

学校编码: 10384
学号: 23120121152862

分类号____密级____
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

高隔离度多极化 MIMO 天线的研究与设计

Research and Design of High Isolation
multipolarization MIMO Antennas

张 斌

指导教师姓名: 李伟文 副教授

专 业 名 称: 电磁场与微波技术

论文提交日期: 2015 年 月 号

论文答辩时间: 2015 年 月 号

学位授予日期: 2015 年 月 号

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015 年 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

无线通信行业的蓬勃发展带来了频谱资源的日趋短缺，在有限的频谱资源上提高通信系统的传输速率和传输质量成为通信领域的研究重点。MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*, 多入多出) 可以在不增加发射功率和传输带宽的条件下，显著提高系统的信道容量和频谱利用率，MIMO 技术是无线通信行业的革命性技术。当前，天线问题是限制 MIMO 技术发展的最大障碍之一。

本文在介绍 MIMO 天线的研究背景和意义，以及综述近年来国内外 MIMO 天线发展现状的基础上，对 MIMO 天线的相关理论和性能指标进行了归纳。重点讨论现有的几种提高 MIMO 天线单元隔离度的方法，为 MIMO 天线的设计奠定理论基础，并以 MIMO 天线的设计作为本文的研究目标。

论文以可用于 IEEE 802.11n 通信标准的 MIMO 天线为设计实例，提出了几种天线结构，并给出了对应天线的设计思路，分析特定结构参数对天线性能的影响，通过测试和仿真的对比来验证设计天线的可靠性。

采用共面波导馈电和槽线馈电相结合的方式，设计了一款工作于 WLAN 的 2.4 GHz 高隔离度 MIMO 微带天线。实验结果显示，工作频段内，所设计天线的端口隔离度大于 35 dB，最大辐射方向交叉极化比大于 45 dB。除了较高的端口隔离度和极化纯度外，它还具有结构紧凑特点，较适用于 WLAN 的 MIMO 系统。

在正方形贴片的一角侧开双缝隙，通过共面带状线和同轴线馈电结构，利用半波折合振子辐射模式和贴片天线辐射模式，实现了一款共置高隔离度双极化贴片天线。工作频段内，所设计天线的端口隔离度大于 23 dB。同时，天线可实现双极化特性，在最大辐射方向极化隔离度大于 30 dB。所设计天线具有良好的端口隔离度和极化隔离度，可应用于壁挂 WLAN 基站。

采用带背腔的环形缝隙作为天线辐射元，通过两条相互正交的微带馈线作为双极化天线的端口，设计了一款适用于室内 WLAN 系统的 2.4 GHz 频段双极化腔体方向性 MIMO 天线。在工作频段内，所设计天线的端口隔离度大于 32 dB；最大辐射方向上，天线的主极化辐射场比交叉极化大 30 dB 以上，天线增益达到 5.1 dBi。在此基础之上，利用相互正交信号的衰落互不相关的特点，设计出一款结构紧凑、隔

离特性良好、辐射场极化纯度较高的新型三端口三极化 MIMO 天线，该天线在 TD-LTE 的 E 频段内达到良好的工作性能。

最后，对本文提出的设计进行总结，并提出进一步的研究设想。

关键词： MIMO 天线； 隔离度； 多极化； 贴片天线

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

The rapid development of wireless communication technologies has brought a growing shortage of spectrum resources. Improving the transmission rate and the communication quality in this restricted condition then become the research focus of communication technologies. MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) technology, which is considered to be the revolutionary technology of the next generation wireless communication systems, can significantly improve the channel capacity and spectral efficiency without additional transmission power and signal bandwidth. Currently, one of the biggest obstacles restricting the MIMO implementation is the MIMO antenna technology problem.

In this thesis, the application background and the recent studying status of MIMO antennas are introduced firstly. The fundamental theory and performance index of MIMO antennas then are summarized. Focusing on the isolation improvement between the MIMO antenna elements, we generalize some design guides of MIMO antennas and take the MIMO antenna design as this thesis research target.

Thus, several MIMO antenna structures are proposed to meet the requirement of IEEE 802.11n communication standards in this thesis. The design process having been introduced, the specific structural parameters influences on the antenna performance are analyzed in detail. The simulation results are compared with the measurement ones to verify the reliability of these design technologies.

Firstly, a compact dual-port and dual-polarization MIMO antenna is proposed for 2.4-GHz wireless local area network (WLAN) systems. The radiation elements include a monopole, which radiates linearly polarized waves, and a patch ring, which provides the orthogonal linear polarization. It is fed via a coplanar waveguide port and a slot line port, respectively. According to the measurement results, the isolation between two ports over the operating frequencies is better than 35 dB and the cross polarization discrimination (XPD) are better than 45 dB at the main direction. This proposed antenna also has the

merit of low volume.

Secondly, a dual-port patch antenna of dual-polarized directional radiation is presented. The patch element is a square of two open slots. The designed antenna can radiate the microstrip antenna mode, which is excited by coaxial line, and the folded dipole mode excited by a coplanar stripe. The experimental results show that over the operating frequencies the isolation between two ports is better than 23 dB. Meanwhile the polarization isolation levels are larger than 30 dB at the main radiating direction for all the two ports. This proposed antenna is suited for the WLAN wall-mounted base-station systems.

Then, a unidirectional, dual-polarized MIMO antenna is proposed for indoor 2.4-GHz WLAN. This antenna consists of a cavity-backed annular slot and two inverted microstrip feed lines which are mutually orthogonal. The experimental results show that this antenna has more than 32 dB port isolation, and the cross-polarized levels are less 30 dB than the co-polarization over the working band. The compact size and excellent performances indicate this designed antenna can be easily applied in indoor MIMO WLAN base station. On this basis, a tri-polarization MIMO antenna is presented, since that the fading of orthogonal signal are irrelevant. This antenna has good performances in the TD-LTE band.

Finally, we summarize the design key points in this thesis and propose the further research object.

Keywords: MIMO antenna; High isolation; Multipolarization; Patch antenna

目录

第一章 绪论	1
1.1 移动通信系统概述	1
1.2 MIMO 技术的研究背景及意义	2
1.3 MIMO 天线研究现状	3
1.4 论文主要内容和结构规划	12
参考文献	13
第二章 MIMO 天线的基础理论	16
2.1 天线的基本参数	16
2.2 MIMO 天线的特有参数	22
2.3 提高 MIMO 天线单元隔离度的方法	27
2.4 本章小结	39
参考文献	39
第三章 双馈双极化微带天线	45
3.1 微带天线理论	45
3.2 天线的设计	52
3.2.1 天线结构与分析	52
3.2.2 实验结果与分析	54
3.3 本章小结	57
参考文献	57
第四章 共置双极化单向辐射天线	59

4.1 引言	59
4.2 天线结构与分析	59
4.3 实验结果与分析	61
4.4 本章小结	65
参考文献	66
第五章 多极化腔体方向性天线	67
5.1 引言	67
5.2 天线结构与分析	67
5.3 实验结果与分析	69
5.4 加载接地微带线对天线性能的影响	72
5.5 结构参数分析	76
5.6 三极化 MIMO 天线	81
5.7 本章小结	85
参考文献	86
第六章 总结与展望	87
攻读硕士学位期间的科研成果	88
致 谢	89

CONTENTS

Chapter 1 General Description	1
1.1 Mobile Communication System	1
1.2 Background and Significance	2
1.3 Research Status	3
1.4 Main Work and Structure Plan	12
References	13
Chapter 2 Theories of MIMO Antennas	16
2.1 Basic Parameters of Antennas	16
2.2 Specific Parameters of MIMO Antennas	22
2.3 How to Improve the Isolation of MIMO Antennas	27
2.4 Summary	39
References	39
Chapter 3 Dual-polarized MIMO Microstrip Antenna	45
3.1 Theoretical Analysis	45
3.2 Antenna Design	52
3.2.1 Antenna Structure and Analysis	52
3.2.2 Experimental Results and Analysis	54
3.3 Summary	57
References	57

Chapter 4 Co-Located Dual-Polarized Patch Antenna	59
4.1 Introduction	59
4.2 Antenna Structure and Analysis.....	59
4.3 Experimental Results and Analysis	61
4.4 Summary	65
References.....	66
Chapter 5 Multipolarization Cavity-Backed Annular Slot Antenna	67
5.1 Introduction.....	67
5.2 Antenna Structure and Analysis	67
5.3 Experimental Results and Analysis	69
5.4 Analysis of Ground Microstrip Line.....	72
5.5 Analysis of Structural Parameters.....	76
5.6 A Three-polarized MIMO Antenna.....	81
5.7 Summary	85
References.....	86
Chapter 6 Summary and Expectation	87
The Achievements.....	88
Acknowledgements.....	89

第一章 绪论

1.1 移动通信系统概述

在过去的几十年里，移动通信技术取得了巨大的进步，与之相关的各项成果，在人们的生产生活中发挥着举足轻重的作用^[1]。从第一代模拟蜂窝系统到现在的 4G 通信时代，无线通信技术经历着一场翻天覆地的演变^[2-5]。

1.1.1 第一代模拟蜂窝系统

模拟蜂窝系统，以 AMPS 和 TACS 为主要代表，首次实现了双向语音移动通信，引领了移动通信行业的发展。模拟蜂窝系统的缺点主要有业务量小，频谱利用率低，速度慢，保密性差和成本高等。这些问题也加速了第二代移动通信系统的出现。

1.1.2 第二代数字移动通信系统

第二代数字移动通信系统（2G），以传送语音和低速率数据为主，因此又叫做窄带数字通信系统^[6]。该系统基于线路交换技术，采用时分多路复用的模式。相比第一代模拟蜂窝系统，2G 系统在系统容量和传输功能上有一定的提升。但是业务种类依然具有一定的局限性，随着互联网的普及，通信业务种类和数量的需求爆发式增长，2G 系统远远没办法满足时代的需求。

1.1.3 第三代数字移动通信系统

第三代数字移动通信系统（3G），主要业务是移动宽带多媒体通信。该系统采用宽带 CDMA 技术，把 Internet 与移动通信有机结合起来，在兼容第二代通信系统的同时，还具有以下优点：频谱利用率高，系统容量大，数据传输速率高，通信质量好，无缝覆盖和漫游，安全保密性好等。3G 系统相比于 2G 系统，传输性能上有了明显的改善，目前 3G 系统基本普及，4G 系统正在运行和完善之中。

1.1.4 第四代移动通信系统

第四代移动通信系统（4G），也可叫做广带接入和分布网络，是现阶段通信行业的研究热点。4G 系统支持从语音到多媒体，首次实现三维图像的高质量传输，同时传输率还可以根据业务需求进行动态的调整。4G 系统相比于 3G 系统拥有更多的优势，比如 4G 系统集成多功能的宽带接入移动通信系统，可以提供远程控制、定位定时、数据采集等功能。同时还有速度更快、频谱更宽、业务种类更完善、智能性更高、兼容性更强、通信费用更便宜等优点。

1.2 MIMO 技术的研究背景及意义

移动通信已经发展到 4G 时代，并开始 5G 标准的制定，稀缺的频谱资源逐渐成为通信技术的发展瓶颈^[7]，这也直接推动了 MIMO 技术的研究。

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*, 多输入多输出) 技术在发射端和接收端使用多个天线，可以在不增加发射功率和带宽的前提下，通过多路收发利用信道衰落，成倍地提高系统的信道容量和频谱利用率^[8]。图 1-1 为 MIMO 系统的工作原理示意图^[9]，发射端通过空时映射将要发送的数据信号映射到多根天线上发送出去，接收端将各根天线接收到的信号进行空时译码从而恢复出发射端发送的数据信号。

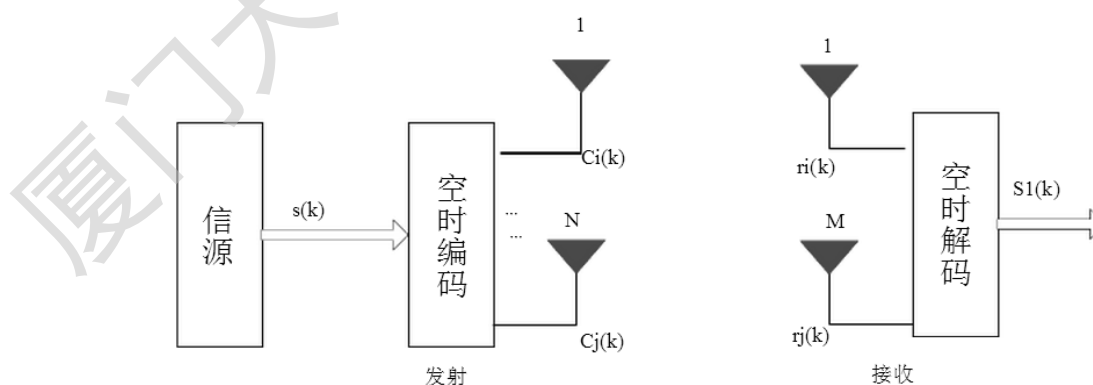


图 1-1 MIMO 系统工作原理图

MIMO 技术由马可尼于在 1908 年首次提出，上世纪九十年代，Foschini 和 Telatar 等人从理论上证明了在收发端都采用多副天线，可以突破香农公式的限制^[10]，成倍的提高通信容量^[11-12]。

在飞速发展的信息时代，MIMO 技术是 LTE (*Long Term Evolution*, 长期演进) 和 4G 系统的核心技术之一，有着广泛的应用前景^[13-15]。

如表 1-1 所示，3GPP 给出了在平坦衰落的条件下，基于 2 GHz-4 GHz 频段，载波间距为 5 MHz 时，下行链路中使用 MIMO 系统得到的峰值数据速率。可以看到，MIMO 系统在峰值数据速率上有很大的优势，并且随着天线数量的增加而增大。

表 1-1 不同 MIMO 系统结构实现的峰值数据速率

(M, N)	Tx 技术	码速	调制方式	速率/子数据流	子数据流	数据速率
(1,1)	传统	3/4	64QAM	540 Kbps	20	10.8 Mbps
(2,2)	MIMO	3/4	16QAM	360 Kbps	40	14.04 Mbps
(2,2)	MIMO	3/4	QPSK	180 Kbps	80	14.04 Mbps
(4,4)	MIMO	1/2	8PSK	540 Kbps	80	21.6 Mbps

现有的研究表明，MIMO 无线通信系统在信道容量方面，有很大的潜能^[16-17]，但在实际应用中，要利用 MIMO 技术获得较大的信道容量，还面临一些技术难题，其中一个难点就是天线的设计，天线性能的优劣从根本上影响着通信系统性能的好坏。实际应用中，天线的数量是 MIMO 系统的重要参数，也决定了信道容量提升的效果，但是在有限的空间内，天线数量的增加会导致体积的增大，互耦的加剧，隔离度的恶化等很多问题^[18-20]。因此，如何在有限的尺寸内设计出符合要求的 MIMO 天线，是当前亟待解决的难题，也是 MIMO 技术的研究重点。

本文基于无线通信的基本原理，研究了 MIMO 系统中的多天线问题，提出了一些解决思路，并在此基础之上设计了几款适用于 WLAN 的小型化 MIMO 天线。

1.3 MIMO 天线研究现状

目前限制 MIMO 技术发展的主要问题是 MIMO 天线的设计，近年来，国内外学者对适用于 MIMO 系统的天线开展了深入的研究，并设计了多款各具优势的

MIMO 天线。

1998 年, J. F. Zurcher 等人设计了一款双端口双频低耦合印刷天线^[21], 如图 1-2 所示, 该天线具有良好的耦合和辐射特性, 可用于 WLAN 通信系统中。

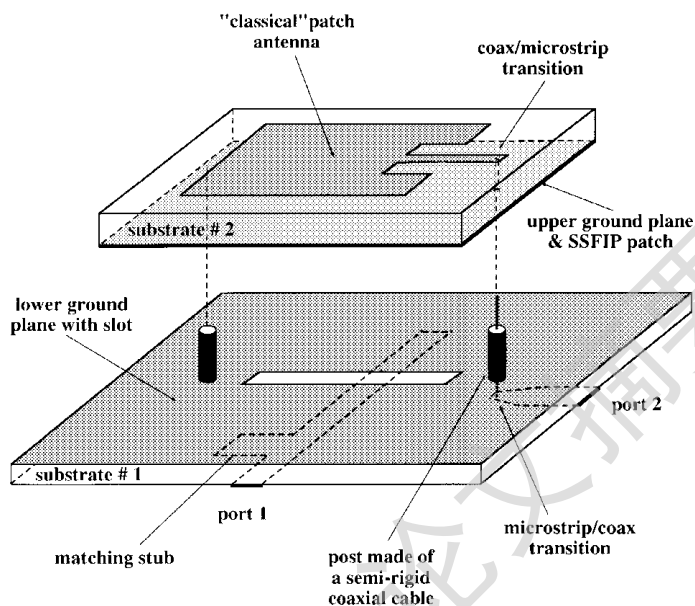
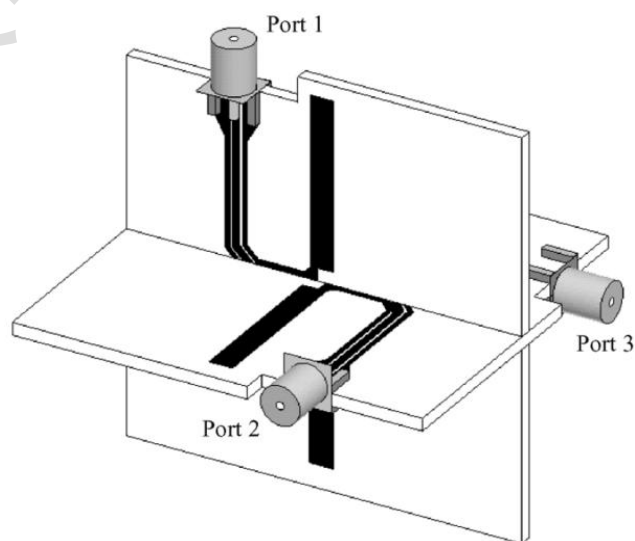
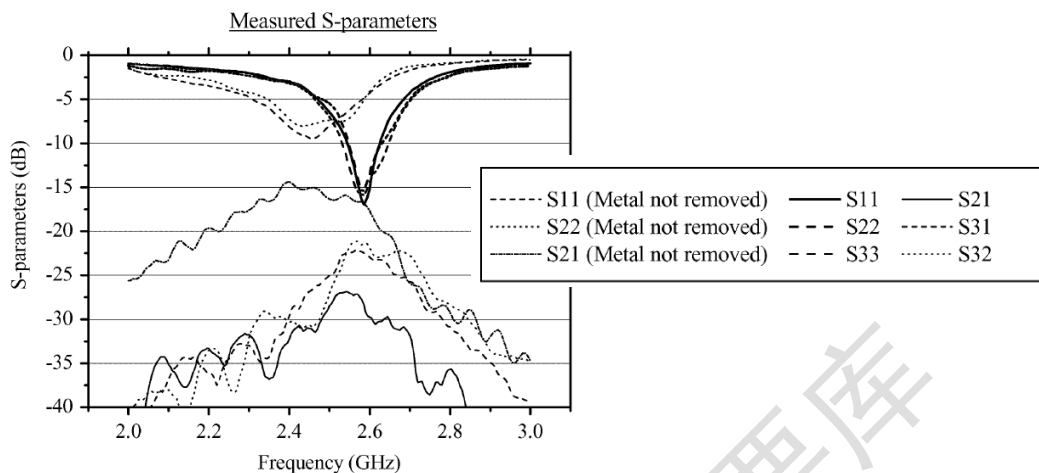


图 1-2 双端口双频低耦合印刷天线

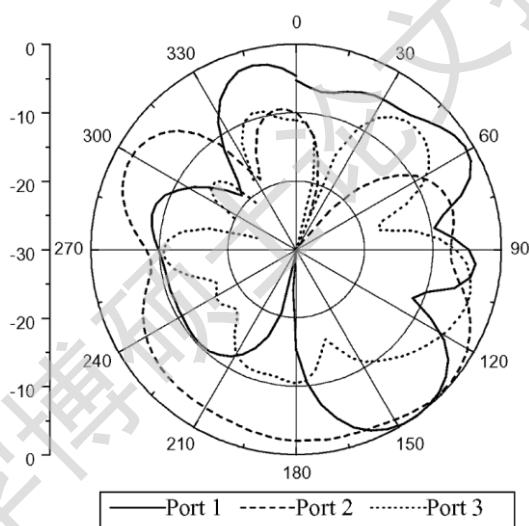
2007年, Chi-Yuk Chiu等人设计一款 3×3 MIMO天线^[22], 如图1-3所示, 利用极化分集和开槽的方式, 两两正交实现天线结构紧凑。由图1-3(b)和1-3(c)可知, 天线的谐振点在2.58 GHz, 隔离度大于21 dB, 增益达到4.8 dBi。由于互耦的影响, 天线的效率略低, 只有48%。



(a) 天线结构图



(b) S参数曲线



(c) 某一端口激励时天线的电场面方向图

图1-3 紧凑型三端口正交极化天线

2009年, Chih-Chun Hsu等人设计了一款用于便携式设备的高隔离度MIMO天线^[23], 如图1-4所示, 它利用了人造周期金属带隙结构实现左手特性, 获得负的等效介电常数以提高天线元间的隔离。这种结构等效于具有带阻特性的LC谐振电路, 可以突破常规天线尺寸的限制, 实现天线的小型化。由图1-4(b)的S参数曲线可以得到, 这款天线的中心频点在2.6 GHz, 端口隔离度大于15 dB。

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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.