

基于微遗传算法的稀疏天线阵列优化方法

李淳^{1,2} 王艳温¹

(1 中国电子科技集团公司第五十四研究所 河北 石家庄 050081)

(2 西安电子科技大学 雷达信号处理国家重点实验室 陕西 西安 710071)

[摘要]为生成无栅瓣、高空间分辨率的方向图,均匀平面阵列使用的天线单元数量很多,实现难度和成本高。稀疏布阵只需要相对较少的单元数目,会出现旁瓣电平升高、测向模糊等问题。通过对天线阵列特性进行分析,以全向一致、无栅瓣、低旁瓣的高分辨方向图为目标,利用微遗传算法对多重圆环阵列单元的位置参数进行优化,性能分析表明综合出的多重圆环阵列具有方位角对称、旁瓣电平低、起伏小的特点,且该算法优化效率高、收敛速度快。

[关键词]微遗传算法 优化 稀疏天线阵列 方向图

中图分类号: TN957.52 文献标识码: A 文章编号: 1008-1739(2010)13-50-4

An Optimization Method of Sparse Antenna Array based on Micro-Genetic Algorithm

LI Chun^{1,2}, WANG Yan-wen¹

(1 The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

(2 Key Lab of Radar Signal Processing, Xi'an University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: In order to generate pattern with no grating lobe and high spatial resolution, a large number of elements are needed for a uniform planar antenna array. The difficulty and cost of implementation are great. Whereas a sparse array requires fewer elements, the problems, such as rising of side lobe and ambiguity of direction finding, may appear. In this paper, through analyzing the characteristics of antenna array, a method of geometry shape of sparse antenna array is presented to achieve a high-resolution pattern with omnidirectional consistency, no grating lobe and low side lobe. And it optimizes position parameters utilizing micro-genetic algorithm. Performance analysis shows that the multi-loop array meets design requirements, and the synthesis algorithm is characterized by high efficiency and fast convergence rate.

Key words: micro-genetic algorithm; optimization; sparse antenna array; pattern

1 引言

阵列信号处理在现代通信、雷达、导航、射电天文系统中的应用日益广泛,天线构型方式设计与优化已经成为该领域的一项重要内容。N.Herscovici^[1]深入研究了圆环阵在信号到达方向估计及数字波束形成中的应用;M. Hajian^[2]给出了一种均匀、非均匀Y形结构的天线阵设计方案,可利用 MUSIC 算法进行精确角度估计;P.J.Bevelacqua^[3]研究了能有效抑制干扰的最优化阵列形式,并给出优化方法;M.D.Zoltowski^[4]分析了宽频带来波方向的估计问题,提出了使用不均匀阵列解决模

糊的方法;C.W. Ang^[5]运用遗传算法和模拟退火算法来优化阵列结构以得到具有良好性能的阵列,该方法可以运用到二维阵列无模糊估计中。

2 天线阵列特性分析

方向图是表征天线或天线阵列产生的电磁场及其能量在空间分布的性能参量,完整的方向图是一个三维空间图形。最常见的二维阵列形式为均匀平面天线阵,为了满足不出现栅瓣和高分辨率的要求,均匀阵列需要的天线单元数量很多,实现难度和成本都比较高。多重圆环阵的波束图具有方位角对

定稿日期: 2010-05-12

称、旁瓣电平起伏小的特点,而且通过稀疏布阵能够以较少的阵元数目获得较大的阵列孔径。但是由于阵元稀布,会出现旁瓣电平升高、栅瓣、测向模糊等一系列问题,因此需要对阵元位置进行优化,获得与均匀密布阵基本相似的性能。下面对多重圆环稀疏天线阵列进行重点研究。

假设多重圆环阵由M层圆环组成,每层圆环包括N个单元,其合成方向函数为:

$$\begin{aligned} FF(\theta, \varphi) = EP(\theta, \varphi) \times & \{ I_0 + \sum_{n=1}^{N_1} I_{1n} \exp[jk\alpha_1 \sin \theta \times \\ & \cos(\varphi - \varphi_{1n}) - jk\alpha_1 \sin \theta_0 \cos(\varphi_0 - \varphi_{1n})] \\ & + \cdots + \sum_{n=1}^{N_M} I_{Mn} \exp[jk\alpha_M \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_{Mn}) \\ & - jk\alpha_M \sin \theta_0 \cos(\varphi_0 - \varphi_{Mn})] \} \end{aligned} \quad (1)$$

式中,俯仰角 θ 为示向线与Z轴的夹角,方位角 φ 为示向线在XOY平面上投影与X轴的夹角, $EP(\theta, \varphi)$ 为单元天线的方向函数, θ_0, φ_0 为主波束指向; a_1, a_2, \dots, a_M 为各圆环半径; $\varphi_{1n}, \varphi_{2n}, \dots, \varphi_{Mn}$ 为各层单元方位角; $I_0, I_{1n}, I_{2n}, \dots, I_{Mn}$ 为各层第n个单元的馈电幅度,本文中均为1; N_1, N_2, \dots, N_M 为各层的单元个数。在限定单元个数、阵列口径面积的条件下,采用微遗传方法对多重圆环阵进行综合,调整圆环层数、各层圆环半径以及单元所处方位角,从而得到一个全局的“最优解”,以具有方位对称性、覆盖空域内旁瓣最低为优化准则。

3 阵列构型优化方法

3.1 微遗传算法的基本原理

遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是求解最优化问题的高效并行全局优化方法,已经应用于天线阵列方向图的综合。对于多维搜索空间,遗传算法需要很大的初始群体(通常100~10000)和多代进化才能达到或者接近最优解,这需要耗费大量的计算资源和计算时间。微遗传算法(Micro-Genetic Algorithm, MGA)是一种群体规模小、收敛速度快的优化方法,其繁殖过程与传统的遗传算法相似,但是在实现随机搜索方面存在巨大差异。MGA从随机的小初始群体出发(通常为5~50个),进行正常的遗传操作,很快即收敛,此时,在保留已经产生的最优个体的基础上加入随机产生的新的个体重新开始遗传操作,如此重复,通过使用群体重设策略避免得到局部极值,并且运用精英操作确保将最好的个体逐代传送下去,由于其初始群体很小,一般不进行变异操作。

3.2 多重圆环阵列的综合

在MGA优化过程中,适应度函数的选取至关重要,直接

影响到收敛速度以及能否找到最优解。对于优化问题,适应度函数就是目标函数,体现了对天线阵列性能的要求,以具有方位对称性、覆盖空域内无栅瓣、旁瓣最低为优化目标,构造适应度函数-fitness为:

$$\begin{aligned} fitness = X \times \frac{\sum_{k=1}^K |\max(PSSL)_k|}{X + \sum_{k=1}^K |\max(PSSL)_1 - \max(PSSL)_k|} \\ \varphi_k = \frac{2(k-1)}{K} \pi \quad k \in 1, 2, \dots, K \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $\max(PSSL)_k$ 指主波束指向(θ_0, φ_k)的最大峰值旁瓣电平, $\theta_0 = 60^\circ$, X 是调节分母敏感性的因子,体现了低旁瓣和方位角对称性两方面的要求,优化的目标函数取为:

$$f = \min(fitness)$$

考虑圆环层与层间不可交叠,在有限的口径下,可以容纳的圆环层数是有限的,针对于最小阵元间距为 d_{min} ,最大半径为 R_{max} ,最大可容纳的圆环层数为 N_{max} ,即

$$N_{max} = \left[\frac{R_{max}}{d_{min}} \right] + 1 \text{(中心, 即原点处, 独立为一层)} \quad (3)$$

对于多重圆环阵列,给定圆环层数N后,变量为每层圆环中“单元个数”、“半径”和“旋转过的角度”,共3N个变量,同时对上述参数进行优化,理论上可以获得全局最优的阵列形式,但由于优化变量种类较多,搜索寻优空间较大,得到的结果多是近最优解,因此需要进一步优化,可能得到更优的结果。通过数值仿真发现,“单元个数”对阵列的旁瓣性能有较大影响,因此,在不改变综合出阵列的“单元个数”的基础上,进一步分别对“半径”和“旋转过的角度”进行优化。变量个数越少,变量种类越单纯,得到全局最优结果的可能性越大,因此,在得到综合出的阵列形式后,可先对“旋转过的角度”进行优化,再对“半径”进行优化,反复多次,当适应度值和阵列的参数不再改变时,即可停止。

4 天线阵列构型和性能分析

假设天线阵列由36个单元组成,根据最大阵列孔径和最小阵元间距,多重圆环阵分为五层,每层圆环上均匀分布7个单元,中心有1个单元,阵列结构如图1所示。采用MGA对各层圆环半径进行优化,处理步骤如图

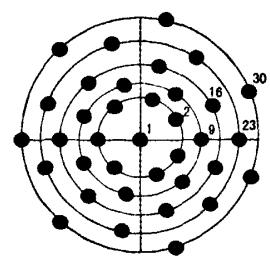


图1 多重圆环天线阵列结构

2 所示。

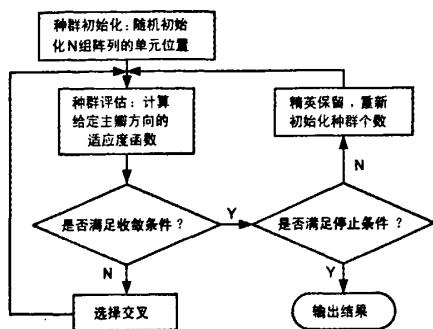


图 2 基于 MGA 的优化处理步骤

经上述优化处理,五层圆环的半径分别为 0.097m、0.194m、0.284m、0.409m、0.560m,以载频 2.0GHz 为例,对多重圆环阵的方向图进行分析,俯仰角 40°、方位角 150°时的方向图方位角切面、俯仰角切面如图 3 和图 4 所示,表 1 给出不同主波束指向对应的方向图性能。

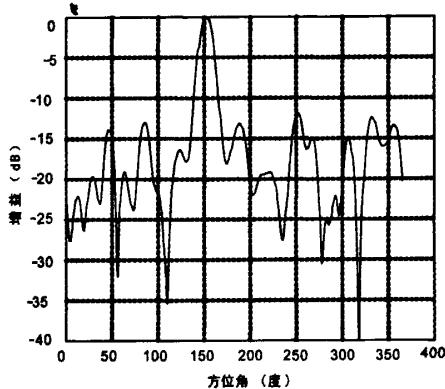


图 3 方向图方位角切面

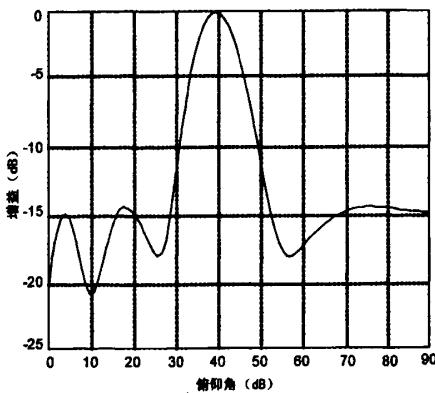


图 4 方向图俯仰角切面

表 1 频率为 2.0GHz 时,多重圆环阵的方向图性能

主波束	旁瓣	主瓣	宽度 1/()	宽度 2/()	方向性
指向 / ()	电平 / dB				
(0, 0)	-13.54	9.3	9.3	18.58	
(30, 0)	-11.95	10.7	9.2	17.85	
(30, 120)	-11.94	10.7	9.2	17.92	
(45, 0)	-10.68	13.0	9.2	16.75	
(45, 120)	-10.68	13.0	9.2	16.83	
(60, 0)	-9.15	17.24	9.2	15.18	
(60, 120)	-9.14	17.24	9.2	15.31	

可以看出,多重圆环阵列在法线方向上的旁瓣电平为-13.54dB,当主波束指向由 0 变化至 60 时,旁瓣电平也从-13.54dB 增加至-9.14dB。

5 结束语

基于微遗传算法的稀疏阵列构型优化方法通用性较强,对阵列口径、阵元间距等没有特殊的限制,只要给出单元个数、可供布阵的空间、天线单元大小等就可以优化出具有方位对称性、无栅瓣、旁瓣最低的阵列。经过微遗传算法优化得到的多重圆环阵列相对常规布阵副瓣电平下降 3~4dB。该阵列构型优化设计方法为获得最优的布阵结构提供了实践依据,作为阵列信号处理的关键技术,其创新与突破必将为通信侦察对抗技术的发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] Ioannides, P.; Balanis, C.A.; Uniform circular arrays for smart antennas. *Antennas and Propagation Magazine*[J], IEEE Volume 47, Issue 4, Aug. 2005: 192-206.
- [2] Hajian, M.; Coman, C.; Ligthart, L.P. Comparison of circular, Uniform- and non Uniform Y-Shaped Array Antenna for DOA Estimation using MUSIC Algorithm[J]. *Wireless Technology*, 2006. The 9th European Conference on 10-12 Sept. 2006: 143-146.
- [3] Bevelacqua, P.J.; Balanis, C.A Optimizing Antenna Array Geometry for Interference Suppression Antennas and Propagation[J], IEEE Transactions on. Volume 55, Issue 3, Part 1, March 2007: 637-641.
- [4] M.D., Zoltowski and C.P. Mathews , real-time

frequency and 2-d angle estimation with sub-nyquist spatio-temporal sampling[J], IEEE Trans. sp-42(10): 2781-2794, 1994.

[5] C. W. Ang, C. M. See and Alex C. Kot, "Optimization

of Array Geometry for Identifiable High Resolution Parameter Estimation in Sensor Array Signal Processing" [J], ICICS'97 Singapore, 9-12 September 1997.

Mellanox InfiniBand 为高性能应用提供全球最快的通信速率

Mellanox Technologies Ltd.于近日宣布：其 ConnectX-2 InfiniBand 适配器和 IS5000 InfiniBand 交换机被证实具有全球最快的点对点通信 MPI 性能。最近在 Mellanox 性能优化实验室进行的集群基准测试中，Mellanox InfiniBand 突显了其点对点通信的 MPI 信息速率——几乎可以达到每秒 9000 万次，这比其他同类的 InfiniBand 解决方案要超出三倍多。随后的基准测试也表明，随着节点和流程的增加，Mellanox 端对端的 InfiniBand 连接性为应用程序提供了线性可扩展的信息速率。

HPC 和技术计算的高级主管 Gilad Shainer 表示：“我们提供了最快的点对点 MPI 信息速率，以及完整传输卸载和 MPI 加速功能（如 MPI collective offload），使得 HPC 用户可以建立均衡、高效、无瓶颈的 CPU/GPU 系统。Mellanox 的高性能互连解决方案旨在以更高的应用性能、更快的并行通信和最高的可扩展信息速率来支持全世界科学家和研究人员不断增长的需求。”

Mellanox 的端到端 InfiniBand 连接包括 ConnectX-2 I/O 适配器产品系列、电缆和 IS5000 系列的固定和模块交换机组合，可以提供业界领先的性能、效率及具有最佳投资回报的性能互连的可扩展效益。针对世界上最高要求的计算应用，Mellanox 为其全球用户提供了的最高性能的端到端网络解决方案。

在美国计算机协会和电气电子工程师协会联合举办的国际计算机架构讨论会 (ISCA) 上的一次发言中，谷歌公司 (Google) 的科学家们建议能源均衡的数据中心使用一种独特的“蝴蝶拓扑架构”，它是由每秒 40Gb 的 InfiniBand 交换机和适配器所构成的。通过利用 InfiniBand 互连（每端口 2.5Gb/秒至 40Gb/秒）的固有灵活性来优化数据中心的利用率，并将功耗降至最低，数据显示 InfiniBand 网络可减少 85% 的功耗。

Mellanox Technologies 的董事会主席兼首席执行官 Eyal Waldman 表示：“在 InfiniBand 的基础上创建高性能企业数据中心的建议是这种技术的可行性步骤。Mellanox InfiniBand 技术降低了数据中心的功耗，以便将能效最大化，从而使企业在多元市场上取得更好的投资回报。作为 InfiniBand 行业的领先企业，我们将这项建议看作是 InfiniBand 技术在企业网络、云、互联网托管和 Web 2.0 应用等领域发展的见证。”

ProxySG 设备将 SAPBusinessObjects Enterprise 提速 90 倍

Blue Coat 系统公司近日宣布，5 月 16 日—19 日在奥兰多举办的 SAPPHIRE NOW 大会选择其广域网 (WAN) 优化解决方案来加速运行 SAP BusinessObjects Explorer 软件的演示站。

SAPPHIRE NOW 大会之所以选择使用 Blue Coat ProxySG 设备，是根据 SAP 合作创新实验室进行的一个项目的测试结果而决定的。实验室测试显示：在不同广域网条件下，ProxySG 设备都能持续加速应用程序对 SAP BusinessObjects Enterprise 软件的响应时间。虽然 SAP BusinessObjects 应用程序可在局域网提供高性能运行，但是分公司通过广域网链路而进行远程使用则会受到延迟和带宽限制的不利影响。

SAP 合作创新实验室项目经理 Kevin Liu 表示：“这是一个引人注目的项目，我们一直在密切跟踪。任何功能丰富的 Web 应用程序面临的同一个挑战就是：远程用户通过高延迟、低带宽网络访问应用程序时，如何降低他们的性能管理费用。SAP BusinessObjects 应用程序也不例外。在局域网中，用户体验往往大不相同，这取决于网络延迟和带宽限制所导致的性能下降程度。

实验室测试显示：通过 ProxySG 优化，远程办公室的响应速度可提高 90 倍。例如：通过印度分公司与硅谷总部之间的模拟网络链路，最初登陆 SAP BusinessObjects Enterprise 需要 7 分钟。而部署 ProxySG 之后，同样的登陆流程只需 8 秒钟。在 SAP BusinessObjects Web Intelligence? 软件中打开一个 10,000 行的报告需要花费近 5 分钟时间，而安装 ProxySG 设备之后，只需要不到 7 秒钟。在一个模拟低带宽网络的测试中，即使办公地点互相离得很近（例如：在同一个国家内），在未部署 ProxySG 的情况下，打开一个 10,000 行的 SAP BusinessObjects Web Intelligence 报告需要花费近 3 分半时间，而部署该设备之后，只需要 1 秒多种就可打开报告。除了加速应用程序响应时间，ProxySG 还可降低应用程序和内容所消耗的带宽量。在使用 SAP BusinessObjects Enterprise 的测试中，ProxySG 设备最高能够将带宽消耗量降低 97%。

Blue Coat 系统解决方案与技术营销副总裁 Jeff Barker 表示：“Blue Coat ProxySG 设备让远程用户能够享受与总部用户一样的响应速度。远程使用 SAP BusinessObjects Enterprise 的显著效果展示了 Blue Coat WAN 优化解决方案可为全球企业带来的巨大好处。”

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>