

# 基于 HFSS-MATLAB-API 的天线布局优化仿真<sup>①</sup>

章耀文, 陈少昌

(海军工程大学 电子工程学院, 武汉 430000)

**摘要:** 随着用于车载平台的天线数量日益增多, 汽车的电磁兼容问题日益严重. 针对天线布局缺少统一合理模型和理论方法指导的现状, 利用 HFSS-Matlab-Api 脚本库在 Matlab 中调用 HFSS 建模进行天线布局的电磁兼容性仿真, 采用遗传算法对布局进行优化. 此方法省去人为数学模型推导过程, 减少用户反复绘制模型、修改参数的重复工作. 不仅充分利用 HFSS 仿真的高精度、可靠性和便捷性, 而且采用遗传算法减少盲目的试探带来的时间和成本的浪费. 最后, 得到与理论相符合的实验结果, 从而验证了布局与优化方法的可行性.

**关键词:** 天线布局; 遗传算法; 优化仿真

## System Simulation and Optimization of Antenna Layout Based on HFSS-MATLAB-API

ZHANG Yao-Wen, CHEN Shao-Chang

(School of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430000, China)

**Abstract:** With the increase of the number of antennas applied in the mobile platform, the electromagnetic compatibility problems of cars are becoming more and more serious. According to current situation of antenna layout lacking reasonable model and theoretical method, Matlab is used to control HFSS to generate different models for simulating and optimizing electromagnetic compatibility of the antenna layout by HFSS-Matlab-Api Script library. Using genetic algorithm to optimize layout. This approach can save mathematical model derivation process and reduce the work users repeatedly draw model and modify parameters of duplication. This approach can make full use of the simulation precision, reliability and convenience of HFSS, and using genetic algorithm to reduce the time and cost of blind test. In the end, the experimental results are consistent with the theory, thus verifying the feasibility of layout and optimization method.

**Key words:** antenna layout; genetic algorithm; simulate and optimize

随着汽车工业的发展, 对汽车安全性、舒适性和功能性的要求不断提高, 各种各样的广播, 无线通信, 卫星和雷达系统等设备被运用在汽车上, 伴随这些设备而来的是大量车载天线的广泛使用<sup>[1]</sup>. 天线的电磁特性不仅受安装位置附近金属车体的影响, 而且在有限的空间内如此密集的安装多部天线必然会导致天线之间的干扰, 进一步影响其使用性能, 严重时甚至使设备不同协调工作, 对行车安全造成威胁<sup>[2]</sup>. 因此, 对天线进行合理布局与优化十分必要.

为保证车载的各种电子系统具有良好的工作状态, 必须进行天线布局和良好的电磁兼容性<sup>[3]</sup>. 所谓天线

布局设计是指不改变天线发射和接收性能的前提下, 根据天线的工作特性通过合理布局来降低天线间的干扰. 国内外以往的天线布局缺少统一合理模型和理论方法指导的现状, 一般都通过人为推导数学模型, 通过简化模型, 忽略或简单考虑周围环境的影响来建立模型, 并且多是采用试探的方法<sup>[4]</sup>, 往往试验了很多种方案后仍不能找到一个很好的方案, 不仅导致白白浪费时间, 还增加实验测试的成本.

HFSS 是 Ansoft 公司推出的三维电磁仿真软件, 目前已被 ANSYS 公司收购, 是世界上第一个商业化的三维结构电磁场仿真软件, 业界公认的三维电磁场设

<sup>①</sup> 收稿时间:2014-11-20;收到修改稿时间:2015-01-12

计和分析的工业标准<sup>[5]</sup>。正是由于 HFSS 其无与伦比的仿真精度和可靠性、快捷的仿真速度、方便易用的操作界面, 稳定成熟的自适应网格剖分技术, HFSS 被许多工程师广泛应用与天线, 传导、谐振腔、滤波器等领域的仿真设计。

近年来将优化算法应用于天线布局问题中<sup>[6]</sup>, 遗传算法具有很好的全局搜索性, 在搜索过程中能以很大的概率找到整体最优解, 非常适用于大规模并行计算<sup>[7]</sup>。

## 1 基于HFSS-MATLAB-API的天线布局优化

使用 HFSS 对仿真模型计算, 很好的解决引言中提到缺少合理统一数学模型的问题, 用户只要使用 HFSS 建立复杂模型, 模块化对象, 设置好参数, 软件就能自动求解, 省去用户自己用数学公式推导数学模型的过程。但想要对天线布局优化, 就需要大量绘制模型和修改天线坐标等重复性工作。

使用 HFSS 为开发者提供的脚本功能实现设计流程的个性化、在线分析、智能化的数据输入与输出等。同时, 使用 Matlab 来编写脚本语言, 不但可以省掉用户自己反复绘制模型的工作, 也可以实现天线布局的自动优化。

该方法通过使用 HFSS-Matlab-API 脚本库来联合调用 HFSS 与 Matlab 的来对天线布局的电磁兼容性进行仿真设计。只要使用 Matlab 语言编写好在 HFSS 中需要仿真的模型, 就可以在 Matlab 中调用模型在 HFSS 中生成 3D 模型, 求解并输出数据<sup>[8]</sup>。

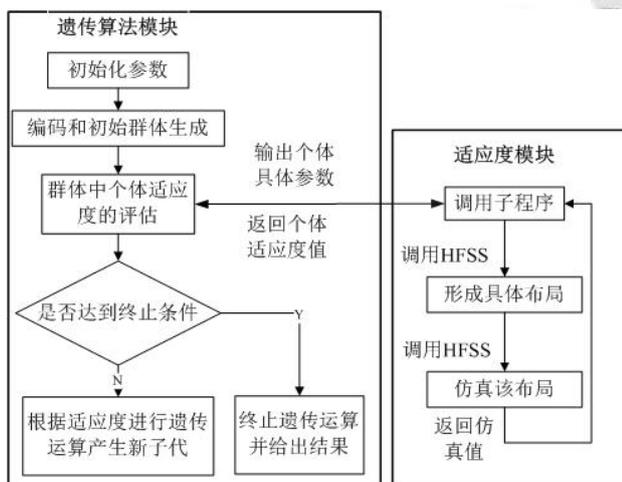


图 1 系统总体框图

遗传算法具有思想简单、易于实现、应用效果明显等优点, 故本方法采用遗传算法对天线布局进行优化设计。根据个体适应度评估函数评估得到的个体适应度不断进行遗传操作产生新个体, 直到满足终止条件为止; HFSS 则作为个体适应度评估函数, 对遗传算法所产生的每个个体进行仿真计算, 并将每个个体的仿真结果转换为适应度值, 然后返回给遗传算法。这两者之间是个如图 1 的循环嵌套关系。

## 2 构造遗传算法

在对天线布局优化时主要考虑耦合度、方向图、近场辐射三个主要因素。这三个主要参数都是越小越好, 但一般车辆装载的天线功率不会很高, 由此近场危害相对较少, 并且可通过加强车体屏蔽或使用滤波的方式来减少, 所以不进行重点讨论<sup>[9]</sup>。耦合度作为天线电磁兼容性能的重要因素, 其又与天线位置的关系最密切, 是研究的重点。同时, 耦合度较小时会使得方向图畸变相应的减少, 因此进行天线布局优化选用的优化目标是天线间的耦合度<sup>[10]</sup>。

### 2.1 确定决策变量和约束条件

$$\text{即 } x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}.$$

约束条件二: 天线两两之间的距离大于  $\lambda/2\pi$ 。

$$\text{即 } a = [x_1 \ y_1; x_2 \ y_2; \dots; x_i \ y_i];$$

$$b = \text{dist}(a, a'); \text{all}((b :)) > \lambda / 2 * \pi;$$

在编写遗传算法时, 对于约束条件二的处理, 主要是在适应值设置的时候, 将不满足条件二个体的适应值设置一个哑适应值。

### 2.2 建立优化模型

布局优化属于多目标的约束优化问题在有限的空间内, 拉大一对天线之间的距离来降低耦合度, 势必会引起其他天线之间的耦合度的变换, 而布局优化的目的是让天线两两之间的耦合度达到一个最佳的结果。对于多目标遗传算法, 本文采用权重系数变化法<sup>[11]</sup>。

将每个子目标函数  $f(x_i)(i=1, 2, \dots, n)$ , 赋予权重  $\omega_i(i=1, 2, \dots, n)$ , 其中  $\omega_i$  为相应的  $f(x_i)$  在天线布局中的敏感度和重要程度所决定的, 则各个子目标函数  $u = \sum_{i=1}^n f(x_i)$  的线性加权和表示为:

$$u = \sum f(x_i) \cdot \omega_i$$

将  $u$  作为多目标优化的评价函数, 来利用遗传算法求解. 本文将  $\omega_j$  设置为 1, 可以根据天线的重要性和敏感度酌情增加.

### 2.3 确定编码方法和解码方法

进行编码工作就是讲变量转换成二进制串. 串的长度取决于所要求的精度, 变量  $x_i$  的区间是  $[a_i, b_i]$ , 要求精度是小数点后  $n$  位, 二进制串位数为  $m_i$ , 用一下公式计算:

$$2^{m_i-1} < (b_i - a_i) \times 10^n \leq 2^{m_i} - 1$$

### 2.4 确定个体评价方法

将目标函数值转为适应度, 本文直接将适应度等于目标函数. 将不满足条件二的个体的适应度直接设为一个很大的值, 这样就不会遗传给下一代, 从而更好的保留优秀个体.

### 2.5 设计遗传算子和确定遗传算法的运行参数

选择运算使用轮盘选择算子, 交叉运算使用单点交叉算子. 设计种群大小和遗传代数, 设计终止条件为遗传代数.

## 3 仿真及验证

在  $600\text{mm} \times 180\text{mm}$  的长方体平面使用遗传算法对两根天线进行布局优化, 结果如图 2.

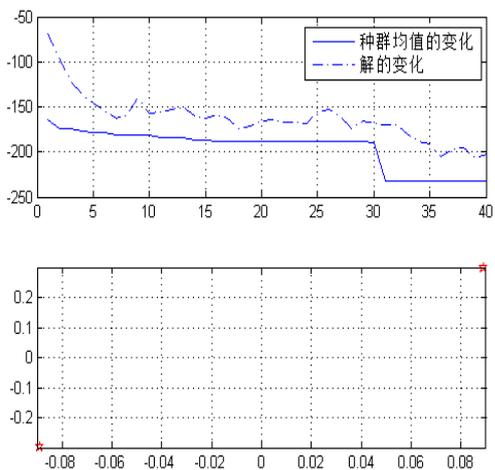


图 2 两根天线平面布局结果

“☆”为最终天线布置位置, 天线之间总耦合随着天线坐标的改变最后得到最小值, 此时坐标为  $(-0.089, -0.299)$  与  $(0.089, 0.299)$ . 根据耦合度与坐标位置的关系, 两天线之间的距离越大, 则他们之间的耦合最小. 在长方形上显然两对角的距离最远, 由此可见此优化方

法的正确性. 并且在遗传到 31 代时, 遗传算法就开始收敛, 也说明了遗传算法运用于天线布局的优越性.

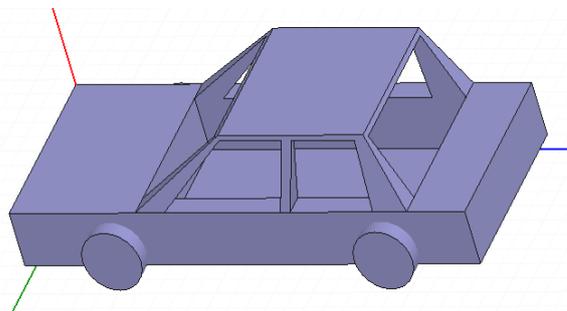


图 3 简化的汽车模型

车子的结构非常精细, 作为电磁仿真来说, 车灯、后视镜、排气管等一些细小的不见的建模非常复杂, 但对于天线的仿真结果影响并不大, 类似这样的部件都可以不在电磁仿真模型中体现, 还有细小的链接出的细缝和洞孔, 也可以简化掉<sup>[12]</sup>. 另外车体有很多曲面结构, 曲面结构在建模中非常难处理的, 会增加对于天线布局不必要的仿真时间. 最后将简化车载平台得到图 3.

车子全长为  $4700\text{mm}$ ; 宽为  $1800\text{mm}$ ; 车顶高  $700\text{mm}$ ; 在前车盖中央  $(900, 650)$  放置一根天线, 在后车盖中央  $(900, 4400)$  放置一根天线. 对范围为  $150\text{mm} \leq x \leq 1650\text{mm}$  和  $2300\text{mm} \leq y \leq 3800\text{mm}$  的车顶盖处放置的两个天线进行布局优化. 最后得到结果如图 4.

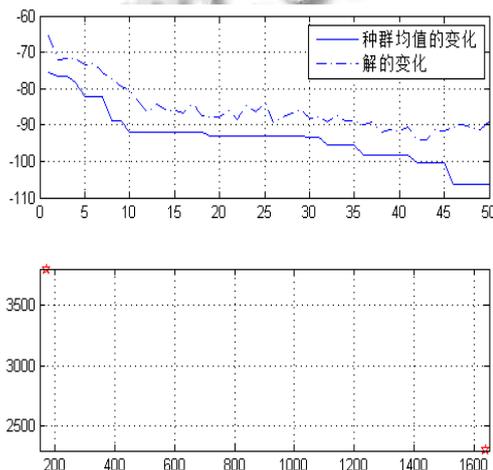


图 4 车载平台布局结果

得到两天线的坐标为  $(152, 3800)$  与  $(1648.6, 2301.8)$ ; 在 46 代时遗传算法就开始收敛. 两根天线仍然分布在车顶的对角处.

在 1800mm\*4700mm 的平面上进行四根天线布局仿真的仿真, 在(900,650)和(900,4400)分别放置固定一根天线, 对两根自由的布局进行优化. 天线范围为  $150\text{mm} \leq x \leq 1650\text{mm}$  和  $2300\text{mm} \leq y \leq 3800\text{mm}$ , 得到结果如图 5.

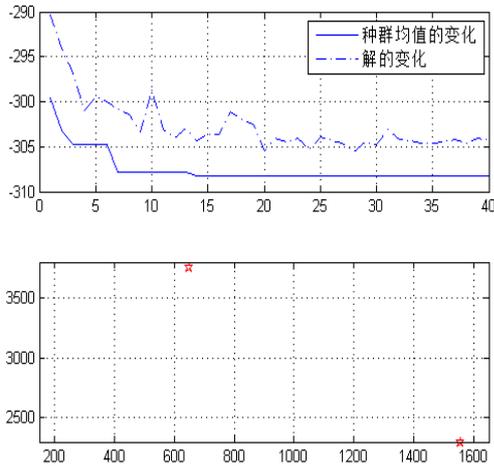


图 5 四根天线平面布局结果

得到结果仍然成对角之势, 由于前后两根天线的影 响, 并未到达矩形定点. 坐标为 (670,3800), (1570,2300).

#### 4 结语

通过简单平面内的仿真结果, 可见该天线布局优化方法的可行性. 对比在同范围内平面与车体天线布局得到的不同仿真结果, 可见车体对于天线布局存在影响. 同时, 天线之间的位置关系不仅是高度差, 还有平台姿态和复杂车体的影响, 很难建立统一的合理数学模型, 基于 HFSS-MATLAB-API 的天线布局优化方法可以在不用人为推导建立数学模型同时得到优化的

布局结果. 但是这个方法对计算机硬件的要求比较高, 并且随着模型精度和仿真的精度提供, 仿真的耗时变长. 但是随着计算机硬件不断发展, 仿真速度也会不断提高, 布局优化的效率也就会不断提升.

#### 参考文献

- 1 王显文. 机车顶部多天线布局带来的互耦效应研究[学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- 2 丁雪. 基于遗传算法的车载天线布局优化[学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
- 3 路志勇, 宋长宏. 车载系统天线布局及电磁兼容性分析. 微波学报, 2010, S2: 10-12.
- 4 张士博. 车载天线布局优化[学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
- 5 谢拥军, 刘莹. HFSS 原理与工程应用. 北京: 科学出版社, 2009.
- 6 毛煜茹. 机车车顶天线布局优化的研究[学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- 7 王显文, 沙斐. 基于遗传算法的车载天线布局优化. 铁路计算机应用, 2011, 10: 29-31, 34.
- 8 曲恒. 使用 HFSS-MATLAB-API 设计天线的研究[学位论文]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2012.
- 9 丁雪. 车顶天线布局的电磁兼容设计. 电子质量, 2007, 6: 84-86.
- 10 王辉兵, 关丹丹. 天线布局优化仿真研究. 电子测试, 2009, 10: 10-13, 20.
- 11 雷英杰, 张善文. MATLAB 遗传算法工具箱及应用. 第 2 版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2014.
- 12 马晓雷. 车载天线电磁特性的仿真研究[学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2007.