

可编程电磁超材料相控阵5G天线项目

2021.10

- 一 项目背景
- 二 研究目标与研究内容
- 三 研究方法及途径
- 四 研究进度、成果形式及应用方向
- 五 经费概算
- 六 研究条件及保障措施

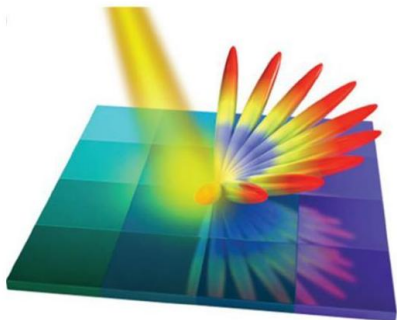
项目背景

军事需求

随着通讯技术的不断发展，国内外对于天线的性能展开了深入的研究，这是由于天线无论在军事亦或是民用通讯系统上都起到至关重要的作用。



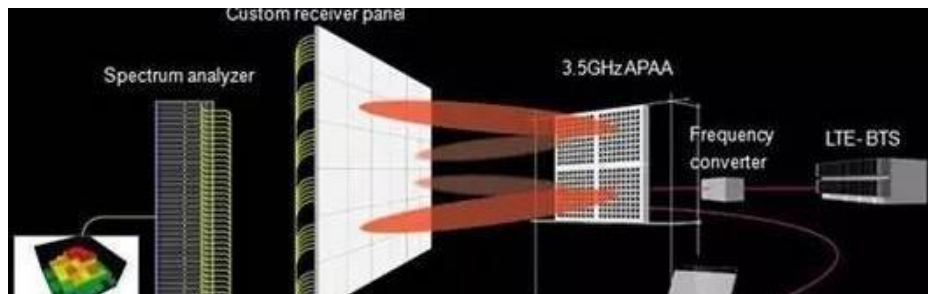
随着电磁超材料的出现，国内外开始将天线与电磁超材料结合，这为天线的发展和创新带来了新的途径。



国内外现状分析

在天线增益提高的设计中，研究人员通常采用两种方法：

- (1) 根据天线阵基本理论，对界面上上的天线单元辐射相位和大小分别控制，并根据叠加原理实现指定方向的高增益窄波束；
- (2) 通过光学原理，控制天线表面几何曲面形状使之形成旋转抛物面或是旋转双曲面的构型，将入射的类球面波汇聚为类平面波，从而实现指定方向的高增益。



- 一 项目背景
- 二 研究目标与研究内容
- 三 研究方法及途径
- 四 研究进度、成果形式及应用方向
- 五 经费概算
- 六 研究条件及保障措施

研究目标与研究内容

研究目标

本项目研究目标是宽带高增益相控阵超表面材料天线的研究与设计，针对特定场所开展5G信号空口高效接收的需求，探索基于新型电磁超表面材料的天线设计制造技术，分别利用复合左右手传输线型超材料与透射阵列天线设计几种宽带高增益天线。利用超表面材料的电磁波相位精确调控特性，突破高效波束聚焦、波束大角度快速电扫、灵活高增益多波束形成等难题，研制重量轻、携带性好、可靠性高、维护简单的天线样机，为开展受限条件下5G通信接收分析奠定技术基础。

研究目标与研究内容

研究内容

1、可编程超材料透射阵列

透射阵列天线是结合透镜天线与阵列天线优点的一种新型天线形式，对入射波进行透射并在另一侧进行再辐射，透射型阵列天线(Transmit array Antenna)通过调节各个阵列单元尺寸或形状对再辐射相位进行调制，从而调节整个阵列或口径面的相位分布来实现对馈源波束的调控，如波束聚焦或是波束扫描。

简单概括透射阵列天线具有以下优点：

结构简单、剖面低、体积小、加工难度与成本低；

不需要复杂馈电网络与移相等器件，损耗较低；

易于实现波束聚焦、波束赋形等功能，灵活性较高。

2、编程功能模块

为了对超材料天线进行有效调控，需要设计对编程功能模块进行对可编程超材料单元进行调控。不改变单元结构，通过编程功能电路加载不同的控制信号，改变这些可调器件的工作状态，例如开关二极管、变容二极管或MEMS等，可改变超材料单元的相位响应。编程功能电路模块应控制精细，体积小，易于与超材料天线集成一体化。

3、波束形成与控制算法

无论是要实现高增益的波束聚焦还是波束扫描控制，本质上都是要根据某种算法求解当前增益和指向要求下的透射阵列的相位因子矩阵，由编程功能电路实现对每个单元的相位控制，从而可以合成所需的波束。与常规相控阵天线的波束形成算法基本一样，不同之处只是每个单元的可调相位只有有限的几种状态。需在常规束形成算法的基础上，研究适用于有限相位状态的快速波束形成算法。

研究目标与研究内容

关键技术

◆ 3bit可编程超材料单元设计

可编程超材料是通过编程控制对天线参数进行重构，实现基本单元的不同相位响应。可编程超材料单元常用的方法是，在超材料中加载开关（如PIN二极管、变容二极管、MOSFET以及MEMS等），将单元设计与可调器件结合起来，在不改变单元结构的情况下，通过改变这些可调器件的工作状态，改变超材料的电磁特性，实现单元的相位响应改变。

为了实现单元相位控制精度优于 45° ，需要设计一种3bit可编程超材料单元，通过“000”、“001”、……，“111”这8种状态来实现“ 0° ”、“ 45° ”、“ 90° ”、“ 135° ”、“ 180° ”、“ 225° ”、“ 270° ”、“ 315° ”这八种相位响应。根据波束形成算法生成相位因子矩阵，以达到调控电磁波的目的。

◆ 阵列天线方向图综合算法

在实际工程的应用中，常需要天线阵形成特殊形状的方向图，例如低副瓣方向图、平顶方向图，余割平方方向图等。在基站天线的应用中，在水平面上通过实现广播波束来满足对整个小区的覆盖，所要求的波束很宽，通常使用宽波束的平顶方向图；通过实现业务波束来跟随每一个用户，所要求的波束很窄，通常使用高增益的窄波束；在基站天线垂直面上，为了抑制水平面上的干扰，减少电磁污染，通常使用余割平方波束。在雷达应用中，天线既需要实现窄波束、高增益的波束又需要辐射范围广的宽波束。阵列天线的设计主要是围绕着辐射方向图展开，阵列天线方向图综合从原理上说是阵列天线分析的反过程，是根据方向图要求的增益，半功率波瓣宽度，特殊的主瓣形状，副瓣电平等一些技术指标来确定天线的参数，使其设计的阵列天线使其方向图尽可能的接近目标方向图。

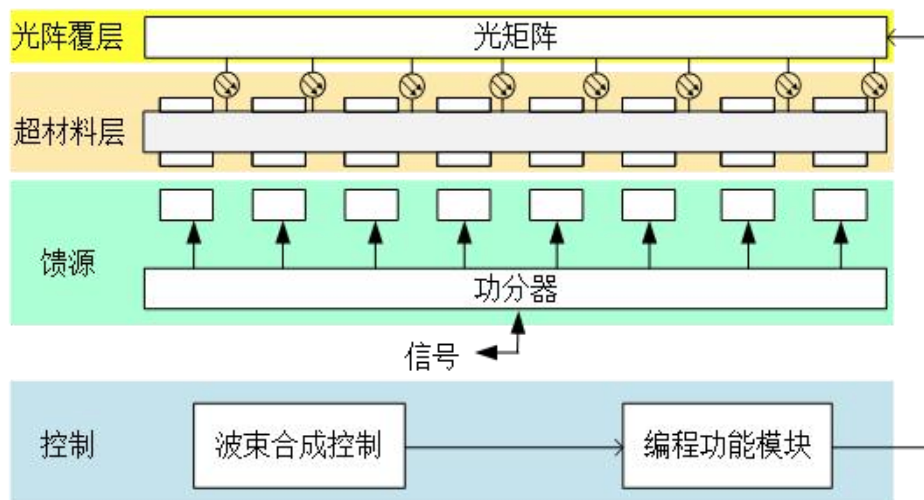
阵列天线方向图主要受阵列单元形式、单元间距、单元数目、激励幅度和相位影响。因此可以根据单元间距、数目，激励幅度和相位这四个变量来综合所要求的方向图。

对天线建模后，对待优化参数寻优的方法，这类方法通常使用智能优化算法对参数优化。尤其当天线阵列规模很大或者复杂，其构造的目标函数通常多参数、非线性，不可微，很难用传统方法来解决问题，需要采用智能优化算法。

- 一 项目背景
- 二 研究目标与研究内容
- 三 研究方法及途径
- 四 研究进度、成果形式及应用方向
- 五 经费概算
- 六 研究条件及保障措施

研究方法及途径

总体方案



- ◆ 可编程超材料相控阵天线系统由超材料天线阵列、波束合成控制和编程功能模块、馈源组成和光阵覆层组成。

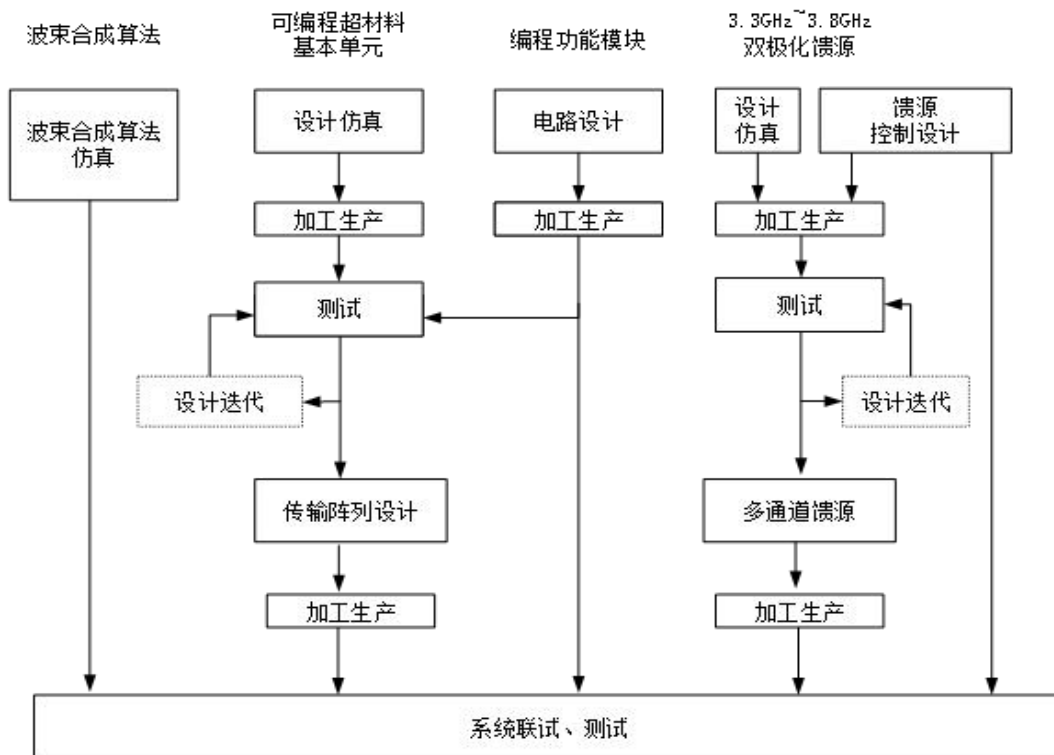
研究方法及途径

技术指标

- ◆ 工作频段：3.3GHz~3.8GHz
- ◆ 工作模式：单波束接收、多波束扫描
- ◆ 超材料单元数量：24×12
- ◆ 超表面材料相位控制精度：优于45°
- ◆ 波束宽度：最小可达30°（方位面）；
- ◆ 最大可达40°（俯仰面）。
- ◆ 波束最快扫描速度：不小于3000° /s
- ◆ 波束调整时间：快于10ms
- ◆ 极化方式：±45° 线极化
- ◆ 驻波比：≤1.8
- ◆ 天线增益：≥15dBi
- ◆ 3dB 增益带宽：
- ◆ 10dB 增益带宽：
- ◆ 天线效率：≥50%
- ◆ 尺寸：1×0.5×0.2m（高×宽×厚）

研究方法及途径

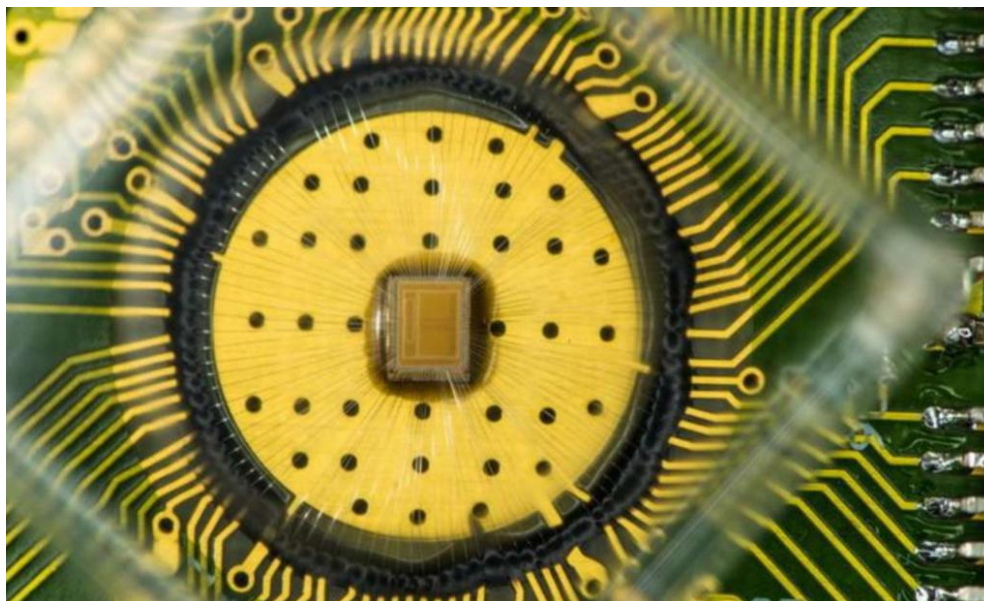
技术途径



研究方法及途径

创新点

本项目的创新点是光控3bit超材料单元设计。超材料相控阵天线采用光控手段实现波束控制，是一种无源可编程超材料天线。与有源控制手段相比，无需把控制电路集成到超材料单元中，有利于超材料的单元的小型化，减少了控制电路对传输阵传输特性的影响。



- 一 项目背景
- 二 研究目标与研究内容
- 三 研究方法途径
- 四 研究进度、成果形式及应用方向
- 五 经费概算
- 六 研究条件及保障措施

研究进度、成果形式及应用方向

研究进度

年度	年度目标	年度研究内容	年度成果形式
2022年	完成原理样机设计/ 生产/测试	(1) 完成3bit可编程超材料传输单元的仿真设计研究; (2) 完成3bit可编程超材料传输单元加工与测试; (3) 完成超材料传输阵设计; (4) 完成方向图综合算法研究; (5) 完成光控矩阵和编程模块的设计加工; (6) 波束扫描控制算法研究; (7) 系统样机测试.	研究报告试验 报告原理样机

研究进度、成果形式及应用方向

项目成果



技术文件类成果

- ◆ 系统设计方案
- ◆ 试验报告
- ◆ 波束合成和扫描控制算法
- ◆ 技术总结报告
- ◆ 发明专利



实物类成果

- ◆ 样机、配方、试验件、样品等
- ◆ 配套软件、演示系统等

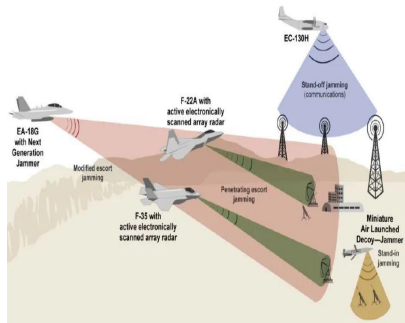
研究进度、成果形式及应用方向

应用方向

5G通信基站天线



雷达与电子对抗



卫星通信



“低小慢”目标探测



- 一 项目背景
- 二 研究目标与研究内容
- 三 研究方法及途径
- 四 研究进度、成果形式及应用方向
- 五 经费概算
- 六 研究条件及保障措施

经费概算

应用方向

项目总经费268万，按内容分解如下：

超材料传输单元仿真设计:40万

超材料传输单元生产加工:25万

超材料传输单元测试:10万

超材料传输阵列设计:30万

超材料传输阵列测试:20万

波束合成和扫描算法研究:30万

光控矩阵和编程模块设计/生产:30万

功分网络设计:20万

功分网络生产加工/测试:10万

系统联试测试试验费:53万

- 一 项目背景
- 二 研究目标与研究内容
- 三 研究方法及途径
- 四 研究进度、成果形式及应用方向
- 五 经费概算
- 六 研究条件及保障措施

研究条件及保障措施

人才条件

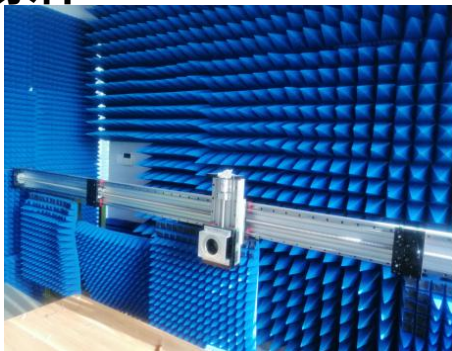
姓名	出生年月	职务 (职称)	单位	分工	年工作量	备注
张祯瑞	1943.5	研究员	深圳因能 科技有限 公司	总体设计	24个月	
朱海波	1963.9	高工	深圳因能 科技有限 公司	结构总体、项目 管理	24个月	
韩海峰	1981.10	高工	深圳因能 科技有限 公司	电讯总体设计	24个月	
吴正琳	1988.8	工程师	深圳因能 科技有限 公司	天线设计	24个月	
张斌	1980.5	高工	深圳因能 科技有限 公司	软件设计开发	24个月	
王格	1987	工程师	深圳因能 科技有限 公司	信号处理设计	24个月	
年逸杰	1985	工程师	深圳因能 科技有限 公司	接收机设计和数 字电路设计	24个月	
孙金立	1988	高工	深圳因能 科技有限 公司	结构设计	24个月	

外协条件

- ◆ 中电科技扬州宝军电子有限公司：配合系统联调、测试、试验
- ◆ 合肥方园微波技术有限公司：负责微波部件生产
- ◆ 合肥潜川机械制造有限公司：负责部件机械加工

研究条件及保障措施

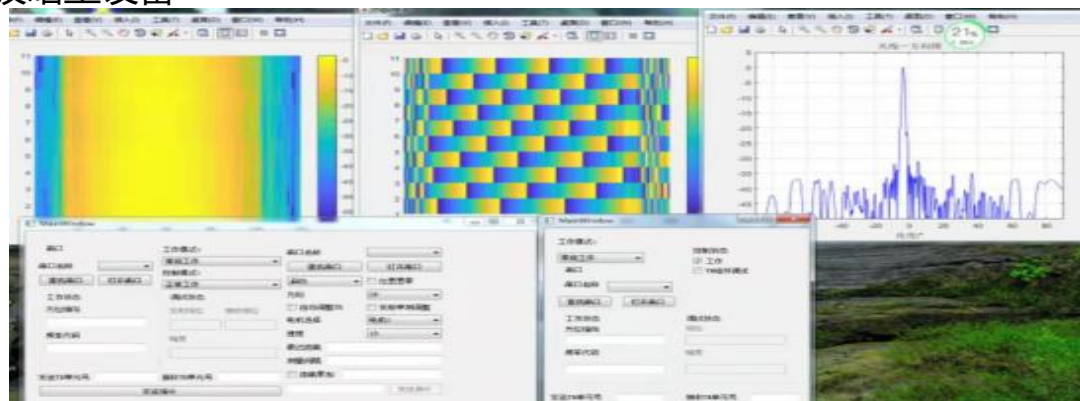
研究条件



天线测试微波暗室设备



测试仪表



自动测试软件

研究条件及保障措施

管理保障

项目组建立了一套规范的管理体系，及时反馈并处理出现的问题，加强对项目实施过程的评估和监控；在研发上，严格执行质量体系文件，确保质量体系的有效运行。实行项目经理、技术负责人质量负责制，加强技术管理的有效性和研发过程的科学性、准确性；在风险应对上，项目组已经充分考虑政策、技术、人力、资金等风险来源，并且做好了相关的应对措施，保证项目的顺利开展。

1. 政策风险

国家政策导向与行业发展息息相关，近几年来该产业的发展速度减慢，经济效益主要流向以技术创新为中心的企业。公司将在国家各项经济政策和产业政策的指导下，汇聚各方信息，提炼最佳方案，统一指挥调度，合理确定公司发展目标和战略；增强抵御政策风险的能力。

2. 人力风险

人才优势技术是降低人力风险的关键因素，如果企业缺少人才就会使公司生产能力和整理竞争力降低，最终导致产品生命周期缩短，无法满足市场的需求。公司会不断引进专业技术人员，组建团队，保持技术团队的稳定性。

3. 资金风险

产品的研发过程必然会使公司面临资金筹措问题，希望得到各级政府部门的资金支持，公司将利合理规划投入，同时加强内部管理，提高服务管理水平，降低营运成本，努力提高经营效率，充分保证项目顺利进行，有效降低资金风险。

4. 其他风险

项目的实施有一定的周期，涉及的环节也较多，在这期间会出现一些人力不可抗拒的意外事件或某个环节出现问题以及宏观经济形势发生较大的变化，公司组织结构、管理方法将会大大影响项目的进展或收益。需要倡导组织创新、思想创新，以适应不断变化的外部环境。

因为所能 无远弗届

THANKS

深圳因能科技有限公司