

文章编号 1005-0388(2008)02-0284-04

一种新型超宽带端射微带天线的自动设计*

陈 星[☆] 陈 错

(四川大学电子信息学院, xingc@263.net, 四川 成都 610064)

摘要 采用遗传算法和时域有限差分算法(FDTD),结合并行计算技术成功地构建了一套天线自动设计软件系统:“天基”天线自动设计系统。运用该天线自动设计软件系统,对一种采用泪滴状偶极振子和平面套筒结构的微带天线进行了超宽带和高端射增益的自动设计。根据设计结果制作了实际天线并进行了测试,测试结果表明该天线具有良好的超宽带性能, $S_{11} < -10$ dB 的频带超过了 2.5 倍频程(1.3~3.4 GHz),在此工作频带中,天线辐射为端射,最大端射增益达到了 9.2 dBi。

关键词 微带天线; 自动设计; 超宽带; 遗传算法; 并行计算

中图分类号 TN82 **文献标志码** A

Automated design of a novel UWB and end-fire microstrip antenna

CHEN Xing CHEN Kai

(College of Electronics and Information Engineering

Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China)

Abstract Automated antenna design has already become the latest trend of modern antenna design. A automated antenna design software, namely Tian Ji, which is based on the Genetic Algorithm (GA) and the FDTD (Finite-Difference Time-Domain) in conjunction with the parallel computation technique, is developed in this paper. The software was employed to automated design for a microstrip antenna with a teardrop dipole and a plane sleeve structure for achieving UWB (Ultra Wideband) and high end-fire gain properties. According to the design result, a prototype was fabricated and tested. The measurement results show the designed antenna possesses quite promising properties, its $S_{11} < -10$ impedance bandwidth surpasses 2.5:1 (from 1.3 GHz to 3.4 GHz) and its maximum end-fire gain is up to 9.2 dBi.

Key words microstrip antenna; automated design; UWB; genetic algorithm; parallel computation

1 引言

传统的天线设计方法或者基于对理想或简化天线模型的理论分析,或者依据已有的工程经验公式进行参数设计。设计本身非常依赖设计者的知识和经验,很难做到最优设计。现代科技的发展,对高性能天线的需求越来越大,对天线设计也提出许多特

殊的难题,传统天线设计手段的缺陷日益暴露。计算机科学和现代优化算法的进步为天线设计开辟了一条新的道路,即天线自动设计。

天线自动设计采用数值方法对天线性能进行数值仿真,利用遗传算法和神经网络等现代优化算法实现对天线结构的计算机辅助设计。已有研究^[1~6]表明,天线自动设计不但节省设计者大量的时间和

* 收稿日期: 2007-02-03.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(NO. 10476013)

☆E-mail: xingc@263.net

284

精力,同时能拓宽天线设计范围,提高设计精度。

目前,天线自动设计已成为现代天线研究的新方向。例如:美国国家航空和宇宙航行局(NASA)成立了天线自动设计小组(Evolvable Systems Group),该小组采用天线自动设计技术研制的多类新型天线,已实际用于Odyssey火星探测飞船和“ST5”系列空间探测器^[6]上。

通过多年的研究工作,我们采用遗传算法、FDTD 算法和矩量法等数值算法,结合并行计算技术,成功地构建了一套天线自动设计软件系统:“天基”天线自动设计软件系统^[1,2]。本文简要地介绍“天基”天线自动设计软件系统的原理和设计流程。采用此软件系统,对一种具有泪滴状偶极振子和平面套筒结构的微带天线进行了自动优化设计,设计目标是使该天线同时具备超宽带特性和较高端射增益。

2 “天基”天线自动设计软件系统

2.1 遗传算法

“适者生存”是大自然生物进化的一个普遍规律。遗传算法借鉴了生物进化的一些基本特征,采用选择、交叉、变异三个算子来模拟生物进化过程中的生存竞争、配对繁殖和基因变异三种现象。通过反复的迭代和优化过程,使所要解决的问题从初始解一步步地逼近最优解。由于遗传算法的搜索不依赖于梯度信息和能全局寻优,非常适用于天线设计这类复杂和非线性问题。

2.2 并行计算

天线自动设计需要大量计算,单台微机难以提供足够强大的计算能力,采用并行计算技术是大幅度地提高设计效率、缩短耗费时间的可行途径。

在并行计算领域进行了长期研究工作,先后研制了三代 Beowulf 型并行计算机系统。目前的“元谋-III”并行机系统(图 1)由 16 台配置酷睿双核 CPU 和 2G DDR2 内存的微机通过星形拓朴结构的 1000M 高速以太网构建而成,采用 MPI(Message-Passing-interface)作为系统的并行管理和并行程序开发平台。

2.3 天线自动设计流程

天线自动设计的基本原理是将天线设计转化为遗传算法的搜索寻优过程,主要包括以下步骤:

1)首先将对天线设计要求转化为一个适应度函数,用适应度函数值的大小来定量天线性能的优劣,并引导遗传算法的优化方向。

2)将天线结构参数编码为遗传算法个体。

3)遗传算法随机产生初始种群,包含若干个体,每个个体代表一种天线结构。

4)采用 FDTD 等数值计算程序计算天线辐射性能,得到每个个体的适应度函数值。

5)遗传算法通过选择、交叉、突变等操作产生新一代个体,新一代个体具有比上一代更高的适应度函数值,即天线的性能得到了优化。

6)重复以上步骤,迭代若干代后,将得到的最优个体作为天线设计的最佳结果。



图 1 “元谋-III”并行机系统

从以上步骤可以看出,在自动设计过程中,天线结构的优化依靠数值模拟和遗传算法完成。与传统天线设计方式相比,对设计者的经验依赖小,具有更大灵活性和适用范围。

2.4 “天基”天线自动设计软件系统简介

“天基”天线自动设计软件系统采用时域有限差分算法或矩量法(MoM)对天线结构进行数值模拟,利用遗传算法(GA)对天线结构进行优化,结合并行计算缩短计算时间和提高自动设计效率。该软件系统采用 Fortran 90 编程,代码总长度约为 10000 余句,包括天线数值计算、并行计算管理、遗传算法操作等多个功能模块,已成功对多类复杂和新型天线实现自动设计。

3 新型超宽带端射微带天线自动设计

该微带天线的结构如图 2 所示。该天线为一类印刷偶极振子天线,其工作原理是,基板底部截断的

接地面形成一个反射面,为天线提供一种端射特性;

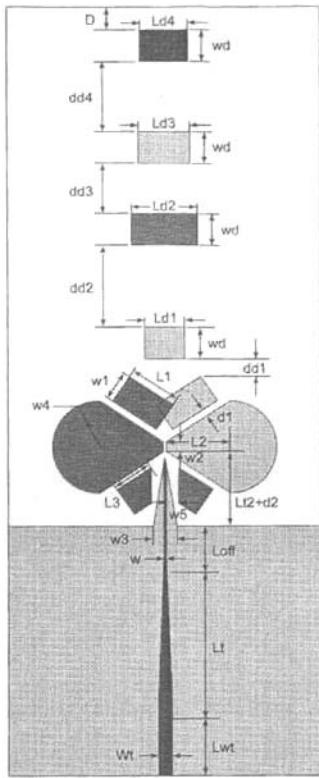


图 2 超宽带端射微带天线结构

同时为了扩展天线带宽,设计了泪滴状印刷振子并在振子两侧附加了平面套筒;在振子的前端,交错放置了四个引向单元,进一步提高天线的端射特性及增益。图 2 给出了天线的结构参数,“天基”天线自动设计软件系统对二十余个结构参数进行优化设计。

自动设计中,遗传算法的适应度函数定义为:

$$\text{Fitness} = C_1 * \text{Bandwidth} + C_2 * \text{AvGain} + C_3 * \text{MinGain} \quad (1)$$

式中, Bandwidth 为 $S_{11} < -10$ dB 的天线工作频带宽度; AvGain 为天线在工作频带中的平均端射增益; MinGain 为天线在工作频带中的最小端射增益。

加工制作的天线照片如图 3 所示。

三个加权因子 C_1 、 C_2 和 C_3 的取值分别为 0.18, 0.03, 0.035, 加权因子取值的大小根据优化目标设置,反映了优化的侧重方向。优化过程中同时兼顾了天线带宽和端射增益两个目标,但更侧重于带宽目标。

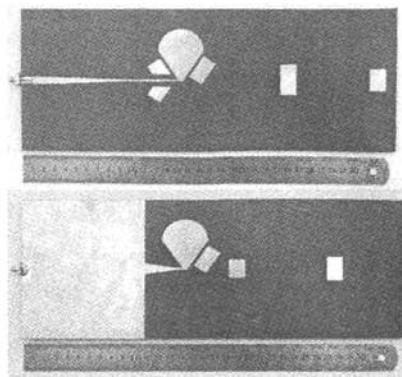


图 3 制作的天线照片

自动设计得到的天线结构参数分别为:

$D=10$ mm, $L1=22.5$ mm, $L2=27$ mm, $L3=20$ mm, $Ld1=17$ mm, $Ld2=28$ mm, $Ld3=22$ mm, $Ld4=20$ mm, $Loff=14$ mm, $Lt=64$ mm, $Lwt=31$ mm, $Lt2=28$ mm, $Wt=6$ mm, $d1=4.5$ mm, $d2=5$ mm, $dd1=19$ mm, $dd2=36$ mm, $dd3=22$ mm, $dd4=31$ mm, $w=1$ mm, $w1=13$ mm, $w2=4$ mm, $w3=10$ mm, $w4=20$ mm, $w5=5.5$ mm, $wd=14$ mm。

图 4 给出了 FDTD 数值仿真和测试得到的 S_{11} 曲线。从图可以看到,该天线的 $S_{11} < -10$ dB 的工作频带从 1.3~3.4 GHz, 带宽达到了 2.6 倍频程,远超过了传统印刷偶极子天线。

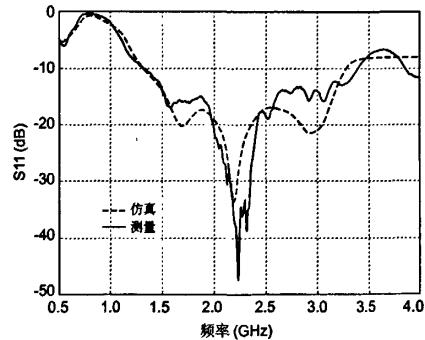


图 4 天线的 S_{11} 曲线

图 5 给出了该天线在工作频带内的端射增益,最大增益达到了 9.2 dBi。

图 6 给出了该天线 E 面和 H 面的辐射特性图,其中图 6(a)图是天线工作在 1.5 GHz 的辐射方向图,图 6(b)是工作在 2.5 GHz 的辐射方向图。

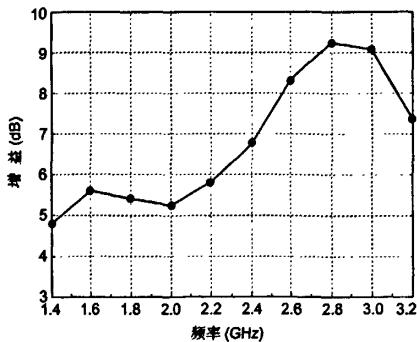
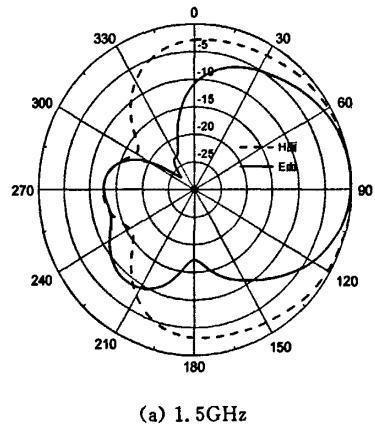
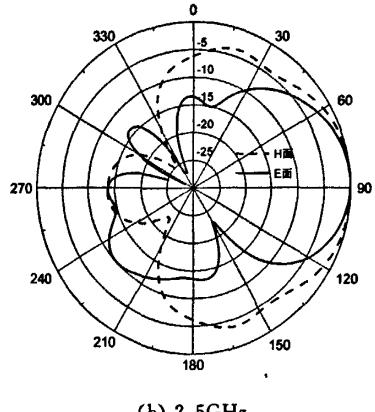


图5 天线增益曲线



(a) 1.5GHz



(b) 2.5GHz

图6 天线辐射方向图

4 结论

采用遗传算法,结合并行计算技术建立了一套天线自动设计平台——“天基”天线自动设计软件

系统。本文采用“天基”天线自动设计软件系统对一类新型超宽带端射微带天线进行了自动设计。根据自动设计结果制作了实际天线并进行了性能测试,测试结果表明该天线具有非常宽的工作频带(1.3~3.4 GHz)和较高的端射增益,达到了设计目标。

参考文献

- [1] 陈 星,黄卡玛. NEC 和非堵塞式主从并行遗传算法应用于天线自动设计的研究[J]. 电子学报, 2004, 32(8): 1389-1392.
- [2] Chen Xing and Huang Kama. Automated design of a three-dimensional fishbone antenna using parallel genetic algorithm and NEC [J]. IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., 2005, 4(8): 425-428.
- [3] D E Goldberg. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning[M]. New York: Addison-Wesley, 1989.
- [4] D S Linden. Automated Design and Optimization of WireAntennas using Genetic Algorithms [D]. Ph. D. Thesis, MIT, Sep. 1997.
- [5] 纪奕才,刘其中. 混合遗传算法优化设计宽带加载螺旋天线[J]. 电波科学学报, 2005, 20(2): 260-264.
- [6] Ji Y C, Liu Q Z. Design of broadband loaded helical antennas using a hybrid genetic algorithm[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2005, 20(2): 260-264.
- [7] J D Lohn, W F Kraus, D S Linden, et al.. Evolutionary optimization of a quadrifilar helical antenna[J]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2002, 3(16-21): 814-817.
- [8] John D Kraus and Ronald J Marhefka. Antennas: For All Applications, Third Edition[M]. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2002.



陈 星 (1970—), 男, 四川人, 四川大学电子信息学院应用电磁研究所教授, 博士, 研究方向: 微波理论, 电磁场数值计算和微波工程。



陈 锐 (1982—), 男, 重庆人, 四川大学电子信息学院电磁场与微波技术专业, 研究生。研究方向: 电磁场数值计算, 天线设计。

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)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)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)，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>