学校编码：10384　　　　　　　　分类号______密级______
学号：33120131152857　　　　　　　　　　　UDC______

厦门大学

硕士学位论文

基于凸优化的波束形成及阵列稀疏化研究

Research on Beamforming and Sparse Array Based on Convex Optimization

杨晶

指导教师姓名：刘颜回　副教授
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

厦门大学学位论文原创性声

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

基于阵列天线在无线电系统中各种应用，使阵列综合的研究十分重要。本文根据实际应用系统中的各种需求，结合凸优化的高效、快速以及局部最优解也是全局最优解的优点，研究了各种阵列综合问题及基于凸优化思想的解决方案。

首先，本文基于凸优化算法对理想点源以及考虑阵列天线辐射方向图的阵列的综合方法进行了全面的概述，包含了阵列的无目标优化、最小副瓣优化、最大方向性优化、最大效率优化以及最小阵元数目的优化。并且，针对每个优化目标给出了相应的仿真例子，用以验证相应的综合方法的有效性。

其次，本文提出了矢量场的阵列综合方法。根据给定的期望极化方向，定义了扫描波束的期望主极化和交叉极化方向，并进一步给出了主极化方向性系数的定义，它可以更为准确的表征天线集中辐射主极化分量的程度。在没有副瓣约束和交叉极化约束的条件下，给出了任意阵列主极化方向性系数最优解的解析表达式。并且，在含副瓣约束、零陷约束以及交叉极化约束的条件下，我们发展了一种基于凸优化的高效数值综合方法，实现多约束条件下的主极化方向性系数的优化。数值阵列综合结果表明了本文所提出的最优主极化方向性系数解析解的正确性，以及这种可以综合考虑副瓣约束、零陷约束和交叉极化约束的数值方向性优化方法的有效性。

然后，本文提出了一种可以实现最小间距可控的扫描稀疏阵列的综合方法。此方法主要分为两步，第一步是一个迭代的反复加权l_1范数的优化，用以实现没有间距要求的波束扫描稀疏阵列；第二步是通过一系列的阵元合并和阵元的激励及位置的不断微扰用以满足最小间距可控的条件。基于本文提出的这一方法，我们给出了一个扫描范围从 45 度到 135 度的最小间距要求为 0.5 个波长的稀疏阵列的设计仿真。

最后，本文针对实际中的会出现的误差，基于阵列综合后的结果进行理论上的误差分析，并且通过仿真与理想情况下的阵列进行副瓣电平、方向性系数、交叉极化电平的比较，使得对阵列综合的问题分析及解决更加全面。

关键词：凸优化；矢量综合；最小间距可控扫描稀疏阵列；误差分析

ABSTRACT

Based on the application of array antenna on radio systems, research on array synthesis is very important. According to the requirements of application system in practical, combing convex optimization with advantages of efficient, fast, and local optimal solution equal to global solution, a variety of array synthesis problems and their solutions based on convex optimization are studied in this paper.

First of all, we give a comprehensive overview of array synthesis algorithm of ideal point source and antenna taking scalar radiation pattern into account based on convex optimization, including optimization with none goals, optimization of minimum sidelobe, optimization of maximum directivity, optimization of maximum efficiency, and optimization of the minimum number of array elements. What’s more, the corresponding simulation examples are given for each goal to verify the optimization synthesis method.

Secondly, we propose the method of array synthesis in vector fields. Definitions of the desired co-polarization and cross-polarization directions are given for a scanned beampattern according to a desired polarization direction. Furthermore, the co-polarization directivity is defined to more accurately represent the degree of the concentration of co-polarization field over the total radiated power. With this definition, the co-polarization directivity can be optimized. Its analytical expression can be derived when no any pattern constraints exist. In more general cases in which the constraints on the sidelobe level, nulling points and cross-polarization level exist, an efficient numerical algorithm based on convex optimization is proposed. Some numerical synthesis experiments are conducted, and the results show the effectiveness and robustness of the proposed synthesis techniques.

Next, we propose a new method to design a beam-scanning sparse array with minimum spacing constraint. The proposed method consists of two optimization steps. In the first step, an iterative reweighted l_1-norm optimization is used to obtain an initial sparse array without minimum spacing constraint. In the second step, we carry on a series of element combination and perturbations to meet the minimum spacing constraint. An example is given to design a sparse array which has the minimum spacing of 0.5 wavelength and the beam scanning from 45^o to 135^o.

Finally, as in practical applications, there may exist errors in antenna manufacturing, we carry on error analysis in theory in array synthesis. And we contrast the pattern parameters including sidelobe level, directivity, cross-polarization level, between array with errors and ideal array. Consequently the analysis in array synthesis problems and solution on these problems will be more comprehensive.

Key Words: convex optimization; vectorized pattern synthesis; beam-scanning sparse array with minimum spacing constraint; error analysis

目录

CONTENTS