

基于微带阵列的天线设计与仿真

朱 辉, 刘经银

(华南理工大学电子与信息学院, 广东 广州 510641)

摘要:研究天线优化问题,为了达到高增益性能,采用天线阵列方法所设计的天线增益在达到一定范围后无法做进一步的提高,带宽偏窄,且占用相当的大小体积。针对上述问题,设计了一款工作于ISM频段的平面微带阵列天线。天线采用的是底边馈电方法对阵元贴片进行馈电,增加天线辐射面积,从而提高天线的增益并减小了天线大小。通过HFSS电磁仿真软件对天线进行仿真与优化,可以得到天线的高增益,并且具有良好的带宽范围。对仿真结果分析可得天线的带宽,增益及方向图性能均要优于传统的微带阵列天线,空间利用率也高于传统馈电天线,达到优化天线的效果。

关键词:微带天线;天线阵;并联馈电;底边馈电

中图分类号:TP391 文献标识码:A

Design and Simulation of Antenna Based on Microstrip Array

ZHU Hui, LIU Jing-yin

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology,
Guangzhou Guangdong 510641, China)

ABSTRACT: In order to reach the high gain performance, we generally use the array antenna. But the traditional array antenna cannot get a higher gain after optimization and the bandwidth is narrow and the size is too large. This paper presents the design of an ISM microstrip antenna array to resolve those problems. The elements of the array antenna are fed by hemline feed method to increase the radiation area so that the gain is higher and the size is smaller. And then we simulate and optimize the antenna with electromagnetic simulation software. The gain and the bandwidth are good. Analysis to the simulation results shows that the bandwidth, the bandwidth, the gain, the radiation pattern and the space utilization are better than the traditional microstrip antenna array.

KEYWORDS: Microstrip antenna; Array antenna; Shunt-fed network; Hemline-fed

1 引言

微带天线兴起于二十世纪七十年代,目前已广泛应用于各种通信系统中^[1]。由于单个微带天线单元的增益只有6-8dB,为了达到更高的增益,一般是将多个微带天线单元进行组阵^[2],从而达到高增益性能,这也是目前较成熟的研究方法。但是增益在达到一定大小后,就很难进一步作提升且带宽偏窄。

在先前的研究中,学者们对提高天线增益及工作带宽方面作了大量的工作,尤其是在天线馈电方面。比较经典的有微带直接馈电、微带插入式馈电^[3]、微带贴片线型组阵等。在微带插入馈电方式中^[5],天线阵通过对四个天线单元串行进行组阵,微带天线单元通过调整馈线插入深度来得达到最佳的阻抗匹配,使反射功率最小,输入功率最大,从而达到增

大整个天线的增益天线^[5]。该方法所设计的天线增益能达到13dB,但是带宽过窄,只有2%。在微带贴片线型组阵中,天线阵由四个微带贴片单元及并联馈电网络组成^[6]。该方法使得天线阵的带宽能达到3.9%,但是由于并馈网络本身的损耗,天线增益仅有12.4dB,且空间利用率也很低。

由于先前研究工作只集中于对天线的阻抗匹配及组阵方式,并没有实质性的增加天线的辐射强度,所以很难同时获得良好的带宽范围和增益性能^[9]。本文通过底边馈电方式,不将馈电点放在辐射边,从而实质性的增大了单元贴片的辐射面积,达到提高天线增益的目的,同时不影响天线的带宽范围,各性能指标达到一个适当的均衡。

2 微带天线阵设计

2.1 天线单元设计原理

由于微带天线阵是由多个矩形贴片单元组成,因此,对矩形单元的准确设计对整个天线阵的性能有着直接的影响。

基金项目:国家科技重大专项(2009ZX03006-003);广东省科技重大专项(2009A080207006;2009A080207002)

收稿日期:2010-03-26 修回日期:2010-06-04

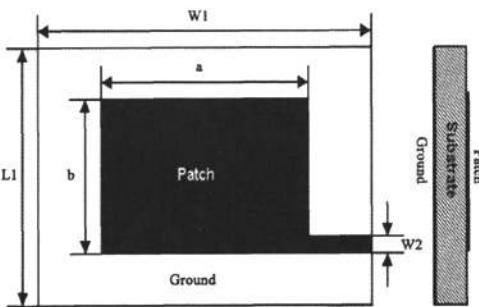


图1 贴片单元示意图

矩形贴片天线结构图如图1所示。贴片尺寸为 $a \times b$ 。介质基片厚度为 h , ($h \ll \lambda_0, \lambda_0$ 为自由空间波长)。微带贴片可看作为宽 a 长 b 的一段微带传输线, 其终端 a 边处因为呈现为开路, 将形成电压波腹。一般取 $b \approx \lambda_0/2$ 。于是 a 边的另一端也将呈现电压波腹, 使得辐射最强。

贴片天线的辐射由贴片四周与接地板间的窄缝隙形成。通过文献[2]对贴片四周的等效磁流分析可知, 两条 b 边的磁流反对称分布, 因而在 E 面上各处的场也消失, 而两条 a 边上的磁流是同相相加, 辐射增强。因此矩形微带贴片天线的辐射主要由沿两条 a 边的缝隙产生, 这两边也称为辐射边。

由于传统的天线在对贴片进行馈电时是选在辐射边 a , 以利于天线的简单设计及阻抗匹配调节。但这样却使得馈线与贴片辐射边接触, 减小了辐射面, 导致辐射强度减小, 进而影响增益大小。传统的优化方法也局限于改变馈电点的位置, 并没有增加天线的辐射面。

本文区别于传统馈电方法中并没有增加天线单元辐射面的缺点, 采用底边馈电方式来对单元进行馈电的, 在 b 边底边缘对贴片进行馈电。由于靠近天线的辐射边馈电, 因此不影响对贴片的馈电效果。而两条辐射边由于没有与馈线接触, 可以完全辐射, 辐射面变大, 辐射强度增加, 增益提高, 从而达到在保证天线带宽范围的条件下完成对增益的提高。

2.2 天线单元的建模与仿真

在天线设计中, 选择介质板材料为相对介电常用数 $\epsilon_r = 2.2$, 厚度 $h = 1.6\text{mm}$ 来进行设计。为了使天线阵馈电网络设计简单, 在设计中将贴片天线与 100Ω 的馈线进行匹配, 根据式(1)可以得出馈线宽度为 $W2 = 1.42\text{mm}$, 再由式(2)得到有效介电常数 $\epsilon_e = 1.76$ 。

单元矩形贴片的尺寸 a, b 可由经验式(3)(4)(5)初步得到^[4]。为了使天线的带宽, 增益, 方向图等性能达到最佳, 对天线的尺寸进行优化后得到的数据如表(1)所示(单位: mm)。

$$\left\{ \begin{aligned} Z_c &= \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{w}{h} + 0.883 + 0.165 \frac{\epsilon_r - 1}{\pi \epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{w}{h} + 1.88 \right) + 0.758 \right] \right]^{-1}, \frac{w}{h} > 2 \\ Z_c &= \frac{120}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left[\ln \frac{8h}{w} + \frac{1}{32} \left(\frac{w}{h} \right)^2 - \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.2258 + \frac{0.1208}{\epsilon_r} \right) \right], \frac{w}{h} \leq \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$a = \frac{c}{2f \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (3)$$

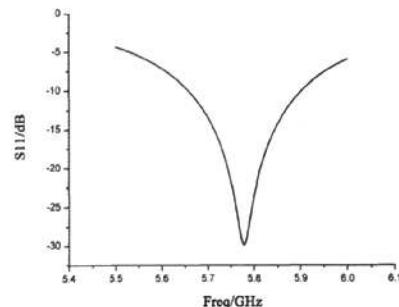
$$b = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (4)$$

$$\Delta l = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3)(\frac{a}{h} + 0.264)}{(\epsilon_e - 0.258)(\frac{a}{h} + 0.8)} \quad (5)$$

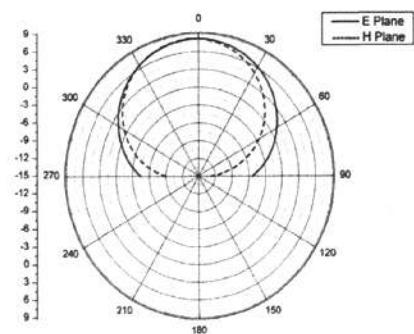
表1 贴片单元结构参数

ϵ_r	h	a	b	$L1$	$W1$	$W2$
2.2	1.6	23.4	15.7	33.23	40.88	1.42

天线单元的仿真结果如图2所示, 其中图2(a)为贴片单元的回波损耗图, 图2(b)为天线的远场方向图。从图中可以看出, 天线的谐振频率在5.780GHz, 回波损耗小于-10dB, 也即驻波比小于2的带宽达到了245MHz, 包含了整个5.8GHz附近的ISM频段。整个单元天线的性能良好, 从而验证了天线单元设计的正确性。



(a) 贴片单元回波损耗图



(b) 贴片单元二维远场图

图2 贴片单元仿真结果

2.3 天线阵设计与仿真

微带贴片天线阵有很多不同的馈电方式,而并联馈电具有其它馈电方式没有的优点:设计比较简单,各辐射元的激励振幅和相位要求可以通过馈电网络的设计来实现。当馈线等长时,波束指向与频率无关,所以频带主要取决于阻抗匹配的频带,比较容易实现宽频带。所以本设计中采用的是并联馈电方法。并联馈电网络首先使用一级功分器对两个天线阵元进行馈电,之后再用二级功分器对四个天线阵元进行馈电,使各阵元的馈电点等幅同相,从而使各个贴片单元的辐射强度相同,保证天线辐射的方向性。天线阵结构示意图如图3所示。

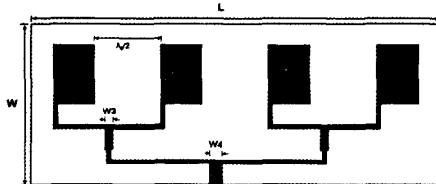


图3 底边馈电天线阵结构示意图

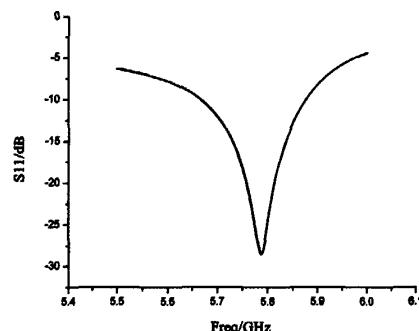
为了使天线阵辐射有较小的副瓣,又能获得尽可能大的方向性,各阵元间距设定为 $\lambda_0/2$ 。馈电网络中各段宽度,根据式(1)可分别求得: $W2 = 1.42\text{mm}$, $W3 = 2.82\text{mm}$, $W4 = 4.92\text{mm}$, 它们分别对应为 100Ω , 70.7Ω , 50Ω 。通过 HFSS 电磁仿真软件对天线阵进行仿真优化,为达到天线阵最优性能,其单元尺寸较组阵前略有变化,其中 $a = 24.5\text{mm}$, $b = 16.0\text{mm}$ 。天线阵尺寸为 $W \times L = 159\text{mm} \times 66\text{mm}$ 。

天线阵的仿真结果如图4所示。其中图4(a)为天线阵的回波损耗图,图4(b)为天线的远场方向图。从图中可以看出天线谐振频率为 5.787GHz ;回波损耗小于 -10dB ,也即驻波比小于 2 的带宽范围 220MHz 。天线中心频率点增益为 14.1dB 。

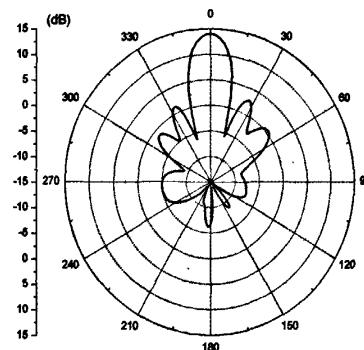
3 结果分析与比较

通过对传统的阵元辐射边中间馈电天线阵进行相关分析,由于阵元采用的馈电方式不同,阵元摆放方式也将不同,使得底边馈电天线阵与传统馈电天线阵的大小尺寸有所不同。其中底边馈电天线阵为 $159\text{mm} \times 66\text{mm}$,传统馈电天线阵尺寸为 $193\text{mm} \times 58\text{mm}$,由此可见底边馈电天线阵的空间利用率要高于中间馈电天线阵。

对传统馈电天线阵仿真可知,其带宽为 225MHz ,增益为 13.1dB 。比较可以发现,底边馈电天线阵的带宽与传统馈电天线阵相近,都是 3.8% 。而由于底边馈电天线阵的馈电点不在辐射边,馈线与辐射边没有接触,使得底边馈电天线阵的辐射面大于传统馈电天线阵,导致其辐射强度高于传统馈电天线阵,从而有了更高的增益,也验证了通过增加辐射面来提高天线增益的方法正确性。通过图5对两天线阵增益性能的比较,可以发现底边馈电天线阵较传统馈电天线阵高



(a) 底边馈电天线阵回波损耗图



(b) 底边馈电天线阵二维远场方向图

图4 底边馈电天线阵仿真结果图

1 dB。

在与文献[3]中的阵元插入式馈电及微带线型天线阵比较亦可知,底边馈电天线阵的带宽范围高于插入式馈电天线阵的 2% ,与微带线型天线阵的 3.9% 相近,增益则完全高于二者。

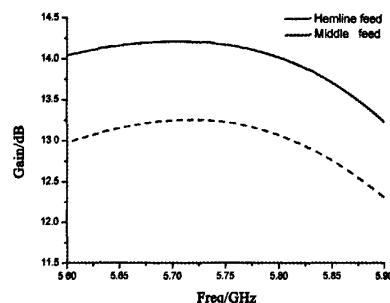


图5 天线阵增益比较示意图

4 结论

为了达到天线高增益性能,一般采用对多个天线单元进行组阵,增强辐射。

(下转第 262 页)

目标遮挡下的有效跟踪。

参考文献：

- [1] H T Nguyen, A W M Smeulders. Fast Occluded object tracking by a robust appearance filter[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2004, 26(8):1099-1104.
- [2] 杨伟,费耀平,李敏. 基于色斑联合推举的被遮挡运动目标跟踪[J]. *计算机工程*, 2009, 35(4):190-192.
- [3] A Adam, E Rivlin, I Shimshoni. Robust Fragments-based Tracking using the Integral Histogram [C]. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2006. 798-805.
- [4] D Cremers, T Kohlberger, C Schnorr. Non-linear shape statistics in mumford-shah based segmentation [C]. *European Conference on Computer Vision*, 2002. 93-108.
- [5] 侯志强,韩崇昭. 视觉跟踪技术综述[J]. *自动化学报*, 2006, 32 (4):603-617.
- [6] 吕维,冯燕,李西风,吕嘉凯. 一种基于运动轮廓的目标跟踪方法[J]. *计算机仿真*, 2009, 26(12):172-17.
- [7] 李正周,刘国金. 基于均值偏移和卡尔曼波的目标跟踪方法[J]. *弹箭与制导学报*, 2008, 28(1):71-74.
- [8] 王欣,王德隽. 离散信号的滤波[M]. 北京:电子工业出版社, 2002. 59-72.
- [9] B K P Horn, B G Schunck. Determining Optical Flow[J]. *Artificial Intelligence*, 1981, 17:185-203.
- [10] T Brox, A Bruhn, N Papenberg, J Weickert. High accuracy optical flow estimation based on a theory for warping[C]. *European Conference on Computer Vision*, 2004. 25-36.



【作者简介】

赵林(1986-),男(汉族),陕西省西安市人,硕士研究生,主要研究领域为运动目标检测与跟踪;

冯燕(1963-),女(汉族),陕西省西安市人,教授,博士生导师,主要研究领域为高光谱数据分析、目标检测与跟踪、数据压缩等;

吕维(1984-),女(汉族),陕西省西安市人,硕士,主要研究领域为机器视觉、模式识别。

(上接第 150 页)

本文在天线阵列的基础上通过阵元底边馈电方法,使得天线阵的辐射面得到实质性的增大,进一步提高了天线阵增益。通过 HFSS 电磁仿真软件对所设计天线进行仿真。将仿真结果进行比较,天线带宽范围、增益性能及方向图等性能指标均优于传统馈电天线阵,尤其是天线增益性能得到了一个很大的提高。由此验证了该款天线设计的合理性。由于该款天线的高增益及低副瓣性,且带宽范围包含整个 5.8G 附近的 ISM 频段,因此可以应用于无线传感网和个人局域网等无线通信系统的基站天线。

参考文献：

- [1] 克劳斯,等. 天线[M]. 北京:电子工业出版社, 2008.
- [2] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1991.
- [3] 蓝桥龙,樊勇,张永鸿,张显静. 毫米波微带谐振式串馈贴片线型阵列的仿真与实验研究[C]. 2005 全国微波毫米波会议论文集, 2005.
- [4] 刘敏,冯子睿,孙凤林,吴群. Ka 波段 4×4 圆锥共形微带天线阵列设计[C]. 2007 年全国微波毫米波会议论文集, 2007.
- [5] 李春阳,张兴周,刘维巍. 双平板天线的微带天线阵设计[J]. *黑龙江科技学院学报*, 2009-9, 19(5):373-376.

- [6] 鲁飞,冯全源. 5.8GHz RFID 标签用共面波导蝶形缝隙天线的设计[J]. *数据采集与处理*, 2008, 23(B09):123-126.
- [7] 张海磊,刘玉杰. 低副瓣双波束微带阵列天线[J]. *遥测与遥控*, 2009, 30(6):25-30.
- [8] 陈丰,郭陈江. 宽角度扫描反射面天线辐射特性[J]. *计算机仿真*, 2009-2, 26(2): 50-52.
- [9] 李艳茹,王刚. 一种新型套筒天线宽频特性的 HFSS 仿真分析[J]. *计算机仿真*, 2009-7. 134-137.
- [10] K Phaeuba, C Phongcharoenpanich, Torrungrueng D Chinrungrueng. A compact antenna for server node of wireless sensor network [C]. AP-S 2008. IEEE, 2008. 1-4.
- [11] M T Islam and N Misran. Optimization of microstrip patch antenna using Particle swarm optimization with curve fitting[M]. ICEEI'09 International Conference on Electrical Engineering and Informatics, 2009. 711-714.



【作者简介】

朱辉(1959-),男(汉族),上海人,华南理工大学讲师,研究方向为无线通信与信息处理;

刘经银(1985-),男(汉族),江西赣州人,华南理工大学通信与信息系统专业硕士研究生,主要研究方向为无线传感网络及天线应用。

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>