

# 文化算法应用于阵列天线方向图综合<sup>\*</sup>

刘纯青, 杨莘元

(哈尔滨工程大学信息与通信学院, 哈尔滨 150001)

[摘要] 介绍了文化算法在阵列天线方向图综合中的应用, 以降低线天线阵的最大相对旁瓣电平为优化目标, 对线天线阵的方向图进行了优化设计。并给出了基于实数编码的文化算法实现步骤。文化算法所具有的双层结构特性, 使其在问题求解过程中能够利用经验知识来指导搜索过程, 从而具有较好的全局寻优性能。通过计算机仿真, 证明该算法所获得的天线方向图最大相对旁瓣电平低, 并且具有较快的收敛速度。

[关键词] 阵列天线; 方向图综合; 低旁瓣; 文化算法

[中图分类号] TN 820 [文献标识码] A

## Application of Cultural Algorithms in the Pattern Synthesis of Array Antenna

LIU Chun-qing, YANG Shen-yuan

(School of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** A cultural algorithm is applied to solve the problem of array antenna pattern synthesis with the target of the side-lobe reduction. Then an implementation of real-code cultural algorithms is produced. Cultural algorithms are dual inheritance systems, which are different from the others. Because of the feature, the search process is guided by using knowledge abstained from the process of solving problem, which can produce substantial performance improvements. The results of computer simulation verify the efficiency of the proposed method, which can satisfy requirements about low side lobe with high convergence rate.

**Key words:** array antennas; pattern synthesis; low side-lobe; cultural algorithms

## 1 引言

阵列天线综合是一个典型的非线性优化问题, 其目标函数或约束条件呈多参数、非线性、不可微甚至不连续, 因而基于梯度寻优技术的传统数值优化方法无法有效地求得工程上满意的结果。近年来, 遗传算法及其各种改进算法等开始应用于电磁工程领域<sup>[1]</sup>, 成功地实现了阵列天线稀疏<sup>[2]</sup>, 降低最大旁瓣电平<sup>[3-5]</sup>。

为了避免现有遗传算法收敛速度较慢以及易陷入局部极值等缺点, 文中引入文化算法<sup>[6]</sup>, 并加以改进, 以适于阵列天线方向图综合问题。

## 2 文化算法介绍

文化算法是一种用于解决复杂计算的新型

全局优化搜索算法。该算法模拟人类社会的演化过程。在人类社会中, 文化可以被看作是信息的载体, 这些信息潜在地影响所有社会成员, 并且有益于指导同代及其后代解决问题的实践活动。类似地, 文化算法的重要思想就在于从进化的种群中获取待解决问题的知识(即信仰), 并反馈这些知识用于指导搜索过程。图1说明了文化算法的基本框架。

如图1所示, 种群空间与信仰空间通过一组由接受函数  $\text{accept}()$  和影响函数  $\text{influence}()$  组成的通信协议联系在一起。接受函数  $\text{accept}()$  用来收集种群中所选个体的经验知识,

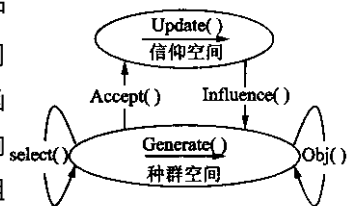


图1 文化算法基本框架

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2006-05-29

作者简介: 刘纯青(1980—), 男, 山东青岛人, 博士研究生, 研究方向: 数据挖掘、计算智能、智能天线技术等。

信仰空间通过更新函数 `update()` 进行调整;而影响函数 `influence()` 能够利用信仰空间中待解决问题的经验知识来指导种群空间的进化。在一个文化体系中,存在着多种类型的知识,其中规范知识(Normative Knowledge)和形势知识(Situational Knowledge)被认为是最主要的。规范知识为个体提供行为准则和指导原则,而形势知识为个体提供学习榜样。它们都可以为种群的进化提供指导信息。

3 应用于方向图综合的文化算法

3.1 天线阵模型

文中优化的阵列形式是由  $N$  个等间距辐射阵元组成的均匀线性天线阵,各阵元为各向同性。天线阵远场方向图为:

$$F(\theta) = \sum_{n=1}^N I_n e^{jk(n-1)d\sin\theta} \tag{1}$$

式中: $I_n$  为第  $n$  个阵元的激励电流幅值, $\theta$  为观测线与阵轴线间的夹角, $\lambda$  为工作波长, $k=2\pi/\lambda$  为波数。设激励电流相位均为零(边射阵),由于阵几何结构和激励电流实际是关于阵中心对称的,取阵列中心为坐标原点,所以式(1)可以表示成:

$$F(\theta) = \begin{cases} \sum_{n=1}^{N/2} 2I_n \cos(k |x_n| \sin\theta) & N \text{ 为偶数} \\ I_0 + \sum_{n=1}^{(N-1)/2} 2I_n \cos(k |x_n| \sin\theta) & N \text{ 为奇数} \end{cases} \tag{2}$$

这里  $I_0$  是坐标原点处阵元激励幅值, $x_n$  为第  $n$  个阵元的坐标。

$$x_n = x_1 + (n-1)d \tag{3}$$

3.2 应用于方向图综合的文化算法

3.2.1 种群空间的编码

种群空间采用由 Fogel 提出的进化规划种群模型<sup>[7]</sup>。个体编码方式采用实值编码方式,一个个体可表示为:

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_N] \tag{4}$$

式(4)中, $N$  为阵元数目, $x_1, x_2, \dots, x_N$  为各阵元的激励电流幅值。这种编码方式,物理意义明确、直观,避免了二进制编码在运算时需要反复进行译码、编码操作及长度受限等麻烦。

3.2.2 适应度函数

文中以降低阵列天线最大相对旁瓣电平为优化目标,所以定义适应度函数如下:

$$f = | \text{MSLL} - \text{SLVL} | \tag{5}$$

其中,MSLL 为最大相对旁瓣电平值,SLVL 为最大相对旁瓣电平设计指标。

3.2.3 信仰空间结构

信仰空间的结构采用文献[6]所提出的  $\langle S, N \rangle$  结构对,其中  $S = \{s^t\}$  为形势知识,表示最优个体; $N = (X_1, \dots, X_n)$  为规范知识,表示每个变量的取值区间信息, $X_i$  表示为  $\langle I, L, U \rangle$ ,  $n$  为变量数目。 $I = [l, u] = \{x | l \leq x \leq u\}$ , 下限  $l$  和上限  $u$  根据所给定的变量取值范围来初始化; $L_j$  和  $U_j$  分别表示变量  $j$  的下限  $l$  和上限  $u$  所对应的适应值,均初始化为  $+\infty$ 。

3.2.4 接受函数 `accept()`

接受函数 `accept()` 用以选择能够直接影响当前信仰空间知识经验的个体。文中从当前种群空间中以  $\beta$  比例选择最优个体,即 `accept()` =  $[p, \beta]$ , 其中  $[*]$  为高斯整数函数,  $p$  为初始种群规模。

3.2.5 信仰空间的更新

信仰空间由更新函数 `update()` 进行调整。具体定义如下:

文中,形势知识  $S = \{s^t\}$ , 按照式(6)来更新:

$$s^{t+1} = \begin{cases} x_{\text{best}}^t & f(x_{\text{best}}^t) < f(s^t) \\ s^t & \text{其它} \end{cases} \tag{6}$$

其中,  $x_{\text{best}}^t$  表示第  $t$  代最优个体。

规范知识  $N$  根据以下规则进行更新:

$$\begin{aligned} l_i^{t+1} &= \begin{cases} x_{j,i} & x_{j,i} \leq l_i^t \text{ 或 } f(x_j) < L_i^t \\ l_i^t & \text{其它} \end{cases} \\ L_i^{t+1} &= \begin{cases} f(x_j) & x_{j,i} \leq l_i^t \text{ 或 } f(x_j) < L_i^t \\ L_i^t & \text{其它} \end{cases} \\ u_i^{t+1} &= \begin{cases} x_{k,i} & x_{k,i} \geq u_i^t \text{ 或 } f(x_k) < U_i^t \\ u_i^t & \text{其它} \end{cases} \\ U_i^{t+1} &= \begin{cases} f(x_k) & x_{k,i} \geq u_i^t \text{ 或 } f(x_k) < U_i^t \\ U_i^t & \text{其它} \end{cases} \end{aligned} \tag{7}$$

其中,  $L_i^t, U_i^t$  分别表示第  $t$  代变量  $j$  的下限  $l_i^t$  和上限  $u_i^t$  所对应的适应值。

3.2.6 影响函数 `influence()`

文中影响函数 `influence()` 使用规范知识调整变量变化步长,形势知识调整其变化方向。具

体定义如下：

$$x_{j,i}^{t+1} = \begin{cases} x_{j,i}^t + | \text{size}(\mathbf{I}_i) \cdot N(0,1) | & x_{j,i}^t < s_i^t \\ x_{j,i}^t - | \text{size}(\mathbf{I}_i) \cdot N(0,1) | & x_{j,i}^t > s_i^t \\ x_{j,i}^t + \eta \cdot \text{size}(\mathbf{I}_i) \cdot N(0,1) & x_{j,i}^t = s_i^t \end{cases}$$

(8)

其中,  $N(0,1)$  为服从标准正态分布的随机数,  $\text{size}(\mathbf{I}_i)$  为信仰空间中变量  $i$  可调整区间的长度,  $\eta$  为步长收缩因子, 一般取  $\eta=\beta$ 。

3.2.7 用于方向图综合的文化算法步骤

综上所述,用于方向图综合的文化算法步骤如下：

Step1 初始化种群空间。在激励电流幅值范围内随机生成一个  $N$  维实数向量,这样就在种群空间中产生了一个个体。重复以上的步骤  $p$  次,产生种群规模为  $p$  的初始种群空间。

Step2 通过适应度函数式(5),对种群空间中的个体进行评价。

Step3 根据给定的取值范围和初始种群空间中的候选解,按照信仰空间结构,生成初始信仰空间。

Step4 根据影响函数  $\text{influence}()$ ,对种群空间中的每个父个体进行变异,生成  $P$  个相应子个体。

Step5 对于由子个体和父个体共同组成的规模为  $2P$  的种群空间中每个个体,从该种群空间中随机选取  $C$  个个体与它进行比较。如果该个体优于与之比较的个体,则称该个体取得一次胜利,并记录每个个体的胜利次数。选择前  $P$  个具有最多胜利次数的个体作为下一代的父个体。

Step6 设定接受函数  $\text{accept}()$ ,并按照式(6)和式(7)来更新信仰空间。

Step7 如果不满足终止条件,则重复 Step4,反之,则结束。

4 仿真实验

为了验证算法的有效性,本节设计了两个实验进行了计算机仿真。两实验中,初始种群完全随机产生,初始种群规模均为  $p=20$ ,竞争规模均为  $c=20$ , $\beta=0.2$ ,算法终止代数均为 150。

实验一:对八元等距线阵进行方向图综合, $d=\lambda/2$ ,各阵元的电流幅度  $I_n \in (0,10)$ ,最大相对旁瓣电平设计指标  $\text{SLVL}=-45\text{dB}$ 。

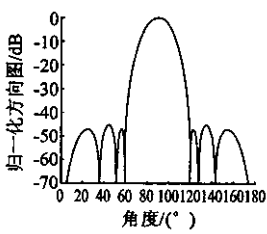


图 2 八元阵列优化方向图

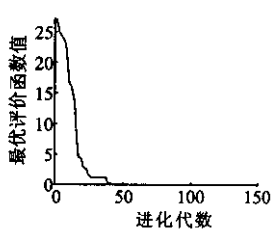


图 3 优化八元阵列方向图时的收敛曲线

图 2 为八元阵列优化所得方向图,图 3 为文化算法优化八元阵列方向图所得的收敛曲线,表 1 为其相应激励

| 表 1 八元阵列归一化优化结果 |        |
|-----------------|--------|
| 天线单元序号          | 激励电流幅值 |
| 1 和 8           | 0.1097 |
| 2 和 7           | 0.3728 |
| 3 和 6           | 0.7314 |
| 4 和 5           | 1.0000 |

电流幅值。图 2 所示方向图的最大相对旁瓣电平为  $-45.02\text{dB}$ ,满足了设计要求。从图 3 中可以看出,文化算法的收敛速度是比较快的,在 50 代就已经收敛。

实验二:对二十元等距线阵进行方向图综合, $d=\lambda/2$ ,各阵元的电流幅度  $I_n \in (0,10)$ 。最大相对旁瓣电平设计指标  $\text{SLVL}=-38\text{dB}$ 。

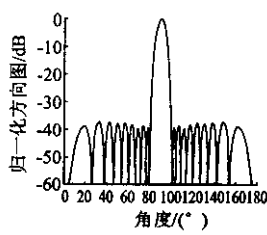


图 4 二十元阵列优化方向图

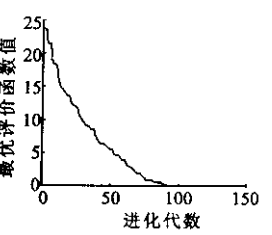


图 5 优化二十元阵列方向图时的收敛曲线

图 4 为二十元阵列优化所得方向图,图 5 为文化算法优化二十元阵列方向图所得的收敛曲线,表 2 为其相应激励电流量值。图 4 所示方向图的最大相对旁瓣电平为  $-38\text{dB}$ ,同样满足了设计要求。从图 5 中可以看出,虽然阵列天阵优化参数有所增加,

| 表 2 二十元阵列归一化优化结果 |        |
|------------------|--------|
| 天线单元序号           | 激励电流幅值 |
| 1 和 20           | 0.1333 |
| 2 和 19           | 0.1740 |
| 3 和 18           | 0.2756 |
| 4 和 17           | 0.3958 |
| 5 和 16           | 0.5226 |
| 6 和 15           | 0.6550 |
| 7 和 14           | 0.7748 |
| 8 和 13           | 0.8820 |
| 9 和 12           | 0.9586 |
| 10 和 11          | 1.0000 |

一种编码的方法,但是,针对信道中出现的连续突发的恶性误码,交织将它们分散开,根据交织深度的不同分散在无误的信号序列中,当被分散后的码型满足最小码距大于两倍的  $t$  个错误的条件,就可以经过译码还原信息。

#### 4 利用 DSP+FPGA 的方法电路实现

实现交织卷积级联码的硬件电路主要由 DSP+FPGA 的数字电路实现,核心算法经过仿真后加载。这部分数字信号处理的硬件电路作为毫米波通信系统中的编码器和解码器,硬件电路原理图如图 8 所示。

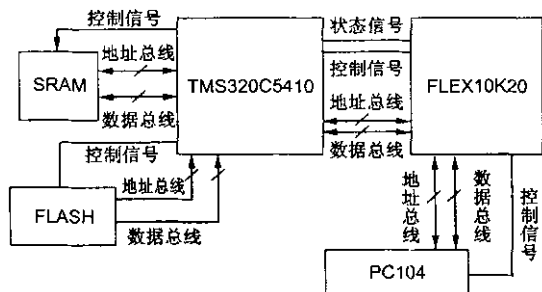


图 8 硬件电路实现框图

(上接第 305 页)

但文化算法收敛速度还是比较快的,一般在 100 代就已经收敛。与文献[5]中利用改进遗传算法所得方向图相比,文中算法获得的最大相对旁瓣电平较其低 8dB,所用种群规模和进化代数也较其大大缩短(其种群规模为 50,进化代数为 500)。

#### 5 结论

文中介绍了文化算法的基本概念,给出了基于这种启发式计算方法的阵列天线方向图综合技术。仿真结果显示文中方法可以实现设计的要求,所设计的方向图具有超低旁瓣电平。与遗传算法等其他进化计算相比,具有双层进化结构的文化算法能够有效、快速地解决低旁瓣方向图综合问题。虽然国内对文化算法的研究才刚刚起步,而且尚未应用于电磁优化问题中,但是该算法已经在诸多领域显示出巨大的潜力,具有广阔的应用前景。

##### [参 考 文 献]

[1] Johnson J M, Rahmat-Samii Y. Genetic algorithms

#### 5 结论

经过算法仿真研究,可以看到信道编码的方法具有一定的编码增益,将算法程序加载到硬件中,在毫米波通信系统中进行数字信号的收发试验,可以得到正确的信号指令。因此在毫米波通信系统中引入信道编码技术,有利于提高系统的抗干扰能力。

##### [参 考 文 献]

- [1] 李兴国. 毫米波近感技术及其应用(第 1 版)[M]. 北京:国防工业出版社,1991.
- [2] 张九龙, 鄧广增. 毫米波卫星通信及抗雨衰技术[J]. 中国有线电视, 2002, (22).
- [3] 王新梅, 肖国振. 纠错码原理与方法(修订版)[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- [4] 吴克颖, 李晖, 王育民. 基于卷积码的 Turbo 码交织器的设计[J]. 计算机学报, 2000, (4): 382—385.
- [5] 范寒柏, 宋文妙. 数据通信中交织与解交织的 FPGA 实现[J]. 华北电力大学学报, 2002, (4).

in engineering electromagnetic[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 1997, 39(4): 7—21.

- [2] Haupt R L. Thinned arrays using genetic algorithms[J]. IEEE Trans. Antennas and Propagation, 1994, 42(7): 993—999.
- [3] Yan Keen-Keong, Lu Yilong. Sidelobe reduction in array-pattern synthesis using genetic algorithm[J]. IEEE Trans. Antennas Propagation, 1997, 45(7): 1117—1122.
- [4] 马云辉. 阵列天线的遗传算法综合[J]. 电波科学学报, 2001, 16(2): 173—176.
- [5] 杨丽娜, 丁君, 郭陈江, 许家栋. 基于遗传算法的阵列天线方向图综合技术[J]. 微波学报, 21(2): 38—41.
- [6] Robert G Reynolds and C Chung. A self-adaptive approach to representation shifts in cultural algorithms[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation[C]. Nagoya, Japan, 1996, 94—99.
- [7] D B Fogel. An introduction to simulated evolutionary optimization[A]. IEEE trans. on neural networks[C]. vol. 5, NO. 1, Jan. 1994: 3—14.

## 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>