

学校编码：10384
学号：23320091152789

分类号__密级__
UDC__

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

典型场景分布式 MIMO 小尺度
衰落测量与研究

Measurements and Study based on Distributed MIMO
Small Scale Fading Characteristics

周跃键

指导教师姓名：黄联芬副教授
专 业 名 称：电子与通信工程
论文提交日期：2012 年 5 月
论文答辩时间：2012 年 5 月
学位授予日期：

答辩委员会主席：__
评阅人：__

2012 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):
年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

随着宽带移动通信的快速发展，人们希望有高速率和高质量的多媒体通信，然而移动通信系统的性能主要受到无线信道的制约，因此无线信道的分析与建模是显得非常重要和必要。无线信道模型的研究，主要集中在大尺度衰落模型和小尺度衰落模型，同时无线信道的建模是以实际信道测量为基础的。本文以针对目前研究热点场景如高铁或机舱等下的小尺度衰落（莱斯 K 因子和均方根时延扩展）为主线，分析信道小尺度衰落特性，主要用于传输技术的选择和接收机的设计。

本文首先阐述了小尺度衰落参数及小尺度衰落模型，重点研究了莱斯 K 因子以及均方根时延扩展的计算方法。然后对清华自主开发的 MIMO 信道测量平台的构架及工作原理研究并进行改进与完善，为实际测量中典型场景的小尺度衰落分析提供了硬件条件。接着利用 MIMO 信道测量平台对各个典型场景（飞机机舱、高铁等）开展了信道测量工作。在机舱场景中，利用实测数据重点分析了分布式 MIMO 和传统集中式 MIMO 系统对小尺度信道衰落特性的影响，得到该场景下分布式较集中式 MIMO 系统的信道变化较小并可提高系统的宏分集。同时分析比较了不同频段上小尺度衰落特性，为该场景的小尺度衰落分析提供一定的参考依据。在广深高铁场景中，利用实测数据对高架桥和山区场景的小尺度衰落特性（莱斯 K 因子和均方根时延扩展）展开了分析，得到莱斯分布（包括瑞利分布）可适用于该场景的小尺度衰落建模，建立了广深高铁中高架桥和山区场景的莱斯 K 因子与距离模型，并通过对均方根时延扩展分析，推导出了高铁场景下高架桥环境和山区场景产生多径的主要来源，为高铁场景中小尺度衰落建模提供了一定的参考价值。

在今后的研究中，可继续完善新平台和开展典型场景下的信道测量。同时在小尺度衰落分析中，除了要得到初步的小尺度衰落信道特性外，更需要建立相应的信道模型。

关键词：分布式 MIMO；信道测量；小尺度衰落

Abstract

In recent years, with the rapid development of wireless communication, people demand high communication quality. However, the property of wireless and mobile communication systems is subject to the constraints of the mobile radio channel. Therefore, it becomes very necessary in the wireless channel analysis and modeling. The fading analysis mainly includes Large-scale fading and Small-scale fading. And then the wireless channel modeling is based on the actual channel measurements. The paper is just to the Small-scale fading (Rice K factor and Delay Spread) as the main line to analyze the fading characteristics of the typical scenarios (aircraft cabin and high-speed railway).

Firstly, the Small-scale fading parameters and modeling is briefly introduced. And the computation researches of Rice K factor and Delay Spread are emphasized specially. Secondly, the new measurement platform and achievement of my work in the upgrading platform project are mainly proposed in the paper. At the same time, the measurements of various typical scenarios (aircraft cabin and high-speed railway, etc.) were carried out. Then properties of fading in DAS are analyzed by applying actual measured channel data within the aircraft in detail. Meanwhile, the coverage of K-factor in cabin between seat backrests and seats is compared. Moreover, the fading characteristics in the three frequency bands in aircraft are also analyzed in the paper. In the GuangZhou-Shenzhen high-speed railway scenario, the properties of fading (including K factor and RMS Delay Spread) also mainly are analyzed by applying actual measured channel data. And it presents that the Rician (Rayleigh) distribution is very suitable models to describe small-scale fading characteristics in the high-speed railway scenarios in K factor analysis. And then the correlation equations between K factor and distance are also obtained.

Finally, by analyzing the Delay Spread, it's derived the main multi-path source of the viaduct and mountain scenarios. And it could provide a certain reference value for the future high-speed rail fading analysis.

In the future study, I'll continue consummating the new channel measurement setup. And the new measurements of various typical scenarios will be carried out with the new platform. Meanwhile, in the Small-scale fading analysis, except to analyzing fading characteristics, it's more important to establish the appropriate models.

Key words: Distibuted MIMO systems; Channel measurement; Small-scale fading characteristics

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 信道测量平台的研究现状	3
1.2.2 典型场景小尺度衰落信道测量研究现状	3
1.2.3 宽带信道参数提取技术研究现状	4
1.3 论文的主要工作	4
1.3.1 论文研究的主要内容	4
1.3.2 论文研究的主要成果	5
1.4 论文结构安排	6
第二章 小尺度衰落信道参数的计算研究方法	8
2.1 小尺度衰落信道特性介绍	8
2.1.1 小尺度衰落信道参数	8
2.1.2 小尺度衰落信道的分类	11
2.2 莱斯 K 因子的计算研究方法	12
2.2.1 瑞利分布及莱斯分布简介	12
2.2.2 莱斯 K 因子的计算方法及意义	13
2.3 时延扩展的计算研究方法	14
2.3.1 时延扩展参数介绍	14
2.3.2 时延扩展的计算方法及意义	15
2.4 本章小结	15
第三章 MIMO 信道测量平台简介	17

3.1 现有测量平台介绍	17
3.1.1 测量平台结构	18
3.1.2 测量信号选取	19
3.1.3 开关切换方案	21
3.1.4 测量平台参数	21
3.2 改进升级平台介绍	23
3.2.1 改进升级平台结构	23
3.2.2 改进升级平台主要参数	24
3.2.3 改进升级平台技术研究	26
3.2.4 改进升级平台的升级工作	28
3.3 本章小结	30
第四章 机舱场景下 MIMO 小尺度衰落信道测量与分析	31
4.1 测量场景描述	31
4.2 测量结果处理	33
4.2.1 莱斯 K 因子	33
4.2.2 均方根时延扩展	34
4.3 测量结果分析	34
4.3.1 机舱内莱斯分布情况	34
4.3.2 机舱内分布式天线系统分析	35
4.3.3 分析比较不同频段上的莱斯 K 因子	37
4.4 本章小结	38
第五章 广深高铁场景下的信道测量及分析	39
5.1 测量场景描述	39
5.1.1 高架桥场景	40
5.1.2 山区场景	42
5.2 测量结果处理	43

5.2.1 莱斯 K 因子	43
5.2.2 均方根时延扩展	44
5.3 测量结果分析.....	45
5.3.1 莱斯 K 因子	45
5.3.2 均方根时延扩展	49
5.5 本章小结.....	52
第六章 结论与展望	53
6.1 总结.....	53
6.2 展望.....	54
参考文献	56
致 谢	59

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background.....	1
1.2 Research Actuality	3
1.2.1 Measurement Setup	3
1.2.2 Measurement based on Small-scale Fading Characteristics	3
1.2.3 Channel Parameters Computation	4
1.3 Main Contents of the paper.....	4
1.3.1 Research Contents	4
1.3.2 Research Achievements.....	5
1.4 The Structure Arrangement of the Paper.....	6
Chapter 2 The Computation Research of the Small-scale Fading Parameters.....	8
2.1 Small-scale Fading Characteristics Introduction.....	8
2.1.1 Small-scale Fading Parameters.....	8
2.1.2 Small-scale Fading Channel Category.....	11
2.2 The Computation Research of Rice K factor	12
2.2.1 Rice(Rayleigh) Distribution.....	12
2.2.2 The Computation Research Method of K factor.....	13
2.3 The Computation Research of Delay Spread	14
2.3.1 Delay Spread.....	14
2.3.2 The Computation Research Method of Delay Spread	15
2.4 Conclusion.....	15
Chapter 3 MIMO Channel Measurement Setup Introduction	16

3.1 Measurement Setup Introduction.....	16
3.1.1 Structure of Measurement Setup	17
3.1.2 Measurement Signal Introduction.....	18
3.1.3 Principle of Measurement Setup.....	20
3.1.4 Measurement Setup Parameters Introduction.....	20
3.2 Future Measurement Platform Introduction	22
3.2.1 Structure of Future Platform.....	22
3.2.2 Main Parameters of Future Platform	23
3.2.3 New Technique in Future Platform	25
3.2.4 Project Achievement.....	27
3.3 Conclusion.....	29
Chapter 4 In-Cabin Fading Characteristics Analysis Based on Distributed MIMO Measurements	30
4.1 In-Cabin Scene Description.....	30
4.2 Data Processing	32
4.2.1 Ricean K factor	32
4.2.2 RMS Delay Spread	33
4.3 Measurement Result and Fading Analysis	33
4.3.1 In-Cabin Rice Distribution	33
4.3.2 Fading Analysis of Distributed MIMO System.....	34
4.3.3 The Comparisons Among the Different Frequencies in K factor.....	36
4.4 Conclusion.....	37
Chapter 5 Fading Characteristics Analysis of High-speed Railway	38
5.1 Scenario Description	38

5.1.1	Viaduct Scenario.....	39
5.1.2	Mountain Scenario.....	41
5.2	Data Processing	42
5.2.1	Rice K factor.....	43
5.2.2	RMS Delay Spread	43
5.3	Measurement Result and Fading Analysis	44
5.3.1	Rice K factor Analysis.....	44
5.3.2	RMS Delay Spread Analysis	48
5.5	Conclusion.....	51
Chapter 6	Conclusion and Outlook	52
6.1	Conclusion.....	52
6.2	Future Outlook	53
	References.....	55
	Acknowledgements	58

第一章 绪论

1.1 研究背景

目前 3GPP 的 3G 长期演进 (LTE) [7] 得到了迅速的发展, 国际上 LTE 的商业网络部署也正在逐步起动, 超三代 (Beyond 3G, B3G) 或第四代 (4G, IMT-Advanced) [8-9] 移动通信技术的研究及标准制定也已经展开。然而, 移动通信系统的性能主要受到无线信道的制约, 信号在发射机和接收机之间的传播路径非常的复杂, 具有极度的随机性, 经历反射、绕射和散射等, 不可避免地受到衰落和干扰的影响, 同时用户的移动也会导致信道的快速变化, 这些因素都影响着无线通信系统的性能^[1]。因此, 分析和掌握信道的基本性质, 进行信道的建模, 是以大量实验为基础, 通过信道的建模, 理解无线通信技术的本质, 分析和预测移动通信系统的性能, 是移动通信技术发展的基础性工作^[2]。

对传播模型的研究, 传统上采用距发射机一定距离处平均接收信号场强的预测, 以及特定位置附近信号场强的变化。通过预测平均信号场强建立无线信道的传播模型, 可以分为大尺度传播模型和小尺度衰落模型。描述发射机与接收机之间 (T-R) 长距离 (几百米或几千米) 上的信号场强变化, 所以称为大尺度传播模型, 主要用于研究电波传播的时间和空间上平均的特性, 它是无线系统覆盖的重要理论基础, 大尺度带来的衰落是无法克服的, 只有增加发射功率、天线增益才能改善, 其模型主要用于预测覆盖、干扰、规划和宏分集; 描述短距离 (几个波长) 或短时间 (秒级) 内接收场强的快速波动的传播模型, 称之为小尺度衰落模型, 主要用于传输技术的选择和接收机的设计。

小尺度衰落是指无线电信号在短时间或短距离传播后其幅度、相位或多径时延快速变化, 以至于大尺度路径损耗的影响可以忽略不计。这种衰落是由于同一传输信号沿两个或多个路径传播, 以微小的时间差达到接收机的信号互相干扰所引起的, 这些波称为多径波。接收机天线将它们合成一个幅度和相位都

急剧变化的信号，其变化程度取决于多径波的强度、相对传播时间及传播信号的带宽。其中，多径传播、移动台的运动速度、环境物体的运动速度、信号的传输带宽等都是影响小尺度衰落的因素^[1]。

在移动无线信道中，瑞利分布式最常见的用于描述平坦衰落信号接收包络或者独立多径分量接收包络统计时变特性的一种分布类型。当存在一个主要的稳定的（非衰落）信号分量时，如视距传播，则小尺度衰落的包络分布服从莱斯分布。当主信号减弱时，混合信号近似于一个具有瑞利的噪声信号。因此，但主要分量减弱后，莱斯分布就转变为瑞利分布^[1]。而莱斯分布常用参数 K 来描述， K 定义为确定信号的功率与多径分量方差之比，所以 K 因子能够很好的反映多径散射情况。与此同时，由于散射，反射产生的时延扩展也能很好的反映多径散射情况。

多输入多输出 (MIMO, Multiple-Input Multiple-Output) 天线传输技术在发射端和接收端分别采用多个天线，充分利用了信号的空间特征，增加了处理的自由度，运用先进的无线传输与信号处理技术，利用无线信道的多径传播，开发空间资源，从而能够在不增加带宽的情况下成倍提高系统的数据传输速率和传输质量，开拓了一条有效利用空间资源提高传输速率和频带利用率的方法，是无线通信领域的一个重大突破，目前发射分集技术已经被纳入不同 3G 标准中。多天线技术作为提高通信系统容量的重要途径已成为下一代无线通信的研究热点^[45-47]。

MIMO 多天线技术主要分为分布式 MIMO 系统以及传统集中式 MIMO 系统，顾名思义，分布式天线系统是指将多根天线分布在不同的地理位置上，是在传统 MIMO 系统上的升级与完善。集中式 MIMO 系统与分布式 MIMO 系统在物理信道方面是有很大的差异，特别是在小尺度衰落方面，两者也有一定的特性差异。

综上所述，分布式 MIMO 的小尺度衰落分析及研究对于 IMT-Advanced 系统的技术开发和系统应用都有着重要的意义，对典型场景下分布式 MIMO 信道的

测量、小尺度参数处理、小尺度衰落分析及建模相关内容的研究，可为未来移动通信系统的各个方面提供理论和实践依据，为我国下一代移动通信系统的设计和工程实践起到基础性与先导性作用^[15]。

1.2 国内外研究现状

目前基于分布式 MIMO 小尺度衰落的研究主要集中在测量平台升级与完善、信道测量环境的选取与划分及信道的参数提取、分析及建模等方面。

1.2.1 信道测量平台的研究现状

信道测量平台是开展信道测量的基础，目前搭建或生产了 MIMO 信道测量平台的主要公司和高校有：Motorola 公司^[23]、瑞典皇家理工大学（KTH）^[24]、芬兰赫尔辛基工业大学（HUT）^[25]、美国杨百瀚大学（BYU）^[26]、德国的 MEDRV 公司^[27]和芬兰 Elektrobit 公司^[28]等。其中 MEDRV 和 Elektrobit 公司分别生产的 RUSK 和 Propsound 信道测量仪作为比较成熟的商用测量平台，技术指标具有一定优势，并且公司提供全套的测量方案，因而得到了较广泛的使用。

但是这些测量平台也有一定的局限性，比如，知识产权属于国外，技术细节只有厂家掌握，固定的频段及天线，扩展方面也不方便，价格比较昂贵，维修不方便且费用也比较高等等。因此，有必要研发具有自有知识产权的宽带 MIMO 信道测量系统，掌握信道测量的基本理论和主要方法。

1.2.2 典型场景小尺度衰落信道测量研究现状

目前国内外许多公司或研究机构都针对典型场景展开了测量，其中在国外研究机构中，欧洲 WINNER 组织 WP5 工作小组在不同信道场景中所组织实施的测量最具代表性，其测量结果为欧洲下一代移动通信系统的设计提供了参考数据^[13,14]。这些参考数据对我们的无线通信技术有一定的参考价值，但是由于国外的建筑材料，小区建筑布局，室内装修布局等差异，导致国外典型场景下

的电波传播特性与我国可能存在一定的差异，所以针对我国实际室内外典型场景，有必要开展信道测量。目前在国内，东南大学，清华大学，北京邮电大学等国内研究机构在国家重大专项子课题“电波传播与信道建模”的支撑下，也针对许多典型场景展开了测量，也获得了一定的科研成果^[33-36]。

1.2.3 宽带信道参数提取技术研究现状

在信道参数提取的过程中，需要使用准确的信道参数估计算法。目前国内外同行提出的估计算法，大致可分为谱分析方法和参数化估计方法两类^[42]。在小尺度参数提取中，其中包括多普勒信息提取、时延扩展、以及莱斯 K 因子的提取等小尺度参数信息。本文主要是提取、处理、分析莱斯 K 因子以及时延扩展这两种小尺度参数，通过分析莱斯 K 因子以及时延扩展，可以很好的分析多径分布的情况以及典型场景下电磁波散射的情况。

1.3 论文的主要工作

1.3.1 论文研究的主要内容

本文以分布式 MIMO 信道为主要研究对象，面向我国 IMT-Advanced 系统的需求，针对典型场景下基于分布式 MIMO 的小尺度衰落测量、分析中存在的问题展开研究。论文采用了理论分析、平台升级与完善、实际测量、仿真估计和实测验证相结合的技术路线，将研究内容自下而上地分为搭建平台、开展测量、参数估计、信道建模四个部分，具体的研究内容如下：

1. 升级、完善现有具有自主知识产权的分布式 MIMO 信道测量平台。完成高频段（3~6GHz）和大带宽（100MHz）信道测量系统的设计，应具有开发和维护成本低、可灵活扩展、支持分布式架构等基本特征，可以满足后期参数分析、建模工作的需要。研究测量理论和测量方法，对非理想因素（如天线方向图、射频频差、相位噪声等）导致的测量误差进行分析，并加以校正。

2. 使用所研制的宽带 MIMO 测量平台，对我国室内外各种典型场景进行分

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库