

X波段微带余割平方扩展波束天线阵赋形优化遗传算法研究

张金玲 万文钢 郑占奇 甘曦 朱兴宇

Research on X band extended cosecant squared beam synthesis of micro-strip antenna arrays using genetic algorithm

Zhang Jin-Ling Wan Wen-Gang Zheng Zhan-Qi Gan Xi Zhu Xing-Yu

引用信息 Citation: [Acta Physica Sinica](#), 64, 110504 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.110504

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.110504>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I11>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

一种能耗均衡的无线传感器网络加权无标度拓扑研究

[Research on weighted scale-free topology with balancing energy consumption characteristics in wireless sensor networks](#)

物理学报.2014, 63(19): 190504 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.190504>

基于综合故障的无线传感器网络无标度容错拓扑模型研究

[A scale-free fault tolerant topology model in wireless sensor network for toleration of comprehensive fault](#)

物理学报.2014, 63(17): 170506 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.170506>

能量异构的无线传感器网络加权无标度拓扑研究

[Studies on weighted scale-free topology in energy heterogeneous wireless sensor network](#)

物理学报.2014, 63(15): 150504 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.150504>

一种强容侵能力的无线传感器网络无标度拓扑模型研究

[Study on the scale-free topology model with strong intrusion-tolerance ability in wireless sensor networks](#)

物理学报.2014, 63(9): 090503 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.090503>

一种优化无线传感器网络生命周期的容错拓扑研究

[Wireless sensor network fault tolerant topology for lifetime optimization](#)

物理学报.2014, 63(4): 040509 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.040509>

# X波段微带余割平方扩展波束天线阵赋形优化遗传算法研究\*

张金玲<sup>1)</sup> 万文钢<sup>1)†</sup> 郑占奇<sup>2)</sup> 甘曦<sup>1)</sup> 朱兴宇<sup>1)</sup>

1)(北京邮电大学电子工程学院, 北京 100876)

2)(中国科学院微电子研究所, 北京 100029)

(2014年11月15日收到; 2014年12月26日收到修改稿)

提出了一种改进型自适应遗传算法, 该算法用 logistic 函数拟合交叉概率和变异概率, 以赌轮盘选择和精英保留相结合的方式, 在全局寻找最优解. 与经典遗传算法相比, 改进型自适应遗传算法可以大大提高算法的求解质量. 本文基于改进的自适应遗传算法研究设计了  $-3$  dB 范围为  $0^\circ$ — $12^\circ$ ,  $-10$  dB 波束宽度为  $65^\circ$ , 波束覆盖为  $65^\circ$ , 天线频带范围为  $8.5$ — $9.8$  GHz, 中心频率为  $9.05$  GHz 的 X 波段微带余割平方扩展波束天线阵. 研究结果表明改进型自适应遗传算法对方向图的拟合程度具有较大提高, 适应度值可以从  $0.07$  以下提升到  $0.09$  以上.

**关键词:** 自适应遗传算法, 余割平方扩展波束, X 波段天线阵

**PACS:** 05.65.+b, 84.40.Ba

**DOI:** 10.7498/aps.64.110504

## 1 引言

余割平方波束天线, 具有低仰角增益大, 高仰角增益小的特点. 对高度相同、倾斜距离不同的目标进行探测, 可以接收等强度的回波信号, 实现对远距离目标的尽早发现; 同时又能接收近距离目标的高强度回波, 具有增益高和对目标分辨能力强等特点. 因此余割平方波束在飞机导航雷达系统中具有重要的应用价值.

在赋形天线设计中, 为了获得特定方向图, 许多方法被用来寻找阵列天线辐射单元的激励幅度和相位值, 这个过程耗时长效率低<sup>[1]</sup>, 所以天线设计中优化算法的研究一直倍受科学工作者关注, 诸如遗传算法, 差分进化算法, 粒子群优化算法, 萤火虫优化算法和空间映射法<sup>[1-6]</sup>. 利用粒子群优化算法可以实现  $0.95$ — $1.25$  GHz 频带范围内的余割平方扩展波束的微带阵列天线的赋形<sup>[7]</sup>; 通过野草算

法用反射镜天线阵列可以实现余割平方波束<sup>[8]</sup>. 采用交叉算法利用折叠式微带反射镜阵列天线实现  $24$ — $26$  GHz 频带范围内的余割平方波束赋形<sup>[9]</sup>.

遗传算法是一种稳健的以随机搜索和自然选择进化原则为模型的优化算法<sup>[10]</sup>. Holland 和 Jong 的研究工作被公认为遗传算法的基础, Goldberg 总结了遗传算法的主要特点<sup>[11]</sup>. 之后在实数编码<sup>[12]</sup>, 直接搜索<sup>[13]</sup>, 网格自适应直接搜索<sup>[14]</sup>, 反映面方法<sup>[15]</sup>, 小生境方法<sup>[16]</sup>, 多目标优化<sup>[17]</sup>等方面, 遗传算法有了很大的改进. 随着遗传算法的完善, 该算法在工程实践中得到了广泛的应用, 高功率微波源优化设计<sup>[18]</sup>以及对二维声子晶体的带隙宽度进行优化设计<sup>[19]</sup>. 在天线设计领域, 遗传算法可以实现阵列天线副瓣抑制<sup>[20,21]</sup>, 在阵列天线主瓣赋形中可以实现特定方向图的合成<sup>[2,22]</sup>, 可以降低深测雷达数目和系统的复杂度<sup>[23]</sup>.

\* 国家自然科学基金 (批准号: 61171051) 和北京市自然科学基金和北京市教育委员会科技计划重点项目 (批准号: KZ201310028032) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: wengangwan68@gmail.com

本文针对 X 波段微带阵列天线余割平方扩展波束赋形优化设计参数多, 模型复杂和优化过程繁琐等特点, 提出了一种改进型自适应遗传算法实现 X 波段天线阵余割平方扩展波束. 该算法在考虑单元天线耦合的情况下, 以赌轮盘选择和精英保留相结合的方式, 在全局寻找最优解. 基于改进型的自适应遗传算法研究设计了余割平方波束,  $-3$  dB 宽度范围为  $0^\circ-12^\circ$ ,  $-10$  dB 波束宽度为  $65^\circ$ , 波束覆盖为  $65^\circ$ , 频带范围为  $8.5-9.8$  GHz, 中心频率为  $9.05$  GHz. 与文献 [7] 给出的  $-15$  dB 波束宽度为  $55^\circ$ , 中心频率为  $1.1$  GHz, 相对带宽为  $30\%$  的余割平方波束相比较, 本论文设计的 X 波段天线阵的波束覆盖范围更宽, 工作频率更高, 在飞机导航雷达探测方面具有非常优越的应用前景.

## 2 改进型自适应遗传算法理论

### 2.1 遗传算法简介

遗传算法是以随机搜索和自然选择进化原则为模型的优化算法. 遗传算法从代表问题可能的潜在解集的一个种群开始, 一个种群是由经过基因编码的一定数目的个体组成, 每个个体实际上是染色体带有特征的实体. 染色体作为遗传物质的主要载体及多个基因的组合, 其内部表现 (即基因型) 是某种基因组合, 它决定了个体的形状及外部表现. 因此, 开始需要实现从表现型到基因型的映射即编码工作. 初始种群产生后, 按照适者生存和优胜劣汰的原理, 逐代演化产生出越来越好的近似解. 在每一代, 根据问题域中个体的适应度大小挑选个体, 并借助于自然遗传学的遗传算子进行组合交叉和变异, 产生代表新解集的种群. 这个过程使得种群像自然进化一样, 后代种群比前代更加适应于环境, 末代种群中的最优个体经过解码, 可以作为问题的近似最优解.

### 2.2 改进型自适应遗传算法

在传统的遗传算法中, 赌轮盘选择算子作用于群体时, 能保护群体基因的多样性, 但不能保证子辈的性能总是好于父辈, 群体的进化会出现反复, 甚至暂时的倒退现象, 延缓算法的收敛速度. 精英选择能保证子辈的性能不差于父辈, 加快收敛速度, 但会出现早熟收敛问题.

本论文基于传统遗传算法, 提出一种以赌轮盘选择和精英选择相结合的选择策略进行遗传操作, 在最大适应度值低于阈值时, 用赌轮盘法进行选择, 不引入精英策略, 保护种群基因多样性. 而当最大适应度值高于阈值时, 算法中引入精英策略, 加快收敛速度. 此时, 种群基因多样且个体具有较高性能, 再利用自适应调节交叉算子和变异算子进行遗传操作, 能避免早熟收敛. 通过结合赌轮盘选择和精英选择的优点, 能够有效地在全局寻找最优解. 交叉概率和变异概率使用自适应调节公式, 用 logistic 函数拟合. 相对经典遗传算法而言, 利用改进型自适应遗传算法设计的天线方向图主瓣范围内为余割平方扩展波束, 副瓣相对其他遗传算法得出的方向图具有更好的抑制特性. 具体算法如图 1 所示.

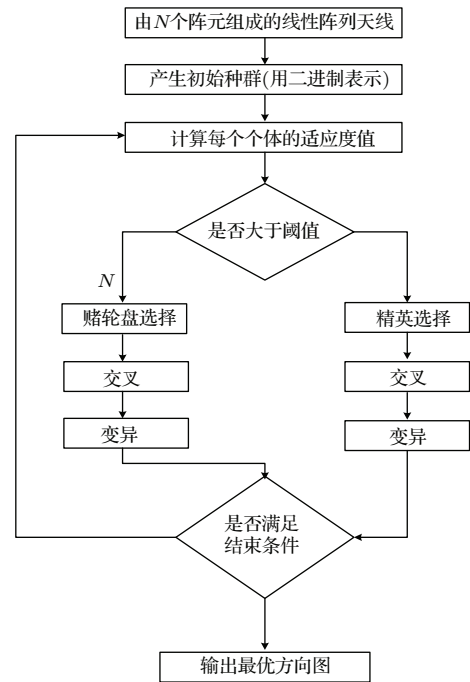


图1 改进型自适应遗传算法流程图

Fig. 1. Flow chart of improved adaptive genetic algorithm.

自适应遗传算法除了具有传统遗传算法的特点外, 还能避免早熟和锯齿问题, 遗传算子的计划更具方向性, 具有较强的全局和局部搜索能力以及较强的收敛能力. 自适应遗传算法中交叉概率和变异概率调节设计依据对于较差的个体应给予较大的交叉概率和较小的变异概率, 较优良的个体则依据其优良程度和迭代状态赋予此个体相应的交叉概率和变异概率. 在调节公式中, 当个体之间的差异较大, 也就是个体的适应度值差异很大时, 说

明此种群的基因类型丰富, 那么对于当前一代的种群给予较大的交叉概率, 以及较小的变异概率; 反之, 当个体之间的差异较小, 也就是个体之间的适应度值差异很小时, 则说明此种群的基因类型较为单一, 则对当前一代的种群给予较大的变异概率, 和较小的交叉概率.

### 2.3 自适应调节

Logistic 函数的积分方程形式为<sup>[24]</sup>

$$N = \frac{K}{1 + e^{a-rt}}, \quad (1)$$

式中,  $N$  表示生物量、增长量或者其他的矢量指标;  $t$  表示时间或温度等的序列;  $r$  是常数, 表示内禀自然增长率或瞬间增长率;  $K$  也是常数, 表示环境承载力或容纳量;  $e$  为自然对数底;  $a$  为积分常数.

定义相似系数  $\varphi$  为

$$\varphi = \frac{EX + 1}{\sqrt{DX}}. \quad (2)$$

随着进化代数的增加, 期望  $EX$  的值越来越大, 方差  $DX$  的值越来越小, 从而相似系数  $\varphi$  的值越来越大, 这正说明, 随着进化代数的增加, 种群的相似度是越来越高的, 种群中个体之间的差异是越来越小的, 也就说明种群的进化趋于收敛.

结合相似系数的定义, 给出自适应的交叉概率和变异概率的调节公式:

$$p_c = \frac{1}{1 + e^{-\frac{k_1}{\varphi}}} - 0.1, \quad (3)$$

$$p_m = \frac{k_2}{5(1 + e^{\frac{1}{\varphi}})}, \quad (4)$$

$k_1$  的取值范围是  $(0, +\infty)$ ,  $k_2$  的取值范围是  $(0, 1)$ .

分析上述两个公式可以得到以下结论: 随着  $\varphi$  的增大, 交叉概率  $p_c$  越来越小, 变异概率  $p_m$  越来越大; 交叉概率  $p_c$  的变化范围是  $(0.4, 0.9)$ , 变异概率  $p_m$  的变化范围是  $(0, 0.1)$ .

## 3 余割平方扩展波束赋形

### 3.1 阵列天线方向图合成

根据直线阵列天线的电场远场辐射方向图函数:

$$E(\theta) = \sum_{n=1}^N a_n e^{[jk(n-1)d \sin \theta + \beta_n]} E_n(\theta)$$

$$= \sum_{n=1}^N e^{jk(n-1)d \sin \theta} E_n(\theta) a_n e^{j\beta_n}, \quad (5)$$

式中,  $k = 2\pi/\lambda_0$  是自由空间波数,  $\lambda_0$  为自由空间波长; 阵列总单元数  $N = 16$ , 阵列单元之间为等间距, 间距为半波长 16.667 mm;  $a_n$  和  $\beta_n$  分别表示第  $n$  个单元激励的幅度和相位.  $E_n(\theta)$  表示第  $n$  个单元的单元方向图,  $\theta$  表示来波方向与阵列轴线之间的夹角. 功率远场增益方向图与电场远场辐射方向图的关系为

$$G(\theta) = 10 \log |E(\theta)|^2. \quad (6)$$

由于阵列天线阵元间互耦、边缘效应以及底板等因素的影响, 阵列中的各个天线单元的辐射特性存在一定的差异, 在优化过程中, 需要考虑各个阵元的辐射特性对天线阵性能的影响, 因此遗传算法调用的是阵元天线耦合条件下的远场值  $E_n(\theta)$ ,  $E_n(\theta)$  可以由有限元理论数值计算方法得到. 用改进型自适应遗传算法优化方向图时, 直接将  $E_n(\theta) (n = 1, \dots, N)$   $N$  个数据代入 (5) 和 (6) 式进行运算, 得到功率方向图.

在遗传算法中, 远场值  $E_n(\theta)$  是有限个数的离散数值, 本文为了考虑全向辐射, 在各个角度上进行采样, 得到 360 个样值. 电场合成模型的具体实现矩阵公式如下:

$$\mathbf{E}(\theta) = \begin{pmatrix} E_1(\theta_1) & E_2(\theta_1) & \cdots & E_n(\theta_1) \\ E_1(\theta_2) & E_2(\theta_2) & \cdots & E_n(\theta_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ E_1(\theta_{360}) & E_2(\theta_{360}) & \cdots & E_n(\theta_{360}) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a_1 e^{j\beta_1} \\ a_2 e^{j\beta_2} \\ \vdots \\ a_n e^{j\beta_n} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

### 3.2 阵列天线设计

本文采用微带阵列天线实现 X 波段微带余割平方扩展波束天线阵, 阵元天线由下层接地板贴片, 介质板和上层贴片组成, 其中上层贴片形状如图 2 所示.

天线部分的长度  $L = 12.6$  mm, 宽度  $W = 9.45$  mm, 以及能确定馈点位置的宽度  $w_1 = 7.2975$  mm. 馈线部分的尺寸分别为  $w_2 = 0.42$  mm,  $w_3 = 6.93$

mm,  $w_4 = 1.302$  mm,  $L_1 = 15.96$  mm,  $L_2 = 11.34$  mm,  $L_3 = 2.31$  mm. 介质板采用罗杰斯5880, 厚度为1.575 mm. 阵列天线由16个这种形状的单元天线组成, 每个单元间隔  $d$  为半波长16.667 mm.

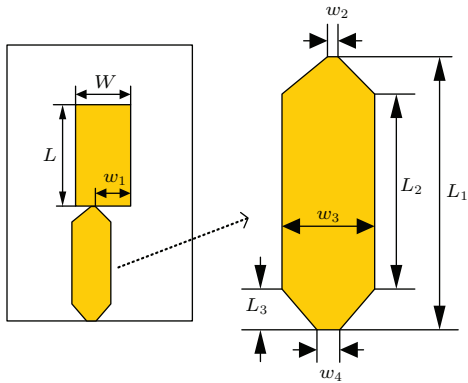


图2 单元天线模型

Fig. 2. Model of elementary antenna.

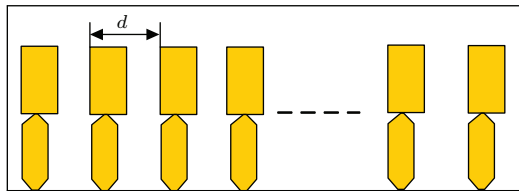


图3 阵列天线模型

Fig. 3. Model of array antenna.

### 3.3 适应度值计算

本文拟实现的阵列天线方向图为余割平方扩展波束样式,  $-3$  dB 范围为  $0^\circ - 12^\circ$ ,  $-10$  dB 波束宽度为  $65^\circ$ , 波束覆盖为  $65^\circ$ .

采用第2节设计的优化遗传算法设计目标阵列天线, 将目标方向图与天线激励合成方向图作差并加权得到适应度值.

根据下式可以计算适应度:

$$\text{fit} = \frac{1}{\text{weight}(\theta_i) \times \text{diff}(\theta_i)}, \quad -180 \leq \theta_i \leq 180, \quad (8)$$

其中  $\text{weight}$  为每个点所对应的权重,  $\text{diff}$  为合成图每个点与要求方向图的绝对误差

$$\text{weight}(\theta_i) = \begin{cases} a_1, & 1 \leq i \leq 114, \\ a_2, & 115 \leq i \leq 168, \\ a_3, & 169 \leq i \leq 179, \\ a_4, & 180 \leq i \leq 240, \\ a_5, & 241 \leq i \leq 360. \end{cases} \quad (9)$$

经过大量的实验, 本文将  $\text{weight}$  的权重设置如下:  $a_1 = 1, a_2 = 5, a_3 = 3, a_4 = 2, a_5 = 1$ .

$$\text{diff} = \sum_{i=1}^{360} |G(\theta_i) - R(\theta_i)|. \quad (10)$$

利用(5)–(10)式求解种群中每个个体的适应度, 根据图1的改进型遗传算法的流程, 寻找最优解. 每代个体最大适应度值以及最优解的方向图在第四部分仿真结果中给出.

## 4 仿真结果分析

### 4.1 阵元天线仿真结果

单个阵元天线的  $S_{11}$  参数如图4所示, 从中可以看出该天线的频带范围为8.5–9.8 GHz, 中心频率为9.05 GHz. 以上述天线为单元, 共16个单元组成一个阵列. 对单个阵元天线加激励, 得到了各个单元在中心频率9.05 GHz的电场方向图如图5(a)–(p), 与理想单元电场方向图5(q)作对比, 有明显的不同, 其原因是各单元之间有耦合影响. 同时由于单元位置的不同, 各个单元的电场方向图也有区别. 本文将对图5(a)–(p)阵元的方向图利用遗传算法进行余割平方扩展波束的天线赋形.

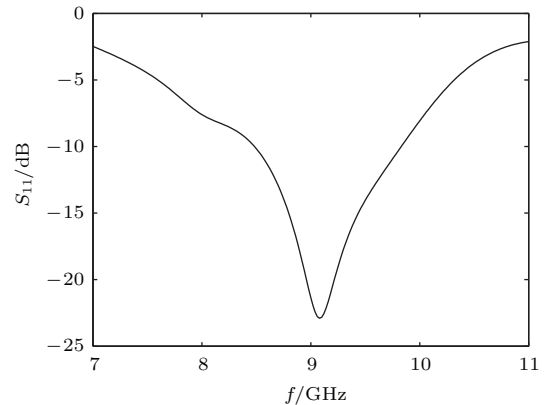


图4 单元天线的频带图

Fig. 4. Frequency band diagram of elementary antenna.

### 4.2 遗传算法仿真结果

将上述得到的各个单元的方向图代入(5)式进行建模, 利用(6)式、(7)式和(8)式计算每个个体适应度值, 采用遗传算法对9.05 GHz中心频点的方向图进行赋形. 在本文设计的改进型自适应遗传算法中, 种群规模设为300, 幅度编码位数为7, 相位编码位数为9, 遗传代数设为2000, 在精英保留策略

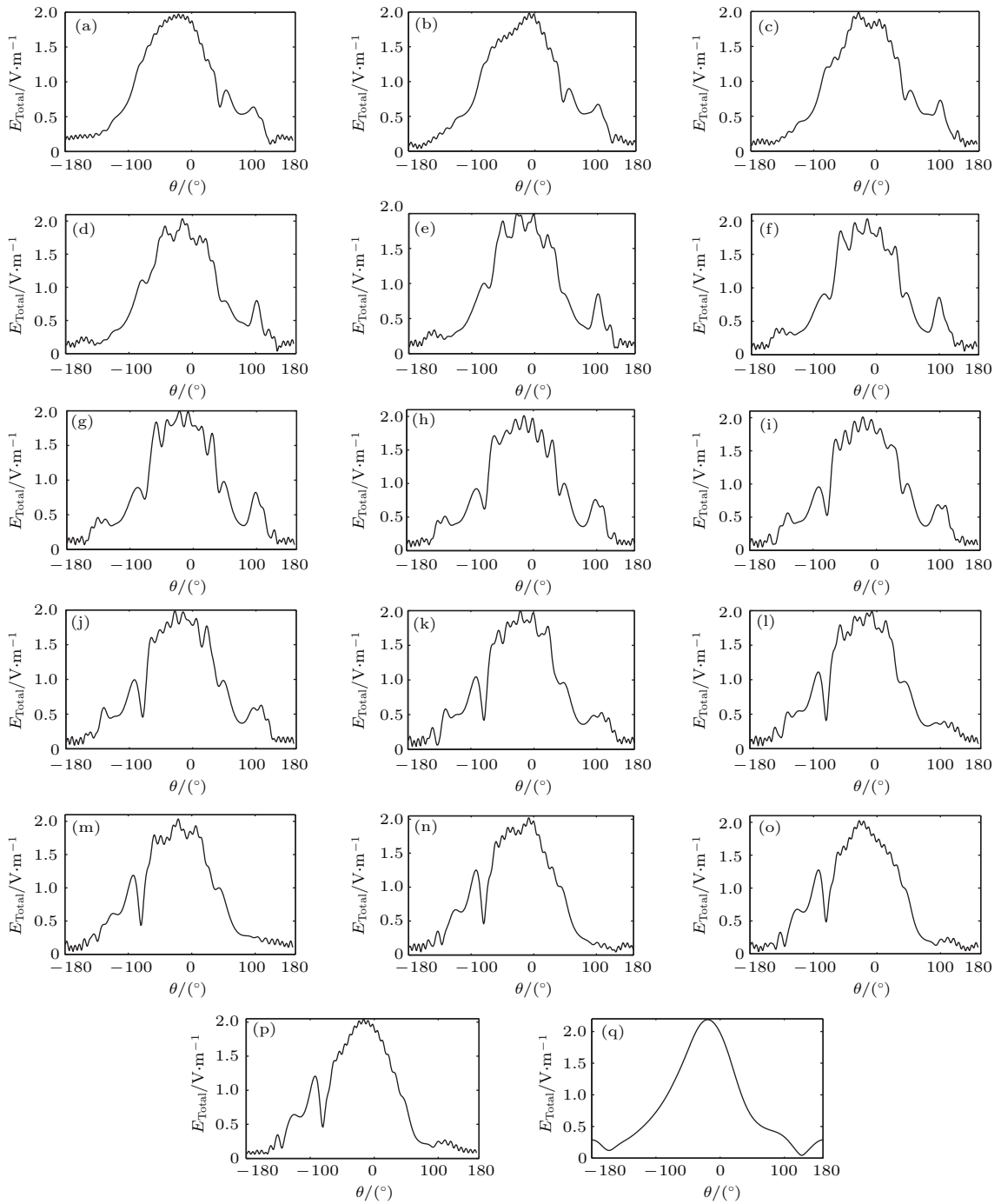


图5 阵元方向图 (a)—(p) 十六个阵元在耦合条件下的方向图; (q) 天线阵元无耦合情况下的方向图  
 Fig. 5. Radiation pattern of array element: (a)—(p) radiation pattern of 16 elements with far field mutual coupling consideration; (q) radiation pattern of array element without far field mutual coupling consideration.

时, 将一个最优个体保留至下一代. 不同阈值的改进型自适应遗传算法得到的最大适应度变化和方向图如图 6 和 7 所示, 对比图 6(a) 和图 7(a) 的最大适应度值, 可以看出, 阈值越高, 最后得到的合成方向图适应度值越高, 质量也越好. 但当通过赌轮盘选择无法得到大于阈值的个体时, 最后的方向图适应度值也必然小于阈值, 无法得到最佳结果. 经

过大量的实验证明, 阈值设为 0.065 左右时, 效果最佳, 如图 6(a) 所示适应度值有两段飞速的提升, 说明虽然引入了精英保留策略, 但是由于交叉因子和变异因子都是自适应调节, 所以种群中仍然保留着基因的多样性.

经典遗传算法得到的方向图如图 8 所示, 由于交叉因子和变异因子没有自适应变化, 算法会出

现早熟现象. 没有加入精英保留策略的自适应遗传算法如图 9 所示, 最大适应度值会波动变化, 无法得到最优解. 从最大适应度的变化图图 6 (a)—图 9 (a) 可以看出, 通过改进型自适应遗传算法, 最

大适应度值可以从 0.07 以下提升到 0.09 以上, 方向图的质量有明显的提高, 即主瓣更符合目标方向图, 副瓣有更好的抑制. 通过大量的实验证明, 在适应度值达到 0.05 时, 合成方向图的已初步具有目

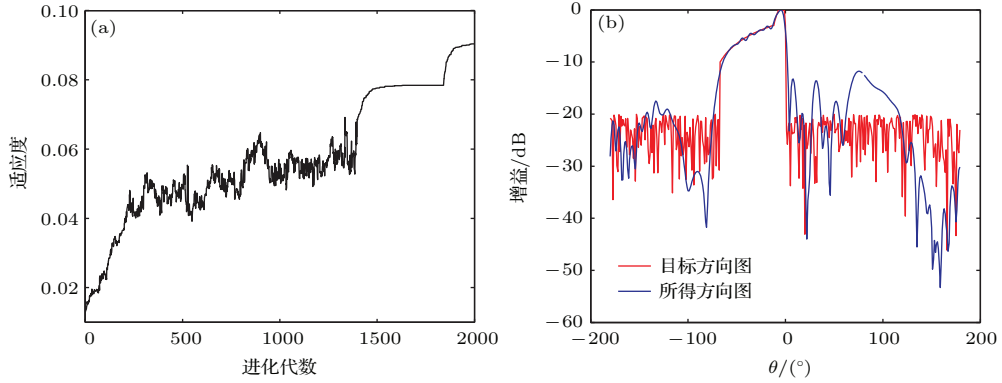


图 6 阈值为 0.065 (a) 个体最大适应度变化; (b) 合成的余割平方扩展波束方向图

Fig. 6. Threshold of 0.065: (a) convergence diagram of the best individual at each generation; (b) synthesized radiation pattern of extended cosecant squared beam.

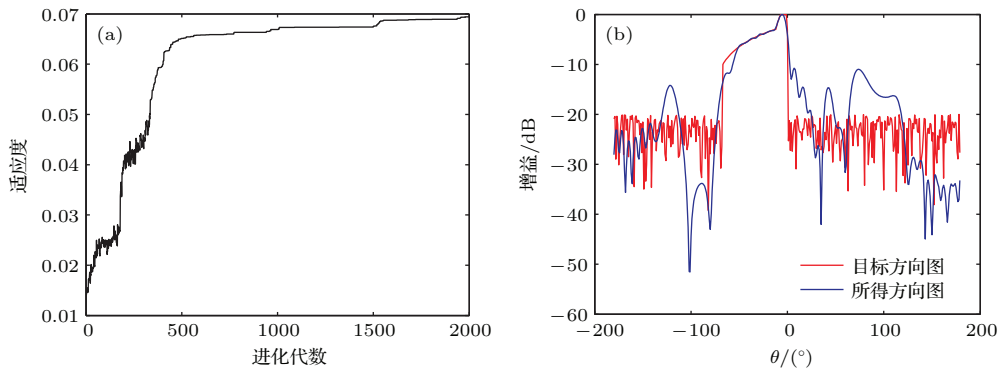


图 7 阈值为 0.05 时 (a) 个体最大适应度变化; (b) 合成的余割平方扩展波束方向图

Fig. 7. Threshold of 0.05: (a) convergence diagram of the best individual at each generation; (b) synthesized radiation pattern of extended cosecant squared beam.

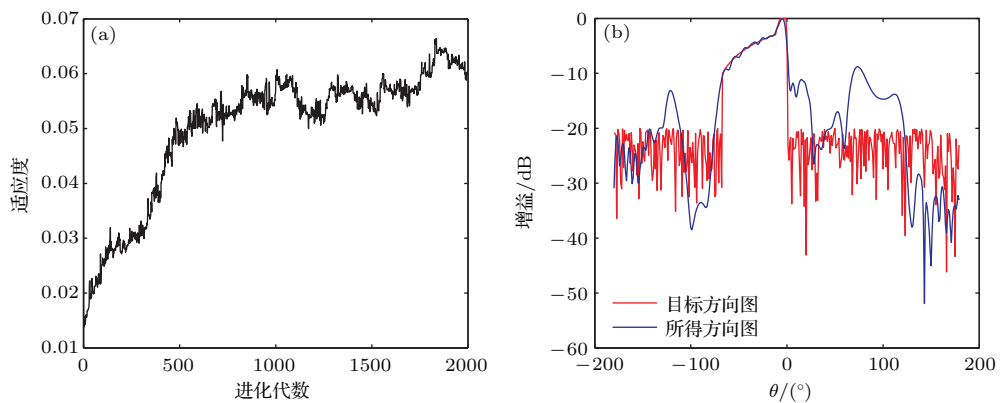


图 8 经典遗传算法时 (a) 个体最大适应度变化; (b) 合成的余割平方扩展波束方向图

Fig. 8. Classical genetic algorithm. (a) Convergence diagram of the best individual at each generation; (b) Synthesized radiation pattern of extended cosecant squared beam.

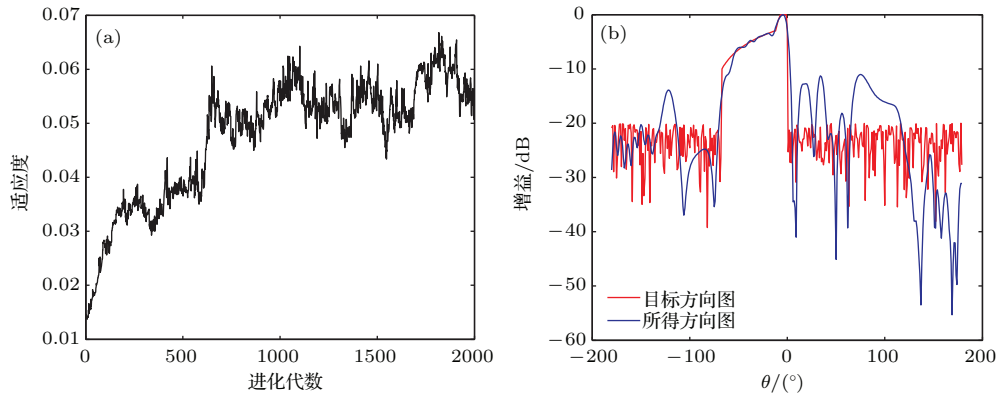


图9 没有采用精英保留策略 (a) 个体最大适应度变化; (b) 合成的余割平方扩展波束方向图

Fig. 9. Genetic algorithm without elitist strategy: (a) Convergence diagram of the best individual at each generation; (b) Synthesized radiation pattern of extended cosecant squared beam.

标方向图的形状,但在主瓣的波动较大,而且副瓣增益高于  $-10$  dB.随着适应度的上升,主瓣的波动减小,副瓣抑制提高,当适应度达到0.09时,合成方向图已趋于目标方向图,如图6(b)所示.

### 4.3 有限元理论模型验证改进型遗传算法

将改进型自适应遗传算法计算得到激励的幅度和相位值代入模型,通过有限元分析得出的9.05 GHz中心频点的余割平方扩展波束的方向图如图10所示.从图10中可以看出,通过有限元分析计算得出的方向图基本符合目标方向图的要求,虽然在主瓣上有小幅波动,但波动范围在可接受范围内,而在副瓣上有很好的抑制.对比图6(b)与图10可以看出在遗传算法中建立的模型与有限元分析计算的模型所得的结果基本一致,所以在遗传算法中适应度值更高的方向图,在有限元分析计算时也能得到更符合目标方向图的结果.图6(b)中

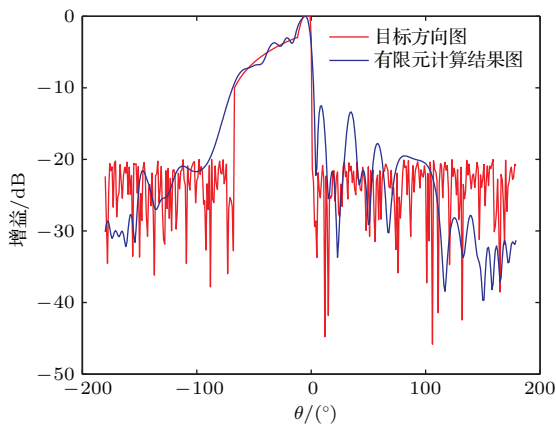


图10 有限元计算结果图与目标方向图对比

Fig. 10. Comparison chart of the finite element calculation result and the desired pattern.

改进型自适应遗传算法所得方向图和图10中有限元计算结果图有些许的不同,主要是由于遗传算法和有限元分析计算的模型有所差别,但这些差别不影响阵列天线的赋形设计和工程应用.

## 5 结 论

针对余割平方扩展波束方向图设计,本文考虑阵元间互耦、边缘效应以及底板影响等因素的同时,提出了结合赌轮盘随机选择和精英保留策略的改进型自适应遗传算法,相对其他遗传算法在求解质量上有明显的优势.它既保留了种群的多样性,又能保留优秀基因,从而在全局能找到更好的解.对比文献[7]中的结果,通过有限元分析计算得出方向图的质量上有明显的优势.

### 参考文献

- [1] Foudazi A, Mallahzadeh A R 2012 *IET Microw. Antennas Propag.* **6** 1583
- [2] Ares-Pena F J, Rodriguez-Gonzalez J A, Villanueva-Lopez E, Rengarajan S R 1999 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **47** 506
- [3] Kurup D G, Himdi M, Rydberg A 2003 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **51** 2210
- [4] Zaman F, Qureshi I M, Munir F, Khan Z U 2014 *Chin. Phys. B* **23** 078402
- [5] Sharaqa A, Dib N 2013 *IET Microw. Antennas Propag.* **7** 452
- [6] Xu J, Li Z L, Chen R S 2014 *Int. J. RF and Microwave CAE* **24** 360
- [7] Pirhadi A, Rahmani M H, Mallahzadeh A 2014 *IET Microw. Antennas Propag.* **8** 549
- [8] Dastranj A, Abiri H, Mallahzadeh A 2013 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **61** 3895



- [9] Zornoza J A, Leberer R, A. Encinar J, Menzel W 2006 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **54** 510
- [10] Johnson J M, Rahmat-Samii Y 1997 *IEEE Antennas Propag. Mag.* **39** 7
- [11] Weile D S, Michielssen E 1997 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **45** 343
- [12] Chang H W, Ma H, Zhang J Q, Zhang Z Y, Xu Z, Wang J F, Qu S B 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 087804 (in Chinese) [常红伟, 马华, 张介秋, 张志远, 徐卓, 王甲富, 屈绍波 2014 物理学报 **63** 087804]
- [13] Mohammed O A, Üler G F 1997 *IEEE Trans. Magn.* **33** 1931
- [14] Lee D, Lee S, Kim J W, Lee C G, Jung S Y 2011 *IEEE Trans. Magn.* **47** 1230
- [15] Jolly L, Jabbar M A, Liu Q H 2005 *IEEE Trans. Magn.* **41** 3928
- [16] Cho D H, Kim J K, Jung H K, Lee C G 2003 *IEEE Trans. Magn.* **39** 1265
- [17] Deb K, Pratap A, Agarwal S, Meyarivan T 2002 *IEEE Trans. Evol. Comput.* **6** 182
- [18] Chen Z G, Wang J G, Wang Y, Qiao H L, Guo W J, Zhang D H 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 168402 (in Chinese) [陈再高, 王建国, 王玥, 乔海亮, 郭伟杰, 张殿辉 2013 物理学报 **62** 168402]
- [19] Zhong H L, Wu F G, Yao L N 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 275 (in Chinese) [钟会林, 吴福根, 姚立宁 2006 物理学报 **55** 275]
- [20] Yan K K, Lu Y L 1997 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **45** 1117
- [21] Haupt R L 2008 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **56** 266
- [22] Son S H, Jeon S I, Kim C J, Hwang W 2010 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **58** 1527
- [23] Shin D H, Kim K B, Kim J G, Park S O 2014 *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.* **13** 738
- [24] Zhao Y, Xu X, Zhao Y, Chu X N 2014 *Comput. Technol. Dev.* **24** 63 (in Chinese) [赵越, 徐鑫, 赵炎, 初雪宁 2014 计算机技术与发展 **24** 63]

# Research on X band extended cosecant squared beam synthesis of micro-strip antenna arrays using genetic algorithm\*

Zhang Jin-Ling<sup>1)</sup> Wan Wen-Gang<sup>1)†</sup> Zheng Zhan-Qi<sup>2)</sup> Gan Xi<sup>1)</sup> Zhu Xing-Yu<sup>1)</sup>

1) (School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

2) (Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

( Received 15 November 2014; revised manuscript received 26 December 2014 )

## Abstract

Synthesis of desired radiation patterns without an optimization algorithm is usually time consuming and inefficient. To achieve a desired radiation pattern such as cosecant squared beam and contoured beam, different evolutionary algorithms such as genetic algorithm (GA), particle swarm optimization algorithm, and invasive weed optimization algorithm have been used to find the excitation of radiation elements. Adaptive genetic algorithm (AGA) optimizer is a robust, stochastic search method, modeled on the principles and concepts of natural selection and evolution. As an optimizer, the powerful heuristic of the AGA is effective for solving complex and related problems. An improved AGA is proposed, in allusion to the characteristics of optimizing designs of antenna arrays which have many parameters and complicated structures. This algorithm constructs an adjustable formula to produce the crossover rate and mutation rate based on a logistic curve equation. In the way of combining roulette wheel selection and elitist strategy, this algorithm searches for the optimal solution in the global space, and is compared with the classical GA; the improved AGA has a better performance in seeking the solution. Taking the mutual coupling between the elements into account, we design the X band extended cosecant squared beam micro-strip antenna arrays based on the improved AGA. Specifications of the antenna are as follows: a  $-3$  dB beam width in height is from  $0^\circ$  to  $12^\circ$ , a  $-10$  dB beam width in height is from  $12^\circ$  to  $65^\circ$ , and a total height coverage is  $65^\circ$ ; a frequency band ranges from 8.5 to 9.8 GHz and its center frequency is 9.05 GHz. Simulation results show that the fitness increases from 0.07 to 0.09, and the quality of the synthesized radiation pattern has a great improvement, which verifies the superiority of the improved AGA proposed in this paper. In addition, the prospect of the designed antenna which has an extended cosecant squared beam is promising in air-surveillance radar systems, where the radiation pattern of the antenna will compensate for the free-space loss.

**Keywords:** adaptive genetic algorithm, extended cosecant squared pattern, X band antenna array

**PACS:** 05.65.+b, 84.40.Ba

**DOI:** 10.7498/aps.64.110504

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 61171051), and the Scientific Research Project of Beijing Municipal Commission of Education and Beijing Natural Science Foundation, China (Grant No. KZ201310028032).

† Corresponding author. E-mail: [wengangwan68@gmail.com](mailto:wengangwan68@gmail.com)