的半导体(硅或者GaAs)片上呢？这样做有很多好处，包括低成本和更小的规模。当多于一个器件的电子器件(晶体管、二极管等)融合到一片半导体上时，称它为集成电路(IC)。

现在射频工程师不把他们的器件称作集成电路，害怕人们会把它们与其他集成电路混淆，比如个人电脑里的奔腾微处理器。射频工程师把它们称为单片微波集成电路或MMIC。

前面讲过的大部分器件可以做成MMIC。MMIC并不是一个特殊的器件，它是用来制造器件的技术。例如，使用一堆晶体管来做一个放大器被称作IC放大器，而使用一堆晶体管来做一个开关被称作IC开关。

MMIC 性能

如果一个器件可以做成MMIC，就会比用其他方法做得更小更便宜(每单位)，为什么不把所有的器件都做成MMIC？MMIC有两个缺点。首先，既然它们包括半导体制造过程，如果只需要几个这样的器件，这些器件将非常昂贵。所以，只有当产品需求很大，使最初研发MMIC的投资很合理时，才会使用MMIC技术。其次，通常MMIC的性能(主要参数)比由分立器件做的器件性能要差。当器件由分立晶体管(或二极管)做成时，性能是最优的，如在低噪声放大器中的低噪声，在高功率放大器中高功率。当性能要求不是很苛刻而要求成本很低时，就使用MMIC。

快速回顾一下，射频世界里有两个主要的半导体材料：硅和砷化镓。硅和砷化镓用于制造两个基本的器件：二极管和晶体管。射频器件可以用两种方法来制造：将分立的二极管和晶体管结合起来或者使用集成电路(MMIC)的形式。

你知道吗？

有一类特殊的射频MMIC称作ASIC，它代表专门的应用集成电路。ASIC只是定制的MMIC，用于完成一个专门的任务，通常针对一个顾客。因为它们是定制的，ASIC必须用于大批量生产，以降低设计费用。手机很适合使用ASIC。事实上，一些人相信手机的成本会更低，在不久的将来，手机内部将只有一个单一的器件：ASIC。

5.2 电路技术

5.2.1 集总和分散电路

射频器件经常由几个不同的称为离散器件的电子器件组成。例如,当一个射频放大器是一个射频器件时,它由几个分立的电子器件组成,如二极管、晶体管,还有3个大的电阻、电容和电感。电阻、电容和电感是体形小且便宜的无源电子器件,用来形成电子信号,这些器件用在每个电路的组合中。

当电子器件组合起来,在一个预定区域完成指定功能时,就形成了一个电路。在射频世界里,电路设计有两种体系:集总元件电路和分散电路。

集总元件电路和分散电路在它们的设计中都使用相同的半导体器件(晶体管、二极管和MMIC)。不同的是它们所用的无源器件的本质,尤其是那3个大的器件,以及其他器件,如变换器和耦合器。

1. 集总元件电路

在集总元件电路设计中,电容和电感是看得见、摸得着的实物。真实电容和电感的样本如图5-2所示。在集总元件设计中,耦合器只是变换器(我告诉读者它们只是用于其他事情)。

2. 分散电路

分散电路很有趣。回顾一下1.1节,射频世界的信号通过导线传输,在电路中传播,导线通常是一个印刷电路板(PCB)或其他衬底上很小很薄的一片金属(称作迹线)。在射频频率中这些金属发生了有趣的事情:它们开始作为分立器件工作。在分散电路中,射频工程师可以用非常特殊的方式形成金属迹线,使得它们工作起来就像电容、电感、变换器甚至耦合器,这就是为什么在纯分散电路中,惟一的真实器件是半导体,其他的只是一束奇形怪状的金属迹线。图5-3表示了分散电路的例子。图左侧小区域的电路迹线形成了一个耦合器,看上去有点不同于集总元件(变换器)耦合器(把它和图4-21比较)。

当设计电路时,如何在电路系统中做选择?虽然各自有优缺点,但是做决定通常很简单。在射频世界中,频率越高,器件越小,反之亦然。如果电路在低的射频频率工作,那么器件将会相对比较大。如果器件需要更大,在分散设计中实现器件功能的电路迹线的大小和形状将会非常大。当低于一定频率时(所有这些都是啰嗦的说法)惟一的电路选择是集总元件设计。相反,在高于一定频率时,惟一合理的选择就是分散电路设计。在二者之间读者选择一个。

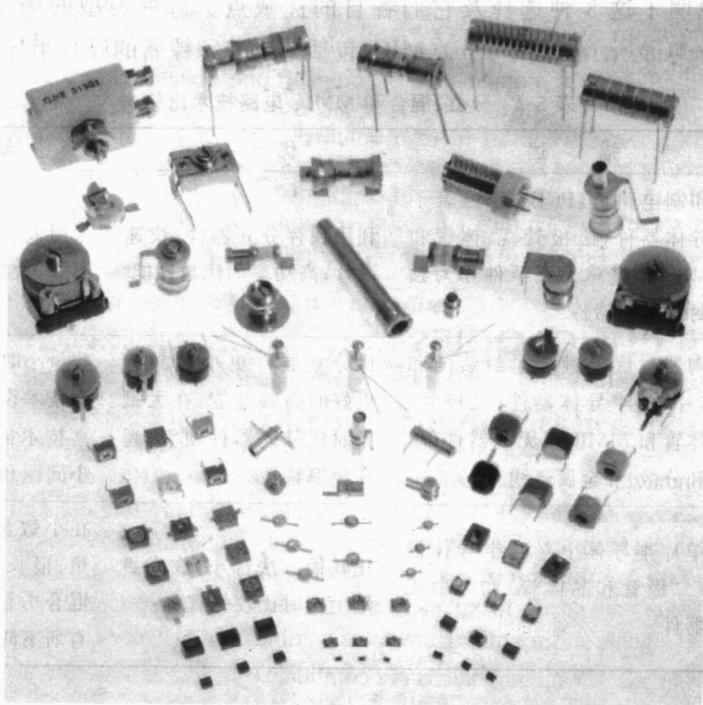


图 5-2 集总元件电容和电感, SpragueGoodman 电子有限公司提供

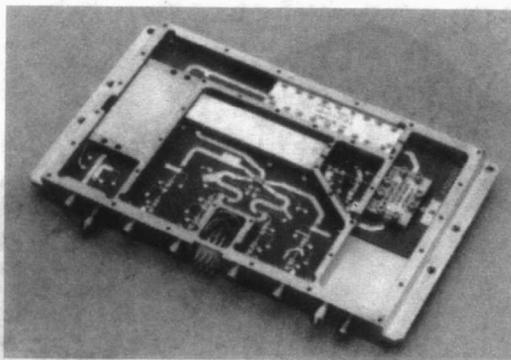


图 5-3 分散电路, JCA 科技公司提供

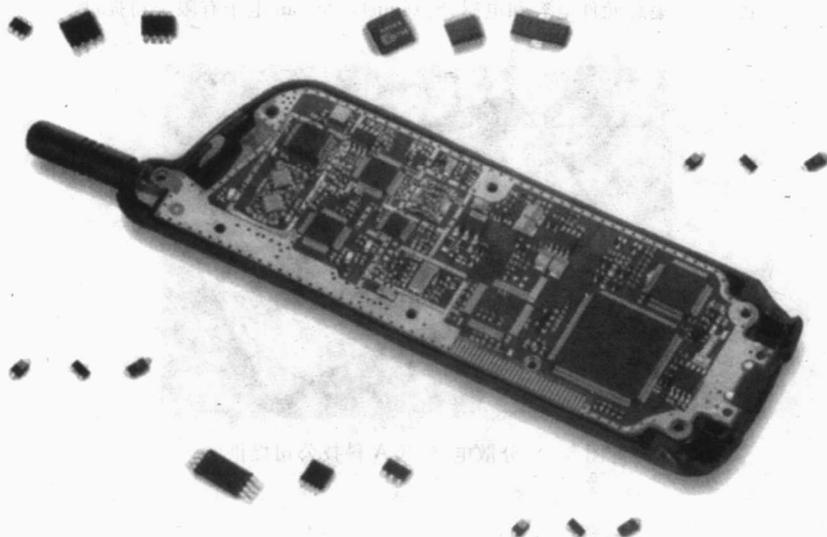
5.2.2 分立、混合和 MMIC 电路选择

一旦选择(规定)了一种电路系统,下一个选择就是使用哪种电路技术。这次要从 3 个不同的电路技术中选择:分立、混合(也称作 MIC,微波集成电路)或 MMIC(单片微波集成

电路)。表 5-2 说明了这 3 种选择及它们各自的优缺点。每种类型的例子如图 5-4(a)、图 5-4(b) 和图 5-4(c) 所示。图 5-4(b)(MIC) 包括了封装和裸露的碎片半导体。

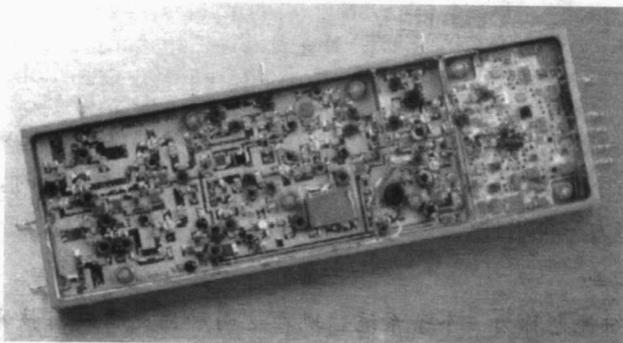
表 5-2 分立、混合和 MMIC 电路技术比较

技 术	描 述	优 点	缺 点
分立	在印刷电路板(PCB)上,融合了半导体器件(二极管、晶体管和 MMIC)和集总无源器件作为独立封装分立器件	利用现存分立器件;快速设计;高功率的优越性能	占用大量空间;高频性能下降;大批量时昂贵
混合(MIC)	在陶瓷衬底上融合了封装的和“芯片”的半导体器件(二极管、晶体管和 MMIC)、无源器件(集总和分散)和金属迹线	比分立器件更小且具有更好的高频性能;在大批量时比分立器件便宜;超高频特性	数量小时制造昂贵;比分立技术设计周期长;比分立技术需要处理更多细小问题和解决更多麻烦
MMIC	在单片半导体上融合半导体器件(二极管和晶体管)和分散无源器件	比其他方法都小;在大批量生产时比较便宜	在小数量生产时非常昂贵;很长的设计周期;和混合方法比起来性能上有所下降

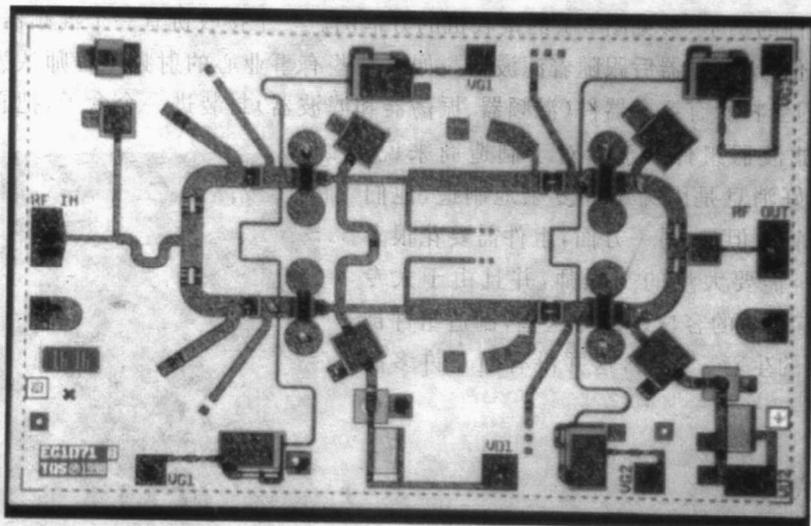


(a) 分立电路, Alpha 企业提供

图 5-4 分立、混合和 MMIC 电路



(b) 混合电路, Micro Networks 提供



(c) MMIC, TriQuint 半导体公司提供

图 5-4(续)

你知道吗?

现在将分立器件放置到射频印刷电路板(PCB)上的主要方法是表面安装技术(SMT)。在SMT中,分立器件焊接到PCB的表面。现在这看起来很平常,但是在先前的电子生产中,使用一种称为穿通技术的工艺,在这种工艺中,分立器件穿过PCB板子上的小孔。所以即便SMT没有什么优点,至少它无需钻孔了。

你知道吗?

现在使用的最新的MIC称作低温共烧陶瓷,或简称为LTCC。LTCC就像PCB(带多层迹线)一样,只是它是由陶瓷制成,而不是塑胶合成物。LTCC允许MIC做得很小,在高频器件中使用很理想。

5.2.3 组件

有一些射频制造商以此为生：通过把多于一种的射频器件组合起来，完成多于一种的射频功能，封装成一个包。当一盒射频“材料”完成多于一个基本功能时，比如混频器或单一放大器，这盒材料称为一个组件。

你知道吗？

有时一个组件也称为一个子系统。现在这两种描述中没有技术上的差别，但是卖子系统的公司比卖组件的公司销售更高的价钱。那就是营销。

作为组件的例子，参见图 3-1 的接收机的方框图。一个接收机有一个混频器，混频器由振荡器供给信号，混频器后跟随着滤波器。如果某些有事业心的射频工程师认为这很有商业意义，他们会将所有 3 个器件(混频器、振荡器和滤波器)封装进一个盒子，把它称为混频器-振荡器-滤波器组件。至少对于制造商来说，关于组件的好消息是因为组件复杂地制造，他们可以高价销售。但是，另一方面，组件需要花很多时间去开发，需要大量的工程师，并且由于太专业，常常只有单一的客户。因为这些，制造组件被认为是冒险的生意。当然，这并没有阻止许多制造商去尝试。

5.2.4 空穴

制造射频器件还有最后一种方法。不像其他技术(分立、混合以及 MMIC)，空穴类型器件不使用导线传输射频信号。取而代之，射频信号在空穴器件内像波一样移动。

空穴电路是一种空的由金属制成的容器，射频信号在内部碰撞。空穴技术是一种相当老的射频技术，许多不同的射频器件可以被制成空穴器件，如耦合器、振荡器甚至放大器。当一个放大器是空穴类型时，称为行波管放大器或 TWTA(或缩写为 TWT)(这是有意义的：带有在管形空穴中行进的地波的放大器应该称为行波管放大器)。

TWT 如图 5-5 所示。

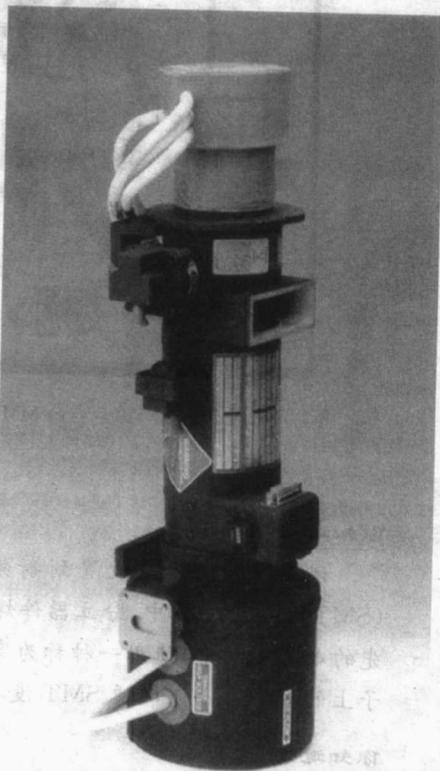


图 5-5 行波电子管, Litton 电子设备公司提供

使用空穴器件只有一个原因：高功率。当射频工程师需要放大一个大信号，比任何晶体管能放大的还要大时，他们使用空穴放大器(TWT)。当他们需要耦合一个高功率信号或滤除一个高功率信号时，使用空穴器件。直到最近，所有手机基站的输出滤波器都是空穴滤波器(猜猜为什么?)，因为基站的输出功率相对较高(空穴滤波器也碰巧有高级的滤波特性，这些特性是蜂窝发射机所要求的，但是这是另一码事)。

5.3 调制

5.3.1 调制的概念

调制是一个数学上复杂的学科，因为很容易在所有的公式中混淆，它很难量化解释。幸运的是，从表面上很好理解，下面就从这方面讲讲。

早先，我把一个数字信号描述成“骑在射频的背上”。调制是信息信号(模拟或数字)骑在射频信号(载波)背上的方式。这是通过取出射频信号，将信息信号添加到射频信号上的结果。将信息信号叠加到射频(载波)信号称为调制，完成叠加的设备叫做调制器。在射频系统，射频首先被调制然后通过发射机从天线出去。在信号到达接收机之后，上述过程将是相反的。接收信号解调(射频载波去掉)，只剩下信息信号。

为使调制形象化，可以将寄信想像成无线通信。信封是射频(载波)，里面的信是信息。为了得到从A点到B点的信(信息)，将信放进信封(信号被调制)，然后投进邮筒。一旦信封到达，将信封打开(射频被去除)，瞧，信(信息)从A点运到了B点。当无线传输信号时，发送两个信号：射频载波(信封)和信息信号(信)。将这两个联合起来称为调制。

读者可以回顾一下第3章，每个信源(振荡器)的目标就是产生一个理想的正弦波，这就是射频。需要一个理想正弦波的原因，就是调制器通过对射频信号进行小的修改，将信息信号叠加在射频信号上。如果射频信号不够理想，瑕疵将会错误地被理解成是不需要的修改(信息)。

调制器和解调器通过特殊的方式改变射频信号的某些方面，完成它们的功能。从技术上说，人们不认为它们是真正的设备或器件，而认为是子系统，是两种或更多种器件的组合。

5.3.2 调制的类型

在当今的无线通信世界，人们确实使用许多不同类型的调制(每天还在创造着更多类型)。好消息是所有调制形式可以归为3种通常类型的一种：幅度调制(AM)、相位调制(PM)和频率调制(FM)，频率调制用于调频广播。从无线通信的早期算起，AM和FM是已存在的调制方法中的古老形式。PM是新生代，在现在的(先进的)数字无线通信系统中

使用得最频繁。

AM 和 FM 首先出现的原因是,在无线通信的初期,需要完成 PM 的精密数字芯片没有出现。数字无线通信和 PM 的发展是数字半导体集成电路技术进步的直接结果。

AM、FM 和 PM 描述了当理想正弦波接收信息信号而发生改变的 3 种方式。AM 改变正弦波的高度(随着时间流逝);FM 改变正弦波的频率(随着时间流逝),保持幅度不变;PM 改变连续正弦波的相位。这些变化都包含着信息。

1. 幅度调制

AM 改变理想正弦波射频载波的幅度,如图 5-6 所示。图 5-6 的左侧显示了一个未调制正弦波是如何出现的。注意,正弦波重复很多次。图 5-6 的右侧显示了当正弦波进行幅度调制后出现的变化。注意,虽然还是正弦波,频率不变(连续波的间隔不变),但是每个连续波的幅度(高度)变化了。从正弦波到正弦波,幅度改变,但是频率不变。如果读者用手指在右侧信号的顶部追踪,会注意到它遵循正弦波的路径,这不是巧合。

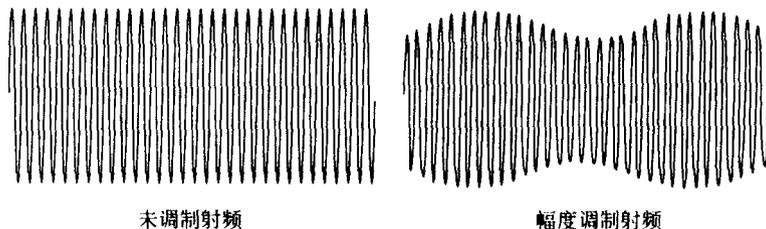


图 5-6 未经调制和已调幅的射频载波

AM 比其他调制方法使用的时间都长,主要是因为它很容易实施。不幸的是,这种实施的简单性是要付出代价的。所有射频信号传播时都会加入噪声。正如第 3 章所提到的,噪声在(射频载波)正弦波中是瑕疵。这些瑕疵经常在幅度中随机地改变。所以当噪声改变射频载波的幅度时,射频系统并不知道这些改变是否是预期的(是调幅的结果),还是非预期的(是噪声的结果)。所有这些都意味着 AM 信号非常容易受到噪声干扰而失真。

图 5-6 所示的 AM 是模拟类型调幅。在模拟调幅中,系统用模拟信号调制射频载波(如正弦波)。本质上说,它将一个正弦波叠加在其他正弦波上,如图 5-6 所示。调幅已经使用了很长时间,直到最近才有所改变。

2. 二元幅移键控

新一代的调幅,在本质上是数字的,称为二元幅移键控(BASK)。模拟调幅将模拟(正弦波)信号叠加到射频(正弦波)载波,和它不一样的是 BASK 将数字信号(图 1-3 的信号)叠加在射频(正弦波)载波上(如图 5-7)。注意射频载波的形状如何模仿数字信号的形状。

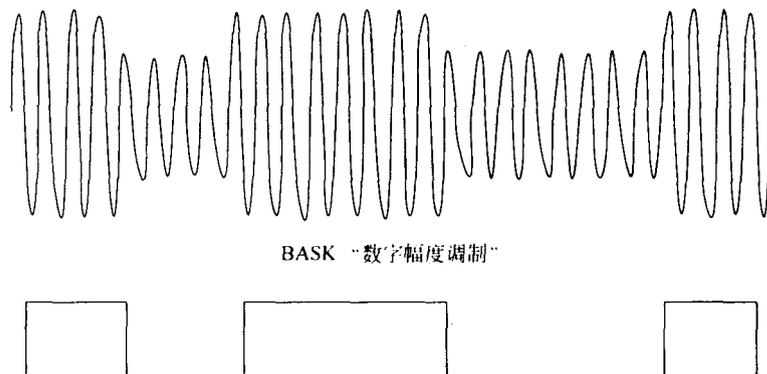


图 5-7 二元幅移键控(BASK)

BASK 不像模拟 AM 对噪声那么敏感。BASK 信号仍然容易受到噪声在幅度上的随机改变的影响,但是由于射频系统的智能性,它只是区分高和低,在两个幅度(高或低)上的微小变化不会引起系统误解为另一个信号。在当今的数字无线系统中,BASK 仍在使用,因为它不易受到噪声的影响。

顺便说一下,无论何时当读者听到“键移”这个词,应该想到两件事。首先,它包括将数字信号调制到射频载波上;其次,这些变化在本质上是离散的,与连续(在模拟 AM 中)相反。

3. 频率调制

FM 是使理想正弦波变化的第 2 种方法(如图 5-8),在这种情况下请注意,幅度保持不变(从未调制到调制),但是频率改变(连续正弦波的间隔改变)。频率的改变(随着时间)包含信息,比如手机中人们的声音(很难相信,但却是真的)。

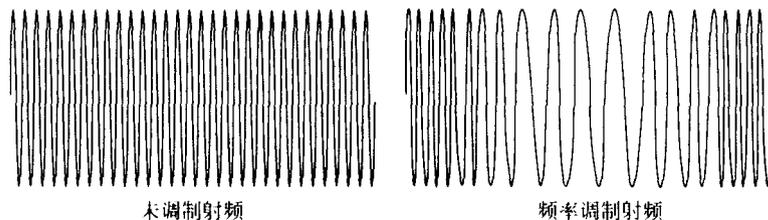


图 5-8 未经频率调制和已经频率调制的射频载波

由于世界正在数字化,读者一定已经猜到了,有一种为数字信息信号服务的频率调制类型。确实如此,我们称它为频移键控(FSK)。FSK 使用两个完全不同的频率代表 1 和 0。它依赖于输入数字比特流,在两个频率之间转换。使用什么精密硬件在两个频率之间转换?

请看关于合成器的 3.6.5 节。

FM 并不像 AM 那样对噪声那么敏感,这就是它产生的原因。AM 信号、FM 信号仍然易受到噪声在幅度上的随机改变的影响,但是由于 FM 系统的智能性只注意频率上的改变,系统不管幅度上的改变。在读者开始认为 FM 听起来像一顿免费的午餐时,你要很清楚有另一种噪声影响信号的频率,但这是另一码事。

4. 相位调制

PM 是改变理想正弦波的第 3 种方法。大部分无线发送的数字信息通过相位(或其他派生的方法)对射频载波进行调制。

正如以前在 4.8 节提到的,正弦波(射频信号)有一个伴随的相位。正弦波的相位用度数来度量,完整的一圈是 360° (见图 5-9)。相移总是用其他信号作参照。图 5-9 表示了相对于参考信号的 4 个不同相移的结果。注意, 0° 相移与参考信号完全相同(应该如此), 180° 相移是参考信号的镜像, 90° 和 270° 互为镜像。事实上,任何相差 180° 的相移都互为镜像。本质上说,每个 90° 的相移将正弦波左移四分之一。

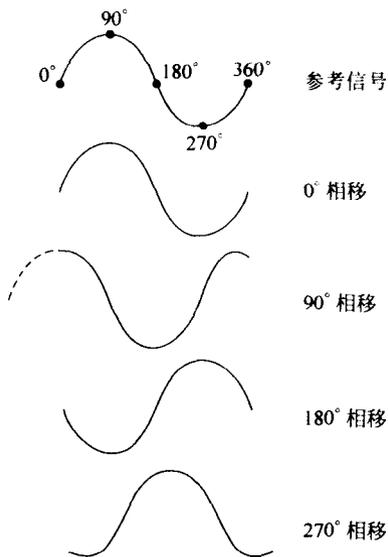


图 5-9 相移的形象化描述

你知道吗?

读者可以从任何相移加上或减去 360° ,得到完全相同的相移。也就是说,两个正弦波改变 360° ,仍同相。例如,一个 270° 的相移等于 -90° 的相移。与此类似, 180° 和 -180° 一样。这就解释了为什么读者从没在射频课本里见到大于 360° 的相移,读者可能从没看过一本这样的书。

在数字无线通信里有许多不同类型的PM。有这么多PM的原因是随着半导体技术的发展,不同的调制技术也发展了。用20年前的电子器件是不可能实现最新最好用的PM技术的。在数字无线通信中使用的一些非常流行的PM技术如表5-3所示。

表5-3 常见相位调制类型

缩写	相位调制
MSK	最小频移键控
BPSK	二元相移键控
QPSK	正交相移键控
DQPSK	差分正交相移键控
GMSK	高斯最小频移键控

相移的真正目的是,通过选择性地相移连续正弦波,在射频载波上调制数字比特流。自然地,在射频信号到达目的地后,需要一种方法从相移中取出比特流。

这些相移是如何加到射频载波上,然后又如何从射频载波中取出来的?可以回顾一下第4章关于移相器和相位检测器的讨论。移相器通过一定量改变正弦波。在数字相位调制中,数字比特用来选择所需要的相移。一旦射频信号到达目的地,一个相位检测器就用来将信号的相位改变转化为电压。然后电压就轻松地转化为数字比特流。当今数字无线通信中最流行的两种相位调制是BPSK和QPSK,下面我们来讨论一下。

正如名字所暗示的,二元相移键控(BPSK)有两种不同的可能相移: 0° 和 180° 。由于数字比特同样有两种不同的可能(0或1),BPSK可以用来在一个正弦波上调制一个数字比特。 0° 相移代表0, 180° 相移代表1。图5-10上部代表在射频载波上使用BPSK调制数字比特流01101的结果。注意到无论何时当一个正弦波平滑地跟着另一个波的时候,没有相移,所以它代表0。BPSK在正弦波上调制一个数字比特,这很好,但是还有更好的方法。

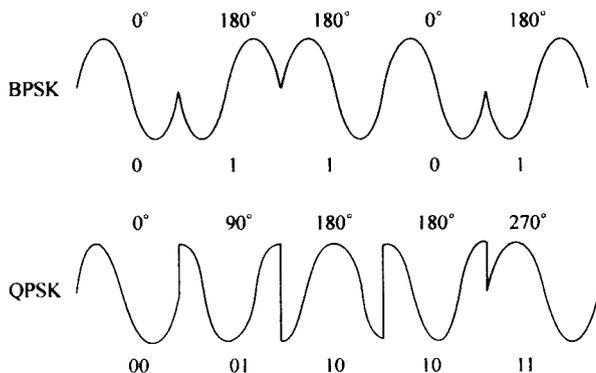


图5-10 BPSK和QPSK调制示例

如果读者猜到了正交相移键控(QPSK)有4个不同的可能相移,给自己一个奖励。它们是 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 。组成QPSK的4个不同的可能相移可以从图5-9单独地看。由于QPSK有4种可能性,但是一个数字比特只有2种可能,所以QPSK可以在每个正弦波上调制2比特信息(我说过有更好的方法)。在这个例子中, 0° 相移代表比特00。与此类似, 90° 代表01, 180° 代表10, 270° 代表11。图5-10的下部表示了使用QPSK调制数字比特流0001101011的结果。有效的是,QPSK使射频载波的数据承载能力加倍了(与BPSK相比)。由于我们本质上都是无线数据的贪婪者,这对我们是件好事。

到现在为止,读者已经理解了相位调制,可能想知道为什么不把正弦波分成8份(45°)相移或者可能16份(22.5°)相移?那样不是会在每个正弦波上增加调制数字比特数吗?答案是肯定的。确实,减少了相移的量,绝对使在一个正弦波上增加了更多的调制数字信息比特,如在有线电视分布中,这也确实实现了。但是正如在第3章提到的,所有射频信号传播时都会引入噪声,虽然大部分噪声影响幅度,但是还有一种噪声影响相位。这种相位噪声通过不需要的射频载波相位偏移表现出来。只要这些不需要的相位偏移和调制的相位偏移相比很小,就可以保持数据的完整性。随着调制相位偏移变得越来越小(小于 90°),它们有与不需要的相位噪声混淆的危险,这就是为什么QPSK在(当今的)无线世界的相移中使用广泛的原因。

5. 正交幅度调制

现在知道了数字信息可以通过使用相位调制(QPSK, BPSK)和幅度调制被调制到射频载波上。所以读者可能想过,如果我们试图在每个正弦波上得到尽可能多的数字信息,为什么不把这两种方式联合起来呢?在今天的数字无线系统中最新使用的调制形式是正交幅度调制或QAM,它可以完成此功能(QAM是QPSK和AM的缩写形式)。

想知道一个QAM信号看起来像什么吗?可以参考图5-10下部的QPSK的例子。现在描述一下信号,交替的正弦波可以有两个不同幅度中的一个,就如同图5-7那样。它看起来是一个相当复杂的信号,但是值得注意的事是它所包含的额外信息。QPSK的每个正弦波自身代表了两个数字比特。如果信号的AM部分有2个不同的幅度,那么还可以多代表1比特。所以在这个例子中,QAM信号可以包含3比特数字信息。现在,我们再看一下其他方面。

理论上,QAM可以用更小的相移来调制,多于两种可能的幅度可以将更多的数字信息填到每个正弦波上。这些QAM变量随着名字QAM-16, QAM-64等变化。但是正如读者可能已经推算出来的,这些调制通常限制在电缆应用中,因为电缆中噪声的影响被极大地减小了。

5.3.3 调制器和解调器

射频信号可以通过调制器进行调制,调制器是相当复杂的器件,但是它们可以用一个简

单的方框图来表示,如图 5-11 所示。

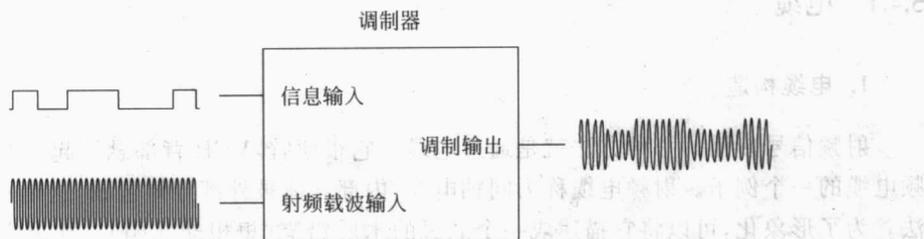


图 5-11 调制器方框图

在这个最简单的例子中,调制器有两个输入,一个输出。一个输入是信息,可以是模拟或数字形式。在图 5-11 中,信息是数字形式。另一个输入是射频载波(一个理想正弦波)。当调制器完成它的功能时,输出是两个信号的复合信号。这就是经过调制的输出信号,图 5-11 是 BASK 调制。解调器完成相反的工作:它们取出调制信号,把它分解成一个信息信号和一个载波信号。解调之后,载波就不再需要了,所以当信息信号被发送到系统中的其他地方以备其他用途时,载波信号就被忽视了。大多数时候调制器和解调器组合成一个单元。读者认为调制器和解调器的组合应称作什么?想一想。

使用什么器件来作调制器和解调器?读者可以继续前进,想像一下在射频世界中任何时候两个信号可以联合起来或分离开,在某些地方需要一个或两个混频器。此外,通常有一个振荡器和合成器,在调相的例子中,有移相器和相位检测器。根据在射频系统中它们的位置,调制器在发射机之前,解调器在接收机之后(见图 3-1 和图 3-2)。

你知道吗?

技术上说,“QAM 调制”是累赘的,因为 QAM 调制字面上的意思是正交幅度调制。“AM 调制”“FM 调制”也是同样。但是,通常我们都这么说,因为“QA 调制”听起来太傻。

5.4 传播

一旦一个射频信号进入天线,被转化成电流,它就需要从一个器件传播到另一个器件。这个承载电流的东西叫做导线,但是在射频世界里在接收机或发射机中将一个信号从一点传到另一点,有几种媒介。这些媒介由射频方框图或图表表示,它们可以归为 3 类:电缆、波导和电路迹线。

5.4.1 电缆

1. 电缆构造

射频信号传播的一种方法就是通过电缆。它很便宜, VCR 背部悬挂起来的电缆就是射频电缆的一个例子。射频电缆称为同轴电缆, 内部导体被外部导体包围, 这是一个奇妙的说法。为了形象化, 可以将它描述成一个老式的木质铅笔(想想幼儿园)。如果它是一个同轴电缆, 铅心就是中间的导体, 丑陋的黄色外皮就是外部的导体, 分开两个导体的木头被称作电介质。电介质对绝缘体来说是奇特的工程话题, 绝缘体是一种不导电(传输射频信号)的材料。

使用两种导体的原因很简单。内部的导体传输射频信号, 外部导体是用来屏蔽的, 防止射频信号逃逸。需要外部包皮是因为中心导体认为它是一个天线, 它试图将它携带的射频信号辐射到空间中去。外部导体阻止内部导体辐射(可以把它认为是同轴电缆的安全卫士)。图 5-12 展示了许多种同轴电缆。

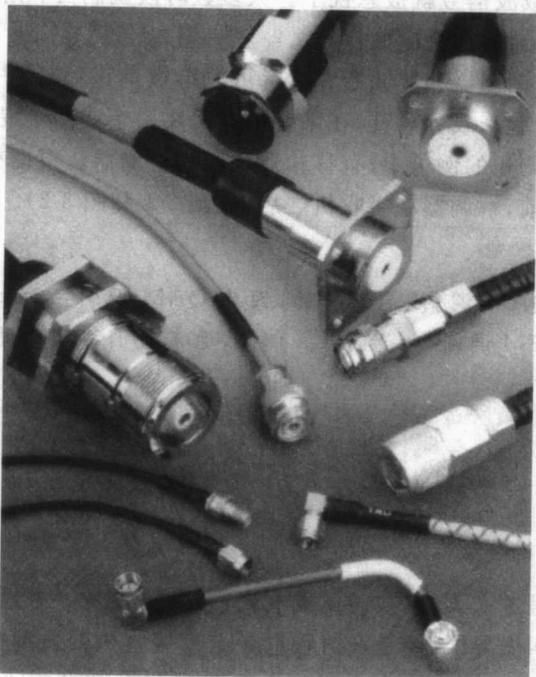


图 5-12 同轴电缆, Tru 连接器公司提供

所有同轴电缆完成相同的目标: 用最少的插入损耗, 从一点到另一点得到射频信号。读者可以想像, 没有免费的午餐, 总要作出折中。同轴电缆越大(越沉), 插入损耗越小, 但是

电缆越贵而且也越来越难处理。大而沉的电缆不能在小东西上缠绕,这使得它们很难工作,更不要说它们非常沉。所以射频工程师在可以容忍的插入损耗限度内,使用最小的电缆。

在射频系统内,同轴电缆经常用做两个主要的模块接口。例如,电缆经常连到基站天线的底部,来传输来自天线的信号,信号顺着塔下来,进入有低噪声放大器(LNA)的屋子。

2. 电缆类型和名称

为了使事情变复杂,针对不同情况,射频工程师努力开发了几种不同类型的同轴电缆。3种主要的同轴电缆通过如表5-4所示的外层进行区分。

表 5-4 同轴电缆类型

电缆类型	外包层	描 述
弹性	橡胶涂层包围着一个很细的金属防护物	非常有弹性,橡胶外包层用来保护很细的防护物
半弹性	细金属(辫状)防护物	比弹性电缆的柔韧性和承受力要差,但是便宜
半刚性	厚厚的实心金属防护物	比半弹性电缆弹性差些,但是承受力更强

不同大小的电缆需要如下的详细说明。一个半英寸直径的柔软电缆称作半英寸直径弹性电缆,但是现在读者已经知道了射频工程师习惯于采用简单的想法,然后将其复杂化。所以上面提到的电缆被称为RG-58。事实上,大部分同轴电缆称为“RG什么”或其他。有许多不同的RG号,除非读者打算靠买同轴电缆为生,关于电缆的RG号,读者惟一需要知道的事情就是,除了几个例外,号码越小电缆的直径越大。所以RG-58比RG-114更大(更贵)。

你知道吗?

电缆的“RG”名称来自美国部队信号公司,这个公司在第二次世界大战期间发明了同轴电缆。RG代表无线电通信等级,也许是有助于将它们与能量电缆(熏牛肉三明治)区别开来。

5.4.2 连接器

电缆本身没什么作用,除非它们的末端是连接器,或者是一个更特殊同轴连接器。一个同轴连接器允许一个电缆连到另一个电缆上或一个器件上。所以,有两种不同的连接器:连到电缆上的和连到器件上的。没有这两种连接器,是不可能将电缆连到器件上的。电缆连接器和器件连接器的区别如图5-13所示。器件连接器是有四孔的轮缘。

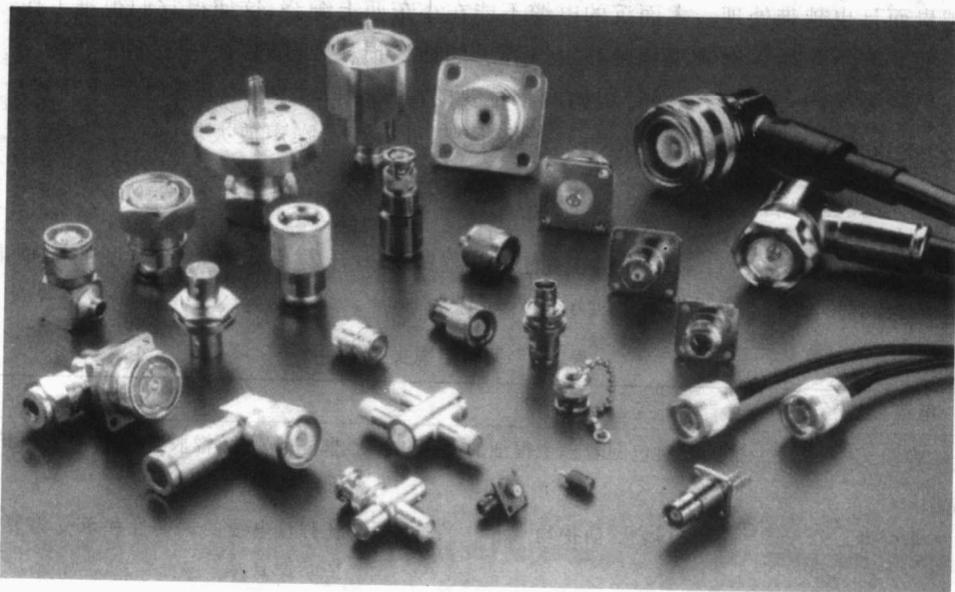


图 5-13 电缆连接器和器件连接器, Tru 连接器公司提供

1. 电缆集中的连接器

在电缆中,连接器通过机械方式紧密地连到电缆的末端。一旦连接器连到一个电缆,它将成为电缆集(assembly)。射频工程师有时购买电缆集,有时购买普通(标准)电缆和单独的电连接器,然后亲自将每部分连起来。为什么他们选择自己做电缆集而不买已经做好的?当只需要几个电缆集时,将它们装配起来更便宜也更快。但是,当需要很多电缆集时,最好选择购买电缆集。

2. 连接器族

就像电缆一样,每个连接器的目标是一样的:最小的插入损耗。是的,虽然和电缆比起来,连接器的插入损耗很小,但是连接器确实有插入损耗。不同类型的连接器非常多。表 5-5 只是一个射频同轴连接器族的抽样,几乎所有的连接器族都有适于电缆和器件的连接。作为通常规则,一个族的连接器不会和另一个族的连接器匹配。

为什么有那么多不同的连接器族?有两个原因。首先,一些连接器族在物理尺寸上很大,而其他连接器很小。正如以前提到的,如果需要一个便宜的电缆集,那么选择一个小直径的电缆,小直径电缆将连接器的选择限定在可用的小连接器族内。如果电缆需要承载高功率的射频信号,就需要大直径的电缆,所以需要大连接器。

第二个原因是演变。连接器设计者经常改进连接器,或者降低插入损耗,或者使连接器

表 5-5 RF 同轴连接器族

SMA	SSMA	1.4mm	K
SMB	SMC	SMT	SSMT
BNC	TNC	SMP	SSMP
N	7-16	OSP	OSSP
SC	7mm	OSX	Type 43
3mm	2.4mm		

更便于使用。每次对一个已经存在的连接器类型进行显著的改善,一个新的连接器族便诞生了。

你知道吗?

更流行的一种射频连接器类型是 BNC,如表 5-5 所示。在 19 世纪 40 年代初期,一个 3 人(Bayonet, Neill, Councelman)小组开发了以提供安全接口和简易锁闭机制为直接目的的连接器。为了感谢这 3 个人对这项技术的发展所作的贡献,新的连接器命名为 BNC。

3. 适配器

由于有这些不同的连接器族,结果有趣的事发生了。有时射频工程师被迫将带有一个连接器的电缆连到另一个带有不同连接器族电缆或器件,这是不能完成的(没有横木)。适配器使它们步调一致。适配器,也称作同轴适配器,是短小的双边连接器,一边是一个族的连接器,另一边是其他族的连接器。适配器便于连接带有不同族连接器的两个射频物体。各种同轴适配器如图 5-14 所示。



图 5-14 同轴适配器, Amphenol 公司提供

你知道吗?

需要 3 个适配器(3 个公母结合)来兼容每种连接器族组合。这意味着采取 3×231 或 693 种不同的适配器来兼容表 5-5 中所示的所有不同的连接器族。现在读者知道为什么一些射频公司花大量的时间来生产适配器了吧。

5.4.3 波导

射频传播的另一种方式是靠波导传播。波导是更老的技术,它们很贵(和电缆比起来),用于军事或高功率应用。波导在当今的商业无线系统中几乎不再使用,因为它们太大并且太贵。但是波导仍然在使用。图 5-15 显示了几片波导。

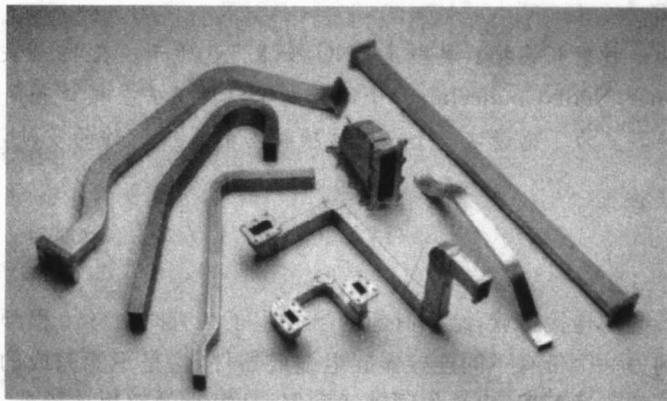


图 5-15 波导, A-Alpha 波导公司提供

波导本来就是带有矩形交叉部分的管子,用于从一点到另一点传输射频信号。关于波导有趣的事情是,不像电缆在导体上传输射频信号,波导以看不见的波形式传播射频信号。波导仅仅是用来承载波,并控制它们传播的方向。

如果波导是老的技术,它们又大又贵,为什么或在哪里使用它们?我忘记提及关于波导的是,它们几乎没有插入损耗,这就是为什么它们用于高功率射频系统的原因。

5.4.4 电路迹线**1. 混合和印刷电路板**

信号在射频系统中传输的最后一种方法是在金属迹线上,金属迹线安装在某种电介质的顶部(还记得电介质吗?)。如果迹线碰巧是陶瓷的,并且器件是未包装的芯片,那么电路称为混合电路或 MIC(微波集成电路)。如果电介质材料碰巧是某种特殊的塑料合成物,并

且器件全是包装器件,那么电路称为印刷电路。一个印刷电路也称为一个印刷电路板(PCB)和一个分立电路。请看图 5-4(a)和图 5-4(b)。

你知道吗?

奇特的塑料合成物材料用于优化射频印刷电路板,在电路中产生出最小的插入损耗(总是一件好事)。这些塑料合成物称作 FR4,PTFE,Duroid™。

2. 带状线、微带线和共面波导

射频电路的金属迹线可以用几种不同的方式布置。有 3 种流行的方式:带状线、微带线和共面波导。

带状线只以电路的形式来模仿同轴电缆。共面波导只以电路的形式来模仿波导,而微带线并没有试图模仿什么,它仅是一个射频电路。所有这 3 个版图方案都有它们各自的优点和专门的用途。图 5-16 显示了 3 个版图方案的一个代表性的视图。深色区域是金属迹线,浅色区域是电介质材料。

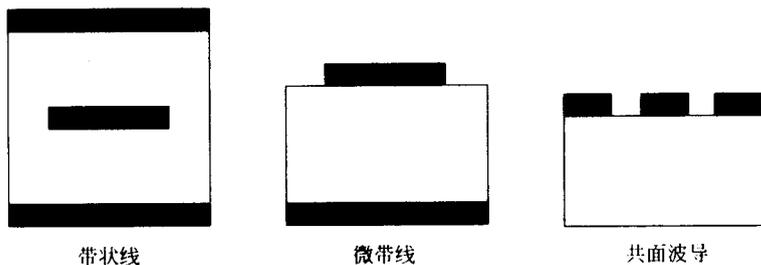


图 5-16 带状线、微带线和共面波导的模断面视图

如果仔细观察图 5-16,读者可以看到带状线的交叉部分与同轴电缆(中间是导体,外部是防护物)的交叉部分有点相似。如果仔细看共面波导的交叉部分(读者迅速喝五分之一杯的威士忌酒),读者还是不能看到和真实波导的任何相似之处,因为它们根本就不相似。共面波导可能看上去不像一个真正的波导,但是它确实像波导那样工作。不信可以问任何一个射频工程师。

快速回顾一下,在射频系统中射频信号传播有 3 种方式:电缆、波导和电介质材料上的金属迹线。依据电介质的类型有两种不同类型的射频电路。如果电介质是陶瓷的,那么电路就是混合型的(MIC)。如果电介质是塑料合成物,那么电路就是印刷电路板(或 PCB)。在射频电路上有 3 种流行放置电路迹线的方式:带状线、微带线和共面波导。最后所有不同介质的目标是相同的:用最少的插入损耗将射频信号从一点传到另一点。

第 3 部分 射 频 系 统

第 6 章 传 统 技 术

回想一下,其实无线通信技术出现时间很短暂。本章主题是:短期发展起来的无线技术。本章仅选择 4 种传统技术做介绍:广播、雷达、卫星通信和点到点微波。就这 4 种技术而言,系统设计和技术方面都有很大不同。被选中的 3 种是 RF 技术多种应用的典型代表。

同 FM 无线电广播和电视一样,出现于 20 世纪 20 年代初的 AM 无线电广播,是广播技术的典型应用。广播技术是惟一种从一点到多点无线传输信息的射频应用,它并不关心目的接收机的响应。广播是单向技术(它并不阻止人们在他们的电视前捧腹大笑)。最近,使用不同无线技术的通信对广播产生了冲击,它就是卫星服务(也在本章讨论)。

20 世纪 30 年代末兴起的雷达技术,是一种很有趣的射频通信形式。它不同于其他无线通信形式,雷达不是通过调制将信息加载到 RF 载波上来工作,而是通过环境将信息强加到 RF 载波上,信息就包含在 RF 载波的微小变化中。很快读者可以学习到,这些微小变化能包含雷达所跟踪物体的很多信息。

今天,几乎到处使用雷达:地面、空中和太空。廉价的 RF 电子器件的实用性使得雷达技术用在很多惊人的新领域。廉价雷达对汽车工业影响最大。不久的将来,所有汽车将安装使用雷达技术,并作为未来汽车的标准特征(据我所知,目前还没有在汽车上装配导弹的计划)。

20 世纪 60 年代初期卫星通信出现。但它早在 20 世纪 40 年代就被提出来了,不过必须等待支持它的技术出现,它才能真正可行。卫星可用于单向和双向通信。如果读者曾在夏威夷的人打过电话(从所在州以外),呼叫很可能需要卫星中转。如果读者曾在不同时区看过实时体育直播,那个信号也需要卫星中转。

本章将简单介绍点到点微波通信,它最初用于长途电话服务中,长途电话服务最终导致 AT&T 的瓦解。同时还提及一个很重要的概念“多径”,它对所有无线通信都很重要。

通过本章学习,读者会看到这 4 种无线系统的共同主题。会注意到,美国由联邦通信委员会(FCC),其他地方由国际电信联盟(ITU)来为每一应用分配频率。同时读者会看到,如何用本书前几章所讨论的基本 RF 模块的组合来简单地描述每一无线应用。本章还讨论频率在每一系统中所担当的角色。在各种情况下,用最新技术设计的系统充分利用了每个特殊的系统频率分配。

本章目的在于,帮助读者理解最基本的概念,了解所熟悉的无线系统的工作方式。在每一实例中,都会给读者跟踪传播信号的机会,使读者清楚其中的变化。一旦理解了这4种系统的基本原理,将会对无线系统如何工作有了一个大概的认识。今天,大多数复杂的无线技术,诸如多普勒雷达、低地球轨道卫星,只不过是这4种基本系统的改进和精炼。

6.1 广播

6.1.1 广播的概念

1. 特性

广播只不过是这样一个RF系统,该系统通过一个广阔的地理区域传输它的信号,并且有目的地送给广大听众。广播属于一对多系统,即一个发送者多个接收者。同时也意味着,没有为接收方提供与发送方直接的通信。3种被广泛接受的广播应用是AM无线电广播、FM无线电广播和电视。

在美国,所有广播形式都有一个共同点:它们都要得到联邦通信委员会(FCC)的批准,并在特定频带内工作(频带是由它的上边频和下边频惟一定义的频率范围)。FCC是热心的组织,它将这些频带划分成更小频带,称为信道,因此,不同广播公司可以传输不同的娱乐节目。

2. 约束

为遵从FCC,广播公司传送它们节目时必须在3个约束内操作。第1个约束是频率。正如前面所提到的,给每个广播公司分配一个信道(频率范围),它们只能在这个信道内传送RF能量。为了维护秩序,其他任何人禁止在这个频率范围内发送广播。广播是在发送机输出端需要滤波器的典型例子。

其次,广播公司必须遵守地域约束。授权一个无线电台在旧金山范围内发送广播信号,就没有必要给它在奥克兰发送信号的权限。在一些极端情况下,广播公司必须裁剪它们辐射的RF能量,来遵守地域界限。如果读者还能回忆起有关天线方向图的讨论,天线能被设计成在一个定义好的几何图形范围内辐射RF能量。不过很少需要很复杂的方向图(如三叶草形)。调整成圆形或椭圆形是经常使用的窍门。

广播公司在分配给它们的地域范围内的最高点安置它们的发送天线,来确保对所有接收者来说都能是视距(line of sight)。假设一个广播公司所在区域的最高点恰好在区域的最北点。再进一步假设,这个最北点连接某一广播公司所在传输区域的南边(在相同频率上工作)。在这种情况下,需要第一个广播公司辐射RF能量严格控制在向南的方向(见

图 6-1)。顺便说一下,其他区域的广播公司(以相同频率广播)完全有可能将它们的天线安置在同一山上。自然要求它们辐射的 RF 能量严格控制在向北的方向。

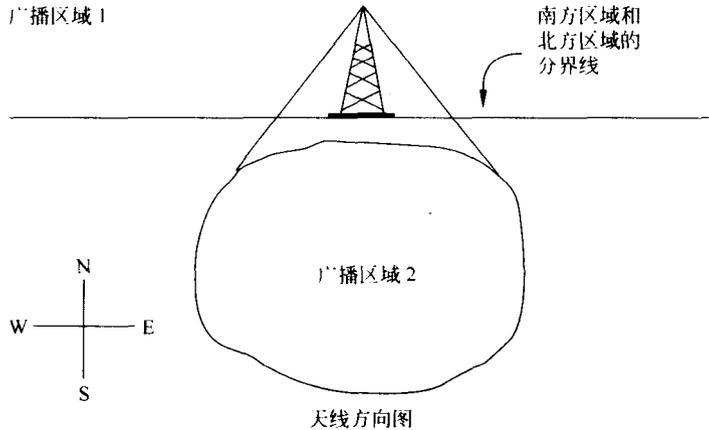


图 6-1 广播站的天线方向图

最后,广播公司需遵守功率约束,这和地域密切相关。广播公司传输功率最大值有限制。用两种不同 RF 行为来限制这个功率。首先,随传输功率的提高,天线方向图尺寸会增大(形状和方向不变)。在某点,因天线方向图太大而影响邻近广播公司(在相同频率上工作)。在图 6-1 中,如果天线方向图过大,就会与其他广播公司的南部区域重叠。

其次,由于 RF 硬件的特性,过高的传输功率会引导 RF 产生不需要的行为。由于发送机的输出滤波器不理想,若在分配给广播公司的频率范围内,发送机输出 RF 功率增加了,则从发送机输出的功率就会超出广播公司分配的频率范围。超出某一功率输出,这个频带外功率开始对邻近频率产生干扰(工作在同一区域)。

6.1.2 频率的角色

1. 分配

在美国,FCC 将特定带宽和信道分配给 AM 广播、FM 广播和电视(见表 6-1)。

直觉应该告诉读者,分配信道(在频域)越宽,能传输的广播信息就越多,这就是为什么 AM 广播分配 10kHz 带宽,只能广播单一信息,而 FM 广播,分配 200kHz 带宽,可以广播立体声,电视分配 6MHz 带宽,可以广播视频。

快速浏览一下 AM 广播频率分配,可能会得出这样的结论: AM 频带共分配 1 070kHz 频率(1 605kHz—535kHz),每一个信道分配 10kHz,共有 107(1 070kHz/10kHz)个不同信

表 6-1 广播频带和分配

服 务	频 带	分配信道
AM 无线广播	535kHz~1605kHz	10kHz
FM 无线广播	88MHz~108MHz	200kHz
TV(VHF)	54MHz~72MHz	6MHz
TV(VHF)	76MHz~88MHz	6MHz
TV(VHF)	174MHz~216MHz	6MHz
TV(UHF)	470MHz~890MHz	6MHz

道。实际上,广播信道并不像数值计算的那样一个接一个,它们之间用一个很小的频率缓冲来隔离,以保证连续信道不相互干扰。

再参照表 6-1,第一个电视频带(54MHz~72MHz)包括 2、3、4 信道。每个信道分配 6MHz 带宽,总计频率范围仅为 18MHz,表面上看 TV 信道一个接着一个。实际上,在每 6MHz 信道分配内包含一个频率缓冲。读者现在有能力计算任何信道的 6MHz 频率分配,表 6-1 中信道按频率顺序列出。例如,76MHz~82MHz 是信道 5,82MHz~88MHz 是信道 6 等。如果读者有时间,可计算一下信道 51 对应的频率范围(我应该很吝啬地不告诉你,但是我不能),它是 692MHz~698MHz。

你知道吗?

现在应该能领会到为什么高清晰度电视(HDTV)需要这么长时间才能成为现实。美国设计的所有电视机,仅能在 6MHz 带宽内接收完整的节目信息。HDTV 信号包含信息多于 6MHz 带宽所能包含的信息(多的带宽等价于多的信息量)。当然,不同的制造商之间对标准有争议,这又是另一码事了。

2. 传播

在环境中,广播信号的行为方式与它的频率有关。就像在第 2 章所提到的,当 RF 信号在空间传输,遇到固体物体时,信号或发射或吸收,或两种情况都发生。这种行为使得 RF 信号被认为是视距(LOS)信号,这就意味着传输天线必须看到接收天线,在建立无线连接时,它们之间没有遮挡物(有很多例外的视距规则,但超出了本书范围)。

为使任何人能通过空间接收电视信号,视距行为有四重含义。首先,在传输天线和电视天线之间没有任何主要遮挡物。其次,要不断调整电视天线,因为不同电视台发送天线安置在不同地方。再次,在有高大建筑物区域,接收通过空间的电视信号很可能出现幻影(ghost)接收现象,幻影就是在同一电视画面中有两幅图像,这是很容易理解的。它是在略有不同的时间里,电视两次接收同一信号的简单结果。什么使得电视接收同一信号两次呢?信号反射。一路信号直接从发送天线到电视天线。其他信号被一个或多个大遮挡物反射,

然后才到达电视天线。既然第二个路径传输距离长,那么它后到达电视天线(这种现象称为多径,随后将作讨论)。

视距信号的最后一重含义,并且很可能对 RF 通信意义重大,为接收 RF 信号,接收机必须在发射机数英里范围内(以地面为基准),否则由于地球曲率,而接收不到信号(参照图 6-7)。但是这种视距限制有很多例外情况。例如,在低频(低于 30MHz),通过电离层(地球大气层的一层)反射,信号传输距离能超出视距范围。这种行为解释了为什么 AM 广播站传送的信号在夜间有时能传输几百英里以上。

6.1.3 调谐

调谐器

以下讨论属电视广播范畴,亦适用于 AM 和 FM 广播。既然所有电视信号仅有 6MHz 带宽,电视机中的电子器件也只能处理 0~6MHz 范围的信号。这 6MHz 信号就是前几章所提及的信息信号,它包含所有必要的视频和音频信息。

现在就出现问题了。电视机内部的电子器件只能适应 0~6MHz 之间的信号,但是没有传输信号在 0~6MHz 之间。它们都在某一较高频率上(见表 6-1)。电视机如何使得这么高的传输信号频率降到电视机内部电子器件能适应的频率呢?使用调谐器。

现在调谐器是各种混频器、滤波器和其他器件构成的精密电子器件。为便于理解,图 6-2 从功能角度表示出调谐器的简单框图。紧记,它不能确切说明调谐器如何工作,但从功能上说明调谐器如何实现。

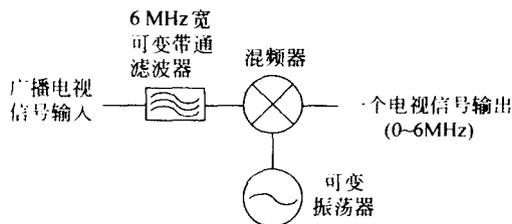


图 6-2 描述电视调谐器功能的方框图

如图 6-2 所示,调谐器工作需做两级处理。首先,通过调整可变带通滤波器的频率来过滤其他不想要的信号,只留下符合要求的 6MHz 信道,只让符合要求的信道通过。然后混频器只保留这一通过信号,并且把它变频到基带(0~6MHz)频率。注意,为使框图能恰当地工作,振荡器需要变换它的频率来适应每个不同信道。

为了使读者直观认识调谐器的工作,可参照图 6-3。最上面的曲线图是频率图,表示出所有进入调谐器的信道。经过可变滤波器,只有符合要求的 51 信道仍然保留(读者应该已

经知道频带了)。在这点上,信号所在频率对电视机的器件来说是无效的。通过混频器后,51信道下变频到基带频率,这才是有用的。在这点上电视机内部电子器件接管、处理信号。

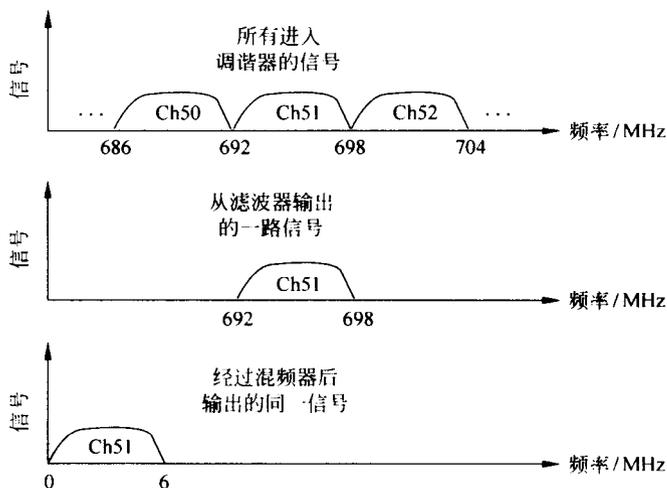


图 6-3 调谐处理步骤

6.1.4 电视传输

1. 3种途径

目前有3种基本(合法)途径接收电视信号:通过空间、通过电缆和通过卫星。它们使用完全不同方法传播信号,但目标是一致的:尽力让你的电视机接收到更多不同6MHz频道。通过空间传输的电视信号,6MHz频道的数目受到FCC分配频谱(频带)数量的限制。这使得电缆和卫星占据了优势。

在电缆传输情况下,电缆本身能承载0到接近1000MHz的信号。按每频道6MHz,那么理论上,电缆有承载166个不同频道的能力。它能传输这么多信号的原因在于信号被限制在电缆内,因此不与通过空间的信号相互干扰。

需要注意的是,6MHz带宽是模拟电视的要求,这就意味着调制到RF载频上的信号是模拟的。在较新的数字电视系统中,同样的信息能填入少于6MHz内,它能转化成更多TV频道(嗨,高尔夫频道)。

正如所期望的,卫星能传输很多的电视频道,因为它使用数字信号,并且使用数字信号处理,这将在6.3节介绍。

事实上,还有第4种电视信号传输方法,它是其他3种的混合,称为多信道多点分布式服务(MMDS)。MMDS将在第8.1节中讨论。

你知道吗?

有线电视提供商实际上并不能在电缆上传输理论上的 166 个频道。原因在于它还留出部分电缆频带(0~1 000MHz)来接收信号。现在,电缆频带的一部分用于双向通信,这使得它能理想连接到 Internet。

2. 即时新闻

我认为描述即时新闻电视信号的传输路径很有趣(从事件到你的 TV)。在这个例子中,读者能看到所有无线通信在日常普通事件中所担当的所有不同角色。

假设你住在山区,正在你卧室某处,想娱乐一下,于是打开了电视。当你打开电视时,你发现你正在观看的是发生在洛杉矶的一个快速警察追击行动,那么信号是如何到达你的 TV 的呢(参见图 6-4)?

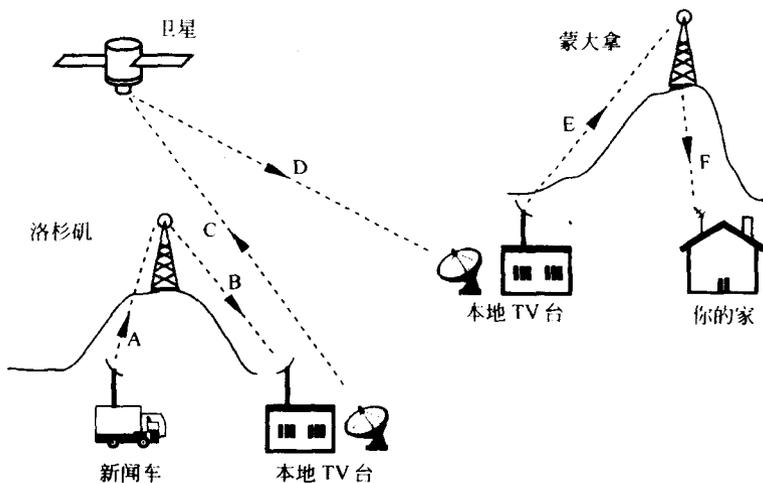


图 6-4 新闻事件的信号路径

在这个特殊例子中,通过新闻车在现场用摄像机拍下新闻事件,新闻车将实况反馈到本地电视台,由它来处理 and 重传信息。新闻车有能力通过无线方式将信号传输给 TV 台。但它不能直接给电视台发送信号,这是由于在视距内通常存在高大建筑物和其他障碍物。因此新闻车通过微波中继塔将信号间接发送出去(图中 A 和 B 路径),微波中继塔位于城市的某高点。这种形式的无线通信称为点到点微波通信,将在本章最后讨论。

信号到达本地电视台后,节目管理员认为该新闻很能激动人心。因此,本地新闻台将信号发送到美国上空的卫星(路径 C),卫星将信号转播到山区电视台(路径 D)(卫星不仅将信号转播到山区,它还将信号转传到美国的每个角落,更详细的说明,在后面的卫星通信部分可以看到)。

最后,山区当地本地电视台需要将信号转播给你,如果你生活在农场这样的环境里,没有有线电视。因此山区当地电视台使用点到点微波通信将信号发送到你所在区域的高点(路径E),在这点,信号第一次成为广播信号,并传送给及你的邻居。你接收到的信号使用了6条不同无线路径,历程超过45 000mile(1mile=1 609m),这时你才能嘲笑在洛杉矶的某一疯狂人(没有无线通信,你会在哪里?)。

3. 旧技术新用法

不久前,FCC给每个广播公司分配了些额外频谱,用于传输HDTV。但这给了广播公司在如何使用频谱上很大的弹性,以获取非HDTV方面的收入,例如计次付费节目(聊胜于无的收入)。当然,新分配频谱的绝大部分用来传输HDTV节目。广播公司看到这是传输其他内容来增加它们收入的机会。

为利用这个即将来临的业务,需将特制天线连接到PC机上。这样将能下载视频游戏、软件、任何数字形式的东西(同样可以在PC机上看电视)。广播公司利用它们现存的基础设施来传输附加内容,因此需要的新投资少。例如无需接入Internet,就提供第一时间购买下载软件的机会。当然你需要问你自己,你是否想让本地广播公司成为你的零售商,但这是另一个问题。

6.2 雷达

6.2.1 雷达的概念

1. 定义

在所有无线通信中,用到很多著名的首字母缩写词,radar即RADIo Detecting And Ranging,从中可以看到雷达的主要用途。它用无线电波来探测物体。具体地说,今天的先进雷达能探测到物体4个方面的鲜明特征,雷达能探测到物体是否存在,物体有多远,它在哪,以及它的移动速度(曾经收到过超速行驶罚款单的人可以证明这一点)。

雷达在很多地方得到应用,包括地面(称为地面基站)、船上(称为船上基站)、空间(称为空间基站),外太空(称为太空基站)。

2. 频率的角色

同其他在美国的无线应用一样,FCC给雷达分配了专门频带。一些雷达分配频带如表6-2所示。

表 6-2 一些雷达频带

雷达频带	频率范围	应用
UHF	220MHz~225MHz	预警、卫星监视
VHF	420MHz~450MHz	预警、卫星监视
L-波段	960MHz~1215MHz	空中交通控制
S-波段	2.3GHz~2.5GHz, 2.7GHz~3.0GHz	预警、船载军用
C-波段	5.25GHz~5.925GHz	高度计、气象雷达
X-波段	8.5GHz~10.55GHz	飞行军事、气象雷达、公安部门使用
Ku-波段	13.4GHz~14GHz, 15.7GHz~17.7GHz	飞行军事、公安部门使用

选择什么样的频率来满足特殊应用要考虑 4 个主要因素,表 6-3 专门列出这 4 方面,在选择频率时一定要加以考虑。注意在表 6-3 中,有几个词用引号引上,因此它们都是相对度量词。例如,空间应用的“大”雷达系统相对地面应用来说,被认为是“小”雷达系统。

表 6-3 在雷达系统中影响频率选择的因素

因素	含义
频率增大,空气吸收(衰减)增大	若雷达要检测“远”距离物体,需用“低”频率
频率增大,系统器件尺寸减小	若空间受限(如在飞机上),需用“高”频率
给定频率,天线尺寸越大,波束宽度越窄	若需要高精度雷达,需用“大”尺寸天线
输出功率增大,系统尺寸和重量增大	若需要“高”功率,雷达要占用“大”空间

表 6-3 包含一个读者以前很可能没见过的词——波束宽度。用 RF 辐射信号的波束宽度描述非全向天线的天线方向图有多宽(见图 3-6 天线方向图)。射频能量可以在一个宽方向图或一个窄方向图内辐射(见图 6-5)。天线波束宽度用圆周角度量。注意图 6-5 内的天线方向图,左图天线波束宽度窄(大概是 $10^\circ/360^\circ$),而右图天线波束宽度宽(大概是 $45^\circ/360^\circ$)。

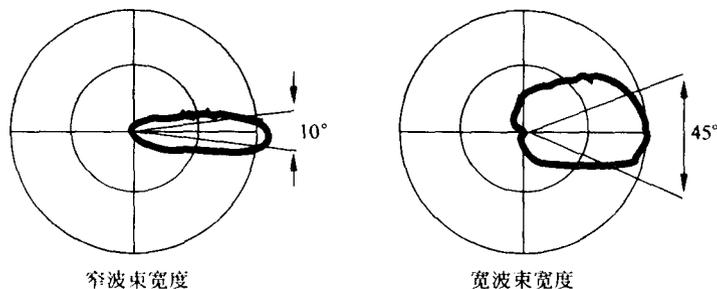


图 6-5 天线波束宽度的比较

直觉认为波束宽度越窄,雷达探测物体精度越高。正如 RF 世界的所有其他方面,要更高精度就要付出代价。从表 6-3 读者可以看出,窄天线波束宽度(越精确)需要大天线,这样的大天线很重,难以移动。

6.2.2 雷达如何工作

1. 反射的作用

雷达工作原理简单,在第 2 章讨论过,当 RF 信号遇到固体物体时,RF 能量的一部分会被反射。对于这种 RF 反射来说,一个关键的概念是雷达横截面。每个固体物体都有雷达横截面。观察任何三维物体的二维轮廓都可呈现雷达横截面。为帮助理解,读者可以想像在末端观察足球。尽管足球是椭圆形,但从它的末端观察,足球雷达横截面是一个完美的圆形。很像将足球切成两半来观察。

雷达基本原理:横截面面积越大,被反射的 RF 能量越多,相应物体就更容易被发现。因而,它与被测物体的尺寸无关,但与物体的雷达横截面(轮廓)面积有关。因此,足球比钓竿更容易被雷达发现。

你知道吗?

美国空军 B-2 轰炸机几乎不能让雷达探测到。可通过两种方法实现这个目标。第一,飞机表面使用可吸收 RF 的材料。几乎所有碰到这种飞机的 RF 能量(从敌机雷达来的)吸收(转化成热)的比反射的多。第二,飞机的独特设计,使得从前面观察它时,它的雷达横截面很小。这几乎和看一支铅笔一样,铅笔的雷达横截面小。

2. 雷达如何测定距离

为了确定物体的距离,从而判定它的位置,雷达应用了一个读者已经在代数中学习过的简单公式:距离等于速度乘以时间($D=R \times T$)。应用这个公式的关键在于雷达系统已经知道速度 R(RF 信号传播速度)。RF 是以光速传播的,就是说每秒 186 000mile,即光能在 1 秒钟内绕地球赤道 8 圈。

测距时,雷达发射机发射信号,雷达内的超快速电子器件计算反射信号到达接收机的时间。这个数值除以 2(因为 RF 能量完成了一个回程)就是信号从发射机传输到物体所用的时间,这个时间再乘以光速所得数值就是到物体的距离。仅用来测距的雷达系统称为脉冲雷达,因它是用脉冲控制发射机的开和关。在发射机的短暂开启时间期间,发射机以一特定频率发送 RF 能量。在它处于关闭期间,接收机监听反射信号。既然反射信号和原始(发射)信号频率相同,在接收机监听反射信号的时候,发射机必须处于关闭状态。(否则,所有接收机准备监听到的都是被发射的信号。)

你知道吗?

追溯到17世纪,牛顿这位发现地球引力的天才想估测光速。他拿一个提灯站在一个山头,他同事拿着一个提灯站在另一个山头,他们之间的距离并不是很远。牛顿打算先揭开自己的提灯,并让同事看到他的提灯后马上揭开他自己的提灯。牛顿所需要做的是,计算他自己揭开提灯和看到另一光亮间的时间,除以2,就可得知光速了或者说这是它所想的。不用说,也能想像得到这项工作很难完成,光传播的时间是一个无穷小量。然而,传说牛顿就是因为这件事才坐在一棵苹果树下沉思。

3. 雷达如何测定方位

雷达通过移动天线进行扫描来确定物体的位置。扫描指天线指向单一方向,在这个方向上发射信号,等待反射信号。如果接收到了反射信号,雷达知道天线的指示方向,因此就知道物体所在方位。

经过短时间后,天线移动一个小的角度,并重复以上过程。雷达重复这3个处理步骤(移动天线、发射信号、等待反射),直到覆盖所有感兴趣区域。然后指示天线又回到最先位置,再重复处理一次。

这里需使用波束宽度。波束宽度越窄,天线在扫描处理中移动越频繁,而允许雷达测定的物体方位精度就越高。明显地,这里存在一个折中。波束宽度越窄,发现物体所需时间就越长,但物体一旦被发现,就能知道其所在确切位置。雷达经常用于战斗中,起先用宽波束宽度来扫描,仅来确定那里是否存在物体。一旦物体被探测到了,就用窄波束宽度来确定目标的实际位置。

在雷达系统设计中,需考虑所有不同折中。如果你是一名驾驶战斗机的飞行员,想歼灭敌机,就希望雷达能产生很窄的波束宽度,以便在你发射导弹之前,就知道目标的精确位置。实现窄波束宽度需要两个因素:要么有一个大天线,要么有高的发射频率。如果天线尺寸不妨碍航天器起飞,大天线是一个极好选择。正如所预想的,这里有限制。另一方面,高频率是产生窄的波束宽度的有效途径,但高频率易受大气损耗,这就意味着雷达仅能为离得最近的目标定位。如果我是一名空军战士,我想看到所有目标(无论它是近还是远)。今天的雷达是折中不断革新的技术和性能于一身的。

你知道吗?

传统雷达缺点之一是它需要天线作机械运动,来扫描感兴趣区域。不但需要昂贵的驱动发动机来移动很重的天线,而且不能从一个位置瞬间移到非临近的另一个位置上。这种局限促使电子扫描阵列技术出现,在这里,雷达内的天线方向图移动,而不需要作任何机械运动。要理解它的详细内容,需要对工程有一定了解,因此按照我的话来做吧。

4. 雷达如何确定速度

追溯到19世纪,一位聪明的奥地利物理学家多普勒获得惊人发现。他观测到,从一个移动物体发射的声波,其频率随物体的移动而改变。并且证明,对所有的波都是正确的,当然包括RF。事实上,被观察到的频率平移(称为多普勒频移)同物体移动速度成比例。这是多普勒雷达的基本原理。多普勒雷达用于确定物体速度。

多普勒雷达与传统雷达的一个区别在于它的发射机一直处于开启状态,这种类型的雷达称为连续波或CW雷达。发射机之所以必须一直开启,因为它不像传统雷达,需计算发射与接收间的时间,多普勒雷达寻找频率变化。而频率变化不会持续很长时间,因此发射机必须一直处于开启状态。

你肯定很想知道为什么发射机一直处于开启状态而不会干扰接收。如果接收机正在监听和发送机发送频率一样的信号,它会受到干扰,但是情况并不是这样。接收机正在寻找与发射信号频率相比较发生频移的信号。事实上,接收滤波器滤除了任何和发射机频率相同的反射信号。若反射信号和发射信号频率一样,按照定义,物体没有移动(没有频率平移)。多普勒雷达对相对静止物体不敏感。

也许读者正在考虑,在某些情况下将多普勒雷达同传统雷达(距离和方位)结合使用会有优势。事实上,现在很多复杂的雷达系统,如脉冲多普勒雷达就是这样的。它不但能计算接收信号的时间(测定距离),还可获得频率平移(测定速度)。

你知道吗?

如果读者曾听过火车经过时鸣笛声调的变化,就经历了多普勒频移过程。当火车迎面而来,你所听到的是被火车速度平移了的火车鸣笛频率。因此若火车迎面开来,它的鸣笛频率在逐渐增大。若火车离你远去,鸣笛声调下降,被离你远去的火车速度向下平移。

6.2.3 各种雷达系统

1. 脉冲雷达系统

正如前面所提到的,脉冲雷达系统用于确定物体是否出现在可计算距离内。使用脉冲雷达系统的两个普通系统是自动开启门(在许多超市可以看到)和自动卫生间冲洗(在许多机场可以看到)。这些系统的操作易于理解。在这两种应用场合,系统不断发射雷达脉冲并等待响应。系统希望在两个时间间隔之一接收响应。若没人出现,信号反射只来自地面(自动开启门)或来自卫生间的门(自动卫生间冲洗),这导致一个长的时延。在这个长时延内,系统知道不要做任何事情。若有人出现,信号反射来自两方面,包括人身,因为人离系统比较近,这导致一个相对短的时间间隔。当系统感知到这个相对短的时间间隔,它就知道该做什么了(开门或冲洗卫生间)。

脉冲雷达的一个新应用是近距离物体探测系统或 NODS, NODS 将一个廉价的脉冲雷达安装在汽车缓冲器尾部。倒车时,开启雷达并开始记录回应。当倒车时,若车距一个物体太近(时延太短),它会发出告警信号,这使得停车变得容易。

读者曾想过飞行员如何知道飞机所处高度的吗?他们使用便携式高度计。读者很可能以前听说过这个名词,但不知道它是什么以及它如何工作。高度计实际是安装在飞机内的脉冲雷达,它指向地面。由它发射信号,并等待响应,然后将时延转换成距离(见图 6-6),这就是飞机高度。

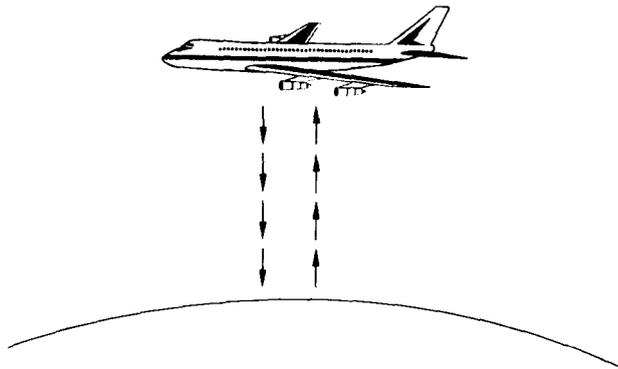


图 6-6 雷达高度计的信号路径

下面内容很有趣。如果飞机在 33 000ft(1ft \approx 0.3m)高度巡航,高度计信号往返旅程的时间是多长?是 66 000ft(信号往返旅程长度)除以 9.84×10^8 ft/s(光速),或者大约是 $1/67 \times 10^{-6}$ s。

另外一个有用的脉冲雷达系统是气象雷达。它通过探测雨点对 RF 能量的反射来工作。没有雨,就没有反射;小雨,反射就小;大雨,反射就大。每天晚间新闻报告中气象变化图中的不同颜色就表明了对 RF 能量反射的不同程度。将雷达探测到的气象情报汇集起来,就可以预测出云层的移动,在台风季节人们对这个很关注。

2. 多普勒雷达系统

多普勒雷达常被用于雷达枪中,当地执法机关用它来惩罚逃得晚的人。雷达枪从来自汽车的反射可简单地检测频率变化,然后转换成每小时多少英里的速度(也许下一代雷达枪可直接转换汽车速度为支票账户借方上的一次记账)。

更有趣的多普勒雷达的使用是用于战斗机中,称为射击控制雷达(之所以称为射击控制雷达,是因为用它控制导弹发射)。在今天的现代化航天器中,脉冲多普勒雷达用于测定位置和速度。

脉冲多普勒雷达系统安装在每架战斗机前端。在空战中,战斗机飞行员只关心战争形势(或敌方威胁),即敌机冲向他们。脉冲多普勒雷达用脉冲模式下的宽波束宽度来扫描天

空,判断周围存在的威胁。一旦扫描到威胁,雷达用窄波束锁定目标。然后接收机分析返回信号,分析它是否属于下列3种情况:频率没有变化,较低频或是较高频。

若接收机感知到频率未变化,就是说两架飞机的相对速度相同。这意味着敌机以同样的速度远离,也就是:敌方驾驶员很慎重。

若接收机感知到频率有下降,这表明敌机以很大速度远离,从而使两机距离逐渐增大。也就是:敌方驾驶员是懦夫。最后,若接收机感知到频率在增加,表明敌机正在向我机前进,频移越大,敌机接近得越快,也就是:敌方飞行员疯了。

你知道吗?

干扰警察雷达发射台(是违法的)的工作原理是在雷达枪频带范围内,发射频率不断改变的RF信号。雷达枪期望接收单一频率(反映汽车速度),而干扰信号使得它接收到一串不同频率信号,导致显示屏不能正常显示。

不仅警察对多普勒雷达感兴趣,气象预报员也利用它。用多普勒雷达测量风速,听上去很奇怪。这是因为RF能量在移动空气和静止空气上的反射不同。有这样的性能,用多普勒雷达来测定风切变,即风接近地面时,风向的一个强烈而突然的变化(通常靠近机场)。

这里提到的最后一种雷达系统是防止相撞雷达系统(只作简要说明),它相对来说比较新。防止相撞又称适应巡航控制,它和NODS相似,仅装在汽车前端。它可检测在一辆汽车前面物体的距离和速度。得到这两方面信息后,随车携带的计算机确定汽车以自己的速度行驶是否会靠前面太近。如果太近,系统或刹车减速或向司机告警。

之所以还没在汽车上看到使用防止相撞雷达系统,是因为美国、欧洲及亚洲的汽车制造商,还没对此系统使用哪个频带达成一致(2001年左右)。

6.3 卫星通信

6.3.1 为什么使用卫星

卫星技术是为解决RF行为视距传输局限而提出的。如果地球是平坦的,这种视距不会成问题(这就是为什么在哥伦布以前没有卫星)。携带足够能量的任何方向的发射信号都能到达它的目的接收机,这都是针对短距离而言。当RF信号需长距离传输时,就会出现问题,接收机由于地球存在曲率而被遮挡(见图6-7)。

图6-7左端显示,携带足够能量的RF信号进行长距离传输时会发生的情况。信号奔向太空。这种行为有局限,但同时也有好处。正因为这样,FCC才能给在不同地方的不同呼叫方分配相同的频率。一定英里以外,信号不再局限于地面,因此同频信号相互不会产生干扰。

注意一件很有趣的事情,图 6-7 左图描述情况会有例外。正像 6.1 节提到的低频 RF (小于 30MHz),RF 能量受到电离层反射,而沿地球传播,卫星不需要接收这个频段信号。

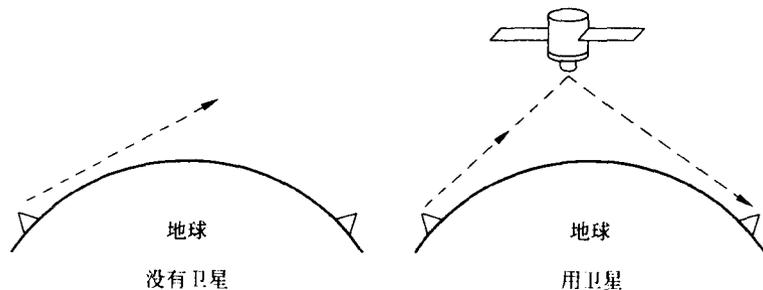


图 6-7 视距行为和卫星解决方案

你知道吗?

作家 Arthur C. Clarke 写了《2001: 空间的冒险旅行》,他认为第一个有卫星通信的想法要追溯到 1945 年。这个观察很有见识,那时太空旅行甚至不存在。也许这是从他的伙伴那里得到这个观点的。

图 6-7 的右端示出所有读者需要了解的卫星的使用。卫星允许 RF 系统克服地球曲率,依然遵守它们的视距行为。

需要花费巨大代价发射和维护卫星,因此它仅用于长距离通信中。肯定不会看到有人用卫星给它邻居打电话。

6.3.2 卫星如何工作

1. 同步轨道

卫星系统用于大陆间通信和电视节目转播的惟一原因是:它相对地球静止。这是个窍门,因为实际上地球本身以 1 000mile/h 速度自转。

恰巧在地球周围存在一个特殊轨道,它在赤道上方 22 000mile,称为同步地球赤道(GEO)。它也被称为静止地球轨道(在技术上,同步和静止概念不同,为简单起见,本书假设它们是一样的)。在这个轨道上,卫星绕地球转动速度同地球自转速度相同。当在赤道上某点观察卫星,会看到绕地球旋转的卫星保持静止(若卫星不是保持静止的,从地面来的发射信号就要不断改变发射方向)。

同步轨道卫星是如何工作的?不需要回到大学物理学,卫星受到不同方向上的两个引力作用,但在同步地球轨道上这两个引力相互抵消。其中一个引力是由恒定角速率产生。

可以想像一下,用一根线带一个小球在头顶旋转。如果放开线,小球会向外飞出。另一个引力就是万有引力,它尽力向内拽卫星(向地球)。距赤道 22 000mile 上空,这两个引力刚好抵消,这样卫星相对于地球就是不动的了。

为直观理解 22 000mile 到底有多高,图 6-8 以较接近的比例示出地球和卫星之间的距离。卫星距地球如此遥远,这是个好消息,也是个坏消息。坏消息是到达它需要消耗很多 RF 能量。好消息是发射信号通过卫星,几乎能到达整个半球。因此,传输从美国到英国的电话呼叫信号的卫星,在大西洋中间的赤道上。

你知道吗?

当将 GEO 卫星从航天飞船上发射,把它从机舱抛出仅能上升到 300mile 高空,而距它要到达的同步地球轨道还有 21 700mile。那么为什么还要用航天飞船发射卫星呢?这是因为地球万有引力恰好集中在 300mile 高空。

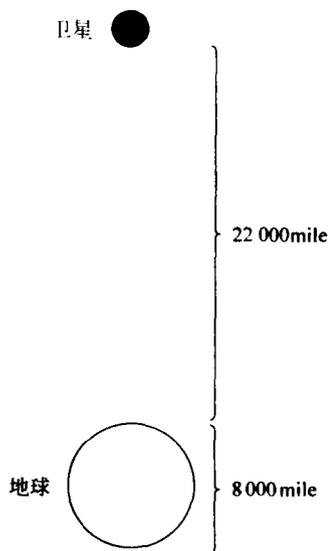


图 6-8 GEO 卫星的相对高度

2. 上行链路/下行链路

卫星进入同步地球轨道后,接下来需要关心上行和下行链路。上行链路指的是信号从地面(地球站)到达卫星接收机,下行链路指的是信号从卫星发送机到达地面接收机。

卫星系统使用的上行和下行链路频带由美国 FCC 分配(和其他无线通信一样)。但有些卫星用于国际通信,下行链路频率会影响美国以外的国家。分配这些国际频率的责任就落在了国际电信联盟(ITU)的肩上。对于世界其他地方,可以认为 ITU 就是 FCC。

卫星通信一个真正独特的特性是:上、下行链路(一个给定系统)工作频带不同。在不同传输方向,使用不同频带的通信系统称为双工通信(如果不同方向,能在同一时间通信,就称为全双工通信)。卫星就是一种双工通信。双工通信的含义是,若给另一个国家某人打电话(需要绕半个地球),使用卫星通信时,通话双方可同时讲话(如果通话双方使用不同语言,这个优势可能就不存在了)。

但通过卫星通信完成电话呼叫时,需考虑传播延迟。记得 RF 能量是以光速传播的。信号经历一个村庄这样的距离传播,我们用便携式电话通信是感觉不到这种延迟。但卫星通信就不同了,它需要经历 44 000mile 往返回程传播,从起初发送机发送信号到最终接收机接收信号有 1/4s 延迟。但是这仅是一个方向上的延迟。如果彼此交谈,另一方也要讲话,要收到对方响应,延迟将是 1/2s(两个往返)。在国际长途电话通信中,1/2s 延迟很明显。今天,国际电话通过海底光缆传播,延迟不再是问题了。

从另一个大洲观看体育新闻时,1/4s 延迟还是存在的。在广播情况下,1/4s 延迟根本不重要,除非在揭晓世界杯结果的最后 250ms 时体育馆的观众开始捣乱。

3. 卫星碟形天线

地球站和卫星使用碟形天线发送接收信号(见图 6-9 地球站碟形卫星天线示例)。它们方向性强(波束带宽窄)。所使用的碟形卫星天线的尺寸依赖于频率和上下行链路信号的功率。高上行链路功率需要大尺寸地球站碟形天线传播。另一方面,高下行链路功率需要小尺寸地球站碟形天线(和 DTH TV 使用相似)接收。



图 6-9 碟形卫星天线,由 Andrew 公司提供

当接收下行链路信号时,碟形天线担当漏斗反射体。首先,它让尽可能多的 RF 能量(来自卫星)进入碟形天线,碟形天线用 RF 反射材料制成。碟形天线越大,接收的 RF 能量越多,这就是为什么高功率卫星(和 DTH TV 所使用的一样)仅需要小碟形天线。RF 能量一旦进入碟形天线,它们都被反射到单一焦点——碟形天线表面微微突起处(见图 6-9)。这个焦点包含实际天线器件和低噪声放大器(LNA)。

4. 覆盖区

卫星天线发射的天线方向图和其他任何天线一样(天线方向图直观显示 RF 功率从天线辐射的方向)。从卫星产生的天线的方向图投射到地球表面,称为天线覆盖区。辐射进这个覆盖区的功率要考虑天线增益,称其为有效全向辐射功率或 EIRP。图 6-10 示出覆盖美国的卫星覆盖区。

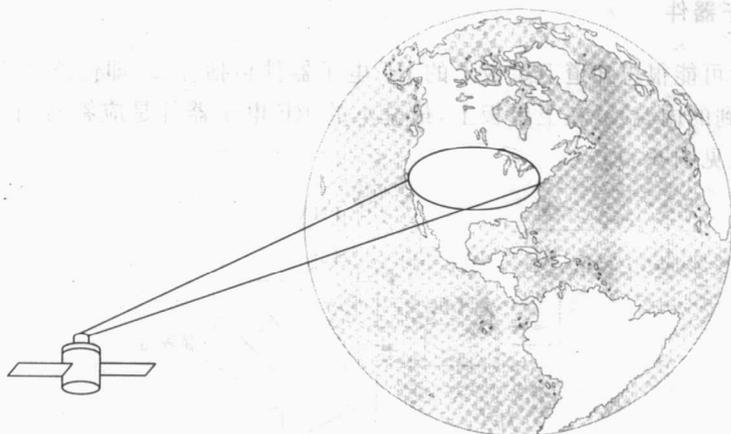


图 6-10 覆盖美国的卫星覆盖区

从图 6-10 中注意到,天线方向图几乎覆盖整个美国大陆。这不是偶然的。这里只有有限数量的 RF 功率从卫星发送,然而在同步地球轨道上的卫星已经足够高了,可以传送覆盖半个地球的信号。那还有什么可困扰的呢?(不同于通过电视看鲸,谁会知道不同呢?)若覆盖半个地球,那么只有很少功率到达美国。这导致卫星覆盖区一个有趣的方面。可以给它们设计轮廓,用它们所设计的区域的大概形状来覆盖,尽可能最大限度地利用可用 RF 功率。

卫星覆盖区的形状主要是圆形或椭圆形。从图 6-10 可以看出,美国有些区域可能根本接收不到信号(它们在覆盖区外),但事实不是这样。记得天线方向图是接收 RF 发射能量一半的区域的轮廓。从这个数字看,椭圆以外区域也能接收到 RF 能量,只是比覆盖区域内接收到的能量小。在某些不利条件下(如:大雨),覆盖区以外的区域完全可能接收不到或接收到极弱信号。

图 6-10 示出广播信号覆盖区。这意味着在美国不同角落,都可以接收到广播信号。诸如许多电视广播。如果卫星承载国际电话通信,会是什么样的?那么覆盖区看起来像什么呢?仍然是圆或椭圆形,但很小,仅覆盖长途电话载波地球站。

卫星覆盖区的大小不是没有限制的。但卫星天线尺寸、使用频率和覆盖区的大小间有直接关系。与 RF 世界的多数情况类似,若一件事情变得越大,其他事情会变得很小。例

如,在给定频率,天线尺寸越大,覆盖区越小。同样地,若给定天线尺寸,频率越高,覆盖区越小。很快读者会学到,产生小覆盖区的能力会极大地提高卫星的实用性。

你知道吗?

若卫星覆盖区覆盖整个美国大陆,称为“CONUS”覆盖区,它恰好是大陆和美国的缩写。

5. RF 电子器件

到此,读者可能很想知道卫星板上的 RF 电子器件包括什么(即使读者不想知道,那也是读者将要读到的内容)。在卫星板上,最基本的 RF 电子器件是应答器,它是一些 RF 设备的简单组合(见图 6-11)。

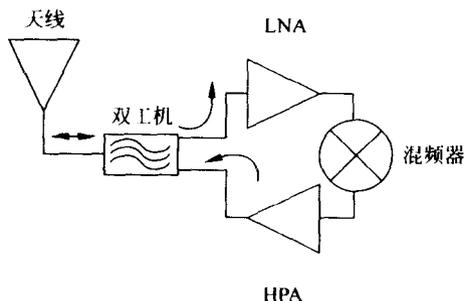


图 6-11 卫星应答器方框图

参照图 6-11,卫星天线接收上行链路信号(以上行频率发送),并将它发射到双工机(记得双工机仅是装在一个盒子内的两个带通滤波器)。然后双工机将信号路由到低噪声放大器(LNA),用它来放大信号。接下来,混频器将信号搬移到下行链路频率(图中没有示出信源),最后,信号经过高功率放大器(HPA),并通过双工机发送到天线。图 6-11 描述了每颗有好运气到达 GEO 的卫星的基本 RF 功能。

你知道吗?

若一颗卫星的 RF 部分简单的如图 6-11 所示,则称为“弯曲导管”结构。实际上,RF 行为和弯曲导管(U形)类似。它接收上行链路信号,但并不做真正的信号处理,搬移频率后将信号返回地球。今天,新一代卫星开始为卫星电子器件添加一些智能器件,称为处理有效载荷。

6. 有关航天器

GEO 卫星不会永远存在,但并非 RF 电子器件失效了(如果没有其他原因,RF 工程师将能够制造可靠的卫星)。实际上,卫星板上的 RF 电子器件能维持一个几乎无限的时间长

度。因为它们是从太阳获得能量(通过太阳能板),没有理由说因为电子器件而使卫星不能永远存在。不幸的是,随着时间推移,卫星会漂移(可以看出 GEO 也不是那么完美)。为抵消这种正常漂移,给卫星安装了固定位置设备。

位置固定设备仅是随卫星携带的推进系统,这个系统周期性地释放燃料脉冲。这些脉冲释放的动力将卫星固定在一个恰当位置。卫星只能携带有限燃料,因此当燃料耗尽了,卫星将不能再回到恰当位置,就会变得没用。在使用剩下的最后燃料之前,动力系统会给一个很大冲力将卫星推出轨道,进入虚无缥缈的太空,在那里耗尽最后燃料。

6.3.3 卫星系统

1. 3种拓扑

在卫星通信中,有3种基本拓扑结构:点到点、点到多点和多点到点。使用哪种拓扑取决于应用。

点到点拓扑的一个例子是洲际长途通信。在英国的一帮用户若想给在美国的一帮用户打电话,他们的呼叫首先转到在英国的地球站。所有呼叫信号合成一路信号,并发送到太平洋上空的国际卫星,然后信号被卫星转播到在美国的地球站(属于某个长途运营商)。然后分离呼叫并路由到达它们的最终目的地。这个例子中,用卫星建立单一点(在英国的地球站)到单一点(在美国的地球站)的连接。在点到点拓扑中,只需要两个大碟形卫星天线,它们既可以收也可以发。

点到多点拓扑被用在 DTH 卫星电视中(亦即直播卫星(DBS))。在美国,单个地球站属广播公司所有,广播公司发送它们的娱乐节目到卫星(位于堪萨斯州上空某处)。然后卫星将信号转播到整个国家的覆盖区,如图 6-10 所示。任何有小碟形天线的人,只要在覆盖区内或紧邻覆盖区,每月付 39.99 美元就能接收广播信号。在点到多点拓扑中,用大碟形天线发送信号,用许多小碟形天线接收信号。

使用多点到点拓扑最频繁的是 VSAT,即甚小口径终端。在这种拓扑中,用许多拥有小到中型碟形天线的地球站转播从销售点来的信息,并反馈到单一特定区域,典型地是办公中心。VSAT 的大用户之一是石油公司。读者可能经常会看到,在加油站屋顶有碟形天线。这就是一个 VSAT 系统。系统周期转播从站点来的出售信息,通过卫星,反馈到主要办公室。这样,办公中心能得到全国汽油销售的最新状况。在多点到点拓扑中,用许多小碟形天线来传输信号,仅用一个碟形天线来接收信号。

2. 频率的角色

卫星服务系统有两种主要类别:固定卫星服务(FSS)和移动卫星服务(MSS),在 FSS 系统中,地球接收机不移动。FSS 系统的一个例子是 DTH TV。在 MSS 系统中,地球接收

机是移动的。不像 FSS 系统, MSS 系统有 3 种不同类型: 航空、陆地和海域。如果你很有钱, 能支付从商用客机上打电话的费用, 此时, 你就在使用航空移动卫星系统。从用户角度来看, 用 FSS 系统还是用 MSS 系统是无关紧要的。然而, 对卫星拥有者来说, 这是非常重要的, 因为不同的服务类型需要不同的频带分配。

FCC 给 FSS 分配了许多不同频带。到目前为止, 最流行的是 C-波段和 Ku-波段。在下一代卫星里, Ka-波段将担当愈加重要的角色。C-波段、Ku-波段和 Ka-波段的细节如表 6-4 所示。

不论在哪儿安装了大碟形天线, 都可能接收到 C-波段下行链路信号(起先只能被广播电台接收)。如果它们有一个小碟形天线, 就有可能接收到 Ku-波段信号(DTH TV)。

表 6-4 C-波段、Ku-波段和 Ka-波段频率分配表

波 段	频 率 分 配
C-波段下行链路	3.7GHz~4.2GHz
C-波段上行链路	5.925GHz~6.425GHz
Ku-波段下行链路	11.7GHz~12.2GHz
Ku-波段上行链路	14.0GHz~14.5GHz
Ka-波段下行链路	27.5GHz~29.5GHz
Ka-波段上行链路	29.5GHz~31.0GHz

你知道吗?

在给定卫星系统中, 上行链路信号总是在比下行链路信号更高的频率上, 读者知道为什么吗? 因为 RF 电子器件在高频效率低, 它会转化成许多无用功率。现在读者推想 RF 工程师宁愿在哪里装配不经济的电子器件, 在地面上, 这里有大量的功率, 但在空间, 功率非常珍贵。

回想一下 6.3.2 节, 用应答器将上行链路信号频率搬移到下行链路信号频率上。在今天的卫星中, 在给定频带里有不止一个应答器。例如, C-波段, 500MHz (3.7GHz~4.2GHz) 下行链路频带用 12 个应答器来覆盖整个带宽。将 500MHz 频带等分成 12 份, 这些相等尺寸的频带称为信道(每 42MHz 一个)。给每个应答器分配一个信道。将总频带划分成许多信道有很多原因, 但当前最重要的是备用。如果有 12 个应答器, 有一个不能工作了, 还剩下 11 个可以工作, 但如果只有一个应答器, 它若不能工作了, 卫星通信就不能实现了(除此之外, 能想像得到派一个 RF 工程师到 GEO 上有多困难吗?)。

每一卫星使用者的主要目的是尽最大可能使用可用卫星频带。应答器带宽称为容量, 它以每小时速率为单位计算租用卫星费用。卫星使用者尽力将更多信息放在应答器的每兆赫兹里。以标准广播电视为例。前面章节中已经指出, 一个标准广播电视信号需要 6MHz 带宽。但应答器有 42MHz 带宽。那么电视台所能做的是什么呢? 如果读者猜想它们将 7 个

不同频道塞入每个应答器,路子是对的,但是忽视了极化(如果读者不读那节就会遗忘掉)。极化允许 TV 广播公司将 14 个(7 个水平极化,7 个垂直极化)不同电视频道塞入一个应答器内。

今天,在更复杂的卫星系统中,电视信号在送入卫星之前,需要将 6MHz 电视信号数字化。为什么要数字化?一旦信号被数字化,它可以用数字信号处理器(DSP)来做数字压缩(或称叫什么别的?)。数字压缩将电视信号中的冗余信息去掉,这样传输信号所需带宽就会减少。压缩后,一个 6MHz 信号可能只有 1.5MHz,你知道这意味着什么:更多电视频道可进入同一个应答器(同时更多的钱落入了卫星拥有者的口袋里)。

你知道吗?

(数字)数据压缩很好理解。设想一本 50 页的书,前 25 页说的都是“早上好”(多么枯燥的一本书)。若读者想知道书中所写的准确内容,就必须阅读前 25 页的每一页。通过在书的第一页写道“早上好,接下来 24 页写的是同一句话”来压缩这本书。现在就可以跳过 24 页,并不会丢失书中所提到的任何信息,因为这时已经去掉了冗余信息。这就是数据压缩。

给读者一个 42MHz 应答器信道容量的应用:一个(不压缩)电话需要 4kHz 带宽,那么,每个应答器信道同时能容纳 10 000 路不同语音呼叫(忽略极化)。

6.3.4 一种特殊的卫星系统——GPS

1. 什么是 GPS

GPS,全球定位系统,是由美国政府发展起来的卫星系统,它由 24 颗卫星组成,它仅连续发送一个奇怪的但很有用的信号。它不提供接收用户信号的设备。GPS 卫星发送的信号主要用在两个方面:导航和定时,这些信号允许携带 GPS 接收器的人能大概知道自己在地球表面的位置(之所以称为大概,是因为这种测量存在偏差,偏差从几英尺到几英里,这种偏差依赖于很多因素)。GPS 信号也可用来告知现在的时间,相当于手表的功能。

因为 GPS 系统最初是打算用于军用系统中,所以 GPS 发送一对不同信号,这一对信号产生不同的定位精度级别。军用 GPS 接收器,利用从卫星来的加密信号,可以在 1m~2m 范围内准确定位。民用级别 GPS 接收器,定位准确度在 20m~30m 范围内。然而,在战争时期,政府会采取所谓选择性利用措施,故意降低从卫星来的信号级别。在这种情况下,位置的准确度可能大于 100m。

若用 GPS 接收器来确定当前位置,它不会做出像“在第五拐角和匹兹堡市区市场”这样的反应。只会给出经度和纬度上的测量值,然而知道当前位置的经度和纬度是很有趣的。对自身来说它不是特别有用(除非碰巧你是 Gilligan)。顺便说一下,今天的 GPS 接收器伴有旅游的功能,这使它能存储你的起始位置,在旅行过程中,GPS 接收器给出相对起始点的

相对距离和方向。例如,若你步行到一个浓密的森林地带,你对这里并不熟悉,在你的出发点,你可以命令 GPS 接收器将那个位置存储到存储器里。然后,在旅行中的任何一点,如果你问 GPS 接收器如何返回,它将转播多远及你需要返回到的目的地的方向。

关于 GPS 卫星的一件有趣事情是它们不在同步轨道,这就意味着相对地球的旋转,它们不是静止的。如果能从地球上看到它们(你是超人),会发现 GPS 卫星周期性地从一个地平线到另一个地平线。既然 24 颗卫星中的每颗或多或少传输相同信号,而且它们没有必要接收任何信号,所以只要任何时候有卫星在头顶(即使它们在移动),系统就能正常工作。

你知道吗?

GPS 卫星系统,由防御部门配置,起先只用于战争中,让士兵知道自己的确切位置。今天,它有很多用途。其中最让人兴奋的一个服务是 E911,在这个服务中,给蜂窝电话装配一个 GPS 接收器。在遇到麻烦时,不仅能用蜂窝电话来求救,而且 GPS 接收器会将你的位置转播给救援中心,因此,人们知道在哪能找到你。

2. 工作原理

GPS 遵从与雷达相同的距离-速度-时间关系:若知道到某一定点的时间,就能计算出距离。GPS 接收器从 GPS 卫星那接收专门的编码信号,它能确定信号到达所需要的时间。然后 GPS 接收器获得这个时间并转化成距离。

GPS 亦基于三角测量概念。在非常简单的条件下,若知道距 3 个不同点的距离,可用三角测量来确定位置。如果一个 GPS 接收器接收到至少从 4 个不同 GPS 卫星来的信号,就能确定出确切位置。

图 6-12 是 GPS 位置确定过程的图形演示。图 6-12 最上面的图表示出一个 GPS 卫星在球中心。如果 GPS 接收器知道距单一卫星的距离,那它肯定在球的表面(距卫星距离等于球半径)。图 6-12 中间图表示出 GPS 接收器知道它距两颗卫星的距离的情况。如果 GPS 接收器知道它距两颗卫星的距离,那么它肯定在这两个球的表面(一个卫星一个球)。既然(3D)两个球交集是一个圆,那么接收器肯定在这个圆上某处。

当知道了接收器距第三颗卫星的距离,这第三个球与这个圆的交集仅是两个点,如图 6-12 最下面的图所示。因此,GPS 接收器必定在这两点之一上,在技术上,需要第四颗卫星从两点中筛选出一点。

由于在 GPS 系统中,仅有 24 颗卫星,它们集中在赤道附近,这就意味着在地球北极和南极附近,所有时间看到的卫星少于 4 颗。这样,在半球末端 GPS 工作状况不好(这就是为什么从来都没听说过圣诞老人使用 GPS)。

3. GPS 应用

GPS 有很多用途,有些相对今天来说已经过时,而有些今天还在使用。例如,调度员用

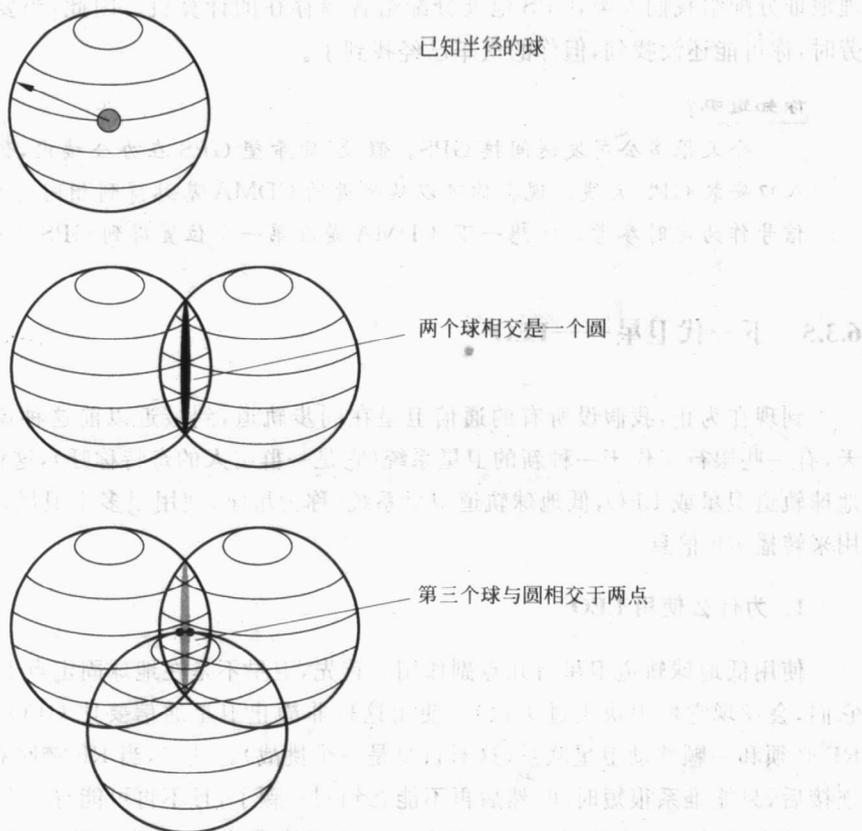


图 6-12 GPS 定位过程的图形描述

GPS 来跟踪运送它们货物的 18 轮船队。越来越多的人利用汽车里的电子地图来辅助导航(称为远程信息处理)。传输和紧急速递使用 GPS 可尽快到达目的地。

GPS 较新市场是航空工业,很精确的 GPS 能帮助飞机在接近零能见度时着陆(若飞机必须到那里,这点是很重要的)。将来 GPS 更重要的使用是协助避免战斗中的飞机碰撞。

今天, GPS 用在(也许读者还没有想到)蜂窝电话中。像上面提到的, GPS 可以用来告知时间,为什么用 GPS 来告知时间呢?因为它才是真正准确的时间。在这里,我们所谈论的是十亿分之一秒的准确度。CDMA(今天很重要的蜂窝技术之一,将在下章作介绍)工作需要系统中的所有信号能极佳地同步,感谢 GPS 吧。

GPS 同样可用于精细农业和施工等级中,帮助农场主和建设者更准确地控制对它们土地的使用。甚至保险公司用 GPS 来跟踪你汽车的每次移动。它们的动机是什么?你的保险金额以你的实际行车行为为依据。理论上,那些只在白天驾车(更安全)的人获得的赔付率比较低。

后来一些人设想,在这个星球上每平方米的面积上都有它的 GPS 地址及物理地址。物

理地址分配给我们人类, GPS 地址分配给普遍存在的计算机。因此, 当要寻找就近的麦当劳时, 你可能还没找到, 但你的汽车已经找到了。

你知道吗?

今天很多公司发送间接 GPS。假设, 你希望 GPS 在办公楼内, 但是没有在屋顶的入口安装 GPS 天线。现在你可以从附近的 CDMA 基站得到相同的 GPS 信号, 用它的信号作为定时参考。回想一下, CDMA 是在第一个位置得到 GPS 上的定时信号的。

6.3.5 下一代卫星——LEO

到现在为止, 我假设所有的通信卫星在同步轨道, 到最近以前这种说法是正确的。今天, 有一些银行工作于一种新的卫星系统(它是一群富人的奇特称呼), 这种卫星系统基于低地球轨道卫星或 LEO, 低地球轨道卫星系统(称为星座)使用很多小卫星, 距地仅几百英里, 用来转播 RF 信息。

1. 为什么使用 LEO

使用低地球轨道卫星有几点副作用。首先, 卫星不是在地球固定点上静止(如果能看到它们, 会发现它们很快飞过头顶)。使用这种非静止卫星通信要比 GEO 复杂得多。其一, RF 必须和一颗移动卫星联系(这对自身是一个挑战)。其二, 当 RF 链路和第一颗卫星建立连接后, 只能维系很短时间, 然后再不能看到同一颗了, 且不再可能有一个 RF 连接了。

其次, LEO 太低了, 它们只能投射一个小天线覆盖区(覆盖范围小), 这就意味着要完全覆盖美国, 需要很多颗 LEO 卫星。在美国两端的人们, 想使用 LEO 来联络, 就不可能使用同一颗卫星来联系。所有这些都使得 LEO 系统比标准的、不用定制的 GEO 系统复杂得多。

既然 LEO 很复杂, 而且需要很多颗卫星, 为什么还要使用它们呢? 答案惊人得简单: 因为功率和时延。首先, 到达 LEO 需要的 RF 功率比 GEO 低(因为它们很近)。实际上, 一些 LEO 很低, 到达它们只需要手持电话那么大的功率。其次, 不像 GEO, 若用电话讲话时, LEO 没有半秒钟往返时延。这样, 配置 LEO 的初衷只是提供移动电话服务。

你知道吗?

卫星通信还可使用另一个地球轨道, 称为中地球轨道或 MEO。本章前面讨论的 GPS 就在这个 MEO 上, 这就是为什么 GPS 不是静止(像 GEO)的。读者能想像到 MEO 在地球上空什么位置吗? 若我告诉你在 LEO 和 GEO 之间, 你相信吗?

因为用 LEO 打电话费用很高, 这就意味着它用在不存在其他形式移动电话(例如蜂窝电话)的地方, 比如沙漠或海洋中央。昂贵的技术使对 LEO 商业价值的争论由来已久。每

个人都想试着回答：在沙漠或海洋中央的地方有那么多客户来支付这么昂贵的 LEO 卫星系统吗？

你知道吗？

第一个很著名的 LEO 卫星系统是摩托罗拉公司发起的铱星系统。起先设计使用 77 颗低地球轨道卫星，它名字取自铱元素，铱元素在元素周期表中排位 77。而一些工程师发现只要 66 颗卫星，系统就能正常工作，但仍沿用铱星系统这个名字。我猜想他们认为没有人使用称为铱的东西来完成电话呼叫。已经证实，也没有人使用称为铱的东西来完成电话呼叫。

2. LEO 是如何工作的

在 LEO 移动过程中，彼此之间连续转播信号。图 6-13 显示出一般 LEO 系统如何工作。在这个例子中，卫星按反时针方向移动。图的左边(时间=0)显示出地球一边的一个人(1 点处)如何和在地球另一边的一个人(2 点处)使用 LEO 系统通话。使用 LEO 频率的电话呼叫被传送到当时任何一个在空中离得最近的 LEO 卫星(图的左边卫星 A)。卫星 A 然后将信号转播给下一个在最终目的地方向上离 A 最近的卫星 B。这个转播过程不断重复，直至到达目的接收机上空的卫星 D。在那点，在覆盖目的接收机的天线覆盖区中向下传输信号。系统是如何知道当时使用哪个卫星，这些都使得 LEO 系统很复杂。

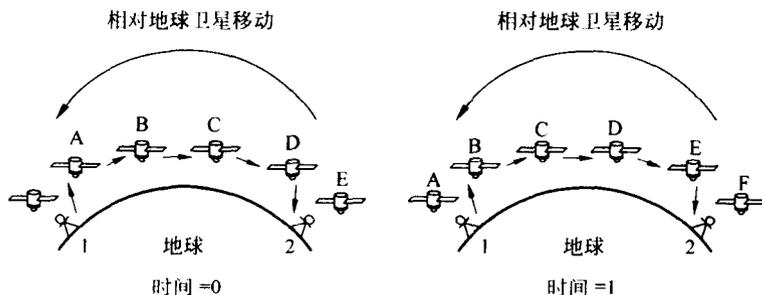


图 6-13 LEO 卫星系统工作的图形描述

经过一个短时间(在图 6-13 右图上的时间=1)后，卫星 A 将不再在原始通话人(1)的上空。在这点，卫星 A 切换呼叫到卫星 B，和前面一样处理继续进行，但这个时候最后使用的卫星不再是 D，而是 E(所有卫星都是按逆时针旋转)。

需要知道 LEO 的另外一件事情是卫星功率折中。如果 LEO 卫星系统使用很低的手持电话功率，卫星就必须很接近地球(但不能低到指向你的程度)。它们越接近地球，它们的覆盖区越小，同时，需要更多卫星来覆盖整个地球。很多卫星(即使是很小的卫星)是一个昂贵的系统。LEO 系统设计者不断在尽可能少地使用卫星(高一点)和尽可能使用低手持电话功率之间折中。

6.3.6 互联网构建

将使用卫星的人接入 Internet 这个大漩涡并不困难。起初,这些卫星能将 Internet 接入到缺少服务的偏远社区去,这里的人没有其他方法获得 Internet 接入。但当你看到安置这些系统所花费的美元,你就必须得相信,商家正在追求更多的使用者,而不仅仅是几个蒙大拿农场主。

为什么不利用卫星技术呢?一方面,在轨道上已经有可以接收和发送数字数据的卫星了。另一方面,新卫星系统能进入专门为 TCP/IP(Internet 通信协议)设计的地方来提供更好的连接。

有多少种不同的卫星系统,就有多少种通过卫星接入 Internet 的不同方法,但它们的共同之处是:都使用卫星下行链路(以一种形式或者另外形式)来提供从互联网的接入(称为下游)。不同之处在于,它们连接到 Internet 所采取的方法不同(称为上游)。

1. 下游技术

下游技术分为两类: GEO 和 LEO。第一代通过卫星接入 Internet 的方法是利用已存在的(GEO)Ku-波段卫星(Ku-波段在 12GHz~14GHz 范围)。使用这些 Ku-波段卫星提供到 Internet 接入并不是很理想,只是因为它们已经存在了。

在 GEO 内的 Ku-波段卫星距理想 Internet 解决方案还很远。首先,在频率和太空船天线尺寸给定的情况下,Ku-波段卫星只能产生大覆盖区。它们一般能覆盖美国大陆(CONUS),若传播直接到家的电视节目,用它很好,因为你的目的是让尽可能多的人接收到同一套节目。但是 Internet 不同。每个人都想得到独一无二的信息。在覆盖区内,既然只有有限数量的数字数据能在任何给定时间传输,若一定数量的使用者同时寻求独一无二的信息,Internet 类型数据就受到严格限制。

对任何 GEO 卫星来说,另一个问题是建立连接存在 1/4s 往返时延。不探究太多细节,TCP/IP 期望使用它的协议的被发送信息能在给定时间帧内到达它的最终目的地。如果不是这样,它会真的陷入一团糟。事实上,1/4s 延迟已足以让它真的陷入一团糟了。1/4s 延迟严重影响任何实时 Internet 应用的质量,如电话和视频会议。

那采取什么措施呢?其中一个方案是使用 Ka-波段(Ka-波段在 30GHz 左右)。与现存的 Ku-波段卫星相比,Ka-波段卫星有很多优势。首先,有更宽的频带(3.5GHz 与 1GHz 相比),读者知道,越多的频带等于越多的信息。并且,在 Ka-波段上的 RF 很少,因此这里干扰信号很少。

更重要的是,相同尺寸的太空船天线,Ka-波段卫星比相应的 Ku-波段产生的覆盖区小。而不是用单一覆盖区覆盖美国(如图 6-10 所示),Ka-波段卫星能用很多小覆盖区来覆盖相同区域(如图 6-14 所示)。这就使得相同频率 Ka-波段可由在不同位置里的不同网络使用。

频率复用有效地增加了通过一定数量覆盖区(点波束)同时接入 Internet 的用户数。由于这些点波束,也可裁减信息,让信息仅在本地传输。概括起来,Ka-波段传输信息比 Ku-波段多。实际上,利用 Ka-波段卫星最具吸引力的是,使得 Internet 接入和 DTH 电视节目结合起来成为可能,将所有信息传输到单一碟形天线。

你知道吗?

过去的 RF,没有 Ku-波段或 Ka-波段,仅有普通的 K-波段。不幸的是,K-波段覆盖一个很大的频率范围。RF 工程师想让谈论 K-波段时更确切一些,因此将旧的 K-波段划分成 3 个部分: Ku、K 和 Ka。Ku 代表低于 K 的频率,而 Ka 代表高于 K 的频率。读者设想一下,多少人知道这个呢?

小 Ka-波段点波束不能使用 Ku-波段的“哑”弯曲管道结构。既然 Ku-波段覆盖区能覆盖整个美国,无论什么信号,它能接收到就会转播到每个地方。无论谁都能接收到这个信号。而所谓的 Ka-波段点波束不是这样。参照图 6-14,如果在点波束 A 覆盖区域里的人想接入到点波束 C 覆盖区域的网络站点,卫星需要知道这个请求并按需求迂回路线。本质上,这些 Ka-波段卫星变成了空中 Internet 路由器。因而,这些 Ka-波段卫星造价昂贵。

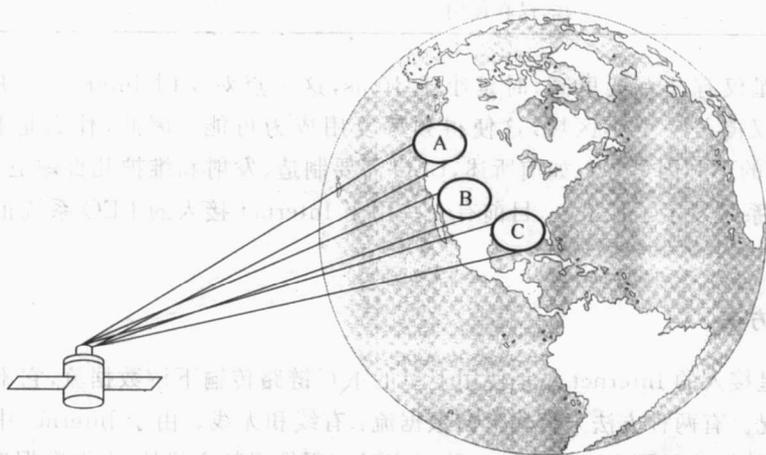


图 6-14 3 个点波束的 Ka-波段卫星

注意:没有点波束也可以使用 Ka-波段。但是,这种方法会失去频率复用所带来的效益,不过这使得系统会更为简单。为什么使用这种方法呢?为利用 Ka-波段的额外带宽。

对 Ka-波段来说,另一个障碍是雨衰。频率越高(波长越短),比 Ku-波段或 C-波段更容易被雨点吸收。简而言之,Ka-波段卫星有其优势也有其不足。它们的优势在于有很高的数据承载能力(同 Ku-波段相比)。它们的不足在于它们很昂贵而且构建复杂,同时受雨衰影响大。所有卫星方法比较见表 6-5。

因此 Ka-波段卫星可能能满足 Internet 的宽带需求,但时延怎样呢?这里有两种方法

能解决时延问题：一种昂贵，一种便宜。便宜方法仅需要某一魔力软件来说服 TCP/IP 不理睬 1/4s 延迟。不幸的是，这种方法对像电话和视频会议这样的应用没有帮助。昂贵方法通过使用 LEO 卫星来完全避免时延。

表 6-5 不同卫星 Internet 连接方法比较

连接	数据速率	优点	缺点	
下游	GEO Ku	400Kbps	已在轨道	用户数量有限;时延
	GEO Ka	100Mbps	用户多,数据速率高	造价昂贵;雨衰影响大;时延
	LEO	64Mbps	用户多,数据速率高,无时延	造价昂贵;建设和维护复杂
上游	GEO Ku	64Kbps	已在轨道	数据速率低;用户终端设备昂贵;时延
	GEO Ka	2Mbps	数据速率高	用户终端设备昂贵;雨衰影响大;时延
	LEO	2Mbps	用户多,数据速率高,无时延	造价昂贵;建设和维护复杂
	POTS	64Kbps	已在使用;费用低	数据速率低;可以绑定电话线,需要两个 ISP
电缆	128Kbps	中等数据速率,不绑定电话线,已在使用	应用范围有限;需要两个 ISP	

LEO 卫星仅有几百英里高,时延小于 10ms,这一点对实时 Internet 应用比较理想。LEO 覆盖区仅覆盖一个小区域,这使得频率复用成为可能。因此,什么是利用 LEO 的 Internet 传输的不利因素呢?如前所述,LEO 需要制造、发射和维护几百颗卫星(我们知道第一个 LEO 系统发生了什么)。目前有一些用于 Internet 接入的 LEO 系统正在规划着宏伟蓝图。

2. 上游方法

通过卫星接入的 Internet 总是使用卫星的下行链路传输下游数据流,它不是传输上游数据流的情况。有两种方法来传输上游数据流:有线和无线。由于 Internet 中数据流的非对称性,下游数据流需要真正的高速。除了实时应用像视频会议外,上游数据流的需求是兆级。既然数据流需求不是很大,为上游数据流打开一个可能性主机就可以了。

一般而言,在上行链路要到达 GEO 里的卫星很困难。它需要结合大碟形卫星天线和(或)高功率 RF 放大器,使得费用高(也很复杂)。因此,Internet 卫星运营商最初选择使用卫星以外的其他方式提供上游连接。这种做法叫单向卫星服务。

第一个 Internet 卫星系统上游数据流利用普通旧式电话系统(POTS)。可以想像到,在电缆公司行动以前,这种方式没有用多长时间。有线上游数据流方法有很多不利因素。它们的上游频带通常很有限,但这在很多情况下不成问题。在拨号服务方式下,仍需要一根电话线。但重要的是,这种连接到 Internet 的有线-无线连接方法需要与两个 Internet 服务

提供商(ISP)签约(付钱)。

最后,卫星运营商提供的是双向卫星服务。在写这些时,有很多双向卫星系统正在规划中。一些基于 GEO 系统,而另一些基于 LEO 系统。甚至有一个系统工作时需要使用屋顶天线,来无线连接到距房屋一定距离的地球站。

双向 GEO 卫星系统的很大挑战是发展可供应和便于使用的上行链路硬件。回想一下,VSAT 系统已经是双向 GEO 卫星系统,因此它们在这个领域处于领先地位。至于双向 LEO 卫星系统,它们有链路功率低的优势。哪种系统和方法将会获胜?很难说。但可以肯定地说,有许多系统已经开始研究了(全世界大约有 50 多个),但并不是都能实现。

6.4 点到点微波

6.4.1 点到点微波概念

点到点微波,也称微波中继,从 20 世纪 40 年代中期开始发展。回想一下,微波中继以前是模拟的,这就意味着它利用调制将模拟信号与 RF 载波结合。现在,很多点到点微波系统实质上是数字的。

使用点到点微波在单一发送机和单一接收机间无线通信,发送机和接收机属于同一实体。这一点很重要,因为当授予某人权限(FCC 授予的)时,在某一特定频率和某一特定区域用点到点微波通信的,其他任何人禁止在这个区域使用这个频率,这点与广播类似。

点到点微波的巨大优势在于,无需拥有底层资源,用户就可以得到从一点到另一点的信息了。

点到点微波应用

FCC 为点到点微波应用分配了很多频率,但目前,在所有应用中,有 3 种应用占主导地位。第一种应用是私人运作的固定微波。通常情况下,发送机和接收机的拥有者是私营公司。在这些情况里,无线系统用于控制(无人看管的设备)、监视(温度、压力、电压等)和中继(声音、数据、传真等)。这些系统对像高速公路和铁路这样的道路很有用。

点到点微波第二种应用是转播大量语音话务,称为通用载波微波。这是长途电话公司从这里到那里建立呼叫使用的方法之一。下一章将会讨论到,移动电话提供商也使用这种应用来建立从基站到电话局的电话呼叫。若在信号必须通过的地形铺设铜线(或光缆)不现实时,通常会使用通用载波微波。

点到点微波第三种主要应用是视频转播,称为广播辅助微波。移动电视新闻车获得信息后,使用点到点微波将信息转播给电视台。电视台再利用点到点微波,将信号传送到它们的广播天线。如前所述,细节见图 6-4。

你知道吗?

可用私有微波中继器说明长距离载波 MCI 是如何形成的。追溯到 20 世纪 60 年代,一位叫 Jack Goeken 的人,在芝加哥和圣路易斯间装配了一系列微波中继器来帮助顾客跟踪他们在去商场途中的商品。某天他灵机一动,用这些中继器来提供长途电话服务。这引起了 20 年的争论,并随 AT&T 的瓦解而结束。

若 FCC 给单个提供商在某一区域使用专门频率的权限时,称为授权的点到点微波。但在第 8 章读者将会看到,存在一个完全新的点到点通信的类别,在这里,很多提供商可共享同一频率。这种点到点微波的未授权应用归于宽带固定无线这个标题下。

6.4.2 点到点操作

如前所述,在铺设铜线或光纤没有意义或不可能的地方使用微波中继器,但是还是有个局限。视距使得微波中继器间间隔小于 25mile 左右,这就是说,如果要从洛杉矶到圣地亚哥(大约 120mile)间使用点到点微波通信传输信号,需要至少 4 个微波中继站。使用定向天线的微波中继塔如图 6-15 所示。

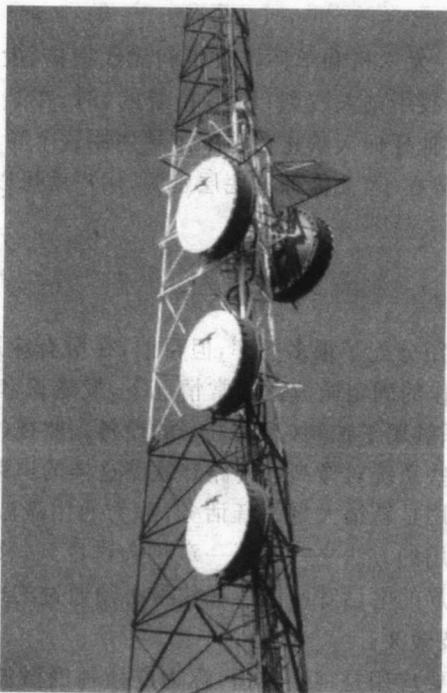


图 6-15 点到点微波塔,由 Andrew 公司提供

首先应该注意到在图 6-15 中,微波中继器使用碟形天线,在这幅图中,天线用天线屏蔽器包裹着(天线屏蔽器是一般术语,用它来保护天线,防止环境对它的破坏,当然允许 RF 通过)。回想一下,碟形天线方向性很强(它们的天线方向图是一个窄的波束宽度)。这使得微波中继器想尽可能多的 RF 能量进入一个方向(指向下一级接收机)成为可能。在某些情况下,微波中继器使用喇叭天线(形如漏斗)来覆盖宽的频带。很多点到点通信工作在高频率,这样可使用小碟形天线。

很多 RF 系统设计者希望所有 RF 能量都能从上级中继器转播到下一级,那是不可能的。相反,当 RF 信号离开一个中继器时,能量会向四周散射,就像水从软管中出来(记得自由空间损耗吗?)。一些 RF 能量直接到达下一级中继器,一些发散到空间,而一些冲向了地面。如果这就是故事的结尾,一切事情都很好。但不幸的是,冲向地面的 RF 能量中的一些会到达下一级中继器,如图 6-16 所示。

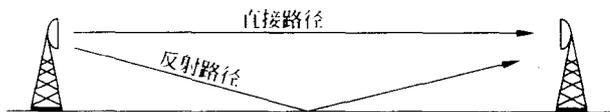


图 6-16 多径效应的图形描述

由于反射信号传播路径长,它到达下一级中继器比直接信号到达的晚。这种情形称为多径。在一些情况下,多径信号同相叠加,不会引发问题。但在另一些情况下,它们异相叠加,具有破坏性,使得接收到的信号几乎没什么价值。读者在空间电视接收中看到的幻影就是多径造成的。这是由广播信号被附近建筑物反射造成的,但对于多径能做些什么呢?几乎所有无线系统都不同程度地存在多径,尤其在室内。

用于处理多径的很多复杂信号处理技术已发展了很多年了,一种早已出现的简单技术称为天线分集。天线分集是一个奇特术语,它意味着增加第二根天线。增加第二根天线能为我们做什么呢?可以想像一下,多径是位置特有的现象。如果两个信号在一个位置叠加相互削弱,那它们很可能在附近第二个位置叠加不会相互削弱,如果有两个相邻的天线,它们都有能力接收目的信号,那么在任何时候,它们中至少一个能接收到有用信号,即便是另一个接收到的是无用信息。天线分集解释了为什么读者在很多蜂窝基站塔顶能看到三根天线(分成 120° 扇形):一个用于发送,剩下两个用于天线分集接收。

你知道吗?

天线分集是常见空间分集中的一种特殊情况,空间分集指在冗余物体之间留有余地。实际上,分集还有其他类型,像时间分集和频率分集。它们都是同一个意思:在冗余物体间留有空间、时间和频率冗余。

如上所述,今天大多数的高信息量点到点微波通信主要用于长途电话通信中,并使用数字调制方式。有两重原因:第一,RF 电子器件已经很成熟了,可以完成数字微波通信;第二,数字调制方式允许在给定频带内承载更多信息(更多同时发生的电话呼叫)。点到点微波频率分配从几兆到 38GHz 以上。

第7章 移动电话

有比移动电话更能象征无线革命的吗？答案是否定的，这就是为什么要用一整章来写移动电话（见鬼，你很可能正在阅读本章的时候被一个移动电话打断，这还不够讽刺吗？）。

在世界范围内有很多不同移动电话系统。它们存在不同代、不同技术和不同频带。如果你生活在美国，并认为这里是惟一拥有蜂窝电话服务的地方，你会大吃一惊的。不仅在美国以外有移动电话服务，而且在技术配置和服务利用上，美国还要追从其他两个具有领导性的地区（日本和欧洲）。原因将在以下逐一解释。

在任何情况下，最好能理解这种改变生活方式的无线服务的根本技术。本章自上而下讨论了移动电话，包括基站、移动交换中心和什么使得移动电话移动，但剔去很多细节。同时读者会学习到频率复用、空中接口和实际蜂窝电话内部工作过程。

CDMA，一种流行的空中接口（正越来越流行），对很多人来说还很神秘。读者可能知道 CDMA 代表什么，但可能并不了解它如何工作。这一切将会改变。由于意识到它在移动电话领域中的地位越来越重要，本章用一整节来解释 CDMA（以及扩频）如何在给定带宽内，比任何其他空中接口容纳更多的呼叫。

最后，本章简单总结通向 3G（第三代蜂窝服务）的道路，消除读者对 3G 的混乱认识。事实上，通向 3G 的道路是敞开的（2001 年左右）。在世界各地，采用不同频率（有些没被分配）的各种技术，都在尽力完成同一件事：为服务提供商挣更多钱。由于存在许多互不兼容的方案，使得 3G 真正的高贵目的——国际统一——几乎不可能在短期内实现。结果会是什么样呢？如果我知道的话，我会为这本书补充更多内容。

7.1 世界的选择

7.1.1 区别

在美国，有许多针对移动电话的服务。这些系统中的每一个都有一个或多个区别于其他系统的显著特点。

这些移动电话服务互相区别的突出特点是采用的频率。给每个服务分配不同的操作频率。在美国，第一个移动服务普遍认为是蜂窝，工作在 900MHz 频带，较新的移动服务认为是个人通信服务（或 PCS），工作在 1900MHz 频带。在很多情况下，惟一区分 PCS 和“蜂窝”的是工作频率，其他方面技术都一样（当然，PCS 公司市场人员并不想让人们知道这

些)。表 7-1 给出了美国一些移动服务的频率分配概况。

表 7-1 美国频带分配

系统	从移动单元到基站	从基站到移动单元
蜂窝	824MHz~849MHz	869MHz~894MHz
PCS	1850MHz~1910MHz	1930MHz~1990MHz
SMR	806MHz~824MHz	851MHz~869MHz

区别这些服务的另一种方法是,分析它们传输语音信号所使用的技术。早期移动电话系统,使用模拟语音信号,而较新的用数字信号(在不久的将来,可能模拟系统就不存在了)。

第一代蜂窝系统更新到数字技术采用了很多现存基础设施,包括分配的频带。依照将数字信息调制到 RF 载波上的不同调制方式来区别这些新数字系统,很多使用相位调制或 QAM(第 5 章已讨论),移动电话服务也可用空中接口来区分,读者很快就会学习到。

与标准移动服务相比,还有一些服务通过所提供的附加特征来区分。在一些很少为人知的可用移动服务中,有一种是专用移动无线服务或 SMR。在美国 SMR 工作在 800MHz 范围内两个不同频带上,最初 SMR 作为无线调度服务使用(就像出租车)。今天,它已将调度服务与移动电话服务结合起来发展,这种结合将 SMR 同其他可用移动电话服务区分开。这种服务不仅能在互连方式下完成普通移动呼叫,而且可在调度方式下进行无线远程会议,在这种方式下,几个人可同时使用这种服务进行通话。基于这一点,SMR 在移动销售团队中得到广泛使用。

7.1.2 世界范围的系统

只要读者没有获得错误观点,美国完全不是惟一拥有移动电话的地方。表 7-2 示出世界上一些主要移动电话系统。首先需要注意,有很多已经发展了很多年的不同模拟和数字技术,但并没有彼此互通过信息。

表 7-2 世界范围移动电话系统

缩写	系统	首先使用的地方	技术
AMPS	高级移动电话服务	美国	模拟
CDMA	码分多址	美国	数字
D-AMPS	数字高级移动电话服务	美国	数字
DCS1800	数字通信服务	德国和英国	数字
GSM	全球移动系统	80 个欧洲国家	数字

续表

缩写	系统	首先使用的地方	技术
JTACS	日本全接入通信系统	日本	模拟
NADC	北美数字蜂窝	美国	数字
NMT	北欧移动电话	北欧国家	模拟
PCS1900	个人通信服务	美国	数字
PDC	个人数字蜂窝	日本	数字
SMR	专用移动无线	美国	数字和模拟
TACS	全接入通信系统	英国	模拟

7.2 蜂窝的概念

7.2.1 拓扑

蜂窝技术需要广阔的地理区域来定义,并将其分配给不同的服务提供商。在美国,这些广阔的地理区域在蜂窝频带内被定义成市区统计区域或MSA(城市)和郊区统计区域或RSA(农村)。在PCS频带内,这些广阔的地理区域被定义成市区贸易区域或MTA(大区域)和基本贸易区域或BTA(小区域)。MTA与BTA交迭,而MSA与RSA拥有独立的地域。

在每个MSA、RSA和MTA内,授权给两个服务提供商提供移动电话服务,在每个BTA内,授权给4个服务提供商提供移动电话服务。通过将全部分配频率内的不同子频带分配来区别所有服务提供商。在给他们分配的区域,每个提供商将区域又划分成小的子区域,称为小区。

每个小区中央都有一个天线(或多个天线)来投射天线方向图或覆盖区,覆盖整个小区。这些天线方向图为用户范围内的用户提供发送和接收服务。由于RF的特性,这些天线覆盖区是圆形的。但RF工程师在地图上展示小区图样时,通常用六边形来描述天线覆盖区的形状,并不是六边形反映天线方向图有多准确,而是六边形能切合得非常紧密形成有秩序的图形(见图7-1)。

在移动电话世界里,存在一个主要折中。理想地,系统有很多小六边形。六边形的数量越多,系统同时处理的呼叫(收入)就越多。然而,越多的六边形,就需要更多的基础建设(开支)来满足系统需要。结果,小区覆盖是一个动态行为,其随系统容量要求经常变化。

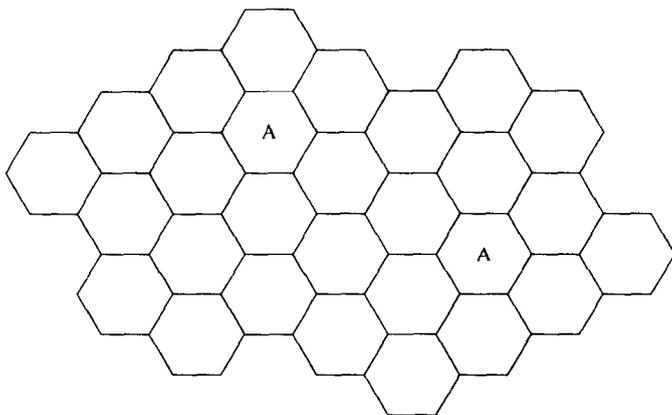


图 7-1 覆盖一个地理区域的小区图样

你知道吗?

小区有 3 种基本尺寸:宏小区、微小区、微微小区。除了说宏小区比微小区大,微小区比微微小区大,再没有对它们的确切定义了。宏小区代表第一代蜂窝系统,微小区和微微小区是新发展起来的,为增加小区容量,将宏小区细分得到的。

7.2.2 基础结构

在每个小区的中央是小区站点或基站。小区站点包含所有完成无线通信的电子器件,包括所有 RF 硬件。基站至少由一到多个天线、电缆、一个发送机和接收机、电源及其他控制电子器件组成。如果小区的容量要求小,小区可能使用一个全向天线来提供覆盖。若需要更多容量,小区通常分割成 3 个扇区(每个 120°),使用一个或多个天线来覆盖每个扇区,这就是常在路边可以看见的三角顶塔,如图 3-5 所示。

从最简单考虑,所有基站提供 3 个功能。基站相互通信(移动到移动的呼叫)、基站连接到公共电话交换网或 PSTN(移动到固话的呼叫)和基站计算通话时间(金钱)。这 3 个功能都发生在移动交换中心或 MSC,也称为移动电话交换局或 MTSO。

MSC 在蜂窝系统中担当四分卫的角色,它相当一个网络集线器,为所有呼叫提供路由,图 7-2 表示出蜂窝系统结构和 MSC 所担当的任务。

参照图 7-2, MSC 直接与每个基站及 PSTN 相连。当有呼叫发起,它从当前基站路由到 MSC,然后到 PSTN(如果被叫用户使用固话)或到其他小区(如果被叫用户使用移动电话),MSC 的收银机始终在记录。

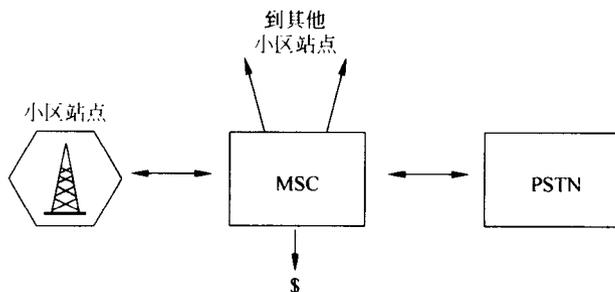


图 7-2 蜂窝系统基础结构

通过大容量电话线将 MSC 连接到 PSTN。可用 3 种方法实现 MSC 到每个基站的连接：使用大容量电话铜线(称为 T1 线)、光缆或点到点微波中继(前一章已讨论)。选择使用哪种方法依赖多方面因素,包括特殊基站的流量、基站离 MSC 的距离和它们之间的地形。

7.2.3 移动

将移动电话同大多数其他无线应用分离开的特征是移动单元必须能变化,是动态通信。在固定无线通信中,用两个收发机来建立单一通信,它们在整个过程中都保持不变。在移动电话中,移动收发器必须经常在与它通信的收发器(位于不同小区)间移动,通信伴随着它的移动。

基站不断地发送控制信号给其范围内的移动单元。当移动电话第一次开启,它很快就会接收到这个控制信号并且发送它自己的信号来响应。在这个区域内的几个基站都能收到来自移动电话的响应,并不是它所处基站才能收到。移动电话的关键是功率电平鉴别。所有基站都收到移动单元的响应,但他们收到的功率电平都不同。收到最高功率响应的基站是移动单元所处基站,这一步完成,MSC 知道了移动单元在哪。

若移动单元想发起呼叫,这个小区内的小频带将被分配给移动单元来实现呼叫。在呼叫过程中,MSC 不断通过基站路径监视信号电平(功率)。当信号电平下降,MSC 知道移动单元正准备离开这个基站而进入另外一个基站。注意,多个基站仍在接收控制信号。在此点,MSC 注意看哪个临近基站正在接收的控制信号最强。那个基站就是打算接替呼叫的基站。它是如何完成过渡的?

在适当时间,MSC 完成称为切换的操作。切换处理是中断连接之前的连接。本质上,移动电话在切换过程中同两个不同基站同时进行短时通信。否则部分通话内容会丢失。这种切换形式有其优缺点,一方面,提供了真正意义的移动。另一方面,占用两个基站为一个呼叫服务(较低效益)。将从一个基站转移到另一基站的连接过程称为硬切换,而在同一个基站内将从一个扇区转移到另一个扇区的连接过程称为软切换。

7.2.4 增容

1. 小区内

由于人们喜欢上了移动电话,宏小区呼叫容量就容易达到了饱和。服务提供商喜欢这样,因为这意味着它们的蜂窝基础设施都得到了充分利用。另一方面对用户来说,若他们想实现移动呼叫而又因忙音信号被拒绝,他们会沮丧。若宏小区呼叫承载容量达到饱和,服务提供商惟一能做的事——如果他们想留住他们的用户——是将宏小区细分为较小的微小区,如图 7-3 所示。

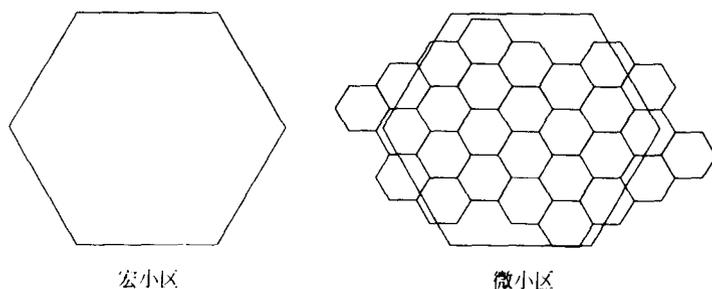


图 7-3 将宏小区划分成微小区

若将宏小区细分成微小区,每个微小区必须有能力和 MSC 通信,这意味着铺设铜线或光缆,或频繁地建立点到点微波连接。在任何情况下,用几个微小区代替一个宏小区是个昂贵的建议。因此,微小区仅出现在拥挤的走廊,像沿着繁忙的高速公路一样。

有时候,在移动通信高度集中的地方,进一步将微小区细分成微微小区很有意义,诸如大城市里的公共区域(像时代广场)。

2. 未覆盖区域

当移动电话提供商开始大量搭建他们的系统时,他们自然地将第一个宏小区安置在拥有最高通信量的区域。这意味着即使服务开始并运行之后,在服务提供商的区域内,仍存在没有服务的区域。最后才得到服务的两个地方是服务提供商区域的外部边缘和在区域内遭受某种障碍物的地方,如隧道、地铁和建筑物内。

通常用于扩展宏小区覆盖区的一类产品是中继器。中继器有不同形状和尺寸,但它们都完成一个基本功能:扩展宏小区的无线范围。在这种情形下,它们直接通过铜线、光缆或无线链路与宏小区通信,图 7-4 示出使用宏小区和中继器到达隧道内汽车的系统设计图。

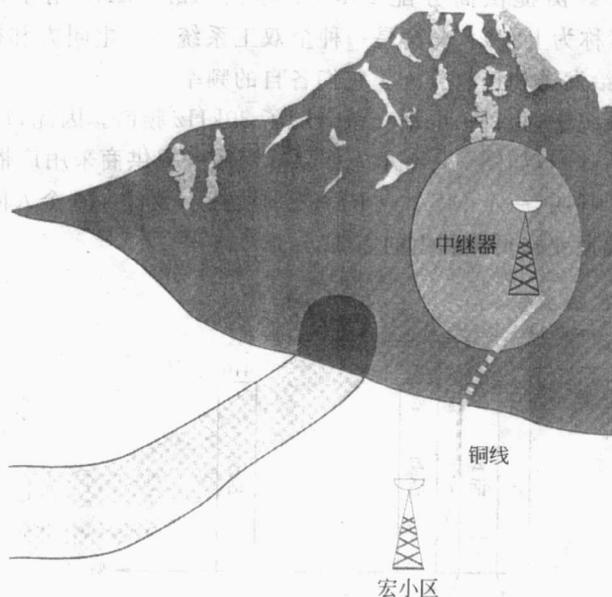


图 7-4 隧道内中继器的图形描述

使用中继器扩展容量和将宏小区分裂成微小区提高容量在机能上有很大的不同。微小区能增加容量,是因为每个微小区都直接和 MSC 通信。而中继器,因它和宏小区本身通信,实际上是从宏小区瓜分容量。图 7-4 中在隧道内使用中继器容量的每个人造成隧道外能使用宏小区容量的人少了一个。

中继器增长最快的应用是建筑物内应用。在这种情况下,安置在建筑物顶的天线用来发送和接收移动呼叫。从屋顶天线路由信号,向下通过建筑物,到达每层的小中继器,从中继器来的信号通过一个比烟雾报警器还小的天线发送和接收。使用室内中继器,可在你的车内开始通话,即使你进入一幢建筑物内,还可以继续通话——甚至在电梯里——到达你的办公桌之后结束(你有理由挂断你岳母大人的电话了)。

7.3 根本技术

7.3.1 频率复用

每个移动电话服务提供商的目的是尽可能在同一时间实现很多呼叫(贪婪)。在大多数无线技术中,仅允许一个主叫方在确定区域给定频率上传输信号,这在很多应用中工作得很好,比如广播(有两个不同台同时在频道 6 传输信号会使人感到头疼),但蜂窝技术不同。

在美国,为每个蜂窝提供商分配 25MHz 频谱,12.5MHz 用于发送(称为下游),12.5MHz 用于接收(称为上游)。蜂窝是一种全双工系统——主叫方和被叫方可同时讲话(丈夫和妻子),因为给发送和接收分配了它们各自的频率。

在第一代蜂窝系统中,为每一电话交谈分配了 30kHz 频谱。因此,每 12.5MHz 带宽可同时处理 416 个电话呼叫,如图 7-5 所示。如果蜂窝服务提供商采用广播模式,在给定区域同时能仅完成 416 个呼叫(一个 MSA 或 RSA)。比方说,仅让 416 个人同时讲话,这甚至不能满足南方的加利福尼亚州贝弗利山的需要。

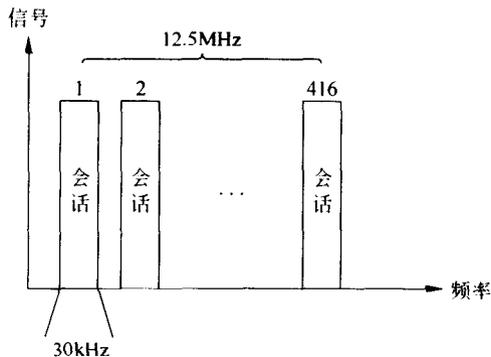


图 7-5 频分多址

所幸的是让蜂窝服务采用广播模式没有必要,既然移动呼叫用户仅需要它所在小区内分配的频率,没有理由不让在城镇另一端的其他人使用不同小区内完全一样的频率。在同一时间同一地域,多个用户使用同一频率称为频率复用,这将移动电话从非蜂窝无线通信中分离出来。

为使频率复用正常工作,每个移动电话仅输出足以到达它所在小区基站的功率。如果它输出功率过高,信号不仅能到达目的小区站点,还会到达其他小区站点,这些小区的站点有些可能正在使用相同频率完成完全不同的通话。严格限制输出功率称为功率管理。在低功率传输的优点是蜂窝电话的电池维持时间更长,同时人们在两次充电间的通话时间会加长(总是一件好事)。

回过头来看图 7-1,标注字母 A 的小区内的用户可使用相同频率来完成他们各自的通话。这里有个具有挑战性的问题:怎样的邻近小区不能在同一频率(和同一时间)实现不同通话?想像一下,你是在两个小区边界处的蜂窝呼叫者,并且你正在和一个小区站点通信,但另一个小区站点接收到的功率电平也是同样强,就会对那个基站和你使用相同频率的用户产生干扰。因为这种潜在于干扰的存在,相同频率在邻近小区不能同时使用。

这里再一次有一个折中。为尽力避免干扰,在同一时间使用相同频率的小区尽可能相距很远。相反地,如果蜂窝提供商想尽可能多地赚到钱(他们在做),小区必须尽可能地紧凑

些,因此更多人能同时讲话。实际上,分离小区的数量依赖于很多因素,其数量范围大约从4到21。

7.3.2 空中接口

1. FDMA

正如上面提到的,每12.5MHz带宽按频率划分成416个不同信道,每个信道传输一路话音,这种频带分割称为频分多址或FDMA。FDMA是一种空中接口,空中接口是使分配带宽达到最大容量的方法。在FDMA情况下,此处理将分配频带分割成更小子频带,FDMA是仅有的空中接口吗?等等吧。

在同一时间(在给定的小区)有416个不同可能通话是很好的,但如果如果有办法使得在同样的12.5MHz分配频率同时呼叫多于416会怎样?随着新数字技术的出现,这将成为可能。

2. TDMA

第一个空中接口技术是时分多址或TDMA,TDMA同样使用30kHz带宽,将它分割成时隙,如图7-6所示。注意横轴用时间标注。几个呼叫可在同一频带同步进行,因为每个呼叫周期性地分配到一个短的时隙来传输它的消息。正如读者所想像的,这需要某些成熟的信号处理,但它的确导致小区站点容量较高。某些系统将信道分割成8个不同时隙,这种方法理论上使系统呼叫承载容量增加了8倍。

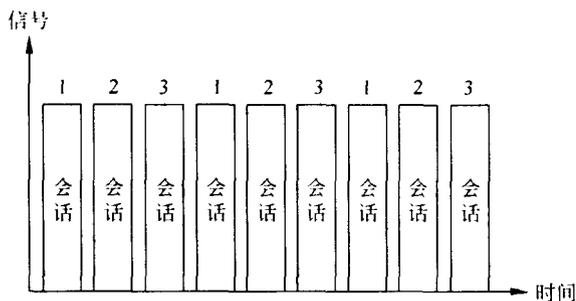


图 7-6 时分多址

3. CDMA

另一种提高呼叫容量的空中接口称为码分多址或CDMA。CDMA使用扩频技术(随后作详细介绍)。本质上,扩频为每个RF信号标记了惟一的地址。因此,很多信号可在同一频带同一时间共存,每个接收机仅能对目的信号(通过它的地址)解码。由于这种奇妙

的数字技术,使得在给定带宽范围内,CDMA 所承载的通话比当前使用的任何其他空中接口都多,图 7-7 示出 CDMA 图形描述。

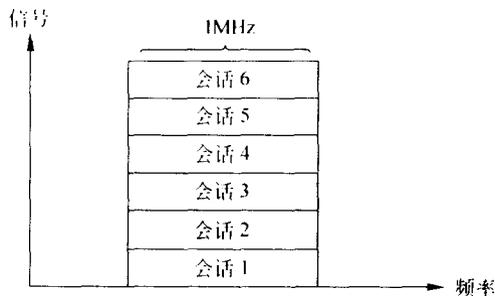


图 7-7 码分多址

参照图 7-7,当 CDMA 系统中的 RF 信号得到烙印到它上的地址时,它所占用的频谱变大。例如,地址使用前占用 30kHz 的信号在地址使用后占用 1MHz。占用频率的扩展是其称为扩频的原因。乍一想,似乎信号占用比原始形式更多的频率是一个错误。但是,尽管它占用比它的原始形式更大的频带,但系统现在能在每个频带上堆加很多信号,因为它们都能通过各自的地址区分开。在这种方式下,更多信号能适合给定的频带,毕竟这是每个服务提供商的目标。

4. CDPD

另外一种已经发展了一段时间的空中接口,称为蜂窝数字分组数据或 CDPD,不像其他空中接口尽量增加语音通信量,CDPD 仅关心数据。事实上,CDPD 是一种分组数据服务,它能较好地如电子邮件的短、突发数据服务。这意味着可完成计算机(不是人之间)之间相互对话。

典型配置是,给笔记本电脑装配一个专用 CDPD 调制解调器(通常安装在 PCMCIA 扩充插槽内)。CDPD 空中接口使用同常规蜂窝电话一样的结构和频带(见图 7-2),PSTN 接口本质上被 Internet 路由器替换了。CDPD 独特之处在于仅占用未用信道发送数据。

在美国,CDPD 最初被认为是对第一代模拟系统的覆盖(当我听到覆盖一词,我想到的是使用相同硬件,新的软件)。像上面所提到的,这些第一代系统在给定小区内有 416 个 30kHz 信道。所有 416 个信道在其时段任何瞬间同时占用的情况很少见(除了星期五下午高峰期)。CDPD 使用专门扫描接收机不断监视 416 个信道中可发送数据的信道。通常,语音通信有优先权,因此,任何时间信道若发生冲突,谈话者会赢。这可能因为通话比突发数据实时性强(谁会在意接收电子邮件稍后 5s 呢?)。

对于 CDPD,因为它仅能使用未分配信道,所以正在发送的数据常从一个信道跳转到另

一个信道。其结果之一是潜在地对语音呼叫产生干扰。解决这种情况的一种方法是避免信道完全跳转,为 CDPD 分配专用信道(在 416 个信道中)。这种方法的不利方面是减损了小区语音容量。要让服务提供商做这件事,必须使他们能从服务中增加收入。

CDPD 另一个有趣的事情是它始终处于连接状态。不需要从你的笔记本电脑拨号。对 CDPD 用户来说不幸的是,CDPD 数据最大传输速率是 19.2kbps。当时这个速率还是相当快的,但考虑到近来数据吞吐量的增加,很难知道这种空中接口的将来怎样。值得一提的是,CDPD 能和较新的空中接口像 TDMA 和 CDMA 共存。专注于先进调制技术研究的公司声称 CDPD 数据速率可提高到 400kbps,这是相当快的。

7.3.3 蜂窝电话方框图

到此,读者可能很想知道蜂窝电话是如何工作的。图 7-8 是一个普通数字蜂窝电话的方框图。因为可能存在很多变更,它不一定能很确切地表示任何特殊数字电话的功能图,但它显示了多数数字电话所包含的主要功能。注意,某些通用模块在系统中的功能和位置会有所不同,这取决于所使用的空中接口等因素。

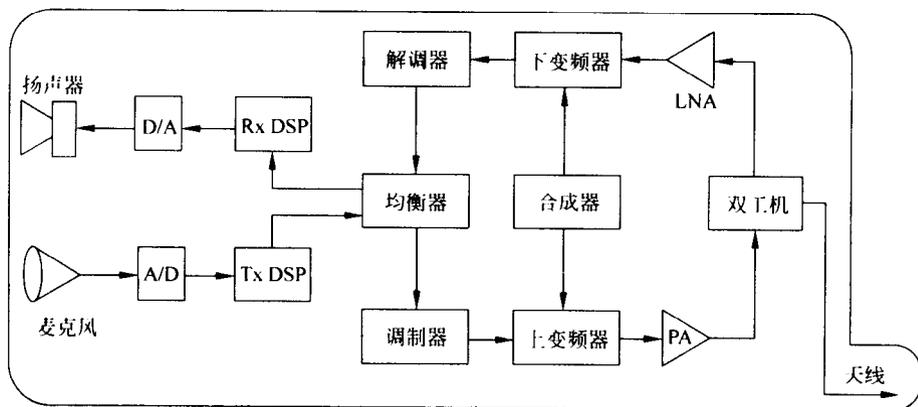


图 7-8 数字蜂窝电话方框图

参照图 7-8 左下方部分,读者可以看到一个麦克风。这里是整个过程的开始。麦克风仅将语音转换成模拟电压。因为是数字电话,它不能将模拟电压保持很长时间,因此,首先使用模数变换器(A/D)将模拟信号转换成数字信号。A/D 变换器将连续变化的模拟电压转换成相应的 1、0 串。不探究太多细节,可以说模拟电压越高 1 越多,模拟电压越低 0 越多。

A/D 转换后,数字信号到达发送机(Tx)数字信号处理器(DSP)。DSP 是移动电话的真正大脑,对数字比特流完成很多操作。其中一项操作是完成语音编码。关注语音编码的语

音质量和压缩,使用压缩是为了除去冗余信息。

DSP 另一个功能是完成信道编码,信道编码修改了比特流来补偿在通过空间传送时可能引起的任何错误。DSP 还可对比特流进行加密,使得其他人不能监听到通话。

最后,DSP 几乎总要完成某种交织。读者不久会学到,当一个信号从移动单元发送到基站,不仅仅发送通话信息。DSP 交织功能将语音信息同其他发送信息交织。

DSP 之后,比特流进入均衡器,均衡器的目的是补偿在空间传输时由频率造成的损害,如相位和幅度失真。

通过均衡器后,数字比特流就准备进入 RF 域。这里数字比特流通过调制器和 RF 信号结合(在这个方框图中,你并没有看到 RF 信源,因为我们假设包含在调制器内了)。在数字系统中,调制可采用频率调制或很典型的相位调制。因此,调制器所输出的仅是经过它的相位调制的正弦波形。但是这个正弦波的频率还没达到发送频率,因此需将它送入上变频器。

上变频器实质上是一个混频器,它用来变换信号频率。中频 RF 信号(从调制器输出)在上变频器中同从合成器来的另一个正弦信号结合。合成器产生的频率使得上变频器输出信号的频率恰好是发送频率。

为什么蜂窝电话要使用合成器?因为它需要在多个载波频率上传输。回忆一种或另一种方法,所有蜂窝系统将给它们分配的频率范围划分成多个子频带(使用 FDMA)。每个子频带需要它们自己不同的 RF 载波频率。合成器必须能立即产生所有这些频率使得系统正常工作。

经过上变频器后,信号成为无线发送所需的形式(数字信息已调制到适当的频率)。现在惟一的问题是,信号太小,因此将它通过一个功率放大器发送,功率放大器增大信号到适当的功率电平。记得在蜂窝系统里,使用功率管理来保证信号在恰当正确的功率电平。在图 7-8 中没有示出,但该功率放大器实际上是一个可变增益放大器,它的增益由从基站接收到信息的 DSP 控制。这就是功率管理在移动电话里的实现过程。

现在准备无线发送信号,但有一件很重要的事情必须首先做。信号需要通过滤波器使不想要频率不被发送。将信号发送到双工机,它是一个双滤波器(一个工作在发送频带,一个工作在接收频带)。最后,信号从天线发送出,到无线世界里寻找它的路径。

在返回路径上,信号所做的事情只是发送路径的反变换。信号首先进入天线,此时它很小,接下来通过低噪声放大器得到放大。然后通过下变频器降低载波频率,解调器剥去 RF 只剩下数字比特流。

一旦变成数字形式,信号再次通过均衡器,然后到 DSP,这里是前面所提到的 DSP 功能的反功能。最后,将比特流发送到数模(D/A)变换器,然后到扬声器,在这里你听到一些不可思议的话:“我现在不在这里,请留言”。

7.4 CDMA

7.4.1 扩频

1. 信号和噪声频谱

CDMA 技术在现在和将来的蜂窝系统中会担当重要角色,因此,我认为应该理解它如何工作的。

为理解 CDMA 如何工作,读者需要理解扩频如何工作。在理解扩频如何工作之前,需要想像信号的频谱和噪声的频谱看上去像什么。图 7-9(a)是信号频谱描述图。横轴代表频率,纵轴是信号强度或功率。信号达到峰值的地方是载波频率所处位置(在横轴上用 f_c 表示)。这是旧的模拟蜂窝系统中单个话音的表示。在这种情况下,信号大约是 30kHz 宽,载波位置在 900MHz 范围。

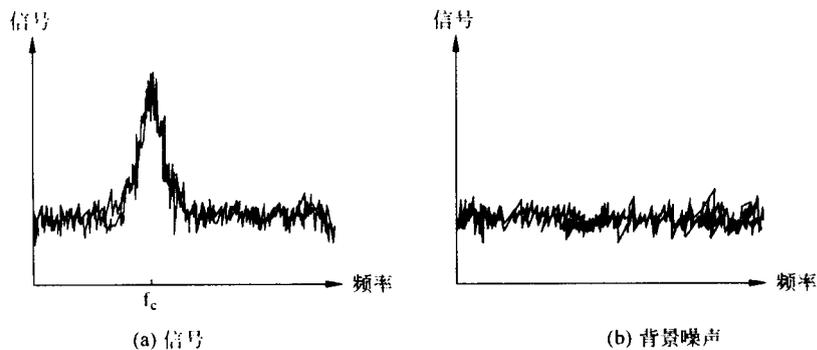


图 7-9 信号频谱和噪声频谱

你知道吗?

自第二次世界大战以后扩频技术真正出现了,它被用在避免信号受到敌人检测和干扰的场合。集成电路的改进和廉价是它现在开始在商业领域出现的原因。

图 7-9(b)示出噪声频谱。在这种情况下,没有信号,读者所看到的是低电平、相当平坦但随机变化的噪声信号。这个低电平、随机信号到处存在,它是多种 RF 信号和非 RF 信号在空间漂移的结果。RF 工程师用一种称为频谱分析仪的设备观察信号或噪声的频谱。

回忆一下无线通信与邮信的类比。在这个类比中,信件就是信息信号,信封就是 RF 载波信号。调制就是将信(信息)装在信封里(载波)。在先前讨论的无线通信中,我假设在给定区域内的给定频率上只有一方能发送和接收。在那个版本的类比中,没有必要在信封上

注明地址,因为只有一方能接收到它(在附近可能仅有一个其他住宅),这里不是使用扩频的情形。若使用扩频,则在给定区域的给定频率上多方可发送和接收(在附近有很多住宅,他们彼此之间都可以通信)。

2. 直接序列

扩频类似于给无线信号烙一个地址。扩频是如何努力实现这个小得不可思议的诀窍的呢?它将信号再次调制。在 CDMA 中用到的扩频类型是直接序列扩频或 DSSS。在 DSSS 中,扩频调制发生在 RF 调制(将信息信号加载到 RF 载波上)之前。顺便指出,我是不是忘记了提醒了,扩频仅同数字信息信号一起工作的?

你知道吗?

除了 DSSS 还有其他类型的扩频,频跳扩频或 FHSS(很快读者就会学到有关它的更多内容)和时跳扩频或 THSS,目前还没有人发明免跳扩频(BHSS?),但需要给他们时间。

DSSS 通过让另一个高频数字信号逻辑倍乘数字信息信号来烙上地址。称这个另外的数字信号为伪随机噪声或 PN 信号。之所以称为随机信号是因为 1 和 0 的出现没有确定图样。重要的是,如果 PN 信号被调制到 RF 载波上,它的信号频谱看上很像噪声的频谱(图 7-9(b))。之所以称 PN 信号为“伪”是因为比特流是随机出现的,实质上,它是自身的反复重复。当然,在图样重复它自身之前随机出现了相当多的 1 和 0 串。在 PN 信号中的 1 串和 0 串称为码片(chips),PN 信号频率称为码片速率(chipping rate),PN 码的产生要归功于数字信号处理的魔力。

上面提到的另一个方面是 PN 信号频率比信息信号频率高得多。例如,在语音通过 CDMA 的情况下,语音数字比特流速率等于 64kbps,而 PN 信号码片速率等于 1.25×10^6 个码片(比特)每秒。

3. 扩展

图 7-10 描述了 PN 信号逻辑倍乘一个数字语音信号的结果。图 7-10 上图是数字比特序列 101101,它代表电话通话的数字信号的一部分。图 7-10 中图是 PN 信号。注意 1 串和 0 串是随机出现的,频率比语音信号高很多(在这个图中它大概是语音信号的 6 倍)。图 7-10 下图是上面两个信号“倍乘”的结果。事实上,这种倍乘实现的是同或运算,这很容易理解,因为只有两个运算规则。在上面两个信号相同的地方(或者同高,或者同低),下面那个信号就高。在上面两个信号不同的地方(一个高,一个低),下面那个信号就低。

对于这个新“扩展”信号来说有 3 个重要的特点:首先,它所在频率比原始语音信号频率高很多。第二,它类似随机出现,这就意味着它的频谱结构看上去很像噪声。第三,所有包含在原始语音信号中的信息(101101)仍然包含在它里面。

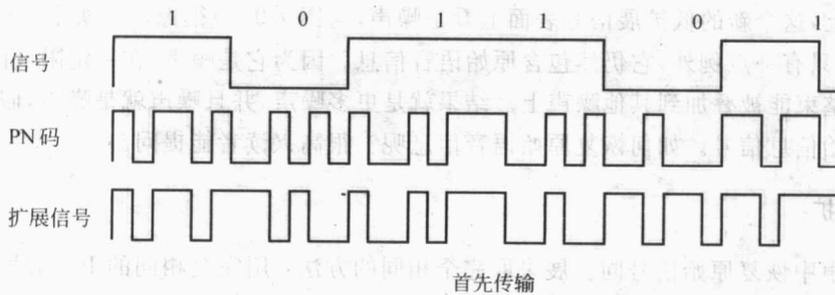


图 7-10 利用 PN 信号扩展信息信号

为什么把这个新信号认为是扩展信号呢？因为原始信号可能仅占用 30kHz 带宽。而这个新信号占用带宽为 1.25MHz(在很高的频率上)。这个信号已经被扩展到一个较大的带宽上了。然而，真正诀窍并不是原始信号扩展到较宽的宽带上，而是当信号扩频到较大的频带上时，它的功率电平下降了。

图 7-11 上图是这个现象的图解简化。图 7-11(a) 示出位于 900MHz 范围内的一个 30kHz 宽的信号，用下面矩形的灰色面积表示其能量(信号表示如图 7-9(a)所示)。既然扩展信号不给信号增加任何能量(只有放大器可以完成)，那么扩展信号下的灰色面积必须是相同的，因此，当信号变宽后，信号功率下降了，如图 7-11(b)所示。

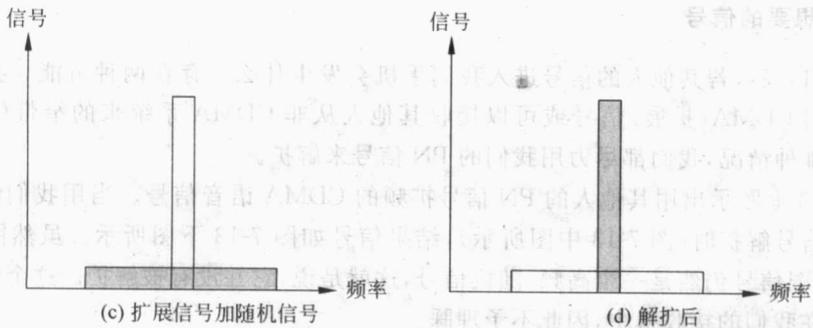
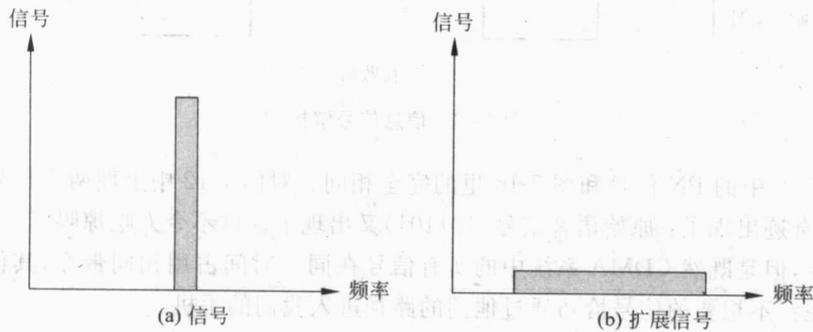


图 7-11 信号扩展与解扩

实际上,这个新的低扩展信号表面上看是噪声,与图 7-9(b)很像。事实上,这个新信号就是噪声,只有一点例外,它仍然包含原始语音信息。因为它是噪声,在一定限度内,这些噪声信号的整束能被叠加到其他噪声上。结果就是更多噪声,并且噪声就是噪声,假设仍然可以恢复原始信息信号。如何恢复原始语音信息呢?很高兴读者能提问。

4. 解扩

从噪声中恢复原始信号同扩展采取完全相同的方法:用完全相同的 PN 信号来逻辑倍乘它。这种恢复信息信号的方法称为解扩。

图 7-12 上图和图 7-10 下图是完全相同的扩展信号(相信我的话)。惟一的不同在于,图 7-10 中的信号正从发送方发送机出来,而图 7-12 中的信号正在进入接收方接收机。假设目前在发送机里扩展信号所使用的 PN 信号也出现在接收机里,可用它解扩。

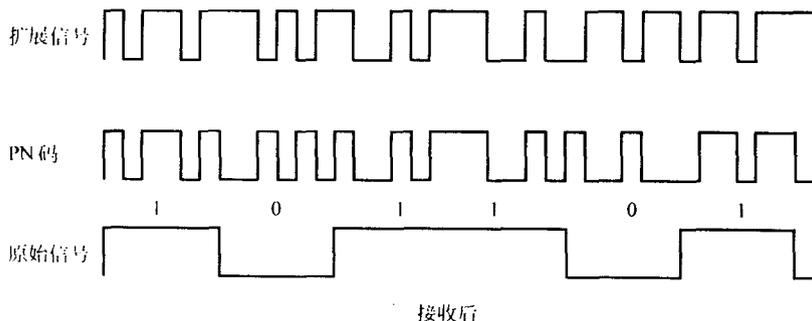


图 7-12 信息信号解扩

在图 7-12 中的 PN 信号和图 7-10 里的完全相同。对图 7-12 中上面两个信号进行相同的或运算,奇迹出现了:原始语音信号(101101)又出现了。这不令人吃惊吗?

这很好,但是既然 CDMA 系统中的所有信号在同一时间占用相同带宽,其他信号又发生了什么呢?不想要的信号恰巧通过他们的路径进入我们的手机。

5. 不想要的信号

让我们看看,若其他人的信号进入我们手机会发生什么。存在两种可能。我们可以接收其他人的 CDMA(扩展)信号或可以接收其他人从非 CDMA 系统来的窄带(未扩展)信号。无论哪种情况,我们都尽力用我们的 PN 信号来解扩。

图 7-13 上图示出用其他人的 PN 信号扩频的 CDMA 语音信号。当用我们的 PN 信号来对这个信号解扩时(图 7-13 中图所示),结果信号如图 7-13 下图所示。虽然图示不是很明显,但下图信号仍然是一个高频、随机信号,这就是说,它并没有被解扩。这个信号以噪声形式出现在我们的接收机中,因此不予理睬。

若是窄带信号进入我们的移动单元,对它解扩会引起对它的扩展,因为这两个过程是相

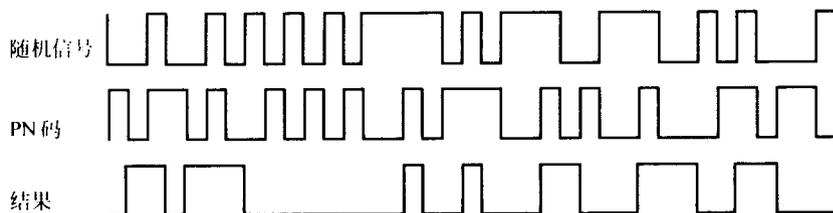


图 7-13 试图解扩其他人的信号

同的。再一次,这个扩展信号以噪声形式出现,并且被我们的接收机忽略掉。这个现象由图 7-11(c)和图 7-11(d)描述。图 7-11(c)示出两个信号进入我们的接收机:想要的扩展信号(灰色)和不想要的窄带信号(没有颜色)。解扩后(图 7-11(d)),想要的信号变成了窄带信号,而不想要的信号变成了扩展信号。也就是说,任何不想要的信号进入我们的接收机,对它扩展或解扩,最终都被我们的接收机忽略掉。

为使 CDMA 系统正常工作,每个人必须使用不同的 PN 信号。但实际是每个人使用相同的 PN 信号(它只是自身的不断重复)。这怎么可能?每个人使用的 PN 信号相同,但是他们都以不同的比特(码片)开始。返回参照图 7-13 中图。假设第 1 个比特(高电平)被标注的比特号码是 1,第 2 个比特(低电平)被标注的比特号码是 2,依此等等。如果告诉读者同样的 PN 信号以不同比特开始是两个完全不同 PN 信号,读者相信吗?下面来证明。

图 7-14 上图是我们的原始扩展信号,它用我们自己的 PN 信号扩展。图 7-14 中图是我们的 PN 信号平移 1 比特。它现在以比特号码 2 作为起始,而不是比特号码 1。尽力用这个 1 比特平移的 PN 信号来解扩我们的信号,结果信号如图 7-14 下图所示,很清楚它不是我们的 101101 比特流,仍然是高频、类似随机噪声的信号,我们的接收机会忽略它。实际上,这个噪声信号恰恰就是我们的扩展信号进入其他人的接收机并被它们的 PN 信号(从我们 PN 信号平移 1 比特)倍乘的结果。其他人的接收机不理睬这个噪声信号。

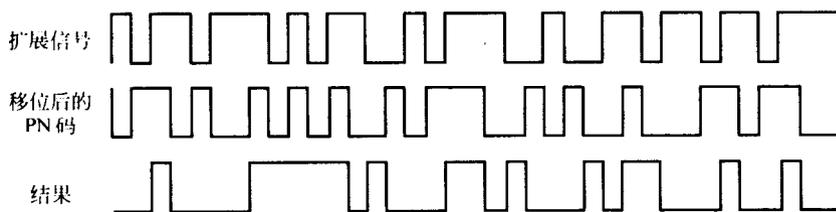


图 7-14 通过 1 比特平移的 PN 信号来解扩信号

因此在 CDMA 系统中,只有一个长的、不断循环的 PN 信号,所有基站和移动电话都使用它,而惟一的不同在于每个通话起始比特不同。紧接着所有基站都需要有他们的与一个主时钟同步的 PN 信号。什么使得所有基站与一个主时钟同步?返回去看 6.3.4 节。

不但所有基站需要同步,而且一个特定呼叫的发送接收双方之间需要同步。这是如何

完成呢? 通过使用同步信道。

7.4.2 信道

当在 CDMA 系统中无线发送通话, 不仅仅无线发送语音数据。实际上, 发送的无线信息分成了不同信道, 或信息分组。从基站到移动单元有 4 个独特的信息分组, 从移动单元到基站有 2 个。

图 7-15 上图示出在一个 CDMA 系统中从基站发送到移动单元的信息是如何分成不同信道的。由基站连续发送的导频信道用于完成几件事情, 其中包括功率管理和协助切换。前面已经提到, 所有蜂窝电话都需要功率管理。这点对 CDMA 系统来说尤其重要, 为了使系统正常工作, 从每个蜂窝电话来的被接收功率电平必须相等(如果不相等, 从邻近电话来的接收信号会由于太高的合并噪声电平而淹没较远处的接收信号)。从每个基站来的导频信号有不同的时间偏移(从主时钟来)量, 这点可惟一标识每个基站, 因此帮助移动交换中心分辨每个移动单元所处基站。

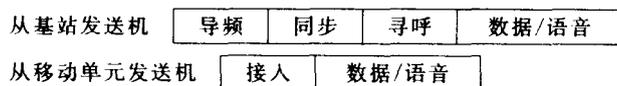


图 7-15 下游和上游 CDMA 信道

同步信道有助于基站的 PN 信号与移动单元的 PN 信号同步。寻呼信道用于寻呼移动单元。当蜂窝电话第一次开启时, 它会监听从基站来的信号。寻呼信道由蜂窝电话进行监听, 蜂窝电话包含开销和用户特殊信息。最后, 下游信道还包含一个或多个业务信道, 这些信道包含语音信号。

图 7-15 下图示出如何从移动单元发送信息到基站。移动电话使用接入信道来初始化呼叫, 对寻呼信道作出响应, 并更新位置信息。和下游信道一样, 这里也有很多业务信道来承载语音和数据信息。

到这里, 读者应该对直接序列扩频(DSSS)有了基本的理解, 并对 CDMA 系统如何利用 DSSS 将多个用户放到一个固定带宽中有了明确的理解。

7.5 蜂窝发展

7.5.1 发展历程

移动电话已经发展了很多年, 反映出技术的进步, 尤其是微电子和数字信号处理上的改进。第一代移动电话, 称为 1G, 将模拟信号调制到 RF 载波上, 利用电路交换技术。电路交

换技术在通信双方间建立持久稳固的连接(在普通旧式电话系统[POTS]中使用同一技术)。电路交换技术服务质量好,但设备利用效率低。例如,若在两个人间建立一个电话连接,而在较长的时间周期里没有任何人讲话(因为丈夫和妻子吵架了),电话线仍然被占用。其他任何人不能使用它。

1G 采用模拟调制,因为在当时的工艺条件下易于实现。带宽供给超出了所需带宽(回到 \$500 蜂窝电话的年代),对频带的有效利用没有优先考虑。如前所述,模拟惟一能使用的空中接口是 FDMA,在 FDMA 中,将所有分配频带划分成较小的频带。若 416 个信道都被占用,下一个要接入的呼叫会收到忙音信号。在美国服务的 1G 移动电话称为高级移动电话服务或 AMPS。

第一代蜂窝服务的最好特征是每个服务提供商在整个美国使用相同的调制和空中接口。这种统一导致漫游概念产生:在归属区域以外的地方使用蜂窝电话。实际上,一部蜂窝电话可以在任何地方使用。不幸的是,模拟技术很快用完了容量。表 7-3 概要示出几代移动电话的特征。

表 7-3 不同时代蜂窝特征

发展阶段	1G	2G	2.5G	3G
信号类型	模拟	数字	数字	数字
交换方式	电路	电路	分组	分组
提供业务	语音	消息	Internet	多媒体
数据速率	—	14Kbps	144Kbps	384Kbps~2Mbps

蜂窝电话需求的日益增长与先进的数字技术的结合导致了第二代蜂窝技术(2G)的出现。在 2G 中,一个数字信号调制到 RF 载波上,但仍然使用电路交换技术。即使信道仍然被占用,数字调制考虑使用新颖的空中接口(像 TDMA 和 CDMA)和功率管理。除加长通话时间和适应更多用户外,2G 还提供了其他第一时间移动特征,诸如电话会议和语音邮件。

在 2G 系统中,仍然用 FDMA 将总带宽划分成较小频带,但它也和其他空中接口结合使用:如 TDMA 或 CDMA。第二代数据速率接近 14Kbps(每秒千比特)。为更新到新的 2G 系统,服务提供商尽量使用他们现存的硬件和软件。不幸的是,几乎没有可用的。绝大多数 RF 和信号处理设备需要更新。在 RF 硬件方面,主要是新的数字信号需要更高的线性特性。既然所有的更新工作不能立即进行,结果是一个区域部分由数字覆盖、部分由模拟覆盖,这导致双制式电话的产生,这些(昂贵的)双制式电话既可以和模拟信号又可以和数字信号(在两者之间更换)通信。双制式电话首先试着以数字方式通信,如果不能工作,就转换到模拟方式下。当然,为了利用新的数字技术,读者必须买新的移动电话。

目前,升级到数字技术的最大问题在于有不止一种方案可以选择。很多服务提供商基于不同原因选择不同技术。读者可能已经猜到问题了。这使得漫游在模拟蜂窝系统下是通

用的,而在 2G 系统中并不通用。

另一方面,2G(在美国和欧洲)需要分配其他频带。1G 仅在 900MHz 频带提供服务(在美国),2G 在 900MHz 和 1 900MHz 频带提供服务(在美国),2G 在 1 900MHz 提供的服务称为 PSC(在欧洲为 DSC),或特殊宽带 PCS。宽带 PCS 就是微高频率的 2G 蜂窝技术。

你知道吗?

意识到在蜂窝彩票上所犯的的错误后,FCC 开始为无线服务拍卖带宽。仅 PCS 拍卖净赚就超过了一百亿美元(那可是亿)。实际上,买主中的大多数并没有那么多钱全部付清,这是完全不同的故事了。

正当人们从 2G 的特征及性能中感到舒适时,随之而来的是无线 Internet。这就产生了所谓的 2.5G。2.5G 确实采用了更先进的调制技术(与 2G 相比),真正的变化是利用分组交换技术,这种技术在接入 Internet 时也使用(使用 IP 或 Internet 协议)。不像电路交换要建立持久稳固的连接,2.5G 仅当用户需要时分组交换时才分配信道(例如频带)。当用户完成了传输或接收信息,他们就放弃信道,使得其他人可以使用它。当用户再次需要信道时,他们得到另外一个信道,而没有必要还用它刚刚放弃的信道。

分组交换频带的利用率比电路交换高得多。除此之外,所有从 Internet 发送和接收的数据都包括在包内(不连续的)。因此,它是个完美的装配。电话通话怎样呢?已经证明,在包内传送语音信息也是完全可以的(记得 TDMA 吗?)。

分组交换固有的高效导致更多用户(每个带宽)和更高数据速率,2.5G 达到 144kbps。在其他 2.5G 可用特征中,最好的新特征是有能力通过移动单元进行网上冲浪。在很多情况下,要升级到 2.5G 的基础设施,是建立在现存的 2G 网络上。结果,这些 2.5G 系统不是纯的分组交换网络。实际上,数据包通过电路交换网络发送。纯的分组交换无线网络还不可用,直到所谓的第三代网络或 3G 出现。

3G 版本最先是在 1992 年提出。这个版本是单一化全球标准(在单一全球频率上),它包括使用数字、基于分组网络来按需释放带宽、可变数据速率达到 2Mbps 等内容。3G 技术使多媒体内容能够传送到移动单元(尽管谁打算在蜂窝电话上看电影超出了本书范围)。这个版本的 3G 需要新的分组交换网络和分配新频率。

这个版本没有意义,至少它不全面。首先,美国拒绝分配所协定的频谱(2000MHz)给 3G 服务。第二,因为负责的服务提供商想利用他们现有设施的优势,负责的设备供应商想利用他们现有的生产线,至少存在 3 条不同途径通向理想中的 3G。这些将导致一个结果,就是使那些生产双波段和三制式设备的半导体公司更加有钱。

7.5.2 通向 3G 的道路

由于多种原因,世界蜂窝技术在 3 个不同地方经历了不同的发展:欧洲、美国和日本。

这3个地方最初有他们自己的模拟标准,在那个时代已经是很好的了,因为没有人设想过他们的蜂窝电话会在某些其他国家使用。但从第一代模拟系统进入数字世界后,事情真正变复杂了。

有人抱有这样的想法,如果在世界范围使用单一的数字技术,使得一部移动电话可以在世界任何地方使用(只要那里有服务),这该有多好。国际电信联盟或ITU,它是世界范围的FCC,负责国际频率分配。ITU同所有成员国家一起启动一个计划,即IMT-2000(国际移动电话)。这个计划的目的是发展在全世界工作的单一、数字标准。给IMT-2000分配的频率在1 885MHz到2 200MHz之间。不幸的是,在2G中,从交换到数字技术所产生的问题仍然是通向3G的障碍。

你知道吗?

IMT-2000中的2000起先有3重含义。它代表计划的开始年份、工作频带及以kbps为单位的最大数据速率。就现在看,它已经错过了开始年份,不知其他两个是否能实现。

1. 欧洲

欧洲的第一代模拟系统有好几个,比如英国的TACS和北欧地区的NMT。这些系统甚至不在同一频率上工作,因此,他们之间无法通信。

庆幸的是,当它升级到第二代数字技术时,欧洲决定在每个国家使用单一技术。这种技术是GSM(Group Special Mobile),使用TDMA空中接口,工作在两个频带:800MHz和1 800MHz。

不想等待3G系统的真正实现(可能还有很多年),欧洲在通向3G的道路上有一些中间阶段。第一个中间阶段(2.5G)称为通用分组无线系统或GPRS。简而言之,GPRS只是覆盖现存GSM系统的分组交换。分组交换比电路交换效率高,因此可以容纳更多用户。另外,分组交换和利用Internet进行数据传输的途径类似,这使得这个技术很适合使用。

下一个中间阶段称为数据增强型GSM环境或EDGE(也称增强数据速率的GSM演进或EDGE)。EDGE利用一种在GPRS基础上改进的调制技术,即GPRS使用GMSK调制,EDGE使用8PSK调制,它传输的数据速率是GPRS的3倍,若读者想在移动电话上观看Lethal Weapon,这是一件好事。

欧洲官方3G系统是通用移动通信系统或UMTS,它是真正的分组交换网络。但与1G和2G相比,它工作在不同频率(2 000MHz),这就需要投入精力来更新系统。奇怪的是,UMTS不是基于TDMA空中接口(像GSM),而是基于CDMA空中接口,称为宽带CDMA或WCDMA。WCDMA和北美CDMA使用一样的扩频技术,但具有5MHz带宽(比起1.25MHz带宽更宽),因此称为宽带。图7-16概要示出所有通向3G的途径。

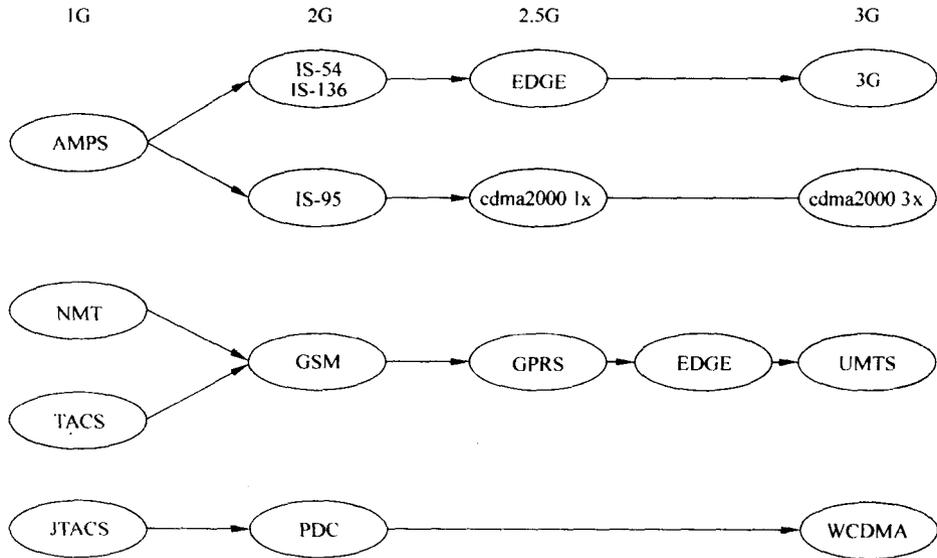


图 7-16 通向 3G 的途径

2. 美国

不像欧洲,美国起初是在 900MHz 频带上制定单一模拟蜂窝标准(AMPS)的。而进入第二代后,美国选择了完全不同的方向,出现了 3 种不同技术途径。这 3 种系统是 IS-95(亦称为 cdma-1,基于 CDMA 空中接口)、IS-54(基于 GSM, TDMA 空中接口)和 IS-236(亦称为 D-AMPS,基于不同的 TDMA 空中接口)。它们使用两个不同频带: 900MHz 和 1 900MHz。

我想说的是,2.5G 或 3G 都需要美国重新进入一种统一的蜂窝技术,美国进入 3G 有两条截然不同的途径。更糟糕的是,它们与欧洲系统不兼容。

在 EDGE 技术指导下,使用 TDMA 空中接口的技术将在 2.5G 统一起来,和欧洲所使用的技术一样。虽然频率略有不同,但它可和欧洲的 2.5G 系统互通。不幸的是,在通向 3G 的道路上,它并不选择 UMTS,就是说不会使用 2GHz 频带。

而使用 CDMA 空中接口的技术,需要经历 CDMA 一系列升级。2.5G 称为 cdma2000 1x,而 3G 称为 cdma2000 3x。它们每一个都代表增加或改善信号处理、带宽和(或)调制,并且这个版本的 CDMA 与欧洲的 WCDMA 是不兼容的。

3. 日本

日本 1G 模拟系统(JTACS)和 2G 数字系统(PDC,基于 TDMA 空中接口)都是与世隔

绝的。两代发展很统一,因此使得日本可以跳过 2.5G 直接进入 3G 系统。事实上,日本是最早配置 3G 系统的国家。系统基于 WCDMA 空中接口,与欧洲 UMTS 相似。

最终,ITU 的目标是协调一个或多个 3G 系统来实现他们的初衷:单一的通用标准。

你知道吗?

随着 3G 的讨论,不可想像的是,已有公司在讨论 4G 系统。这些 4G 系统将包括新技术,如改善调制和智能天线,使得每秒能传输多兆比特数据,能将全动感视频传送到移动单元上。

第 8 章 无线新领域

说无线技术已经发展了很长的时间了,什么又说是“新技术”呢?所谓新技术指 RF 和数字电子学所推动的很多无线通信应用。蜂窝电话从概念到广泛的市场渗透花费了 30 年,大部分时间花费在等待低成本的半导体技术的出现,以使蜂窝电话能够获得可行的市场价格。

本章仅仅是当今(2001 年前后)不断变化的无线世界的简要介绍。较新技术取代陈旧低效的旧技术,同时现有技术的新应用不断出现。新技术的市场也正在发展,发展中国家正转向用无线方式提供基本的本地电话服务,并寻求很多挑战的解决方案,从有效利用频谱到协调无线突发事件的服务。

本章共分 4 部分。第 1 部分讨论宽带固定无线系统。宽带固定无线描述高数据率无线系统家族,在这些系统中,所有通信各方都是固定的。具体说,设计这些系统主要为了与服务到家和到办公室的有线系统竞争。宽带固定无线有多种实现方法,本章仅介绍 4 种比较著名的方法。

第 2 部分讨论无线网络,它涵盖任何无线通信网络,不仅仅包括计算机。网络能在办公室周围,居所周围,甚至可在个人周围建设。与不同的无线技术相比,无线网络应用类别更多样。换句话说,很多无线网络应用是对现存的几种核心无线技术的改进和增强。不要对无线制造商尽力将他们的产品推销到多个应用领域感到吃惊。

第 3 部分涉及移动 Internet。毋庸置疑,近几年,无线技术在这方面的应用受到广泛关注。移动 Internet 面临的所有挑战,同 3G 系统的兼容性和足够高的数据速率相似,最大挑战可能是无线服务运营商如何解决所提供服务的收费问题。

移动 Internet 的真正技术挑战不在于无线应用本身,而在于政策因素(3G 兼容)、电因素(延长电池寿命)和人为因素(小显示器、语音识别等),这里所提及的移动 Internet,与个人计算机类似,需要长期发展,因此需要不断更新设备。

第 4 部分的标题是前沿。这里将介绍少数还没找到进入主流途径的前沿技术。它们用 TM-UWB、MEMS 和 BLAST 缩写表示。它们有可能成为领导下一代无线的突破技术。

最后,本章简单讨论涉及安全和健康的问题。无线安全是长期发展关注的问题,似乎会无止境威胁我们。不幸的是,无线技术还不能完全渗透到商业领域,直到我们确信使用它是安全的。

提及使用安全,最近很多人谈及使用蜂窝电话对健康的不利影响。今天没有人能确定地说使用蜂窝电话是否会带来危险。这种说法主要指出暴露于 RF 辐射中对健康所带来的各种威胁。

8.1 宽带固定无线

8.1.1 无线本地环

在美国,若你拿起电话准备呼叫时,会听到拨号音,这意味着你被连接到第5级交换中心了,或称中心局。也即连接到本地电话公司了。你和端局以及回路之间的电路称为本地环。现在本地环不仅仅指电话服务,还包括其他与外界的通信服务,如 Internet,电视和电影节目,其他数字服务的过剩局面也很快会出现。今天,不论你是否意识到,本地环控制权竞争确实存在。

本地环基本上有4种实现方式:铜线、铜轴电缆、光缆和无线通信。本地电话公司拥有铜线,铜线采用数字用户线或 DSL 尽可能承载在技术允许范围内更多的信息,本地电缆公司拥有铜轴电缆(如果你非常幸运地拥有它)。他们也希望在技术允许的情况下,尽力承载更多的信息。今天光缆入户还不可行,所以采用的是无线技术。

在本地环竞争中,无线本地环(WLL)是强有力的竞争对手。无线本地环技术同时在两个不同市场发展。WLL 正在发展的市场之一是还没有本地电话服务的地区,在这些地方,无线技术比较廉价,并且比在地面铺设铜线更快。主要无线基础设施制造商都愿意在发展中国家寻求 WLL 的发展商机。

WLL 的另一个市场是在美国,在几乎人人都拥有硬连接的本地环服务的国家为什么还需要 WLL 呢?有两方面原因,首先,长途电话公司也非常想成为本地电话公司,其实如果它们想这样,可以立刻实现,但它们必须使用本地电话公司的设备并为此支付费用。无线本地环技术允许长途电话公司配置电话设备,费用只是铺设铜线的零头,并能直接同本地电话公司竞争本地电话业务。随着 Internet 的发展,本地通话时间呈现增长趋势。而 WLL 将很快为很多人提供一种可选的本地电话服务,很可能本地电话服务是由长途电话运营商提供。

在美国,发展 WLL 的另一个原因是带宽增加了。每个人都想以高速接入 Internet,高速意味着宽带。能由铜线或混合电缆承载的信息只有那么多,如果想要的带宽超出电缆所能提供的带宽,就必须从别的地方得到。除非有人指出铺设光缆是多么便宜,否则惟一的解决办法便是无线,更具体地说就是 WLL。高带宽 WLL 称为宽带固定无线服务。

你知道吗?

不管你相信与否,至少有一个公司培养了一批机器人在地下铺设光缆,以获得更高的成本效率。现在先不要考虑不久光纤可能入户的问题,忘掉这个。这些机器人仅为那些渴望带宽的大(富有的)公司铺设光缆。

宽带固定无线系统可使用两种设计：一种使用“超小区”，这种小区努力为单一、高功率基站的一定区域内的用户服务(像电视播送设备)；另一种是将区域划分成较小小区(像移动电话)。

无论哪种设计，每个小区都由基站提供服务，基站与小区内所有无线本地环用户通信。在较小的小区，基站很可能只是一个简单的全向天线和头顶电线上悬挂的控制盒。可为每个用户安装一个收发器和一个小天线。收发器有几个输出端口：一个接电话，一个接 PC 机，可能还有一个接电视。安置的小天线与基站通信，它可安装在室内也可安装在室外。

使用什么样的设备、技术和频率呢？如果系统是为发展中国家提供基本本地电话服务，则需要适度的带宽，并且几乎任何设备在任何频率都可以工作。那些为移动电话提供系统的主要无线基础设施制造商，很自然地想让 WLL 使用相同设备，避免制造新设备。发展中国家的大多数 WLL 基本上和发达国家的移动电话工作在同一频率，并可利用相同的基础设备，而只是提供固定服务。

在美国，宽带固定无线在 4 个主要竞争者间展开：MMDS、LMDS、开放频段和无线光纤(表 8-1 给出比较)。无论选择哪个，都必须进行两方面折中考虑。首先，小区覆盖区域与容量成反比，即大的小区对应低数据速率，小的小区对应高数据速率。第二，用户数量与数据速率成反比，即用户数越少，数据速率越高，用户数越多(共享)，数据速率越低。

表 8-1 宽带固定无线比较表

项目	MMDS	LMDS	开放频段	无线光纤
频率	2.6GHz	31GHz	2.4GHz, 5.8GHz	10 000GHz
基本拓扑	点到多点	点到点	点到多点	点到点
覆盖	35mile	3mile	10mile	1mile
数据速率	2Mbps	155Mbps	1Mbps	622Mbps
优点	覆盖面积大	数据速率高	不需要申请	不需要申请；数据速率很高
缺点	需要申请	需要申请；设备昂贵；雨和树叶问题	必须共享频谱；输出功率受限	范围受限；雾问题
主要市场	家庭(乡下)；小型办公室	中、大型企业	家庭(城市)	楼宇到楼宇(校园)

1. MMDS(多信道多点分布式服务)

在美国，2 600MHz 频带最初是留给空中电缆电视(广播)的。使用这种服务的用户，仅需要一个小天线和一个 TV 机顶盒(按月付费)。它主要为了同电缆提供商竞争，从而使得用户所付费用下降。不幸的是，正当 MMDS 蓬勃发展时，开始发射直播(DTH)卫星，用户

纷纷使用 DTH。

庆幸的是,MMDS 在美国仅仅是部分用户。在发展中国家(没有直播卫星),MMDS 已经拥有一定的观众了。但在美国,这个无用带宽闲置了一段时间。在 Internet 出现后,1998 年,FCC 批准使用这个频谱来提供双向无线服务,MMDS 获得了新生,成为可行的固定宽带无线选择之一。

MMDS 采用一点到多点拓扑结构,适用于住宅服务。尽管 MMDS 有视距局限(传输天线必须能看到接收天线),但相对频率低、传输功率高,这样它的工作范围可达到 35mile。这意味着其小区相对比较大,覆盖一定区域所需基站少。对小区内的用户来说,在 200MHz 可用频谱上传输数据速率可高达 2Mbps,可较好地解决固定宽带无线连接到户的问题。

2. LMDS(本地多点分布式服务)

31GHz 频带不是专门为 WLL 分配的。这个频带的拥有者(在给定的区域)几乎可在任何应用中使用这个频带。但是,A 块频率分配很特别(LMDS 被划分成两个不同频段:A 块和 B 块)。给 LMDS A 块分配了 1 150MHz 带宽,在美国历史上,这是 FCC 所分配频率最宽的频段,既然频率像房地产,在无线通信世界中,LMDS A 块是最有价值的商品之一。

你知道吗?

同今天其他频率分配一样,早在 1999 年,FCC 将 LMDS 分配的频率拍卖给出价最高的人。拍卖价高达 4 500 万美元,如果考虑到中标者因此有能力与本地电话公司、本地电缆公司和 Internet 服务提供商竞争,这个出价并不高。这很可能是以往无线拍卖的价格冲击的结果,在以往的无线拍卖中,激动的中标者要支付巨额资金。

1 150MHz 无线频谱是一个什么概念呢?一次电话呼叫需要 4kHz 带宽(不经过压缩),这就是说,LMDS A 块能同时传输多于 250 000 路语音信号,你现在知道为什么大多数运营商趋向在 WLL 服务中使用 LMDS 了吧。

但不要认为 LMDS 是解决 WLL 的最好办法,它还有很多问题需要解决。首先,在系统端和用户端,31GHz 上的射频电子器件相对来说还是很昂贵的。第二,如果读者能回想起前面章节中所提及的吸收,它限制了射频波传输的距离,频率越高,损耗越大,在 31GHz 这么高的频率下,情况变得更糟糕。在 31GHz(LMDS 频率),由于信号吸收衰耗,使得接收机需相对靠近基站发射机。更糟糕的是,在 LMDS 频段,雨及树叶对信号破坏严重。

简单来说,LMDS 信号传输距离短,需要很多基站才能覆盖给定区域,系统造价高。

同 MMDS 相似,LMDS 要求视距,不同的是,LMDS 是点到点系统,传输距离受限和宽频带相结合,使得它适用于大中型企业,特别适用于商业区停车场(开阔地带)。

注意:点到多点系统使用全向天线,可同时与多个接收机通信。点到点系统只能使用定向天线和单个接收机通信。但是,将多个点到点系统安装在单个地方可以实现点到多点系统。

3. 开放频段

FCC 分配了几个开放频段,可用在宽带固定无线服务系统中。FCC 的目的是,让小型企业公司在这些频段上尽快低成本地提供无线服务。

这些开放频段(如表 8-2 所示),称为 ISM(工业、科学和医疗)频段,它最初不是为无线通信分配的。正如缩写所暗示的,ISM 频带最初允许各种电子和机械工业设备辐射无意识的 RF 能量(在这些特定频段),不会对其他无线通信产生干扰。也就是说,只要工业应用和无线应用在他们各自频段工作,相互就不会产生干扰。ISM 应用包括从工业加热设备到微波炉的各种应用。直到最近,ISM 才包括无线通信。

表 8-2 ISM 频段

频段	频率分配
UHF	902MHz~928MHz
S-波段	2.40GHz~2.4835GHz
C-波段	5.725GHz~5.875GHz

惊奇的是,ISM 频带现在为无线通信提供了机会(包括宽带固定无线)。如果没有各种电子和机械工业设备的辐射,在 ISM 频段工作的无线通信,不必担心其信号与现存应用相互干扰(微波炉不会介意听到无线通信中的语音)。惟一的问题是,如何才能使无线通信在有诸多无意识的 RF 辐射的频带下正常工作?读者可能已经猜到答案了:扩频。在 7.4 节讨论过,使用扩频可以使很多信号在同一频段内共存。

随着扩频技术应用的不断扩大,FCC 意识到,将 ISM 频段对无线通信开放,可使更多频谱得到充分利用。于是 FCC 慷慨地决定,只要遵守规则,在 ISM 频段内进行无线通信无需事先申请。这无疑对那些想尽快大量提供廉价的宽带固定无线服务的公司有着巨大的吸引力。

在 ISM 频段内使用扩频技术称为开放式扩频(不知道还有其他叫法没有?)。FCC 对在这个频段内使用开放式扩频有很多要求,包括将传输功率限制在 1W 内,并特别指出使用哪种扩频技术。开放式扩频使用的几个 ISM 频段见表 8-2,目前 2.4GHz 和 5.8GHz 是两个用于宽带固定无线通信的常用频段。

你知道吗?

最近,FCC 将 5.8GHz 子频段分配给非扩频通信。同样,由于使用的是开放频段,仍需采取防范措施防止多个服务运营商相互间的干扰。5.8GHz 频段内的子频段称为开放国家信息基础设施频段或 UNII 频段。

为在开放频段内成功传送宽带固定无线业务,有两个关键问题要解决。首先,1W 功率的限制使得 RF 信号传输范围受到限制。有限的信号范围通常意味着需更多小区(因此成

本会增加)来覆盖给定区域。第二,由于是开放频段,除了存在很多其他工业信号,还有很多使用该频段提供通信服务的公司的无线信号。我们知道,要想防止一个频段对其他事物产生不利影响,就不可能不限制信号的数量(即便是扩频)。简单地说,这些开放频段对于宽带固定无线使用是免费的,但使用他们也带来了很多问题。为了克服这些问题,很多公司将精密天线同信号处理技术结合,用这种方法能解决问题吗?请接着往下看。

4. 无线光纤

说无线光纤似乎是个矛盾术语,无线光纤另一种叫法是自由空间光。无论怎么叫,它都是用激光或发光二极管(LED)来无线发射数据,通过将数据编码到光脉冲上发射到空间。尽管它使用光脉冲,但无线光纤并不使用可见光。它的信号典型值在太赫(1THz = 1 000GHz)范围,技术上使用红外线。

自由空间光并不是一个新概念,20世纪80年代就已提出,但那时它的工作表现并不理想,现在,它是宽带固定无线的选择之一。

无线光纤使用点到点拓扑,通过在房顶或窗户内安装传输终端(称为节点),并指向对方来工作。与其他可选宽带固定无线一样,无线光纤有视距限制,并且更加严格,光收发器必须非常恰当地排列才能使系统正常工作。图8-1就是一个终端实例。

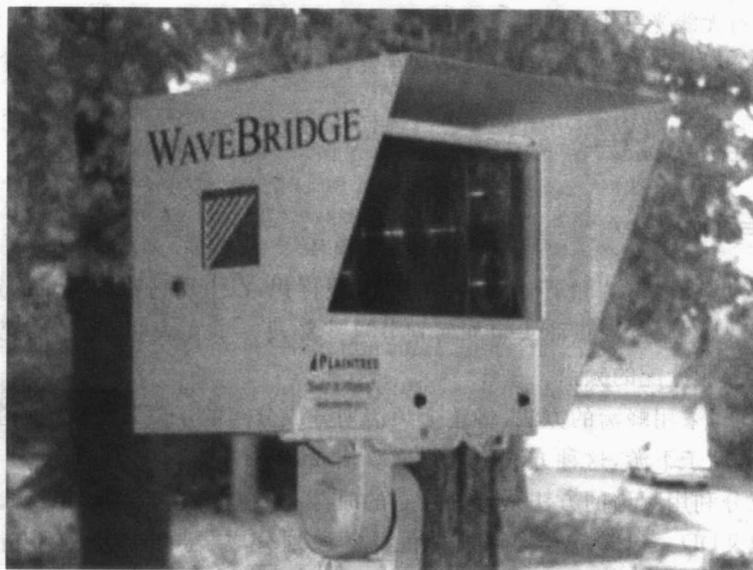


图8-1 无线光纤收发器,由Plaintree系统提供

无线光纤有很多优点。对初用者来说,不需要申请,并且它的配置相对来说比较便宜(与真正光纤相比),安全性很高,因为信号只在两个严格视距范围内的收发机间传送;且无线光纤带宽非常宽,传输信息速率极高。据说目前无线光纤提供数据速率大概为

622Mbps,当然该速率还会继续增长。

因为有极高的数据速率,无线光纤可代替真正的光纤(没人需要 622Mbps 这么高的速率入户)。高容量同时也是一种限制。为了能无线传送高数据速率,系统配置需接近能够处理高数据速率的大型通信集线器。所以目前无线光纤主要应用在人口稠密的市区环境,其理想的应用环境之一是校园楼宇间的通信。

无线光纤也有很多不足之处,信号范围和环境干扰是它的两个主要局限。在讨论自由空间损耗时指出,没有无线信号在它传播的时候能保持完美的信号路径,无线信号在传播过程中会扩散。自然地,信号传播路径越长,扩散越多。若采用无线光纤,信号传输一定距离后,由于扩散太多,以致接收信号很困难。扩散问题使无线光纤通信范围被限制在至多一英里内,也有人声称上限最多为 500m。

距离局限意味着什么呢?那就是“误比特率”(BER)。所有数字无线信号(不仅仅是无线光纤)都与 BER 紧密联系在一起。BER 是每接收百万个比特时出错的比特数。正如读者所猜想的,若每百万个比特中有一比特或两比特发生错误,系统可采取措施纠正它(如采用数据重发),并不进行大批量处理。但随着 BER 增大,数据率会下降,系统会变得无用。随无线光纤系统内信号扩散的增加(由于传输距离的增加),接收到的有用信号会越来越少(到达接收机),这将导致更多的比特差错。也就是说,距离越长,BER 越高。

环境干扰对无线光纤来说也是一个大问题,雾产生影响最大。微小的水颗粒使得雾像棱镜一样将信号分裂,其他环境源包括雪、鸟甚至晃动的建筑物(在地震国家是一个大问题)。

8.1.2 空间链路传输技术

1. FDD 与 TDD 比较

不像在蜂窝频段,上游和下游由专门的子频段标识,以上所讨论的宽带固定无线系统只分配一个频率块,由服务提供商决定如何划分这些频段。事实表明,为尽量充分利用频谱,有两种方法划分所分配的频谱。

第一种方法,采用蜂窝的方法,将整个频谱划分成分离的子频带(称为信道)。一些信道用于上游,一些用于下游,这种方法称为频分双工或 FDD。

另一种充分利用频谱的方法是划分独立的时隙,并在上游和下游间交替。这种方法称为时分双工或 TDD。TDD 仍然是将所分配的频段划分成子频带。在这种情况下,上游和下游通信可使用每个信道。这两种方法如图 8-2 所示。

哪种方法比较好呢?记住我们正在讨论宽带固定无线应用。大多数情况下,人们在网上冲浪,通常下游数据比上游数据多。因此使用 FDD 需要给下游分配更多信道。但在实际中,由于不能确切知道下游和上游负载是多少,一些信道的某些部分(不论是上游还是下游)不能得到充分利用。

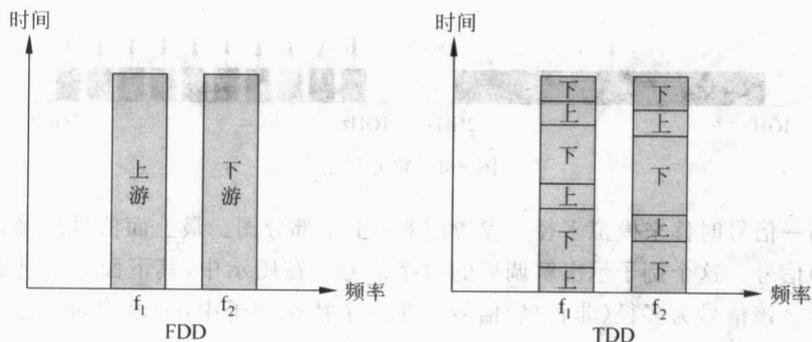


图 8-2 FDD 和 TDD

举一个例子,假设有一个供水系统中,十个管道用于水下流,一个管道用于水上流。如果下流水和上流水的比例正好是 10 : 1,那么在所有时间内,管道都能得到充分利用。但如果水上流和下流比例不是这样,将需要立即关掉水上流管道或水下流管道之一,而使得这个系统平衡。这个未用水管时间就是(在无线通信系统中,未用带宽)浪费,每位运营商都尽量让它们系统的容量得到最充分的利用。

这使得人们开始发现,TDD 有较高的频谱利用率(每赫兹有更多的 bps),没有什么浪费。上游和下游可使用任一个管道。当一个管道(带宽)还有可用容量时,无论是正在等待传送的上游数据还是下游数据,都可以接入。

2. OFDM

宽带固定无线系统存在的最大问题之一是多径,这点在前面章节讨论中已经指出,多径现象是由于一台接收机不止一次接收到从发送机发来的同一信号,通常引起时移。多径的发生是因为传输信号通过多条路径到达接收机,包括建筑物、树等的反射。接收到多径信号往往对系统接收信号产生破坏。

读者已经知道,可用天线分集解决多径问题。这里再介绍另一种方法,要用到复杂的信号处理技术,称为频分复用。从前一节学习中读者已经能推断出,如果频分双工是将传输划分成两个(频率)信道,那么频分复用就是将传输划分成多个(频率)信道。

参照图 8-3,左图示出一个单一的、1GHz 带宽的信号,载波频率处于中间位置,这是单一载波信号的典型频谱。右图示出同一信号频分复用的情况,信号被分成 10 个较小的等频率的子带。在这种情况下,每个窄带信号有自己的 RF 载波,这些载波频率稍有不同。

从表面上看,没有变化,仍然是 1GHz 有用信息。实际上情况要差一些。因为每个子带之间必须用保护频带分离,事实上,复用情况下的信息量较少。那为什么还要这样做呢?频分复用是将一个高速信号分成多个低速信号。这些低速信号大大减少了多径效应,下面将详细讨论。

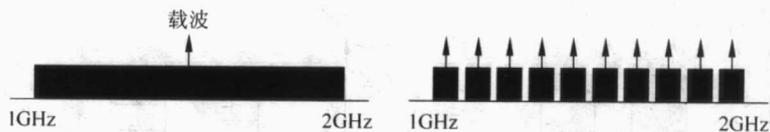


图 8-3 频分复用

可用同一信号时移来模拟多径。参考图 8-4 上半部分图。最上面信号是接收机接收的主要(直接)信号。这个例子示出解调后的数字信号。在图示中,其下面是由延迟引起时移的同一信号。该信号为多径(非直接)信号。在这个特殊例子中,延迟约为一比特长。实际上,延迟仅为几微秒。

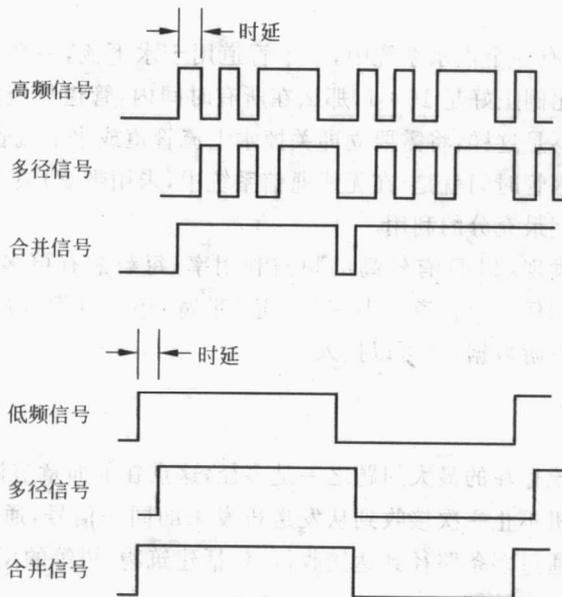


图 8-4 多径效应

若这两个信号被接收机接收,接收机采用逻辑“或”运算合并信号,这一点很容易理解。若两个信号中的一个位于高电平(1),结果是高电平。按此方式合并两个信号后,得到图中第三个信号,即使在墨西哥过了一个疯狂的周末,读者都不会将这合成信号与原始(上方)信号混淆。多径已经破坏了它。

现在来看频分复用后发生了什么。这些复用信号在较低的频率上,即数据速率低。图 8-4 下半部分图的顶部信号是主要接收(复用后)信号,其下是它的多径信号。信号经历和图 8-4 顶部信号同样的时延。

现在若将这两个信号按如上所述进行合并,合成信号看上去和原始信号很相似。实际上,利用一些信号处理技巧,原始信号几乎可以被准确地恢复出来。通过降低信号速率,频

分复用完全克服了多径。

什么是 OFDM 呢? OFDM 就是正交频分复用。OFDM 仍是频分复用的一种,只是多个载波之间是正交关系。正如前面所提及的,由于频分复用将一些频率用于保护频带,从而牺牲了信息。而正交允许载波之间可以彼此放置得很近,这样,当采用频率复用时,不需要保护频带,从而不牺牲信息。

OFDM 也有其缺点,首先,进行信号处理需要昂贵的硬件。第二,当前对 OFDM 在宽带固定无线方面的应用褒贬不一。最终会采用哪一种?哪一种会成为标准?还不得而知。

OFDM 最新的应用之一是用于非视距(NLOS)无线系统中。道理很简单。既然 OFDM 接收机能从多个位置 and 不同时间接收到的信号中恢复原始的目的信号,那么接收天线和发送天线就不必限制在视距范围。实际上,现在有一个系统根本不需要接收主要(直接)信号。它可以从接收到的一束反射和重定向信号中恢复原始有用信号,该系统目前正在评估中。

8.2 无线网络

8.2.1 局域网

几年前,如果有人提及网络,多数人想到的是计算机网络。这些局域网或 LAN 是通过一根专用电缆通信的一些计算机。它们有时彼此直接通信,大多数情况,通过一个中心计算机间接通信,这个中心计算机称为服务器。而今天读者所听到的网络,指的是任何不同数字信息设备,它们彼此间通信,包括计算机、个人数字助手、网络外围设备及我所听到的不久很可能电冰箱也要算在其中。

若通过电缆来实现这些设备间的通信,的确有很大困难,尤其是这些设备中的大多数是移动的(如笔记本电脑)。那该怎么办呢?读者已经知道了:无线联网。读者很快会了解到,无线网络有很多形状和尺寸,用于解决现实世界中的各种不同问题。这一节要讨论的是无线局域网(WLAN)。

既然所有不同无线网络在功能上有相似之处,我用两个鲜明特征来区分 WLAN。首先,它们主要用于连接企业中的计算机和外围设备;第二,它们的覆盖范围有限。因此 WLAN 可提供移动通信。只要你在覆盖区域内,你就可以到处移动(以步行速率),并仍可连接到网络当中。

1. 基本结构

WLAN 的基本结构块是基本服务集或 BSS。BSS 由一个接入点(AP)和一些计算机及

外围设备(称为节点)构成(见图 8-5)。为了建立无线链路,每个节点和 AP 使用一个小 RF 无线电广播设备,它包括一个天线、一个收发机、一个调制解调器和一些信号处理电子器件。

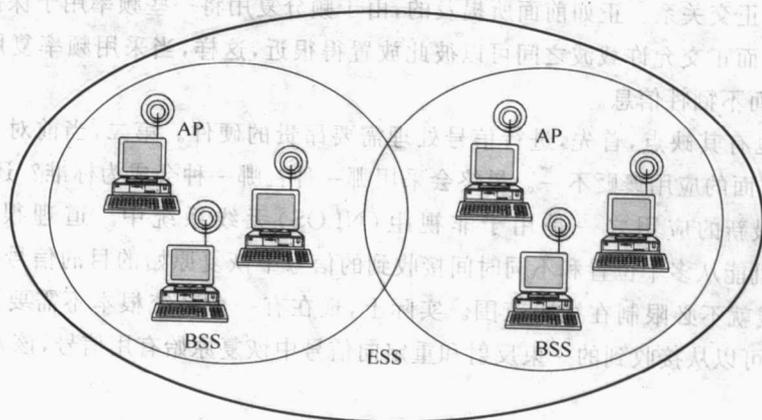


图 8-5 基本无线局域网系统

所有计算机和外围设备将 AP 作为桥接器来转发信号,完成彼此之间的无线通信。AP 和在蜂窝电话中使用的基站类似,因此 AP 的第一个任务是完成 BSS 内所有节点间的通信。一个典型 AP 如图 8-6 所示,为什么要使用两个天线? 用于分集接收!

注意: 一个无线局域网可以没有 AP,节点间可直接通信,这种对等网络被认为是一种自组网络(ad hoc network)。



图 8-6 一种典型的 WLAN 接入点,Linksys 有限公司提供

BSS 本质上是 AP 的 RF 覆盖区,只要在 BSS 内,就可以通过无线方式连接到网络上。举一个例子,一个 BSS 可能在办公大楼的单层。但是在一栋大楼中,如果一个公司占用面积多于一层,那么在多层办公的用户还能通过无线方式连接到网络上吗?答案是肯定的。首先,每一层可以建立带有各自 AP 的 BSS。然后多层组合成一个扩展服务集或 ESS,通过它们各自的 AP 彼此通信。AP 的第二个任务是作为桥接器安装在多个 LAN 间(可以是无线的,也可以是有线的),从而扩展覆盖面积。

2. 802.11 与 HiperLAN 比较

在 WLAN 领域,有两个国际标准占竞争主导地位:802.11(起源于美国)和 HiperLAN(起源于欧洲)。它们阐述了无线网络操作的各个方面,从工作频率到空中接口类型,以及使用的调制方式。这两个标准在一定程度上都是基于以太网标准,以太网标准是世界上通用的有线 LAN 标准。遵从这些标准对于系统间的互操作很关键。

802.11 是随着技术发展,不断出现的一系列标准。后续标准的更新反映了技术的改进或(和)对附加频谱的应用。802.11 和 HiperLAN 系列标准概要如表 8-3 所示。

表 8-3 不同无线组网选项

规范	频率	频带	数据速率	技术
802.11	2.4GHz	ISM	2Mbps	FHSS&DSSS
802.11a	5GHz	UNII	54Mbps	OFDM
802.11b	2.4GHz	ISM	11Mbps	DSSS&CCK
HiperLAN	5GHz	UNII	20Mbps	GMSK
HiperLAN II	5GHz	UNII	50Mbps	OFDM

因为在美国,WLAN 还没重要到需要单独分配频段的程度,标准主要是依照 8.1 节中所提到的开放频段制定的。正如读者所了解的,使用开放频段存在一个很大的技术难题:受到该频段上其他信号的干扰。采取什么措施来处理这些干扰呢?读者已经知道了:扩频。

802.11 标准是在开放 ISM 频段 2.4GHz 外发展的,这个频段的真正好处是可在世界范围内使用。为抵抗干扰,可使用直接序列扩频(DSSS)或另一种扩频方式——频跳扩频(FHSS),将在下一节讲解。

注意:802.11 还可用于发散红外线通信,但没有人试图将它商用,这里就不作讨论了。

记得在讨论扩频时提到,为使系统恰当工作,接收和发送单元必须与一个主时钟同步。AP 的第三个任务是,周期地发送时钟信号,使所有节点和 AP 在一个时钟基准下工作。

802.11 的 DSSS 版本采用与 CDMA 系统中类似的技术,仅有一点不同,在 CDMA 系统中,每个用户有不同的伪随机码(PN),因此他们可以同时传送。而在 802.11 中,所有节点使用相同 PN 码。自然地,他们不能同时传送。当另一个节点正在传送时,需要使用附加技

术来监听。若一个节点正在传送,其他所有节点在得到发送数据许可之前必须等待前一节点发送完成。

802.11 的第一个改进版本是 802.11b,802.11b 也被称为 802.11hr 和“Wi Fi。”802.11b 采用 802.11 的 DSSS 版本,利用补偿编码键控或 CCK 将多于 5 倍的数字信息填充到同一个 RF 信号上。CCK 是数字信号处理的一种复杂形式。

下一个对 802.11 的更新是 802.11a,它使用更高(开放)频段和 OFDM。如前所述,OFDM 对克服多径很有效,特别在室内环境。

使用更高频段的主要好处在于,不像 2.4GHz 频段仅有 80MHz 频谱,5GHz 频段有 300MHz 频谱。其他方面是相同的,越多的频谱意味着越高的数据速率。将来很可能出现更多改进的 802.11,比如称作 802.11e,802.11z 等。

欧洲的 HiperLAN 工作在专用频段上(为 WLAN 指定的),因此不需要使用扩频技术抵抗干扰。并且由于是在欧洲,HiperLAN 采用的很多潜在技术(像使用 GMSK 调制方式)来自 GSM,GSM 是欧洲的蜂窝标准。从表 8-3 读者可以看到,HiperLAN 的数据速率比早期 802.11 系统高得多,但要使用昂贵的 5GHz RF 设备。

HiperLAN II 是新标准,和 HiperLAN 使用相同频段,并使用 OFDM 技术。实际上,HiperLAN II 和 802.11a 不仅在性能上很相似,且使用相似的电子器件。但与 802.11a 不同的是,HiperLAN II 能够根据条件变化而动态改变调制类型,从而提高或降低数据速率。到底哪个 WLAN 标准更好(802.11a 还是 HiperLAN II)? 应该由自由竞争市场决定。

3. 频跳扩频

前面章节已经学习了直接序列扩频(DSSS),它将伪随机噪声信号调制到 RF 载波上。若每个用户使用不同的 PN 码(像 CDMA 系统所使用的),他们可同时传送。即便是每个用户使用相同的 PN 码(像 WLAN 系统所使用的),DSSS 抵抗在开放频段存在的很多 RF 干扰还是很有效的。还有另一种扩频方式,称为频跳扩频(FHSS),它在抗干扰方面性能更佳,这就是它能在 WLAN 系统中得到广泛使用的原因。

和 DSSS 一样,FHSS 使用一个 PN 码。但它不是将 PN 码调制到 RF 载波上,而是用这个 PN 码确定离散频率的次序。这些离散频率就成了 RF 载波。本质上,FHSS 是一个 RF 系统,在这个系统中,RF 载波不断跳变(这也是它名字的由来),从一个频点跳到另一频点(在给定频率范围内)。

图 8-7 给出 FHSS 的图形描述。从图中读者可以看到,随着时间的推移,频率在一个大致随机的图样中从一个值跳到另一个值。一旦跳到一个频点,它在那里只停留很短时间,仅为一秒的几分之一,称为停留时间。若一个系统这样运作时,会出现如图 7-11 所示的现象:信号能量扩展到一个较大的频率范围。

举一个例子,如图 8-7 所示,假设在 2.4GHz 波段内的每个频率宽度为 1MHz,有 79 个 1MHz 宽的可选频率。根据 PN 码,每两微秒从 79 个 1MHz 中选择一个频率,成为下几个

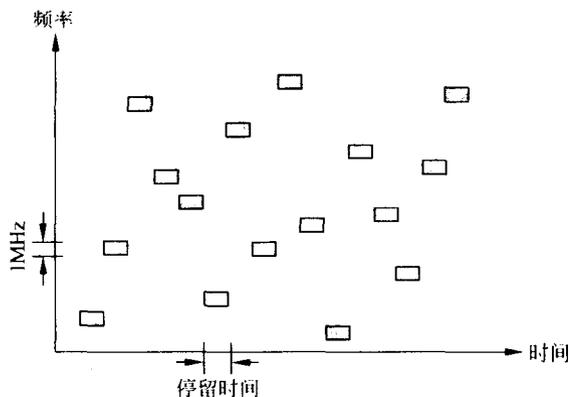


图 8-7 频跳扩频

微秒的载波频率。如果在频谱仪上观察这个信号频谱,正好是 79MHz 带宽。

你知道吗?

据说是女演员 Hedy Lamarr 和作曲家 George Antheil 在第二次世界大战期间首先构想了频跳扩频。

要快速产生 FHSS 所需要的众多频率,需要什么样独特的 RF 硬件呢? 如果读者认为可以使用合成器,那就给自己一个奖励吧。在 FHSS 系统中,用 PN 码控制从合成器输出的瞬间频率。只要发送机和接收机使用相同的 PN 码并保持同步(使用 AP),就可以很好地工作。

哪种扩频技术(DSSS 或 FHSS)更好呢? 要视情况而定,在 FHSS 系统中,既然瞬间频带可能仅有 1MHz 宽,那它的数据速率要比 DSSS 可完成的数据速率低,DSSS 没有这样的带宽限制。因此,如果读者想要高数据速率,可使用 DSSS(像 802.11b 系统使用的)。另一方面,既然 FHSS 使用更窄的瞬间频率,它能更有效地克服多径。

8.2.2 个人局域网

前面所讨论的 WLAN 存在一个固有局限: AP 通常装配在一个固定位置。这样,如果你在 AP 的 RF 范围内,就能接入网络,如果你不在,就会束手无策了。若采用可移动的 AP,会是什么效果呢? 本质上,这就是一个移动 WLAN,在 AP 能去的任何地方都可接入网络。这个理论背后有一个相对新的概念,称为个人局域网或 PAN。从效果上看,人通过携带一个移动无线设备而成为 AP,并且作为其他无线设备(固定或移动)的 AP。

任何 PAN 要正常工作存在几个关键因素。第一也是最重要的是,要有互通性。若其他无线设备由于使用不同协议或频率而不能与你通信,那么你所携带的移动 AP 就发挥不

了作用。每个人的设备必须在同一波长上才能互相通信。

第二, PAN 覆盖范围必须小, 否则它同其他 PAN 之间会相互干扰。小范围意味着低 RF 功率。低 RF 功率意味着较长的电池寿命, 这点对移动设备来说是一件好事。

最后, 实现 PAN 的真正关键是自发现(或称自启动)。如果每次你的移动 PAN 设备, 进入其他设备的 RF 范围内都要你自己知道, 并且你必须运行某一软件程序, 才能使两台设备通信, 这可是一件很痛苦的事。使用自发现, 每个 PAN 设备能不断“侦听”进入其 RF 范围内的其他 PAN 设备。当 PAN 设备彼此侦听到对方, 它们立即(你不必知道)形成小网络来通信。这些狡猾的恶魔。

PAN 有什么样的应用呢? 读者见过移动电话免提配件吗? 它实际上是一根一端带有耳机的线, 麦克风在中间, 另一端插入电话。有了 PAN, 读者就不必在电话里插入任何东西。可以在头上佩戴耳机, 与蜂窝电话无线通信。这听起来太好了, 不必再受到移动电话的束缚了。

如果读者曾经用过数码相机拍照, 那肯定知道, 若想将照片上传到电脑(或其他人的电脑)里, 需使用某种电缆连接相机和电脑。有了 PAN, 没有电缆就可将照片上传到电脑里。

PAN 有上百种应用, 从以无线方式从自动售货机购物到在机场将笔记本电脑无线接入 Internet。但在这些变成现实之前, 必须有一个被广泛采纳的标准以促成互通。当有几个 PAN 技术竞争世界第一位置时, 通常只有一个赢家。

蓝牙

蓝牙, 专用小范围无线通信(由瑞典的爱立信公司提出), 是 PAN 国际标准主要候选者。因它可能会有自己的 IEEE 标准(802.15)而受到广泛支持。实际上, 很多蓝牙标准是基于 802.11 标准的, 无线局域网的 IEEE 标准在前面章节已经讨论过。

你知道吗?

蓝牙标准与 10 世纪前丹麦国王 Harald Blaatand(Bluetooth) II 同名, 在他统治期间, 统一了丹麦和挪威。传说他的非凡功绩促进了蜂窝电话的发展, 这当然只是传说。

蓝牙在 2.4GHz 频段(ISM)上工作。真正的好处在于这个频段是国际分配的频段, 因此蓝牙设备可在任何地方工作(从理论上讲)。和 802.11 一样, 它也采用 FHSS, FHSS 在噪声环境下能很好地工作。与 802.11 不同的是, 802.11 采用最少每秒 2.5 次频跳, 蓝牙每秒改变频率 1 600 次。高的跳动次数使得系统抗干扰能力增强, 但同时数据速率受到限制。蓝牙规范概述如表 8-4 所示。

读者可以想像, 由于数据速率低(小于 1Mbps)和覆盖范围小(30ft), 蓝牙并不能代替 WLAN。正如我所言, 第二代蓝牙规范工作中采用更高的数据速率(可能是 20Mbps)和更广泛的范围(可能是 300ft)。

表 8-4 蓝牙规范概述

术语	规范	术语	规范
数据速率	<1Mbps	技术	FHSS
范围	30ft	每秒跳变次数	1 600
频率	2.4GHz	RF 功率	1mW

读者需要知道蓝牙的两个显著特征。第一,它为传输语音和数据设计,这使得它很容易和蜂窝电话集成。第二,它促成了匹克网(piconet)的出现。

一个匹克网至多由 8 台设备组成,其中一台设备作为主机,其他作为从机。所有蓝牙设备都有可能担当主机或从机的角色。与 WLAN 中的接入点类似,匹克网中的所有通信都要通过主机。主机同时还要负责为它的从机选择跳动序列。由于可以选择不同的跳动序列,多个匹克网可在同一区域工作(相互之间没有干扰)。实际上,同一台蓝牙设备可以是一个匹克网的主机,同时是另一个匹克网的从机。这个特征增强了蓝牙网络的扩展性和可测量性。

什么时候可形成匹克网呢?假设正在会议厅召开商业会议,由一个人使用幻灯片为其他七个人讲述,并且这七人都有笔记本电脑。若每台笔记本电脑都能使用蓝牙,那么陈述者能通过每个人的笔记本电脑上调出内容来显示幻灯片,不需要专门的设备和线路,只需要有 PowerPoint。

8.2.3 家用网络

我们已经拥有了办公和个人网络,还剩下什么呢?家用网络是怎样的?很多 WLAN 设备制造商认识到,将类似的设备销售给新出现的家用网络市场,是一个扩大他们产品销售市场的机会。不过在销售设备之前,他们必须做一个大的改变:使他们的产品便宜。

设备制造商还必须做另一个改变。办公室网络设备只是负责将数据从一个地方传输到另一个地方。但家用网络设备要真正有用,不但要有将数据从一个地方传输到另一个地方的能力,还需要具备承载语音的能力。

1. HomeRF

在家用网络市场中,一种家用射频(HomeRF)技术差不多已成为工业标准。HomeRF 仅是一些设备制造商同意他们的家用无线网络设备遵循某些协议,从而保证互通性(总是一件好事吧)。

HomeRF 使用两个普遍存在的无线技术:802.11(在前面章节中已经介绍过)和数字增强型无绳电话(DECT),DECT 是世界上最流行的无绳电话规范。为了确保 HomeRF 能被

广泛采用,它使用能在世界范围内使用的 2.4GHz 开放频段。

HomeRF 是如何工作的? 和 802.11 类似,到现在为止,除计算机和外围设备以外,它的网络设备包括电话、娱乐设备和其他无线可用产品。在 HomeRF 中,接入点(AP)称为控制点(CP),这只是为了有所区别。HomeRF 不但能处理数据和电话,而且能对娱乐基础通信作优化处理,如视频和音频流。图 8-8 示出了 HomeRF 网络的通用功能。

为加深理解,我想对 802.11b、蓝牙和 HomeRF 三大无线网络技术进行比较会很有趣。如表 8-5 所示。

可以看出,HomeRF 廉价且支持娱乐,很适合消费者;但数据速率低,不适用于高流量互联网络。从表 8-5 可以看到,2.4GHz 频段已经很拥挤了。在如此拥挤的 RF 环境下, FHSS 通常比 DSSS 性能更佳,因此较高速率的 802.11b 也受到一些挑战。

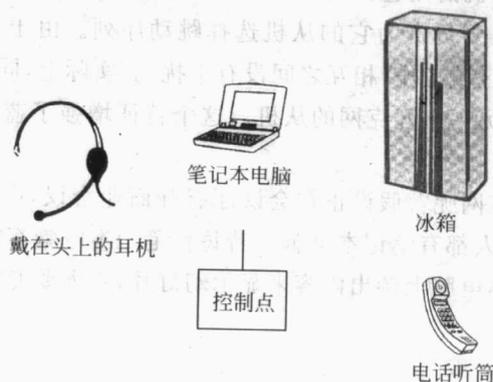


图 8-8 HomeRF 网络功能

表 8-5 网络比较

术语	802.11b	蓝牙	HomeRF
频率	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
技术	DSSS	FHSS	FHSS
范围	300ft	30ft	150ft
数据速率	11Mbps	<1Mbps	1.6Mbps
功耗	中等	低	低
价格	中等	低	低
语音支持	没有	适当	好
流媒体	没有	适当	好

表 8-5 中的比较只适用于现在,在本书编著过程中,已出现了这些技术的下一代技术,这使得表 8-5 有点过时。下一代 802.11(802.11a)使用不同的频率,且数据速率更高。下一代蓝牙也有更高的数据速率和更广的范围,下一代 HomeRF 有更高的数据速率。

总之,802.11是为商用网络设计的,蓝牙为PAN设计的,而HomeRF是为家用网络设计的,它们有很多相似之处,且各有许多不同的应用方式。实际上,802.11用于家用网络比HomeRF还普遍。

2. IrDA

读者还应该了解一种网络技术,即IrDA,它是红外线数据协会的缩写。它不是家用网络技术,确切地说,也不是商用LAN或PAN技术,那么IrDA是什么呢?它是使用红外线实现无线数据连接,它的有效范围大概是3ft。和HomeRF类似,IrDA是一种由若干公司组成的行业协会,这些公司同意他们的设备使用统一规范。

IrDA用定向红外信号完成点到点通信,IrDA通常要求用户走近,并且用一台设备指向另一台设备,它不像RF无线通信,IrDA不能透过墙。至今,它拥有大约4Mbps的最大数据速率。

IrDA有效范围只有3ft,还有真正的视距要求,那么IrDA到底能做什么呢?事实上,它的两个局限(短距离和视距要求)也提供了3个优点。第一,可用IrDA的设备不与其他无线设备相互干扰。第二,因为信号不能透过墙,所以更安全。第三,由于距离受限,使得在同一区域,可以有很多用户同时使用IrDA设备。

读者很可能不知道,IrDA通信已嵌入到当今的很多外围设备和电子小配件中了。多数PDA能使用IrDA。很多较新的电脑打印机能使用IrDA,还有数码相机和一些较新的移动电话。如果一个设备的外表面有一个小、暗红或黑色的塑料天线屏蔽器,那它很可能是使用了IrDA(也可以查阅用户手册)。

IrDA有什么不同的应用方式呢?无线键盘、鼠标和操作柄是如何实现的?怎样通过无线方式将数码相机内的照片传到计算机或打印机上呢?怎样从PDA传真一条备忘录呢?读者应该有答案了。在不久的将来,每个移动电子设备也许都将使用IrDA。

8.3 移动 Internet

还有什么比移动性和Internet技术的结合更好呢?在你巡查的时候,还可在网上冲浪。正如读者所想像的,以无线方式访问Internet富有挑战性。第一,移动设备,诸如蜂窝电话、个人数字助手(PDA),并不是专为网上冲浪设计的。他们屏幕小,且没有键盘。第二,Internet是基于分组的通信媒体,大多数无线系统(至少最初)是基于电路系统的,对数据通信来说,电路系统效率低。最后,即使使用这些低效率的无线系统,数据速率也会非常低,经常比拨号调制解调器还慢。

幸运的是人们对无线接入Internet的强烈兴趣正在改变着这一切。各种新系统即将出现,它们使用分组交换技术,并以人们无法想像的速率传送数据。毫无疑问,语音识别最终

将克服没有键盘的缺陷。简而言之,不久的将来,你将离不开移动 Internet。

8.3.1 技术

由于移动单元能量非常有限,所期望的数据传送不会很远,需要总是靠近无线接收机。而无线通信蜂窝的方法(将一定区域划分成小区)很有价值。利用这种方法,当你从一个小区移动进入另一个小区,实际上你总是在接近接收机。

那么使用哪种蜂窝技术呢?这里有两种基本选择:使用现有蜂窝基础设施或建设部分新的。迄今为止,只有少许公司想去建设新设施(大部分资金有限),原因很简单。建设新设施确实很昂贵,全国性或区域性覆盖需要几百甚至上千个基站。花费了蜂窝运营商很多年才完成他们全国性的覆盖,大多数情况下,他们不愿意这样做。

惟一真正有意义(经济)的办法是,使用为蜂窝电话业务服务的天线、基站塔和放大器。

解决了以上问题,今天无线 Internet 接入仍然存在两个问题。首先,现存基础设施提供的数据速率很低(见表 7-3)。第二,多数网站有很多流媒体和图像信息,不适合在移动设备上浏览。如何解决呢?很简单,更新基础设施来提供更高的数据速率,使用便携式设备限制接入的信息量和类型。

从前面章节讨论中,读者已经知道如何升级到 2.5G 和 3G 的蜂窝技术了。它不仅仅是为了改善话音质量,而且可提高接入 Internet 的数据速率。但是现在需要统一的标准。

至于信息量和类型的限制,已经可以实现。当设计网站时,可用限制性的编程语言完成(就像 C-HTML、HDML 等)。它将所有有趣的材料剔去,仅用纯文本来通信。不幸的是,这些限制使得一个公司必须有两个不同版本的网站:一个用于常规通信,另一个用于移动通信。

1. 频率

无线 Internet 使用哪个频率呢?正是在蜂窝结构中使用或被配置的频率。既然很多运营商都尽力参与进去,可以想像,移动 Internet 将在 800MHz(SMR)、900MHz(蜂窝)和 1900MHz(PCS)频率上工作。在这些情况下,频带会成为障碍,这些频带相对比较窄(25MHz~30MHz),并且移动 Internet 和移动电话还要共享该资源。对今天来说,这还不是大问题,但当人们希望通过他们的 PDA 看《飘》时。这个带宽显然不够用。

考虑到蜂窝系统的带宽限制,一些公司想利用开放 ISM 频段提供无线 Internet 接入(900MHz、2.4GHz 和 5.8GHz)。回想一下表 8-2,这些 ISM 频带工作带宽为 150MHz。不幸的是,使用这些频带需要从头建设一个系统。但是也有其优点。既然开放频段传送非常低的功率(少于 1W),基站可相对小且费用相对低。这些所谓的微基站小得能悬挂在一个杆上。

2. WAP

若每个人都采用统一标准,移动 Internet 才能真正腾飞。这样所有硬件都能互操作。在经历了大量实践后,无线应用协议或 WAP 成为移动 Internet 事实上的标准。

WAP 是一种开放协议,这就意味着每个人都可以使用它。它由一种称为无线标识语言或 WML 的程序语言(用于在移动设备上显示网页)和一套无线通信服务协议组成。WAP 可使用任何技术和频率。它不仅可结合所有标准移动电话技术,而且可与蓝牙和 CDPD 协同工作。

除了增加 WAP 网关硬件外,WAP 功能和移动电话相似。WAP 网关居于移动设备和 WAP 服务器之间,如图 8-9 所示。

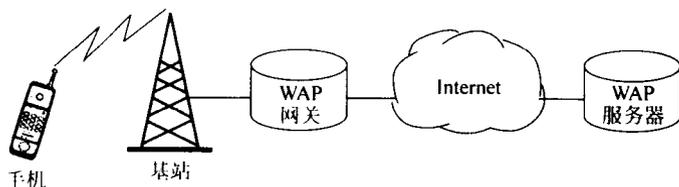


图 8-9 WAP 系统基本结构

若图 8-9 中所示系统使用现有蜂窝基础设施,那么在某点(图中未示出),语音信号需从数据信号中分离出来,将语音信号路由到 PSTN,而将数据信号路由到 Internet。

8.3.2 移动商务

利用移动接入到 Internet 可以做很多事情,但是所有花费上亿美元的公司没有更新它们的设备,所以你不能查看股票价格和阅读电子邮件。但却能利用无线 Internet 来购物(服务提供商会从每笔交易中提取利润)。使用移动设备购物,即为移动商务或简称为 m-commerce。

使用移动设备,有两种不同的购物情景。第一种情景,你正在开车闲逛,突然有购买 John Grisham 最新小说的想法,并且希望在 30 秒内完成。因此你拨通了你喜爱的电子商务网站并购买这本书(希望当时你正停在红灯前)。这个情景非常有趣,但并没有演示移动商务的真正潜力。

第二种情景,你在一个陌生的城市里开着一辆租用车闲逛,突然你决定必须在 30 秒内买一个 Big Mac。因此你用移动设备登录到麦当劳网站,获得离你最近的餐厅位置。在几秒钟内,返回了地址和方位。这实在是太酷了,但这是如何完成的呢?

站点必须能确切知道用户发送请求时的位置,可用两种方法之一实现。要么给用户的移动设备安装 GPS 接收器,要么移动网络自身对用户的位置作三角测量(在技术上,GPS 是三角测量的一种形式)。无论无线信号来自卫星还是基站,用从 3 个(或更多)不同方位接收

到的信号来确定用户所在位置。

能够确定移动单元位置,并且能提供与该位置相关的购买机会,被认为是真正驱动未来移动商务发展的动力。当然,知道用户的确切位置可能涉及到用户的隐私问题,但这是另一码事了。

8.4 前沿

为什么称为前沿呢?处于前沿的事物往往会经历一些痛苦,前沿这个词实际上是一种颂扬。随着技术的快速发展,很难将任何事情称为领导前沿。到这本书出版的时候,这些新思想的某些内容可能已经不再是新的了。

你知道吗?

为了尽可能利用蜂窝基站塔,有一个公司将无线发送机装在软式小型飞船上,它距地面大概 15 000ft。这就是我使用前沿的用意。

8.4.1 技术展望

1. 超宽带

RF 工程师一直在努力提出新方法,使得在可利用的有限带宽上承载尽可能多的信息。其中一种方法是时间调制超宽带(TM-UWB),或简称超宽带。其原理很容易理解,它不断传输单一未调制的正弦波(如图 1-2 所示),该正弦波往往称为单周期信号。看上去简单且频率低。

不断仅传输单一未调制正弦波存在两个问题。第一,未调制,如何由它携带信息呢?第二,若单一正弦波以规则间隔发生,即频率固定,其频谱将和图 7-9(a)所示一样。除非 FCC 允许它使用这个频率,要不然,就要对授权在这个频率工作的其他无线信号产生干扰,该怎么办呢?

首先来解决第二个问题。如果正弦波没有以规则的间隔发送,而是以随机的时间间隔发送,会发生什么呢?就像任意扩频信号那样:峰值信号电平下降,信号能量扩展到较宽的频带上,如图 7-11(b)所示。如果读者猜到这是时跳扩频(THSS)的形式的话,该由读者来写这本书,而不是我了。信号下降到噪声电平,当到达某一点处时,就不会对其他任何信号产生干扰(即便是 FCC 授权在这个频带上传输的信号)。问题二解决了,现在来解决第一个问题:未调制。

在这个系统中,发送机和接收机工作在同一伪随机噪声(PN)码上,该 PN 码决定单周期正弦波的随机时间间隔。因此,当发送机在一个特定(随机)时间发送,只有目的接收机准备接收该单脉冲。但如果所发送的单脉冲不在一个很精确的随机时间上,而是发生了微小

时移,那会怎么样?这里所讨论的是几百微微秒。实际上,单脉冲时移有两种情况:变短或变长。为详细说明这个问题,将数字比特“0”分配给短时移,数字比特“1”分配给长时移,这样,信息就已经加载到信号上了,见图8-10图形描述。使用小的时移来加载信息称为时间调制或脉位调制。

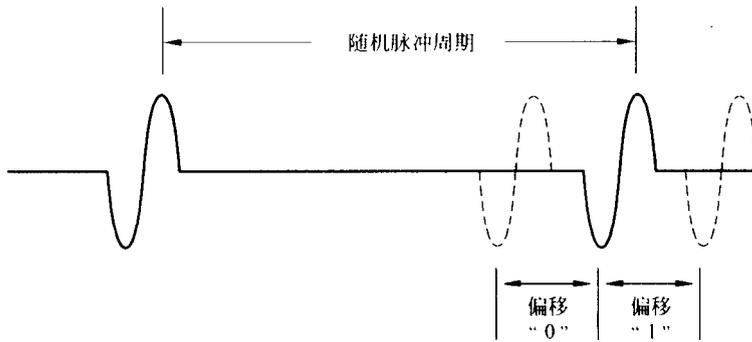


图 8-10 TM-UWB 信号图形描述

对于 UWB 技术,还需要了解几件其他事情。首先,其扩展信号覆盖频谱范围广(650MHz 到 5GHz),其中包括许多不同的授权应用,该技术还没有得到 FCC 的批准,不过已经快了。其次,其在密集环境中工作性能好,且能有效判定物体位置(雷达)。最后,该技术很可能先应用于高速室内无线链路。

2. MEMS

微电子机械系统。MEMS 其实就是集成电路,在这个集成电路中,电路的某些部分实际上能挪动。MEMS 与正规的集成电路截然不同,正规的集成电路里只有电子可以动。而且 MEMS 不是用晶体管做的,因此它们不能用于放大。

MEMS 已经发展了很长时间,但最近才开始把它用于 RF 系统中。什么样的设备可以制成 MEMS? 电容器、感应器、开关和振荡器。为什么 RF 工程师宁愿选用 MEMS 设备,而不用标准类型的设备呢? 为说明这点,我随意选择了一种 MEMS 开关和其他 RF 系统惯用的两种开关进行比较,如表 8-6 所示。

表 8-6 MEMS 开关比较

参数	PIN	电子机械	MEMS
插入损耗	1dB	0.1dB	0.1dB
切换速度	微秒级	毫秒级	微秒级
尺寸	小	很大	很小
功耗	中等	足够	很小
价格	低	高	很低

可以看到, MEMS 开关的插入损耗与电子机械开关一样低, 其切换速度和 PIN 二极管开关一样快, 并且它很小, 功耗低, 成本比其他任何开关都低, 现在知道为什么了吗?

读者应该期望看到越来越多的基于 MEMS 的设备, 应用于尺寸小、价格低和低功耗的场合(蜂窝电话)。

3. BLAST 技术

当你认为再没有其他办法可以将更多信息填入较小带宽时, BLAST 技术出现了, 它是贝尔实验室分层时空的简称, BLAST 是为回应一种挑战而发展起来的技术。贝尔实验室工程师想知道在给定带宽内最多能填入多少信息。结果表明, 是以前给定频带填入信息的 10~20 倍。

BLAST 理论简单易于理解(但实现困难), 因为它利用多径效应。在很多无线系统中, 多径效应是有破坏性的, 要用很多技术来消除它。但 BLAST 技术, 不但不消除多径信号, 还要利用它来提高系统承载信息的容量, 多条分散信号实际上成了平行子信道。

BLAST 通过将单一高速率数据信号分解成多个低速率信号, 然后将它们发送给它们各自的发送机, 从而增加数据承载容量。所有发送机空间分离, 并使用相同频率发送信号。若用 4 个发送机, 理论上, 它们是单个发送机发送数据量的 4 倍。既然它们使用相同频率, 那么在这个频率上的数据传输容量(即频谱效率)提高了 4 倍(单位是 bps/Hz), 如图 8-11 所示。

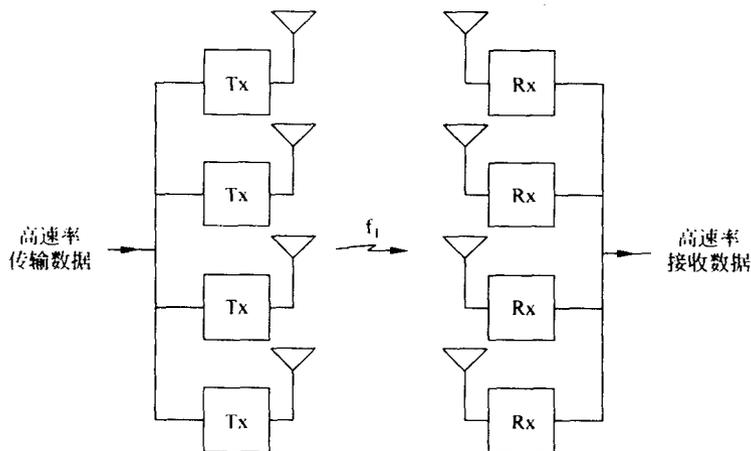


图 8-11 BLAST 系统的图形描述

接收机将做上述过程的反变换。几个接收机空间分离, 并设定在发送机频率上接收信号。接收机不但接收 4 个直接信号(从 4 个发送机来), 而且接收所有多径信号(多么混乱)。但是, 如果多径效应明显, 所有信号将在不同方向散开, 通过复杂的信号处理能将一个子流

从其他信号中区分开。每个接收机挑选子流中的一个,再把他们重新合并成一个单一高速数据流,但是这些很难实现。

事实上,从对无线技术和先进信号处理技术的贡献来看,BLAST 更是先进信号处理技术的一大突破。BLAST 仅用于固定无线应用中。有 4 根天线的移动电话实在很难解释。

4. RFID 系统

RFID 并不是新技术(早在 20 世纪 80 年代就已兴起),但最近才被广泛应用。基于 RFID 的应用进入市场是完全可能的。

RFID 是一种简单的无线系统,只有两个基本器件,该系统用于控制、检测和跟踪物体。一个 RFID 系统框图如图 8-12 所示(我说过它很简单吧)。

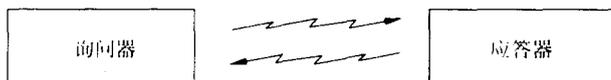


图 8-12 RFID 系统基本方框图

系统由一个询问器(或阅读器)和很多应答器(或标签)组成。在大多数系统中,询问器不断发送 RF 信号并等待响应。若一个应答器进入到一个询问器的 RF 范围内,应答器感知到信号并将自己的信号返回给询问器。询问器可以利用该信息来做很多事(如将数据存入数据库或使警告器发声)。

在大多数 RFID 系统中,每个标签都有惟一的数字编码和它对应。在某些系统中,该数字编码由制造商在工厂制造时用程序写入,在另外一些系统中,这个码可由用户自己用程序写入,可根据需要随时修改。当标签监测到从询问器来的 RF 信号时,它会将它的码调制到正弦波上,并且不断地发送,直到询问器接收到为止。询问器解调该应答器的信号,然后从这个惟一数字编码中知道是哪个应答器了。

询问器通常是一个很成熟的无线系统,并与后台数据库相连。应答器很简单。它由一个印制天线(在一个小 PCB 上)、一个电源、单一集成电路收发器芯片和小存储器组成(用于保存惟一编码)。标签做得很简单是为了能将它们做得既小又便宜。

RFID 系统有多种形状和尺寸,但它们可归为两类:有源和无源。在有源系统中,标签使用随车携带的电源,通常是一个小电池。在无源系统中,没有随车携带的电源系统,标签从询问器那里得到所需能量,如何去实现呢?询问器发送一个能量相对高的(例如 15W)RF 信号,利用磁感应将能量耦合到标签上,标签将能量存储(非常简单地)在一个随车携带的电容器里。为了完成这项工作,标签必须离询问器很近。

RFID 系统有 3 个频率范围:低($< 500\text{kHz}$)、中($10\text{MHz} \sim 15\text{MHz}$)和高(900MHz , 2.4GHz)。事实证明,大多数低频系统是无源的。

如何选择使用有源还是无源 RFID 系统以及所使用的频率范围呢?这些由应用决定。不同系统和频率有他们各自的优缺点,由应用本身确定使用哪一个更合适。表 8-7 对有源

和无源 RFID 系统进行了比较。为简单起见,假设所有无源 RFID 系统都是低频,这种假设不是很确切。

RFID 的使用范围太广了,你在日常生活中无疑会使用了这个技术。其中最普遍的应用是电子防盗或 EAS,EAS 需要在商品条款上附加一个无源 RFID 标签,来防止零售商店失窃。在现实中,通常情况下,在通过装在商店出口附近的天线门时,这个标签会引起报警。在购买商品后,售货员会用一个很强的 RF 脉冲(比询问器发送得更强)对准标签,来逐个地烧掉电路(就像保险丝)。这样,标签就没有触发询问器报警的能力了。

表 8-7 无源和有源 RFID 系统比较

术 语	有 源	无 源
电源	电池	从 RF 信号获得能量
范围	250ft	1.5ft
询问器输出功率	低	高
频率	900MHz,2.4GHz	<500kHz,10MHz~15MHz
数字编码	可编程	不能再编程
存储	有些存储空间	几乎没有
优点	可读范围长,传输信息量大	便宜,耐用
缺点	需要更换电池,价钱昂贵	低数据吞吐量,需要高功率阅读器
应用	收费公路阅读器,存货跟踪	自动麻醉器,无现金付账

8.4.2 安全问题

无线信号无处不在,自然而然地想到了安全问题。但是无线通信的危险是什么呢?使用什么样的工具来防止它们呢?表 8-8 粗略描述了使用无线通信所存在的危险。

表 8-8 无线通信安全风险概要

危 险	所伴随的现象
插入攻击	未授权的用户和(或)访问点
侦听和监视	数据分析,访问点复制
人为干扰	拒绝服务
用户对用户攻击	用户能旁路访问点
强行攻击	企图猜出口令
加密攻击	找出私有协议的漏洞
错误配置	操纵访问点

首先读者应该注意到,无线通信的危险不是完全与有线系统不同。但在无线系统中,要克服这些危险,很具有挑战性,有几个原因。

第一,物理安全实现更困难。在有线网络中,终端用户设备通常是桌面计算机,它很容易实现物理保护,不容易丢失。而在无线系统中,终端用户设备可能是一部蜂窝电话或一个PDA,物理保护困难,很容易丢失。

第二,带宽和计算机处理能力(在移动设备里)有限。因而使用强大的加密设计确实会降低数据吞吐量。

第三,无线网络由两部分组成:无线部分和有线部分。如果同一加密方案没在两部分中都使用,在两部分相遇的节点处,数据需要解密和重新加密。那么在这个节点处,保护数据会被暴露出来,虽然暴露时间短暂,但存在安全隐患。

在某些情况下,一些无线系统本来就比其他无线系统安全。例如,点到点系统就比点到多点系统安全。为什么?因为点到点系统使用窄波束天线聚焦到单点,如果你没有在聚焦束内,就不能截取信号。而另一方面,点到多点系统使用宽波束天线。这些系统为他人截取信号创造了机会。同样地,红外线系统就比RF系统安全,因为信号不能透过墙。

协议

不管什么样的系统类型,在无线传输数据时,数据应该受到保护。安全传输数据所使用的主要工具是加密(无论是无线还是有线)。加密使得数据除了其接收机外的任何接收机都无法难以被接收方以外的人辨认。加密是如何工作的?它的工作过程和直接序列扩频(DSSS)很相似。记得在DSSS中,伪随机码(PN)通过逻辑运算与数据结合,就成了无意义的数据串,直到接收机对它作相反处理(解扩)。加密使用类似方式,但不用伪随机码,用称为密钥的专用码来乘数据。密钥是一串很长的数字,(理论上)通常只有接收者和发送者知道。扩频之所以不安全,是因为PN码人人都知道。

加密在发送者和接收者一致同意的加密处理的规范下进行,这些规范就是协议,到目前为止,无线领域有两种加密协议。

第一种称为WEP或有线等效加密。WEP是802.11无线LAN里的加密标准。WEP使用40比特或128比特密钥来对数据加密,加密和解密使用相同密钥。WEP的一个缺点是,在很多情况下,单一密钥在所有移动站和访问点中使用。最近很多测试显示,在WEP中发现了安全漏洞。

另一种协议是WTLS或无线层传输安全,WTLS是WAP的安全层。WTLS为移动设备增加了安全机制,并且加密处理很有效,处理功率很小。目前,WTLS遇到了前面所讨论的两个加密问题。在WAP网关,从WTLS来的无线数据必须未加密,但又需要重新加密进入有线加密协议,像安全套接层(SSL)。现在正在对WTLS做工作来克服这个问题。诚然,如果没有网络,无线或有线是100%安全的,但在如此激烈的竞争中,需要网络的日常管理。

你知道吗?

现在,有一个描述黑客进入无线网络的术语,叫重创(whacking),现在你知道了它,要想法确保你的 WAP 不会受到重创。

8.4.3 关注健康

最近,有很多关于 RF 辐射危害的说法,尤其是蜂窝电话。这与每个人都息息相关。在讨论 RF 暴露的影响时,有两个现实需要面对。首先,很多证据依然没有结论。第二,即便是很多证据最终有了结论,本质上它是统计结果。这是什么意思呢?这就是说,结论和一些假想陈述相似:例如,一天使用移动电话一个小时以上的人,得某种癌症的概率是不使用移动电话人的 3 倍。从常识上读者也能知道这些。

你知道吗?

这个事实应该能让读者的思想放松一下,在 UK 和芬兰分别对志愿者的研究实际表明,使用蜂窝电话者同不使用蜂窝电话者相比较,反应时间得到改善了,将这个结果作为 RF 的价值吧。

本节简单讨论 RF 能量通过不同途径带来的危害。这个危害至少是 3 个不同参数的函数,如表 8-9 所示。

表 8-9 影响 RF 暴露的参数

参 数	注 释
频率	不同频率对身体影响不同
功率密度	功率密度越高,情况越糟糕
暴露持续时间	暴露时间越长,情况越糟糕

一般而言,电磁能量通过两条途径对人体造成不良影响,它们是频率的函数。其一是通过电离。在某一特定频率以上(大约存在紫外线和 X-射线附近)会发生电离。如果能量足够高,电子会从原子中分离出来,分子变化会损害人体组织,包括影响 DNA,它会潜在导致癌症及畸形儿出生。这也是受太阳紫外线照射会引起皮肤癌的原因。在无线系统工作的频率,电离不是问题。

电磁能量对人体造成不良影响的另一条途径是通过加热。若人体组织的水分吸收了 RF 能量,热效应引起人体组织发热。这和微波炉加热所造成的现象相同。不用吃惊,热效应同样是频率的函数。人体有效吸收在 30MHz~300MHz 之间的 RF 能量,峰值在 80MHz~100MHz。

能量密度也是确定吸收 RF 能量使人体发热程度的关键参数。能量密度越大,温度升高越快。例如,微波炉产生的能量密度是 $100\text{mW}/\text{cm}^2$,加热水很快。可测量的人体组织发

热在 $1\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 10\text{mW}/\text{cm}^2$ 之间。相比较而言,在蜂窝基站塔下测量显示,能量密度是 $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (微瓦)。若逐渐远离传输天线,RF 功率密度会呈指数下降。因此,离开传输天线两倍远距离后,功率密度会下降一半多。

抵制 RF 辐射热效应的关键在于人体能否驱散热量? 通过血液流动机制使身体变冷,人体真正容易受到损害的部分是血液流动比较少的部位,就像眼睛。

FCC 出台了限制功率密度暴露指导,如表 8-10 所示。在浏览表 8-10 时,需注意几点:首先,它适用于未控制暴露中的一般人群。第二,它适用于全身受到暴露的情况。适用于部分身体暴露的情况(像蜂窝电话)可用另一个表描述。第三,它是时间大于 30 分钟的平均测量值。既然多数人不可能测出他们自身的 RF 暴露,只要没有超过最高限度,就算没有什么危害。最后,若仔细观察,会发现有些限制是频率的函数,频率用字母“f”表示。

表 8-10 功率密度限制

频率/MHz	最大允许功率密度/ mW/cm^2
0.3~1.34	100
1.34~30	$(180/f)$
30~300	0.2
300~1 500	$f/1 500$
1 500~100 000	1.0

正如上面提到的,另有一张表适用于局部身体暴露。在这里就不再给出这张表了,因为它依赖于吸收辐射率(SAR),单位是 W/kg (瓦每千克),解释它相当困难。有关 SAR,读者需知道两点:首先,在美国,最大允许未控制暴露(对头部来说)是 $1.6\text{W}/\text{kg}$,第二,FCC 仅证实使用蜂窝电话不会超出此值。

最后,尽量让功率密度低于引起人体发热的功率密度,对生物体有害影响的证据不是很明确,还未得到证实。这种效应称为非热能效应。简单来说,你边开车边打电话而发生车祸使你受伤的危害比直接暴露于 RF 能量的危害更大。

附录 A 术 语 表

B

饱和 (saturation)

当输入功率超过一定值时,所有放大器的行为。放大器不再放大,输出相对恒定。当放大器在饱和区,它是非线性的,它将引起射频信号的失真。

倍频 (octave)

描述一个带宽,其上边频是下边频的两倍。

本地多点分布服务 (local multipoint distribution service)

工作在 28GHz 附近的适合无线本地环服务的固定无线应用。

本地环 (local loop)

从家(或办公室)到本地电话公司的电话电路以及反向的电路。

本地振荡器 (local oscillator)

理想的正弦波信源,被连到混频器的一个端口。

变容二极管 (varactor)

在压控振荡器中用于改变频率的二极管。

变换器 (transformer)

用于阻抗匹配的无源射频器件,由阻抗比定义。

表面声波 (surface acoustic wave)

转化为声波的电信号。在表面声波设备中,声波沿着设备表面传播而不是在设备内部。

波长 (wavelength)

射频信号长度的度量。信号频率越高,波长越短。

波导 (waveguide)

带有矩形交叉部分的管子,用于从一点到另一点传输射频信号。在它内部,射频信号以波的形式移动,波导用于引导控制它们的运动。

波束宽度 (beamwidth)

用圆周角度量、用以描述天线辐射 RF 能量的宽度。也用于度量天线方位图的宽度。

C

插入损耗 (insertion loss)

无源设备输出信号相对输入信号的减少程度,单位是分贝。

常量衰减器 (pad)

固定衰减器(它的插入损耗是常量)。

传播延迟 (propagation delay)

一个信号从地球传播到卫星以及返回来所需要的时间。对于地球同步轨道卫星,延迟大概是 $1/4s$ 。

D

带宽 (bandwidth)

衡量器件或应用的可用频率范围。它等于上频与下频的差,用赫兹或百分率表示。

单工 (simplex)

一次只能在一个方向传输的射频系统。

单极 (monopole)

一根直线(全向)天线,天线长是四分之一波长。

单片微波集成电路 (monolithic microwave integrated circuit)

为射频而设计的集成电路。它可以由几种不同的半导体材料制成,但是两种最常用的材料是硅和砷化镓。

单周期 (monocycle)

一个单独的正弦波。

地球站 (earth station)

与卫星通信的地面设备的名称。

电介质 (dielectric)

不能导电的材料(绝缘体)。在 RF 中使用时,电介质材料是特殊类型的绝缘体,用来最小化导线上传送的 RF 信号的插入损耗。

电缆集 (cable assembly)

带有同轴连接器的同轴电缆束。

电流 (current)

一根导线或组件内部电子的移动。

电路 (circuit)

将无源或有源电子器件组织连接在一起来实现某一目的。电路可进一步分为模拟电路、数字电路和 RF 电路。电路具体归属于哪一类,取决于不同的应用。

电容器 (capacitor)

小的无源器件,用来成形电信号,每个电路都要用到它。

电压 (voltage)

电势能。有两种类型: AC(交流),就像墙上的插座所提供的,以及 DC(直流),就像电池所提供的。

电压驻波比 (voltage standing wave ratio)

两个射频器件之间匹配的度量。用比例 $X : 1$ 表示。X 越小,匹配越好。

电子扫描阵列 (electronically scanned array)

带有很多小发送机的天线,不需要做任何机械运动,就可以扫描天线方向图。

电阻率 (impedance ratio)

量化变压器转换阻抗值的能力,如果一个变压器的电阻率是 $(2 : 1)$,它有能力将 100Ω 阻抗转换成 50Ω 阻抗。

电阻器 (resistor)

减小电子信号的无源小器件,在每个电路里都有。

定向耦合器 (directional coupler)

单向工作的耦合器。

动态范围 (dynamic range)

描述 RF 器件不失真处理信号的范围,它是数字无线系统中所有设备的关键性能参数之一。器件动态范围用它的三阶互调点度量,单位是 dBm,有时将器件的三阶互调点与噪声系数结合表示动态范围。这个术语经常用线性替代。

多径 (multipath)

单个无线信号通过两条不同路径到达目的接收机的现象。

多普勒雷达 (doppler radar)

一种雷达,利用接收到信号的频移来测定目标速度。

E**二极管 (diode)**

一种半导体器件,用于很多 RF 器件中。有很多种不同类型的 RF 二极管,这些二极管

的制造过程都不同,由此提供不同的最优化性能参数。

F

发射机 (transmitter)

无线系统中的两个主要功能块之一。它负责将信号从调制器中取出来,增加信号频率和功率,然后从天线辐射出去。

反馈 (feedback)

一种电路技术,对系统中某点信号采样,并“回馈”到系统中的前一个点,起调节或修正作用。

反射 (reflection)

用于描述当遇到阻抗不匹配或遇到一个固态物体时的射频信号的行为。由于阻抗不匹配,一些(或所有)射频能量沿去的方向被反射回来。遇到固态物体时,射频能量以它遇到物体同样的角度被反射回来。

放大器 (amplifier)

有源 RF 器件,用于增大 RF 信号功率。放大器有 3 种:高功率放大器、低噪声放大器和其他类型放大器,这里,其他类型放大器包括增益可变放大器和限幅放大器等。

防止相撞 (collision avoidance)

一种雷达系统,安装在汽车前端,用它来确定汽车距前面汽车的距离。

分贝 (decibel)

一种数学变换,比值做对数换算,常为 RF 信号度量单位。主要用来描述 RF 器件的(功率)增益和(插入)损耗。

分散电路 (distributed circuit)

RF 电路体系的一种。在这种电路体系中,某些无源器件由形状独特的电路轨迹制成。

分立器件 (discrete component)

一种电器件,独立封装,并用来实现单一功能。

分配器 (divider)

一种无源 RF 设备,它等比例将一个 RF 信号分成两个或多个 RF 信号。

蜂窝 (cellular)

一般术语,用于描述一种移动无线电话应用,它将给定区域分成小子区域,称为小区。

幅度调制 (amplitude modulation)

一种调制形式,通过改变连续正弦载波振幅的方式,将信息信号叠加到 RF 载波上。

辐射 (radiate)

用于描述射频信号变成无线电波的过程。

G

干扰 (interference)

不是接收机想要接收的信号对接收机要接收的信号在接收机端产生干扰。

电感 (inductor)

小的无源器件,用于形成电信号,它用螺旋线圈制成,用于多种电路中。

高度计 (altimeter)

基于雷达技术的一种设备,利用从地面反射的 RF 信号确定飞机高度。

隔离器 (isolator)

由磁铁和铁氧体材料做成的两端口无源 RF 设备,用于保护其他 RF 器件免受过度反射。隔离器是一个第三端口连到散热负载上的循环器。

个人局域网 (personal area network)

局域网的一种形式。在局域网中人们携带无线移动设备作为网络接入点。

个人通信服务 (personal communication services)

美国第二代(数字)蜂窝服务。

功率分配器 (power divider)

见分配器。

功率密度 (power density)

对穿过某区域的空中射频能量的度量。单位是每平方米瓦特。

广播 (broadcasting)

一种 RF 系统,用单一发送机和多个地理位置上分散的接收机进行通信。

硅 (silicon)

用于制造射频二极管和晶体管的半导体材料。对于低频射频产品,它是首选材料。

H

毫米波 (millimeter wave)

用于描述大于 40GHz 频率范围的松散术语。

合成器 (synthesizer)

由其他电路系统加反馈构成的复杂振荡器,用来产生更理想的正弦波。

合成仪 (combiner)

无源 RF 设备,用来将两个或多个 RF 信号以相同比例加在一起。

赫兹 (Hertz)

频率单位,度量信号的“每秒周期数”。

宏小区 (macrocell)

带有最大信号承载容量的小区家族。它们需要相对高功率的 RF 传输。

互调点 (intercept point)

见三阶互调点。

回波损耗 (return loss)

度量两个射频器件的匹配,以分贝表示。匹配越好,反射能量越小,回波损耗越高。

混合型 (hybrid)

若用在电路技术中,则描述由芯片和陶瓷衬分立器件所组成的 RF 电路,通常也称为微波集成电路(MIC)。若用它描述耦合器,通常指兰格耦合器。

混频器 (mixer)

用于改变一个输入信号频率的三端口的射频器件。它有时用来指上变频器(在发射机中),有时用来指下变频器(在接收机中)。混频器可以是有源的也可以是无源的,但大部分是无源的。

J**基带 (baseband)**

发送机或接收机内的最低频率信号。它是接收机内完全下变频后的调制 RF 信号,或是发送机内上变频前的调制 RF 信号。

基站 (basestation)

蜂窝系统的无线接入点。它由实现无线通信的所有必需设施组成,包括一个塔、天线、电缆、RF 收发机和电源,也称之为小区站点。

集成电路 (integrated circuit)

将多个无源和(或)有源器件集成到单一一块半导体材料上。

集总元件电路 (lumped element circuit)

一种利用封装无源器件的 RF 电路体系。

极化 (polarization)

射频正弦波在空中传播时,具有空间定向。三种极化类型是水平、垂直和圆形极化。

迹线 (trace)

在电介质材料上用来承载信号的小而细的金属。

检测器 (detector)

无源 RF 器件,将 RF 功率信号转换成电压信号。向其他不处理 RF 功率信号的器件或测试设备提供和 RF 功率信号成比例的电压。

交织 (interleaving)

在处理蜂窝呼叫时,将语音信息和信号信息交替处理的过程。

接收机 (receiver)

无线系统的两个主要功能块之一,负责从天线接收射频能量,并且将信号频率降低到可以被解调器接受的程度。

接/收机开关 (T/R switch)

单极、双掷开关,位于发射机、接收机和天线之间。

解调 (demodulation)

将 RF 载波从已调信号中的信息信号中分离出来的过程。

解调器 (demodulator)

一种 RF 设备,用它实现解调。这种设备很复杂,包括有源和无源设备,主要器件有混频器。

晶体管 (transistor)

半导体器件,主要用在放大器中产生增益,也可用于其他射频器件中完成交换。不同类型的晶体管由不同半导体材料制成。

静止轨道 (geosynchronous orbit)

距地球 22 000mile 的轨道,在那里,卫星绕地球旋转速度和地球自转速度相等,它们好像一直静止不动。

绝缘 (isolation)

RF 开关“开”路状况下或无源 RF 器件的任意两个端口间的插入损失的度量。

绝缘体 (insulator)

不能导电的材料。

K

开关 (switch)

有源射频器件,将一个输入在一个或多个输出中切换。射频开关由他们的电极数和射

程数来标识。

可变增益放大器 (variable gain amplifier)

带有用于改变增益的外部控制的放大器。

空穴 (cavity)

描述 RF 器件族,这些器件由独特的中空金属容器构成,空穴器件主要在高功率应用中
使用。

空中接口 (air interface)

一个通用术语,用来描述增加无线系统信号容量的技术,例如包括 CDMA、TDMA 和
FDMA。

宽带 (broadband)

描述具有“宽”的带宽的 RF 器件或无线应用的特征。任何带宽超过 50% 就认为是
宽带。

宽频带 (wideband)

见宽带。

扩频 (spread spectrum)

增加在给定带宽上信号的承载能力的数字调制方案。它通过允许多个信号占用相同频
率,使用惟一的“地址”区分信号来实现。

L

兰格耦合器 (Lange coupler)

见耦合器。

雷达 (radar)

利用反射射频能量来检测一个目标的范围、位置和速度的无线系统。

雷达横断面 (radar cross section)

被雷达感应的目标的反射射频能量的有效区域。

连接器 (connector)

圆柱形金属物体,用来连接电缆或器件,将一个与另一个连接在一起,也可称为同轴连
接器。

连续波 (continuous wave)

一直处于开启状态的 RF 信号。主要用于描述一种雷达,这种雷达的发送机一直处于
开启状态。

连续波雷达 (continuous wave radar)

一种雷达类型,这种雷达连续发送信号,见多普勒雷达。

滤波器 (filter)

使一定频率的信号通过或受阻的无源 RF 器件,有四种主要类型滤波器:带通滤波器、高通滤波器、低通滤波器和带阻滤波器。

M**码分多址 (code division multiple access)**

一种空中接口,为给定带宽增加信号容量的技术。在给定带宽,它允许很多信号同一时间占用相同频率,并为每个接收机分配惟一“地址”。也用它描述直接序列扩频形式。

码片 (chips)

用于直接序列扩频中的 1 串和 0 串,用它扩展(或解扩)信息信号。

码片速率 (chipping rate)

用于直接序列扩频中的码片频率。

模拟 (analog)

一种电信号,在整个时间域,电信号在最大值与最小值之间任意变化。

O**耦合器 (coupler)**

无源 RF 器件,在这种器件中,将输入信号非等比分成两路,小信号被吸收并用于系统其他部分。这种耦合器有双向和定向之分。还有另一种耦合器称为兰格或积分(四重)耦合器,在两个端口处,这种耦合器将输入信号等比分成两路,但其中一路信号输出有相移。也称四重耦合器为四重混合器。

偶极 (dipole)

一根(全向)天线,它只有半波长。

P**匹克网 (piconet)**

使用蓝牙协议的无线网,它总共包括 8 个节点。

匹配 (match)

度量两个 RF 器件一起工作的适合程度,它们之间以尽可能少地反射 RF 信号为佳。匹配是通过 VSWR 来度量的,VSWR 用 X:1 的比例表示,也可以通过分贝表示的返回损

耗来度量。

频分多址 (frequency division multiple access)

一种空中接口, 将给定频带划分成小频带来提高系统容量的技术。

频分复用 (frequency division multiplexing)

为发送多个信号, 将一个频率范围划分成很多小频率范围。

频分双工 (frequency division duplexing)

将一个频率范围划分成两个不同频率范围, 适用于双工通信, 其中一个频率范围实现一个方向的信息传输。

频率 (frequency)

描述 RF 信号在一秒内完整出现正弦波的次数, 单位是赫兹。

频率复用 (frequency reuse)

移动无线电话服务的特点, 在给定的区域, 多个主叫方可同一时间使用相同频率。

频率调制 (frequency modulation)

一种调制方式, 通过改变连续正弦载波频率的方式, 将信息信号叠加到 RF 载波上。

频率响应 (frequency response)

RF 器件振幅随频率变化而增大或减少的曲线图, 用于描述信号频率变化时, 特殊器件的行为方式。

频谱 (spectrum)

描述一个特定应用的频率范围的术语。

频谱效率 (spectral efficiency)

无线系统的数据承载能力的度量, 单位是比特每秒每赫兹。

频谱仪 (spectrum analyzer)

射频工程师使用的工具, 用于观察在一定频率范围上的射频能量。坐标系的水平轴是频率单位, 垂直轴是功率单位。

平衡放大器 (balanced amplifier)

一种放大器配置, 即两个放大器结合并行工作, 用以提供备份装置和改善匹配。

Q

器件 (component)

电路中电信号所遇到的物体, 通常用设备这个术语替代, 所有器件不是有源的就是无源的。

切换 (handoff)

移动电话呼叫从一个基站转移到另一个基站的处理过程,不会中断服务。

趋肤效应 (skin effect)

射频信号在导线上传播时的行为描述。由于它们的高频率,射频信号没有透入固态导体,而是存在于外部表面。

全球定位系统 (Global Positioning System)

24 颗卫星系统,连续发送专用接收器能接收的信号,用于测定位置。

全向 (omnidirectional)

描述一根天线在各个方向均等辐射射频能量。

R

热阻抗 (thermal impedance)

消耗一定量的功率后,器件得到的热量的度量。用 $^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$ 表示。

S

三功器 (triplexer)

无源射频设备,装有不同通带的 3 个带通滤波器。

三角测量 (triangulation)

通过接收 3 个不同地方的 3 个不同无线信号来决定位置的方法。

三阶互调点 (third order intercept)

射频器件的线性或动态范围的度量,以 dBm 表示,也被称为互调点。度量值越高,器件的线性越好,射频信号的失真越小。

扫描 (scanning)

电子或机械地移动雷达的天线方向图来使得雷达覆盖一个大的范围。

上变频器 (upconverter)

发射机中混频器的别名,用于提高射频信号的频率。

上行链路 (uplink)

射频信号从地面站到卫星的传播路径。

上游 (upstream)

射频信号从最终用户到基站传输的路径。

设备 (device)

见器件。

射击控制雷达 (fire control radar)

一种雷达系统,安装在战斗机中,控制导弹射击目标。

射频 (radio frequency)

用于定义一类将被辐射成无线电波的高频电子信号。通常用于描述小于 1GHz 的频率范围。

砷化镓 (gallium arsenide)

复合半导体材料,由镓和砷合成,是制作 RF 二极管和晶体管的材料,它是频率很高的 RF 产品的首选材料。

甚小孔径终端 (very small aperture terminal)

射频系统,其中许多小的地球站通过卫星与单个接收机进行通信。

十倍频 (decade)

它的上频是下频的十倍。

时分多址接入 (time division multiple access)

一种空中接口类型,描述了通过将每个频率分配划分为多个时隙,分配每个信号一个专门时隙,来增加信号承载能力的技术。

时分复用 (time division duplexing)

将一个单独的通信信道分割成多个时隙,用于提供双向通信。变换时隙用于改变方向。

适配器 (adapter)

一个短的两头连接器,用它连接不同类型的连接器。主要用于连接电缆(带有某种连接器)和电缆或连接电缆和器件(带有和前面类型不同的连接器)。

数字 (digital)

一种电信号,在整个时间域只有两个变化值:高和低。

数字信号处理 (digital signal processing)

使用复杂而精确的数学计算和信号处理,将很多信息包含到一个数字信号里的过程。

衰减 (attenuation)

描述 RF 信号从一点到另一点能量变小的值,它可用插入损耗这个术语替代,单位是分贝。

衰减器 (attenuator)

一种 RF 器件,使 RF 信号能量按预先规定的值变小,它的单位是分贝。衰减器一般有

两类：固定和可变衰减器。固定衰减器就称为衰减器，有两种可变衰减器：电压可变衰减器和数字衰减器。

收发机 (transceiver)

单独包装内的发射机和接收机的组合。

双工 (duplex)

同一时间既可发又可收的 RF 系统，常用于电话中。

双工机 (duplexer)

无源 RF 设备，它包含两个不同通带的带通滤波器。

双向 (bidirectional)

用来描述任何 RF 器件在两个方向都能适当工作。也称之为双重方向，绝大多数天线是双向的，但放大器肯定不是双向的。

双向耦合器 (dual directional coupler)

双向工作的耦合器。

双制式 (dual mode)

可在第一代蜂窝(模拟)和第二代蜂窝(数字)两种模式下通信的蜂窝电话。

损耗 (loss)

相对于输入信号，输出信号减少的度量。用分贝来度量。

锁相环 (phase locked loop)

为了产生一个理想正弦波而将反馈包括进来的振荡器。一个锁相环可以作为复杂振荡器(合成器)的一部分。

T**天线 (antenna)**

一种 RF 器件，用于将在导线上传输的 RF 信号转换成在空气中传播的波，或将空气中传播的波转换成导线上传输的 RF 信号。为使天线正常工作，它的尺寸必须与所传播波的波长一致，天线可以是无源器件，也可是有源器件。

天线方向图 (antenna pattern)

一种图形工具，用它显示天线辐射 RF 能量的眼图。

天线分集 (antenna diversity)

一种用多个接收天线克服多径问题的技术。

天线屏蔽器 (radome)

覆盖在天线上的坚硬保护外壳。当射频通过时，保护天线不受其他器件影响，但允许射

频通过。

调谐器 (tuner)

用在接收机中,选择某一个频率信道。

调制 (modulation)

通过变化载波的某一方面参数将信息信号迭加到 RF 载波上。有两种基本类型的调制:幅度调制和相位调制。频率调制是相位调制的子集。

调制解调器 (modem)

在单个单元里有调制器和解调器。

调制器 (modulator)

将信息信号迭加到 RF 载波上的设备。它有两个输入(载波和信息信号)和一个输出(已调信号)。

跳频扩频 (frequency hopping spread spectrum)

一种扩频技术,通过连续改变 RF 载波频率的方式,使得只有目的接收机才能辨别它。

铁素体 (ferrite)

易于磁化的合成材料,用来做绝缘体、循环器和变换器。

通带 (passband)

带通滤波器的频率范围。带通滤波器有低插入损耗,允许信号通过。通带通过确定它的上边频和下边频来定义。

同轴电缆 (coaxial cable)

传输 RF 信号的媒体。它由绝缘体材料(绝缘体)包裹的内导线(电线)组成,它的外面用外导线(屏蔽)包裹。经常用其“RG”号定义它。

W

瓦特 (watts)

任意一种功率的度量单位。如射频、热量等。

微波 (microwave)

用于描述频率范围在 1GHz~40GHz 的宽泛术语。

微波集成电路 (microwave integrated circuit)

见混合型。

微机电系统 (microelectromechanical systems)

描述了一个集成电路家族,其中电路的一部分可以移动。

微小区 (microcell)

由可再分的宏小区产生的小区家族。它们需要相对适度的发射 RF 功率。

微微小区 (picocell)

蜂窝小区的最小家族。他们提供最小的信号承载容量,覆盖最小的区域,需要最小的发射射频能量。

伪随机噪声 (pseudo random noise)

随机出现的数字比特流(在频谱分析仪上观察),实际上在经过一段很长时间后会重复出现。

位置保持 (station keeping)

使用小的推进短脉冲串来改变位置,以保证卫星没有远离地球同步轨道的预定位置。

无线 (wireless)

营销术语,通常用于描述更新的射频应用。

无线本地环 (wireless local loop)

允许与本地电话公司进行无线通信的射频系统。

无线局域网 (wireless local area networks)

通过无线信号通信的计算机局域网。

误比特率 (bit error rate)

每接收百万数字比特中接收错误的个数,用来度量无线链路的可靠性。

X

吸收 (absorption)

用来描述 RF 能量渗透到材料或物质中,并转化成热能的过程。某种频率 RF 能量遇到雨时,将遭受严重的吸收。

下变频器 (downconverter)

接收机中混频器的另一种叫法,用于降低 RF 信号频率。

下行链路 (downlink)

RF 信号从卫星到地面站的路径。

下游 (downstream)

RF 信号从基站到末端用户的路径。

限幅放大器 (limiting amplifier)

不管输入功率是多少,通过限制它的输出功率到一个预定的电平,来保护其后的 RF

器件。

线性 (linearity)

见动态范围。

陷波滤波器 (notch filter)

也称为带阻滤波器,除了那些定义的窄带频率范围的频率,它允许其他所有频率通过。

相位调制 (phase modulation)

通过变换连续正弦波载波的相位,将信息信号加到射频载波上的一种调制形式。这种调制与频率调制有相似的效果。

小区站点 (cell site)

见基站。

信道 (channel)

将带宽细分成子带宽。很多 RF 应用将分配给它们的带宽划分成不同信道。

信号 (signal)

随时间变化的受控电能量。

信源 (source)

见振荡器。

行波管 (traveling wave tube)

一种使用旧技术的射频放大器,在真空的空穴中放大射频信号。

循环器 (circulator)

有 3 个端口的无源 RF 设备,它由磁体和铁素体材料构成,用于控制 RF 电路中信号流动的方向。

询问器 (interrogator)

无线 RFID 系统的一部分,用于检测并与应答器通信。

Y

压控振荡器 (voltage controlled oscillator)

带有用于改变输出频率的外部控制的振荡器。

移动电话交换局 (mobile telephone switching office)

见移动交换中心。

移动交换中心 (mobile switching center)

蜂窝电话系统的中心通信集线器。它负责将来自不同基站的所有呼叫路由到其他基站

或公共交换电话网,并负责计费。它也指移动电话交换局。

移动商务 (mobile commerce)

也称作 m-commerce。描述了用移动设备进行商务交易的一套无线应用。

印刷电路板 (printed circuit board)

描述一种电路技术。在这个技术中,在一个塑料合成材料上通过金属线来连接电子器件。个人计算机内部的母板使用印刷电路板。

有效全向辐射功率 (effective isotropic radiated power)

天线辐射有效功率的数学推导方法,表明了定向天线在最大辐射方向实际辐射的功率,也用它描述在卫星天线覆盖区内的 RF 能量从卫星到达地球的功率值。

Z**载波 (carrier)**

RF 信号(理想情况下是完美的正弦信号),通过调制来携带信息信号并在空气中传播。

窄带 (narrowband)

用于描述具有很窄带宽的射频器件或无线应用的特性。经验法则就是任何带宽小于 50%就被认为是窄带。

噪声 (noise)

对射频信号的任何不需要的改变。噪声通常表现为正弦波幅度不必要的变化,被称为 AM 噪声,当然 FM 噪声也是可能的。混频器就是因为将噪声加到了射频信号上而声名狼藉。

噪声系数 (noise figure)

度量射频器件将多少噪声加到了射频信号上。关于低噪声放大器的讨论,常会提到噪声系数,它以分贝来度量。

增益 (gain)

通过放大器,输出信号相对输入信号的增大程度,单位是分贝。

振荡器 (oscillator)

仅以产生预定频率的理想正弦波为目的的有源射频器件。

正交混合器 (quadrature (quad) hybrid)

见耦合器。

正交耦合器 (quadrature (quad) coupler)

见耦合器。

直播卫星 (direct broadcast satellite)

高功率、静止轨道卫星,用它来发送广播信号,用小碟形卫星天线接收。

直接序列扩频 (direct sequence spread spectrum)

扩频的一种形式,用伪随机码来扩展信号频率。

中继器 (repeater)

地理上扩展宏小区的射频覆盖范围的射频系统。

中频 (intermediate frequency)

有两个混频器的接收机,在这两个混频器间的信号称为中频信号。也用它识别混频器的一个端口。

专用移动无线通信 (specialized mobile radio)

一种在美国类似蜂窝的服务,将标准的蜂窝操作和发送能力结合起来。

转发器 (transponder)

卫星上的射频子系统,负责接收上行链路信号,将它转换为下行链路频率,然后重新发射。它也指无线 RFID 系统中被询问器检测到的那部分。

转换损耗 (conversion loss)

信号在混频器内,从 RF 端口到 IF 端口或从 IF 端口到 RF 端口的插入损耗,单位是分贝。

转移曲线 (transfer curve)

放大器的输出功率相对输入功率的图。

子系统 (subsystem)

一个射频项目。在一个容器中,利用多个器件来完成多个功能。例如,在一个独立的盒子里,认为组合器、滤波器和放大器的组合是一个子系统。

自激振荡频率 (self-resonant frequency)

如果受到电能量的充分激励,物体将会在某个频率振动。几乎所有的固态物体都有自激振荡频率。

自由空间损耗 (free space loss)

天线发送到自由空间的信号的传播损耗,由传输过程中信号扩散引起。

阻带 (stopband)

带阻滤波器的频率范围。该滤波器具有高插入损耗,可以阻止信号通过。阻带是通过确定上边频和下边频来定义的。

阻抗 (impedance)

度量 RF 器件输入、输出的“尺寸”,单位是 Ω 。在 RF 系统中,所有器件的标准“尺寸”是 50Ω 。

阻抗匹配 (impedance matching)

转换 RF 设备输出电阻的操作(例如,将阻抗不是 50Ω 的设备转换成输出阻抗为 50Ω),实现一种设备同其他器件的有效连接。

组件 (subassembly)

见子系统。

附录 B 缩 写 词

这些首字母缩写词包括绝大部分 RF 和无线领域内的常用缩写词,但它们中的一些已经不再用了,由于无线工业发展很快,这里所罗列的不是很完整。

A/D (analog to digital)

模拟信号转数字信号,信号转换

AC (alternating current)

交流电,从墙上插座引出的电源

ADC (analog to digital conversion)

模拟到数字的转换,信号转换

AGC (automatic gain control)

自动增益控制,可变增益放大器控制

AM (amplitude modulation)

幅度调制,调制的一种

AMPS (advanced mobile phone service)

高级移动电话服务,美国第一代蜂窝电话

ASIC (application specific integrated circuit)

特定用途集成电路,一种常用的集成电路

BER (bit error rate)

误比特率,传输信号每秒钟错误的比特数

BJT (bipolar junction transistor)

双极型晶体管,晶体管的一种

BLAST (bell labs layered space time)

贝尔实验室分层时空,一种新的空中接口

BPF (band pass filter)

带通滤波器,滤波器的一种

BPSK (bi-phase shift keying)

二元相移键控,相位调制的一种

BSS (basic service set)

基本服务集,所有计算机都在一个无线 LAN 区域

BTA (basic trading area)

基本商业区域,分配给 PCS 的小区域

BTS (base transceiver station)

基站收发信机,蜂窝基站

CCK (complimentary code keying)

补偿编码键控,用于无线 LAN 中的一种调制

CDMA (code division multiple access)

码分多址,对移动电话扩频

CDPD (cellular digital packet data)

蜂窝数字分组数据,用蜂窝电话实现无线数据通信

CL (conversion loss)

变换(频)损耗,混频器插入损耗

CONUS (continental United States)

美国大陆,被一些卫星覆盖的区域

CW (continuous wave)

连续波,一种 RF 系统,在这个系统中发射机一直处于开启状态

D/A (digital to analog)

数字信号转模拟信号,信号转换

DAC (digital to analog conversion)

数字到模拟的转换,信号转换

D-AMPS (digital AMPS)

数字 AMPS,数字版本的 AMPS

dB (decibels)

分贝,相对信号能量度量

DBS (direct broadcast satellite)

直播卫星,来自卫星的 TV 信号直接到户

DC (direct current)

直流,从电池输出的功率

DCS (digital communication services)

数字通信服务,欧洲第二代蜂窝

DECT (digital enhanced cordless telephone)

数字增强无绳电话,一种国际标准

DGPS (differential GPS)

差分 GPS,更准确的 GPS

DPDT (double pole-double throw)

双极双掷,一种 RF 开关

DQPSK (differential quadrature phase shift keying)

差分正交相移键控,相位调制的一种

DRO (dielectric resonator oscillator)

电介质共鸣振荡器,振荡器的一种

DSL (digital subscriber line)

数字用户线,一种高速电话连接

DSP (digital signal processing (or processor))

数字信号处理(或者处理器),一种电信号处理

DSSS (direct sequence spread spectrum)

直接序列扩频,扩频的一种

DTH (direct to home)

卫星直播,卫星服务的一种

DTO (dielectrically tuned oscillator)

电介质调谐振荡器,可变 DR()

DVB (digital video broadcast)

数字视频广播,广播调制数字信号

EAS (electronic article surveillance)

电子防盗,一种 RFID 应用

EDGE (enhanced data rate for global (GSM) evolution)

增强数据速率的 GSM 演进,更先进的 GSM 系统

EGPRS (enhanced GPRS)

增强型 GPRS

EHF (extremely high frequency)

极高频,频率介于 30GHz 到 300GHz 之间

EIRP (effective isotropic radiated power)

有效全向辐射功率,从卫星天线辐射的功率

EMC (electromagnetic compatibility)

电磁兼容,EMI 的可接受电平

EMI (electromagnetic interference)

电磁干扰,RF 噪声的一种

ESS (extended service set)

扩展服务集,无线 LAN 中的所有计算机

FCC (federal communications commission)

联邦通信委员会,美国政府电视广播协调者

FDD (frequency division duplexing)

频分双工,频率双工信号

FDMA (frequency division multiple access)

频分多址,用频率将通话划分开

FET (field effect transistor)

场效应晶体管,晶体管的一种

FHSS (frequency hopping spread spectrum)

频跳扩频,扩频的一种

FM (frequency modulation)

调频,调制的一种

FSK (frequency shift keying)

频移键控,数字调制的一种

FSS (fixed satellite systems (or service))

固定卫星服务,卫星服务的一种

GaAs (gallium arsenide)

砷化镓,一种半导体材料

GEO (geosynchronous orbit)

静止地球轨道,距地球表面 22 000mile 上空

GMSK (gaussian minimum shift keying)

高斯最小频移键控, 相位调制的一种

GPS (global positioning system)

全球定位系统, 用于测定位置的卫星群

GRPS (generalized packet radio system)

通用分组无线系统, 增强型的 GSM 系统

GSM (group special mobile)

全球移动系统, 欧洲流行的一种蜂窝标准

HBT (heterojunction bipolar transistor)

异质结双极晶体管, 一种新型快速晶体管

HDTV (high definition television)

高清晰度电视, 下一代数字 TV

HEMT (high electron mobility transistor)

高速电子移动晶体管, 一种甚高频晶体管

HF (high frequency)

高频, 频率范围在 3MHz 到 30MHz 之间

HPA (high power amplifier)

高功率放大器, 用于发射机输出端的一种放大器

HPF (high pass filter)

高通滤波器, 滤波器的一种

Hz (Hertz)

赫兹, 以秒为周期的信号频率的度量

IC (integrated circuit)

集成电路, 成倍的电子器件集成在单个半导体上

IEEE (institute of Electrical and Electronics Engineers)

电气和电子工程师协会, 一个标准团体

IF (intermediate frequency)

中频, 混频器使用的信号之一

IL (insertion loss)

插(介)入损耗, 无源器件的信号损耗

IMD (intermodulation distortion)

互调失真, RF 信号噪声的一种

IMT (international mobile telephone)

国际移动电话, 第三代蜂窝

InP (indium phosphide)

砷磷化物, RF 中使用的一种化合物半导体材料

IrDA (infrared data association)

红外线数据协会, 红外通信的标准团体

ISM (Industrial, Scientific, Medical)

工业、科学、医疗, 为这些应用分配的频率范围

ISP (internet service (or satellite) provider)

互联网服务 (或者卫星) 提供商, 提供互联网服务

ITU (International Telecommunications Union)

国际电信联盟, 全世界的 FCC

JTACS (Japan TACS)

日本 TACS, 日本版本的 TACS

Kbps (Kilobits per second)

千比特每秒, 每秒千比特数

LAN (local area network)

局域网, 很多计算机连接在一起

LCC (leadless chip carrier)

无铅芯片载体, 一种 RF 器件包

LD MOS (laterally diffused metal oxide semiconductor)

横扩散金属氧化物半导体, 晶体管的一种

LED (light emitting diode)

发光二极管, 一种发光的二极管

LEO (low Earth orbit)

低地球轨道, 距地球表面几百英里的上空

LHC (left hand circular)

左手环, 一种极化

LMCS (local multipoint communications system)

本地多点通信系统, 一组高频应用

LMDS (local multipoint distribution service)

本地多点分布式服务, 一种高频固定无线服务

LMR (land mobile radio)

陆地移动无线, 一种无线应用

LNA (low noise amplifier)

低噪声放大器, 用于接收机输入端的放大器

LNB (low noise block converter)

低噪声变频器, 一个 LNA 和一个混频器在同一个包内

LO (local oscillator)

本机振荡器, 混频器输入之一

LOS (line of sight)

视距, 发送天线能看到接收天线

LPF (low pass filter)

低通滤波器, 滤波器的一种

LTCC (low temperature co-fired ceramic)

低温共烧陶瓷, 多层 MIC 电路

Mbps (megabits per second)

兆比特每秒, 每秒百万比特数

MCM (multi-chip module)

多芯片模块, RF 混合子系统

MCPA (multi-carrier power amplifier)

多载波功率放大器, 一种特别的线性功率放大器

MDS (multipoint distribution service)

多点分布服务, 一组无线服务

MEMS (microelectromechanical systems)

微电子机械系统, 部分部件可以移动的集成电路

MEO (medium earth orbit)

中地球轨道, 介于 LEO 与 GEO 之间

MESFET (metal semiconductor field effect transistor)

金属半导体场效应管,一种高频晶体管

MIC (microwave integrated circuit)

微波集成电路,一种独特的电路工艺

MMDS (multichannel multipoint distribution service)

多信道多点分布式服务,一种无线服务

MMIC (monolithic microwave integrated circuit)

单片微波集成电路,RF 集成电路

MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor)

金属氧化物半导体场效应管,一种低频晶体管

MSA (metropolitan statistical area)

市区统计区域,分配给蜂窝的市区

MSC (mobile switching center)

移动交换中心,蜂窝系统的大脑

MSK (minimum shift keying)

最小频移键控,相位调制的一种

MSS (mobile satellite systems (or service))

移动卫星服务,卫星服务的一种

MTA (metropolitan trading area)

市区商务区域,分配给 PCS 的大区域

MTSO (mobile telephone switching office)

移动电话交换局,蜂窝系统的大脑

NADC (north American digital cellular)

北美数字蜂窝,数字蜂窝标准的一种

NF (noise figure)

噪声系数,度量 LNA 的噪声灵敏度

NLOS (non-line of sight)

非视距,发送天线不能看到接收天线

NMT (Nordic mobile telephone)

北欧移动电话,用于北欧国家的蜂窝标准

NODS (near object detection system)

近距离物体探测系统,车后缓冲器雷达系统

OCXO (oven controlled crystal oscillator)

恒温晶体振荡器,振荡器的一种

OEM (original equipment manufacturer)

原始设备制造商,一种厂商

OFDM (orthogonal frequency division multiplexing)

正交频分复用,一种新的频分复用

PA (power amplifier)

功率放大器,同 HPA

PACS (personal access communication systems)

个人接入通信系统,美国版的 PHS

PAE (power added efficiency)

功率附加效率,度量功率放大器的效率

PAN (personal area network)

个人局域网,一种随人移动的无线网络

PCB (printed circuit board)

印制电路板,一种特殊的电路工艺

PCN (personal communications network)

个人通信网络,一种新的无线应用

PCS (personal communication services)

个人通信服务,美国第二代蜂窝

PDA (personal digital assistant)

个人数字助手,一种迷人的新的小器件

PDC (personal digital cellular)

个人数字蜂窝,日本蜂窝标准

PHEMT (pseudomorphic high electron mobility transistor)

伪同晶高速电子移动晶体管,甚高频晶体管

PHS (personal handyphone system)

个人便携电话系统,日本蜂窝电话标准

PLL (phase locked loop)

锁相环,用于振荡器中的反馈技术

PLO (phase locked oscillator)

锁相振荡器,利用锁相环工作的振荡器

PM (phase modulation)

相位调制,调制的一种

PN (pseudo random noise)

伪随机噪声,扩频中使用的一种类似噪声的信号

POTS (plain old telephone system)

普通旧式电话服务,早期美国用于陆上运输呼叫

PSTN (public switched telephone network)

公共电话交换网,本地电话公司运营

QAM (quadrature amplitude modulation)

正交幅度调制,幅度调制的一种

QPSK (quadrature phase shift keying)

正交相移键控,相位调制的一种

RBOC (regional Bell operating company)

地区贝尔运营公司,贝尔子公司

RF (radio frequency)

射频

RFI (radio frequency interference)

射频干扰,不想要的 RF 信号

RFIC (radio frequency integrated circuit)

射频集成电路

RFID (radio frequency identification)

射频识别,用于跟踪物体的无线应用

RHC (right hand circular)

右手环,极化的一种

RSA (rural statistical area)

郊区统计区域,分配给蜂窝的郊区区域

SAR (specific absorption rate)

吸收辐射率, 机体热量的度量

SAW (surface acoustic wave)

表面声波, 一种被看作声波的电信号

SDMA (spatial division multiple access)

空分多址接入, 通过空间分割划分无线系统

Si (silicon)

硅, 一种半导体材料

SiGe (silicon germanium)

硅锗, RF 中使用的化合物半导体材料

SMR (specialized mobile radio)

专用移动无线, 类似移动电话服务的蜂窝

SMS (short message service)

短信息服务, 一种无线应用

SMT (surface mount technology)

表面安装技术, 一种将器件安装到 PCB 上的方法

SPDT (single pole-double throw)

单极双掷, 开关的一种

SPST (single pole-single throw)

单极单掷, 开关的一种

SSPA (solid state power amplifier)

固态放大器, 用晶体管制成的功率放大器

TACS (total access communications systems)

全接入通信系统, 与 AMPS 相似

TCXO (temperature controlled crystal oscillator)

温补晶体振荡器, 振荡器的一种

TDD (time division duplexing)

时分双工, 按时间双工信号

TDMA (time division multiple access)

时分多址接入, 将信号分成多个时隙

THSS (time hopping spread spectrum)

时跳扩频,扩频的一种

TVRO (television receive only)

仅接收电视信号,电视服务的一种

TWT (traveling wave tube)

行波管,一种 RF 放大器

TWTA (traveling wave tube amplifier)

行波管放大器,同 TWT

UHF (ultra high frequency)

超高频,频率介于 300MHz 与 2GHz 之间

UMTS (universal mobile telecommunications system)

通用移动通信系统,3G 蜂窝系统的一种

UNII (unlicensed national information infrastructure)

开放国家信息基础设施频段,开放频段

UWB (ultra wideband)

超宽带,比宽带还宽

VCO (voltage controlled oscillator)

压控振荡器,振荡器的一种

VCXO (voltage controlled crystal oscillator)

压控晶体振荡器,振荡器的一种

VGA (variable gain amplifier)

可变增益放大器,放大器的一种

VHF (very high frequency)

甚高频,频率介于 30MHz 与 300MHz 之间

VSAT (very small aperture terminal)

甚小口径终端,一种多对一卫星系统

VSWR (voltage standing wave ratio)

电压驻波比,用于度量器件匹配

VTO (voltage tuned oscillator)

电压调谐振荡器,同 VCO

VVA (voltage variable attenuator)

电压可变衰减器,一种衰减可变的衰减器

WAP (wireless application protocol)

无线应用协议,一种用于移动设备的无线协议

WCDMA (wideband CDMA)

宽带 CDMA,用于 PCS 电话中的 CDMA

WEP (wired equivalent privacy)

有线等效加密,WLAN 的安全度量

WLAN (wireless local area network)

无线局域网,无线连接计算机

WLL (wireless local loop)

无线本地环,无线本地电话服务

WML (wireless markup language)

无线标签语言,WAP 中的标签语言

WTLS (wireless layer transport security)

无线层传输安全,WAP 中的安全协议

YIG (Yttrium-Iron-Garnet)

钇铁石榴石,一种合金,制作振荡器的材料

YTO (YIG tuned oscillator)

YIG 调谐振荡器,一种可调 YIG 振荡器

附录 C 规范

此附录帮助在 RF 领域工作的人理解器件性能,其中包括很多 RF 器件常见的电性能。每个参数用它的规范命名,其通用符号、缩写和测量单位经常会用到。

规范	符号或缩写	测量单位	典型度量
幅度失衡		dB	功率分配器在两条路径上插入损耗的不同
衰减		dB	在衰减器或其他无源器件中,信号的衰耗程度
带宽	BW	MHz, GHz	器件有效频率范围
误比特率	BER	10^{-6}	每接收百万比特中出错的比特数
压缩点(输出)	P_1 dB	dBm	器件线性功率输出能力
压缩点(输入)		dBm	器件线性功率输入能力
转换增益		dB	有源混频器的信号增益
转换损耗	CL	dB	无源混频器的插入损耗
耦合		dB	定向耦合器吸收信号的数量
方向性		dB	定向耦合器直接将 RF 能量耦合到预期端口的能力
增益	G	dB	通过放大器后信号增大程度
增益平稳度	ΔG	dB	随放大器带宽变化,增益变化多少
谐波(抑制)		dBc	特定带宽内有害信号的数量,它们的频率是想要信号频率的倍数
图像重现		dB	混频器输出无用信号的衰减程度
阻抗		Ω	信号进入器件时所受到的阻力
电阻率	N : 1		变压器变换电阻的能力
插入损耗	IL	dB	信号通过无源器件的损耗程度
互调失真	IMD	dBc	混合两个信号后产生的无用信号的数量
绝缘	ISOL	dB	开关打开时的插入损耗,或无源器件两个端口间的插入损耗
匹配	VSWR		信号从一个器件到另一个器件传输性能良好程度
噪声系数	NF	dB	低噪声放大器的输入灵敏度
噪声温度		K	噪声系数很低的低噪声放大器的输入灵敏度
相位噪声		dBc/Hz	无用相位调制引起的信号失真

续表

规范	符号或缩写	测量单位	典型度量
相位偏移	$\Delta\phi$	°	RF 信号通过一个器件后的角度偏移
相位失衡		°	功率分配器的两条路径上相位偏移的不同
功率附加效率	PAE	%	功率放大器将 DC 功率转换成 RF 功率的效率
功率密度		W/m ²	通过给定区域时空气中的 RF 能量
牵引因子		MHz	若器件的输入阻抗变化了,振荡器输出频率的变化
推进因子		MHz/V	若供电电压变化了,振荡器输出频率的变化
回波损耗	RL	dB	两个器件连接处信号反射的程度
反向绝缘	S ₁₂	dB	器件从输出到输入的隔离度
饱和功率	P _{sat}	dBm	放大器能输出的最大功率
二阶互调	I _{p2}	dBm	器件的线性
选择性	Q		滤波器滤除无用频率的效率
稳定时间		ms	若频率变化了,VCO 输出再要达到稳定所用时间
频谱效率		bps/H	无线系统承载数据的能力
寄生噪声		dBc	包含在 RF 信号内的随机噪声
稳定性		ppm	随时间推移,振荡器输入频率的变化
切换时间	t _w	ms, ns	开关变换位置所用时间
热阻抗		°C/W	因器件消耗功率而导致温度升高
三阶互调(输出)	I _{p3} , OIP	dBm	器件输出信号的线性
三阶互调(输入)	IIP	dBm	器件输入信号的线性
调谐灵敏度		MHz/V	随控制电压变化,VCO 输出频率的变化

参 考 书 目

- Chang, Kai, *Handbook of Microwave and Optical Components, Volume 1*, John Wiley & Sons, 1989.
- Cheung, Stephen W. , and Levien, Frederic H. , *Microwaves Made Simple*, Artech House, 1985.
- Danzer, Paul, *The ARRL Handbook for Radio Amateurs*, American Radio Relay League, 1999.
- Dornan, Andy, *The Essential Guide to Wireless Communications Applications*, Prentice Hall, 2001.
- Elbert, Bruce R. , *Introduction to Satellite Communications*, Artech House, 1987.
- Hurn, Jeff, *GPS: A Guide to the Next Utility*, Trimble Navigation, 1989.
- Lebow, Irwin, *Information Highways & Byways*, IEEE Press, New York, 1995.
- Nellist, John G. , *Understanding Telecommunications and Lightwave Systems*, IEEE Press, New York, 1992.
- Smith, Clint, *Practical Cellular & PCS Design*, McGraw-Hill, New York, 1998.
- Stimson, George W. , *Introduction to Airborne Radar*, Hughes Aircraft Co. ,1983.
- Synergy, *Designer's Handbook*, Synergy Microwave, 1999.

关于作者

作者 Carl Weisman 曾就读于宾夕法尼亚州大学,于 1980 年获得电子工程学本科学位,毕业后,他在休斯航空公司工作,是战斗航天飞机空间雷达的设计工程师。在 9 年工作期间,他获得休斯奖学金,这使得他在全职工作期间,从南方加利福尼亚大学获得了电子工程学硕士学位。

接下来 8 年时间里,Carl 为几家公司做 RF 和无线硬件销售和市场工作,这些公司包括 Avantek Hewlett Packard 和 M/A-COM-AMP 等。在这期间,他花费了大量时间对那些业界不懂技术的销售人员进行产品培训,这也是写本书的动力所在。

Carl 还获得了皇家 Loyola Marymount 大学 MBA 学位,现在是专业培训人员,并定期举办有关 RF 和无线技术的研讨会。Carl 居住在加拿大 Redondo Beach,电子邮件地址: cjweisman@yahoo.com

The Essential Guide to RF and Wireless (Second Edition)

作者Carl J. Weisman同RF器件和子系统销售链内的非技术人员有过广泛接触，并且为RF制造商的代理和发行商做过大量的销售培训，这些代理和发行商有Avnet/Penstock, Richardson Electronics, Sertek, TTI和Insight Electronics。现在他是为高技术公司提供市场通信、技术分析的顾问。

ISBN 7-302-10657-6



9 787302 106579 >

定价：25.00 元