

# 基于遗传算法的天线阵方向图优化设计

梁宇宏

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

**摘要:** 提出了一种改进的遗传算法。在优化过程中, 一些改进的技术, 诸如改进的选择方法和交叉方法等, 被用来提高算法的有效性。以各个天线单元的电流幅度和单元间距作为参量, 应用遗传算法对线天线阵方向图进行优化。结果表明, 对于 16 元等间距阵列, 能够得到-42dB 的副瓣电平。对于 10 元不等间距阵列, 通过改变单元间距, 在相同大小的天线阵尺寸、同样数量的天线阵单元数目的情况下, 能够得到比切比雪夫阵更好的效果。

**关键词:** 遗传算法, 辐射方向图, 线天线阵, 切比雪夫

## Optimization of the Radiation Pattern of Linear Array Antennas Based on an Improved Genetic Algorithm

Liang Yu Hong

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036)

**Abstract:** An improved genetic algorithm is presented. In the optimal process, some technique and skills are used to make the algorithm more effective, such as the improved way of selection and the way of crossover, etc. The pattern of linear array is optimized via adjusting the amplitude of the current of elements and the distances between elements by using the improved genetic algorithm. Results show that, as for 16-element equispaced array, the sidelobe level can reach -42dB. As for 10-element nonequispaced array, adjusting space but still keeping the same length of the array and number of the elements, should give better results than Chebyshev method.

**Keywords:** genetic algorithm, radiation pattern, linear array antennas, Chebyshev

## 1 引言

遗传算法作为一种全局优化算法已经在阵列天线综合方面获得了广泛的应用<sup>[1-5]</sup>。文献<sup>[1,2]</sup>应用遗传算法实现阵列天线的低副瓣。文献<sup>[3]</sup>应用遗传算法实现了唯相位控制方向图零点生成。文献<sup>[4,5]</sup>则实现了对宽零陷方向图的控制。本文提出了改进的遗传算法, 并将其应用于天线阵方向图的优化设计。在第 4 节中给出了基于改进遗传算法的天线阵方向图优化的设计实例。对于 16 单元等间距阵列, 以天线阵各单元的激励电流幅度为参数进行优化, 得到了比文献<sup>[2]</sup>更低的副瓣电平。对于 10 单元不等间距阵列, 以天线阵各单元的激励电流幅度和各阵元间距为参数进行优化。在相同大小的天线阵尺寸、同样数量

的天线阵单元数目的情况下, 能够得到比道尔夫-切比雪夫阵更好的效果。

## 2 天线阵模型

阵列形式是线阵天线阵, 考虑由  $N$  个各向同性辐射单元组成。单元排列的直线取作  $Z$  轴, 取阵列中心为坐标原点。本文对各阵元激励电流幅度和各阵元间距作为参数进行考虑, 令各阵元初始相位无偏差。对于  $N$  个阵元的天线阵, 其远场方向图为<sup>[6]</sup>:

$$F(\theta) = \sum_{i=1}^N I_i e^{jkz_i \cos \theta}$$

式中  $\theta$  为测量点与阵列法线的夹角,  $\lambda$  为工作波长,  $k = 2\pi/\lambda$  为波数,  $I_i$  为第  $i$  个单元的激励电

流幅值,  $z_i$  为第  $i$  个单元的坐标位置。因为天线阵的几何结构是关于中心对称的, 所以总的变量数可以得到减少。当天线阵单元间距相等时, 只考虑激励电流幅度参量。对于  $N$  为偶数的天线阵, 只需要优化  $N/2$  个参量; 对于  $N$  为奇数的天线阵, 只需要优化  $(N+1)/2$  个参量。当天线阵单元间距不等时, 需要同时考虑激励电流幅度参量和单元间距参量。对于  $N$  为偶数的天线阵, 有  $N/2$  个电流幅度参量和  $N/2$  个单元间距参量需要优化。对于  $N$  为奇数的天线阵, 有  $(N+1)/2$  个电流幅度参量和  $(N-1)/2$  个单元间距参量需要优化。

### 3 改进的遗传算法

本文采用一种改进的选择方法。基于适应值比例选择方式通常采用轮盘赌的方式来实现<sup>[7]</sup>。适应值比例选择方式首先计算每个个体的适应值, 然后计算出此适应值在群体适应值总和中所占的比例, 表示该个体在选择过程中被选中的概率。对于给定的规模为  $n$  的群体  $P = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , 个体  $a_j \in P$  的适应

值为  $f(a_j)$ , 其选择概率为<sup>[8]</sup>: 
$$p_s(a_j) = \frac{f(a_j)}{\sum_{i=1}^n f(a_i)},$$

$j=1, 2, \dots, n$ . 本文的选择方法为: 直接对各个体的生存期望数目  $P(a_j)$ , 向下取整得到  $x(a_j)$ . 对  $x(a_j)$  求和得到  $m$ , 即  $m = \sum_{j=1}^n x(a_j)$ . 此时只需要再生成  $(n-m)$

个个体就可以形成完整的子代。将各个个体的生存期望数目  $P(a_j)$  只取其小数, 然后按从大到小的顺序进行排列, 选择前  $(n-m)$  个个体, 按照其原有序号对应的个体分别赋值为 1, 然后与原有对应序号向下取整得到的整数值相加, 便得到该个体实际选取个数。本文的选择方法能够更好的体现适应者更多繁殖, 不适者少量繁殖或者不繁殖的情形, 从而加快收敛。并且能够有效防止最有解的丢失。

遗传算法的交叉方式采用单点交叉和均匀交叉方式相结合的方法。单点交叉方式是一种基本的交叉方式, 对父代个体的破坏性较小, 能够促进收敛。均匀交叉方式可以促进解空间的搜索, 而且 Spears 和 De Jong 认为是优于多点交叉方式<sup>[9]</sup>。但此种交叉方式对父代个体的破坏性较大。本文是让单点交叉和均匀交叉方式在各进化代中交替使用, 即进化

代数奇数时, 采用单点交叉方式, 进化代数偶数时, 采用均匀交叉方式。

自适应遗传算法在保持群体多样性的同时, 保证遗传算法的收敛性。对于进化的每一代而言, 交叉概率  $P_c$  和变异概率  $P_m$  按照自适应规则, 计算表达式如下<sup>[10]</sup>:

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - (P_{c1} - P_{c2})(f - f_{avg}) / (f_{max} - f_{avg}), & f \geq f_{avg} \\ P_{c1}, & f < f_{avg} \end{cases} \quad (1)$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} - (P_{m1} - P_{m2})(f' - f_{avg}) / (f_{max} - f_{avg}), & f' \geq f_{avg} \\ P_{m1}, & f' < f_{avg} \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $f_{max}$  为每代中群体中最大的适应度值,  $f_{avg}$  为每代群体的平均适应度值,  $f'$  为要交叉的两个个体中较大的适应度值,  $f$  为要变异个体的适应度值, 令  $P_{c1}=0.9$ ,  $P_{m1}=0.1$ ,  $P_{c2}=0.6$ ,  $P_{m2}=0.01$ . 具体的取值可以根据设计要求进行改变。

最后对遗传算法采用精英保留策略<sup>[11]</sup>。本文的遗传算法的基本步骤如图 1 所示。

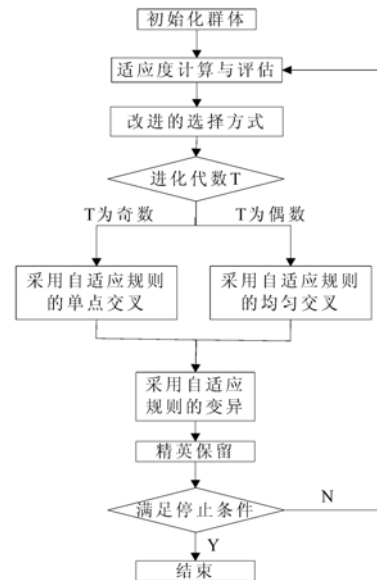


图 1 本文遗传算法的流程

### 4 设计实例

本文优化线阵天线各阵元的激励电流幅度和各阵元间距, 优化目标是降低副瓣电平和减小主瓣宽度。本文的线阵天线阵均不考虑天线单元间的互耦影响。

### 4.1 当各单元间距为等间距

设线阵天线阵单元数为 16，间距为  $0.45\lambda$ 。此时只有天线阵各单元的激励电流幅度作为参变量进行优化，激励电流幅度从 0 到 1 之间进行选取。文献[2]通过遗传算法优化得到了约为-29.3dB 的副瓣电平。本文初始群体规模为 200，进化代数数为 300，优化到第 55 代得到了-42dB 副瓣电平。得到了比文献[2]更低的副瓣电平。表 1 为优化后的归一化激励电流幅度值，图 2 为其优化后的方向图。

表 1 16 元阵列归一化结果

天线单元序号	初始最佳个体	优化最佳个体
1 和 16	0.42835	0.06549
2 和 15	0.65311	0.15543
3 和 14	0.67537	0.28250
4 和 13	0.72993	0.44184
5 和 12	0.95818	0.62854
6 和 11	0.97697	0.79668
7 和 10	0.91004	0.93451
8 和 9	1.00000	1.00000

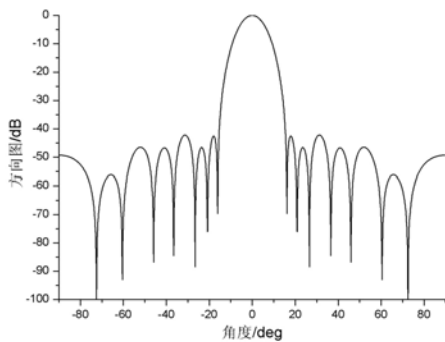


图 2 16 元等间距阵列方向图

### 4.2 当各单元间距为不等间距

在线阵设计中，为了实现窄波瓣、低副瓣的天线，往往采用道尔夫-切比雪夫阵。这种阵的特点是，在给定副瓣电平的情况下，具有最窄的波瓣宽度<sup>[12]</sup>。

在相同大小的天线阵尺寸、同样数量的天线阵单元数目的情况下，通过遗传算法优化后的不等间距天线阵能够得到比道尔夫-切比雪夫阵更好的效果。此时天线阵各单元的激励电流幅度和各天线单元间距一起作为参变量进行优化。

对单元数为 10 的天线阵进行优化。当单元间距过近，会产生强的耦合效应。因此天线单元间距的

取值范围令为  $0.4\lambda$  到  $1\lambda$ ，单元激励电流幅度的取值范围为 0 到 1。初始群体规模为 200，进化代数数为 450，第 393 代得到-50.80dB 的副瓣电平。表 2 为优化得到的天线阵各单元与阵中心的距离和归一化的激励电流幅度值，与同等天线阵尺寸的切比雪夫阵进行比较。两种方法的副瓣电平均为-50.80dB 时，切比雪夫阵方向图的波瓣宽度为 13.69 度，本文方法优化后得到的方向图的波瓣宽度为 13.44 度，波瓣宽度略窄于切比雪夫阵。图 3 将两者方法得到的方向图做出对比。

表 2 间距与激励电流幅度的比较

天线单元序号	切比雪夫阵		遗传算法	
	与阵中心的距离( $\lambda$ )	激励电流幅度	与阵中心的距离( $\lambda$ )	激励电流幅度
1 和 10	0.28789	0.06752	0.22669	0.12721
2 和 9	0.86367	0.23444	0.64873	0.46933
3 和 8	1.43945	0.50580	1.21752	0.92030
4 和 7	2.01523	0.80302	1.88829	0.97534
5 和 6	2.59102	1.00000	2.59102	1.00000

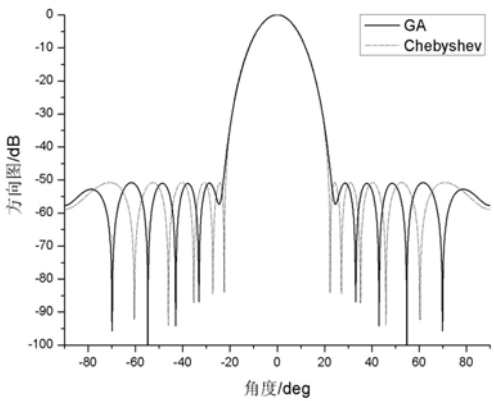


图 3 10 元等间距阵列方向图

## 5 结论

本文的遗传算法采用了改进的选择方法，和在奇偶进化代中交替使用不同的交叉方式等方法。改进的遗传算法能够有效的对天线阵方向图进行优化设计。计算实例表明，对于等间距的 16 元阵列和不等间距的 10 元阵列能够分别得到-42dB 和-50.8dB 的超低副瓣电平。并且对于不等间距天线阵，在相同大小的天线阵尺寸、同样数量的天线阵单元数目的情况下，能够得到比道尔夫-切比雪夫阵更好的效果。

即能够在得到相同大小的副瓣电平的情况下, 有比一切比雪夫阵更窄的波瓣宽度。

### 参 考 文 献

- [1] K. K. Yan and Y. L. Lu. Sidelobe reduction in array pattern synthesis using genetic algorithm. IEEE Transactions of Antennas and Propagation, 1997,45:1117-1121.
- [2] Dong Tao, Li Yu-ying, Xu Xiao-wen. Genetic algorithm in the synthesis of low sidelobe antenna array. 2002 3rd International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology,2002: 751-754
- [3] 马云辉. 基于遗传算法的唯相位控制方向图零点生成. 微波学报, 2001, 17(2):41-46.
- [4] Y. L. Lu and B. K. Yeo. Adaptive wide null steering for digital beamforming array with the complex coded genetic algorithm. Proc. of 2000 IEEE International Conference on Phased Array Systems and Technology, 2000: 557-560.
- [5] Y. Wang and Y. L. Lu. The combination of neural networks and genetic algorithm for fast and flexible wide nulling in digital beamforming. Proc. of the 9th International Conference on Neural Information, 2002, 2: 782-786.
- [6] John D.Kraus, Ronald J.Marhefka. Antennas:For All Applications. McGraw-Hill, 2002.
- [7] 张霞, 陶海红, 廖桂生. 基于实数编码遗传算法的方向图模值综合方法. 系统工程与电子技术, 2008, 30(6):1022-1026.
- [8] 李敏强,寇纪淦等. 遗传算法的基本理论与应用. 科学出版社,2002.
- [9] Spears, W.M. , and De Jong, K. A. Dining with GAs: operator lunch theorem.1997.
- [10] 王小平, 曹立明. 遗传算法—理论、应用与软件实现. 西安交通大学出版社,2002.
- [11] De Jong, K.A. An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems. University of Michigan, No.79-9381, 1975.
- [12] 林昌禄, 聂在平等. 天线工程手册. 电子工业出版社, 2002.

## 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](http://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](http://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](http://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>