

# 遗传算法在近地加载天线研究中的应用

刘军民 佟鑫 李承斌 郭永山

(大连理工大学电子工程系)

**摘要** 遗传算法以其全局优化和鲁棒性强等特性在电磁学领域得到广泛地应用，尤其在天线设计方面，更显示出独特的优势。本文应用遗传算法对近地加载线天线在给定电流分布时的加载规律进行了分析计算，结果表明，遗传算法可使天线电流分布更趋理想。

**关键词** 加载天线 遗传算法

## 一、引言

加载天线是一种重要的天线形式，其主要特点是：天线上的电流分布为行波，因而具有宽带特性。这种天线被广泛应用于宽带无线通信、电磁脉冲探测等方面。对于对称振子天线，通常采用如下电阻加载方式以获得近似的行波电流分布<sup>[2]</sup>。

$$Z(z) = \frac{Z_0}{1 - |z|/L} \quad (1)$$

式中：L 为振子天线一个臂的长度，z 为沿天线臂的位置坐标，Z<sub>0</sub> 近似为常数(如图 1 所示)。

然而，上述加载只能在无界空间中一定假设条件下近似地实现行波电流分布。没有考虑地面耦合的影响，另外加载必定吸收电磁能量，而使天线的辐射效率降低，而 (1) 式中的加载分布也没有考虑效率。所以，由此得到的天线的性能无法达到更优。

遗传算法 (Genetic Algorithm—GA) 是以自然选择和遗传机制为基础，将生物进化过程中适者生存规则和群体内部染色体的随机信息交换机制相结合的搜索算法。九十年代以来，已有越来越多的学者将 GA 应用于电磁领域的研究，天线综合与优化设计就是其中之一<sup>[3]</sup>。

本文应用 GA 对近地天线加载特性进行了分析，直接以电流分布为优化目标，得到了天线电流更接近行波的且易于实现的加载分布；利用海伦积分方程对所得加载条件下的天线电流分布进行了验证，并与均匀分段加载得到的电流特性作了比较，结果表明，GA 得出的加载分布在使天线的电流更趋近行波的同时，天线的效率也得到了较大的提高。

## 二、近地加载线天线基本理论

设对称振子天线结构如图 1 所示。

线天线分析和计算的一般方法是求解积分方程。为了简化分析和计算，这里采用细线近似的处理方法，即：假设电流集中在天线臂轴线上，电流产生的辐射场在天线表面的切向分量为  $E_t$ ，外加激励场为  $E_i$ ，边界条件为  $E_t + E_i = Z(z)I(z)$ 。

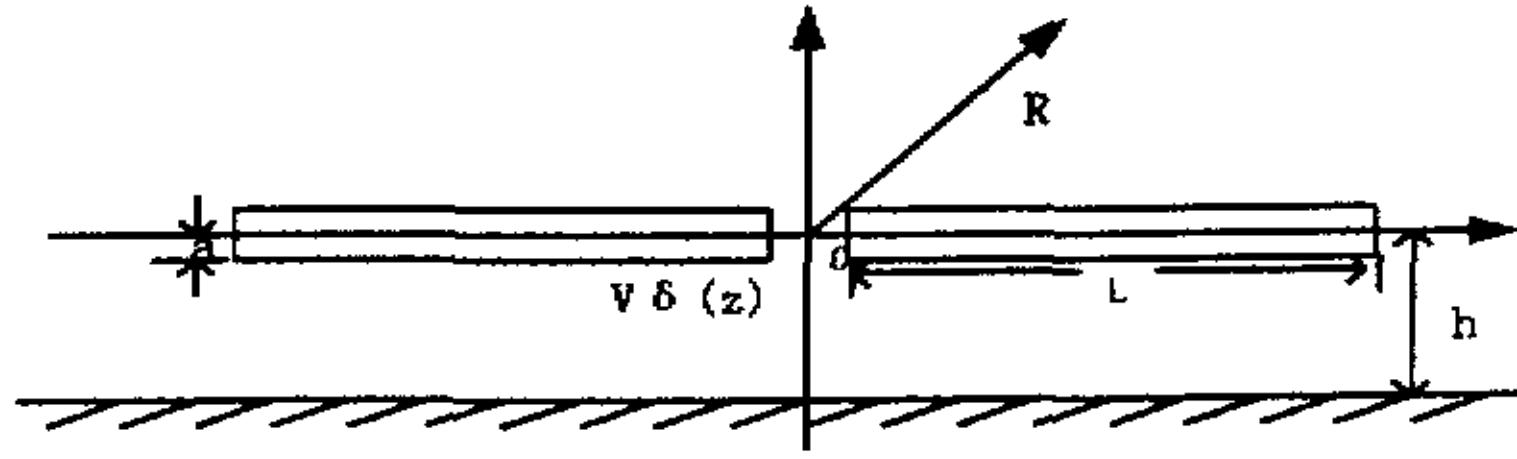


图1 对称振子天线结构图

$$E_z = \int_L^L G(z, z') I(z') dz' \quad (2)$$

其中，

$$\begin{aligned} G(z, z') = & \frac{1}{4\pi\omega\epsilon_0} \left[ \left( \frac{\partial^2}{\partial z^2} + k_0^2 \right) \left( \frac{e^{-jk_0R}}{R} - C \frac{e^{-jk_0R_1}}{R_1} \right) \right. \\ & + \frac{2n^2}{n^2 + 1} \int_0^\infty J_0(\lambda\rho) e^{-\nu_0 d_1} \frac{\nu_0(\nu_0 - \nu_1)\lambda}{n^2\nu_0 + \nu_1} d\lambda \\ & \left. + \frac{2}{n^2 + 1} \int_0^\infty \frac{J_1(\lambda\rho)}{\rho} e^{-\nu_0 d_1} \frac{\lambda^2(\nu_0 - \nu_1)}{\nu_0(n^2\nu_0 + \nu_1)} d\lambda \right] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\rho = |z - z'|, \quad R = \sqrt{\rho^2 + a^2}, \quad R_1 = \sqrt{\rho^2 + d_1^2}, \quad d_1 = 2h$$

于是得电流分布的积分方程

$$E_z + \int_L^L G(z, z') I(z') dz' = Z'(z) I(z) \quad (4)$$

采用分段脉冲基函数和点匹配法将上式离散化为，

$$-E_m' = \sum_{n=1}^N I_n G_{mn} - Z_m' I_m \quad (m=1, 2, \dots, N) \quad (5)$$

其中

$$G_{mn} = \int_{z_m-h/2}^{z_m+h/2} G(z_m, z') dz'$$

### 三、遗传算法在近地加载天线分析中的应用

选择、交叉和变异是 GA 的三个基本算子。经选择、交叉、变异操作后形成的新一代群体将再次经受评估函数的考验，如此重复进行下去，直至产生满足环境约束条件的优质个体为止<sup>[3]</sup>。

根据 GA 的特点，我们直接从天线行波电流分布出发进行分段优化加载，即：给定电

流分布特性，通过 GA 求出各段的加载值。行波电流分布式为，

$$I(z) = C(L - |z|) e^{-\mu_0 |z|} \quad (6)$$

其中，C 是与激励源有关的常数。设振子天线臂被等分为 N 段，不考虑各段之间的耦合，每一段上的电流和阻抗都满足式 (5)。以天线的分段加载值为变量，各段上的电流由式 (6) 给出，目标函数如式 (7) 所示。另外，为了减小反射，我们限定阻抗分布从天线中心向末段按递增的规律进行。

$$f = \eta + k / f_1 = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N R(z_k) |I(z_k)|^2}{VI(0)} + k / \sum_{m=1}^N \left| \left( \sum_{n=1}^N I_n G_{mn} - Z_m I_m \right) + E_m \right| \quad (7)$$

设初始种群的大小为 Pop-size，每一段加载阻抗的二进制编码由 perchrom 位来表示，对于 N 段加载，则染色体的长度设为 (perchrom × N)。具体过程如下：

(1) 各段加载阻值的初始化：随机产生二维数组(Pop-size) × (perchrom × N)，得到各段加载阻值的二进制编码。

(2) 选择：本算法采用赌轮选择法。这是一种正比选择策略，能够根据与目标函数值成比例的概率选出新的种群。具体的说，就是首先计算群体中所有个体目标函数值的总和( $\Sigma f$ )，再计算每个个体的目标函数值所占的比例( $f_i / \Sigma f$ )，并以此作为相应的选择概率。目标函数值最优的加载阻抗个体在新的种群中将得到优化，使种群的加载阻抗分布向使天线的电流分布呈行波分布的方向发展。另外，为了避免遗传操作在较早的代中被一些超级染色体霸占或在较晚的代中种群集中在一起，染色体的竞争能力减弱等现象，在选择前采用了指数定标。

(3) 交叉：本算法采用单点交叉，即首先根据交叉概率选择出可能产生交叉的一对染色体，然后在配对个体中随机设定交叉点，配对个体彼此交换交叉点前后的信息，得到新的种群。交叉得到的新的种群将降低加载阻抗停留在局部最优解上的机会，扩充搜索空间。

(4) 变异：根据变异概率使染色体中的某一位由 0 变 1，或由 1 变 0。变异可以提供初始种群中不含有的基因，或找回选择过程中丢失的基因，使加载阻抗在取值范围内不会停留在局部最优解上。

#### 四、实例与结论

设半波振子天线的中心工作频率  $f_c=300\text{MHz}$ ,  $h=0.01\text{m}$ ,  $2L/a=150$ 。采用纯阻加载，初始种群 popsize=10，单变量染色体长度为 perchrom=14， $N=8$ ，交叉概率  $p_c=0.95$ ，变异概率  $p_m=0.1$ ，则染色体长度为 perchrom × N+N+1=121，即每条染色体由 121 个变量组成。经过 201 代的遗传迭代，得到的最优加载分布如图 2 所示：

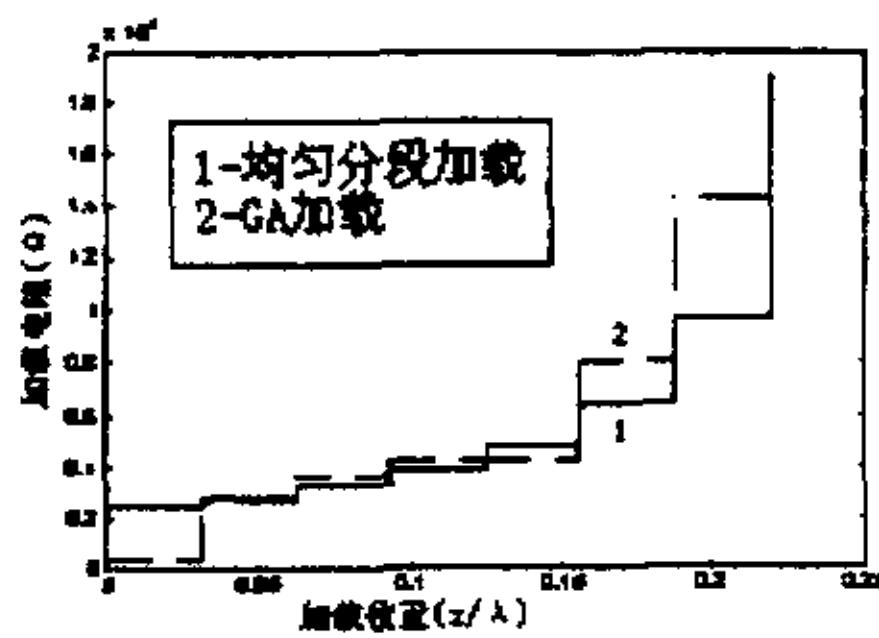


图2 纯阻加载分布图

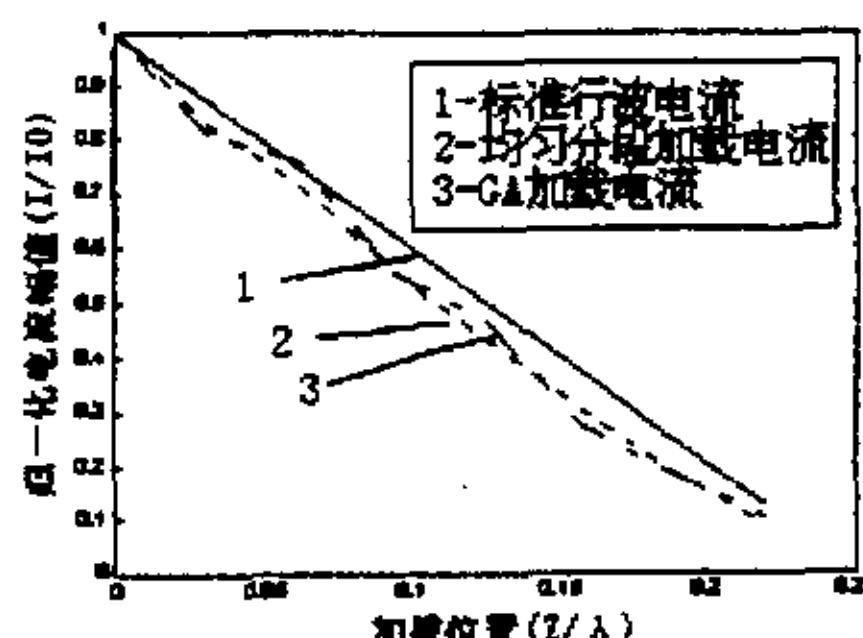


图3 不同加载的电流与标准行波的比较

如前所述。对天线加载的目的是使天线臂上的电流为行波分布，从而达到宽带特性。为了验证本文方法的有效性，我们利用波克灵顿积分方程对图2两种加载情况下的天线电流分布进行计算，结果如图3所示。

由图3可以看出遗传加载较均匀分段加载得到的电流分布更接近于标准的行波特性，而且经过计算得到，式(1)的加载分布得到的效率为0.4320，而由GA设计的加载得到的效率为0.5741，效率得到较大地提高。以上分析表明，GA用于加载线天线优化设计，可以得到更加满意的天线的性能。

#### 参考文献：

- [1] 谢处方：《近代天线理论》，成都电讯工程学院出版社
- [2] 王元坤、李玉权：《线天线的宽频带技术》，西安电子科技大学出版社，1995
- [3][日]玄光男、程润伟：《遗传算法与工程设计》，科学出版社，2000
- [4] Edward E. Altshuler and Derek S. Linden, "Wire-Antenna Designs Using Genetic Algorithms", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol.39, No.2, April 1997
- [5] Alona Boag and Amir Boag, "Design of Electrically Loaded Wire Antennas Using Genetic Algorithms", IEEE Trans. AP, Vol.44, No.5, MAY 1996
- [6] D. Marcano, M. Jimenez, F. Duran and O. Chang, "Synthesis Of Antenna Arrays Using Genetic Algorithms", IEEE, MAY 1995

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、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](http://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>