



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107918696 A

(43)申请公布日 2018.04.17

(21)申请号 201710997073.6

(22)申请日 2017.10.20

(71)申请人 西安电子科技大学

地址 710071 陕西省西安市太白南路2号西安电子科技大学

(72)发明人 韩丹 黄进 徐森 周金柱 李申

(74)专利代理机构 西安长和专利代理有限公司 61227

代理人 黄伟洪

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

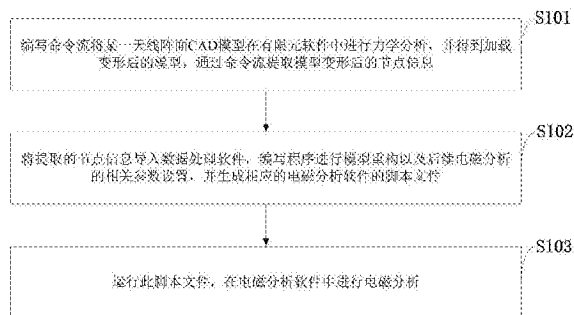
权利要求书1页 说明书7页 附图7页

(54)发明名称

相控阵天线的多场耦合分析及计算机程序

(57)摘要

本发明属于高密度相控阵天线技术领域,公开了一种相控阵天线的多场耦合分析及计算机程序,编写命令流将某一天线阵面CAD模型在有限元软件中进行力学分析,并得到加载变形后的模型,通过命令流提取模型变形后的节点信息;将提取的节点信息导入数据处理软件,编写程序进行模型重构以及后续电磁分析的相关参数设置,并生成相应的电磁分析软件的脚本文件;运行此脚本文件,在电磁分析软件中进行电磁分析。通过本发明可以针对某一类天线阵面,实现自动化地准确重构出变形后的天线阵面模型,并对天线阵面进行结构位移场和电磁场的耦合分析。



1. 一种相控阵天线的多场耦合分析方法,其特征在于,所述相控阵天线的多场耦合分析方法包括:编写命令流将某一天线阵面CAD模型在有限元软件中进行力学分析,并得到加载变形后的模型,通过命令流提取模型变形后的节点信息;提取的节点信息导入数据处理软件,编写程序进行模型重构以及后续电磁分析的相关参数设置,并生成相应的电磁分析软件的脚本文件;运行脚本文件,在电磁分析软件中进行电磁分析。

2. 如权利要求1所述的控阵天线的多场耦合分析方法,其特征在于,所述相控阵天线的多场耦合分析方法包括以下步骤:

步骤一,编写命令流,将某一天线阵面的CAD模型输入有限元分析软件,按照相应的单元类型和材料属性进行相关参数的设置,并施加位移载荷或力载荷,得到变形后的天线阵面模型;用命令流提取变形后模型的节点信息,提取所需几何元素的初始节点坐标 (x_0, y_0, z_0) 和变形后的节点位移 (x', y', z') ,将两者相加,得到变形后该几何元素上所有单元节点的坐标 (x, y, z) ;

步骤二,提取的曲面节点信息读入数据处理软件中,采用多项式拟合出相应的曲面,同时得到曲面方程,编写数据处理软件和电磁分析软件的API接口程序,输出电磁分析软件的脚本文件,利用曲面方程建立曲面,曲面为基板和贴片;利用数据处理软件搜索提取的节点坐标的x、y的最大值和最小值,作为面方程的x、y的定义域,曲面的边界,z随之确定;

步骤三,变形后模型重建馈电圆柱,确定圆柱上端面圆心位置,以及圆柱的高度方向;

步骤四,利用API接口,完成电磁分析软件中相关求解参数的设置;生成完整的电磁分析软件的脚本文件,运行脚本文件,得到电磁分析软件中重构后的模型,并得到阵列天线的电性能分析结果。

3. 如权利要求2所述的控阵天线的多场耦合分析方法,其特征在于,所述步骤一中根据后续重构提取天线阵面几何元素的节点信息:

(1) 提取贴片下表面和基板上表面的节点,用于后续的曲面拟合和曲面边界的确定;

(2) 提取基板馈电口的节点,用于在电磁分析软件中重建馈电圆柱及外壳;存为.txt文件,用于后续程序的读取。

4. 如权利要求2所述的控阵天线的多场耦合分析方法,其特征在于,所述步骤三具体包括:

(1) 提取的基板馈电口的节点信息输入数据处理软件中,在数据处理软件中分别搜索圆的x坐标、y坐标、z坐标的最大值和最小值,取中值,近似为馈电圆心位置;

(2) 变形后的贴片和基板方程的形式为 $F(x, y, z) = 0$,且 $F(x, y, z) = 0$ 在 $P(x_0, y_0, z_0)$ 处满足连续性条件,则曲面在P点处的法线方程为:

$$\frac{x-x_0}{F_x|_p} = \frac{y-y_0}{F_y|_p} = \frac{z-z_0}{F_z|_p};$$

(3) 给定圆柱长度为A,编写数据处理软件和电磁分析软件的API接口,通过数据处理软件的控制,在电磁分析软件中按A+1mm的长度建立馈电圆柱,圆柱按法线方向上移1mm;用贴片减圆柱,减掉1mm,减出来是贴片的曲率。

5. 一种应用权利要求1~4任意一项所述控阵天线的多场耦合分析方法的计算机程序。

相控阵天线的多场耦合分析方法及计算机程序

技术领域

[0001] 本发明属于高密度相控阵天线技术领域,尤其涉及一种相控阵天线的多场耦合分析方法及计算机程序。

背景技术

[0002] 多场耦合是指在一个系统中结构位移场、电磁场和温度场互相影响的物理现象。相控阵天线在服役条件下,因受到环境载荷、结构参数以及内部热流的影响而产生变形,即结构位移场,位移场又通过位移影响电磁场,从而对相控阵天线的电性能产生影响。因此多场耦合分析是相控阵天线技术中不可忽略的内容。目前,已有众多学者针对天线技术中的多场耦合进行了研究,其中包括反射面天线、平板裂缝天线和相控阵天线。然而研究人员都是针对多场耦合的理论模型展开研究,而理论模型最终还需借助软件等工具来进行仿真分析和数值求解。而目前对于多场耦合的数值求解还存在如下问题,第一,用于求解结构位移场的有限元分析软件和用于求解电磁场的电磁分析软件都是独立仿真分析,而在进行耦合分析时,需要在两个不同的软件之间进行模型转换和信息传递,由于两者对于信息的识别和模型的构建方式不同,这时就会出现网格不匹配、模型信息丢失或者信息不准确等问题,严重影响耦合分析的准确性,例如对于各元件之间材质不同结构相异的相控阵天线而言,会因为模型在不同软件之间信息传递不准确而出现阵元和基板、馈电元件和阵元之间不能完全贴合的问题,从而影响后续电性能的分析;第二,模型在软件之间的相互导入和转换的过程十分繁琐,人工手动进行会耗费大量的时间和精力。因此,如何搭建出结构位移场和电磁场之间的数值求解桥梁,且能实现自动化的快速耦合分析至关重要。

发明内容

[0003] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种相控阵天线的多场耦合分析方法及计算机程序。

[0004] 本发明是这样实现的,一种相控阵天线的多场耦合分析方法,所述相控阵天线的多场耦合分析方法包括:编写命令流将某一天线阵面CAD模型在有限元软件中进行力学分析,并得到加载变形后的模型,通过命令流提取模型变形后的节点信息;提取的节点信息导入数据处理软件,编写程序进行模型重构以及后续电磁分析的相关参数设置,并生成相应的电磁分析软件的脚本文件;运行脚本文件,在电磁分析软件中进行电磁分析。

[0005] 进一步,所述相控阵天线的多场耦合分析方法包括以下步骤:

[0006] 步骤一,编写命令流,将某一天线阵面的CAD模型输入有限元分析软件,按照相应的单元类型和材料属性进行相关参数的设置,并施加位移载荷或力载荷,得到变形后的天线阵面模型;用命令流提取变形后模型的节点信息,提取所需几何元素的初始节点坐标 (x_0, y_0, z_0) 和变形后的节点位移 (x', y', z') ,将两者相加,得到变形后该几何元素上所有单元节点的坐标 (x, y, z) ;

[0007] 步骤二,提取的曲面节点信息读入数据处理软件中,采用多项式拟合出相应的曲

面,同时得到曲面方程,编写数据处理软件和电磁分析软件的API接口程序,输出电磁分析软件的脚本文件,利用曲面方程建立曲面,曲面为基板和贴片;利用数据处理软件搜索提取的节点坐标的x、y的最大值和最小值,作为面方程的x、y的定义域,曲面的边界,z随之确定;

[0008] 步骤三,变形后模型重建馈电圆柱,圆柱上端面圆心位置,以及圆柱的高度方向;

[0009] 步骤四,利用API接口,完成电磁分析软件中相关求解参数的设置;生成完整的电磁分析软件的脚本文件,运行脚本文件,得到电磁分析软件中重构后的模型,并得到阵列天线的电性能分析结果。

[0010] 进一步,所述步骤一中根据后续重构提取天线阵面几何元素的节点信息:

[0011] (1) 提取贴片下表面和基板上表面的节点,用于后续的曲面拟合和曲面边界的确定;

[0012] (2) 提取基板馈电口的节点,用于在电磁分析软件中重建馈电圆柱及外壳;存为.txt文件,用于后续程序的读取。

[0013] 进一步,所述步骤三具体包括:

[0014] (1) 提取的基板馈电口的节点信息输入数据处理软件中,在数据处理软件中分别搜索圆的x坐标、y坐标、z坐标的最大值和最小值,取中值,近似为馈电圆心位置;

[0015] (2) 变形后的贴片和基板方程的形式为 $F(x, y, z) = 0$,且 $F(x, y, z) = 0$ 在 $P(x_0, y_0, z_0)$ 处满足连续性条件,则曲面在P点处的法线方程为:

$$[0016] \quad \frac{x-x_0}{F_x|_P} = \frac{y-y_0}{F_y|_P} = \frac{z-z_0}{F_z|_P};$$

[0017] (3) 给定圆柱长度为A,编写数据处理软件和电磁分析软件的API接口,通过数据处理软件的控制,在电磁分析软件中按A+1mm的长度建立馈电圆柱,圆柱按法线方向上移1mm;用贴片减圆柱,减掉1mm,减出来是贴片的曲率。

[0018] 本发明的另一目的在于提供一种应用所述控阵天线的多场耦合分析方法的计算机程序。

[0019] 本发明可对相控阵天线进行自动化地进行结构位移场和电磁场耦合分析。首先,解决了相控阵天线多场耦合的数值求解问题,克服了有限元分析软件和电磁分析软件在进行耦合分析时,不同的软件之间进行模型转换时出现的网格不匹配、模型信息丢失或者信息不准确等而导致的模型不准确问题;其次,针对某一类相控阵天线提出了一种计算机程序,可以对其进行自动化的耦合分析,有效地减少了人工操作,提高了分析效率和准确性。

附图说明

[0020] 图1是本发明实施例提供的相控阵天线的多场耦合分析方法流程图。

[0021] 图2是本发明实施例提供的天线阵面的CAD模型图。

[0022] 图3是本发明实施例提供的变形后的天线阵面模型图。

[0023] 图4是本发明实施例提供的拟合曲面图。

[0024] 图5是本发明实施例提供的馈电口的节点图。

[0025] 图6是本发明实施例提供的在电磁分析软件中重建的馈电元件。

[0026] 图7是本发明实施例提供的重构的天线阵面模型。

[0027] 图8是本发明实施例提供的重构的天线阵面单元放大图。

- [0028] 图9是本发明实施例提供的单元回波损耗图。
- [0029] 图10是本发明实施例提供的单元增益图。
- [0030] 图11是本发明实施例提供的天线阵面回波损耗图。
- [0031] 图12是本发明实施例提供的天线阵面增益图。

具体实施方式

[0032] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0033] 本发明的自动化联合仿真方法,快速、准确地重构出变形后的天线阵面模型,对天线阵面进行结构和电磁的耦合分析。有限元分析软件是ANSYS;数据处理软件是MATLAB;电磁分析软件是HFSS。

[0034] 下面结合附图对本发明的应用原理作详细的描述。

[0035] 如图1所示,本发明实施例提供的相控阵天线的多场耦合分析方法包括以下步骤:

[0036] S101:编写命令流将某一天线阵面CAD模型在有限元软件中进行力学分析,并得到加载变形后的模型,通过命令流提取模型变形后的节点信息;

[0037] S102:将提取的节点信息导入数据处理软件,编写程序进行模型重构以及后续电磁分析的相关参数设置,并生成相应的电磁分析软件的脚本文件;

[0038] S103:运行此脚本文件,在电磁分析软件中进行电磁分析。

[0039] 本发明实施例提供的相控阵天线的多场耦合分析方法具体包括以下步骤:

[0040] 本发明实施例天线阵面在服役过程中受到风载、热载等环境载荷,从而产生形变,对其电性能产生影响。本发明针对某一类天线阵面,提出一种自动化联合仿真方法,快速而准确地重构出变形后的天线阵面模型,对天线阵面进行结构和电磁的耦合分析。包括如下步骤:

[0041] 步骤一、天线阵面的力学分析

[0042] 编写命令流,将某一天线阵面的CAD模型输入有限元分析软件,按照相应的单元类型和材料属性进行相关参数的设置,并在其上施加位移载荷或力载荷,得到变形后的天线阵面模型;用命令流提取变形后模型的节点信息,提取所需几何元素的初始节点坐标 (x_0, y_0, z_0) 和变形后的节点位移 (x', y', z') ,将两者相加,得到变形后该几何元素上所有单元节点的坐标 (x, y, z) 。

[0043] 根据后续重构的需求,需要提取天线阵面两处几何元素的节点信息:

[0044] (1) 提取贴片下表面和基板上表面的节点:用于后续的曲面拟合和曲面边界的确定。

[0045] (2) 提取基板馈电口的节点:用于在电磁分析软件中重建馈电圆柱及外壳等。

[0046] 并将其存为.txt文件,用于后续程序的读取。

[0047] 步骤二、天线阵面的基板和贴片重构

[0048] 将步骤一中提取的曲面节点信息读入数据处理软件中,采用多项式拟合出相应的曲面,同时得到曲面方程,然后编写数据处理软件和电磁分析软件的API接口程序,该程序可以输出电磁分析软件的脚本文件,并在其中利用曲面方程建立曲面,即基板和贴片。为了

保证拟合阵列天线的电性能,要求贴片和基板完全贴合,为满足这一要求,基板和贴片使用同一曲面方程来拟合。此外,利用数据处理软件搜索提取的节点坐标的x、y的最大值和最小值,作为面方程的x、y的定义域,即曲面的边界,z随之确定。

[0049] 步骤三、天线阵面的馈电元件重构

[0050] 在变形后的模型上重建馈电圆柱,需要两个要素:圆柱上端面圆心位置,以及圆柱的高度方向,即贴片(曲面)在圆心处的法向。具体方法如下:

[0051] (1) 圆柱上端面圆心位置的确定

[0052] 由于实际中的阵面变形较小,且馈电口处的面积在整个阵面中所占比例极小,加之不考虑材料的延展性,所以,模型变形后,馈电口处可以近似为平面。此时,将步骤一中提取的基板馈电口的节点信息输入数据处理软件中,在数据处理软件中分别搜索该圆的x坐标、y坐标、z坐标的最大值和最小值,然后取中值,即近似为馈电圆心位置。

[0053] (2) 圆心处的法线方向的确定:

[0054] 设曲面(变形后的贴片和基板)方程的形式为 $F(x, y, z) = 0$,且 $F(x, y, z) = 0$ 在 $P(x_0, y_0, z_0)$ 处满足一定的连续性条件,则曲面在P点处的法线方程为:

$$[0055] \quad \frac{x-x_0}{F_x|_p} = \frac{y-y_0}{F_y|_p} = \frac{z-z_0}{F_z|_p};$$

[0056] 编写API接口程序,通过数据处理软件的控制,在电磁分析软件中根据法线方程建立相对坐标系,在相对坐标系下重建馈电圆柱等馈电元件。

[0057] (3) 馈电圆柱等的建立、移动和剪切。

[0058] 假设给定圆柱长度为A,编写数据处理软件和电磁分析软件的API接口,通过数据处理软件的控制,在电磁分析软件中按A+1mm的长度建立馈电圆柱,圆柱按法线方向上移1mm,然后用贴片减圆柱,减掉这1mm,减出来的就是贴片的曲率,完全贴合。由于,贴片是面,厚度为零,且初始圆柱A+1mm的圆心在贴片所在的曲面上(也在基板上表面的曲面上),可以保证减完之后的长度为原长度。此过程可在数据处理软件中编程自动实现。

[0059] 步骤四、天线阵面的电性能分析

[0060] 利用API接口,完成电磁分析软件中相关求解参数的设置。完成上述所有的数据处理软件程序后,会生成完整的电磁分析软件的脚本文件,运行此脚本文件,可以得到电磁分析软件中重构后的模型,并得到该阵列天线的电性能分析结果。

[0061] 其中所用到的有限元分析软件是ANSYS;数据处理软件是MATLAB;电磁分析软件是HFSS。

[0062] 下面结合仿真对本发明的应用效果作详细的描述。

[0063] 本发明已经通过对未变形天线阵面的一个单元进行仿真分析,分别对原始模型和重构模型进行电性能分析,对比分析结果验证了本发明的正确性。

[0064] 1. ANSYS力学分析过程

[0065] (1) 建立力学模型

[0066] 编写APDL命令流,将如图2所示的阵列天线的CAD模型输入ANSYS,按照悬臂梁结构,固定阵列天线的左端面,并在右端面施加50mm位移(或力载荷),得到变形后的天线模型,如图3所示。

[0067] 阵列天线的各零件的尺寸如表1所示,ANSYS分析中所用的单元类型和材料属性如

表2所示。

[0068] 表1阵列天线的尺寸参数

元件 \ 尺寸参数	长 (mm)	宽 (mm)	厚度 (mm)	半径 (mm)	高度 (mm)
骨架	317	200	0.508	-	-
基板	23.5	23.5	0.508	-	-
贴片	12.9	12.9	0.05	-	-
馈电圆柱	-	-	-	0.5	5.508
馈电外壳	-	-	-	0.5 (内) 1.72 (外)	5

[0070] 表2单元类型和材料属性参数

[0071]

单元和材料参数 元件	材料	单元类型	弹性模量 (Pa)	泊松比	密度 (Kg/m ³)
骨架	Rogers5880	SOLID185	1.0e9	0.38	980
基板	Rogers4350	SOLID185	1.0e9	0.38	980
贴片	铜	SOLID185	1.08e11	0.33	8900
馈电圆柱	铜	SOLID185	1.08e11	0.33	8900
馈电外壳	Rogers5880	SOLID185	1.0e9	0.38	980

[0072] (2) 提取节点信息

[0073] 为了后续的模型重构,需要用APDL命令流提取变形后模型的节点信息。提取所需几何元素的初始节点坐标(x_0, y_0, z_0)和变形后的节点位移(x', y', z'),将两者相加,得到变形后该几何元素上所有单元节点的坐标(x, y, z)。根据后续重构的需求,需要提取两处几何元素的节点信息:

[0074] 1) 提取贴片下表面和基板上表面的节点:用于后续的曲面拟合和曲面边界的确定。

[0075] 2) 提取基板馈电口的节点:用于在HFSS中重建馈电圆柱及外壳等。

[0076] 提取节点的APDL命令为:

[0077] $NDX(i) = NX(NNUM(i));$

[0078] $NDY(i) = NY(NNUM(i));$

[0079] $NDZ(i) = NZ(NNUM(i))$

[0080] 并将其存为.txt文件,用于后续程序的读取:

[0081] *cfopen,C:\.....\jiedian,txt

[0082] *vwrite,NNUM(1),NDX(1),NDY(1),NDZ(1)

[0083] 2. 基于MATLAB的模型重构

[0084] (1) 基板和贴片的重构

[0085] 本发明中基板和贴片重构采用如下思路:将提取的曲面节点信息读入MATLAB中,采用多项式拟合出相应的曲面,如图4所示,同时得到曲面方程,然后编写MATLAB-HFSS的

API接口程序,该程序可以输出HFSS的脚本文件,此脚本文件可在HFSS中利用曲面方程建立曲面,即基板和贴片。为了保证拟合阵列天线的电性能,要求贴片和基板完全贴合,为满足这一要求,本发明的基板和贴片使用同一曲面方程来拟合。此外,利用MATLAB搜索提取的节点坐标的x、y的最大值和最小值,作为面方程的x、y的定义域,即曲面的边界,z随之确定。

[0086] (2) 馈电元件的重构

[0087] (2.1) 圆柱上端面圆心位置的确定

[0088] 由于实际中的阵面变形较小,且馈电口处的面积在整个阵面中所占比例极小,加之不考虑材料的延展性,所以,模型变形后,馈电口处可以近似为平面。此时,将提取的基板馈电口的节点信息输入MATLAB中,在MATLAB中分别搜索该圆的x坐标、y坐标、z坐标的最大值和最小值,然后取中值,即近似为馈电圆心位置。如图5所示为在ANSYS中提取的馈电口的节点信息。

[0089] (2.2) 圆心处的法线方向的确定:

[0090] 设曲面(变形后的贴片和基板)方程的形式为 $F(x, y, z) = 0$,且 $F(x, y, z) = 0$ 在 $P(x_0, y_0, z_0)$ 处满足一定的连续性条件,则曲面在P点处的法线方程为:

$$[0091] \quad \frac{x-x_0}{F_x|_p} = \frac{y-y_0}{F_y|_p} = \frac{z-z_0}{F_z|_p};$$

[0092] 编写API接口程序,通过数据处理软件的控制,在电磁分析软件中根据法线方程建立相对坐标系,在相对坐标系下重建馈电圆柱等馈电元件,在下文详述。

[0093] (2.3) 馈电圆柱等的建立、移动和剪切。

[0094] 给定圆柱长度为5.508mm,编写MATLAB-HFSS的API接口,通过MATLAB控制,在HFSS中按6.508mm的长度建立馈电圆柱,圆柱按法线方向上移1mm,然后用贴片减圆柱,减掉这1mm,减出来的就是贴片的曲率,完全贴合。由于,贴片是面,厚度为零,且初始圆柱6.508mm的圆心在贴片所在的曲面上(也在基板上表面的曲面上),可以保证减完之后的长度为原长度。此过程可在MATLAB中编程自动实现。如图6为重构的馈电元件。

[0095] 3. HFSS对阵列天线的电性能分析

[0096] 调用MATLAB-HFSS的API接口,完成给HFSS中相关求解参数的设置。完成上述所有的MATLAB程序后,会生成完整的HFSS脚本,运行此脚本,可以得到HFSS中重构后的模型,如图7、图8所示,并得到该阵列天线的电性能分析结果。

[0097] 4. 验证方法的正确性

[0098] 首先,取一个未变形的天线单元来验证此方法的正确性。分别对原始模型和拟合模型进行电性能分析,得到其回波损耗图如图9,增益图如图10。对比发现,在误差允许范围内,两者的中心工作频率一致(5.8GHz),且增益一致(5.6097dB)。结果表明,基于MATLAB的拟合方法可行。

[0099] 5. 阵列电性能分析

[0100] 根据天线单元的电性能分析结果,证明本发明可行后,对该天线的阵列按照此方法进行模型重构,并施加50mm的悬臂梁位移载荷,然后对重构的模型进行HFSS仿真,得到其电性能分析结果,回波损耗图如图11,增益图如图12。由图11可以看出,阵列的32个馈电端口的中心工作频率皆在5.8GHz附近。图12表示出了阵列变形后的模型的增益(19.9312dB),并与未变形的原始模型(20.3296dB)做出对比,发现增益变低0.3984dB,相位偏移-9deg,副

瓣降低1.3451dB (13.0954dB-11.7503dB=1.3451dB)。

[0101] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

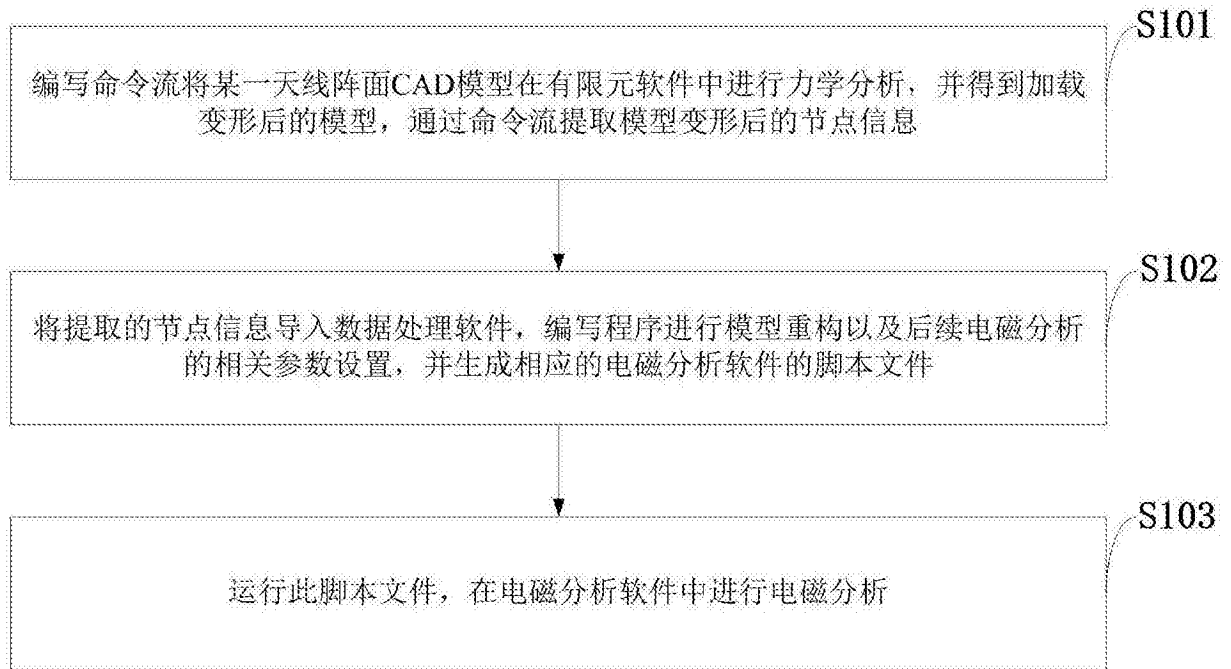


图1

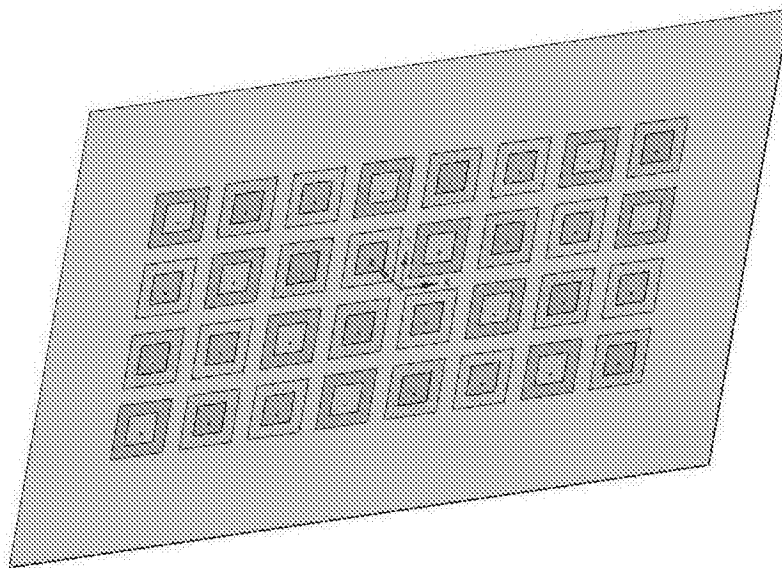


图2

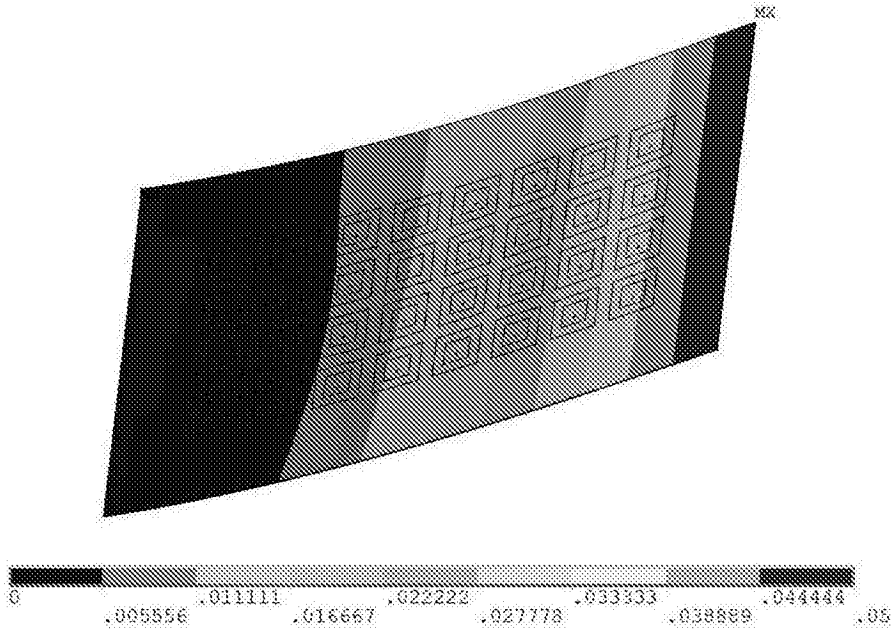


图3

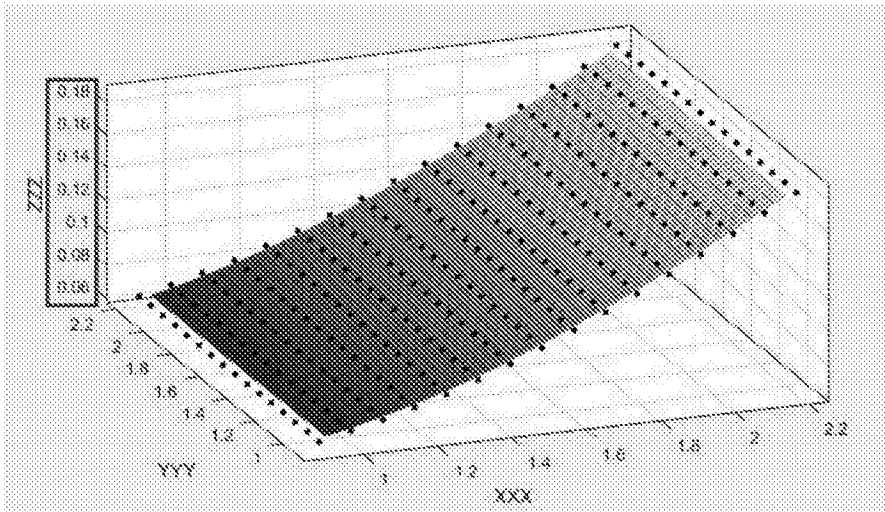


图4

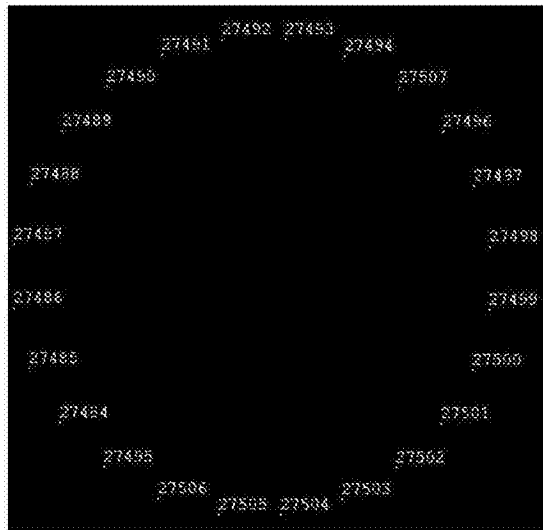


图5

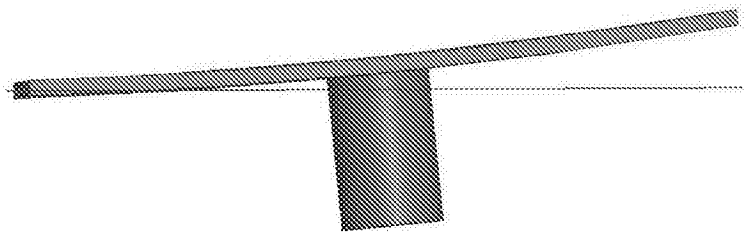


图6

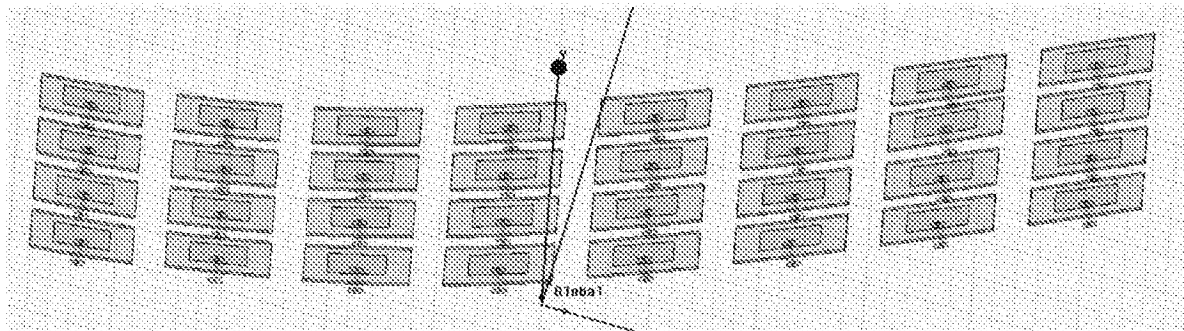


图7

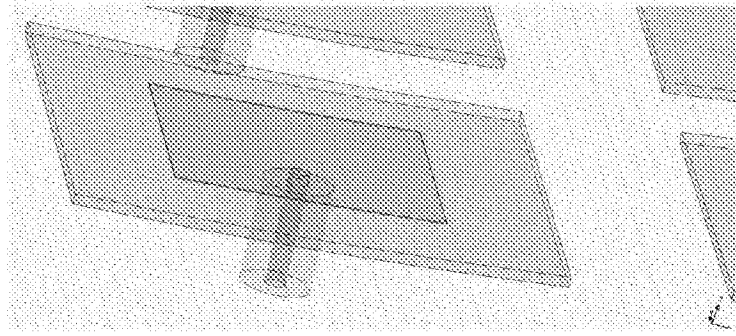


图8

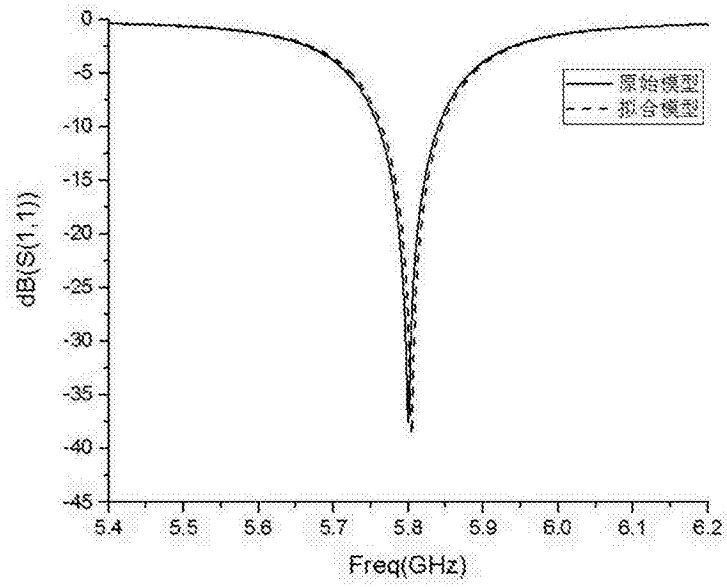


图9

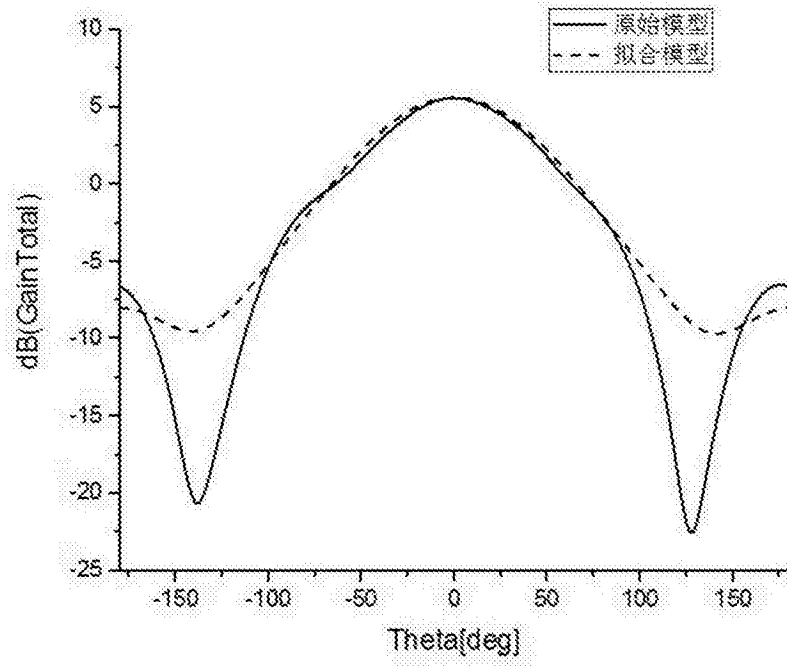


图10

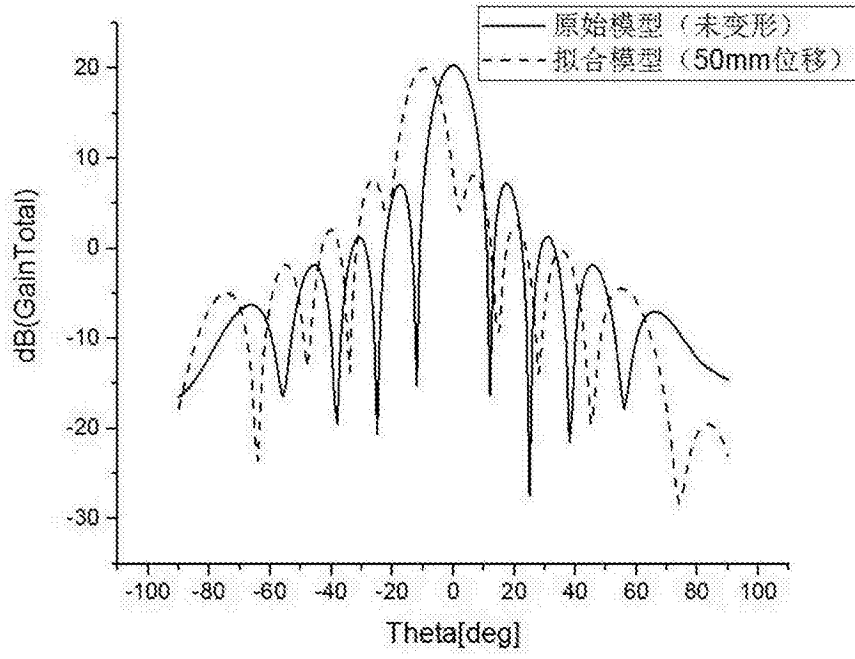


图12