

# 遗传算法综合赋形波束阵列天线及 Matlab 程序实现

段霞霞,张金刚,刘彦明

(西安电子科技大学 通信工程学院 陕西 西安 710071)

**摘要:**遗传算法在非线数值优化方面有着很强的生命力,适于波束赋形阵列天线的综合。Matlab 具有很强的数值计算能力和数据图视功能,经过二十多年的发展,逐渐成为工程师们进行数值优化的首选计算机语言。以一部具有余割平方波束的雷达搜索天线阵为例,采用遗传算法对其馈电相位进行优化,优化结果与目标吻合。同时给出其主要节点的 Matlab 程序。

**关键词:**遗传算法;波束赋形;优化设计;Matlab

**中图分类号:** TN82

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1004-373X(2007)15-055-03

## Synthesis of Antenna Arrays Shaped - beam Using GA and Design Matlab Program

DUAN Xiaxia, ZHANG Jingang, LIU Yanming

(Communication Engineering Institute, Xidian University, Xi'an, 710071, China)

**Abstract:** Genetic Algorithm (GA) has been shown to be an effective strategy in the off-line optimization, which is fit for designing shaped-beam antenna array. Matlab owns powerful abilities in numerical compute and data figure display. In recently years, engineers chose Matlab more and more. For design a search radar antenna arrays which has a square cosec beam, GA is chosen to optimize the feed phases of antenna array. The pivotal Matlab programs are also presented.

**Keywords:** genetic algorithm; shaped-beam; optimization design; Matlab

## 1 引言

在搜索雷达、通讯技术等众多领域中,往往需要特殊形状的天线波束(如余割平方波束等),即天线的波束赋形。根据波束形状求解阵列天线单元间距、激励的幅度和相位称为天线综合。这类问题大多具有多参数、非线性、不可微的特点,基于梯度寻优技术的传统数值优化方法很难有效求解。遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是一种模拟自然界生物进化过程和机制的自组织、自适应的随机搜索优化算法,利用适当的复制、交叉、变异产生新一代个体,直到满足要求的个体出现为止。遗传算法无需梯度等高价值信息,具有稳健性、随机性的特点,适合解决此类复杂的非线性优化问题,对搜索空间也没有特殊要求,在天线设计领域中已经广泛采用。

20 世纪 70 年代后期,时任美国新墨西哥大学计算机科学系主任的 Cleve Moler 教授为了减轻学生的编程负担,用 FORTRAN 编写了萌芽状态的 Matlab。1984 年,成立 Math Works 公司,将 Matlab 推向市场,从此 Matlab 的内核采用 C 语言编写,除具有原有的数值计算能力外,还新增了数据图示功能。Matlab 在数值优化方面功能强大,并且简单易学,经过 20 多年的发展,逐渐成为工程师

们首选的数值优化工具。

遗憾的是,已出版的书籍和发表的论文所附遗传算法和天线综合的程序多为传统的 C 或 FORTRAN。本文通过一个综合余割平方波束天线阵的工程实例,介绍遗传算法优化天线问题的过程,并给出了几个关键点的 Matlab 程序。

## 2 遗传算法

### 2.1 基本理论

遗传算法是从代表问题的可能潜在解集的一个种群(population)开始的,而一个种群则由经过基因(gene)编码(coding)的一定数目的个体(individual)组成,每个个体实际上是染色体(chromosome)带有特征的实体。初代种群产生以后,按照适者生存和优胜劣汰的原理,逐代(generation)演化产生出越来越好的近似解。在每一代中,根据问题域中个体的适应度(fitness)大小挑选(selection)个体,并借助于自然遗传学的遗传算子(genetic operators)进行组合交叉(crossover)和变异(mutation),产生出代表新的解集的种群。这个过程将导致种群像自然进化一样的后生代种群比前生代更加适应于环境,末代种群的最优个体经过解码(decoding),可以作为问题的近似最优解。由于这是随机算法,所以并不是每次问题都能收敛于全局最优,一般需要反复多次才能得到所需解。下节中将介绍一

收稿日期:2007-04-18

些改进方法,尽量减少陷入局部最优的概率。

遗传算法只需利用目标的取值,无需梯度等高价值信息,程序通用性强,适于并行处理,尤其适用于处理传统搜索方法难于解决的复杂和非线性问题。已经被工程师成功地运用到了天线领域,解决了许多阵列天线综合的问题。

## 2.2 综合天线的流程

第一步:随机产生初始种群。种群规模由需要优化的参量(例如:单元间距,馈电幅度和相位)确定,一般种群数目应取优化参数个数的十几倍。比如优化 18 元阵列的每个单元的馈电相位,则种群数目取 180~360 之间。同时确定每个单元相位的二进制编码长度,此长度需要在精度和计算时间中权衡。

第二步:计算每个个体的适应度值。对以上随机产生的二进制相位进行解码,生成十进制相位,代入公式计算阵列方向函数,与目标方向函数做差,并且根据不同方向的重要性对差分别加权,取每个个体中不同方向差的绝对值和,然后取倒数得到每个个体的适应度值。

第三步:选择。根据一定的算法,配合适应度值选择再生个体。比如可采用博彩活动中常用的赌轮盘法进行选择,这样适应度高的个体生存的可能性大,也就是说接近目标方向函数的阵列保留下来的概率大。

第四步:交叉。为了使下一代种群遗传上一代的基因,按照一定的交叉概率和交叉算法,生成新的个体。

第五步:变异。为了避免近亲繁殖,陷入局部最优,按照一定的变异概率和变异算法,生成新的个体。

第六步:判断是否达到最大遗传代数或者适应度值达到要求。若达到,则输出最佳值,否则返回第二步,继续这个过程。

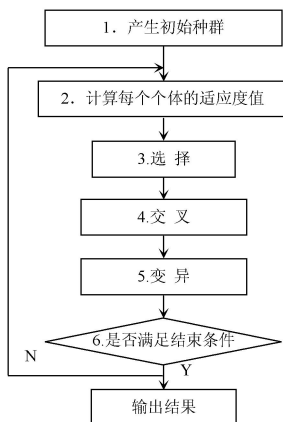


图 1 遗传算法流程框图

## 3 Matlab 程序实现

本节就 Matlab 编写遗传算法综合赋形波束阵列天线程序的一些要点进行介绍。

### 3.1 产生初始种群

```

num = 18; popsize = 300;
% num 是天线单元数, popsize 是种群中个体数量
chrom_length = 7 * num;
% 基因长度, 每个单元的相位用 7 位二进制数表示
pop = round(rand(popsize, chrom_length));
% 随机产生二进制初始群体
  
```

### 3.2 计算适应度

计算适应度按照第二步中介绍的方法即可, 比较简单, 限于篇幅, 大部分程序略去。其中在计算方向函数时, 需要解码, 即将二进制相位编码转换成十进制相位, 程序如下:

```

BB = zeros(popsize, num);
% BB 为存储转换过程的中间变量
for n = 1:popsize
    for n1 = 1:num
        n3 = 0;
        for n2 = (n1 - 1) * 7 + 1:n1 * 7
            BB(n, n1) = BB(n, n1) + pop(n, n2) * 2^n3;
            n3 = n3 + 1;
        end
    end
end
phi = BB * (2 * pi - 0) / (2^7 - 1);
% phi 是每个单元的相位, 单位是弧度
  
```

### 3.3 选择

我们依据适应度值采用赌轮盘法进行选择, 程序如下:

```

fitvalue = fit ./ sum(fit);
% fit 是适应度的值, 生成 fitvalue 有利于转轮盘
fitvalue1 = cumsum(fitvalue);
% 轮盘转
[px, py] = size(pop);
rns = sort(rand(1, px));
fitin = 1;
newin = 1;
while newin <= px
    % 挑选二进制基因构成新的种群, 适应度大的被选概率较大
    if (rns(newin)) < fitvalue1(fitin)
        newpop(newin, :) = pop(fitin, :);
        % newpop 中存放选择后保留下来的个体
        newin = newin + 1;
    else
        fitin = fitin + 1;
    end
end
end
  
```

### 3.4 交叉与变异

$P_c$  是交叉概率,  $P_m$  是遗传概率。由于在进化初期, 染色体的差异较大,  $P_c$  大和  $P_m$  小有助于加快收敛, 而在进化中后期,  $P_c$  小和  $P_m$  大有助于跳出局部最优, 所以程序中  $P_c$  和  $P_m$  可按照下式进行变化:

$$P_c^{(\text{gen})} = P_c^{(\text{gen}-1)} - (P_c^{(0)} - 0.2) / \max \text{gen} \quad (1)$$

$$P_m^{(\text{gen})} = P_m^{(\text{gen}-1)} + (0.5 - P_m^{(0)}) / \max \text{gen} \quad (2)$$

式中  $P_c^{(0)} = 0.8$ ,  $P_m^{(0)} = 0.1$ ,  $\max \text{gen}$  表示最大进化

代数。

交叉的 Matlab 程序如下：

```
[px,py] = size(newpop);
for i = 1:2:px - 1
    if (rand < pc)
        cpoint = round(rand * py);
        %cpoint 是交叉点,从该点以后进行交叉
        newpop1(i,:) = [newpop(i,1:cpoint) newpop(i+1,
cpoint + 1:py)];
        newpop1(i+1,:) = [newpop(i+1,1:cpoint) newpop
(i,cpoint + 1:py)];
    else
        newpop1(i,:) = newpop(i,:);
        newpop1(i+1,:) = newpop(i+1,:);
    end
end
end
```

变异是以概率  $P_m$  在变异点 mpoint 将基因的 0,1 互换,程序与交叉相似,此处省略。

4 优化实例

我们综合一个等间距 18 元线阵,单元间距大约 0.53 个波长。为了控制副瓣电平,各单元的幅度符合低

副瓣 Talor 分布,如表 1 所示。要求优化每个单元的馈电相位,使阵列的主瓣方向系数在 (是空间方向与阵列中垂线的夹角)从 - 4°~ 35° 方向的空间内大于图 2 中的台阶折线,其余方向副瓣尽量低,我们用  $\csc^2(\theta + 30^\circ)$  来拟合台阶折线作为目标函数。通过本文介绍的 GA 算法,优化得到的各单元相位如表 1 所示。图 2 中的曲线是优化结果,可以看出,在主波束范围内方向系数大于要求的折线,所有副瓣均小于 - 18 dB,较好地实现了优化目标。

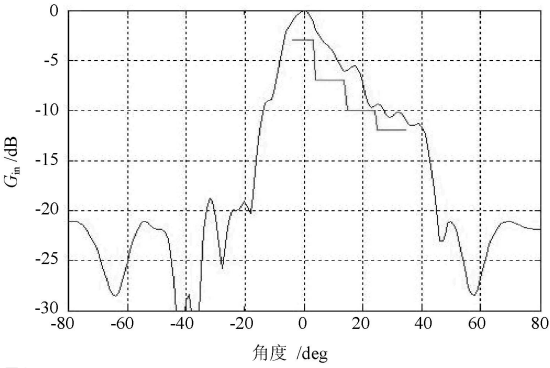


图 2 遗传算法综合的阵列方向函数结果

表 1 单元激励电流分布(幅度为归一化值,相位单位:deg)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
幅度	0.360 6	0.387 3	0.458 3	0.556 8	0.678 2	0.793 7	0.894 4	0.964 4	1.000 0
相位	165	105	348	246	162	87	68	55	17

序号	10	11	12	13	14	15	16	17	18
幅度	1.000 0	0.964 4	0.894 4	0.793 7	0.678 2	0.556 8	0.458 3	0.387 3	0.360 6
相位	358	17	14	52	52	86	104	124	151

5 结 语

本文阐述了遗传算法进行优化设计赋形波束天线阵列的方法,给出几个关键点的 Matlab 程序,并且结合工程实例,证明了本文介绍的方法在解决多参数、非线性的复杂工程问题中的可行性。

参 考 文 献

[1] Diogenes Marcano ,Filinto Duran. Synthesis of Antenna Arrays Using Genetic Algorithms [J]. IEEE Antenna and Pro -

pagation Magazine ,2000 ,42(3) :12 - 20.  
[2] Keen - Keong Yan ,Yilong Lu. Sidelobe Reduction in Array - pattern Synthesis Using Genetic Algorithm [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 1997,45 (7) : 1 112 - 1 117.  
[3] 张志涌.精通 Matlab 6.5 版[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.  
[4] 王小平,曹立明.遗传算法——理论、应用与软件实现[M].西安:西安交通大学出版社,2002.  
[5] 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.

作者简介 段霞霞 女,1981 年出生,甘肃人,西安电子科技大学通信工程专业硕士研究生。  
张金刚 男,1982 年出生,陕西人,西安电子科技大学通信工程专业硕士研究生。  
刘彦明 男,1966 年出生,陕西人,2003 年西安电子科技大学毕业,获博士学位,现为该校通信工程专业教授,硕士生导师。