

一种 RFID 标签天线的设计

田洪普¹ 单志勇^{1,2} 张亚冰¹

(东华大学信息科学与技术学院 上海 201620)¹ (东华大学教育部数字化纺织研究中心 上海 201620)²

摘 要 随着无线通信理论和关键技术的发展,RFID 技术的应用越来越受到重视。简要介绍了 RFID 天线的应用背景和 RFID 标签的工作原理,指出了读写器的天线对 RFID 系统的重要性,着重分析了矩形贴片天线理论模型的辐射性能,提出了一款新型的 RFID 标签贴片天线,同时展望了 RFID 技术在未来广阔的应用前景。

关键词 RFID,RFID 读写器,贴片天线,无源标签

中图分类号 TP393 文献标识码 A

Design of RFID Tag Antenna

TIAN Hong-pu¹ SHAN Zhi-yong^{1,2} ZHANG Ya-bing¹

(School of Information Science and Technology,Donghua University,Shanghai 201620,China)¹

(Engineering Research Center of Digitized Textile & Fashion Technology,Ministry of Education,Donghua University,Shanghai 201620,China)²

Abstract With the development of the theories and key technologies of wireless communication, the application of RFID technology become more and more important. This article briefly introduces the application background of RFID antenna and gives the working principle of RFID tag. It points out the importance of the antenna of the reader to the RFID system, and the analysis of the radiation performance of the theoretical model of the rectangular patch antenna. Based on this theory, a RFID tag patch antenna was designed and the application prospects of RFID technology in the future were looked ahead.

Keywords RFID,RFID reader,Patch antenna,Passive tag

RF identification(RFID)是一种无线捕捉技术,主要由 RFID 标签和 RFID 阅读器两个部分组成,其中 RFID 标签是用来编码数据的,阅读器用来提取标签中已经编码的数据。由于 RFID 具有阅读范围大、无视角、能自动识别和跟踪的特点,因此,RFID 技术有望在未来取代条形码技术^[1]。在高度智能化的现今社会,管理效率已是企业、单位竞争的关键因素之一。RFID 技术作为智能化管理的工作方式,不断受到各方的关注,其应用范围已经涉及到生产、管理、生活服务各个领域。文献[2]中提出了一款基于移动互联网的校园平安卡 RFID 天线,文献[3]中提出了一种电子车牌的弯折树脂缝隙天线。因此,本文专注于讨论无源 RFID 标签天线,并设计了一款 2.4GHz 的无源 RFID 标签天线。

通常情况下,对于所设计的工作于高频 13.56MHz 的 RFID 读写器,其标签采用的是能量来源于读写器电磁场的无源标签。其基本的工作原理^[4]是采用电磁耦合的方式使得标签从读写器耦合线圈的辐射近场中获得能量,从而达到与读写器交换数据的目的。

由此可见,在射频识别系统中,读写器的天线起着重要作用。一方面,无源的 RFID 标签要启动电路工作,需要通过天线在读写器天线产生的电磁场中获得足够的能量;另一方面,天线决定了 RFID 标签与读写器之间的通讯信道和通讯方式。

1 天线设计的理论模型

对于一个 RFID 系统,当其所处理的标签进入到读写器的电磁场范围后,标签天线就会产生感应电压,从而开始对存储电容充电,当充电达到了一定的电荷量以后,标签芯片就可以开始工作,这一过程可以通过电感变压器模型^[5]来进行模拟,如图 1 所示。

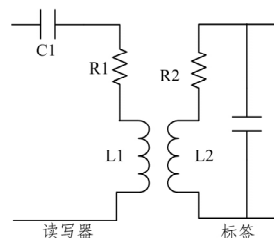


图 1 读写器与标签间的等效电路图

读写器通过天线将电磁场能量传递给标签。由于微带天线具有质量轻、体积小以及易于制造等优点,因此,微带天线的应用吸引了中外学者的广泛关注。

图 2 是一个简单的微带贴片天线^[6]的模型,由辐射元、介质层和参考地 3 部分组成。与天线性能相关的参数包括辐射元的长度 L 、辐射元的宽度 W 、介质层的厚度 h 、介质的相对介电常数 ϵ_r 和损耗正切 $\tan \delta$ 、介质层的长度 LG 以及介质层

田洪普(1991—),男,硕士生,主要研究方向为控制工程,E-mail:253891590@qq.com;单志勇(1967—),男,副教授,硕士生导师,主要研究方向为通信天线;张亚冰(1989—),男,硕士生,主要研究方向为电气传动。

的宽度 WG 。该微带贴片天线采用的是微带线馈电,本文设计的微带贴片天线采用的是同轴线馈电,也就是将同轴线的内芯线穿过参考地和介质层与辐射元相连。

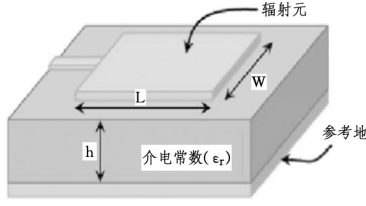


图2 矩形微带贴片天线模型

对于矩形微带贴片天线,可以采用传输线模型来分析其性能。矩形微带天线的工作主模式是 TM_{10} 模,意味着电场在长度 L 方向上有 $\lambda_g/2$ 的改变,而在宽度 W 方向上保持不变,如图3(a)所示。

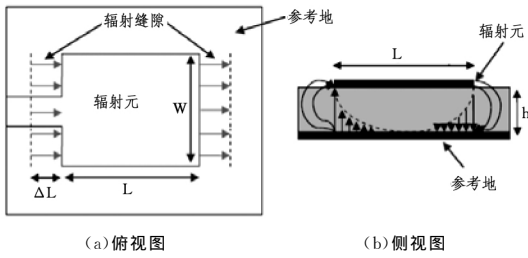


图3 矩形贴片天线的电磁场分布

在长度 L 方向上可以看成有两个终端开路的缝隙辐射出电磁能量,在宽度 W 方向的边缘处,由于终端开路,因此电压值最大、电流值最小。从图3(b)可以看出,微带线边缘的电场可以分解成垂直于参考地的分量和平行于参考地的分量两部分,两个边缘的垂直的电场分量大小相等、方向相反,平行电场分量大小相等、方向相反。因此,远区辐射电场垂直分量相互抵消,辐射电场平行于天线表面。

假设矩形贴片的有效长度为 L_e ,则有

$$L_e = \frac{\lambda_g}{2}$$

其中, λ_g 表示导波波长,有

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_e}}$$

其中, λ_0 表示自由空间波长; ϵ_e 表示有效介电常数,且

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

其中, ϵ_r 表示介质的相对介电常数; h 表示介质层厚度; W 表示微带贴片的宽度。由此,可计算出矩形贴片的实际长度 L ,有

$$L = L_e - 2\Delta L = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L$$

其中, c 表示真空中的光速; f_0 表示天线的工作频率; ΔL 表示图3中所示的等效辐射缝隙的长度,且有

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$$

矩形贴片的宽度 W 可以由下式计算:

$$W = \frac{c}{2f_0} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

在确定了贴片长度 L 和宽度 W 之后,对于同轴线馈电的

微带贴片天线来说,还需要进一步地确定同轴线馈电点的位置,因为馈点的位置会影响天线的输入阻抗,输入阻抗会随着馈电点的不同而不同。在微波应用中通常使用的是 50Ω 的标准阻抗,因此需要确定馈电点的位置以使得天线的输入阻抗与标准的输入阻抗 50Ω 相匹配。

上述的分析都是假设参考地为无限大的理想情况,而实际设计应用中参考地的面积是有限的,但有理论^[7]已证明,只要参考地的长 $LGND$ 和宽 $WGND$ 大于贴片天线对应的长和宽 $6h$ (h 为介质层的厚度),计算的结果就比较精确了。

由上述模型理论分析可知,天线的形状和尺寸决定了它能捕捉到的频率范围、方式等性能,频率越高,天线越灵敏,占用的面积也越少。较高的工作频率可以有较小的标签尺寸,与近场感应天线相比,远场辐射天线的辐射效率较高,但过高的辐射频率可能会威胁到人体的健康。

2 RFID 标签天线的设计要求

RFID 标签天线的设计要求主要包括:天线的物理尺寸足够小,能满足标签小型化的需求;具有全向或半球覆盖的方向性;具有高增益,能提供最大的信号给标签的芯片;阻抗匹配好,无论标签在什么方向,标签天线的极化都能与读写器的信号相匹配;具有顽健性及低成本。在选择天线时主要考虑:天线的类型、天线的阻抗、应用到物品上的 RF 性能以及当有其他物品围绕标签物品时的 RF 性能^[8]。

3 RFID 标签天线的设计

从 RFID 技术原理和 RFID 天线类型介绍上看,RFID 能够具体应用于生活中的关键在于 RFID 天线的性能和特点。目前线圈型天线的实现技术很成熟,虽然都已广泛地应用在身份识别、校园就餐、货物标签等 RFID 应用系统中,但是对于那些要求频率高、信息量大、工作距离和方向不确定的 RFID 应用场合,采用线圈型天线则难以实现相应的性能指标。同样,对于偶极子天线,由于天线长度为 $1/4$ 个波长,长度过大,不易安置,需要的空间极大等,因此偶极子天线的应用也受到了限制。本文针对以上天线的短处以及生活中物流工程应用的特点,提出一种体积小、制作工艺简单、增益较大的贴片天线。贴片天线的整体模型如图4所示。

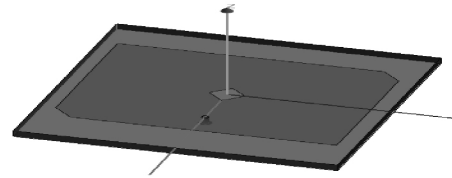


图4 RFID 天线模型

该天线上表面采用铜材料(电导率: $5.8e7s/m$, 磁导率: 1), 铜片的尺寸为 $30mm \times 40mm$, 在其对角线方向上切掉了两个等腰三角形, 腰长为 $3mm$, 在铜片中心再挖去了一个小正方形, 其边长为 $3.53mm$, 位于充满空气、边长为 $600mm$ 立方体的中心, 在立方体外表面设定辐射吸收边界; 天线的基板采用罗杰斯板材(电导率: $0s/m$, 磁导率: 3.55), 基板的尺寸为 $L \times W \times H$, 其中, $L = 45mm$, $W = 45mm$, $H = 5mm$; 在基板的底部铺满了铜材料, 以作为接地板。最终的天线形状如图5所示。

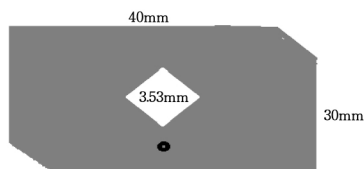


图 5 RFID 天线的尺寸图

图 5 中的黑色小圆圈为直径为 0.5mm 的同轴电缆馈电点。

用有限元法仿真该天线,得到的回波损耗 S11 曲线如图 6 所示。

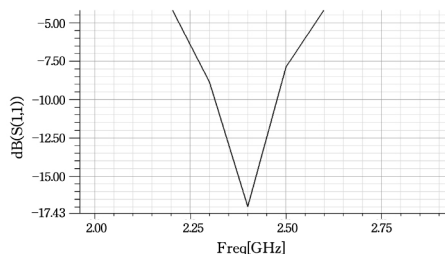


图 6 RFID 天线的回波损耗 S11

仿真的谐振频率为 2.4GHz,3D 方向图如图 7 所示。

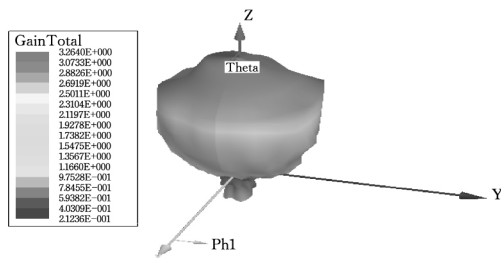


图 7 RFID 天线的增益

其形状像一束玫瑰花,最大增益为 3.264,驻波比 VSWR $\leq$ 2 时,带宽为 160MHz,相对带宽为 6.7%,如图 8 所示。

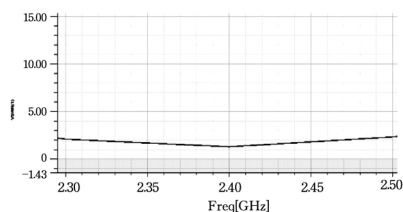


图 8 RFID 天线的驻波比

结束语 RFID 实际应用的关键在于天线的设计上,特别是对于具有非常大市场容量的物流标签来说,要求 RFID 能够实现全方向的无线数据通讯,且需要价格低廉、体积小、读取信息的效益高。因此,从上面各个参数的数据来看,文中所设计的这种半全向型的贴片天线的结构简单、易于批量加工制造,可以满足实际物流系统的应用要求。

参考文献

- [1] Islam M A, Karmakar N C. Compact Printable Chipless RFID Systems[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2015, 63(11): 3785-3793
- [2] 马良花, 刘晓亮, 韩云. 基于移动物联网的校园平安卡 RFID 天线设计与安装[J]. 襄阳职业技术学院学报, 2016, 15(1): 30-31
- [3] 赵文婧, 厉丹, 黄为勇, 等. RFID 电子车牌用树脂缝隙天线的设计[J]. 现代电子技术, 2016(5): 73-77
- [4] 郑杰, 徐晶. RFID 读写器天线的设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(23): 228-229
- [5] 郭明昱. RFID 标签天线的设计研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2009
- [6] 李明洋, 刘敏, 等. HFSS 天线设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013
- [7] Balanis C A. Antenna Theory-Analysis and Design [M]. New York: John Wiley & Sons, 1997
- [8] 陈华君. RFID 技术原理及其射频天线设计[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2005, 44(S1): 312-315

(上接第 303 页)

由图 6 可以看出,本文对 3 种拓扑结构的区分度明显优于文献[2]和文献[11]中的方法。

另外在节点重要性评估方面,利用 3 种方法对 G_7 和 G_8 中节点 3 的重要性进行计算并比较,结果如表 5 所列。

表 5 对 G_7 、 G_8 中节点 3 计算结果的比较

节点	文献[2]	文献[11]	本文方法
G_7 中 r_3	0.880	0.883	0.840
G_8 中 r_3	0.880	0.883	0.888
能否区分	不能	不能	能

可以看出,本文方法对 G_7 和 G_8 中拓扑结构节点 3 的重要性进行了有效区分。

结束语 网络拓扑结构抗毁性是网络设计时需要考虑的一个重要因素。本文从卫星网络拓扑结构高动态、周期性的特点出发,以能够快速评估网络抗毁性的跳面节点法为基础,针对跳面节点及其改进算法存在的对相似拓扑结构区分度不高的缺点,提出了改进的归一化因子,并指出本文算法是对文献[2]和文献[11]算法的推广,适用于卫星拓扑结构的抗毁性评估。

参考文献

- [1] Ellison B, Fisher D A, Linger R C, et al. Survivable network systems an emerging discipline, CMU/SEI-97-TR-013[R]. Pitts-

burgh: Carnegie Mellon University, 1997

- [2] 郭伟. 野战地域通信网络可靠性的评价方法[J]. 电子学报, 2000, 28(1): 3-6
- [3] 陈建国, 张永静. 通信网络拓扑抗毁性评估算法研究[J]. 无线电通信技术, 2006, 32(1): 6-7
- [4] 饶育萍, 林竞羽, 侯德亭. 基于最短路径数的网络抗毁评价方法[J]. 通信学报, 2009, 30(4): 113-117
- [5] 齐新社, 宋晓峰, 杨东升, 等. 基于谱测度的地域通信网节点重要性评估[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(7): 51-53
- [6] Wu J, Barahona M, Tan Y J, et al. Spectral measure of structural robustness in complex networks[J]. IEEE Transaction on Systems Man and Cybernetics Part A, 2011, 41(6): 1244-1252
- [7] Estrada E, Hatano N, Benzi M. The physics of communicability in complex network[J]. Phys Rep, 2012, 514(3): 89-119
- [8] 吴俊, 谭索怡, 谭跃进, 等. 基于自然连通度的复杂网络抗毁性分析[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2014, 11(1): 77-86
- [9] Shang Y L. Local natural connectivity in complex networks[J]. Chin Phys Lett, 2011, 28(6): 68903-68906
- [10] 包学才, 戴伏生, 韩卫占. 基于拓扑的不相交路径抗毁性评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(1): 168-174
- [11] 王亮, 王新增, 王英泓. 基于改进跳面节点法的地域通信网抗毁性评价[J]. 现代电子技术, 2013, 36(13): 13-15
- [12] 何旭. 基于抗毁性的卫星通信系统可靠性研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2010