

# 一种微带栅格天线的优化设计

陈 锴<sup>1</sup> 陈 星<sup>2</sup>

(1.中国电子科技集团第十研究所, 四川 成都 610036; 2.四川大学电子信息学院, 四川 成都 610064)

**摘 要:** 设计了一种微带栅格天线,该天线是由若干微带辐射单元和传输线单元组成的微带阵列天线,可以直接 50Ω同轴线馈电。天线工作中心频率 2.45GHz,为实现阻抗匹配以及高增益特性,采用并行遗传算法和数值算法对微带栅格天线结构进行了优化设计。根据设计结果加工制作了原型天线并进行了测试,测试结果表明该微带栅格天线的增益达到了 18.3dBi。

**关键词:** 微带栅格天线; 优化设计; 并行遗传算法

## A Microstrip Grid Array Antenna Optimized by a Parallel Genetic Algorithm

Chen Kai<sup>1</sup> Chen Xing<sup>2</sup>

(1. Southwest China Institute of Electronic Technology, Sichuan, Chengdu 610036;  
2. College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Sichuan, Chengdu 610036)

**Abstract:** A microstrip grid array antenna is presented. This antenna is a microstrip array composed of a number of microstrip radiators and microstrip transmission lines, and that it can be directly fed from a 50Ω coaxial line without an impedance transformer. For achieving a high gain and impedance match at its working frequency of 2.45GHz, its structural parameters were optimized making use of a parallel Genetic Algorithm (PGA) in conjunction with computational method on a cluster system. A prototype antenna was fabricated and test. Results of the measurement show the designed microstrip grid array antenna measures a gain of 18.3dBi with good impedance match..

**Key words:** Microstrip grid array antenna; Optimized design; parallel genetic algorithm

### 1 引言

栅格天线是一种由栅格单元组阵形成的天线, John.Kraus 于二十世纪六十年代首次提出这类新结构天线。栅格天线具有结构简单, 低剖面, 馈电方便等特点, 同时具有高增益、波束集中、低副瓣、线极化等辐射特性<sup>[1]</sup>。传统栅格天线的基本形式如图 1 所示, 采用金属杆制作矩形栅格单元, 每个矩形单元的尺寸取值为长一个波长, 宽二分之一波长 ( $\lambda \times \lambda/2$ )。金属接地面与栅格单元阵列平行, 接地面与栅格单元之间距离大约是四分之一波长, 同轴馈线穿过接地面对栅格单元网络中心馈电。图中栅格阵列上的箭头方向代表电流流向, 栅格单元阵列所有短边上电流相位都保持一致, 为主要辐射单元。

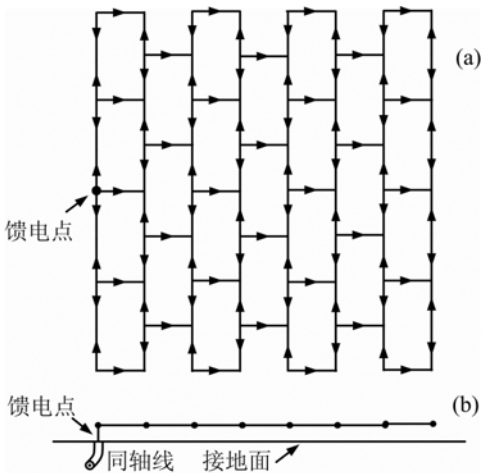


图 1 栅格天线基本结构

随着天线技术的发展, 栅格天线的研究不断展

开。微带线的出现，替代了传统金属杆栅格，微带栅格结构随即出现，同时研究者针对栅格天线的辐射特性、网格形式、馈电方式以及天线数值计算等方面进行了相关分析研究<sup>[2-4]</sup>。

本文将对一种微带结构的栅格天线进行优化设计，天线工作中心频率 2.45GHz，实现天线的高增益辐射特性。

## 2 微带栅格天线结构

微带栅格天线示意图如图 2 所示，图中深色区域是金属层，浅色区域为介质基板，介质基板采用介电常数  $\varepsilon_r = 2.65$ ，厚度  $h1 = 1\text{mm}$  的聚四氟乙烯材料。

栅格阵列由矩形微带单元组阵构成，微带单元分别有  $X$  方面和  $Y$  方面两种微带线， $X$  方面微带线尺寸为  $W_x \sim L_x$ ， $Y$  方面微带线尺寸为  $W_y \sim L_y$ ，根据栅格天线的辐射原理，电流在栅格的  $X$  方面的单元上电流相位一致，因此微带栅格天线的主要辐射单元沿  $X$  轴方向放置的微带线单元，共有 13 个单元，每个其余沿  $Y$  轴方向微带线单元可看作传输线，同时起到传输能量和阻抗匹配的作用。因此  $X$  方面的微带线相对  $Y$  方面的微带线较宽，可以看作是单元的微带贴片天线，而  $Y$  方面的微带线是微带传输线和馈电网络的作用，保证了每个微带贴片单元正常工作。

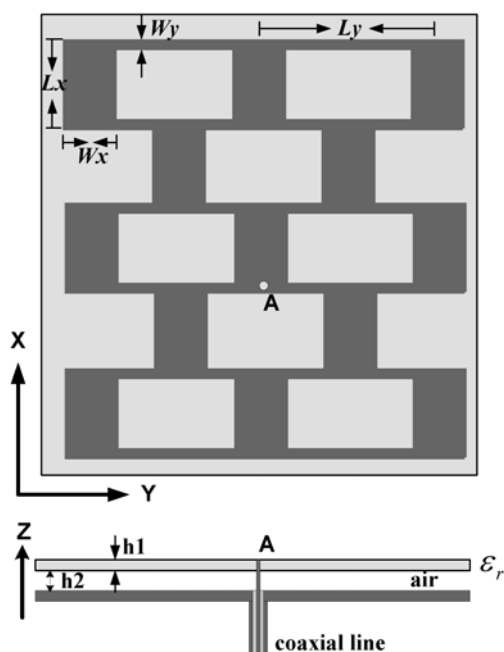


图 2 微带栅格天线结构参数

微带栅格阵列与反射面之间的空气层厚度为  $h2$ ，通过调节空气层的厚度，可以改变天线的远场辐射特性。 $h2$  在初始设置中，一般设为四分之一波长。天线采用特征阻抗 50 欧姆的同轴线直接对天线馈电，同轴线内导体穿过金属接地面、空气层及介质层，直接与基板上的金属层接触，外导体和金属接地面连接。天线的馈电点选在微带栅格单元的中心 A 点。

## 3 微带栅格天线优化设计

微带栅格天线中， $X$  方面微带辐射单元的参数  $W_x$ 、 $L_x$  决定了天线的工作频段； $Y$  方面微带线的宽度  $W_y$  代表了微带传输线的特征阻抗，而同轴线特征阻抗为 50 欧姆，他们之间的阻抗是否匹配决定了天线的带宽特性；同时空气层的厚度  $h2$  影响天线的辐射特性。因此为了得到良好的带宽特性以及高增益，需要对上述微带栅格天线的参数进行优化设置。

遗传算法作为一种随机的、非线性的优化算法，已经广泛应用到各类天线设计中<sup>[6]</sup>。采用遗传算法结合数值算法对 13 个栅格单元的微带栅格天线结构实施了优化设计，同时为节约设计时间，利用并行计算机系统进行操作。天线的工作中心频率根据需要选取在 2.45GHz，分别对  $W_x$ ， $L_x$ ， $W_y$ ， $L_y$ ， $h2$  等参数进行优化。

优化设计中，适应度函数的定义如下：

$$Fitness = C_1 \times Gain - C_2 \times S_{11} \quad (1)$$

其中， $Fitness$  是适应度函数值， $Gain$  和  $S_{11}$  分别代表天线在谐振频率下的辐射增益以及端口处的反射系数。 $C_1$ ， $C_2$  两个加权因子的取值分别为 0.03 和 0.02，代表优化同时兼顾了增益和匹配特性。

通过自动优化，最后得到性能优良的天线参数，根据优化结果，我们制作了实际的微带栅格天线，如图 3 所示：

如图所示，采用四个优化设计得到的微带栅格天线单元组成平面阵列，天线底部采用一整块的金属接地面，接地面与微带栅格单元之间用聚四氟乙烯圆柱固定，保证两者间距一致。接地面开有四个通孔，四根 50 欧姆同轴线内导体穿过接地面的通孔，分别对四个栅格天线单元进行馈电。

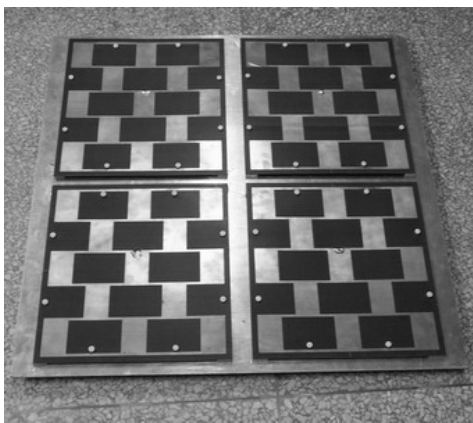


图3 四个栅格天线阵列照片

## 4 天线仿真和测试结果分析

天线加工完成后,对其主要电性能进行了测试。输入端的反射系数由矢量网络分析仪测得,而辐射方向图和增益在微波暗室通过天线测试系统测得。下面对仿真结果和实际测量的数据进行对比分析。

图4是单个微带栅格天线输入端仿真和测量反射系数曲线,其中虚线是仿真得到的天线反射系数曲线,实线是测量得到的反射系数曲线,两条曲线基本相近, $S_{11} < -10\text{dB}$ 的带宽为4.5%(2390MHz~2500MHz)。天线体现了良好的匹配特性,带内最大 $S_{11}$ 达到-15dB,同时也满足天线中心频率工作在2.45GHz的设计目标。

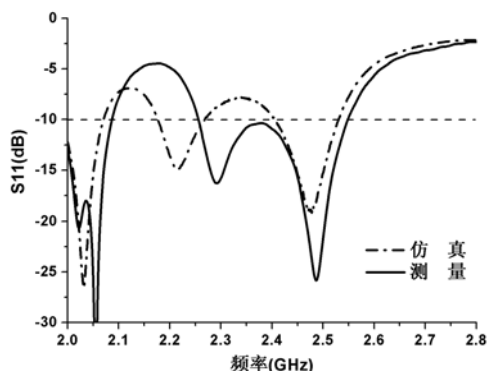


图4 天线仿真和测试 $S_{11}$ 曲线

图5是单个栅格天线在频率为2.45GHz时仿真辐射方向图和测试辐射方向图的对比,其中图1-5(a)是XZ平面,图5(b)是YZ平面。图中虚线代表辐射方向仿真值,实线代表测试值。可以清楚地看到,实测方向图和仿真方向图主瓣吻合良好,且方向图对称性较好。天线3dB波束宽度为 $25^\circ$ ,前后

比达到了40dB。采用标准天线测试计算得到天线的增益为18.3dBi,体现了天线高增益性能。本文采用13个辐射单元所获增益高于文献<sup>[5]</sup>中25个辐射单元金属杆状栅格天线的增益18.1dBi,无疑具有更高的辐射效率。

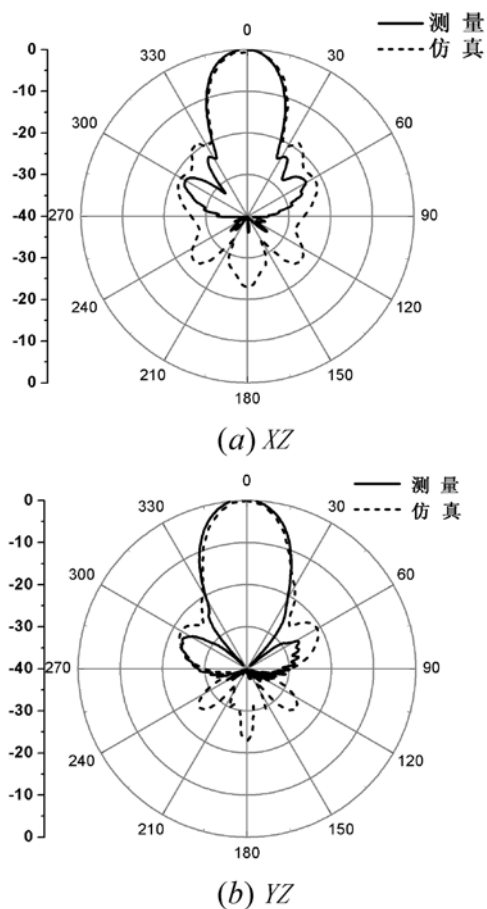


图5 天线辐射方向图

## 5 小结

本章节主要针对一种微带栅格天线进行了优化设计。根据优化设计得到的结果加工制作了实际的微带栅格天线,并对天线的带宽和增益进行了测量。测量结果表明,天线工作中心频率2.45GHz,匹配良好,带宽达到4.5%,同时天线2.45GHz频点处3dB主瓣宽度为 $25^\circ$ ,增益达到了18.3dBi,高于传统栅格天线25个单元的增益,实现了高增益特性。

## 参 考 文 献

- [1] J. D. Kraus, A backward angle-fire array antenna [J], IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-12, 48-50, 1964
- [2] R. Conti, J. Toth, T. Dowling, and J. Weiss, The wire grid microstrip antenna [J], IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-29, 157-166, 1981
- [3] H. Nakano, I. Oshima, H. Mimaki, K. Hirose, and J. Yamauchi, Center fed grid array antennas [J], IEEE AP-S Int. Symp., 2010-2013, 1995
- [4] H. Nakano, I. Oshima, H. Mimaki, K. Hirose, and J. Yamauchi, Numerical analysis of a grid array antenna [C], Proc. of ICCS'94, Singapore, 700-704, 1994
- [5] Hisamatsu Nakano, Toru Kawano, Yousuke Kozono, and Junji Yamauchi. A Fast MoM Calculation Technique Using Sinusoidal Basis and Testing Functions for a Wire on a Dielectric Substrate and Its Application to Meander Loop and Grid Array Antennas [J], IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 53, No. 10, Oct. 2005
- [6] D.S. Linden, Automated design and optimization of wire antennas using genetic algorithms [D], PhD Thesis, MIT, 1997.

作者简介:

陈锴, 男, 重庆人, 中国电子科技集团第十研究所, 助理工程师。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](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,一直致力和专注于微波、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>