

基于遗传算法的一种小型塔康信标天线设计

胡绘斌, 卢万铮, 林宝勤
(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:提出了塔康信标天线阵心脏形方向图形成的一种新方法,并利用遗传算法对这种天线阵的结构进行优化,得出了比现有资料所给出的天线阵更为优越的新天线阵。

关键词:遗传算法;相控阵;方向图;优化

中图分类号:TN823 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)01-0046-03

在飞机空——空定位系统中,机载设备必须具备有旋转心脏形方向图的天线,用于发射方位信号。机载天线的基本要求是必须体积小、重量轻。目前,用于地——空定位的地面信标天线体积过于庞大,无法用于机载。为了产生信标所需的旋转心脏形方向图,信标天线由采用特殊激励方式的圆环天线阵构成,这种圆环天线阵的综合没有一个严格的方法,本文首先利用相控阵原理,设计一个远区场水平面具有心脏形方向图的相控圆环天线阵,然后利用遗传算法对其体积及馈电初始相位进行优化,得出较满意的新天线阵。

1 圆环阵天线心脏形方向图的形成

圆环阵天线如图1所示,在 (x,y) 平面上有一半径为 a 的圆环,中心为坐标原点。圆周上均匀分布 N 个辐射单元,第 n 个单元的角位置为 $\varphi_n = 2\pi n/N$,假设每个单元的激励电流为 $I_n = A_n e^{j\alpha_n}$,则远区场方向函数为:

$$f(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j\alpha_n} e^{j[k \times a \times \sin\theta \times \cos(\phi - \phi_n)]} \quad (1)$$

标准心脏形方向图的方向函数为: $f(\varphi) = 1 + \cos\varphi$ 。其中, φ 表示水平面内观察点与 x 轴的夹角,心尖指向 x 轴正向,即 $\varphi = 0$ 的方向。为了得到旋转心脏形方向图,通过一个圆阵测向 Butler 矩阵馈电网络^[1]将以下三个激励信号分配给各天线单元:第一个是给 N 个单元馈以等幅、同相的激励信号 $I_n = A_n e^{j\alpha_n}$,从而在远区产生近似无方向性方向图,使天线周围距离相同的每个方位上信号相位大致相等;第二个是自第0个单元起,沿逆时针方向按幅度相同、相位递增顺序给每个单元馈电,则第 n 个单元的激励电流为: $I_n = A_n e^{j(\alpha_n + 2\pi n/N)}$;第三个是自第0个单元起,沿顺时针方向按幅度相同、相位递减顺序给每个单元馈电,则第 n 个单元的激励电流为: $I_n = A_n e^{j(\alpha_n - 2\pi n/N)}$ 。这三种信号在水平面内合成的方向函数为:

$$f\left(\frac{\pi}{2}, \phi\right) = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j\alpha_n} e^{j[k \times a \times \sin\frac{\pi}{2} \times \cos(\phi - \phi_n)]} (1 + e^{j2\pi n/N} + e^{-j2\pi n/N}) =$$

$$A_n e^{j\alpha_n} \sum_{n=0}^{N-1} \{ \cos[k \times a \times \cos(\phi - \phi_n)] + j \cdot \sin[k \times a \times \cos(\phi - \phi_n)] \} (1 + 2\cos\frac{2\pi n}{N}) \quad (2)$$

其中, $A_n = A, \alpha_n = \alpha, n = 0, 1, \dots, N$ 均为常数。

圆阵测向 Butler 矩阵馈电网络是由魔 $T(180^\circ)$ 桥或正交电桥(90° 桥)和固定移相器构成的微波功率分

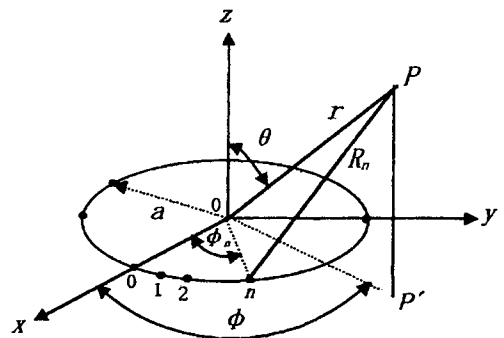


图1 圆环天线阵

配和相位变换网络。文献[2]给出了一种工程上可实现的 Butler 矩阵设计方法。

2 遗传算法对天线阵体积的优化^[3]:

遗传算法是一种模拟生物群体遗传和进化机理的启发式优化算法,其引导搜索的主要依据是个体的适应度(fitness)与个体间的基因型相似性。对天线阵优化的计算步骤如下:

1) 编码

首先将决定解的变量编码为二进制串,串长取决于需要的精度。例如, x_j 的值域是 $[a_j, b_j]$ 要求的精度是小数点后 3 位,这就要求 x_j 的值域至少要分为 $(b_j - a_j) \times 10^3$ 份。设所需的子串长为 m_j ,则有

$$2^{m_j-1} < (b_j - a_j) \times 10^3 \leq 2^{m_j}$$

将 x_j 由二进制转为十进制可按下式计算:

$$x_j = a_j + \text{decimal}(\text{substring}_j) \times \frac{b_j - a_j}{2^{m_j-1}} \quad (3)$$

$\text{decimal}(\text{substring}_j)$ 表示变量 x_j 的第 j 个子串 substring_j 的十进制值。

对天线阵的单元数 N 、圆半径 r 以及各单元馈电初始相位 α_n 进行二进制编码。其中, $4 \leq N \leq 50$, $0 \leq 2\pi r/\lambda \leq \pi$ ($\lambda = 30.0 \text{ cm}$), $-\pi \leq \alpha_n \leq \pi$, N 为自然数, r 与 α_n 要求的精度都是小数点后 3 位。这样, N 的串长为 6 位, $2\pi r/\lambda$ 的串长为 12 位, α_n 的串长为 13 位,三个变量的总串长为 31 位。

2) 确定适应度函数

在天线阵极坐标方向图上每隔 $\pi/10$ 取一个点,共 20 个点,取与 $f(\phi) = 1 + \cos\phi$ 极坐标方向图上对应点的差值均方和为 f 作为适应度函数,显然,最小适应度所对应的染色体即为最佳染色体。

3) 确定初始种群

群体规模为 10,任意产生 10 条染色体形成初始种群(10×31 个基因),即每个种群中包含 10 个个体。

4) 评估

为了对种群进行评估首先必须计算染色体的适值,计算染色体适值的过程由以下两步构成:

- 按式(3)将染色体的基因型转换为表现型;
- 根据适应度函数计算适值,对于极小值问题,为便于下一步的选择运算,取新的适值如下:

$$\text{fitness}(v_k) = 0.5 - f(v_k)$$

这样,将原来求最小值问题转化为求最大值问题。

5) 选择(select)

采用转轮法作为选择方法,它是一种正比选择策略,根据与适值成正比的概率选出新的种群。转轮法由以下四步构成:

- 对各染色体 v_k 计算适值 $\text{fitness}(v_k)$ $k = 1, 2, \dots, \text{pop-size}$
- 计算种群中所有染色体的适值的和: $F = \sum_{k=1}^{\text{pop-size}} \text{fitness}(v_k)$
- 对各染色体 v_k 计算选择概率 P_k : $P_k = \frac{\text{fitness}(v_k)}{F}$ $k = 1, 2, \dots, \text{pop-size}$
- 对各染色体 v_k 计算累积概率 q_k : $q_k = \sum_{j=1}^k p_j$ $k = 1, 2, \dots, \text{pop-size}$

选择过程就是旋转转轮 pop-size 次,每次按如下方法选出一个染色体来构成新的种群:

在 $[0, 1]$ 区间内产生一个伪随机数 r ,若 $r \leq q_1$ 则选择第一个染色体,否则选择第 k 个染色体 v_k ($2 \leq k \leq \text{pop-size}$),使得 $q_{k-1} \leq r \leq q_k$ 成立。

6) 交叉(crossover)

采用单断点交叉法。随机地选择一个断点,交换双亲上断点的右端,生成新的后代。交叉率 p_c 设为 0.25。

7) 变异(mutation)

变异是以变异率为 $p_m = 0.01$ 的概率改变一个或几个基因,即将原染色体某位的 1 改为 0 或原来的 0 改为 1。变异的目的是引入随即扰动,增加个体的多样性,保证在全空间进行搜索。变异以后产生新一代的种群,从而完成了遗传算法的一次迭代,然后转 4) 进行下去。

3 优化结果及结论

计算机运行 500 代结束,在第 294 代就得到了最佳染色体:

$$V = [001000\ 101010011001\ 1111100110110], \text{fitness}(9, 2.081, 2.987) = 0.4999$$

$$\text{即 } N=9, r=9.94 \text{ cm} \left(\frac{2\pi r}{\lambda} = 2.081 \right), \alpha_n = 2.987 \quad (4)$$

最小适值为 $\text{fitness} = 0.4999$ 。原调幅馈电式地面信标天线的半径 $r = 57.65 \text{ cm}$,可见新天线比原天线的尺寸要小得多。天线方向图如图 2 所示。

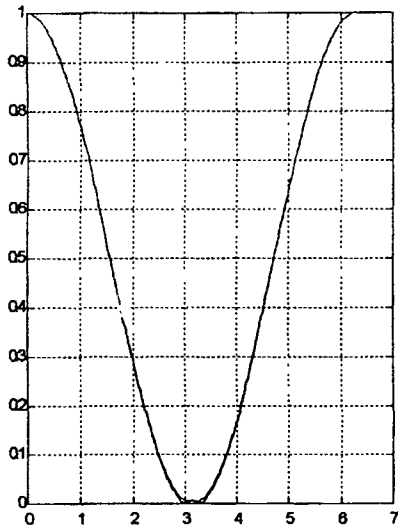


图 2(a) 天线方向图与标准心脏形图

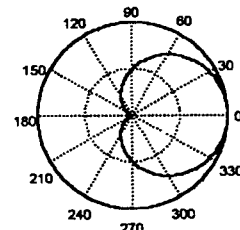


图 2(b) 标准心脏形图

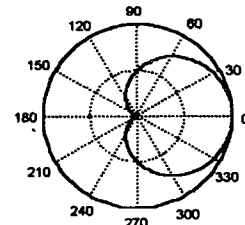


图 2(c) 相控圆阵极坐标方向图

从图 2(a)可以看出在直角坐标下标准心脏形方向图和用遗传算法所得到的天线方向图几乎完全重合在一起。图 2(b)是标准心脏形极坐标方向图,图 2(c)是用遗传算法所得到的极坐标方向图,可以看出,二者在形状上几乎完全相同,尽管在 180° 方向上零点并未与坐标原点完全重合,但误差仅为 6.570×10^{-4} ,完全可以满足空中定位的求。当然,在实际天线阵设计过程中,要充分考虑天线单元之间的互耦作用。

参考文献:

- [1] 冯忠华. 测向 Butler 矩阵的一般设计方法[J]. 电子学报, 1986, 14(5): 37-41.
- [2] 杨煜, 冯正和. 用改进的 Butler 矩阵实现固定多波束面天线阵. [J]. 微波学报, 2000, 16(3): 237-241.
- [3] 李茂军, 童调生. 单亲遗传算法在 Flow-Shop 问题中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2000, 22(6): 84-86.

(编辑: 门向生)

A New Method for Designing a Mini-type TACAN Beacon Antenna Based on Genetic Algorithm

HU Hui-bin, LU Wan-zheng, LIN Bao-qin

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: A new method of forming the heart-form pattern, which the TACAN beacon antenna array must require, is introduced in this paper. The TACAN beacon antenna array is optimized by genetic algorithm and a new type antenna array which is superior to published results from other techniques is obtained.

Key words: genetic algorithm; phased array; pattern; optimization