

学校编码: 10384
学号: 34320141152813

分类号_____密级_____
UDC_____

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

基于 CS 的阵列天线综合与纳米颗粒填充材料性质
研究

Antenna Array Synthesis Based on CS and Research on
Properties of Composites Filled with Nanoparticles

杨乐

指导教师姓名: 朱春辉 助理教授
专 业 名 称: 电子与通信工程
论文提交日期: 2017 年 04 月
论文答辩时间: 2017 年 05 月
学位授予日期: 2017 年 月

答辩委员会主席: _____
评 阅 人: _____

2017 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

阵列天线在卫星、雷达、无线通信等领域有着广泛的应用，阵列天线方向图综合也是该领域的一个重要研究内容。具有频率不变方向图的阵列天线能够无失真地接收宽带信号，因而在地震勘测、水声通信、音频会议系统等领域有着重要的应用价值。近年来压缩感知理论的提出也为各领域提供了一种新的解决问题的思路。本文基于多任务贝叶斯压缩感知，实现阵列天线的频率不变方向图综合。

本文首先介绍了压缩感知理论，主要从信号的稀疏表示、观测矩阵、重构算法三个方面来介绍压缩感知的理论框架，并介绍了贝叶斯压缩感知及多任务贝叶斯压缩感知算法。

为了将压缩感知理论运用到阵列天线方向图综合中，本文详细介绍了方向图综合问题中稀疏信号、测量值矩阵和观测矩阵的构造方法。并针对方向图综合中出现的阵元间距过小问题，提出一个基于阵元合并的解决方案，通过阵元合并，不仅能够解决阵元间距过小的问题，还可以进一步减少阵列的阵元数量。

本文基于多任务贝叶斯压缩感知的频率不变方向图综合算法能够在期望的频率范围内使方向图保持较好的频率不变性，并且得到的是一个稀疏阵列，与均匀阵列相比，大大减少了阵元数量。

纳米颗粒填充聚合物基复合材料作为人工电磁材料的一种，具有制造简单、可工作中红外和可见光波段等优点，因而在光学隐身斗篷等领域得到了应用。本文对等离子体球状纳米颗粒填充聚合物基复合材料的等效介电常数的性质进行了研究。首先通过计算结果猜测复合材料等效介电常数可能满足的性质，然后通过公式推导和数值计算来验证之前的猜想，从而证明了等离子体球状纳米颗粒填充聚合物基复合材料的等效介电常数的实部和虚部满足圆的关系，并且圆心和半径只与聚合物基体的相对介电常数以及纳米颗粒的填充率有关。

关键词：频率不变方向图；贝叶斯压缩感知；多任务；纳米颗粒；复合材料

厦门大学博硕士学位论文摘要库

ABSTRACT

Array antennas have been widely used in the fields of satellite, radar, wireless communication and so on. The array antennas with frequency invariant patterns can receive wideband signals without distortion, so they have important application value in the fields of seismic survey, underwater acoustic communication, audio conference systems and so on. In recent years, the theory of compressed sensing has provided a new way to solve the problem. In this thesis, a frequency-invariant pattern synthesis algorithm based on multi-task Bayesian compressive sensing is proposed.

This thesis first introduces the theory of compressed sensing, mainly from aspects of sparse representation of signal, observation matrix and reconstruction algorithm to introduce the compressed sensing theory, and then introduces the Bayesian compressive sensing and multi-task Bayesian compressive sensing algorithms.

In order to apply the theory of compressive sensing to array antenna pattern synthesis, this thesis introduces the construction methods of sparse signal, measurement matrix and observation matrix. An elements combination method has presented to avoid the case of elements locating too close to each other. This method can also reduce the number of array elements.

Frequency-invariant pattern synthesis algorithm based on multi-task Bayesian compressive sensing can keep the pattern invariant within the desired frequency range, the array is a sparse array, compared with the uniform array, can reduce the number of array elements greatly.

Composite medium filled with nanoparticles is a kind of artificial electromagnetic material, has advantages of easy to manufacture, can work in the infrared and visible light band, so has been applied in the fields of optical cloak. In this paper, the properties of the effective permittivity of polymeric medium filled with plasma spherical nanoparticle have been studied. First, we guess the properties of the effective permittivity of composite materials, and then through the derivation of formula and numerical calculation to verify the conjecture, finally proved that the real and imaginary

parts of the effective permittivity satisfy the relationship of a circle. The location of the center and the radius of the circle are decided only by the relative permittivity of the host polymeric medium and the fill fraction of guest nanoparticles.

Keywords: frequency-invariant pattern; Bayesian compressive sensing; multitask; nanoparticles; composites

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目录

第一章 绪论	1
1.1 阵列天线概况	1
1.2 阵列天线方向图综合研究进展与现状	2
1.3 人工电磁材料概况	7
1.4 人工电磁材料研究进展与现状	8
1.5 本文的研究内容及结构安排	10
第二章 压缩感知理论基础	13
2.1 压缩感知理论概述	13
2.1.1 信号的稀疏表示.....	14
2.1.2 观测矩阵.....	14
2.1.3 重构算法.....	15
2.2 贝叶斯压缩感知	16
2.3 多任务贝叶斯压缩感知	17
2.4 本章小结	18
第三章 基于多任务贝叶斯压缩感知的频率不变方向图综合	21
3.1 频率不变方向图	21
3.2 多任务压缩感知在频率不变方向图综合中的应用	22
3.3 阵元合并	25
3.4 仿真实例及结果分析	28
3.4.1 声阵列的频率不变方向图综合.....	28
3.4.2 低副瓣阵列的频率不变方向图综合.....	34
3.5 本章小结	40
第四章 纳米颗粒填充材料等效介电常数性质研究	41
4.1 等效介电常数表达式	41
4.2 等效介电常数的性质研究	43

4.3 本章小结	52
第五章 总结与展望.....	53
5.1 研究总结	53
5.2 研究展望	54
参考文献.....	55
攻读硕士学位期间发表的学术论文	59
致谢.....	60

厦门大学博硕士论文摘要库

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Overview of antenna arrays	1
1.2 Progress and status of antenna arrays pattern synthesis	2
1.3 Overview of metamaterials	7
1.4 Progress and status of metamaterials	8
1.5 Research contents and structure arrangement	10
Chapter 2 Compressive sensing theory	13
2.1 Overview of compressive sensing	13
2.1.1 Sparse representation of signals.....	14
2.1.2 Observation matrix.....	14
2.1.3 Reconstruction algorithm.....	15
2.2 Bayesian compressive sensing	16
2.3 Multitask Bayesian compressive sensing	17
2.4 Summary	18
Chapter 3 Frequency-invariant pattern synthesis based on multitask Bayesian compressive sensing	21
3.1 Frequency-invariant pattern	21
3.2 Application of multitask compressive sensing for frequency-invariant pattern synthesis	22
3.3 Elements combination	25
3.4 Simulation examples and results analysis	28
3.4.1 Frequency-invariant pattern synthesis for acoustic array.....	28
3.4.2 Frequency-invariant pattern synthesis for low SLL.....	34
3.5 Summary	40
Chapter 4 Research on effective permittivity of composites filled with	

nanoparticles	41
4.1 Expression of effective permittivity	41
4.2 Research on properties of the effective permittivity	43
4.3 Summary	52
Chapter 5 Summary and prospect.....	53
5.1 Summary	53
5.2 Prospect.....	54
References.....	55
Academic papers published during the postgraduate study	59
Acknowledgements.....	60

第一章 绪论

1.1 阵列天线概况

天线在我们的日常生活中无处不在，与我们的生活息息相关。大到雷达、卫星，小到无线路由器、手机，天线都在信息传播的过程中扮演着无比重要的角色。在电子设备中，天线实际上起到的是一个能量转换的作用。当作为发射天线时，它将电路中的高频电流或者馈电传输线上的导行波转换为极化电磁波，再向空间中发射出去；当作为接收天线时，它将接收到的空间极化电磁波转换为电路中的电流，或者转换为传输线上的导行波。

在普通的应用场合，单一的天线就能满足我们的性能需求，然而在雷达、卫星、天文学等高技术领域，对天线的方向性、增益、扫描特性等性能指标有着更高的要求，此时采用单个天线通常是无法满足性能需求的，需要将多个天线聚集起来共同参与工作，形成阵列天线，才能达到预期的要求。

阵列天线是将多个单元天线根据实际性能需求以某种特定的方式排列在一起而构成的。这些天线阵元可以排布在一条直线上，形成直线阵；也可以分布在一个平面上，形成平面阵；甚至可以将这些阵元分布在实际物体表面，比如卫星、导弹、飞机的表面上，形成共形阵。与单一的天线相比，阵列天线有着诸多更为优良的性能，比如更高的增益、更强的方向性、更低的副瓣电平等，不仅如此，使用阵列天线还能够得到特定的赋形波束、多波束，以及实现波束的相控扫描等，因此，阵列天线在卫星通信、雷达、地震预测、水声通信等领域有着广泛的应用。构成阵列天线的阵元可以是相同类型的天线，也可以是不同类型的天线，在大多数的实际应用中，通常采用同一类型同一规格的天线单元（如常见的偶极子天线、喇叭天线、波导裂缝天线等），这样可以简化对天线单元的分析，而将更多的精力放在对阵列组成排布的研究上。

阵列天线的研究主要包括两个方面的问题：一个是阵列天线的分析问题，即给定阵列天线的阵元数量、每个阵元的位置分布以及各个阵元激励的幅度和相位，对阵列天线的辐射特性（包括方向图、增益、主瓣宽度、副瓣电平、输入阻抗等）进行分析。另一个则是阵列天线的综合问题，该问题可以看成是阵列天线分析问

题的逆问题，即给定需求的阵列天线的辐射特性，去求解要满足这些辐射特性，阵列天线所需要的阵元数量、阵元的位置分布以及阵元的激励幅度和激励相位。通常阵列综合问题在复杂程度和方法的多样性上都要高于阵列分析问题，因此阵列天线的综合问题也就受到了更多的关注和研究。

1.2 阵列天线方向图综合研究进展与现状

方向图综合是阵列天线综合问题中的一个常见问题，它是根据电磁波在空间中相互干涉的原理，通过对阵列天线的阵元数量、阵元位置、阵元激励（幅值、相位）进行优化，使得综合得到的方向图与目标方向图尽可能一致，实现预期的方向图特性。

在过去的几十年里，阵列天线的方向图综合问题得到了广泛而深入地研究，提出了许多方向图综合的方法。例如对于均匀直线阵列来说，常见的方向图综合方法有切比雪夫综合法、泰勒综合法、内插法、伍德沃德-劳森综合法等。切比雪夫综合法是道尔夫（C. L. Dolph）提出的用切比雪夫多项式来逼近阵因子函数的一种阵列综合方法。由该方法综合得到的阵列即为切比雪夫阵列。切比雪夫阵列的特点为：（1）所有的副瓣电平都相等；（2）在相同的阵列长度下，当给定副瓣电平时，切比雪夫阵列能得到最窄的主瓣宽度；当给定主瓣零点宽度时，切比雪夫阵列能得到最低的副瓣电平。因此由切比雪夫综合法得到的方向图是最佳方向图。但是切比雪夫阵列有一个较为严重的缺点：当阵元数量较多的时候，阵列两端阵元的激励幅度会产生明显的跳变，这样就给馈电系统的设计带来困难。泰勒综合法则与切比雪夫综合法不同，泰勒综合法不要求所有的副瓣电平都相等，由泰勒综合法得到的方向图，其副瓣电平只是在靠近主瓣的一个区域内接近相等，随后将单调递减，这样可以提高阵列天线的方向性。并且如果设计合理，泰勒阵列的阵元激励的幅度变化是由中间往两端单调递减的，这样就避免了出现切比雪夫阵列中两端阵元激励幅度跳变的情况。泰勒综合法设计灵活，适用范围广，因而在实际的工程设计中得到了广泛的应用。切比雪夫综合法和泰勒综合法常常用于低副瓣阵列天线的综合，即给定方向图的主瓣宽度和副瓣电平，对方向图进行综合，对方向图的其他细节不做太多要求。内插法和伍德沃德-劳森综合法则可以用于特定形状的方向图综合。内插法是用函数逼近的理论，使构造的多项式尽

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