

阵列天线的遗传优化¹

张子敬 赵永波 焦李成

(西安电子科技大学雷达信号处理重点实验室 西安 710071)

摘 要 非均匀稀布阵通常具有较高的旁瓣。为降低旁瓣, 本文对传统遗传算法进行了改进并用于阵元位置的优化。对于一个孔径为 50λ , 由 25 个阵元组成的阵列天线, 本文获得了比已有文献更低的旁瓣。

关键词 遗传算法, 阵列天线, 优化, 旁瓣

中图分类号 TN823, O224

1 引言

阵列天线的阵元数与系统的成本以及设备的复杂度成正比关系, 同时也影响处理速度。因此人们总是希望在保持天线孔径不变的情况下尽可能减少阵元数, 即稀疏地布置阵元。为了避免栅瓣, 通常非均匀布置阵元。非均匀稀布阵具有不受栅瓣影响及天线孔径大的优点。然而, 这种天线具有较高的旁瓣。阵元的位置与阵列天线的旁瓣有着密切的关系, 因而需要对阵元的位置进行优化, 以尽可能降低旁瓣。

现考虑一个具体的阵列天线。该阵列天线为线阵, 孔径为 50λ (λ 为波长), 25 个阵元随机分布在间距为 $\lambda/2$ 的节点上, 其中两端必须各布置一个阵元。针对这种阵列模型, 文献 [1] 中提出用动态规划方法优化阵元位置, 该方法可使天线的最大旁瓣降至 -10.14dB 。文献 [2] 中提出用模拟退火方法优化阵元位置, 该方法可使天线的最大旁瓣不超过 -12.07dB 。本文提出用遗传算法优化阵元位置, 计算机仿真结果表明, 该方法可使天线的最大旁瓣进一步降至 -12.50dB , 且运算量远小于模拟退火方法。

2 阵元位置的遗传优化

对于一个由 m 个无方向性的阵元组成的线阵, 如图 1 所示。若每个阵元的激励幅度相同, 则其方向图可表示为

$$p(u) = \left| \sum_{i=0}^{m-1} \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda} x_i u\right) \right|, \quad (1)$$

其中 x_i 是第 i 个阵元的位置, $u = \sin\theta - \sin\theta_0$, θ 和 θ_0 分别是平面波与线阵法线的夹角和天线波束指向。对任意角度 θ 和 θ_0 , 变量 u 均在 $[-2, 2]$ 之间, 主瓣总是位于 $u = 0$ 处, $p(u) = p(-u)$ 且关于 $u = 1$ 对称^[2], 因此只须讨论 $0 \leq u \leq 1$ 间的 $p(u)$ 。若以对数坐标表示, 则方向图可表示为 $20\log(p(u)/m)$ 。

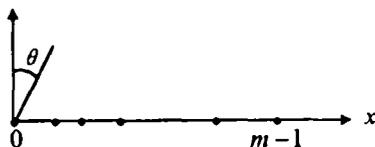


图 1 m 个阵元组成的非均匀线阵

¹ 1998-06-16 收到, 1999-01-31 定稿
国防预研基金和国防重点实验室基金资助课题

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与个体间的基因型相似性, 适者生存、优胜劣汰是其基本优化思想。

针对上述阵列天线的阵元位置优化问题, 本文采用的遗传算法如下:

(1) 编码 本文对阵元位置 x_i 采用二进制编码, 因为阵元位置只能是 $\lambda/2$ 的整数倍, 故 $x_i \in \{0, 1, \dots, 100\}$, 即可用 7 位二进制数对 x_i 进行编码 (基因), 把每个基因排列成阵元位置矢量 $X = [x_1, x_2, \dots, x_{25}]$, 即为染色体。

(2) 初始化 用均匀分布的整数随机排列对 N 个位置矢量进行随机赋值, 注意每个位置矢量的两端必须是 0 和 100, 以保证阵列的孔径不变。然后对 N 个位置矢量进行编码, 从而得到 N 个随机的二进制字符串的染色体。

(3) 适应度 选择第 k 代第 l 个染色体的适应度函数为

$$f(k, l) = 1 / \max_{u_1 \leq u \leq u_2} (p(u)). \quad (2)$$

遗传算法通常还需要对适应度函数进行定标, 以便对适应度进行缩放调整, 但多数遗传算法在整个优化过程中采用不变的定标方式, 未考虑遗传群体的环境变化。在遗传算法运行过程中, 一般依染色体适应度的大小成比例地赋予其繁殖的机会, 适应度高的个体获得繁殖的机会大。但是如果种群中染色体的适应度分布集中, 相差不大时, 这些染色体被选中参加繁殖的概率几乎相同, 这样具有较高适应度的个体的优势不易表现出来, 使遗传选择趋向纯粹的随机漫游, 尤其在算法的后期容易出现这种现象。另一方面, 当染色体的适应度相差悬殊时, 具有最高适应度的个体几乎总被选中做父辈, 这样子代中的个体基本上源于同样的父辈, 因此也基本相同, 使算法无法分辨个体的优劣。

为解决这一问题, 本文提出了环境自适应的适应度定标方法, 定标后的适应度函数为

$$f'(k, l) = [f(k, l)]^{s(k)}, \quad (3)$$

其中 $s(k)$ 为动态定标参数。设 $v(0), v(k)$ 分别为初始群体和第 k 代群体的适应度方差, $s(k)$ 取为

$$s(k) = a(v(0) - v(k)) + c, \quad (4)$$

其中 a, c 为正常数, 即 $s(k)$ 与 $v(k)$ 呈负斜率的线性关系。当群体的适应度相对趋同时, 适当提高个体间的竞争力差距, 避免随机漫游现象; 当群体的适应度过于分散时, 适当降低个体间的竞争力差距, 避免早熟 (Premature) 现象。

(4) 选择及交叉 以定标后的适应度函数为基础, 按比例选择染色体进行随机配对, 在配对的两个位置向量中随机选择某个阵元位置进行一点交叉, 得到两个新的阵元位置。因为多个阵元不能处于相同的位置, 所以必须检查新的阵元位置是否与原有位置矢量中的其它阵元位置相同, 若相同则新的阵元位置加一, 直到无相同阵元位置为止。在子代中保留父代中的最佳个体。

(5) 变异 根据变异概率 P_m 随机地改变染色体中某一位的值, 即 0 变为 1 或 1 变为 0。变异的目的是引入随机扰动, 增加个体的多样性, 保证在全空间进行搜索。一般来说, P_m 越大则收敛越快, 但稳定误差也越大。因而可以设计变异概率 P_m 按如下方式指数衰减, 以保证较好的优化结果

$$P_m(k) = P \exp(-k/b), \quad (5)$$

其中 P 为初始变异概率, b 为控制衰减速度的常数。

图 2 为基于遗传算法的阵列天线方向图的优化流程图。根据上述遗传算法, 本文对阵元位置进行了优化, 使该阵列天线的最大旁瓣降至 -12.50dB , 所对应的阵元位置 (半波长的整数倍) 为 0 1 2 4 6 7 8 10 11 12 14 15 16 17 22 23 26 27 29 31 34 40 47 82 100, 天线的方向图如图 3 所示。

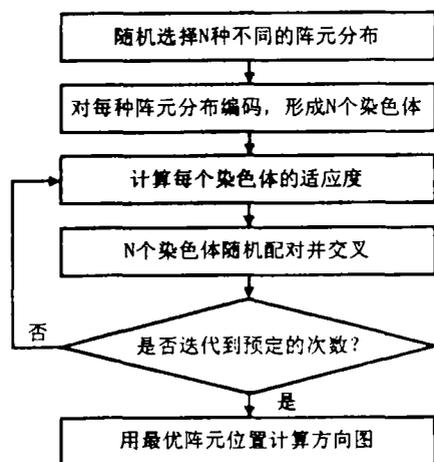


图 2 阵列天线方向图的优化流程图

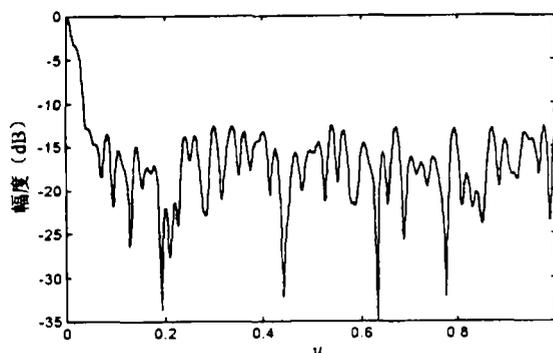


图 3 由遗传算法搜索到的最优天线方向图

3 结 论

非均匀稀布阵具有较高的旁瓣, 本文采用遗传算法对阵元位置进行优化, 与文献 [1, 2] 所给出的结果相比, 得到了更好的优化结果, 且运算量远少于模拟退火方法, 这表明遗传算法在解决复杂优化问题中具有独特的优势。本文对遗传算法的改进使遗传算法能够根据环境变化自适应地调整动态定标参数, 在阵列天线的优化中获得了良好的结果。但是, 由于遗传算法同时处理 N 个不同的个体, 所以, 与梯度算法相比, 它的计算量较大, 而且面向问题的遗传算法的参数选择还是一个未解决的问题。

参 考 文 献

- [1] Arora R K, Krishnamacharyulu N C. Synthesis of unequally spaced arrays using dynamic programming. *IEEE Trans. on Antennas Propagation*, 1968, AP-16(7): 593-595.
- [2] Murino V, Trucco A, Regazzoni C S. Synthesis of unequally spaced arrays by simulated annealing. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 1996, SP-44(1): 119-123.
- [3] 陈国良, 王煦天, 庄镇泉, 王东生. 遗传算法及其应用. 人民邮电出版社, 1996, 69-79.
- [4] 刘伟权, 王明会, 钟义信. 利用遗传算法实现手写体数字识别中特征维数的压缩. *模式识别与人工智能*, 1996, 9(1): 45-51.

OPTIMIZATION OF ARRAYS BY GENETIC ALGORITHM

Zhang Zijing Zhao Yongbo Jiao Licheng

(Key Lab. for Radar Signal Processing, Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract Unequally spaced arrays are characterized by high side lobes. To reduce the side lobes, traditional genetic algorithm is modified to optimize the position of elements in the array. Due to the high flexibility of genetic algorithm, the results obtained for a 25-element array over an aperture of 50λ are better than those reported in the literatures.

Key words Genetic algorithm, Array, Optimization, Side lobes

张子敬: 男, 1967年生, 博士生, 研究方向: 滤波器组, 遗传算法, 雷达信号处理.

赵永波: 男, 1972年生, 博士生, 研究方向: 阵列信号处理, 雷达信号处理.

焦李成: 男, 1959年生, 教授, 博士生导师, IEEE高级会员, 研究方向: 智能信息处理.