

文章编号：1672-2892(2009)04-0274-04

## 一种 UHF 频段 RFID 阅读器天线的小型化设计

于东海，孙仁杰，曾瑞峰

(东南大学 毫米波国家重点实验室，江苏 南京 210096)

**摘要：**采用 1/4 波长微带贴片以缩小天线面积，利用商业软件 Ansoft HFSS10.0 进行设计仿真和优化，成功研制了一款可用于 UHF 频段(915 MHz)RFID 读写器的小型化微带天线。经过实际测试，天线在工作频段内性能优良，驻波比  $VSWR < 2$  时阻抗带宽达到 30 MHz。贴片天线的尺寸与性能完全满足手持 RFID 阅读器的需求。

**关键词：**无线射频识别技术；微带天线；小型化；1/4 波长贴片

中图分类号：TN821<sup>+4</sup>

文献标识码：A

### Miniaturization of microstrip antenna for UHF RFID system

YU Dong-hai, SUN Ren-jie, ZENG Rui-feng

(State Key Laboratory of Millimeter Wave, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

**Abstract:** This project researched and developed a novel miniaturized antenna which could be applied to Ultra-High Frequency(UHF) Radio Frequency Identification(RFID) system. The author employed a quarter-wavelength microstrip patch to shrink the antenna size, and applied commercial software Ansoft HFSS 10.0 to design and optimize it. After the actual test, the antenna showed excellent performance in the working band, whose impedance bandwidth was up to 30 MHz when the Voltage Standing Wave Ratio( $VSWR < 2$ ). The size of the antenna is compatible with typical handheld RFID reader and its impedance bandwidth satisfies the requirements for the UHF RFID system.

**Key words:** Radio Frequency Identification(RFID); microstrip antenna; miniaturization; quarter-wavelength elements

随着被动式 UHF 频段 RFID 系统在物流供应链、仓储和零售存储管理中被大量采用，手持式 RFID 阅读器单元的研究与设计变得越发重要。对手持式阅读器单元的主要要求有尺寸小、重量轻、电池寿命长和对于特定的应用有合适的阅读范围。另外，也要考虑到阅读器单元对标签阅读方向性方面的问题<sup>[1-2]</sup>。

被动式 UHF 频段 RFID 系统使用电磁波通过阅读器与标签间的耦合进行通信。图 1 显示了被动式 UHF 频段 RFID 系统。阅读器发射连续波(Continuous Wave, CW)信号给标签来激活标签的芯片，然后向标签发射命令信号，标签通过背向反射其相应的识别码来进行通信。标签芯片没有内部电源，所以其所有需要的能量都来自于阅读器通过天线所发射的电磁波<sup>[3]</sup>。

RFID 阅读器的发展越来越倾向小型化、便携化。UHF 频段的 RFID 系统工作频率在 900 MHz 左右，传统形式的天线对于手持 RFID 系统来说太大，阅读器天线在阅读器的尺寸中占据越来越大的比例。在保持天线性能的前提下，阅读器天线的尺寸缩减难度远远大于阅读器电路，因此天线尺寸的小型化，成为目前 RFID 阅读器天线研究的趋势<sup>[4]</sup>。

UHF 频段 RFID 系统工作对天线主要的要求有：在  $VSWR < 2$  时阻抗带宽的范围约为 902 MHz~928 MHz，有一定的增益，低成本，低剖面，单向辐射。

由于微带天线具有结构简单，易于制造，成本低的优良特性，UHF 频段 RFID 阅读器的天线一般选用微带天线类型。所以本文主要基于微带天线来研究 UHF 频段 RFID 阅读器的天线的小型化。

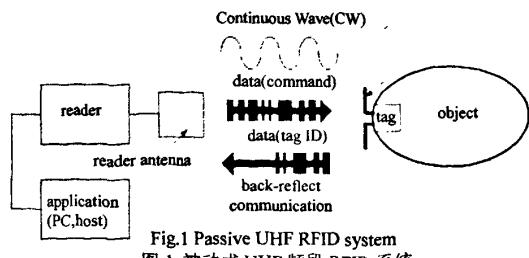


Fig.1 Passive UHF RFID system  
图 1 被动式 UHF 频段 RFID 系统

## 1 射频识别阅读器天线小型化设计

### 1.1 微带贴片天线

下面通过经典的微带天线设计理论,简单分析矩形微带天线的工作原理。微带贴片天线是由一层或多层厚度远小于波长(大约十几分之一波长)的介质层和覆盖其上下两面的金属接地板以及辐射元(尺寸可以和波长相比拟)构成。辐射元形状多种多样,常见的如方形、矩形、圆形等。矩形微带天线的形状如图2(a)所示,假设电场沿贴片宽度与介质板厚度方向没有变化,仅沿贴片的长度(约二分之一波长)方向变化,则辐射基本上是由贴片的两开路端缝隙产生,此时矩形微带天线可看成是相距二分之一波长同相激励并向地板以上半空间辐射的二元缝隙阵列,辐射场如图2(b)所示<sup>[4]</sup>。

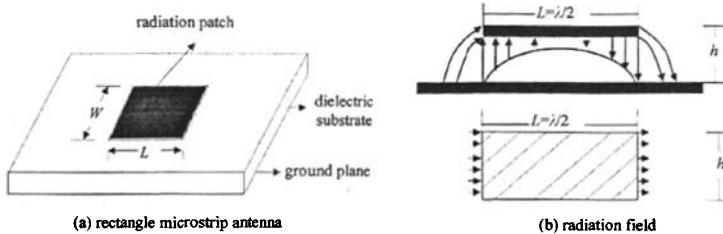


Fig.2 Rectangle microstrip antenna and its radiation field

图 2 矩形微带天线及辐射场

对于有较高效率的辐射器,当介质基片厚度为  $h$ ,天线工作频率为  $f_r$ ,相对介电常数为  $\epsilon_r$ 时,根据文献[5]中公式,可以得到其实用宽度及谐振单元长度。假设选用介电常数  $\epsilon_r$  为 2.5,厚度  $h=5$  mm,可以得到该微带天线的尺寸宽  $W$  至少约为 101 mm,长  $L$  约为 124 mm,再加上基板的沿伸长度,大约增加 20%<sup>[5]</sup>,所以得到的尺寸约为 120 mm×150 mm,占用了较大的面积,很不利于阅读器天线的集成。用高介电常数材料的贴片天线可能是最明显的削减贴片导体尺寸的方法。其主要制约是减小了带宽及效率。使用高介电常数材料的成本也是一个限制因素,尽管近来已有一些低成本的高介电常数陶瓷材料可使成本控制在一定范围内。但是使用这些材料的高损耗因数会明显降低印制天线的辐射性能。以下给出一种有效减小微带贴片天线尺寸的方法<sup>[6]</sup>,进行设计并给出实验结果。

### 1.2 1/4 波长贴片天线

根据以上对微带天线原理的分析,工作于主模的矩形微带天线其内场分布在  $L/2$  处,该处为电场的零点,在该处将上贴片与地导通不影响内场分布,然后将其中的一半舍去即构成 1/4 波长贴片天线,一种用于削减贴片天线尺寸的技术。它的一条辐射边在一个贴片天线与接地面的短路平面上中断了。类似于偶极子线天线和单极子线天线之间的关系,短路平面起着镜像的作用,有效地使贴片导体尺寸<sup>[7-8]</sup>减半。

折中贴片的尺寸和所需要的带宽、辐射效率等因素,选择合适的板材,适当提高介质的介电常数以削减贴片导体尺寸,采用FR4 基板,相对介电常数 4.5,损耗角正切值为 0.0026,板厚 5 mm,铜膜厚度为 0.05 mm。天线结构如图3所示,辐射贴片长度  $L$  大约是介质波长的 1/4,即  $L \approx \lambda_r/4$ ,  $\lambda_r$  为介质波长,经过 HFSS(High Frequency Structure Simulator)的仿真分析,使谐振点达到 915 MHz,选择贴片长度  $L=46.1$  mm,辐射贴片宽度  $W=36.6$  mm,基板的尺寸如图3所示。可以看到在这个贴片天线的上方设置一条金属壁,达到一条辐射边在一个贴片天线与接地面的短路平面上中断,减小了金属贴片的尺寸。采用同轴馈电,同轴馈电的馈电点位于天线靠近金属壁一侧,适当地选择馈电点的位置,馈电点的尺寸如图3所示,使天线的输入阻抗达到  $50 \Omega$ 。

## 2 天线测试及结果分析

在软件 HFSS 中对天线进行仿真与优化,得到图4~图6所示的辐射方向图、史密斯阻抗圆图和回波损耗。

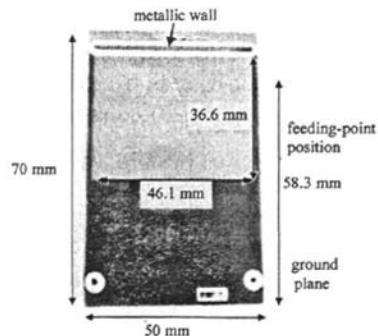
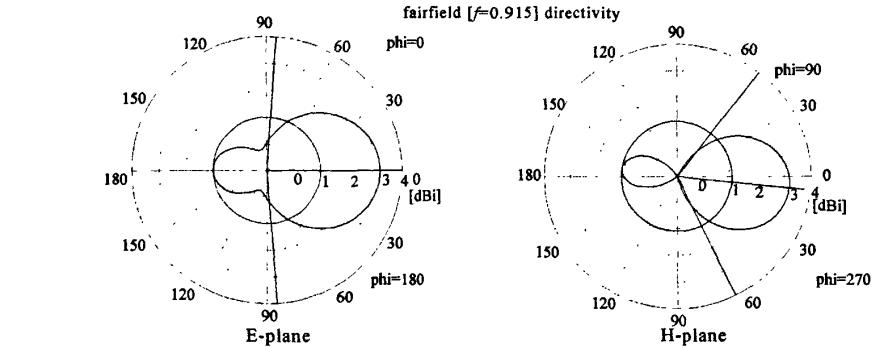


Fig.3 Quarter-wavelength elements microstrip antenna

图 3 1/4 波长微带贴片小型化天线实物图

从史密斯阻抗圆图可以看出天线的输入阻抗与 $50\Omega$ 的同轴实现匹配。天线的辐射方向图数据(如图)显示该天线在垂直方向上达到了很好的辐射。

天线阻抗带宽测试,测试采用Agilent E5071B网络分析仪,回波损耗 $S_{11}$ 实测值如图6点画线所示。结果表明仿真与实测值基本吻合。天线参数达到预期效果,证明了天线设计的正确性。



main lobe direction =  $0^\circ$ , angular width [3 dB] =  $171.4^\circ$ , main lobe direction =  $6.0^\circ$ , angular width [3 dB] =  $115.8^\circ$   
 $f = 0.915$  MHz, main lobe magnitude = 3.2 dBi, side lobe level = -2.2 dB

Fig.4 Radiation pattern of E-plane and H-plane

图4 天线的辐射方向图

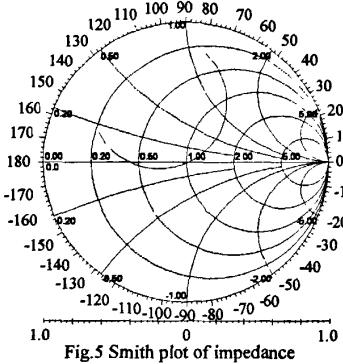


Fig.5 Smith plot of impedance

图5 史密斯阻抗圆图

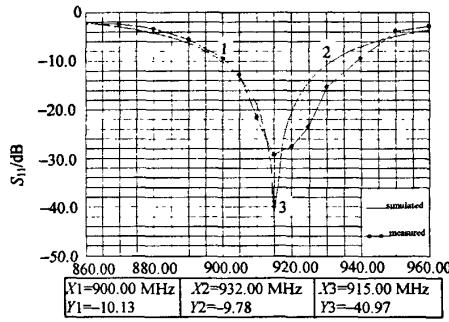


Fig.6 Return loss  $S_{11}$  simulated and measured  
 图6 回波损耗  $S_{11}$  仿真值(实线)和实测结果(点画线)对比

### 3 结论

最终研制出性能优良的小型化微带贴片天线。实验结果表明,采用了 $1/4$ 波长微带贴片显著地缩小了天线面积,面积由 $150\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ 缩减至 $75\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ ;经过精心的设计与优化,实现了前向辐射;天线的阻抗带宽包含了RFID工作频段( $902\text{ MHz} \sim 928\text{ MHz}$ ),实际测试结果与设计结果基本吻合,符合实际RFID阅读器天线要求。该天线尺寸小,结构简单,性能良好,可以广泛应用于手持UHF频段RFID阅读器的开发。

### 参考文献:

- [1] Want R. An Introduction to RFID Technology[J]. IEEE Pervasive Computing, 2006,5(1):25~33.
- [2] Weinstein R. RFID:A Technical Overview and its Application to the Enterprise[J]. IEEE IT Professional, 2005,3(7):27~33.
- [3] Rao K V S. An Overview of Backscattered Radio Frequency Identification System(RFID)[J]. Microwave Conference, 1999, (3):746~749.
- [4] Ukkonen L,Sydänheimo L,Kivikoski. Read Range Performance Comparison of Compact Reader Antennas for a Handheld UHF RFID Reader[J]. IEEE Applications & Practice, 2007,1(1):24~31.
- [5] 张均,刘克诚,张贤锋,等. 微带天线理论与工程[M]. 北京:国防工业出版社, 1988.
- [6] Korkontzila E G,Papaflippou D B,Chrissoulidis D P. Miniaturization of microstrip patch antenna for wireless applications by use of multilayered electromagnetic band gap substrate[C]// Proceedings of the European Conference on Antennas and Propagation:EuCAP.

2006:6-10.

- [7] H Mosallek, K Sarabandi. Antenna miniaturization and bandwidth enhancement using a reactive impedance substrate[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2004, 9(52):2403-2414.
- [8] Zaid L, Kossiavavas G, Dauvignac J Y, et al. Dual-frequency and broadband antennas with stacked quarter wavelength elements[J]. *IEEE transaction Antennas & Propagation*, 1999, 47(4):654-660.

#### 作者简介:



于东海(1962-),男,江苏省泰州市人,教授,主要研究方向为OFDM系统中相关技术、射频微波、毫米波电路与系统、RFID.*email: seaman\_yu@seu.edu.cn*.

孙仁杰(1982-),男,江苏省徐州市人,硕士,主要从事天线/微波技术、RFID相关技术研究.

曾瑞锋(1984-),男,福建长汀人,在读硕士研究生,主要从事天线/微波技术、RFID相关技术研究.

(上接第256页)

在权数的选择上,根据权矩阵的含义和GPS数据的统计特性提出了基于数据聚合程度的确定方法。此方法能对定位过程中各基站测量的距离出现的变化作自适应的权数调整,并使得定位结果能快速稳定且精度得到一定提升。

#### 参考文献:

- [1] 张丽娜,杨志强,欧龙,等.手持式GPS定位误差的研究[J].工程地球物理学报,2006,3(6):478-483.
- [2] 万群,彭应宁.一种新的加权最小二乘测距定位方法[J].电子与信息学报,2002,24(12):1980-1984.
- [3] 游华.加权最小二乘估计中选择权数的迭代算法[J].吉首大学学报,2007,28(4):27-29.
- [4] 程晓畅,王跃科.类GPS超声定位系统及其两基站定位性能分析[J].声学与电子工程,2006,(4):18-21.
- [5] Olynik M C. *Temporal Characteristics of GPS Error Sources and Their Impact on Relative Positioning*[D]. New York:UCGE, 2002.
- [6] 胡来招.无源定位[M].北京:国防工业出版社,2004.
- [7] 何友,王国宏.多传感器信息融合及应用[M].2版.北京:电子工业出版社,2007.

#### 作者简介:



邓旭辉(1980-),男,安徽省芜湖市人,在读硕士研究生,主要研究方向为无源定位、信号处理.*email:dengxuhui@126.com*.

王俊波(1956-),男,四川省青神县人,教授,主要研究方向为大气光学、激光发射.

## 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>