

椭圆形阵列天线的方向特性研究

徐天赐, 陈宏巍, 栾秀珍

(大连海事大学信息工程学院, 辽宁省大连市 116026)

摘要: 对椭圆形阵列天线的方向特性进行了研究, 证明了直线阵和圆环阵是椭圆形阵的特例。给出了椭圆形天线阵及在椭圆的中心和两个焦点上分别或同时加上一个阵元的情形下天线阵的方向性函数, 并绘制了相应方向性图, 仿真计算结果表明在椭圆的中心和焦点处加上阵元可有效地降低副瓣, 同时又不增加阵列的孔径。

关键词: 椭圆形阵列天线; 智能天线; 阵列因子; 方向性图**中图分类号:** TN821.91

0 引言

随着移动通信的迅速发展, 频谱资源尤显匮乏, 而可用的频谱资源是有限的, 因此提高频谱利用率就成为当前亟待解决的问题。智能天线技术因其能明显改善频谱利用率、增大通信系统容量而受到国内外学者广泛关注。智能天线系统一个重要组成部分是前端的阵列天线。目前对阵列天线方向图综合的研究主要针对直线阵和圆环阵。对于直线阵结构, 主要研究均匀布阵和稀疏布阵两种情况。对于圆环阵, 由于其具有全向扫描的稳定性, 对它的研究较多。文献[1]介绍一种天线阵列的数值综合方法, 主要通过实际的方向图和期望方向图之间的误差进行优化, 得到最接近期望方向图的激励值。文献[2]研究了在圆环阵中加中心阵元对方向图的影响。而对于椭圆形阵方向图的研究较少, 文献[3]通过优化算法对椭圆形阵进行了研究, 但对在椭圆形阵的内部附加阵元的情况并没有讨论。本文将对这种情况下天线阵的方向特性进行研究, 并在理论上证明这3种阵列结构的统一性。

1 智能天线中常用的阵列结构

智能天线中常用的阵列结构有均匀直线阵和均匀圆环阵两种。均匀直线阵是最简单的阵列结构, 所有阵元等间距排列在一条直线上, 如图1所示。图中, d 为阵元间距, φ 为入射到阵列上的平面波的方位角。

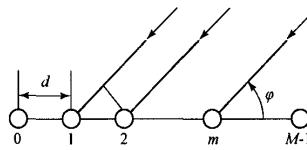


图1 均匀直线阵示意图

如果所有阵元的性能和取向相同, 则根据方向性图乘法原理, 天线阵列的方向性可以用单位阵元的方向性和阵列因子的乘积来表示, 如果阵元是全向性的, 就可以用阵列因子来分析阵列的方向特性了。对于 M 个阵元, 阵元间距 $d = \lambda/2$ 的均匀直线阵以 0 阵元为参考阵元时的阵列因子为:

$$f(\varphi) = \sum_{m=0}^{M-1} w_m e^{j\beta d m \cos \varphi} \quad (1)$$

式中: w_m 为每个阵元对应的支路上的权因子, 权因子具有幅值和相位, 通过对权值的调整, 可以将阵列因子的最大主瓣对准任意方向^[4]; $e^{j\beta d m \cos \varphi}$ 表示第 m 个阵元的信号与参考阵元(阵元 0)信号间的相位差, 用向量形式可表示为:

$$\mathbf{a} = [1, e^{j\beta d \cos \varphi}, e^{j\beta 2d \cos \varphi}, \dots, e^{j\beta(M-1)d \cos \varphi}]^T \quad (2)$$

\mathbf{a} 为导引向量, 表示各个阵元信号与参考阵元信号间的相位差。

图2是均匀圆环阵的示意图。

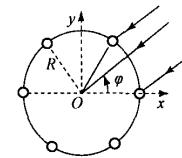


图2 均匀圆环阵示意图

假设阵元个数为 M , 均匀排列在半径为 R 的圆周上, 则相邻阵元之间的弧所对应的圆心角为 $2\pi/M$, 并且通常相邻阵元之间的弧长为 $\lambda/2$ 。取圆心为相位参考点, 以最右边的阵元作为第 1 个阵元, 按逆时针排序。

信号的入射角为 φ , 则均匀圆环阵的阵列因子为:

$$f(\varphi) = \sum_{m=0}^{M-1} w_m e^{j\beta R \cos(2\pi m/M) - \varphi} \quad (3)$$

2 椭圆形阵列天线的远场辐射特性

为了简化天线阵列的分析,作如下假设^[4]:阵元间距足够小,不同阵元接收到的信号幅值相同;阵元间没有互耦合;入射到阵列上的信号带宽小于载频。

为了进一步简化计算,采用全向天线作为天线阵的阵元,则天线阵的辐射场可用阵因子表示,以左焦点 F_1 为极点建立极坐标系表示椭圆形阵列结构,如图 3 所示。

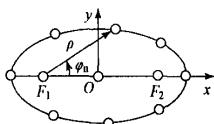


图 3 椭圆形阵示意图

图中,圆点表示阵元。椭圆的参数为:离心率 e ,焦点到准线的距离 p ,椭圆的长半轴 a ,短半轴 b ,极径 ρ ,左焦点 F_1 ,右焦点 F_2 ,椭圆中心 O ,焦距 f (大小等于线段 OF_1 的长度),则椭圆的极坐标方程为:

$$\rho = \frac{ep}{1 - e\cos\theta} \quad (4)$$

设信号的入射方向为 φ ,所有阵元的初始相位为 0,则阵列因子的表达式可表示为:

$$f(\varphi) = \sum_{n=1}^M w_n e^{j\beta\rho_n \cos(\varphi_n - \varphi)} \quad (5)$$

式中: β 为相位传播因子, $\beta = 2\pi/\lambda$; $\rho_n = ep/(1 - e\cos\varphi_n)$; $\theta = \varphi_n$,为第 n 个阵元的极角。

不同的 e 值对应不同的图形,为了求极限情况下的极坐标方程, p 值需要进行代换,经过计算得到:

$$p = \frac{a(1 - e^2)}{e} \quad (6)$$

将式(6)代入式(4)并求极限如下:

$$\rho = \lim_{e \rightarrow 0} \frac{e}{1 - e\cos\theta} = \lim_{e \rightarrow 0} \frac{a(1 - e^2)}{1 - e\cos\theta} = a \quad (7)$$

显然这是半径为 a 的圆。式(7)代入式(5)得:

$$f(\varphi) = \sum_{n=1}^M w_n e^{j\beta a \cos(\varphi_n - \varphi)} \quad (8)$$

比较式(8)和式(3),可以看出当 $a = R$ 时它们是一样的,也就是说圆环阵是椭圆形阵的一种特殊情况。对于统一直线阵和椭圆形阵,可直接求式(4)在 e 趋近于无穷大时的极限为:

$$\rho = \lim_{e \rightarrow \infty} \frac{ep}{1 - e\cos\theta} = -\frac{p}{\cos\theta} \quad (9)$$

式(9)表示的是垂直于极轴的直线,就是椭圆定义中的定直线。要将直线阵和椭圆阵统一在一起,需要改变直线阵的相位参考点,如图 4 所示, O 点(即椭

圆定义中的定点)为相位参考点,同时满足式(9)。

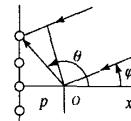


图 4 改变参考相位后的直线阵

不同的阵元对应的 θ 角不同,令 $\theta = \varphi_n$,则这时的均匀直线阵的阵列因子为:

$$f(\varphi) = \sum_{n=1}^M w_n e^{j\beta p_n \cos[\pi - (\varphi_n - \varphi)]} = \sum_{n=1}^M w_n e^{j\beta p_n \cos(\varphi_n - \varphi)} \quad (10)$$

比较式(10)和式(5)可以看出,它们是一样的,这说明均匀直线阵是椭圆形阵的另外一种特殊情况。可见,椭圆形阵包含了均匀直线阵和均匀圆环阵,是更具一般性的阵形。

本文还仿真计算了在椭圆中心和焦点上加阵元时的方向特性,在左焦点加一个阵元时的阵列因子为:

$$f(\varphi) = \sum_{n=1}^M w_n e^{j\beta p_n \cos(\varphi_n - \varphi)} + 1 \quad (11)$$

在右焦点上加一个阵元的阵列因子为:

$$f(\varphi) = \sum_{n=1}^M w_n e^{j\beta p_n \cos(\varphi_n - \varphi)} + w_r e^{j\beta F \cos \varphi} \quad (12)$$

式中: $F = e^2 p / (1 - e^2)$ 。

在椭圆的中心加一个阵元的阵列因子为:

$$f(\varphi) = \sum_{n=1}^M w_n e^{j\beta p_n \cos(\varphi_n - \varphi)} + w_c e^{j\beta F \cos \varphi} \quad (13)$$

由于椭圆的弧长难以计算,因而采用近似方法:将椭圆按角度均匀等分,如果份数足够多的话,每份的弧长近似等于弦长。设将椭圆均匀分成 N 等份,不妨规定 $\varphi = 0$ 为第 1 点,并按逆时针方向排列,则第 1 点为 $(\rho_1, 0)$,第 2 点为 $(\rho_2, 2\pi/N)$,第 n 点为 $(\rho_n, 2\pi(n-1)/N)$,从而不难得到相邻的两个点的距离为:

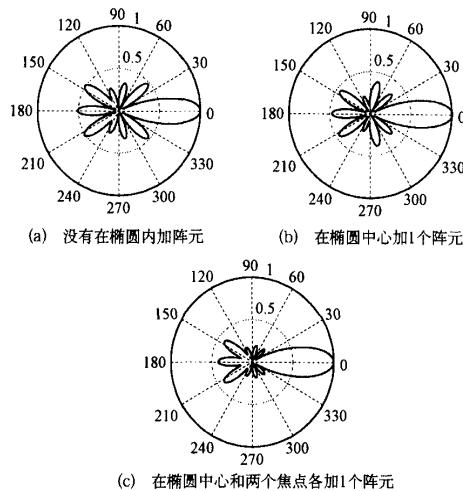
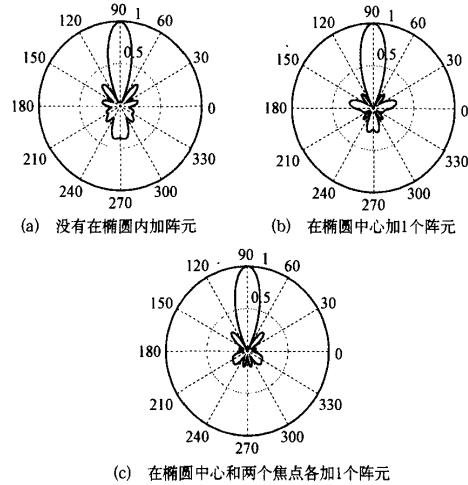
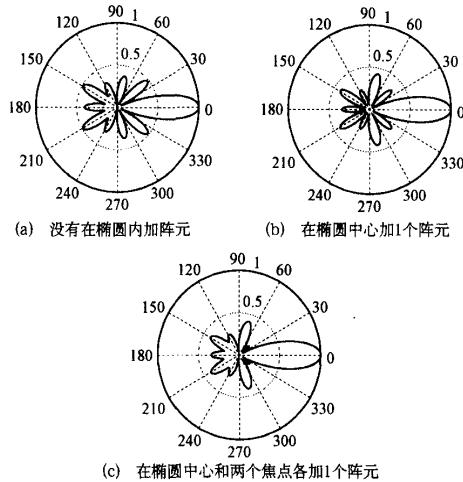
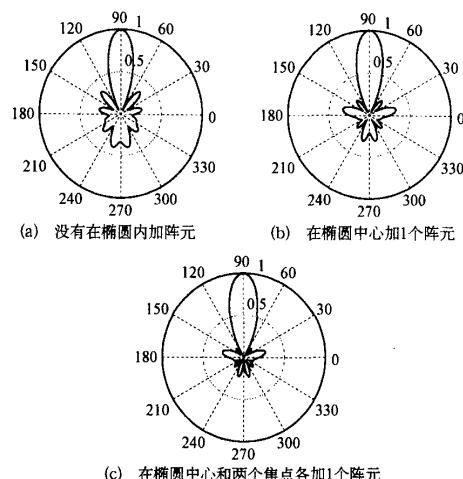
$$l_n = \sqrt{\rho_n^2 + \rho_{n+1}^2 - 2\rho_n \rho_{n+1} \cos \frac{2n\pi}{N}} \quad (n \geq 1) \quad (14)$$

只要等分的份数足够多,那么 $\sum_{n=1}^{M-1} l_n$ 足够接近椭圆的弧长,然后就可得到弧长为 $\lambda/2$ 对应的角度 φ 。

如果可以安排的阵元数为 M ,就可以得到每个阵元与参考点 O 的位置关系。

3 仿真计算

利用上述方法和公式对十元椭圆形阵进行了计算和仿真,阵元分布在图 3 所示的椭圆上。仿真结果如图 5~图 8 所示。

图5 $e=0.6, M=10, \varphi_M=0^\circ$ 时椭圆形阵的方向图图6 $e=0.6, M=10, \varphi_M=90^\circ$ 时椭圆形阵的方向图图7 $e=0.3, M=10, \varphi_M=0^\circ$ 时椭圆形阵的方向图图8 $e=0.3, M=10, \varphi_M=90^\circ$ 时椭圆形阵的方向图

4 结束语

本文对椭圆形阵列的方向特性进行了研究,并进行了一系列的仿真计算,给出了方向图的仿真结果,由仿真结果得到以下结论:

- e 值较小时,例如 $e = 0.3$,阵形接近圆环阵,加上内部阵元时,能明显降低副瓣电平,当在焦点和中心都加上 1 个阵元时,效果最好。
- e 值较大的时候,例如 $e = 0.8$,阵形接近直线阵,在最大方向指向 0° 时副瓣电平较大,当加上中心阵元时,对主瓣两边的副瓣降低较明显。
- 当 M 为偶数时,内部加上阵元时对副瓣电平降低的效果比较好。
- 当 e 值较大、 M 值也较大时,椭圆的长半轴和短半轴的长度都比较大,椭圆的内部空间就比较大,这样就可以在长轴和短轴上都加上一定数目的阵元,可以得到显著的效果。

参 考 文 献

- [1] 张志军,冯正和. 天线阵列方向图的一种数值综合算法 [J]. 电子学报. 1998, 26(9): 15-20.
- [2] 吕晓德,高本庆,刘瑞祥. 低副瓣智能天线阵型研究 [J]. 微波学报. 2000, 16(5): 593-597.
- [3] 党蛾. 降低椭圆形阵天线方向图旁瓣电平 [C]//中国电子学会论文集:1987年天线年会,1987年,南京.
- [4] LIBERTI J C, RAPPAPORT S. Smart antenna for wireless communication: IS-95 and third generation CDMA applications [M]. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1999.

(下转第 19 页)

MCU任何资源。因为Tx FIFO被请求发一个数据后,FIFO内的数据变为4,小于5,产生DMA请求,DMA0通道控制器收到该请求后,便从RAM中搬1字节到Tx FIFO中,与此同时,Tx HDLC会把Tx FIFO发出的数据以HDLC的帧结构发走,同时向Tx FIFO产生数据请求,该发送过程就这样循环进行,直到因DMA控制器中发送数据长度计数器减为0而使DMA控制器停止响应DMA请求,数据发送结束。

在接收数据时,首先设置DMA1的控制寄存器,然后使能Rx HDLC模块,启动DMA1,就可以在不占用MCU资源的情况下自动完成数据的接收。因为当Rx HDLC检测到数据时,通过CRC计算,如果发现错误便把该帧丢弃,如果未发现错误便向Rx FIFO发送数据请求信号,要求接收数据,由于Rx FIFO的DMA请求条件是该FIFO中数据非空,所以当Rx FIFO从Rx HDLC收到数据后便会产生DMA请求,然后DMA1通道控制器响应该请求,把收到的数据搬到RAM中指定的地方,当Rx FIFO再次为空时表示这一帧数据已被DMA搬到指定的RAM,所以此时Rx FIFO会以中断的方式通知MCU,以便MCU进行下一步工作。

4 结束语

根据上述设计方法,已成功地在Triscend公司的

TE512S32芯片上实现1MB/s的双通道HDIC数据收发的功能。

以MCU和FPGA构成的双核系统E5 CSoC进行设计是一种比较灵活、高效的方式,它避免了用IC设计时漫长的开发时间和较高的NRE(非重复性工程费用),避免了用传统单片机设计时寻找所需功能的芯片和设计这些芯片与单片机接口的麻烦,也避免了用传统单片机加FPGA设计时地址编译码、接口设计、功耗的降低、资源节省等问题。

当然,这种方法对其他以单片机控制为主、还需要一定的逻辑功能的场合也特别适用。尤其是该公司提供的开发平台fastchip有很多库函数以及对很多第三方EDA(电子设计自动化)工具的支持,大大减少了开发所需的时间,降低了开发的难度。

参 考 文 献

- [1] 陈明. 网络协议教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 黄智伟. 基于CPLD/FPGA的数字通信系统建模与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [3] 郭达波. 嵌入式系统原理、设计与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [4] 陈演平. HDLC的FPGA实现[C]//上海市通信学会第十届学术年会论文集, 2003年, 上海.

Realization of HDLC Based on CSoC

JIA Huazhong, CHEN Xiaoshu

(Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: This article gives a method of implementation of HDLC with a double-core chip Triscend E5. The HDLC Frame structure and its corresponding control modules are realized by the Configurable System Logic(CSL) on chip while the interactions between CSL and MCU are realized with DMA channels integrated in the chip and inner bus. Compared to conventional methods such as soft programming or pure FPGA, the method presented has the advantage of high flexibility, low complexity, great efficiency, high scale of integration and low power consumption.

Keywords: CSoC; MGU; HDLC; E5; FASTCHIP

(上接第3页)

A Study on the Directional Characteristics of Elliptic Array Antennas

XU Tianci, CHEN Hongwei, LUAN Xiuzhen

(Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: In this paper the directional characteristics of elliptic array antennas is studied and the fact that a linear array and a circular array is the especial cases of an elliptic array was proved. The directional functions of antenna and those with an element added to the center or focuses were given. The corresponding patterns were calculated. The results of simulation indicate that by above means the side lobe can be reduced effectively without increasing the aperture.

Keywords: elliptic array antennas; smart antennas; array factors; pattern

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>