

[美] LAL CHAND GODARA 主编

无线通信天线手册

HANDBOOK OF ANTENNAS IN WIRELESS COMMUNICATIONS

左群声 金林 胡明春 赵玉洁 等译 张光义 总校



國防工業出版社

National Defence Industry Press <http://www.ndip.cn>

无线通信天线手册

[美] Lal Chand Godara 主编
左群声 金林 胡明春 赵玉洁 等译
张光义 总校

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记号 图字:军-2004-002号

图书在版编目(CIP)数据

无线通信天线手册/左群声等译. —北京:国防工业出版社, 2004.9

书名原文: Handbook Of Antennas In Wireless Communications

ISBN 7-118-03473-8

I. 无... II. 左... III. 无线电通信-天线-技术手册 IV. TN92-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 033182 号

Simplified Chinese translation copyright © 2004 by National Defence Industry Press (Handbook of Antennas in Wireless Communications by Lal Chand Godara, Copyright ©2002, by CRC Press, LLC,)

本书中文版由 CRC 出版社授予国防工业出版社独家出版发行。
版权所有,侵权必究。

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 46½ 1160 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:99.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

译者的话

《无线通信天线手册》是一本介绍无线通信系统中天线技术的最新手册,理论结合实践,具有很高的参考和使用价值。

各类电子专业的工程师,特别是通信工程师;移动通信、信号处理、天线理论和智能天线领域的科技人员;无线通信领域的研究生和研究人员;天线设计人员;对移动通信和智能天线进行深入研究的人员,将从中获益匪浅。

该手册主要由六大部分组成:1)无线通信系统和信道特性,包括蜂窝通信系统与基于卫星的移动通信系统,市区电波传播预测与信道衰落;2)天线技术和数值计算方法,讨论不同天线与馈线系统的参数和设计软件,如微带贴片天线、有限差分域(FDTD)技术、矩量法应用及通用算法;3)天线发展和实用天线,包括手持天线、航空与海上卫星通信天线、室内外个人手持电话系统的基站天线、固定式与移动式卫星通信天线与赋形天线等;4)智能天线及阵列理论,介绍了基本的阵列理论与方向图综合技术、用波束形成的电磁矢量传感器、最佳或准最佳发射波束形成、无线通信的空间分集、移动通信中波到达角(DOA)估计以及盲信道识别与在空分多路接入(SDMA)系统中源的分辨问题;5)智能天线的实现,分别介绍智能天线系统结构与硬件实现、天线系统的相控阵技术以及满足移动通信和 TDMA 的全球系统的自适应天线;6)电磁辐射和对人体的作用。全书共分二十六章,覆盖了无线通信中天线的各个技术方面。各章的撰写者均为该领域中有理论与实践经验的技术专家。该手册所提供的1200多篇参考文献可供读者进一步深入研究和参考。

鉴于该手册具有上述特点和作用,翻译出版其中文版将会对推动和促进我国方兴未艾的无线通信技术的发展起到积极的作用。

参加《手册》翻译的人员有:左群声、金林、胡明春、赵玉洁、凌云、何东元、黄晓宇、任波、王金元、王洋、杨正龙、何伍福、李大圣、杨志群、徐慧、王拓新、孙磊、孙庆峰、马静、唐小明、吴翔、张贇霞、李建新等。参加审校的人员有:左群声、金林、胡明春、何炳发、何伍福、杨正龙、赵玉洁、唐小明、孙庆峰、杨志群、李建新、郭先松、朱瑞平、孙磊、王金元、王华。张光义院士总校。参加编辑校对的人员有:毋梅莲、朱宝明、周琪、林璨、宋于卿、邵余红、汪洋。

中国电子科技集团公司第十四研究所对本手册的打印、校对等提供了大量的帮助,在此表示感谢。

由于时间仓促,水平有限,译文难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

译者

2003年11月14日

原 序

1997年,我为IEEE会刊写了一篇关于天线阵列在移动通信中应用的文章(分两部分)。这篇文章介绍了天线阵列的研究现状,还描述了怎样使用天线阵列来满足无线移动通信服务中日益增长的信道容量需要。关于该主题,我收到的反馈信息的数量和类型,尤其是来自研究生和实际工程师的反馈信息向我表明,需要对该问题进行更全面的了解,而不仅仅是杂志上的一篇文章。

1998年末的一天,我收到了亚历山大先生的电子邮件。亚历山大先生为CRC出版社电子工程和信号处理丛书做协调工作。在电子邮件中,他邀请我出任一本手册的总编辑,该手册涉及到其领域内的重大发展以便为工作中的工程师或即将在该领域内创业的人员提供资料,进行指导。

我接受了他的邀请,准备了该手册将涉及的论题表。由于该手册原本作为该主题的专业参考资料,于是我邀请该领域内有影响的专家为其感兴趣的题目投稿。

我为最后的成果感到高兴。当我简单介绍了该手册涉及的内容后,相信你会被我的热情所感染。

该手册成功汇集了无线通信中天线的各个部分,分为二十六章,内容包括由专家们以易理解方式编辑的最新研发成果。该材料循序渐进,无需什么前提条件,因此,不仅作为参考书对研究人员和实际工程师有益,而且也可作为新入门者的丰富的学习资料。

这是一本技术书籍,包含无线通信天线的各个方面,介绍了蜂窝系统、天线设计技术、实用天线、相控阵技术、智能天线的理论和实现,以及电磁辐射与人体相互作用等。这本书包含1200多条参考文献,以便读者进一步研究。

下列人员可从该手册获益:

- 特别对从事实际工作的电子工程师和通信工程师,是一本重要的参考书;
- 从事移动通信、信号处理、天线理论和智能天线教学与研究领域的大学教师;
- 该领域的研究生和研究人員;
- 所有天线设计人员;
- 对移动通信和智能天线感兴趣者。

我们对书中的各章进行了认真选择,以包括不同的主题。然而,允许各章之间有一些重复,主要是从不同的角度进行讨论。

该手册主要从以下6个方面进行论述:

- A. 无线通信系统和信道特性
- B. 天线技术和数值方法
- C. 天线研制和实用天线
- D. 智能天线和阵列理论

E. 智能天线系统的实现

F. 电磁辐射和人体

第一章到第四章介绍无线通信系统和信道特性。第一章“蜂窝系统”通过介绍移动通信系统和讨论多址机制、信道复用、信道分配、切换和功率控制来阐述蜂窝基本原理。第二章“卫星移动通信”讨论卫星轨道基本原理和卫星无线电路径,并描述不同的卫星移动通信系统。第三章“城市系统的信号传输估计”对各种物理参数和条件(比如距离、天线高度、植被及地形)下的平均信号强度进行了预测,并用射线模型讨论了基站的专门预测值。第四章“衰落信道”着重讲述基本的衰落现象、衰减类型以及降低衰落的方法,给出在时分多路存取(TDMA)和码分多路存取(CDMA)系统中降低选频衰落影响的例子。

第五章至第十章介绍了天线技术领域及一些数值方法。第五章介绍基本天线参数和名词术语,并讨论通用的天线类型、阻抗匹配、馈电网络以及现有用于天线分析和设计的软件。第六章介绍微带贴片天线,并讨论了其一般特性,描述了提高贴片天线带宽和减小导体尺寸的各种馈电技术和方法,还列举了有源贴片天线的例子。第七章介绍了无限差分时段(FDTD)方法,重点介绍该方法在印制天线和天线阵列中的应用,还讨论了 FDTD 基础知识、吸收边界条件以及辐射方向图,并列举了各种微带天线分析实例。第八章着重介绍积分方程在天线中的应用以及用矩量法(MOM)解决问题的方法,讲述了 MOM 的基本原理及其在线天线、自由金属结构、复合金属及介电结构中的应用。第九章介绍遗传算法,并指出如何用它们来找到解决无线天线问题的好方法。第十章通过讨论现代几何光学、绕射几何理论、物理光学、绕射物理理论,介绍了天线的高频应用情况。

第十一章到十五章构成了本手册的 C 部分,主要介绍天线的发展情况及一些实用天线。第十一章通过描述用于蜂窝系统的各种基站天线、用于宏蜂窝系统的分集天线、用于微蜂窝系统和微微蜂窝系统的天线、个人手持电话系统(PHS)基站天线,介绍了日本在室外、室内基站天线方面的发展情况。第十二章描述用于手持电话的各种天线,并详细介绍了用于个人无线通信的折叠天线的研究情况。第十三章重点介绍航空和航海天线。第十四章主要介绍固定和移动天线。第十三章介绍国际海用卫星(INMARSAT) - A、- B、- C、- F、- M 及 - AERO 的天线和跟踪系统以及用于地面移动地球站和手持终端的天线。第十四章介绍卫星通信用的空间分段天线、地球分段天线以及通路天线;固定和移动卫星通信用的微带天线;用于接收直接广播卫星服务电视(DBS TV)的移动天线和 SATPHONE 天线系统。第十五章除讨论“赋形波束天线”一些实际应用(重点在移动应用)外,重点介绍赋形介质透镜天线,并为设计这些天线提供了一些设计指导思路。

本手册的 D 部分主要讨论智能天线和阵列理论,包括第十六章至第二十一章。第十六章通过讨论天线阵列基础理论、阵列加权综合技术及为调整方向图所进行的阵列几何考虑,介绍了基本的阵列理论和方向图综合技术,还列举了许多例子来着重说明这些概念。第十七章描述了电磁矢量传感器的优点及其发展情况,用这些传感器解决了一个波束形成问题,并将结果与标量传感器的结果进行了比较。第十八章讨论了信道特性,提供了用于发射阵列的一些波束形成策略,包括波束形成算法和一些重要的波束形成方法。

第十九章描述了无线通信空间分集合成的基本原理,讨论了通过不同合成技术,采用分集天线来改进系统性能,还研究了分支相关和互耦的影响结果。第二十章介绍了在无线通信环境中估计点源到达角(DOA)和活动目标跟踪,还详细介绍了估计无线信道的方法。第二十一章提出了在蜂窝式移动无线数字通信系统中鉴别无线信号源所面临的一些问题并描

述了几种可以解决盲源分离和信道识别问题的确定性和随机性最大似然方法。

第二十二章至第二十四章介绍智能天线系统的实现。第二十二章对系统智能天线结构和实现方法进行了评述,讨论了各种重要的设计方法,还介绍了一些用数字信号处理器(DSP)组件实现的实时系统。第二十三章通过讨论用于地面移动通信系统、同温层通信系统及卫星通信系统的相控阵天线,讲述了用于无线系统的相控阵技术。第二十四章先对全球移动通信系统和时分多址(暂行标准-136)系统用的自适应天线进行了评述,在考虑将自适应天线技术用于现有蜂窝系统时,着重对几个最重要的问题进行了分析和讨论,还对几个易于实现的可能系统结构进行了介绍,并考虑了与信号处理算法有关的一些问题,本章还提供了详细的系统仿真,将所得结果与外场测试结果进行了对比。

最后是第二十五章和第二十六章,讲述电磁辐射及对人体的影响。第二十五章主要介绍手持天线辐射特性对人体的影响。第二十六章着重讲述电磁(EM)辐射对健康的危害。第二十五章评述了射频(RF)领域的辐射标准,介绍不同类型的手持无线设备,以及用来量化和记录辐射场对人体影响的一些数值技术和实验方法,还列举了这些交互作用对手持设备天线的辐射和输入阻抗影响的例子。第二十六章提供了人体如何避免射频辐射的一些指导方法、已知的对人体细胞的影响、测量方法以及对健康影响的一些证据。

撰稿人

Sören Andersson

爱立信无线电系统公司
Stockholm, Sweden

Hiroyuki Arai

电气和计算机工程部
Yokohama 国立大学
Yokohama, Japan

Victor Barroso

Instituto Superior Tecnico
Instituto de Sistemas e Robotica
Lisboa, Portugal

Mats Bengtsson

皇家技术研究院信号、传感器和系统部
Stockholm, Sweden

Magnus Berg

爱立信无线电系统公司
Stockholm, Sweden

Jennifer T. Bernhard

Illinois 大学电气和计算机工程系
Urbana, Illinois

Henry L. Bertoni

工业大学电气和计算机工程系
Brooklyn, New York

Marek E. Bialkowski

Queensland 大学计算机科学和电气工程学院

Brisbane, Queensland, Australia

Christos Christodoulou

New Mexico 大学
Albuquerque, New Mexico

Henrik Dam

爱立信 LMD
Copenhagen, Denmark

Paul W. Davis

Queensland 大学计算机科学和电气工程学院
St. Lucia, Queensland, Australia

Antonije R. Djordjevic

Belgrade 大学电气工程学院
Belgrade, Yugoslavia

Atef Z. Elsherbeni

Mississippi 大学电气工程系
University, Mississippi

Meng Hwa Er

南洋理工大学电气和电子工程系
Singapore, Republic of Singapore

Carlos A. Cardoso

Fernandes
Instituto Superior Técnico
Instituto de Telecomunicações
Lisboa, Portugal

Ulf Forssén

爱立信无线电系统公司
Stockholm, Sweden

Lal C. Godara

澳大利亚防御力量学院, New South Wales
大学电气工程学院
Canberra, Australia

Javier Gómez-Tagle

电气工程系
ITESM
Guadalajara, Mexico

Bo Hagerman

爱立信无线电系统公司
S - 164 80 Stockholm, Sweden

Kwok Chiang Ho

Addest Technovation Pte. Ltd.
Singapore, Republic of Singapore

Chun-Wen Paul Huang

Mississippi 大学电气工程系
University, Mississippi

Magdy F. Iskander

Utah 大学电气工程系
Salt Lake City, Utah

Ramakrishna Janaswamy

海军研究生院
Monterey, California

Ami Kanazawa

邮电部通信研究实验室
Yokosuka 无线电通信研究中心
Yokosuka, Japan

Jonas Karlsson

爱立信无线电系统公司
Stockholm, Sweden

Nemai C. Karmakar

南洋理工大学电气和电子工程学院
Singapore, Republic of Singapore

Branko M. Kolundzija

Belgrade 大学电气工程学院
Belgrade, Yugoslavia

Fredric Kronestedt

爱立信无线电系统公司
Stockholm, Sweden

Te-Hong Lee

Ohio 州立大学电气工程/ESL 系
Columbus, Ohio

Sara Mazur

爱立信无线电系统公司
Stockholm, Sweden

Eric Michielssen

Illinois 大学电气与计算机工程系计算电磁学
中心
Urbana, Illinois

Ryu Miura

邮电部通信研究实验室
Yokosuka 无线电通信研究中心
Yokosuka, Kanagawa, Japan

Karl J. Molnar

爱立信无线电系统公司
Research Triangle Park, North
Carolina

José M. F. Moura

Carnegie Mellon 大学电气与计算机工程系

Pittsburgh, Pennsylvania

Arye Nehorai

Illinois 大学 EECs (M/C 154)系

Chicago, Illinois

Boon Poh Ng

南洋理工大学电气和电子工程学院

Singapore, Republic of Singapore

H. Ogawa

邮电部通信研究实验室

Yokosuka 无线电通信研究中心

Yokosuka, Kanagawa, Japan

Shingo Ohmori

通信研究实验室通信系统部

Tokyo, Japan

Björn Ottersten

皇家理工学院信号、传感器和系统系

Stockholm, Sweden

A. W. Preece

医学物理大学研究中心

Bristol 肿瘤学中心

Bristol, United Kingdom

Sembiam R. Rengarajan

California 州立大学电气与计算机工程系

Northridge, California

Roberto G. Rojas

Ohio 州立大学电气/ESL 系

Columbus, Ohio

Michael J. Ryan

澳大利亚防御力量学院电气工程学院

Canberra, Australia

Tapan K. Sarkar

Syracuse 大学电气与计算机工程系

Syracuse, New York

Bernard Sklar

通信工程服务中心

Tarzana, California

Charles E. Smith

Mississippi 大学电气工程系

University, Mississippi

Hyok J. Song

HRL 实验室, LLC

Malibu, California

Thomas Svantesson

Chalmers 理工大学信号与系统系

Göteborg, Sweden

B. T. G. Tan

Singapore 国立大学理学院

Singapore, Republic of Singapore

Masato Tanaka

邮电部通信研究实验室

Kashima 空间研究中心

Kashima, Ibaraki, Japan

Saúl A. Torrico

Comsearch

Reston, Virginia

Hiroyuki Tsuji

邮电部通信研究实验室

Yokosuka 无线电通信研究中心

Yokosuka, Japan

Mats Viberg

Chalmers 理工大学信号与系统系

Göteborg, Sweden

T. Bao Vu

香港城市大学电子工程系
Kowloon, Hong Kong

Rod Waterhouse

RMIT 大学通信与电子工程系
Melbourne, Victoria, Australia

Wesley O. Williamson

TRW 公司
Redondo Beach, California

J. Xavier

Instituto Superior Tecnico,
Instituto de Sistemas e Robotica
Lisboa, Portugal

Zhengqing Yun

Utah 大学电气工程系
Salt Lake City, Utah

目 录

第一部分 无线通信系统和信道特性

第一章 蜂窝系统

1.1 引言	2
1.2 蜂窝基础	2
1.3 第一代系统	13
1.4 第二代系统	14
1.5 第三代系统	19
参考文献	23

第二章 卫星移动通信

2.1 引言	27
2.2 卫星轨道基本原理	29
2.3 卫星无线路径	34
2.4 多址机制	37
2.5 移动卫星通信系统	38
2.6 小结	41
参考文献	41

第三章 城市系统的信号传输估计

3.1 引言	42
3.2 蜂窝网应用中的距离关系	44
3.3 低层建筑环境下小蜂窝网的距离关系	49
3.4 植被的作用	54
3.5 地形因素的考虑	56
3.6 特定位置估计	59
3.7 小结	68
参考文献	68

第四章 衰落信道

4.1 衰落信道对通信的挑战	72
4.2 移动无线电通信的传播特性	73

4.3 信号时间扩展	80
4.4 运动引起的信道时变	85
4.5 衰落恶化效应的降低	91
4.6 衰落信道主要参数	100
4.7 降低频选衰落效应的应用	103
4.8 小结	106
参考文献	106

第二部分 天线技术和数值方法

第五章 天线参数、天线和馈电系统分类及软件

5.1 引言	110
5.2 天线的基本参数和天线链	110
5.3 常用天线形式	122
5.4 天线分析和设计软件的商用软件	142
参考文献	143

第六章 微带贴片天线

6.1 引言	149
6.2 一般特性	150
6.3 馈电技术	152
6.4 扩展带宽	154
6.5 圆极化技术	159
6.6 减小贴片尺寸	161
6.7 有源器件的集成及有源贴片的例子	162
6.8 小结	166
参考文献	166

第七章 时域有限差分法在微带天线中的应用

7.1 引言	169
7.2 时域有限差分法的基本原理	170
7.3 吸收边界条件	175
7.4 辐射方向图	185
7.5 分层微带天线分析举例	189
7.6 小结	194
参考文献	194

第八章 矩量法在天线中的应用

8.1 引言	196
--------------	-----

8.2 麦克斯韦方程	198
8.3 矩量法	203
8.4 天线分析	209
8.5 小结	226
参考文献	226

第九章 遗传算法

9.1 引言	229
9.2 遗传算法简介	230
9.3 遗传算法分类	234
9.4 遗传算法使用技巧	244
9.5 遗传算法应用	246
9.6 深入讨论	249
9.7 小结	251
9.8 附录:David Carroll 遗传算法驱动器的代价函数源程序	253
参考文献	254

第十章 高频技术

10.1 引言	256
10.2 几何光学	257
10.3 几何绕射理论	260
10.4 非金属(不)可穿透材料	268
10.5 物理光学	274
10.6 物理绕射理论	275
10.7 反射面天线分析举例	276
10.8 小结	279
参考文献	280

第三部分 天线研制和实用天线

第十一章 日本的户外和室内蜂窝/个人手持电话系统中的基站天线

11.1 引言	284
11.2 蜂窝系统中的基站天线	284
11.3 宏蜂窝系统的分集天线	291
11.4 微蜂窝系统和微微蜂窝系统中的天线	294
11.5 个人手持电话系统的基站天线	298
参考文献	300

第十二章 手持电话天线

12.1 引言	302
12.2 用于个人无线通信系统中的折线天线	307
12.3 小结	330
参考文献	330

第十三章 用于卫星通信的航空和航海天线

13.1 引言	333
13.2 INMARSAT - A, - B 和 - F	335
13.3 INMARSAT - C	338
13.4 INMARSAT - M 系统	339
13.5 INMARSAT - AERO(航空)	340
13.6 陆地上的移动地面站	344
13.7 便携式终端	348
参考文献	350

第十四章 用于卫星通信的固定和移动天线

14.1 引言	352
14.2 卫星通信	353
14.3 用于卫星通信的固定和移动微带天线	356
14.4 用于接收直播卫星电视的移动天线	367
14.5 卫星电话天线系统	368
参考文献	378

第十五章 赋形波束天线

15.1 引言	382
15.2 常规天线要求	384
15.3 赋形介质透镜天线	387
15.4 其他型式的波束赋形天线	410
参考文献	413

第四部分 智能天线和阵列理论

第十六章 阵列基本理论和方向图综合技术

16.1 引言	416
16.2 阵列天线的基本理论	418
16.3 阵列加权综合技术	421
16.4 方向图修正时的阵列几何结构考虑	436
16.5 小结和推荐读物	449

参考文献	450
------------	-----

第十七章 用做波束形成的电磁矢量传感器

17.1 引言	452
17.2 波束形成问题的公式和初步讨论	454
17.3 单信息信号的信号与干扰加噪声比	459
17.4 双信息信号的信号与干扰加噪声比	462
17.5 数值结果	463
17.6 电磁矢量传感器的波瓣	465
17.7 小结	467
参考文献	468

第十八章 最优化和次最优化发射波束形成

18.1 引言	470
18.2 信道特性	471
18.3 波束形成策略	477
18.4 最优波束形成算法	484
18.5 增强的波束形成	488
18.6 附录:证明和引理	489
参考文献	492

第十九章 无线通信中的空间分集

19.1 引言	496
19.2 接收阵列的一般理论	497
19.3 合成技术	498
19.4 选择合成	500
19.5 最大比值合成	502
19.6 等增益合成	505
19.7 分集增益	506
19.8 天线增益	506
19.9 分支相关的影响	507
19.10 互耦	509
19.11 小结	512
参考文献	512

第二十章 在无线通信环境中来波到达角的估算

20.1 引言	513
20.2 空间信号模型	515
20.3 点源的估计	520

20.4 无线信道的估计	532
20.5 移动源的跟踪问题	542
20.6 小结	548
参考文献	548

第二十一章 空分多址系统中的盲信道识别和源分离

21.1 引言	556
21.2 确定性方法	560
21.3 二阶统计量方法	573
21.4 随机极大似然法	591
21.5 基于模型几何特性的信源分离	593
21.6 小结	597
参考文献	598

第五部分 智能天线系统的实现

第二十二章 智能天线系统设计和硬件实现

22.1 引言	602
22.2 系统设计和实现概述	604
22.3 重要的设计问题	612
参考文献	627

第二十三章 无线系统的相控阵技术

23.1 引言	629
23.2 地面移动通信系统的相控阵天线	629
23.3 同温层通信系统的相控阵天线	640
23.4 卫星通信系统的相控阵天线	648
23.5 小结	659
参考文献	659

第二十四章 全球移动通信系统和时分多址(暂行标准-136)系统自适应天线

24.1 引言	661
24.2 系统电平状况	665
24.3 天线系统结构	665
24.4 信号处理算法	668
24.5 模拟结果	670
24.6 场地试验完成后的总结	678
24.7 数据分组系统自适应天线	685
24.8 结束语和未来发展方向	686