

天馈伺服系统

任意位置稀布阵天线的遗传优化

张昭阳 赵永波 黄敬芳

(西安电子科技大学 西安 710071)

【摘要】任意位置稀布阵通常具有较高的副瓣。为降低副瓣,本文使用遗传算法,提出了一种新的编码方法表示阵元位置。对于一个孔径为 50λ ,由25个阵元组成的阵列天线,本文得到了较低的副瓣,满足了工程应用的需要。

关键词:稀布阵;阵列优化;遗传算法;副瓣

中图分类号:TN823

文献标识码:A

文章编号:1008-8652(2009)03-068-03

Genetic Optimization of Sparse-Array Antenna at Arbitrary Position

Zhang Zhaoyang, Zhao Yongbo, Huang Jingfang

(Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract: Generally, side lobe level of a sparse-array at arbitrary position is high. Based on genetic algorithms, a new coding method to denote element position is proposed in order to reduce side lobe level. To an antenna array composed of 25 elements and with aperture of 50λ , low side lobe level is achieved by using of this method, and it satisfies the requirement of practical applications.

Keywords: sparse-array; array optimization; genetic algorithm (GA); side lobe

1 引言

阵列天线的阵元数对系统的成本、设备的复杂度和数据的处理速度都有很大影响。为此人们总是希望在保持孔径不变的情况下尽可能减少阵元数,即采用稀布阵。与均匀阵相比,稀布阵具有不受栅瓣影响以及阵列孔径大的优点。然而,稀布阵具有较高的副瓣。阵元的位置分布对阵列天线的副瓣有着密切的关系,因而需要对阵元进行优化,尽可能降低副瓣。对于任意位置稀布阵来说,其阵元分布没有了只能分布在等间距节点上的限制,期望能够得到更低的副瓣。

对于一个具体的稀布阵天线,该阵列天线为线阵,孔径为 50λ (λ 表示波长),25个天线阵元分布在长度为 50λ 的直线上。为了保证最大的阵列孔径,两端必须各布置一个阵元。文献[1,2]研究了阵元分布在间距为 $\lambda/2$ 的节点上的情况($d_i = k \cdot$

$\lambda/2, k$ 为整数),文献[1]采用模拟退火算法,得到的副瓣为 -12.07dB 的方向图,文献[2]采用遗传算法,得到的方向图副瓣为 -12.5dB 。本文研究了阵元在孔径内任意位置分布的情况,但为了避免阵元间的互耦,约束任意两个阵元间距不小于 $\lambda/2$ ($d_i \geq \lambda/2$),基于遗传算法,提出了一种新的编码方法来表示优化阵元位置,得到的方向图副瓣为 -15.33dB ,满足工程应用的需要。

2 阵列模型

对于一个阵列孔径为 D ,由 N 个阵元组成的稀布线阵,要求任意两个阵元间距不小于 d_c 。为了从物理上保证最大的阵列孔径,要求在阵列两端各布一个阵元。由于约束任意两个阵元间距不小于 d_c ,所以余下的 $N-2$ 个阵元分布在中间长度为 $D-2d_c$ 的直线上。阵元分布如图1所示。

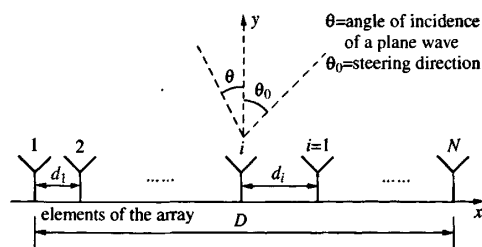


图1 阵元分布示意图

其中, $d_i \geq d_c, i = 1, 2, \dots, N-1$ 。记第1个和第 N 个阵元坐标为 $x_0 = 0, x_{N-1} = D$, 其余阵元坐标为 $x_i, i = 1, 2, \dots, N-2$ 。假设 N 个阵元的激励幅度相等, 即 $w_i = 1, i = 1, 2, \dots, N, w_i$ 为第 i 个阵元的激励幅度。则阵列的方向图公式^[1]:

$$p(u) = \left| \sum_{i=0}^{N-1} \exp(jkux_i) \right| \quad (1)$$

式中: $k = 2\pi/\lambda; u = \sin\theta - \sin\theta_0; \lambda$ 为波长; $p(u) = p(-u)$, 且关于 $u = 1$ 对称; $\theta, \theta_0 \in (0, \pi)$ 分别为平面波与线阵法线的夹角和天线波束指向。由式(1)可知, 阵列方向图与阵元位置有关, 优化阵元位置能够达到改善天线方向图, 降低副瓣的目的。

3 遗传算法

遗传算法(Genetic Algorithms, GA)最早由 Holland 提出^[3], 是一种基于生物自然选择和遗传机理的启发式优化算法, 它将影响问题结果的参数变量编码成染色体, 采用适值函数衡量各染色体的优劣程度, 经过交叉和变异引导搜索向更高的结果(问题的最优解)进化, 适者生存, 优胜劣汰。其关键是选择合理的编码方式, 适值评估函数, 以及交叉和变异概率的控制。遗传算法在阵列优化中已经取得了广泛的应用^[4-6]。

3.1 编码

为了满足任意两个阵元间距大于 d_c , 假设前 $N-1$ 个阵元都向后占据长度为 d_c 线段, 则共有长为 $(N-1)d_c$ 的线段上不能分布阵元, 剩下的区间总长为:

$$L = D - (N-1)d_c \quad (2)$$

在区间 $[0, L]$ 上生成 $N-2$ 个随机数 $c_i, i = 1, 2, \dots, N-2$, 把这 $N-2$ 个数按照从小到大的顺序排列为 $c_1 \leq c_2 \leq \dots \leq c_{N-2}$, 记 $c_0 = 0, c_{N-1} = 50, d_0 = 0, d_{N-1}$

$= 0$, 那么阵元位置的编码为:

$$x = c + \begin{bmatrix} 0 \\ d_c \\ 2d_c \\ \dots \\ (N-2)d_c \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ c_1 + d_c \\ c_2 + 2d_c \\ \dots \\ c_{N-2} + (N-2)d_c \\ D \end{bmatrix} \quad (3)$$

证明(3)式满足 $x_j - x_i \geq d_c, j > i, i, j = 0, 1, \dots, N-1$, 证明过程如下所述。

第2个阵元和第1个阵元的间距:

$$d_1 = x_1 - x_0 = c_1 + d_c - 0 \geq d_c \quad (4)$$

第 $i+1$ 个阵元和第 i 个阵元的间距:

$$d_i = x_{i+1} - x_i = (c_{i+1} - c_i) + ((i+1)d_c - id_c) \geq 0 + d_c \geq d_c, \quad i = 1, 3, \dots, N-1 \quad (5)$$

第 N 个阵元和第 $N-1$ 个阵元的间距:

$$d_{N-1} = D - (c_{N-2} + (N-2)d_c) \geq D - [D - (N-1)d_c + (N-2)d_c] \geq d_c \quad (6)$$

所以(3)式能够满足阵元间距不小于 d_c 的约束。

对于一个阵列孔径为 50λ , 由25个阵元组成的稀布天线阵列, 约束其任意两个阵元间距不小于 $\lambda/2$ ($d_c = \lambda/2$), 如果在优化阵元位置时精确到 0.1λ , 那么采用上述的编码方法产生染色体的步骤为:

$$L = 50\lambda - (25-1)\lambda/2 = 38\lambda \quad (7)$$

由于精确到 0.1λ , 则共有381个位置可选, 为了使用整数编码, 令 $l = 380$, 在 $[0, 380]$ 中产生23个随机数, 并按照从小到大排序为:

$$\text{chrom} = \{c_i \mid 0 \leq c_1 \leq c_2 \leq \dots \leq c_{23} \leq 380\} \quad (8)$$

将(8)中的 c_i 除以10后代入(3)即可得到真实的阵元位置 $x_i, i = 0, 1, \dots, 24$ 。

3.2 适值函数

在计算染色体代价函数值的时候, 需要考虑到主瓣宽度的约束, 目标的代价函数值为:

$$\text{objv} = \frac{p_{\max}}{p_{\min}} \quad (9)$$

其中: p_{\max} 是主瓣的峰值, $u \in \Psi$; p_{\min} 表示最大副瓣, $u \in \Psi_m$; Ψ_r 和 Ψ_m 分别表示主瓣区域和副瓣区域。本文中采用的副瓣区域为 $u \in [0.04, 1]$ 。

3.3 交叉和变异

交叉和变异操作是扩大了遗传算法的解的搜索空间,使得遗传算法能够以更大的概率得到全局最优值。采用上述编码方法时,由于要求染色体中的元素是按照从小到大排列的,就要求在交叉变异之后,重新对染色体中的元素进行排序。本文采用单点交叉的方法,交叉概率为 $p_c = 0.8$, 变异概率为 $p_m = 0.01$ 。

3.4 迁移

由于遗传算法的隐含并行性^[7],采用多种群并行进化的方法加快收敛速度。在进化若干代后,将各子种群中最优个体在种群间经行迁移。对各子种群而言,就是将其最优值传出去,同时接受另一个子种群的最优值,替换其最差的个体。

4 仿真结果

图2为基于遗传算法的阵列天线方向图优化流程图。根据上述遗传算法,对于阵列孔径为 50λ , 由25个阵元组成,任意两阵元间距不小于 0.5λ 的稀疏线阵进行计算机仿真,得到的方向图副瓣为 -15.33dB 。具体阵元位置为:0 0.9 1.6 5.8 7.9 9.5 10.3 11.2 12.1 12.9 13.8 14.5 15.4 16.3 17.1 17.9 18.9 19.6 20.7 21.5 22.3 24.3 25 28.2 50,单位为 λ 。阵列的方向图如图3所示。

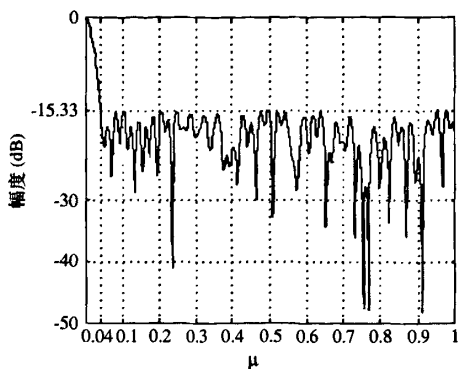


图3 天线阵方向图

5 结论

任意位置稀疏阵具有较高的副瓣,本文采用遗传算法,用一种新的编码方法表示阵元位置,并对其进行优化,降低了副瓣,满足工程上的要求。而且本文提出的编码方法,使遗传算法在稀疏线阵优化中,可以根据工程需要灵活改变最小阵元间距约束值,具有较强的适应性。但是,由于遗传算法同时处理多个不同的个体,与梯度算法相比,它的计算量较大,而且最优遗传算子的选择还是一个未解决的问题。

参考文献:

- [1] Vittorio Murino, Andrea Trucco, Carlo S. Regazzoni. Synthesis of Unequally Spaced Arrays by Simulated Annealing[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1996, 44(1).
- [2] 张子敬,赵永波,焦李成. 阵列天线的遗传优化[J]. 电子科学学报, 2000, 22(1).
- [3] Holland J. Adaptation in Natural and Artificial Systems[M]. MIT Press. Cambridge, MA, 1992.
- [4] 陈客松,何子述,韩春林. 非均匀线天线阵优化布阵研究[J]. 电子学报, 2006, (12).
- [5] 张浩斌,杜建春,聂在平. 稀疏阵列天线综合的遗传算法优化[J]. 微波学报, 2006, 22(6).
- [6] 韩荣苍,孙如英. 基于遗传算法的阵列天线赋形波束综合[J]. 现代电子技术, 2008, (9).
- [7] 刘勇,康立山,陈毓屏. 非数值并行算法:遗传算法[M]. 北京:科学出版社, 1995.

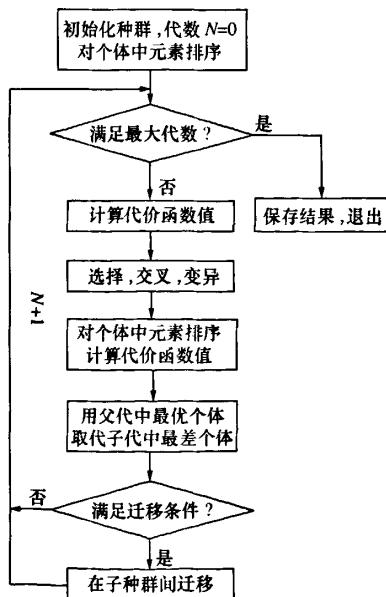


图2 算法流程图

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,一直致力和专注于微波、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>