

一种八单元圆环阵实现多波束的方法*

张熙瑜** 杨峰 聂在平

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】给出了一种用改进的 Butler 八单元圆环阵实现固定多波束天线阵的方法。天线阵由八个垂直地面放置的半波振子组成,通过改变馈电端口来控制波束的指向。由于添加了八个额外的移相器,可产生八个并行波束实现对水平面的完全覆盖,并可用于信号到达角的粗略估计。

关键词 Butler 网络; 圆环阵; 固定多波束天线阵; 移相器

中国分类号 TN821

A Method of Realizing Multibeam by a Eight-unit Circular Array

Zhang Xiyu Yang Feng Nie Zaiping

(College of Electronic Engineering., UEST of China Chengdu 610054)

Abstract A circular array realizing multibeam is given by modified traditional Butler network. The array is made up of vertical eight half-wavelength antennas. Changing the feeding port, it can control the beam direction. Because of additional eight phase splitters, the array can provide eight parallel beams covering the whole horizontal surface, and use for estimation of DoA.

Key words butler network; circular array; multibeam antenna; phase splitter

随着移动通信的迅速发展,传统的多址方式,如 CDMA、FDMA、TDMA 等,已不能满足日益增长的扩容需要。90年代初,文献[1]提出了智能天线的概念,其基本思想是利用信号空间特征差异,将同频率、同时隙的信号加以分离,从而达到扩容的目的。这就将通信资源由码域、频域、时域扩展到了空间域,属于空分多址体制。智能天线正是利用空分多址的思想,大大提高了信道的利用率。

智能天线一般可分为两类:自适应天线阵和多波束天线阵。自适应天线阵由于其跟踪信号需要依赖于算法的实现,因此具有响应速度慢、不能实时处理信号的缺点。而多波束天线阵则是利用多个并行波束覆盖整个用户区,波束指向固定。与自适应天线阵相比,具有不需要进行复杂计算和加权处理的优点。

多波束天线阵的实现有很多种方法,用 Butler 网络加以实现即是其中的一种。传统的 Butler 网络^[2]适用于直线阵,且只能产生偶对称的波束,其方向图不能覆盖 360° 水平面。而文献[3]对 Butler 网络进行了改进,使其用于面阵。由于其讨论的仅是四单元菱形布阵,其适用性受到限制。本文对传统的 Butler 网络进行改进,采用八个垂直地面放置的半波振子组成的圆环阵,通过引入八个额外的移相器,使之产生八个固定波束,实现对水平面的全方位覆盖。由于天线阵的阵元间存在互耦,因此本文还利用互阻抗法讨论了在考虑互耦时天线阵的设计方法以及失配对圆环阵方向图的影响。

2002年3月11日收稿

* 总装备部重点实验室基金资助项目

** 女 22岁 硕士生

1 八单元圆环阵 Butler 多波束天线阵

传统的 Butler 网络只适用于直线阵,当天线阵为八个垂直地面放置的半波振子组成的圆环阵时,如直接对其馈电则此时的方向图如图2所示。

由图2可以看出,各波束无固定指向,主、副瓣不明显,根本无法应用于移动通信。于是,本文对传统的 Butler 网络进行了改进。图3是改进后的 Butler 网络。与传统网络相比,它添加了八个额外移相器,天线阵为八个垂直地面放置的半波振子组成的圆环阵。此时,各天线单元的馈电相位已知。

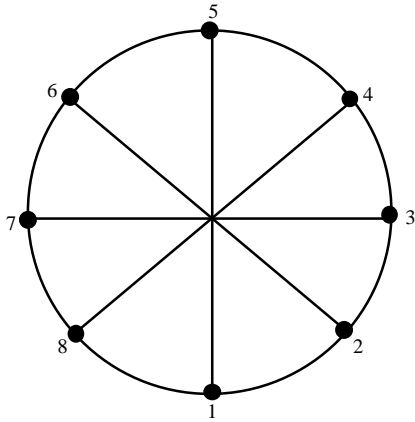


图1 圆环阵示意图

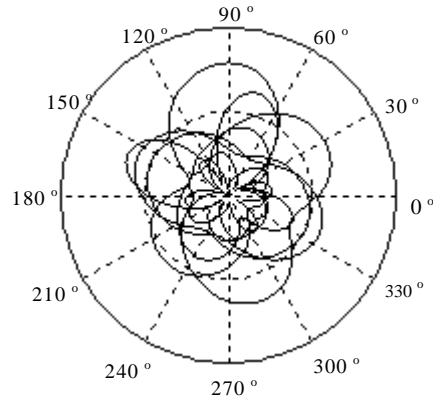


图2 传统 Butler 网络馈电时方向图

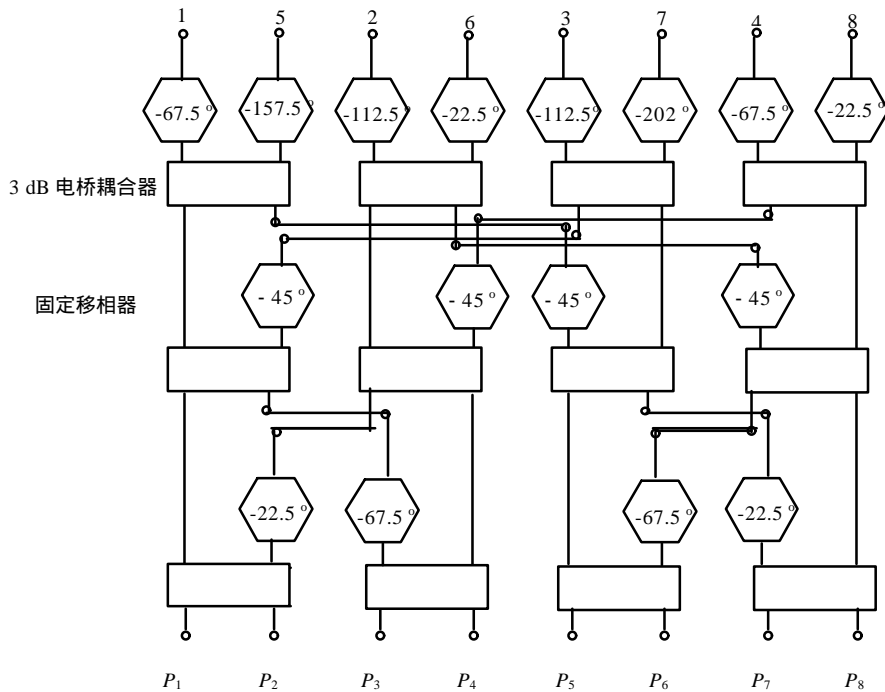


图3 改进后的 Butler 网络

若在 P_1 端口馈电,则各天线单元馈电电流相位分别为: 67.5° 、 225° 、 247.5° 、 315° 、 247.5° 、 225° 、 427.5° 、 315° ,此时天线阵的方向性函数为

$$F_1(\mathbf{j}) = \{ \exp(j(67.5^\circ + k \sin(\mathbf{j}))) + \exp(j(225^\circ - k \sin(45^\circ - \mathbf{j}))) + \exp(j(247.5^\circ - k \cos(\mathbf{j}))) + \exp(j(315^\circ - k \cos(45^\circ - \mathbf{j}))) + \exp(j(247.5^\circ - k \sin(\mathbf{j}))) + \exp(j(225^\circ + k \sin(45^\circ - \mathbf{j}))) + \exp(j(427.5^\circ + k \cos(\mathbf{j}))) + \exp(j(315^\circ + k \cos(45^\circ - \mathbf{j}))) \}$$

式中 $k=2\pi/\lambda$ 为自由空间波数。同理，在 $P_2, P_3, P_4, \dots, P_8$ 端口馈电时天线阵的方向性函数依此类推。

2 方向图仿真分析

2.1 不考虑互耦时

为得到确定的方向性函数，必须确定圆环阵的半径 a 。通过波束仿真分析，得到当 $a=0.4\lambda$ 时，天线性能最佳。图4是当 $a=0.4\lambda$ 时八单元圆环阵的极坐标方向图。不考虑互耦时，圆环阵环径 $a=0.4\lambda$ ，天线阵形成八个并行波束覆盖整个 360° 水平面，波束指向固定，半功率波瓣宽度为 50° ，主瓣电平约为 8 dB ，天线性能良好，为便于下面讨论，给出直角坐标下的天线阵方向图如图5所示。

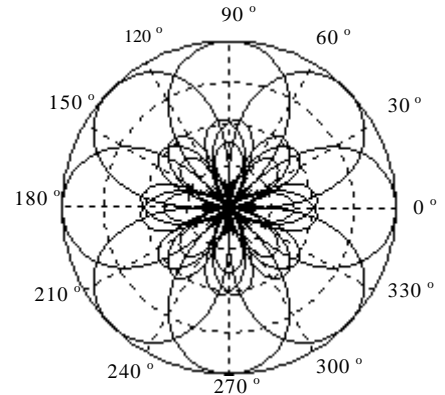


图4 八单元天线阵方向图

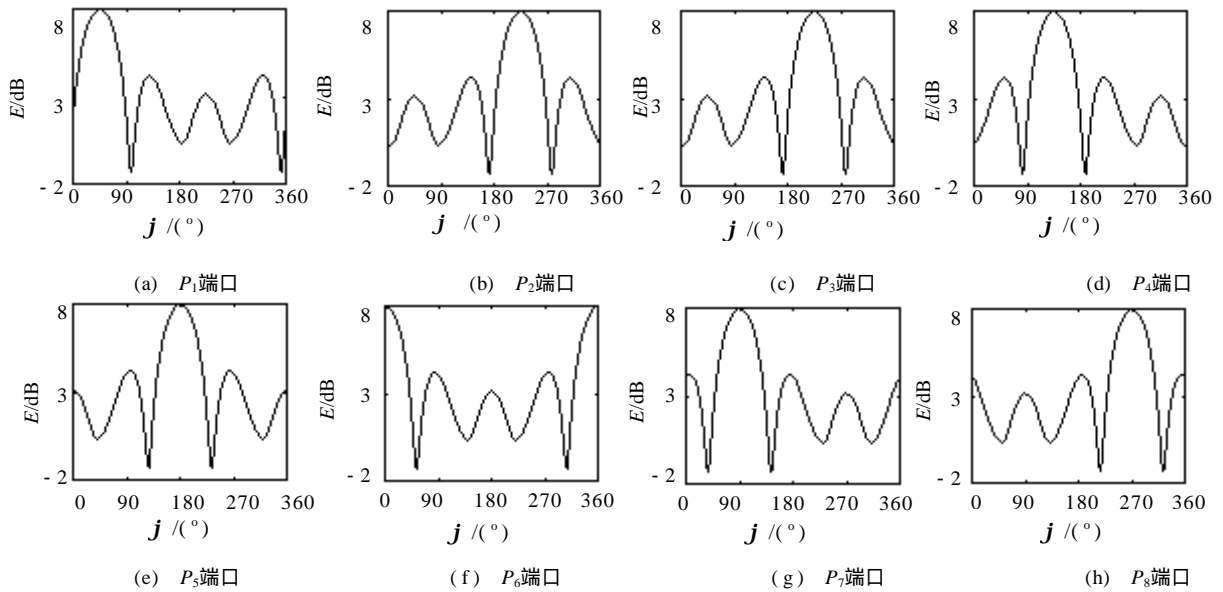


图5 不考虑互耦时各端口馈电时的方向图

2.2 考虑互耦时

实际情况中不可避免会出现互耦。我们采用互阻抗法^[4]来计算天线单元间的互耦。

对于相距为 d ，高度差为 H (此处 $H=0$)，长度为 L 的两平行等长对称振子，假设振子上电流分布为正弦分布，经化简，得到其互阻抗 R_{mn} 和 X_{mn} 分别为：

$$\begin{aligned} R_{mn} &= 30[2C_i(\mathbf{m}_0) - C_i(\mathbf{m}_1) - C_i(\mathbf{m}_2)] \\ X_{mn} &= 30[-2S_i(\mathbf{m}_0) + S_i(\mathbf{m}_1) + S_i(\mathbf{m}_2)] \end{aligned} \tag{2}$$

式中 $\mathbf{m}_0 = kd$ ， $\mathbf{m}_1 = k[\sqrt{d^2 + L^2} + L]$ ， $\mathbf{m}_2 = k[\sqrt{d^2 + L^2} - L]$ ， $S_i(x)$ 和 $C_i(x)$ 分别是正弦和余弦积分。得到两天线单元的互阻抗后，根据公式

$$I_{mn} = \frac{Z_{mn}}{Z_{nn}} I_n \tag{3}$$

即可算出第 n 个天线单元在第 m 个天线单元上激励起的感应电流。由此，得到考虑互耦时天线阵的方向图如图6所示。

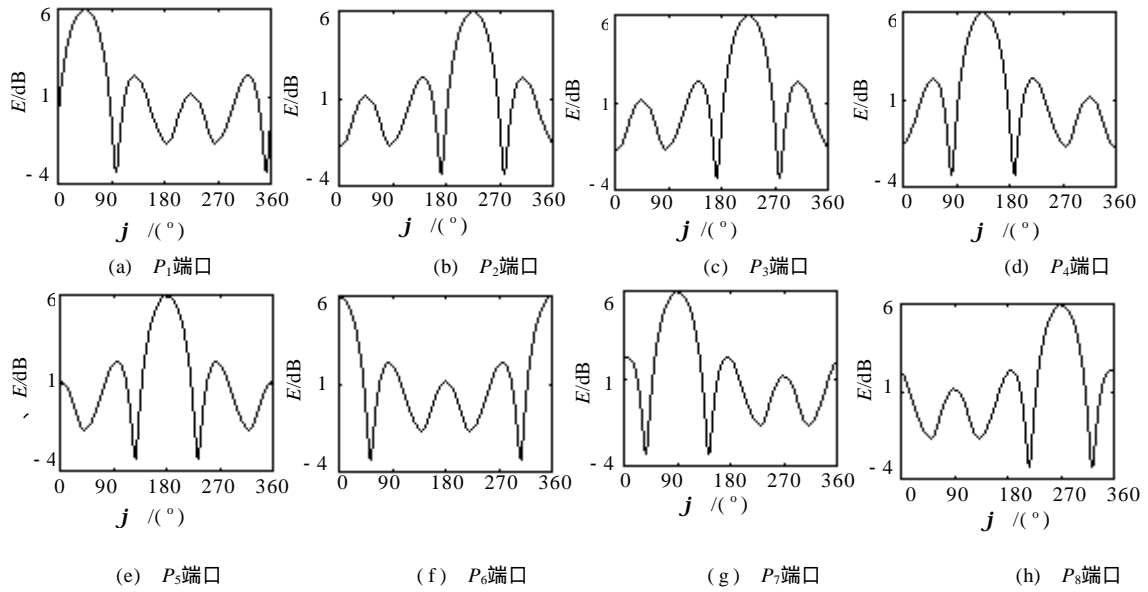


图6 考虑互耦时各端口馈电时的方向图

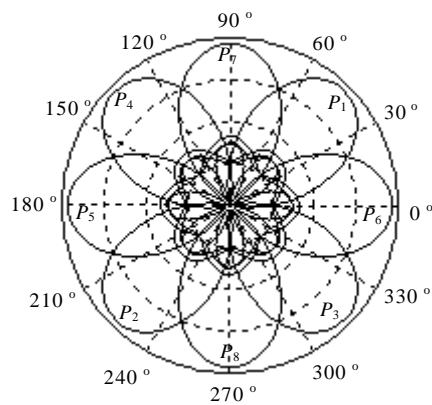


图7 优化后的方向图

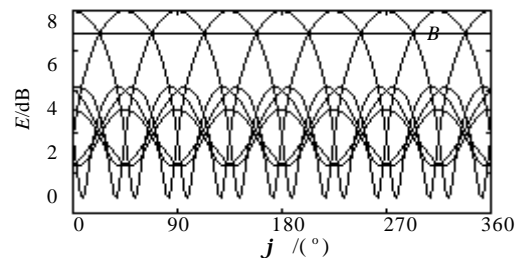


图8 八个波束的覆盖

比较图5和图6可以看出,在互耦影响下,天线的主瓣电平比无互耦时减小了约2dB。所以我们重新对环径 a 进行了优化,得到当 $a=0.35I$ 时,天线达到最佳性能。 $a=0.35I$ 时圆环阵的极坐标方向图如图7所示。由图7可见,优化后的方向图的主、副瓣略有增大,半功率波瓣宽度由原来的 50° 变宽为 53° ,零陷电平加深了4dB,但波束指向仍很固定,天线性能基本不变。

2.3 方向解析度的提高

图8是直角坐标下天线阵的方向图。当天线作为接收时,如果接受到的信号在 P_1 端口输出最强,且大于门限电平值 B ,则可以肯定此时的信号到达角(DOA)在 $45^\circ \pm 22.5^\circ$ 的范围内。以此类推,即可实现DOA的粗略估计。

2.4 考虑失配的情况

天线的馈电也是实际工程中的一个重要的问题。天线馈电失配不仅会改变阵阵元的幅度分布,也会对阵因子产生很大的影响。考虑失配的情况下,如图9所示,若驻波系数比 $S=1.5$,则反射系数为0.20,此时得到的八单元圆环阵的方向图与匹配时相比,主瓣增益略有下降,副瓣增益略有增高;当驻波系数 $S=2$,反射系数为0.3333时,主瓣增益下降较大,副瓣增益增大较多,且出现了不对称现象。因此,在实际工程中,应完善天线的馈电装置,使反射系数和驻波比尽可能小。

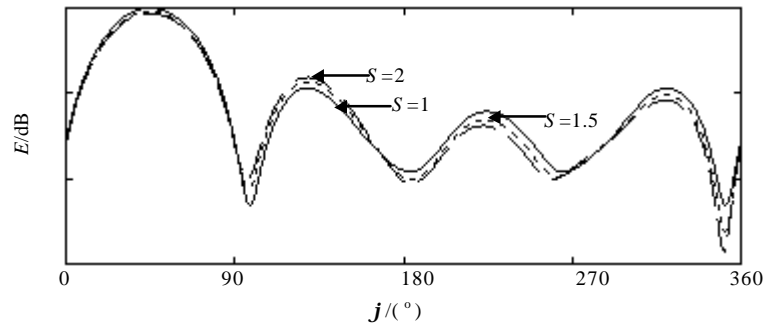


图9 一号天线单元失配 P_1 端口馈电方向图

3 结论

本文对传统 Butler 网络进行了改进，添加了八个移相器，使之应用于八单元圆环阵。这种圆环阵具有结构简单，易于实时处理，无需复杂加权计算的优点，能产生八个并行波束实现对水平面的 360° 覆盖，可实现对信号到达角的粗略估计，精度可达 $\pm 22.5^\circ$ 。

参 考 文 献

1. Joseph C, Liberti J. Smart antennas for wireless communications. IS-95 and Third Generation CDMA Applications, Prentice Hall, 1999
2. 张光义. 相控阵雷达系统. 北京:国防工业出版社, 1994
3. 杨煜, 冯正和. 用改进的 Butler 网络实现固定多波束面天线阵. 微波学报, 2000, 16(3): 23-241
4. 刘克成, 宋学成. 天线原理. 北京:国防科技大学出版社, 1989

· 科研成果介绍 ·

高性能微波陶瓷材料应用研究

主研人员：杨传仁 符春林 陈宏伟 周大雨 唐宗熙 黄春华 王志红 游文南 高翠英 叶耀红 秦光宇
苟富均 黄存根 胡江

利用化学方法制备出高纯亚微米级 BaCO_3 、 MgO 、钽酸镁及纳米级钽镁酸钡粉体，解决了 TaCl_5 溶解问题，通过原材料提纯及细化、粉体晶型控制，实现了高性能微波陶瓷原材料的国产化。

采用搅拌球磨等静压成型，烧结后期热处理等工艺，研制出 Q_0 值高、工作频率高、温度稳定性好的高性能钽镁酸钡微波陶瓷材料；突破了烧结过程中成分挥发、离子序化及杂相控制等关键技术。采用简化波法进行介质谐振器设计，配合机械精加工工艺制作的介质谐振器工作频率高、频率一致性好、互换性高。

该项目研制的高性能微波陶瓷材料及高 Q_0 介质谐振器已成功地得到应用，取得了良好的应用效果。

· 渠涌 ·