

基于遗传算法的单脉冲阵列天线优化

王宏建, 高本庆, 刘瑞祥

(北京理工大学电子工程系电磁兼容实验室, 北京 100081)

[摘要] 采用遗传算法来优化单脉冲阵列天线的和、差方向图 and 方向性系数。在天线阵综合时, 若不考虑差方向图 and 方向性系数的影响, 所进行的方向图优化仅仅显示出和方向图的特性, 对单脉冲阵列天线追踪目标的精度 and 作用距离没有保证。而在天线阵综合时兼顾和、差方向图以及方向性系数的优化, 既可使得天线能发现目标, 并使天线能准确对目标实施准确角跟踪, 提高雷达的跟踪 and 作战性能。

[关键词] 单脉冲阵列天线; 遗传算法; 方向图; 方向性系数

[中图分类号] TN820.1⁺2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)05-0084-04

1 前言

单脉冲跟踪采用同时比较波瓣的方法, 由单脉冲天线同时产生几个波束, 用几个独立的接受支路同时接受这些波束从目标反射的单个回波信号, 比较回波信号来获取角误差信号, 实现目标跟踪, 实现这一作用靠的是差波束信号。由于获取误差信号迅速、跟踪速度快、不存在起伏干扰, 所以单脉冲跟踪具有角跟踪精度高、抗干扰能力强等优点, 从而在现代雷达中得到广泛应用。单脉冲跟踪的各种系统区别在于单脉冲天线的不同。对于幅度单脉冲阵列天线, 两回波信号是目标方向的函数。由误差信号驱动天线转动, 使之对准目标, 实现角跟踪。单脉冲天线和波束的作用是在发射时照射目标, 接收目标的距离信息。单脉冲阵列天线的两个主要评价指标是距离灵敏度和角灵敏度, 差方向图在角灵敏度方面起着举足轻重的作用。事实上, 差方向图的斜率、分离角、零值深度与和方向图的方向性系数、副瓣电平一样, 是单脉冲天线指标优劣的具体体现。所以, 差方向图与和方向图对于雷达系统同样是非常重要的, 应该对和、差方向图的综合整体

作为单脉冲天线的优化目标。方向性系数是天线的另一个重要指标, 同样条件下方向性系数越高则作用距越远。在一般设计中, 只涉及和方向图优化, 对差方向图考虑较少, 而对方向性系数的考虑, 一般也仅仅在结构分析基础上给出估值。所以准确、有效的优化设计对于单脉冲阵列天线是非常重要的。以前缺少有效的优化方法, 惯用的优化方法(比如梯度法)是在初始值附近搜索最优解, 当只有很少参数问题的优化时是十分有效的。然而, 一般单脉冲阵列的阵元较多, 解空间增加很大, 以至于优化结果过分依赖于初始值的选取。如果初始值选择落入较差的区间, 则优化结果就被限定为这较差区间的最佳解。影响大、中型天线阵性能的因素很多, 不可能给出足够准确的初值, 而且, 对于大型阵列方程组往往陷入病态, 给不出结果。

遗传算法是一种类似生物界遗传机制进行搜索的全局优化算法^[1,2], 其求解搜索不依赖于梯度信息, 能得到全局最优解, 而不仅仅是局部最优解, 然而又比穷举搜索快得多。由于具有简单、鲁棒性强等优点, 近年来也被广泛应用于电磁场领

[收稿日期] 2001-10-30; **修回日期** 2001-12-19

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(69931030)

[作者简介] 王宏建(1969-), 男, 河南孟津县人, 北京理工大学博士研究生

域^[3~6]。笔者采用遗传算法，将裂缝单元的电流激励幅度作为优化变量，和方向图与差方向图以及方向性系数作为优化目标，可以得出整个阵列的激励分布。

2 遗传算法在单脉冲阵列天线优化中的应用

遗传算法是一种群体运算，选择、交叉、变异是三个主要算子。遗传算法应用到天线设计及优化分析中，主要是进行基因串定义、适应度函数设计、优化参数与适应度函数的连接等工作。

2.1 遗传算法在单脉冲阵列天线中优化的参数选取

1) 优化参数及编码 对于单脉冲阵列，当阵元间距固定时的优化参数就是各个单元的激励幅度(实际应用中，当频率确定后，单脉冲阵元间距基本确定)，由于幅度是连续变化的，需要进行二进制编码与十进制函数的转换。二进制编码位数越多则结果越精确，其编码公式为

$$B_L = \text{lb} \left(\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\text{res}}} + 1 \right), \quad (1)$$

$$I_b = (I_1 I_2 \cdots I_{B_L}), \quad (2)$$

式中： I_b 代表二进制码， B_L 代表激励幅度的二进制码位数， $(I_1 I_2 \cdots I_{B_L})$ 为二进制码队列， I_{\max} ， I_{\min} 分别为十进制的激励幅度的最大值和最小值， I_{res} 代表十进制的离散值增量。

十进制的激励幅度 I_d 解码为

$$I_d = I_{\min} + \sum_{k=1}^{N_L} I_{\text{res}} I_k 2^{k-1}, \quad (3)$$

其中： N_L 代表阵元总数， I_k 代表阵元电流的二进制代码。

2) 群体数量 群体数量大，则可以有更多的基因模式和群体多样性，此处数量定为 200。

3) 遗传世代 世代越多，优化结果越好，此处选为 200。

4) 变异概率 取为 0.02。

5) 适应度函数 优化目标为天线远区方向图和天线方向性系数，

$$f = \sum_i c (S_i - S_{i,\text{des}})^2 + \sum_k d (\Delta_k - \Delta_{k,\text{des}})^2 + \sum_j g \left(\frac{I_j}{I_{j+1}} \right)^2 + \sum_m h (G_m - G_{m,\text{des}})^2. \quad (4)$$

其中： f 为适应度； S_i 为和方向图； $S_{i,\text{des}}$ 为所要求

的和方向图； Δ_i 为差方向图； $\Delta_{i,\text{des}}$ 为所要求的差方向图； i, k 为所选取的不同剖面 and 不同角度的参数，单脉冲阵列天线除了对两个主平面要求外，为抑制地杂波等影响对各个剖面方向图也有要求，为此选取多个剖面进行优化，比如选取 10 个剖面 and 10 个角度的方向图， i 和 k 的取值区间为 1 到 100，使得方向图逼近所要求的值； G_i 为方向性系数； $G_{i,\text{des}}$ 为所要求的方向性系数； j 为阵元的编号；式中第三项为相邻阵元电流的比值； c, d, g, h 为系数。

3 单脉冲阵列天线的优化结果与讨论

3.1 圆形等副瓣单脉冲阵列

此处优化对象是 $\phi 3 \text{ cm}$ 圆形单脉冲等间距排列的平面阵列天线，仅仅优化和方向图，阵元数为 100 个，分为四个区，形成和差方向图，每个区 25 个，其设计指标：副瓣电平 (SLL) 为 -25 dB ，E 面半功率波束宽度为 14° ，H 面半功率波束宽度为 7° ，方向性系数为 30 dB 。采用遗传算法，将方向图各个剖面的副瓣约束代入适应度函数，得出阵列单元激励幅度。其优化方向图 (GA) 如图 1 所示，图 1 中同时给出采用泰勒分布 ($n=4$) 优化

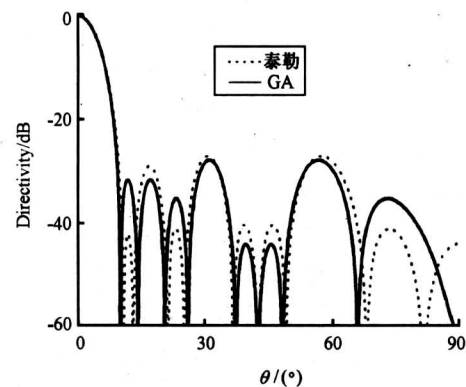


图 1 圆形单脉冲阵列天线主平面和方向图优化比较

Fig.1 The optimized patterns of the circular monopulse antenna array in the main plane

所得的阵列天线方向图 (泰勒),可以看出，这两种优化方法所得的结果基本一致，但采用遗传算法得到的方向图副瓣分布更为平滑，虽然泰勒也是一种等副瓣分布，但遗传算法所得的副瓣值更为平均和一致。遗传算法所得的各个阵元激励幅值 (离散值) 与泰勒分布比较见图 2 (图中 R_0 为距离圆心

的距离), 各个阵元幅值确实同泰勒分布基本相同, 但遗传算法更为灵活, 虽然此处仅仅示出一个剖面, 事实上可以对任意剖面方向图进行优化以达到所需电平。

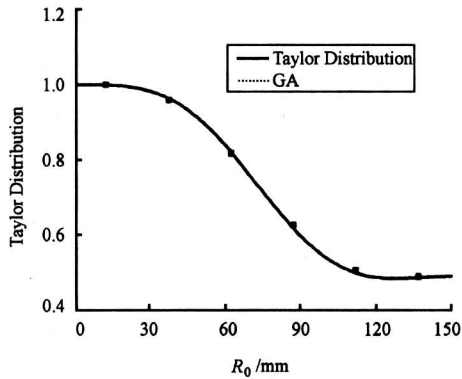


图2 遗传算法和泰勒分布比较

Fig.2 The current distribution of the circular monopulse antenna between the GA and Taylor

3.2 矩形平面单脉冲阵列

一般单脉冲天线方向图并不都是能用现有分布函数逼近的。此处优化对象是8 mm 矩形单脉冲阵列天线, 优化和、差方向图和方向性系数, 阵元数为72 (6×12), 6行12列, 分为4个区, 以利于形成和、差方向图。其设计指标: SLL为-20 dB, 半功率波束宽度E面为 14° 和H面为 7° , 方向性系数为18 dB。由于采用等间距排列, 但正交方向上元数不等, 不满足曾和郑的条件^[7]。这里采用可分离Chebyshev分布, 在两个正交方向上分别采用Chebyshev分布, 则在这个主平面上设计结果与要求是一致的, 但在不同的剖面上副瓣大大低于设计要求, 从而造成方向图变宽。遗传算法优化前、后的方向图变化是非常明显的: 对于和方向图的变化, 由图3可以看到, 优化前 $\varphi = 20^\circ$ 剖面上3 dB宽度为 19° 远大于要求指标, 而优化后方向图基本满足要求; 对于差方向图的变化见图4, 可以看出, 差方向图副瓣有较大程度的降低, 平均副瓣降低约5 dB, 与此相应的差方向图的斜率、分离角、零值深度等将会有较大改善, 使得单脉冲天线角跟踪精度提高。同时, 遗传算法的方向性系数也有所提高, 由原来的24.8 dB提高到26.6 dB, 其实方向性系数的提高是可以预料的, 因为采用可分离Chebyshev分布其非主平面方向图变得非常宽, 造成方向性系数下降; 而采用遗传算法优化后, 方向

图对称性大为提高, 方向性系数有所增加。

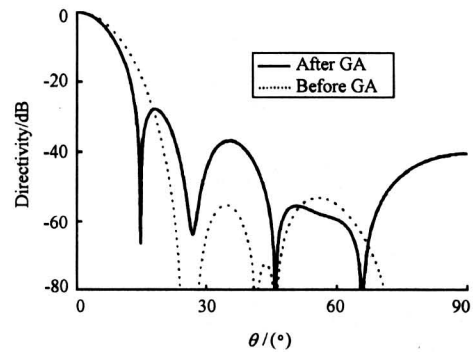


图3 $\varphi = 20^\circ$ 剖面 and 方向图优化前后比较

Fig.3 The sum pattern of rectangular monopulse antenna on the profile of $\varphi = 20^\circ$

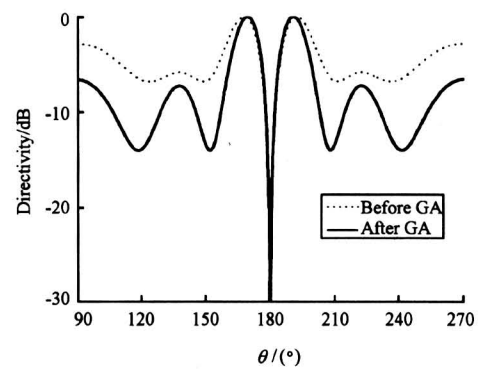


图4 差方向图优化前后比较

Fig.4 The difference pattern of the rectangular monopulse antenna

4 结论

由于单脉冲天线依靠差通道获取误差信号, 实现角跟踪, 同时依靠和通道实现距离跟踪, 因此和、差方向图都是十分重要的。然而, 以前缺少有效的优化手段, 一般只对和方向图进行优化设计。笔者在单脉冲天线设计中引入遗传算法, 将单脉冲阵列单元激励幅度作为优化对象, 优化天线的和、差方向图和方向性系数。对于圆形阵列, 阵元激励的泰勒分布设计广为采用。事实上, 常见的不满足曾和郑^[7]的结构, 采用简单的可分离Chebyshev分布设计, 运用遗传算法对方向图进行优化, 大大简化了设计过程。同时, 考虑到波导阵列结构限制, 将相邻阵元激励比值作为优化因子, 完成阵列的初

次优化。在此基础上还可将 Elliott 设计思想和遗传算法结合起来, 将各阵元参数作为优化变量, 把难以求解的多阶方程组转化为适应度的约束条件, 从而完成阵列天线的精确优化。同时, 采用微型遗传算法完成了中、小型阵列的设计, 设计结果显示了遗传算法在波导裂缝天线设计中的有效性和准确性, 该方法还可用于大型阵列的设计。

参考文献

- [1] Goldberg D E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning [M]. Addison-Wesley, Reading, Mass, 1989
- [2] 陈国良. 遗传算法及其应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996
- [3] Johnson J M, Rahmat-samii Y. Genetic algorithms and method of moment (GA/MoM): A novel integration for antenna design [A]. IEEE AP-S digest [M], USA, 1997. 1664~1667
- [4] Haupt R L. Thinned arrays using genetic algorithms [J]. IEEE Trans Antenna Propagation, 1994, 42(7): 993~999
- [5] Boag A, Michielessen E, Mittra R. Design of electrically loaded wire antennas using genetic algorithms [J]. IEEE Trans Antenna Propagation, 1996, 44(5): 687~695
- [6] Jones E A, Jones W T. Design of Yagi-Uda antennas using genetic algorithms [J]. IEEE Trans Antenna Propagation, 1997, 45(9): 1386~1392
- [7] 埃利奥特 R S. 天线理论与设计 [M]. 汪茂光, 陈顺生, 谷深远. 北京: 国防工业出版社, 1992

The Optimization of the Monopulse Antenna Based on Genetic Algorithms

Wang Hongjian, Gao Benqing, Liu Ruixiang

(*Department of Electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China*)

[**Abstract**] The sum and difference patterns as well as the directivity of the monopulse antenna arrays are optimized based on genetic algorithms (GA). When only the sum pattern is optimized as usual, the difference pattern and gain can not be guaranteed, so the track precision and effective distance of the antenna or missile will be impaired. However, using GA, the sum pattern, difference pattern and directivity can be optimized thoroughly for the antenna design.

[**Key words**] monopulse antenna array; genetic algorithm; pattern; directivity

(cont. from p. 83)

Analysis of Influencing Factor of Brand Competitiveness

Bing Hongyan

(*Collage of Business of Liaoning University, Shenyang 110036, China*)

[**Abstract**] Transnational corporations carry out the global strategy, from product export, capital export to brand export. This kind of multipurpose export which relies on abundant capital and is guaranteed by the advanced technology, as a flag with brand, impacts greatly the national brand and gives it a severe challenge. Facing the foreign brand large-scale entering, the problem appears gradually that national brands are short of competitiveness. The author tries to discuss countermeasures to improve brand competitiveness by analyzing the influencing factor of brand competitiveness.

[**Key words**] brand competitiveness; influencing factor; analysis; countermeasure