

新一代信息通信技术书系·无线通信专辑

无线通信中的智能天线

金荣洪 耿军平 范瑜 编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

近十年来,无线通信得到了飞速的发展,智能天线、多天线等天线技术应运而生成为各类新颖通信系统的关键技术之一。智能天线内容十分广泛,包含了天线阵列设计和信号处理技术,涉及不同学科。本书的不少章节本身都是一些专门的研究方向,也有不少相应的专著。本书只能是一个简略的介绍,给出智能天线系统的描述,为本专业学生和工程技术人员进入该领域提供参考。

本书的主要的读者对象为电子通信等专业大学本科学生和研究生及相关工程技术和研究人员。

图书在版编目(CIP)数据

无线通信中的智能天线/金荣洪,耿军平,范瑜编著.—北京:北京邮电大学出版社,2006

ISBN 7-5635-1188-1

I. 无... II. ①金...②耿...③范... III. 智能—天线 IV. TN821

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 048932 号

书 名:无线通信中的智能天线

编 著:金荣洪 耿军平 范 瑜

责任编辑:李欣一

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

北方营销中心:电话:010-62282185 传真:010-62283578

南方营销中心:电话:010-62282902 传真:010-62282735

E - mail:publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:24.25

字 数:527 千字

印 数:1—3 000 册

版 次:2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1188-1/TN·436

定 价:42.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·



近十年来,无线通信得到了飞速的发展,伴随着移动通信和个人无线通信用户数量的急剧增加,通信流量和数据速率不断提高,对通信系统资源利用率的要求也相应地越来越苛刻。然而经过几十年的充分挖掘,频率、时间和编码技术的潜力几乎已经发挥到了极致,进一步提升的空间已经受到较大的限制,空间资源的开发成为业界瞩目的焦点,智能天线、多天线等天线技术应运而生成为各类新颖通信系统的关键技术之一。

天线是实现电流、电压信号与电磁波之间转换的传感器,通过电磁波在空间的传播建立无线信道,其关键是收发的高效和定向。天线的设计就是构建合适的天线结构,获得合理的天线电流分布,使之定向和高效地辐射电磁波,因此传统天线的结构一旦确定,其电性能也是确定的。所谓智能就是要求实现系统工作过程中天线电流分布及随之的空间辐射、接收性能可控,达到提升系统性能的目的。信号处理和集成电路技术的发展使得这一目的成为可能。智能天线是雷达自适应天线技术在无线通信领域的延伸和应用,通过阵列天线电流幅相分布的智能化调节,跟踪期望用户方向使之高效通信,并在干扰方向产生零陷达到抑制非期望用户的目的。因而就功能而言,智能天线已经从传统天线单纯的定向、高效地传输能量和信息的传感器型部件转变为集能量和信息的传递,干扰抑制,空间滤波,目标的识别、定位和跟踪等多种功能于一体的综合子系统。

智能天线包含了天线阵列设计和信号处理技术,本书也按照这一思路组织相应章节。第1章介绍移动通信基本原理和智能天线基本概念、现状,作为全书的概貌和基础。第2章介绍无线信道模型,涉及电波传播基础知识、信道模型的概念、室内和室外模型等。第3章介绍天线技术基础,包括天线的基本概念、参数定义、基站和终端天线的主要形式。第4章介绍天线方向图综合技术,包括传统的解析方法、半解析方法和数值方法。其中半解析方法仅仅介绍一种阵列扩展和FFT结合的方法,半解析方法的分类不一定十分贴切,只是想说明其原理介于解析方法和完全数值方法之间。还有一些其他方法也可以归入此类,只是限于篇幅没有展开介绍。第5章介绍数字波束成形(DBF)技术,这是智能天线信号处理部分的核心,在DBF原理、三大准则的基础上,介绍了几种典型的盲、非盲和校正算法。第6章则介绍DOA估计算法。DOA估计是智能天线系统的另一个重点,是

实现移动通信系统许多功能的关键,自智能天线兴起以来得到了广泛的关注。尽管书中努力只介绍一些基本算法和进展,但也占用了较大篇幅。第7章介绍多天线技术,以MIMO技术为主。尽管就原理和算法成立的前提而言,MIMO技术与DBF技术截然不同,前者以天线阵列接收信号的充分角度扩散和不相关为前提,后者以阵元信号相关合成和定向辐射为基础,但从功能上来说,都是无线信道空间资源的有效利用并以此提高无线通信系统的性能,并且最近一段时间MIMO技术得到了业界的广泛重视,因而也在本书中一并列入。第8章介绍RF定位技术,是智能天线对无线通信系统功能的拓展。第9、10两章则介绍了智能天线的硬件实现和现有一些智能天线系统的原理和框架。

智能天线内容十分广泛,涉及不同学科。本书的不少章节本身都是一些专门的研究方向,也有不少相应的专著。本书只能是一个简略的介绍,给出智能天线系统的描述,为本专业学生和工程技术人员进入该领域提供参考,但难免挂一漏万。本书主要的读者对象为电子通信等专业大学本科和研究生及相关工程技术和研究人员。在注重理论和学术的同时,本书的内容也充分考虑了读者的不同知识背景和理论基础,特别注重可读性和通俗性。对于书中的数学公式推导,尽量使用简单的数学知识给出或通俗易懂的文字表述,一般具有工科大学数学的知识即可理解和掌握。

本书的选题和出版得到了北京邮电大学李道本教授及北京邮电大学出版社新一代信息通信技术书系·无线通信专辑编委会的鼎力支持,已经毕业的刘波博士和博士生王伟提供了第2、5、7章的初稿,书中部分内容还利用了已经毕业的学生李金花、盛严慈、江冉等人的研究成果。在此一并表示衷心感谢。此外,在本书的写作过程中参考了大量国内外文献,作者同样向这些参考文献的作者致以崇高的敬意。

由于作者水平有限,疏漏和差错在所难免,恳请读者不吝赐教。

作 者

2005年10月于上海交通大学

新一代信息通信技术书系 编委会

名誉主编：周炯槃

执行主编：乐光新

编委(专辑主编/副主编)：

吴伟陵 张 平 刘元安 李道本

杨义先 顾畹仪 纪越峰 张 杰

程时端 王文东 朱其亮 舒华英

(排名不分先后)

总

序

21 世纪是经济全球化、全球信息化的崭新世纪。

信息化要靠信息系统的支持,通信则是信息系统的核心和桥梁。离开了通信来谈信息化是不可能的。今天,人们越来越倾向于以更为广义的信息通信的丰富内涵来替代相对狭义的通信的概念。

信息通信发展的目标是要实现无论何人在何时何地都能与另一用户(包括网站)进行用各种媒体表达的高质量的信息传输,实现各种信息服务。信息通信是一个巨系统,凡是人类活动之所及都能找到它的踪迹。信息通信同时又是一个整体,任何一种通信方式和通信技术都不可能孤立地存在、单独地发挥作用,各种通信方式和技术只有互相协同、配合和支撑才能构成一个完整的通信过程。当代信息通信系统还有一个特点是与计算机相互交融、相伴相随、密不可分。自 20 世纪以来,计算机与集成电子技术得到了飞速发展,与此相应,信息通信技术也呈现日新月异的发展态势。摩尔定律在信息通信领域同样显示出它的规律。

信息通信既是一个巨大的概念,又是一个巨大的系统,同时还是发展迅速、变幻莫测的领域。我们不敢奢望用一两本书的有限容量来展示它的全貌和魅力。显然,在世纪之初全面地回顾、盘点信息通信技术在近年的发展和现状,展望和评述它的趋势和变化,无疑是有意义的和必要的。基于此,北京邮电大学出版社聘请业界的著名专家、学者组成阵容强大的编委会,全面、深入、系统地分析并探讨当今信息通信最新技术的发展和未来发展的走向,条分缕析,精挑细选,决定策划出版一套反映信息通信技术最新发展及其热点的图书,并向信息通信领域的知名专家组稿。在经过周密而细致地论证、研讨,并得到方方面面的热情支持和鼎力相助之后,初步形成了现在由 4~5 个专辑组成的“新一代信息通信技术书系”。

由于覆盖面宽、内容庞大,该书系按技术基础和应用相近的原则划分为不

同的专辑,基本涵盖了当今信息通信技术发展的大部分前沿领域。每一专辑只介绍信息通信领域中的一种技术门类,包括原理综述、技术进展的评介和作者自己的工作成果。由于该书系的作者都是信息通信领域的知名学者和领军人物,他们撰写的内容无疑具有权威性和前瞻性,相信会得到广大读者的欢迎,并产生积极意义和影响。

在写作方式和篇幅上,书系不追求系统、严格和完善的理论分析,不追求大而无当的鸿篇巨制,而坚持立足于对相关技术的原理阐述、应用开发、趋势评介和引导等原则,尽可能做到深入浅出、规模适当,因此特别适合大多数信息通信和相关领域工程师及高等院校的教师学生以及从业人员阅读和参考。

本书系从一开始就得到许多领导和专家学者的热情支持和帮助,在此一并表示深切的感谢!

信息通信技术的发展变化极快,本书系虽尽可能顾及方方面面,但仍有一些内容没能被纳入,我们会不断地充实,在今后的一段时间内努力完善这一书系。另外,书系中的每一本书也会受种种条件的限制,在内容和行文中可能存在欠缺,对技术发展的评价也会因人而异,我们也并不追求一致。本书系虽经编委会、所有作者和编辑出版者的努力,但疏漏和错误在所难免,我们恳请读者的批评和建议,希望能把这一有意义的工作做得更好!

乐克新

于 2005 年新春

序

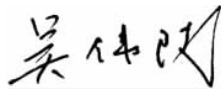
信息通信日新月异,无线技术前景无限。

为了尽快适应飞速发展的无线通信的需求,北京邮电大学出版社在2004年特别组织有关专家撰写了“新一代信息通信技术书系·无线通信专辑”,在这一专辑中为广大专业读者提供了近10本图书。在内容上,这些书大致可以分为两大类型:物理层技术与网络层技术。其中:

在物理层技术中,本专辑汇集了“移动通信中多媒体业务基础”、“无线通信中的先进DSP技术”等内容,同时还涉及以空域为主体的比较前沿的新技术“智能天线技术”、“无线通信中的多天线技术”。

在网络层技术中,则除了包含“移动通信中的资源管理”、“宽带移动互联网”等内容外,本专辑还包含更为前沿的新技术“无线网络中的信息安全”、“无线重构技术”和“异构网的业务综合”等。

以上内容将分别成书,陆续出版提供给广大的读者,同时,也殷切希望广大读者对本专辑的编写提出宝贵的意见,并提出新的需求,以便我们能进一步充实和改进,为读者提供更好的服务。



2005年3月于北京邮电大学信息学院



第1章 移动通信系统及智能天线

1.1 移动通信系统的发展与基本原理	1
1.2 移动通信系统中的天线技术	2
1.2.1 天线基础知识	2
1.2.2 蜂窝移动通信系统的基站天线、直放站天线与室内天线	4
1.2.3 电波传播的几个基本概念	6
1.2.4 移动通信中的天线技术	8
1.3 CDMA 蜂窝移动通信	11
1.3.1 CDMA 的发展背景	11
1.3.2 CDMA 的基本概念	11
1.3.3 CDMA 蜂窝移动通信网的特点	12
1.3.4 CDMA 移动通信系统的关键技术	13
1.3.5 第三代移动通信系统(3G)的发展历史	15
1.3.6 第三代移动通信系统的无线接口标准	15
1.3.7 第三代移动通信系统的演进策略	16
1.3.8 第三代移动通信系统的网络结构	18
1.4 智能天线的研究现状	19
1.5 智能天线的工作方式	20

第2章 地面无线通信系统的电波传播和信道模型

2.1 电波传播基础	22
2.1.1 自由空间的传播模型	23
2.1.2 反射	24
2.1.3 绕射	26
2.1.4 散射	27
2.2 衰落信道	27

目 录	2.2.1 阴影衰落.....	27
	2.2.2 选择性衰落.....	28
	2.3 智能天线的空间信道模型.....	31
	2.3.1 智能天线的阵列信号处理.....	31
	2.3.2 向量信道的冲激响应.....	32
	2.3.3 空间信道模型.....	33
	2.4 室内信道模型.....	39
	2.4.1 室内环境的传播损耗.....	39
	2.4.2 室内无线信道的建模.....	40
	第3章 基站及终端天线技术	
	3.1 天线基本参数.....	42
	3.1.1 方向图.....	42
	3.1.2 方向性系数、效率和增益	44
	3.1.3 有效长度、极化特性和频带宽度	50
	3.1.4 有效面积和有效长度.....	52
	3.1.5 天线输入阻抗.....	52
	3.1.6 等效各向均匀辐射功率.....	53
	3.2 基站常用天线.....	54
	3.2.1 对称振子.....	54
	3.2.2 天线阵列——线性阵列.....	57
	3.2.3 天线阵列——圆环阵列.....	62
	3.3 基站天线倾斜.....	63
	3.3.1 系统容量与基站天线倾斜的关系.....	64
	3.3.2 多区基站天线倾斜方案及容量分析.....	67
	3.4 终端常用天线.....	71
	3.4.1 单鞭天线.....	71
	3.4.2 螺旋天线.....	73
	3.4.3 倒 F 天线	75
	3.4.4 微带贴片天线.....	75
	3.4.5 介质天线.....	83
	3.4.6 终端中的天线阵列.....	86
	3.5 多天线间的耦合.....	89
	3.5.1 天线间耦合的表征.....	89

3.5.2 天线间耦合及遮挡的影响分析.....	90
3.5.3 天线和散射体间的耦合.....	94

第4章 阵列方向图综合技术

4.1 天线方向图基础知识.....	95
4.1.1 阵列天线方向图基础.....	95
4.1.2 天线电参数.....	99
4.1.3 阵列天线自由度	100
4.2 方向图综合的解析方法	101
4.2.1 Dolph-Chebyshev 方向图综合	101
4.2.2 Taylor 单参数方向图综合法	102
4.3 方向图综合的半解析半数值方法	103
4.4 方向图综合的数值方法	111
4.4.1 线阵赋形方向图的相位加权	111
4.4.2 基于递归最小二乘算法的方向图综合新方法	113
4.4.3 方向图综合的自适应迭代算法	115
4.4.4 具有指定零陷宽度的线性阵列天线方向图综合方法	128
4.5 智能计算在方向图综合中的应用	131
4.5.1 遗传算法在阵列天线方向图综合中的应用	131
4.5.2 粒子群优化算法在阵列天线方向图综合中的应用	142

第5章 数字波束形成技术

5.1 数字波束形成原理	150
5.1.1 概述	150
5.1.2 系统结构和信号模型	151
5.2 最佳滤波	155
5.2.1 MMSE 准则	155
5.2.2 Max-SINR 准则	157
5.2.3 MV 准则	158
5.3 自适应波束形成算法	159
5.3.1 概述	159
5.3.2 非盲波束形成算法	160
5.3.3 盲波束形成算法	169
5.3.4 多用户波束形成	179

目 录	5.3.5 波束空间波束形成	186
	5.3.6 宽带自适应天线阵	190
	5.4 阵列校正	193
	5.4.1 校正的概念和作用	193
	5.4.2 校正算法	194
第 6 章 波达方向估计		
6.1 概 述	202	
6.2 DOA 算法的预备知识	203	
6.2.1 阵列输入矢量	203	
6.2.2 输入矢量的相关矩阵	205	
6.3 DOA 估计的传统方法	206	
6.3.1 延迟-相加法	207	
6.3.2 Capon 最小方差法	207	
6.4 MUSIC 算法	208	
6.4.1 MUSIC 算法的基本原理	209	
6.4.2 MUSIC 算法的渐进性能分析	211	
6.4.3 MUSIC 估计算法的最小方差下限	213	
6.4.4 求根 MUSIC 算法	216	
6.4.5 循环 MUSIC 算法	217	
6.4.6 波束空间 MUSIC 算法	218	
6.4.7 提高计算速度的方法	219	
6.4.8 Smart MUSIC 算法	220	
6.5 ESPRIT 算法	221	
6.5.1 基本 ESPRIT 算法的工作原理	221	
6.5.2 酉 ESPRIT 算法	223	
6.6 快速子空间分解算法	226	
6.6.1 算法基本原理	226	
6.6.2 适用于快速子空间分解算法的信号源数目估计	228	
6.7 相干信号的 DOA 估计	229	
6.7.1 空间平滑处理技术	229	
6.7.2 多维 MUSIC 算法	230	
6.8 基于高阶累积量的 DOA 估计算法	230	
6.8.1 高阶矩与高阶累积量的定义	230	

6.8.2 基于四阶累积量 ESPRIT 的 DOA 估计算法	232
6.9 DOA 估计的最大似然方法	234
6.9.1 基本算法	234
6.9.2 非均匀噪声 DOA 估计的最大似然估计算法	235
6.10 其他 DOA 算法简介	238
6.10.1 基于迭代最小二乘投影 CMA 的 DOA 估计算法	238
6.10.2 不需要进行矩阵本征值分解的方法	239
6.11 利用特征分解检测信源数	239
6.11.1 SH、MDL、AIC 准则	239
6.11.2 利用 Gerschgorin 半径进行信源数目估计	240
第 7 章 多天线技术	
7.1 MIMO 系统概述	243
7.1.1 多天线系统的基本概念	243
7.1.2 MIMO 信道的一般描述	245
7.2 MIMO 系统的容量	248
7.2.1 容量概述	248
7.2.2 确定性信道的容量	249
7.2.3 随机 MIMO 信道的容量	252
7.3 MIMO 的编码技术	253
7.3.1 空时编码及编码准则	253
7.3.2 空时格形码	256
7.3.3 空时分组码	257
7.3.4 分层空时结构	261
7.3.5 其他的空时编码	262
7.4 MIMO 系统的接收机算法	263
7.4.1 ML 接收机	263
7.4.2 线性接收机	264
7.4.3 QR 分解算法	265
7.4.4 连续干扰对消	267
7.4.5 小结	269
第 8 章 RF 定位技术	
8.1 概 述	270

目 录	8.2 定向 PL 系统	271
	8.3 定距 PL 系统	273
	8.3.1 真实距离 PL 系统	273
	8.3.2 椭圆型 PL 系统	275
	8.3.3 双曲型 PL 系统	276
	8.4 TDOA 估计方法	276
	8.4.1 波达时延估计	277
	8.4.2 TDOA 估计的广义模型	277
	8.4.3 双曲型 PL 估计方法	278
	8.4.4 无约束非线性最小二乘算法	279
	8.4.5 约束非线性最小均方算法	280
	8.5 双曲型定位技术的定位精度	281
	8.5.1 MSE 和 CRB 下界	281
	8.5.2 圆周概率误差	282
	8.5.3 几何精度因子	282
	8.6 小 结	283

第 9 章 智能天线的硬件实现

9.1 多波束智能天线系统的硬件构架	284
9.1.1 固定多波束天线系统	285
9.1.2 波束切换型智能天线	288
9.1.3 多波束形成网络	289
9.2 自适应智能天线系统的硬件构架	291
9.2.1 概述	291
9.2.2 自适应智能天线的硬件实现	292
9.3 基于软件无线电的智能天线	299
9.3.1 智能天线与软件无线电	299
9.3.2 利用软件无线电的智能天线技术	300
9.3.3 基于软件无线电的智能天线系统构架——单个天线和固定多波束天线.....	301
9.3.4 基于软件无线电的智能天线系统构架——切换型多波束天线	303
9.3.5 基于软件无线电的智能天线系统构架——扫描波束的阵列天线	308
9.3.6 基于软件无线电的智能天线系统构架——其他方案	310
9.4 终端智能天线的实现	313
9.4.1 手持移动终端的智能天线	313

9.4.2 自适应双天线阵列在手机中的应用	314
9.4.3 用于 WCDMA 的手机智能天线	316
9.5 射频前端和阵列天线的一体化设计	317
9.5.1 射频前端和阵列天线的一体化设计要考虑的问题	317
9.5.2 公共微波射频链路	318
9.6 小 结	319
 第 10 章 智能天线系统介绍	
10.1 美国 Metawave 公司的智能天线技术	320
10.1.1 SpotLight [®] GSM 波束切换智能天线系统	321
10.1.2 SpotLight [®] 2200 智能天线	324
10.2 美国 ArrayCom 公司的 IntelliCell 智能天线技术	326
10.2.1 IntelliCell 原理	326
10.2.2 IntelliCell 技术的优点	328
10.2.3 IntelliCell 技术的应用	328
10.3 欧洲 TSUNAMI 智能天线项目	329
10.4 日本移动通信 DBF 实验系统	330
10.5 韩国 KMW 公司的动态多波束天线技术	331
10.5.1 系统简介.....	331
10.5.2 动态多波束系统结构.....	332
10.5.3 动态多波束系统应用.....	333
10.6 中国大唐在智能天线技术方面的研究	335
10.7 其他智能天线技术.....	336
10.7.1 罗顿科技室内智能天线系统.....	336
10.7.2 自我调节的天线.....	337
10.8 智能天线实验平台.....	338
10.8.1 智能天线实验平台的研究.....	338
10.8.2 一个实用的智能天线实验平台方案	339
附 录.....	344
参 考 文 献.....	350

移动通信系统及智能天线

1.1 移动通信系统的发展与基本原理

世界已经进入了信息时代,移动通信已经成为信息时代的重要标志。从基本概念来讲,移动通信是指通信的双方,或者至少其中有一方在运动状态中进行信息传递,通信双方通过空间的无线电波的传播进行通信,如图 1-1 所示。

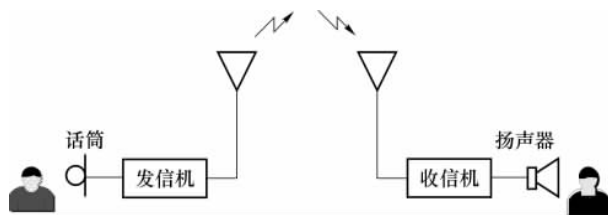


图 1-1 移动通信系统示意图

自从 1978 年,贝尔实验室首先研制的 AMPS 蜂窝移动通信系统在芝加哥试验成功,移动通信便进入公用通信领域并开创了移动通信的新纪元。蜂窝技术(Cellular Technology)是移动通信的关键技术,也是个人移动通信的技术基础。

移动通信的发展,可以追溯到 20 世纪 20 年代,仅有不到 100 年的时间。从早期简单的点对点移动通信到今天复杂的蜂窝通信,移动通信的发展总是遵循着这样的规律:社会的需求促进技术的发展,而技术的发展又反过来促进社会新的进步。移动通信发展过程中的里程碑如下:

1921 年,美国底特律警察局做了一个 2 MHz 的移动通信系统试验,从此开始了车载无线电通信。

1942 年,美国摩托罗拉公司设计并制造出便携式调频无线电话机,这种电话机成为第二次世界大战中欧洲战场最重要的通信工具。

1946 年,FCC(美国联邦通信委员会)开始规划蜂窝电话业务。

1959 年,摩托罗拉公司采用第一条自动无线电话设备线。

1979 年,摩托罗拉公司将一千门移动电话投入了芝加哥蜂窝系统中运行。

1982年,欧洲邮电主管部门会议设立了移动通信特别小组,开始了第二代蜂窝移动通信系统的研究。

1985年,国际电信联盟(ITU)提出了第三代移动通信系统,即未来陆地移动通信系统(FPLMTS)。

1991年,GSM数字全球移动通信系统开始商用。

1992年,美国Qualcomm公司推出码分多址(CDMA)蜂窝移动通信系统,这是一种具有高频谱利用率和抗干扰能力的通信系统。

1997年和1998年是第三代移动通信技术开发、标准制定最活跃的时期,集中表现在候选RTT的提交和评估工作上,影响较大的有WCDMA、TD-SCDMA和CDMA2000。

1999年在芬兰赫尔辛基举行的ITU-TRG8/1会议上通过了第三代移动通信系统无线接口技术规范IMT-RSPC,这标志着IMT-2000的研究开发进入了高潮。

2001年,日本NTT DoCoMo公司推出了第三代移动通信业务。

1.2 移动通信系统中的天线技术

天线技术是伴随着无线通信的发展而发展起来的,随着移动通信的发展,与之相应的天线技术也获得了巨大的发展。

1.2.1 天线基础知识

1. 天线的作用

无线电发射机输出的射频信号功率,通过馈线(电缆)输送到发射天线,由天线以电磁波形式辐射出去。电磁波到达接收点后,由接收天线接收下来(仅仅能接收很小一部分功率),并通过馈线送到无线电接收机。由此可见,天线可以看作是一个实现射频信号和电磁波之间互相转换的传感器,是发射和接收电磁波的一个重要的无线电设备,没有天线也就没有无线通信。

天线种类繁多,以供在不同频率、不同用途、不同场合、不同要求等情况下使用。对于众多类型的天线,进行适当的分类是必要的:按用途分,可分为通信天线、电视天线、雷达天线等;按工作频段分,可分为短波天线、超短波天线、微波天线等;按方向性分,可分为全向天线、定向天线等;按外形和结构分,可分为线天线、面天线、平面天线等。本书第3章将对移动通信系统中的主要天线形式作一个更为详细的介绍。

2. 电磁波的辐射

导线上有交变电流流动时,就可以发生电磁波的辐射,辐射的能力与导线的长度和形状有关。如图1-2(a)所示,若两导线的距离很近,则两导线的辐射电场大部分互相抵消,电场被束缚在两导线之间,因而辐射很微弱;将两导线张开,如图1-2(b)所示,两者的辐射场不再互相抵消,因而辐射增强。必须指出,当导线的长度远小于波长时,辐射很微弱;