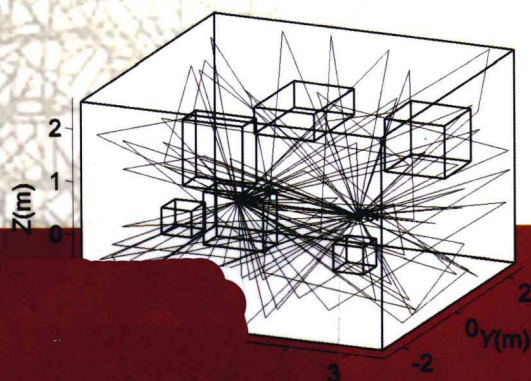


Stochastic Modelling and Applications for Radio Wave Propagation

无线电波传播的 随机建模与应用

扈罗全 著



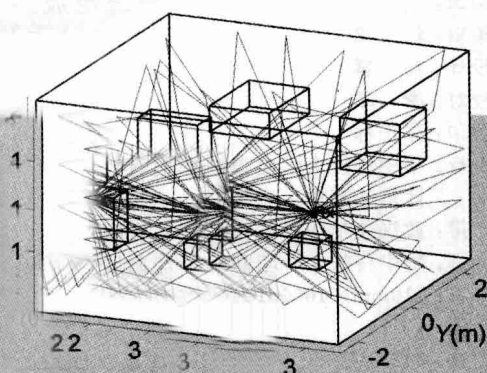
华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

Stochastic Modelling and Applications for Radio Wave Propagation

主要内容

无线电波传播的 随机建模与应用

扈罗全 著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 提 要

本书针对无线信道中复杂的传播特性,尝试使用基于随机分析的随机桥理论、位置渗流理论和应用概率论等方法,对无线电波传播和无线信道特性进行建模和分析。全书使用随机非波动的方法,分析和研究超宽带室内多径信道、短程窄带无线信道的传播特性,以及路径损耗特性。本书对出现在随机非波动无线电波建模方法中的一些理论和应用问题,进行了系统而深入的研究,把使用随机分析方法和随机非波动方法得到的结果,与无线信道实验测量结果进行比较分析。帮助读者全面而深入地了解无线信道的传播特性。

全书共分7章,包括:绪论;随机射线的基本理论与统计特性分析;超宽带脉冲无线信道多径传播特性的随机射线研究;短程窄带无线信道传播特性的研究;短程窄带无线信道平均接收功率的研究;随机射线建模方法在其他领域的应用;结论与展望。本书可作为通信类专业高年级本科生、研究生的教材,也可供网络优化、电磁兼容方向的高校教师、工程技术人员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

无线电波传播的随机建模与应用/扈罗全 著. —武汉:华中科技大学出版社, 2011.7

ISBN 978-7-5609-6956-5

I. 无… II. 扈… III. 电波传播-系统建模 IV. TN011

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 035641 号

无线电波传播的随机建模与应用

扈罗全 著

策划编辑:刘万飞

责任编辑:江 津

封面设计:潘 群

责任校对:李 琴

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:10.75

字 数:242千字

版 次:2011年7月第1版第1次印刷

定 价:29.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

序

无线电波传播理论是一个历久弥新的研究课题。随着无线通信技术的迅猛发展,以及对电子设备电磁兼容要求的不断提高,研究无线电波传播的规律显得越来越重要。针对无线电波在传播过程中出现的复杂性、随机性等特点,不同研究者从不同角度对其展开了研究。

本书作者以随机分析方法和渗流理论为研究工具,从随机非波动的角度出发,对无线电波传播过程进行建模。在此基础上,作者发展并完善了随机射线方法,对无线电波传播中的许多统计特性展开研究,取得了一系列的研究成果,为研究信道建模和电波传播的同行提供了新的思路。

本书作者数理基础扎实、治学态度严谨、擅长从事原创工作,并拥有多年的实践经验,在无线电波传播的随机建模领域,取得了十分丰硕的研究成果。书中介绍的随机分析方法是随机非波动建模方法的基础,掌握这门数学工具有一定难度。作为国内率先采用随机非波动方法研究无线电波传播问题的研究人员,近年来与其合作者在相关领域已发表各类学术论文 30 余篇,极大地推动了该领域的研究工作。

本书描述完整、结构合理、条理清晰,是一本比较全面地介绍无线电波传播的随机建模与应用的著作。我相信无论是其他专业的大学生,还是无线电波传播理论与技术爱好者,乃至此领域的专业研究者,在阅读本书后都会有所收获。

是为序。

南京邮电大学副校长

朱洪波教授

2011 年 1 月 9 日

序 二

扈罗全是我在若干年前指导的硕士研究生,但他在本书中所完成的内容,却不是我所擅长的,我对此确实是外行。

扈罗全在他的硕士论文研究工作期间,就表现出很强的科研工作潜力,有很好的领悟能力。这种对科学问题的悟性与理解能力,对于将科研工作作为自己人生选择的人来说,是十分重要的,所以在那时我就看好他在今后将能够取得不错的科研业绩。即使在他选择离开同济大学而去另外一所国内知名的高校继续深造,而且所从事的专业方向与我的研究工作有一些距离,但我与他仍然保持长期的联系。

可以说本书是他科研工作的第一次较为完整的总结,相信此书对于该领域的科研技术人员有一定的帮助参考作用,同时也祝作者今后能够取得更为丰富的成果。

同济大学 张冶文教授
2011年3月19日

前 言

无线电波及其传播规律,是研究移动无线通信系统和电磁兼容工程的首要问题。由于传播环境中存在十分复杂的随机特点,当前学术界和业界采用各种研究方法,对该问题展开了深入研究。

作者在多年从事无线电波传播研究的领域内,以随机分析方法和渗流理论为研究工具,采用随机非波动的观点对无线电波传播过程进行研究。本书首先介绍无线信道的主要研究内容,然后通过对现有随机性信道研究方法的分析,发展并完善了随机射线方法,并对无线信道中的诸多问题展开研究。

全书共分7章。第1章为绪论;第2章介绍随机射线的理论基础,从随机射线的基本概念出发,发展并完善随机射线方法的理论体系,使读者可以使用随机射线方法研究无线电波的多径传播特性;第3章使用随机射线方法研究和分析脉冲无线信道的传播特性;第4章使用随机桥过程样本构造的基本随机变量,对无线信道的一些特征参量建模,描述信道的空时特性;第5章使用随机射线研究和分析短程窄带无线信道平均接收功率;第6章给出了随机射线建模方法在其他领域的一些应用,包括半电波暗室中归一化场地衰减,飞机尾流电磁散射特性中的随机建模——半圆柱雷达散射截面(RCS)和圆锥形雷达散射截面(RCS)情形,以及水声信道的随机射线传播建模,这些研究结果是无线电波随机建模方法新的应用结果;第7章指明了本书的研究成果和相关课题的研究方向。

在编写本书过程中,作者参考和引用了一些文章、资料 and 标准的内容,主要文献已经列入参考文献中,便于读者进一步查阅某些感兴趣的问题。本书的出版得到了苏州出入境检验检疫局和中认英泰(苏州)检测技术有限公司的领导、同事的大力支持和帮助。

本书适合于高等院校研究生、高年级本科生作为教材或参考书之用,对从事电磁兼容应用的工程技术人员,也有较大的参考价值。

由于无线电波传播的研究发展非常迅速,加之作者水平有限,书中难免有错误和失之偏颇之处,恳请广大读者批评指正。作者电子邮件:luoquan.hu@gmail.com。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 研究背景	(2)
1.2.1 传统窄带无线信道研究概述	(2)
1.2.2 无线信道研究方法简介	(5)
1.2.3 无线信道的接收功率特性	(9)
1.3 主要研究内容和章节安排	(10)
第 2 章 随机射线的基本理论与统计特性分析	(12)
2.1 随机过程和随机分析基本知识	(12)
2.1.1 随机过程的概念	(12)
2.1.2 平稳随机过程	(12)
2.1.3 布朗运动	(13)
2.1.4 随机微分方程的数值仿真算法介绍	(14)
2.2 随机射线	(17)
2.2.1 历史发展	(17)
2.2.2 随机射线分类	(18)
2.3 传播环境的物理建模	(19)
2.3.1 精确描述的几何环境	(19)
2.3.2 Fresnel 区理论	(19)
2.3.3 服从某个概率分布的随机环境	(21)
2.3.4 位置渗流网格模型和点渗流网格模型	(22)
2.3.5 随机网格信道	(23)
2.4 产生随机射线的方法	(24)
2.4.1 随机环境中镜面反射	(24)
2.4.2 随机游动	(24)
2.4.3 随机桥过程	(25)
2.5 随机波束	(26)
2.6 随机桥过程构造的基本随机变量	(27)
2.7 布朗桥过程产生的随机样本及其统计特性	(27)
2.7.1 布朗桥过程	(27)
2.7.2 自由布朗桥过程	(28)

2.7.3	有约束布朗桥过程	(28)
2.7.4	布朗桥过程产生的时间序列	(29)
2.7.5	布朗桥过程产生时间序列的相关特性	(30)
2.7.6	布朗桥过程产生基本随机变量的统计特性	(30)
2.8	Langevin 桥过程产生的随机样本及其统计特性	(32)
2.8.1	Langevin 方程	(32)
2.8.2	Langevin 桥过程	(32)
2.8.3	有约束 Langevin 桥过程	(33)
2.8.4	Langevin 桥过程产生基本随机变量的统计特性	(34)
2.9	发生 k 次反射随机射线的概率分布	(36)
2.9.1	最大熵原理	(36)
2.9.2	Manhattan 距离度量下的概率分布	(38)
2.9.3	Euclid 距离度量下的概率分布	(40)
2.10	随机游动的随机射线传播空间的概率分布	(43)
2.11	推广的酒徒行走问题及其平均行走距离	(48)
2.11.1	部分理性的随机游动模型	(49)
2.11.2	数值仿真	(52)
2.12	无线电波传播的概率模型	(54)
2.13	小结	(55)
第 3 章	超宽带脉冲无线信道多径传播特性的随机射线研究	(56)
3.1	脉冲无线信道和多径传播模型	(56)
3.2	基于随机桥过程的脉冲无线信道建模分析	(59)
3.2.1	随机桥方法分析 UWB 多径信道的物理基础	(59)
3.2.2	UWB 脉冲信号失真分析	(59)
3.2.3	UWB 脉冲信号相位分析	(60)
3.2.4	随机桥过程建模脉冲无线信道的两个假设	(62)
3.3	一种有多反射特性的 UWB 脉冲无线信道建模方法	(62)
3.3.1	无线信道的几何随机模型	(63)
3.3.2	UWB 室内多径信道的几何随机多反射模型	(64)
3.3.3	多反射多径分量随机路径的数学建模	(66)
3.4	有约束的布朗桥模型	(66)
3.5	UWB 信道成簇特性的概率分析	(68)
3.5.1	UWB 室内信道成簇现象的原因	(68)
3.5.2	成簇现象对 UWB 信号检测与接收的影响	(69)
3.5.3	布朗桥方法对 UWB 信道成簇特性的仿真与分析	(70)
3.5.4	基于基本随机变量的统计特性对成簇特性的概率分析	(71)

3.6	超宽带脉冲无线信道多径传播特性仿真与分析	(72)
3.6.1	不同传播环境信道特性的仿真与分析	(72)
3.6.2	地下车库传播环境信道特性的实验验证	(76)
3.7	基于最优化方法和随机射线对脉冲无线信道的分析	(77)
3.7.1	UWB 室内多径信道模型的最优化问题表述	(77)
3.7.2	UWB 室内多径信道 BBBM 模型结合最优化方法的 算法描述	(78)
3.7.3	数值仿真	(79)
3.8	小结	(79)
第 4 章	短程窄带无线信道传播特性的研究	(80)
4.1	基于随机桥过程的短程窄带无线信道空时特性分析	(80)
4.1.1	随机桥过程和基本随机变量	(81)
4.1.2	建模无线信道空间特性的数学模型	(82)
4.1.3	空间二维无线信道冲激响应的唯象模型	(82)
4.1.4	散射体均匀分布传播环境的空时特性的仿真分析	(83)
4.1.5	有约束传播环境的空时特性的仿真分析	(84)
4.1.6	讨论	(85)
4.2	基于随机射线的短程窄带无线信道电波传播多径特性分析	(86)
4.2.1	随机射线回顾	(86)
4.2.2	自由布朗桥过程构造基本随机变量统计特性的理论分析	(87)
4.2.3	自由 Langevin 桥过程构造基本随机变量统计特性的 理论分析	(88)
4.2.4	无线电波多径参量的数学表达式	(89)
4.2.5	无线电波多径传播特性的仿真分析	(90)
4.2.6	讨论	(92)
4.3	随机桥过程分析街道拐角的传播特性	(93)
4.3.1	有约束布朗桥过程建模街道拐角无线传播信道算法	(94)
4.3.2	数值仿真	(95)
4.4	小结	(97)
第 5 章	短程窄带无线信道平均接收功率的研究	(99)
5.1	传统研究方法及其结果	(99)
5.2	无线电波二维无耗传播的概率模型	(100)
5.2.1	随机射线在传播空间的概率分布	(100)
5.2.2	无线电波传播的概率模型回顾	(101)
5.2.3	二维无耗传播的平均接收功率	(101)
5.2.4	数值仿真	(102)

5.3	无线电波二维有耗传播的概率模型	(104)
5.3.1	二维有耗传播平均接收功率概率方法	(104)
5.3.2	先验约束条件下的接收功率	(104)
5.3.3	一般随机射线平均接收功率的界	(106)
5.3.4	接收功率解析解的误差	(107)
5.3.5	随机网格信道与传统路径损耗模型平均接收功率的比较	(108)
5.3.6	模型参数对接收功率的影响	(109)
5.3.7	实验数据验证	(110)
5.4	无线电波传播的随机游动模型及其应用	(111)
5.4.1	作随机游动的随机射线在传播空间的概率分布	(111)
5.4.2	随机游动方式下二维有耗传播的平均接收功率	(112)
5.4.3	近似公式的精度及接收功率的变化规律	(113)
5.4.4	实验数据验证	(113)
5.4.5	讨论	(114)
5.5	新的无线电波传播路径损耗模型	(114)
5.5.1	对数距离路径损耗模型	(114)
5.5.2	基于随机射线方法的路径损耗模型	(115)
5.5.3	新的路径损耗模型	(116)
5.5.4	实验验证	(117)
5.6	无线中继传感网络中异向散射信道的路径损耗特性	(118)
5.6.1	传播信道的物理建模	(119)
5.6.2	无线电波在二维传播空间的概率分布	(119)
5.6.3	传感网络信号传播的功率模型	(120)
5.7	5.3 GHz 移动通信系统的路径损耗非波动方法建模	(122)
5.7.1	理论模型	(122)
5.7.2	数值仿真	(124)
5.7.3	讨论与分析	(125)
5.8	小结	(125)
第6章	随机射线建模方法在其他领域的应用	(127)
6.1	半电波暗室中归一化场地衰减的应用	(127)
6.1.1	半电波暗室简介	(127)
6.1.2	归一化场地衰减(NSA)的理论计算模型	(128)
6.1.3	NSA 偏差的随机射线模型	(128)
6.1.4	数值仿真	(129)
6.2	飞机尾流电磁散射特性中的随机建模—— 半圆柱雷达散射截面(radar cross section, RCS)	(130)

6.2.1 作随机游动的电磁射线在传播空间的概率分布	(131)
6.2.2 随机射线方法计算回波功率	(131)
6.2.3 飞机尾流的电磁散射特性	(132)
6.2.4 数值仿真	(134)
6.3 飞机尾流电磁散射特性中的随机建模—— 圆锥形雷达散射截面(RCS)	(136)
6.3.1 尾流介质的物理建模	(136)
6.3.2 数值仿真	(138)
6.4 水声信道随机射线传播	(140)
6.5 小结	(141)
第7章 结论与展望	(143)
7.1 结论	(143)
7.2 未来工作研究方向	(144)
参考文献	(146)
致谢	(157)

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

无线通信系统的性能主要受到移动无线信道的制约。发射机和接收机周围的传播空间非常复杂,无线电波不是从简单的视距传播,而会遭遇到各种复杂的地面障碍物。影响无线电波传播的最重要因素是无线信道。它不可预见,难以捉摸,随机性是其复杂性的一个最为基本的特性。无线电波传播的建模与应用与无线信道的建模密不可分,在很多情况下两者的内涵是一致的,长期以来一直是移动无线通信系统研究和电波传播领域的难点和热点问题^[88]。

无线通信中的无线电波是在不规则的地域中传播,在设计信号覆盖、计算路径损耗时,需要充分考虑地形的因素。基于三维的地理信息系统的空间电磁波传播模型,能够进行三维空间场强预测,帮助移动运营商在各种复杂地形下准确地预测出信号强度分布,并由此做出最佳的频率规划,使运营商能利用有限的频率资源,取得最佳的信号覆盖和最大的系统容量,减少手机移动无线通信中的掉线率,增加网络的接通率。

通常可以把信道模型分成物理传播模型和统计模型两种。前者是根据电磁波传播的物理规律得到的,后者是使用等价低通复包络的系统表示方法得到的。关于无线信道模型的详细介绍,可以参见文献[72,88,105,111]。根据不同的研究观点,无线传播信道可以有多种分类方法。按照所研究传播范围(或尺度)的大小来划分,可以分为大尺度传播模型和小尺度传播模型。前者主要用于描述发射机与接收机之间长距离上(几百米或几千米)的信号强度变化,其变化速度比较慢;后者主要用于描述接收机在短距离(几个波长长度范围内),以及短时间(微秒或秒量级)内的接收信号强度变化,这种变化一般比较快^[112]。根据传播环境的一些典型特征,可以分为室内传播模型和室外传播模型。室内环境下,电波传播不受气候因素影响,而受建筑物尺寸、形状、结构和房间布局的影响,人员的活动也会对电波产生影响,但最主要的是建筑材料的影响。在室内环境下由于墙壁、门窗、家具和其他物体的存在,发射信号通过直射、反射、透射和绕射等多种路径到达接收机,这也使室内无线传播信道较为复杂。为研究多径信号的幅度衰落、多径时延等参数,室内信道统计模型依据在房间、楼道、走廊等处放置大量发射接收设备进行实验来得出结论。室外传播环境更为复杂,通常需要考虑传播路径的地形地貌,包括建筑物、树木、运载工具和电线杆等的影响^[112]。根据所使用载频信号的带宽,可以分为窄带信道、宽带信道和超宽带信

道等^[88]。

在复杂的移动无线通信环境中,电磁波的传播模式主要为散射、反射和绕射^[88,111]。在城市的宏蜂窝环境中,由于周围高大建筑物的遮挡,从发射机和接收机之间很少有可视路径传播信号(line-of-sight, LOS),到达接收机的信号都经历了各种障碍物的散射、反射和绕射。因此,接收信号是由各种散射、反射和绕射信号组成的,由于各个信号的传播路径和传播时间不同,它们到达接收机的时间、幅度和相位也各不相同,这些信号的相互作用造成了瞬时接收信号相位和幅度的随机波动,这也就是通常所说的多径衰落。多径衰落是无线信道中的一个最基本特性。本书尝试使用随机射线方法对其进行研究,侧重分析了超宽带脉冲无线信道的多径传播特性,以及短程窄带无线信道的空时特性和多径传播特性。

研究移动通信无线电波传播环境特性的另一个重要问题,是建立传播预测模型^[111,115]。根据理论分析或测量数据的统计分析,更一般的方法是把这两者相结合,可以建立各种劳务性的无线电波传播的预测模型。在给定频率、距离、收发信机的天线高度,以及其他有关的环境参数以后,就可以预测传播路径损耗,得到的结果可以直接应用于个人通信中蜂窝小区的网络规划与优化设计。本书以渗流理论为研究工具,以随机非波动的观点对无线电波传播特性进行研究。本书的研究成果,对于电波传播的物理建模、无线通信系统的通信链路预算,以及电磁兼容问题等研究具有重要的应用价值。

1.2 研究背景

1.2.1 传统窄带无线信道研究概述

无线信道是一种传输特性很差的信道。首先,信道的衰减大,而且衰减的情况非常复杂,既有和距离有关的衰减,也有阴影衰落和多径衰落。其次,无线传播路径既存在直线传播路径,也存在由于建筑物、山脉的阻挡而反射和散射的传播路径,等等。无线信道的偶然性很难分析,甚至是相对移动速度也会极大地影响衰落的程度。这就要求在实测数据的基础上,结合传播模型并根据传播环境的特点加以修正,自动拟合出适合当前覆盖预测的无线传播模型^[112]。

在确定无线电系统实际通信距离、覆盖范围和无线电干扰影响范围时,无线电波传播损耗是一个关键参数。无线电通信系统若不进行科学的频率指配和严格的系统设计,会使系统之间产生严重干扰而不能正常工作。为了保证无线电通信用户的通信质量,确保无线电波发射的业务覆盖服务区和电波传播的可靠程度,必须仔细地计算从接收天线到发射天线之间的传播损耗。理论上讲,在自由空间无线电波的传播损耗大小与传播距离的平方及使用频率的平方成正比关系,但是在确定无线电系统实际通信距离、覆盖范围和无线电干扰影响范围时,同时还要考虑在传播



路径上存在着各种各样的影响,如高空电离层影响,高山、湖泊、海洋、地面建筑、植被及地球曲面的影响等,因而电磁波具有反射、绕射、散射和波导传播等传播方式。在研究电磁波传播特性时,通常以数学表达式来描述这些传播损耗特性,即所谓的数学模型。无线电波传播模型十分复杂,必须对不同频段使用不同的电波传播模型,以预测发射台覆盖范围和传播场强。

在没有限定无线信道传播特性的前提下,例如无线电波在自由空间中进行传播,这时一般认为信号衰落只与传播距离有关。无线电波传播的自由空间模型认为在发射机和接收机之间的区域内,不存在吸收和反射无线信号射频能量的物体,同时假设在这个区域内的空气是一个完全均匀且不具有能量吸收性的介质。此外,地面被认为远离传播信号(或等效认为反射系数可以忽略)。在这个理想化的自由空间模型里,发射机和接收机之间的射频能量随距离的平方衰减。以发射信号表示的接收能量的衰减由一个路径损耗或自由空间损耗因子 $L_s(d)$ 表示。当接收天线为全向型时,这个因子表示为^[88]

$$L_s(d) = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (1.2.1)$$

在式(1.2.1)中, d 是发射机与接收机之间的距离, λ 为传输信号的波长。对于这种理想化传播,接收信号是很容易预测的。

在实际无线信道中,信号在空气和靠近地面的区域传播,自由空间模型描述信道和预测系统性能显然不够全面。在一个具体的无线移动通信系统中,信号从发射机到达接收机可能经过多次反射,经历不同的传播路径,这种现象称为多径传播。沿着各条不同路径传播的信号叫做多径分量,或者多径波。多径传播现象是无线信道的一个天然属性,它直接导致接收信号的幅度、相位,以及信号到达角度都存在波动,导致多径衰落。多径衰落是指信号随机波动或因多径传播而引起的衰落。为了消除或减弱因衰落而引起的信号失真,从发射机到接收机之间的传播建模和系统设计,往往比对只消除由加性高斯白噪声(additive white Gaussian noise, AWGN)引起的性能降低的建模及系统设计难度要大得多。

在移动无线通信系统中,有三种影响无线电波传播的机制:反射、绕射和散射^[88]。

无线电波经物体的光滑表面发生的反射现象,又叫做镜面反射,镜面反射遵循反射定律。通常,反射发生在传播的电磁波遇到表面光滑且与射频信号波长相比相当大的物体上。

绕射发生在发射机与接收机之间的无线电波路径被很大尺度(与波长相比)且密度较大的物体阻隔,导致在阻隔物之后产生二次波。绕射很好地解释了在发射机和接收机之间不存在直达路径的情况下,射频能量存在于视距能量(line-of-sight, LOS)和非视距能量(non line-of-sight, NLOS)这两者之间的现象。绕射也称作阴影衰落,表示即使在不可穿透物体的遮盖效应下,因绕射传播的电磁波仍然可以到达接

收机。

散射是由于传播环境中存在的微小粒子或障碍物对无线电波的一种作用,使无线电波偏离原来的传播方向而向四周传播的现象。散射发生在当入射波入射到一个尺度很大但表面粗糙的物体,或者物体尺度与波长相当,甚至更小时,使得反射能量在各个方向上散布开来。在城市环境中,导致散射发生的物体有路灯、路标和树木等。

图 1.2.1 是对无线信道的衰落机理的一个综述^[96],介绍了衰落信道类型。它简单而清楚地说明了移动无线通信的两种衰落模式:大尺度衰落和小尺度衰落。

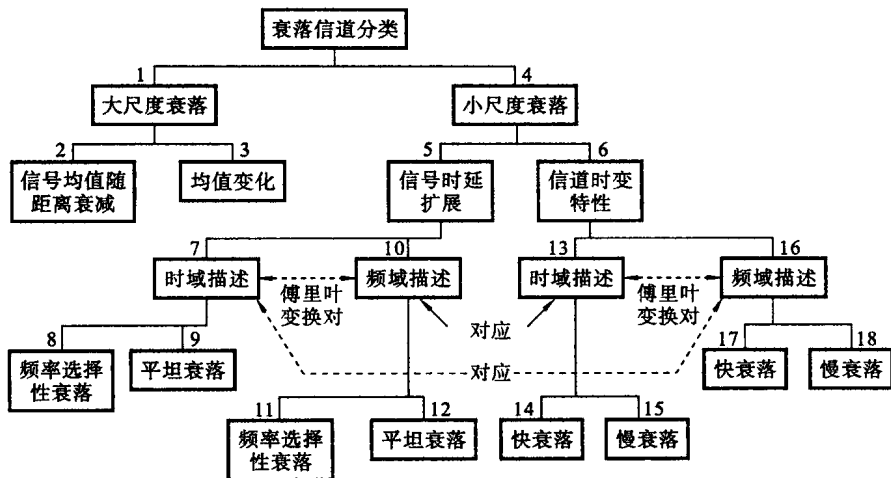


图 1.2.1 衰落信道类型

移动台是指移动通信终端,通常是指无线接收终端。大尺度衰落表征由于移动台经过较大距离的运动而引起的平均接收信号功率衰减或路径损耗。在图 1.2.1 中,大尺度衰落由图中 1、2 和 3 部分表示。这一现象是由于受到位于发射机与接收机之间的显著的地形特征影响(小山丘、森林、广告牌、建筑群等)造成的接收信号幅度缓慢变化。接收机经常被这些显著的地貌“遮盖”。大尺度衰落的统计特性提供了一种将路径损耗的估计值以距离为变量的函数计算方法,可以由均值路径损耗和对数正态分布的均值来表示。要得到精确且可以用来指导网络建设的路径损耗值,必须采用合适的传播模型,并且在不同的地形条件中进行模型参数的修正,得到反映不同地区实际无线环境对无线电信号影响情况的模型修正系数。只有这样,才能够比较准确地预测出小区的覆盖范围,进行进一步的链路级仿真计算,控制导频污染等问题。因此,大尺度衰落与相应的大尺度传播模型,对于无线网络规划与优化工作非常重要。

小尺度衰落是指在发射机和接收机之间的空间区域内,很小的变化(小到半个波长)会导致信号幅度和相位较大的变化的现象。在图 1.2.1 的第 4、5 和 6 部分中,表明小尺度衰落有两种机制,一种是信号时延扩展,另一种是信道时变特性。对于移动无线系统,因为发射机与接收机之间的相对运动造成传播路径变化,所以信道是时变

的,这些传播特性的变化率决定了信号的衰落速率。

小尺度衰落包含多种衰落模式,比较典型的一种通常称作 Rayleigh 衰落。当反射路径很多且没有可视路径(LOS)时,接收信号包络由 Rayleigh 过程描述。当有一个支配路径存在时,例如可视传播路径,那么小尺度衰落可以由 Rice 过程描述。其他的还有 Nakagami 衰落、Suzuki 衰落等^[88]。

当移动台在较大的区域内进行随机游走时,接收信号将同时经历两种衰落模式,即大尺度衰落,以及叠加在其上的小尺度衰落。

在传统窄带无线通信系统中,传播/统计模型具有这样的特性参数:路径损耗、阴影效应、多径时延扩展、相干带宽、多径到达时间、平均多径强度分布、多径分量的接收幅度分布、Doppler 频移等。这些无线信道所要研究的统计参量及其相互之间的关系,可以用图 1.2.2 给出其概要^[66]。该图非常清楚地描绘了窄带无线信道所需要研究的各统计参量,以及其相互之间存在的关系。不难看出,无线信道的信道冲激响应是研究整个无线信道性能的核心(图 1.2.2 中显示为 $\Phi_c(\Delta t, \tau)$,它是由无线信道的冲激响应 $h(t, \tau)$ 所生成的)。

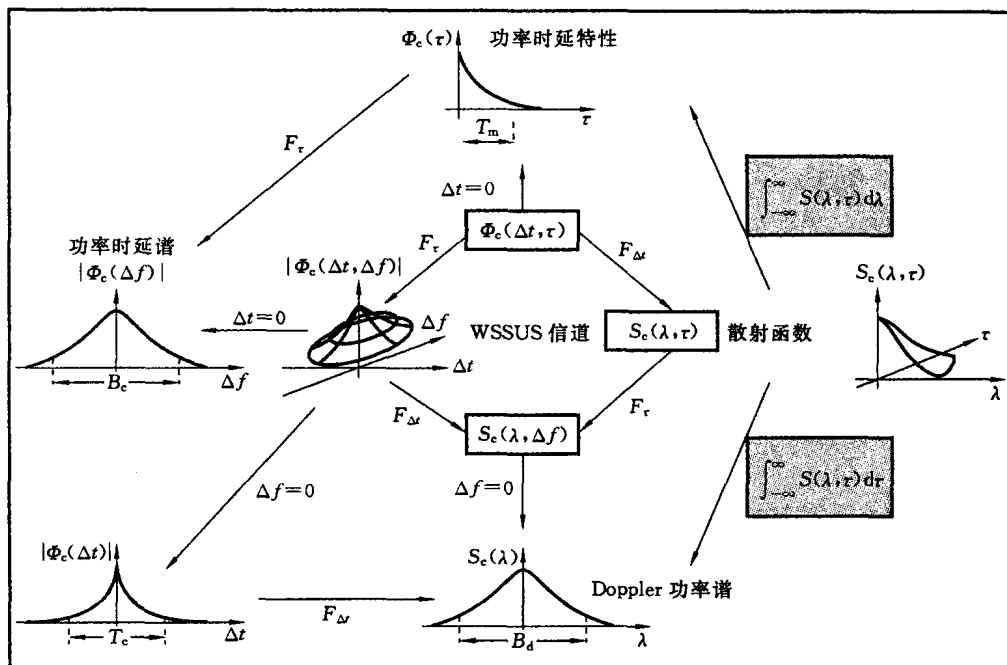


图 1.2.2 无线信道特性关系转移图^[66]

1.2.2 无线信道研究方法简介

移动无线通信中所遇到的无线信道的建模问题,一般是在经验传播模型的基础上,经过大量实地测量,对测量数据进行统计分析,对经验传播模型进行修正,以得到

适用于特定传播环境的信道模型^[54,88]。无线信道的分类方法很多,不同分类方法有各自的特点。总的一个原则就是,分类从所采用的方法、所关注的问题或所应用的背景等角度进行。

1. 实验建模方法

通过使用各种试验仪器,对无线信道的各种特性进行直接测量,随后利用统计工具对数据进行拟合和分析,是无线信道研究领域最为常见的方法。在 Rappaport 写的无线通信研究领域的经典著作^[88]中对其进行了较为详细的描述。

当前,ITU 推荐使用的信道模型^[53,54],以及 IEEE 802 系列标准^[18]推荐使用的模型及其参数,均使用这一主流方法。

2. 随机建模方法

从随机方法的过程,以及所得结果的特性上来看,在一些文献中使用的随机方法是与实验方法紧密相联系的。

无线信道建模中使用的随机方法,是使用各种统计方法,分析信道各个参量的统计特性。典型方法如冲激响应法,它基于实验测量,是一种完全随机性的方法^[88]。冲激响应法是通过实验,对无线信道进行测量,研究给定发送信号序列和接收信号序列的统计特性,得出信道的冲激响应,从中提炼出无线信道模型。这种方法通常都需要借助于非常专业的测量仪器和设备,对实验条件要求非常高^[72]。该方法能够得到无线信道参量的统计特性。

3. 射线追踪法

射线追踪法属于无线信道确定性研究方法的范畴,它根据 Maxwell 方程对信道进行研究,是一种完全确定性的方法^[91],也是一种面向电磁场工程应用的成熟的方法,常用来研究窄带无线通信系统,它非常适用于研究特定站址的信道参量特性。其原理是把高频电磁波当作射线,结合电磁场理论计算特定区域的场强,研究信道的传输特性。确定性方法的优点在于能够对特定站址的传播环境进行较精确的建模,目前 ITU 也推荐使用该方法作为无线通信系统和无线本地网规划的传播数据的预测方法^[54]。

通常情况下,室内大多数物体尺寸与波长相比要大得多,使得边界条件变得复杂,采用 Maxwell 方程组进行精确求解,从实用的角度来看是不可能的,而且即使用当今速度最快的计算机,采用数值解方法,其计算时间也会很长,因而是经济和不实用的。由于室内无线通信所用频率一般较高(如 1.8 GHz 或更高),因而波长与室内大部分物体尺寸之比足够小,电磁波可视为局部平面波,其传播可以用几何光学来近似,即认为电磁波沿直线传播,使用射线追踪法成为可能。射线追踪法的基本思想是:将发射点视为点源,其发射的电磁波作为向各个方向传输且有一定电场强度的射线,对每根射线进行跟踪,在遇到障碍物时按光传输理论进行计算,在接收点将到达该点的各条射线合并,计算接收点的场强或接收功率,从而实现电波传播的预测。这一方法已在室外和室内的电波传播预测中得到广泛的应用^[56,91]。