

基于去耦分析的圆形天线阵列方向图综合*

Pattern Synthesis of Circular Array by Decoupling Methods

张志军 冯正和

(清华大学电子工程系微波与数字通信国家重点实验室,北京 100084)**

【摘要】 本文在本征激励方向图分析方法^[9]的基础上提出本征激励方向图的去耦分析方法,该方法将包含互耦的圆形阵列方向图综合问题转化为无互耦的圆形阵列方向图综合问题,从而将传统的不考虑互耦的理想圆形阵列方向图综合方法与考虑互耦的本征激励分析方法结合起来,作为对该方法的验证,本文比照已有文献中的结构进行了计算,给出了计算结果并进行了讨论。

关键词: 去耦分析, 本征激励, 圆形阵列

Abstract: Based on the eigen-driven analysis method of circular array, a decoupling method is proposed in this paper. This method transforms the pattern synthesis of circular array with coupling to the pattern synthesis without coupling. It combines ideal pattern synthesis methods with eigen-driven analysis method that considers coupling affect between array elements. To certify the valid of this method, an array structure is calculated and some results are presented and discussed.

Key words: Decoupling analysis, Eigen-driven, Circular array

一、引言

在无线通信、无线电测向以及其它许多应用中,需要天线阵列具有在水平面内进行360°扫描的能力,圆形阵列具有所需的全平面扫描能力。多数有关圆形天线阵列的文献^[1-3]都假设各单元之间无互耦存在,但在实际的阵列中存在着互耦。文献^[6,7]基于互阻矩阵对原子型圆形阵列的互耦影响进行了分析,如果利用文献^[6,7]的方法分析由其它类型的单元(微带天线、缝隙天线等)构成的圆形阵列,必须首先计算新型单元互阻矩阵,但目前能准确分析互阻矩阵的单元类型十分有限。利用三维数值电磁分析软件可以综合出部分圆形阵列的考虑互耦及端口失配影响的阵列方向图,但它们所需的计算时间相当长。

基于本征激励的自适应方向图综合算法^[9]适用

于由任意单元构成的圆形阵列方向图综合,该方法考虑了单元间互耦以及单元端口失配对阵列方向图的影响,由于该方法采用迭代算法进行综合,综合速度较慢。本文以该方法为基础,通过去耦分析,将一个包含互耦的圆形阵列转化为一个无互耦的圆形阵列,这样就可以利用已有的阵列优化和综合方法,缩短有互耦的圆形阵列的优化与综合时间。

二、基于本征激励的阵列方向图分析方法

图1是一个典型的 M 元圆形天线阵列,各天线单元均匀地分布在圆周上,由于阵列中单元分布的旋转对称性,它们所受的外部互耦影响相同。如果将圆形阵列的某一单元接信号源,而将其余的所有单元接阻抗值与信号源相同的无源负载,这样的—一个激励模式为本征激励模式,对应的阵列方向图称为本征激励模式的方向图(简称本征激励方向图)。本

* 1996年10月收到,1997年6月修改定稿。电子部十四所天线与微波技术国防科技重点实验室基金资助

** Zhang Zhijun, Feng Zhenghe(State Key Lab on Microwave and Digital Communications, Tsinghua University, Beijing 100084)

用圆形阵列的旋转对称性,通过将式(6)中的 b_1, b_2, \dots, b_M 进行如式(10)的平移获得:

$$f_n(\theta) = (b_M, b_{M-2}, \dots, b_M, b_1, \dots, b_{M-1}) \cdot (e^{jP \cdot R \cdot \cos(\theta - \theta_1)}, \dots, e^{jP \cdot R \cdot \cos(\theta - \theta_M)})^T \quad (10)$$

假设 a_1, a_2, \dots, a_M 是利用已有文献中的方法得到的一组不考虑阵列单元之间互耦影响的激励系数,将这组激励系数代入式(5)可以得到理想的阵列方向图:

$$g^0(\theta) = (a_1, a_2, \dots, a_M) \cdot (e^{jP \cdot R \cdot \cos(\theta - \theta_1)}, \dots, e^{jP \cdot R \cdot \cos(\theta - \theta_M)})^T \quad (11)$$

而由式(4)可知,通过 M 个本征激励方向图的叠加可以产生包含互耦影响时的圆形阵列方向图:

$$g^0(\theta) = (w_1, w_2, \dots, w_M) (f_1(\theta), f_2(\theta), \dots, f_M(\theta))^T \quad (12)$$

显然,希望考虑互耦影响时的阵列方向图和理想的阵列方向图相等,即:

$$g^0(\theta) = g(\theta) \quad (13)$$

将式(10)、(11)、(12)代入式(13),可得:

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 & b_M & \dots & b_2 \\ b_2 & b_1 & \dots & b_3 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_M & b_{M-1} & \dots & b_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_M \end{bmatrix} \quad (14)$$

式中 $[\]^{-1}$ 为矩阵求逆。由式(14)可知,对于任意一个采用已有文献中的优化方法得到的理想阵列的激励系数 a_1, a_2, \dots, a_M ,可以通过式(14)的变换得到实际阵列激励系数 w_1, w_2, \dots, w_M 。利用这组激励系数去激励单元之间存在互耦的实际圆形阵列,可以得到与利用 a_1, a_2, \dots, a_M 激励的理想阵列基本相同的阵列方向图。

四、结果讨论

为了验证本征激励方向图去耦分析方法的正

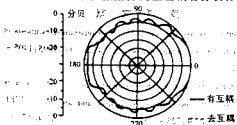


图2 归一化本征激励方向图(幅度)

确性,本文首先利用矩量法计算了一个30元阵列的本征激励方向图:该阵列由30个均匀分布在圆周上的半波振子构成,阵列半径为2m,对应的工作频率为300MHz,计算时用两根长245mm、宽5mm的无限薄金属条模拟半波偶极子天线的两臂,中间有10mm的间隙,为馈电点。每个半波偶极子天线划分为16个网格。为了计算本征激励方向图,分别在1端口用阻抗为75Ω的信号源激励,其余端口接75Ω的无源负载。图2中的实线是由矩量法计算得到的归一化本征激励方向图(功率)。由图可知,由于互耦和阵列单元端口失配的影响,归一化本征激励方向图产生波纹。如果各单元之间不存在互耦,阵列的归一化本征激励方向图应该是一个单位圆。图2中的虚线是利用本征激励方向图的去耦表达式计算出的本征激励方向图。在图2中我们基本无法分辨出这两个方向图之间的区别,本例中本征激励方向图与利用去耦合表达式计算出的方向图之间的相对误差为:

$$\frac{\int_0^{2\pi} |f_1(\theta) - \sum_{n=1}^M b_n \cdot e^{jP \cdot R \cdot \cos(\theta - \theta_n)}|^2 d\theta}{\int_0^{2\pi} |f_1(\theta)|^2 d\theta} = 1.63 \times 10^{-4}$$

图3是本征激励方向图相位的计算值,其中实线是由矩量法计算得到本征激励方向图相位,虚线是利用本征激励方向图的去耦表达式计算出的本征激励方向图相位。去耦表达式的各单元激励系数在表1中给出,由表中数据可知,相邻单元的耦合作用较强。

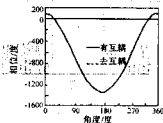


图3 本征激励方向图(相位)

为了观察阵列单元间互耦对阵列方向图的影响,本文首先利用文献[1]的闭式方向图综合方法综合了文献[1]中例1的方向图,对应的目标方向图为:

$$g(\theta) |_{\theta \in (0, 120)} = g(\theta) |_{\theta \in (240, 360)} = 0; \\ g(\theta) |_{\theta \in (135, 225)} = 1$$

计算的方向图在图4中由实线标出,计算出的各单元激励系数值在表1中给出(由阵列对称性,单元17-30分别与单元15-2相同),然后以这组系数激励实际的存在互耦的圆形阵列,计算出的包含各单元之间互耦影响的阵列方向图由图4中的虚线标出.由图4可见,由于阵列中各单元之间互耦的影响,阵列方向图的副瓣电平升高了20dB以上.

表1 阵列单元归一化激励系数

序号	去耦表达式 激励矢量		不考虑互耦的 激励矢量		考虑互耦的 激励矢量	
	幅度	相位	幅度	相位	幅度	相位
1	1.0000	77.7	1.0000	-74.4	0.8794	-178.4
2	0.2968	145.5	0.9057	-56.2	0.7647	-163.5
3	0.1369	-18.0	0.7420	-32.7	0.6640	-134.1
4	0.0674	-162.7	0.4063	12.9	0.2723	-93.3
5	0.0515	55.1	0.1982	-19.0	0.1777	-118.4
6	0.0218	-54.8	0.3750	-62.1	0.3484	-171.6
7	0.0247	-177.6	0.4508	-69.2	0.3343	-168.0
8	0.0363	112.7	0.1682	-110.8	0.1627	153.7
9	0.0288	13.5	0.1682	-110.8	0.1627	24.3
10	0.0538	-77.6	0.4508	69.2	0.3740	-23.7
11	0.0409	-141.5	0.3750	62.1	0.3727	-31.1
12	0.0533	123.6	0.1982	19.0	0.1999	-49.4
13	0.0555	84.9	0.4063	-12.9	0.4128	-88.5
14	0.0370	36.2	0.7420	32.7	0.7585	-52.8
15	0.0438	18.9	0.9057	56.2	1.0000	-36.6
16	0.0511	25.9	1.0000	74.4	0.9236	-21.6

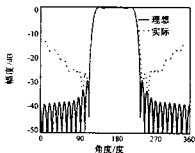


图4 单元间互耦对阵列方向图的影响

如果利用式(14)对采用文献[1]方法计算出的激励系数进行变换,可以得到存在互耦影响时阵列各单元所需的激励系数,经过变换后的激励系数在表1中给出.图5给出了由这组激励系数激励的,存在互耦影响的圆形阵列的方向图.由图5可见,利用本征激励方向图的去耦分析方法可以在考虑阵列互耦的前提下得到与已有文献基本相同的圆形阵列方向图综合能力.

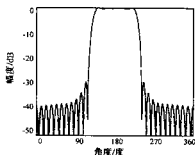


图5 考虑互耦的阵列方向图计算结果

五、结 论

本文在本征激励方向图分析方法的基础上提出本征激励方向图的去耦分析方法,该方法将一个包含互耦的圆形阵列方向图综合问题转化为一个无互耦的圆形阵列方向图综合问题,使传统的不考虑互耦的理想圆形阵列方向图综合方法与考虑互耦的本征激励分析方法结合起来,从而大大缩短有互耦的圆形阵列的优化和综合时间.



张 军 1971年生,1992年获电子科技大学学士学位,1995年获电子科技大学硕士学位,现为清华大学电磁场与微波技术专业博士研究生.



冯 正 1945年生,清华大学电子工程系教授,博士生导师.1970年毕业于清华大学,一直在该校任教,主要从事电磁场数值方法,微波毫米波技术及无线通信技术,阵列天线及智能天线的教学和科学研究工作.

参 考 文 献

- Roberto Vescovo, Constrained and unconstrained synthesis of array factor for circular arrays. IEEE Trans. AP, 1995; 1405 - 1410
- Surendra Prasad, et al. On the constrained synthesis of array patterns with applications to circular and arc arrays. IEEE Trans. AP, 1984; 725 - 730 (下转第 57 页)