

基于遗传算法的阵列天线赋形波束综合

韩荣苍, 孙如英

(临沂师范学院 山东 临沂 276005)

摘要:提出了一种改进的适应度函数确定方法, 算法采用易操作的二进制编码。通过改变适应度函数中的待定参数, 有效提高了搜索效率。采用遗传算法对基站天线的方向图赋形, 其结果优于同种条件下用 Woodward 法得到的结果。结合工程实践, 考察了本文遗传算法的解的稳定性。

关键词:遗传算法; 赋形波束; 阵列天线; 天线综合

中图分类号: TP18

文献标识码: B

文章编号: 1004-373X(2008)09-035-03

Pattern Synthesis of Shaped Beam for Array Antennas Based on Genetic Algorithm

HAN Rongcang, SUN Ruying

(Linyi Normal University, Linyi, 276005, China)

Abstract: An improved method of defining fitness function is presented. Higher efficiency of searching can be achieved by setting undetermined parameter of fitness function. One shaped-beam array antenna is designed using genetic algorithm, the result is better than Woodward. The stability of the answer to GA is checked for engineering practice. The results of this paper are important either for engineering and theory.

Keywords: genetic algorithm; shaped-beam; array antennas; antenna synthesis

1 引言

阵列天线的综合问题大多呈现多参数、不可微甚至不连续的特性, 其方向图参数的最优化是一种非线性优化问题。传统的最优化技术大多是基于梯度寻优或随机搜索方法。共轭梯度法收敛速度较快, 但是要求目标函数可微、连续, 而且优化参数数目有限; 随机搜索无需计算梯度, 但是效率太低, 而且容易陷入局部极小值。而遗传算法只要求待解问题是可计算的, 并无可微性等条件的限制, 同时, 该算法是一种基于概率的随机化全局搜索技术, 其搜索过程具有一定的方向性, 能够有效克服未成熟收敛^[1]。

在移动通信系统中, 为了有效地进行频率复用, 要求基站天线对周围蜂窝小区辐射尽可能低的电平, 而在本服务区内辐射尽可能高的电平。此时, 蜂窝系统的效能显著地依赖于基站天线的辐射方向图形状。如今, 波束赋形技术已成为高性能基站天线设计的关键因素之一, 他可以通过改变阵列的馈电方式来优化俯仰面内的波瓣形状以达到某种要求。本文用遗传算法得到了 8 单元阵列天线的赋形波束。

2 遗传算法

本节将对遗传算法作扼要的介绍, 关于遗传算法的详细介绍可以参考文献[2-4]。基因是遗传算法最基本组

成部分。某一待优化的参数经过编码后构成的编码串就组成了一个基因, 一系列这样的基因构成一个染色体(个体), 大量的染色体就可以构成一个群体。在计算过程中, 对每一个染色体而言, 都有一个适应度函数与之对应, 以此来衡量染色体的优劣。在算法的运算过程中, 首先要随机生成一系列染色体, 即生成初始群体。通过适应度函数来评价初始群体中的每一个体, 根据他们相对适应度的大小判断个体的优劣, 优质的个体被保留, 劣质的个体被淘汰, 这就是选择过程。选择操作中幸存的任意两个个体作为父代将交换他们的部分基因, 即进行交叉操作, 生成两个新个体。当交叉操作生成的新个体的数量等于被淘汰的个体数量时, 新一代群体产生。可见, 经过一次进化操作后的个体总数保持不变。在交叉操作之后的变异操作仅仅是对染色体的小幅度的随机改变, 目的在于增加群体的多样性。遗传算法的具体运算过程见图 1。

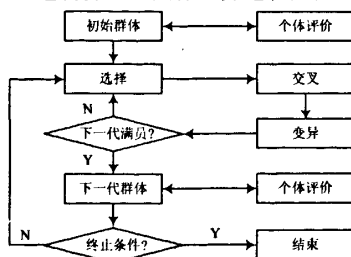


图 1 遗传算法流程图

对经过交叉、变异后得到的新一代群体中的个体再次进行适应度评价,如此循环。当算法运算到一定的代数,或者输出的解满足某种要求时算法即会停止。

3 赋形波束综合

考虑 N 单元的等间距非均匀直线阵,阵元间距为 d 。设阵元电流可表示为 $\tilde{I}_n = I_n e^{j\beta_n}$, 其中 I_n, β_n 分别表示第 n 个阵元的电流幅度和相位。则远区的辐射场可以表示为:

$$E(\theta, \varphi) = \sum_{n=0}^{N-1} I_n EP_n(\theta, \varphi) e^{j(kd \cos \theta + \beta_n)} \quad (1)$$

其中, $EP_n(\theta, \varphi)$ 表示阵元的方向图函数, $k = 2\pi/\lambda$ 为自由空间波数, θ 是远区场点与 z 轴正方向的交角。如果各阵元各向同性,则有:

$$E(\theta, \varphi) = EP(\theta, \varphi) AF(\theta) \quad (2)$$

其中:

$$AF(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{j(kd \cos \theta + \beta_n)} \quad (3)$$

表示 N 单元等间距各向同性非均匀线阵的阵因子。

下面介绍用遗传算法进行赋形波束综合的一般步骤。

(1) 确定决策变量和约束条件:

$$I_n \in [0, 1], \beta_n \in [0, 2\pi], n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (4)$$

(2) 对决策变量编码:将电流幅度和相位分别表示成若干位二进制码,即生成可调的决定阵因子方向图形状的 $2N$ 个自由度,每个阵列编码成一个二进制码串,可表示为:

$$\begin{aligned} \text{Array \#1} &= \{(r_{11}, p_{11}), (r_{12}, p_{12}), \dots, (r_{1N}, p_{1N})\} \\ \text{Array \#2} &= \{(r_{21}, p_{21}), (r_{22}, p_{22}), \dots, (r_{2N}, p_{2N})\} \\ &\vdots \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{Array \#M} = \{(r_{M1}, p_{M1}), (r_{M2}, p_{M2}), \dots, (r_{MN}, p_{MN})\}$$

其中, r_{ij}, p_{ij} 均为二进制码, M 为遗传算法的群体规模。

(3) 建立优化模型:

$$\min E_m = \left[\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q |e_i|^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

其中:

$$e_i = \frac{T_i - F_i}{T_i}, i = 1, 2, \dots, Q \quad (7)$$

T_i, F_i 分别表示给定目标函数和用 GAs 得到的方向图函数在每个离散点上的值, $\min E_m$ 则表示二者的最小均方根误差; Q 表示离散点的个数。

(4) 定义适应度函数:作为该方法的应用,这一步对于能否得到预期的结果起着决定性作用。本文的适应度函数定义如下:

$$F_m = \frac{1}{1 + E_m} \quad (8)$$

其中, $\alpha \in (0, 1]$, 适应度函数值被确定在区间 $(0, 1]$ 上。 α 取不同的值时对应的适应度函数曲线如图 2 所示。

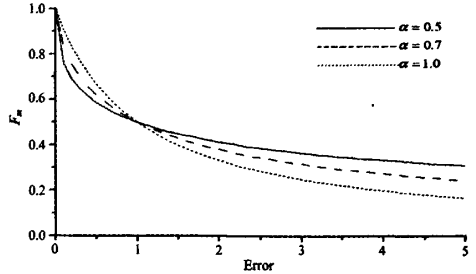


图 2 适应度函数曲线

下面介绍两个数值算例。为确立优化目标,首先利用 Taylor 综合法得到最大副瓣电平 $MSLL = -30$ dB 时等间距各向同性非均匀线阵的方向图 ($N=16, d=\lambda/2$), 如图 3 中虚线所示。根据 Taylor 综合的结果确定目标函数:利用式(8)约束其主瓣宽度以便求得更低的副瓣电平。

$$F_{obj} = \begin{cases} \cos[7.5(\theta - 90^\circ)], & \theta \in [78^\circ, 102^\circ] \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (9)$$

在本例中 $\beta_n = 0$, 仅对电流幅度进行优化,结果如图 3 中实线所示。比较图 3 中两种结果可以看出,在主瓣基本没有展宽的条件下,遗传算法将 $MSLL$ 压低了 3 dB 左右。

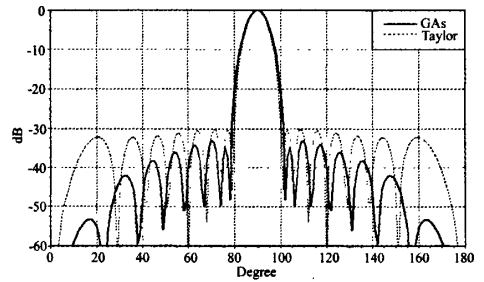


图 3 基于遗传算法与 Taylor 法的方向图

移动通信系统要求基站天线对周围蜂窝小区的辐射尽可能低,而在本服务区内获得尽量高的辐射能量,形成尽量均匀的照射,并降低天线向上半空间辐射的能量。为满足上述要求,我们用下面的目标函数为基站天线方向图赋形。

$$F_{obj} = \begin{cases} \sec \theta, & \theta \in [0^\circ, 90^\circ) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (9)$$

根据上式对等间距各向同性非均匀线阵 ($N=8, d=\lambda/2$) 用遗传算法计算得到的阵因子的归一化电流幅度和相位如表 1 所示。基站天线单元形式采用半波对称天线,其方向图函数为:

$$EP(\theta, \varphi) = \frac{\cos[(\pi/2)\cos \theta]}{\sin \theta} \quad (10)$$

阵列结构如图 4(a) 所示。基于式(2)的天线方向图如图 4(b) 所示,实线与虚线所描述的方向图分别表示遗传算法和 Woodward 法综合得到的结果。图中两个方向图的主波束均指向地面。表 1 给出了用遗传算法得到的各

阵元的归一化电流幅度和相位。按照经典的 天线理论,表 1 给出的幅度数据都是“马鞍形”的,也就是说从中心单元向两边递减的数值应基本相同,Woodward 法就是如此。

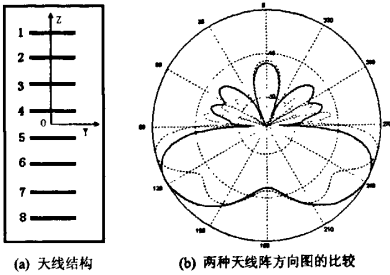


图 4 天线结构及两种天线阵方向图比较

但是,表 1 中的数据同样能够满足目标函数的要求,而且通过图示比较可以看出:在 Woodward 法得到的方向图中更多的能量辐射到较远处,容易对周围小区构成干扰;遗传算法综合得到的方向图波束略向地面倾斜,能量辐射更集中于地面,而且在有效辐射区的能量密度较前者要高一些。可见,用遗传算法得到的阵因子方向图优于 Woodward 法的结果。

表 1 各阵元的归一化电流幅度和相位

Number	Amplitude	Phase
1	0.020 7	142.6
2	0.302 0	156.7
3	0.708 4	84.7
4	1.000 0	352.9
5	0.926 9	258.4
6	0.468 8	182.1
7	0.083 4	57.9
8	0.177 2	118.6

下面考察本文中遗传算法解的稳定性。为了考察这个问题,本文对表 1 给出的数据按照以下标准进行了微调:

$$I_i = m * 0.1, \quad \beta_i = n * \alpha \tag{11}$$

其中, i, j 表示阵元编号, $i, j = 1, 2, 3, \dots, 8; m = 1, 2, \dots, 10, n = 0, 1, 2, 3, \dots$, 可以表示为:

$$\alpha = 360^\circ / 2^p \tag{12}$$

其中, p 表示移相器位数。当 $p = 4, p = 5$ 时,根据式(11),式(12)可以得到两组新数据,如表 2 所示。

利用软件进行仿真得到的新的方向图如图 5 所示:实线是根据表 1 的数据得到的方向图,横虚线是根据 Amplitude 和 Phase(a)得到的方向图,点虚线是根据 Amplitude 和 Phase(b)得到的方向图。通过比较可以得出:方向图的基本形状并没发生很大变化,在微调幅度较大的情况下,虽然方向图副瓣及谷点电平升高了接近 4 dB,但形状仍然没有发生质的变化,而且谷点电平的抬高是工程上所期望的。

表 2 微调后的电流幅度和相位

Number	Amplitude	Phase(a)	Phase(b)
1	0.1	135.0	146.25
2	0.3	157.5	157.5
3	0.7	90.0	90.0
4	1.0	360.0	348.75
5	0.9	247.5	258.75
6	0.5	180.0	180.0
7	0.1	67.5	56.25
8	0.2	112.5	123.75

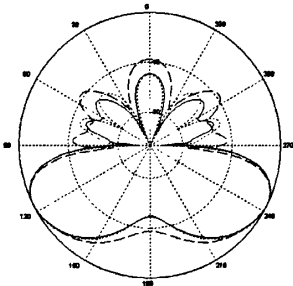


图 5 根据表 2 的数据得到的基站天线方向图

可见,遗传算法的解保持了很好的稳定性。值得指出的是,对遗传算法解的稳定性的探讨不但具有重要的理论意义,而且也具有具有重要的工程实践意义。

4 结 语

本文用遗传算法对 8 单元基站天线的方向图赋形,采用了改进的适应度函数,调节该适应度函数中的可变参数可使算法较快地收敛于最优解。在第一个数值算例中,通过经典阵列综合方法 Taylor 法与遗传算法的比较,充分证明了遗传算法的有效性。在基站天线赋形波束的实例中,遗传算法得到的方向图优于 Woodward 法的结果。利用数值模拟充分验证了本文遗传算法的解的有效性、稳定性,对理论分析和工程实践都具有重要意义。

参 考 文 献

[1] Randy L Haupt. Arrays Using Genetic Algorithms[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1994, 42(7): 993-999.

[2] Holland J H. Adaptation in Nature and Artificial Systems [M]. MIT Press, 1992.

[3] Markus K, Vaskelainen L. Optimization of Synthesised Array Excitations Using Array Polynome Complex Root Swapping and Genetic Algorithms[J]. IEEE Proc - Microwave Antennas Propag., 1991, 45(6): 460-464.

[4] Diógenes Marciano, Filinto Durán. Synthesis of Antenna Array Using Genetic Algorithms[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2000, 42(3): 12-20.

作者简介 韩荣苍 男,1981 年出生,山东临沂人,硕士研究生。主要研究方向为智能信息处理,天线技术,微波电路等。

孙如英 女,1981 年出生,山东临沂人,硕士研究生。主要研究方向为智能信息处理,EDA 技术,智能天线技术等。

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>