

学校编码: 10384  
学号: 33120131152859

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

基于可控超材料的自适应近场隔离新方法

A New Adaptive Near Field Isolation Method Based on  
Controllable Metamaterial

于丰畅

指导教师姓名: 朱春辉 助理教授

张 谅 博士后

专 业 名 称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2016 年 月

论文答辩时间: 2016 年 月

学位授予日期: 2016 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2016 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

天线之间的隔离度在许多无线通讯系统中都有要求。在诸如多天线的 MIMO 系统、同频双工等等众多实际工程中,天线的隔离度直接决定了工作设备的性能。而这些天线往往处于彼此的近场,而近场隔离相对于远场有更高的难度。现有的提高隔离度的方法普遍只能达到 30 到 50 dB 左右的隔离度,并且均是静态方法。这在实际应用中往往无法满足越来越高的性能和功能要求。

本文提出了一种基于可控超材料和人工智能算法的自适应近场隔离方法。首先给出了基本的数学模型,并证明该方法的合理性。为了检验理论的正确性,根据理论模型加工了相应的超材料和天线系统并在暗室中搭建了相应的实验环境、编写了基于遗传算法的人工智能的程序。利用该方法,对相距 0.8 倍波长的两个 2.4GHz 单极子天线实现了超过 110 dB 的隔离度。试验达到了预期的效果,直接证明了这种方法的可行性,并且达到了非常高的隔离度。在完成理论验证试验之后,又针对工程实际场景设计了双极化天线阵列隔离系统。利用该方法不但实现了单频点(2.41GHz) 104.3 dB 的隔离,并在 4 MHz、8 MHz、22 MHz 带宽约束条件下实现了 95.2 dB、92.1 dB、76.0 dB 的隔离度,实现了带宽可约束。为了验证其环境自适应能力,本文在隔离之后的系统近场主辐射区域放置了瓶装水。在硬件不变的情况下重新优化,该系统依然能够恢复到之前的隔离度水平。此外,这种方法对天线本来的辐射以及匹配影响都很小。

**关键字：** 隔离度 遗传算法 自适应

厦门大学博硕士学位论文摘要库



## ABSTRACT

The isolation between antennas is required in many wireless communication systems. In many practical projects, such as the MIMO system with multiple antennas, the same frequency duplex and so on, the isolation of the antenna directly determines the performance of the equipment. These are often in the near field antenna near-field isolation of each other, with respect to the far field has a higher degree of difficulty. The existing methods of improving isolation can only reach 30 to 50 dB of isolation, and both are static methods. This is often unable to meet the more and more high performance and functional requirements in practical applications.

In this paper, an adaptive near field isolation method based on controllable metamaterial and artificial intelligence algorithm is proposed. The basic mathematical model is given, and the rationality of the method is proved. In order to test the theory, according to the theoretical model, processing the corresponding metamaterial and antenna system and in the darkroom built corresponding experimental environment, compiled based on genetic algorithm of artificial intelligence program. By using this method, the isolation of two 2.4GHz monopole antennas at 0.8 times the wavelength of 110 dB is achieved. The experiment has achieved the expected effect, directly proves the feasibility of this method, and has achieved a very high degree of isolation. After completing the theoretical verification, the dual polarization antenna array isolation system is designed for the engineering practice. By using this method, the isolation of single frequency point (2.41GHz) 104.3 dB is achieved, and the isolation of 95.2, 92.1 and 76 dB is achieved in 4, 8 and 22 MHz bandwidth constraints. In order to verify the adaptive capacity of the environment, in this paper the bottled water was placed in the near field of the system after the isolation. In the case of hardware unchanged to re-optimize the system is still able to return to the level of isolation before. In addition, this method has a very small effect on the original radiation and the matching of the antenna.

**Keywords:** Isolation, Genetic Algorithm , Adaptive

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 目录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 天线的隔离度 .....	1
1.2 研究意义 .....	2
1.3 国内外研究现状及发展动态分析 .....	4
1.4 本文的主要研究内容 .....	6
<b>第二章 数学模型</b> .....	9
2.1 隔离器的设计 .....	9
2.2 隔离器数学模型 .....	14
2.3 遗传算法 .....	15
<b>第三章 原理性实验与实测结果</b> .....	19
3.1 基于遗传算法的优化平台搭建 .....	19
3.2 优化平台的数据接口实现 .....	21
3.3 遗传算法的程序实现 .....	25
3.4 单频点隔离优化 .....	37
<b>第四章 双极化天线阵列的隔离</b> .....	45
4.1 天线阵的设计 .....	45
4.2 隔离的初步优化 .....	48
4.3 带宽约束优化 .....	50
4.4 环境适应性 .....	53
4.5 隔离屏对原阵列的影响 .....	57
<b>第五章 总结与展望</b> .....	61
5.1 总结 .....	61
5.2 展望 .....	62
<b>参考文献</b> .....	63

研究生期间科研成果 .....	66
致谢.....	67

厦门大学博硕士论文摘要库

## CONTENTS

Chapter 1 Introduction .....	1
1.1 Antenna Isolation Definition.....	1
1.2 Significance of the Rsearch .....	2
1.3 Research status and development trend of domestic and foreign research .....	4
1.4 Main Contents of this Thesis .....	6
Chapter 2 Mathematical Model .....	9
2.1 Design of Isolation Screen.....	9
2.2 Mathematical Model of Isolation Screen.....	14
2.3 Genetic Algorithm.....	15
Chapter 3 Principle experiment and experimental results.....	21
3.1 Optimization Platform Construction Based on Genetic Algorithm ..	21
3.2 Implementation of data interface for optimization platform.....	23
3.3 Program implementation of genetic algorithm .....	27
3.4 Single frequency point isolation optimization .....	39
Chapter 4 Array system Isolation .....	47
4.1 Design of the array system.....	47
4.2 Preliminary optimization .....	50
4.3 Bandwidth constrained optimization .....	52
4.4 Environmental adaption.....	55
4.5 Influences on the original arrays.....	59
Chapter 5 Summing-up and Prospect .....	63
5.1 Summing-up.....	63
5.2 Prospect.....	64
Reference .....	65
Publications.....	68

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 第一章 绪论

随着社会经济水平的发展,无线电的各种应用越来越成为人们生产生活中不可或缺的重要组成部分。更多的无线电设备不断地布置在有限的空间内,随之而来的便是越来越严重的无线电干扰。无线电干扰一般主要成分是天线间的耦合。常常用隔离度来定量的表征耦合的强弱,定义为一个天线的发射功率和另一个天线的接收功率之比,用 dB 表示。其值越低表示天线之间的耦合越好。

进入 21 世纪以来,信息通讯迎来爆炸式增长,无线通信业务和宽带数据业务有了长足的发展,无限资源尤其是频谱资源变得越来越紧张。各种不同种类的无线通讯系统中电磁兼容问题都越来越受到重视。比如为了更加高效地利用有限的通信资源,使用多天线的 MIMO 技术变得越来越普遍,多个天线之间的隔离度是一个重要的性能指标,隔离度越高越能有效地利用有效地资源。又如同频双工技术是有效提高频谱效率的技术之一,同时同频双工设备额基站端需要达到较高的隔离度才能正常工作。

因此有关提高天线隔离度的研究是有着重要的实际价值的。本文将重点介绍我们关于此方面的研究。

### 1.1 天线的隔离度

天线的隔离度是指:一个天线的发射功率和另一个天线的接收功率之比,用 dB 表示。通常情况下,准确的天线隔离度是由测量获得。在相关研究的早期,计算机软件的出现,帮助从业人员在远场区的假设下,利用天线远场区方向图来计算隔离度。

若两个天线处于远场区,则隔离度表示 I 为:

$$I = 10 \ln \frac{P_t}{P_r} \quad (1.1-1)$$

其中:

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)^2}{G_t G_r |F_t(\theta_t, \phi_t)|^2 |F_r(\theta_r, \phi_r)|^2} \quad (1.1-2)$$

其中 $r$ 为两天线间距,  $\lambda$ 为波长,  $G_t$ 与 $G_r$ 为两天线增益, 他们的归一化方向性函数分别为 $F_t(\theta, \Phi)$ 与  $F_r(\theta, \Phi)$ 。  $(\theta_t, \Phi_t)$ 是做发射的天线坐标系中接收点指向角,  $(\theta_r, \Phi_r)$ 是做接收的天线坐标系中发射点指向角。

其中远场条件为  $r > \frac{2D_t^2}{\lambda}$  并且  $r > \frac{2D_r^2}{\lambda}$ ,  $D_t$ 、 $D_r$ 分别为两天线的等效直径。

但是实际上, 远场条件一般是很难被满足的。比如工作频率为 2.11GHz 的两个抛物面天线, 直径均为 1.8m, 间距为 5m, 远场条件显然不能满足。现实中的各种天线系统为了尽可能的安装在更小的体积内, 一般都是处于周围天线的近场之内。这也就解释了为什么本文的题目强调是近场隔离的原因。针对性的研究近场的隔离方法对实际生产生活更有现实的指导意义。

## 1.2 研究意义

在无线通信、雷达以及电磁兼容等领域都对处于近场的天线之间有隔离度要求。因为这些天线之间的隔离度往往会直接影响系统的性能、功能、可实现性以及可靠性。

在多天线通信系统中, 天线之间的隔离度往往是影响系统性能的重要指标之一。在 MIMO 系统中多个天线对应着多个通道。一般来说这多个天线之间的物理距离较近, 而天线之间的隔离度是保证信道容量的基本要求<sup>[1]</sup>。对于基站通信而言, 一个基站上往往具有多个天线对应着不同的扇区与极化分集, 这些天线之间的隔离是系统能够正常工作的前提。目前往往通过增加天线之间的距离以达到隔离度要求, 提高了基站建设成本<sup>[2]</sup>。而对于航空航天器(人造卫星、飞机、导弹及浮空器等), 地面移动设备以及舰船等复杂系统来说, 通常需要在有限的空间内集成众多的无线子系统。在设计这类系统时必须在满足功能性需求的前提下满足系统间隔离的相关要求, 因此对天线布局与无线电管理提出了挑战。因此有效的实现这些天线之间的隔离是保证系统可靠性的前提<sup>[3]</sup>。

近些年来, 随着中国铁塔公司的成立, 我国三大电信运营商将会优先采用同站址的共享方式安装方式共享现有的铁塔资源。由于三家电信企业分别拥有多套移动制式的系统(2G/3G/4G), 为保证各系统间不互相影响, 避免多张网络、多系统间相互的干扰, 就需要对多系统的天线隔离度提出一定的要求<sup>[4]</sup>。

在联通公司 CDMA 网络的规划中, 为了扩大基站覆盖的范围从而减少投资



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.