

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.06.020

引用格式:章国庆,蒋开明,特木尔朝鲁.无源超高频抗金属标签天线设计方法综述[J].电讯技术,2015,55(6):704-712.[ZHANG Guoqing,JIANG Kaiming,Temu'er Chaolu.Overview of Design Methods for Passive UHF Anti-metal Tag Antennas[J].Telecommunication Engineering,2015,55(6):704-712.]

无源超高频抗金属标签天线设计方法综述*

章国庆,蒋开明**,特木尔朝鲁

(上海海事大学 文理学院,上海 201306)

摘 要:射频识别(RFID)技术的不断发展,对标签天线提出了更高的要求。普通标签天线直接应用于金属表面时,由于受到金属边界的影响,其性能会出现一定程度的下降。详细介绍了4种无源超高频抗金属标签天线的设计方法,包括调整天线与金属面的间距、采用吸波材料、引入高阻抗表面基板、采用平面倒F天线(PIFA)或微带天线结构,并分析了每种方法的优缺点及其对标签天线的阻抗匹配、带宽、尺寸、识别距离以及成本等方面的影响。微带贴片天线不仅具有低剖面、高方向性等优点,而且含有金属接地板,常用作抗金属标签天线的设计原型。在抗金属标签天线的设计与实际应用中,研究者可针对具体要求灵活运用这些设计方法。

关键词:抗金属标签天线;微带贴片天线;吸波材料;高阻抗表面;阻抗匹配;设计方法

中图分类号:TN82 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2015)06-0704-09

Overview of Design Methods for Passive UHF Anti-metal Tag Antennas

ZHANG Guoqing,JIANG Kaiming,Temu'er Chaolu

(College of Arts and Sciences,Shanghai Maritime University,Shanghai 201306,China)

Abstract: With the development of radio frequency identification (RFID) technology, tag antennas are required to possess higher performance. However, when a common tag antenna is directly placed on a metal surface, its performance degrades a lot due to the metallic boundary. For passive ultra-high frequency (UHF) anti-metal tag antennas, this paper introduces four design methods including adjusting the distance between antenna and metal surface, using absorbing material, introducing a substrate of high-impedance surface, and utilizing planar inverted-F antenna (PIFA) or microstrip antenna, and discusses each method's properties and influences on impedance matching, bandwidth, size, recognition distance and cost etc. Microstrip antenna has not only low profile and high directivity, but also a metallic ground floor, so it is usually used as the prototype of anti-metal tag antennas. According to specific requirements, these methods can flexibly be applied to actual anti-metal tag antenna design.

Key words: anti-metal tag antenna; microstrip patch antenna; absorbing material; high impedance surface; impedance matching; design method

* 收稿日期:2014-11-11;修回日期:2015-04-17 Received date:2014-11-11;Revised date:2015-04-17
基金项目:上海市教委科研创新项目(11YZ138);上海市科委重点支撑项目(12510501700);上海海事大学科研基金项目(20120095);上海海事大学研究生创新基金资助项目(2014ycx009)

Foundation Item:The Innovation Program of Shanghai Municipal Education Commission(11YZ138);Key Projects of Shanghai Municipal Science and Technology Commission(12510501700);The Science & Technology Program of Shanghai Maritime University(No. 20120095);The Graduate Student Innovation Program of Shanghai Maritime University(2014ycx009)

** 通讯作者:kmjiang@shmtu.edu.cn Corresponding author:kmjiang@shmtu.edu.cn

1 引言

射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)作为一种新兴的短距离无线通信技术,被广泛应用于工业自动化、医疗、交通运输控制管理等领域。射频识别系统主要由标签、读写器、通信与接口中间层以及进行数据接收、交换和管理的应用管理系统组成^[1]。应用于集装箱、汽车、武器装备等一系列金属表面的标签天线,由于牵涉到商品适用性以及环境适应性等复杂问题,已成为标签天线研究与设计领域中的重点和难点。首先,阅读器发射的电磁波会使金属物体内部形成涡流,涡流产生感生磁场,其磁力线方向与入射电磁波方向相反,因而它不仅削弱了入射电磁场,而且在识别区也造成一定的干扰;其次,金属边界条件导致金属表面的磁力线分布趋于平缓,近似平行于金属表面,当标签被贴附于(或靠近)金属表面时,天线无法通过“切割”磁力线使标签获得足够的电磁能量^[2];第三,当天线与金属板距离很近时,镜像电流会与天线上的电流相互抵消,从而导致天线的阻抗性能急剧变化;第四,金属表面对天线加感的影响会导致辐射电阻减小,辐射效率降低。此外,无源标签的芯片与天线直接相连,它们的输入阻抗都是频率的函数,两者的共轭匹配程度将直接影响标签的性能。当普通标签直接应用于金属表面时,上述原因将导致天线的读写距离大幅度缩短,方向性、辐射特性及增益等都受到很大的影响。因此,如何根据实际情况,从天线外部环境或者天线自身结构出发,结合天线原理,设计一款性能优越的超高频(Ultra-High Frequency, UHF) RFID 抗金属标签天线就成为 RFID 技术中的一个关键问题。

2 抗金属标签天线的发展背景

1999 年, Foster 等人^[3]发现金属物体对射频、微波波段的 RFID 标签的阻抗匹配和辐射模式的影响最为显著。2005 年, Dobkin 等人^[4]研究了几种类型的标签天线在靠近不同物体时天线的阻抗、方向图、辐射效率发生的变化,并指出标签靠近金属表面时阅读距离下降的主要原因在于垂直于入射方向的电场减弱,且需要满足金属边界条件。2006 年, Griffin^[5]采用无线链路预算(Radio Link Budgets)的方法测得折叠偶极子标签天线在金属铝板表面的衰减达到了 10 dB 以上。2007 年, Aroor 等人^[6]用实验的

方法研究了无源 UHF RFID 标签天线在靠近金属物体时性能的变化,表明 UHF 近场标签天线并不能解决标签天线的金属问题。2013 年, Xi 等人^[7]通过理论和全波仿真研究了基板厚度对抗金属标签的影响。

在天线设计方面,许多学者也提出了可行的方法。

(1) 1999 年, Sievenpiper^[8]提出将高阻抗表面(High Impedance Surface, HIS)运用到标签天线的设计中,高阻抗表面是从基板的设计入手,通过限制表面波的传播来提高天线的增益,减小天线的尺寸。随后,电磁带隙(Electromagnetic Band Gap, EBG)结构^[9]和人工磁导体(Artificial Magnetic Conductor, AMC)结构^[10]在天线基板中逐渐得到应用。

(2) 类偶极子天线很早就应用于 RFID 中。2007 年, Sim 等人^[11]利用 EBG 结构设计了一款偶极子型抗金属标签。2013 年, 李荣强等人^[12]利用两个弯折偶极子天线实现了宽频带。

(3) 2004 年, Hirvonen 等人^[13]就提出将 PIFA 应用到 RFID 中。此后,许多学者^[14-16]接连发明了各种 PIFA。

(4) 微带天线性能优越且具有金属接地板,故在抗金属标签天线的设计中最为常见。2005 年, Ukkonen 等人^[17]研究了金属面大小与微带贴片天线性能的关系。随后,针对微带天线在带宽、阻抗匹配等方面的不足,学者们提出了许多有意义的改进方法^[18-20]。

经过十多年的发展,抗金属标签天线已经取得了长足的进步,其中,微带贴片、开路线结构、可弯曲陶瓷聚合物基板、曲面共形、无芯片、嵌入金属内部等方面的标签,以其小体积、低成本及其大规模生产和特殊应用范围等方面的特点,必将在物联网领域逐步展现它们独特的优势。RFID 技术在军事和商业中应用不断增多,也对抗金属标签天线提出了小型化、宽频带、高识别率、低成本及平台适应性等一系列要求。与此同时,天线各参数之间的“矛盾”,还需要进一步深入研究。

3 抗金属标签天线设计方法

3.1 调整天线与金属面的间距

阅读器发出垂直于金属表面的询问信号,经反射后与来波叠加形成驻波,标签与金属边界的距离

为零处电场幅值最小,距离为四分之一波长处电场幅值最大。因此,当标签距离金属表面四分之一波长时,标签天线可获得最大的能量,标签的阅读距离将会有所提高。文献[21]通过适当选取天线和金属板的距离,使得弯折偶极子天线能够较好地应用于集装箱表面。采用泡沫等低介电常数的填充介质将天线提高至四分之一波长处,除了能提高一定的读写距离^[22],还能在一定程度上改善天线的带宽。这种方法原理简单,但也存在两点不足:一是增大天线与金属表面的间距会增加天线的整体体积,适应性较低,安装不方便;二是不同标签天线的性能不相同,不同基材的性质亦不相同,对每种甚至每个天线都要通过多次试验才能确定最佳位置,因而给实际应用带来了诸多不便。

3.2 采用吸波材料

当标签直接贴在金属表面时,由镜像电流和干扰信号导致的天线辐射效率的降低在一定程度上可采用吸波材料来克服^[23]。电磁吸波材料能阻止金属表面的高频反射波。将吸波材料置于标签和金属板之间,当高频能量通过吸波材料时,会与材料中的吸波介质发生磁环路谐振以及环路的涡流损耗,最后以热能形式损耗掉,即共振吸收。由于没有反射波的干扰,标签的性能会有一定程度的提高。吸波材料的种类很多,常见的有铁氧体吸波材料、泡沫吸波材料等。吸波材料性能优越,多用于航天设备和微波暗室中,但较高的成本使其很难在标签设计中被广泛应用。

3.3 引入高阻抗表面基板

当标签天线贴在金属表面时,其性能的下降与表面波的存在有关。一方面,表面波将电磁能量束缚在介质层周围,使电磁波无法辐射,降低了天线的辐射效率;另一方面,表面波会在介质断截面处发生辐射与绕射,导致天线的方向图产生波纹^[8]。高阻抗表面是一种超材料结构,在一定频率范围内体现磁壁特性,其频率范围取决于结构的基本几何特性。高阻抗表面可以抑制贴片天线中表面波的传播,进而提高标签天线的定向增益,减小后向辐射和旁瓣电平,在一定程度上使天线保持较薄的厚度。因此,高阻抗表面既可以改善天线的性能,又可以使普通标签天线(类偶极子天线)正常工作于金属表面。EBG 结构基板和 AMC 结构基板都具有高阻抗表面,因此在抗金属标签天线中得到了广泛应用。

所谓 EBG 结构,就是通过合理地选择介质的尺寸、材料和形状,让一种介质在另一种介质中排列成周期性结构。特定的 EBG 结构不仅能抑制特定频带的电磁波的传播,而且在特定频率下能够对反射波的相位进行特定的调制。最典型的 EBG 结构是蘑菇状结构^[24]。用由两层(具有金属过孔的)金属贴片阵列、两层电介质材料与一层金属地板构成的 EBG 材料制成的接地板在915 MHz附近有一个禁带隙,它不仅能抑制表面波的传播,而且可以同相地反射电磁波,从而使得位于其上的偶极子天线能够正常工作。当电磁波垂直入射于此 EBG 材料板时,其表面阻抗

$$Z = \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC} \tag{1}$$

式中, ω 是入射波频率,该结构的上层可视为等效电容 C ,连接下金属地板的过孔可视为等效电感 L ,整个表面结构类似于一个集总回路。当谐振时,表面阻抗无穷大,可以有效地抑制表面波的泄漏。

AMC 结构由三部分组成,如图 1 所示,底部是理想电导体 (Perfect Electric Conductor, PEC) 地板,最上层是周期性排列的金属贴片,两者之间填充介质,而且金属贴片与地板之间由一个金属过孔相连。AMC 结构基板除了能抑制表面波的传播、同相位地反射垂直入射的电磁波,还可以抑制金属表面对天线电流的短路效应,这些优点保证了天线具有良好的性能^[25]。

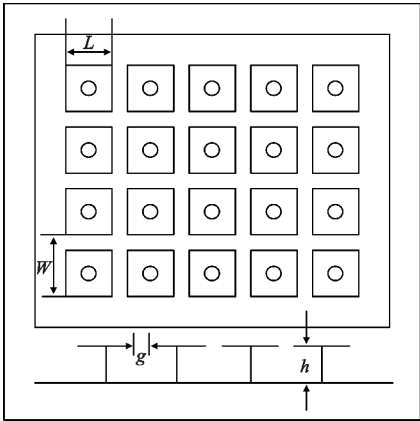


图 1 AMC 基板示意图
Fig. 1 Schematic diagram of AMC substrate

AMC 结构的等效电路模型如图 2 所示。上层金属贴片间的等效电容为 C_{eq} ,金属过孔及地板形成的等效电感为 L_{eq} ,它们组成了一个并联谐振电路,其谐振频率即为 AMC 结构的中心频率。等效电

容和等效电感可表示为

$$C_{\text{equ}} = \frac{L(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{\pi} \cosh^{-1} \left(\frac{W}{g} \right), \quad (2)$$

$$L_{\text{equ}} = \mu_0 h. \quad (3)$$

式中, L 为方形贴片的边长, W 为 AMC 结构单元的尺寸, ε_1 为频率选择层介质的介电常数, ε_2 为嵌入金属过孔的介质的介电常数, g 为上层贴片之间的缝隙距离, h 为上层频率选择性表面 (Frequency Selective Surface, FSS) 和下层地板之间的介质层的高度。于是 AMC 的谐振频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\text{equ}}C_{\text{equ}}}}. \quad (4)$$

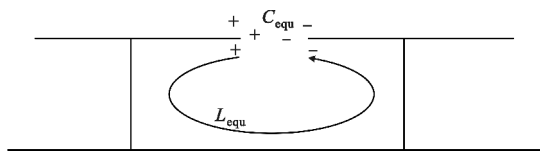


图 2 AMC 结构等效电路

Fig. 2 The equivalent circuit of AMC structure

由 EBG 材料或 AMC 材料制作的基板一般具有小型化、高增益和平台容忍性 3 个优点。

(1) 小型化

在 AMC 结构中, 缝隙宽度变窄, 等效电容会增大, 则谐振频率变小; 介质层厚度变薄, 等效电感会减小, 则谐振频率增大。因此, 减小缝隙宽度 (即减小整个基板的表面尺寸), 同时降低介质层的厚度, 即可实现 AMC 基板的小型化。Sharma 等人^[26]通过中间金属层和缝隙结构来提高等效电容和等效电感, 实现了天线尺寸的小型化。

(2) 高增益

与一般的标签天线相比, EBG 或 AMC 材料的引入使得标签天线的背瓣降低, 从而提高了天线的辐射增益, 增大了标签的识别距离。文献[27]采用 AMC 材料基板实现了低剖面天线, 在最小敏感度为 -17 dBm 条件下测得识别距离达到 12.2 m。

(3) 平台容忍性

不仅要求标签天线能抗金属, 而且需要天线降低对环境的耦合。EBG 和 AMC 材料基板仅从具体结构出发来实现标签天线的抗金属特性, 体现了它对天线的容忍性。大多数抗金属标签在设计之初就考虑到金属的影响, 因而造成其在一般物体表面性能有不同程度的下降, 因此第二种容忍性体现为对环境的容忍性。Zuffanelli 等人^[28]通过 AMC 材料实

现了应用于光盘上的抗金属标签, 并证实其具有良好的平台容忍性。

一般的高阻抗表面具有复杂的结构, 这使得加工困难, 而且也增加了制造成本, 因此设计结构简单、性能优良、成本低廉的 EBG 或 AMC 材料成为抗金属标签天线领域中崭新的研究方向。

3.4 采用 PIFA 或微带天线

微带天线或 PIFA 需要金属接地板, 因此可将金属表面作为其地平面, 从而达到抗金属的效果。此外, 微带天线具有高方向性、体积小、重量轻、轮廓低、容易加工、价格低等优点。因此, 采用微带天线设计抗金属标签天线是最常用的方法。微带天线初始尺寸可通过以下公式确定。设基板厚度为 H , 介电常数为 ε_r , 天线谐振频率为 f , 则等效辐射贴片宽度 W 为

$$W = \frac{c}{2f} \left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2}. \quad (5)$$

式中, c 为光速。天线辐射贴片的长度一般取 $\lambda_e/2$, λ_e 为介质中的波长:

$$\lambda_e = \frac{c}{f\sqrt{\varepsilon_e}}. \quad (6)$$

考虑到边缘的短路效应, 实际的长度 L 应为

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\varepsilon_e}} - 2\Delta L. \quad (7)$$

式中, ε_e 为等效介电常数, ΔL 为等效辐射缝隙长度:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} (1 + 12H/W)^{-1/2}, \quad (8)$$

$$\Delta L = 0.412H \frac{(\varepsilon_e + 0.3)(W/H + 0.246)}{(\varepsilon_e - 0.258)(W/H + 0.8)}. \quad (9)$$

不同于研究天线的外部环境, 利用微带贴片天线来设计抗金属标签天线, 则更加关注于天线自身结构对阻抗匹配、带宽及小型化等方面的影响。

3.4.1 阻抗匹配

(1) T 型匹配网络

微带天线采用共面匹配网络可以使天线保持平面结构和低剖面。在抗金属标签天线中, 常用的 T 型匹配属于并联匹配类型, 其结构由辐射单元及弯折结构组成, 可看成是两个不同尺寸、相互平行的耦合偶极子天线, 如图 3 所示。T 型匹配的等效电路如图 4 所示, 该结构在保持天线辐射单元不变条件下, 通过改变匹配网络的尺寸 a 、 b 、 w 及 w' 来调节天线的输入阻抗, 即可实现天线与芯片之间的共轭

匹配。

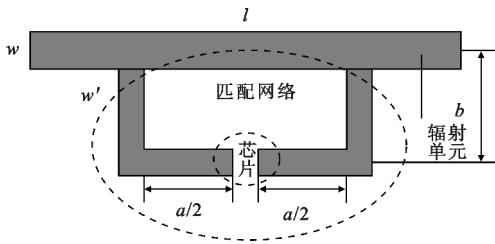


图 3 T 型匹配网络结构
Fig. 3 The structure of T-match network

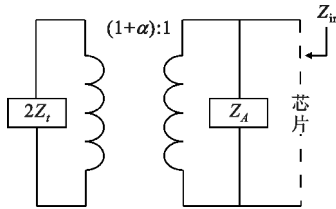


图 4 T 型匹配网络等效电路
Fig. 4 The equivalent circuit of T-match network

(2) 开路或短路短截线结合嵌入式馈电

恰当长度的开路或短路短截线能提供任意电抗或电纳值,因此,在微带天线中引入开路或短路短截线结构可调整微带天线的阻抗。

采用短截线结构的微带天线其阻抗主要靠馈电嵌入深度与短截线的长度来调节。嵌入式馈电的标签天线的输入阻抗为

$$Z_{inset} = Z_A \cos^2 \left(\frac{\pi L_{inset}}{L} \right) \quad (10)$$

式中, Z_A 为边缘馈电的天线阻抗值, L_{inset} 为嵌入的深度。由式(10)可知,增加嵌入的深度 L_{inset} 可以降低天线的输入阻抗,若嵌入深度过大,则会引起交叉极化,影响辐射方向图的形状。

短路短截线多用于匹配具有较大电抗的芯片,且其长度在小于四分之一波长时,天线输入阻抗的虚部值会随着其长度的增加而增加。此外,调节短路过孔与芯片之间的距离在一定程度上也可以调节标签天线的阻抗。

与短路短截线相比,开路短截线阻抗调节范围较大且适用于具有较小电抗的芯片。对于确定虚部的芯片,采用开路短截线比用短路短截线要长四分之一波长,但开路短截线可以采用弯折等方法降低天线的总体尺寸。此外,采用开路短截线设计的微带天线是完全平面结构,无需过孔或短路墙,用导电油墨加工,可大大降低成本。开路短截线结构的缺点是天线带宽较窄。

吴庭万^[29]提出了一种适用于金属表面的、具有

完全平面结构的微带标签天线,如图 5 所示。通过加载感性负载,提高了天线的带宽;采用开路线结构,可在很大范围内调节阻抗。天线整体结构简单,有效地降低了制作成本。

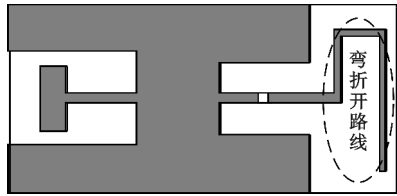


图 5 弯折开路线结构的标签天线
Fig. 5 Tag antenna with bending open-circuited stub

(3) 其他馈电方式

图 6 所示的临近耦合馈电属于电感耦合馈电方式,因此可在标签天线中引入电感效应。该结构一般由辐射单元与环形网络构成,标签芯片多位于环形网络上。电感的强度(耦合度)由该结构中环的尺寸及环长与宽的比值决定,天线输入阻抗的虚部主要与环的尺寸有关。Ryoo 等人^[30]提出了一种基于临近耦合馈电结构的抗金属标签天线,该天线的 3 dB 带宽为 32.2% (799 ~ 1093 MHz),识别距离超过 10 m。

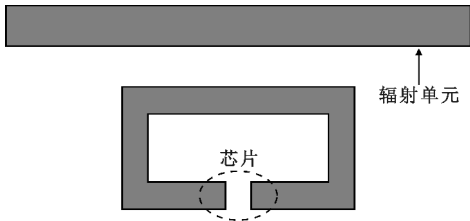


图 6 临近耦合馈电结构
Fig. 6 Proximity-coupled feed structure

缝隙耦合馈电^[31]多用于平面偶极子天线和微带贴片天线中,该方式通常是在接地板上开一定形状的缝隙,天线的电抗值随缝宽的减小而逐渐变小。该馈电方式最大的特点是隔离了辐射贴片与微带馈线之间的辐射,使得微带线的辐射不会对辐射贴片形成干扰。当基板具有高介电常数时,缝隙耦合馈电方式有很强的共轭匹配能力。此外,合适的缝隙还可以实现天线的小型化及多频特性。

3.4.2 宽频带

EPC C1G2 规定的 UHF RFID 全球频率范围为 860 ~ 960 MHz,而世界各地使用的频率范围都不一样。此外,用微带天线或 PIFA 设计的抗金属标签天线的 3 dB 带宽一般只有 15 ~ 20 MHz,这在很大程度上限制了标签的应用范围。为应对全球物流的不

断发展,宽带抗金属标签天线是一大发展趋势,并且较宽的频带能对由不同材料、加工误差引起的天线谐振频率漂移和阻抗变化起到一定的缓和作用。

(1)减小天线的 Q 值

微带天线属于谐振式天线,品质因数较高,因此增益较高,阅读距离也较远,但高品质因数往往导致微带天线的带宽比较窄。

降低天线的 Q 值可以增加天线的带宽。降低 Q 值的一般方法是增大基板厚度,或者采用相对介电常数较低的基板。这些方法虽然简单有效,但会导致天线的轮廓变大。

(2)提高阻抗匹配的程度

阻抗匹配的程度直接影响带宽,尤其当偏离谐振频率时,天线输入阻抗的电抗分量的改变将导致阻抗失配。因此,要实现标签天线的宽频带特性,就必须使标签天线的阻抗在一定的频带范围内保持在芯片的共轭阻抗值附近。除了前文提及的方法外,缝隙耦合寄生贴片、L 型探针馈电和 T 型探针馈电都可以在实现阻抗匹配的同时增大带宽。

(3)开缝或开槽

微带天线中常采用开槽的方法实现双频和增大带宽。开槽(缝)就是在微带天线辐射面上嵌入合适的隙缝,用以激发新的谐振频率来展宽带宽,一般经开槽后,微带天线的带宽可以增大到原来的 2~3 倍,从而大大改善了微带天线带宽窄的缺点,同时还保留了微带天线小型化及低轮廓的特征。常见的槽或缝隙有 U 形、L 形和 E 形等。Bashri 等人^[32]利用电感耦合馈电网络对两个 C 形贴片馈电,实测 3 dB 带宽达到了 155 MHz。Lin 等人^[33]提出了一种频率可重构的抗金属标签天线,也可认为是展宽频带的一种方法。

3.4.3 小型化

天线的辐射效率与其电尺寸成比例,电尺寸越大则辐射效率越高。在实际的应用中,很多环境对抗金属标签的尺寸都有严格的要求,为提高天线的辐射效率,应充分利用有限的设计空间。

一般要求微带天线的有效长度为谐振波长的一半,某些领域无法满足小型化的需要,因此需进行一些必要的改进。PIFA 尺寸小,但 PIFA 的制造较为复杂,成本也高。在微带贴片天线和 PIFA 的设计中,有下面几种方式可实现小型化。

(1)采用高介电常数或高磁导率的介质作为天线基板

如矩形微带天线其谐振频率为

$$f_0 = \frac{c}{2(L+2\Delta L)\sqrt{\epsilon_r}} \quad (11)$$

结合式(8)和式(11)知,为保证天线的谐振频率不变化,增加 ϵ_r 就必须相应地减小天线尺寸,但较高的 ϵ_r 会导致天线的 Q 值很大,并造成天线带宽变窄、匹配困难等问题。因此,在高介电常数基板上设计易于匹配、宽带和高增益的微型化标签天线就显得非常重要。同样,采用高磁导率的基板也有类似效果,但仍有天线带宽变窄、表面波增强等缺点。

高介电常数基板不仅可以减小天线的尺寸,而且还能提高金属和天线间的隔离度。陶瓷材料因具有介电常数高、损耗值低的优点逐渐在抗金属标签天线的设计中得到应用。文献[34]利用了陶瓷材料和 PIFA,在很大程度上实现了天线的小型化。

(2)曲流技术

贴片表面或接地板的槽或细缝使电流绕着槽边曲折流过,增加了电流路径,在天线等效电路中相当于引入了级联电感,降低了天线的谐振频率。为保证天线的谐振频率不变,必然要减小贴片的尺寸(即减小等效电容值)。

槽或缝隙不会改变天线原有的结构,保持了天线低剖面的特点。此外,选择适当的槽可以激励极化简并模,以实现双频工作。虽然曲流技术应用广泛,但槽或缝的尺寸过小会引起带宽和增益的减小。

(3)短路加载技术

常见的短路加载有短路销钉、短路金属面与短路片。在天线贴片与接地面之间接短路单元,使得微带贴片在电位零线处形成对地短路,可以使半波微带贴片的电长度从二分之一波长缩减为四分之一波长。对于 PIFA,在靠近同轴探针馈电点附近加载短路探针并在零电位线处对地端接,也具有同样的效果,而且短路探针和同轴馈电探针距离很近,形成强耦合,等效于加载了一个电容,从而降低了天线谐振频率,进一步减小贴片尺寸。加载短路销钉的缺点主要有匹配困难(销钉的位置及其与馈电点的距离需要精确定位)、带宽窄、H 面交叉极化电平相对较高、成本增加、天线辐射效率大大降低(天线的辐射边减少了一半)。因此,短路加载技术的应用范围有限。

(4)采用分形结构

分形天线具有分数维特性和自相似性两个显著特点^[35],在天线的设计中则体现为尺寸缩减特性和多频段特性。分形结构的自相似性决定了电流分布的自相似性,因此可以提高天线的功率容量和阻抗

带宽。在有限的空间区域内,如果天线采用分形几何结构,那么随着分形维数的增加,曲线的总长度也不断增加,就会导致天线具有多频特性。文献[36]利用分形结构设计的抗金属标签天线尺寸仅为36.7 mm×18.1 mm×3.2 mm。由此可见,分形天线在减小天线尺寸方面具有很大的潜力。

4 展 望

阅读器天线一般为圆极化,标签天线多数为线极化,这样有利于识别,但存在极化损失。理论上,如果标签天线也是圆极化的,则接受的能量可提高3 dB,最大阅读距离可增大41%。因此,圆极化抗金属标签天线发展前景良好。如图7所示,Chen等人^[37]在方形贴片中央嵌入了一个十字形槽用以激发圆极化,同时一个L形开路线连接到芯片的一个引脚,芯片另一端通过一个容性耦合的短路探针连接接地板,选择合适的微带线长度和耦合距离,可以方便实现阻抗匹配。圆极化天线需要解决带宽窄的缺点。

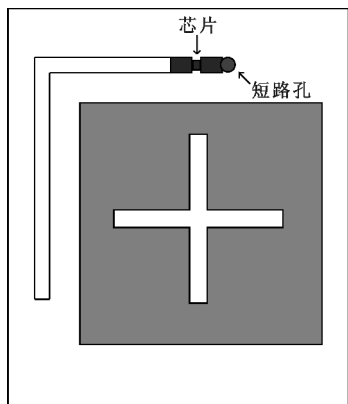


图7 圆极化抗金属标签天线

Fig. 7 Anti-metal tag antenna with circular polarization

采用单个天线是造成阅读距离短的一个原因。阵列天线具有高方向性、高增益等优点,因此阵列抗金属标签天线也逐渐得到了研究和应用。文献[38]将阵列天线交叉连接到芯片上,在866 MHz及915 MHz实现了双频。目前,阵列天线基本上都位于同一个平面内,整体体积较大,与小型化相违背。

抗金属标签天线多为平面结构,难以弯曲,因此应用于曲面的共形标签天线成为另一个研究热点。Cho等人^[39]提出的由导电织物和易弯曲的聚四氟乙烯材料构成的宽带抗金属标签天线适合用于曲面物体上,两个台阶结构的槽不仅能够调节天线阻抗,

还能获得84 MHz的带宽。Jain等人^[40]研究了标签天线在金属圆柱物体表面的性能,发现标签沿着轴线放置比围绕圆柱表面放置性能好,尤其在半径较小时。

无芯片标签早在2006年就被提出,且在节约成本方面有着巨大的潜力。表面声波标签采用时域模块编码信息并发射信号,但区域编码比特有限。另一类无芯片标签利用谐振结构将信息编码成频谱,具有信息存储大、识别距离远、费用低的优点,但天线尺寸随信息量的增大而剧烈增加。随后,两个垂直极化的天线结构、基于频率选择表面结构的无芯片标签^[41]相继出现。Rezaiesarlak等人^[42]采用space-time-frequency防冲突方法来识别极点和区分处于不同位置的标签,为提升无芯片标签的性能提供了一定的依据。

抗金属标签天线与算法的结合也引起了人们的研究兴趣^[43]。嵌入金属内部的标签^[44]适用于绝密军事装备或高昂油井钻头内部,无法拆卸和仿制,今后必将成为标签领域的研究重点。

5 结束语

物联网概念的推广、射频识别技术的不断发展对标签天线提出了新的要求。金属边界使普通标签天线的阻抗匹配、带宽和辐射方向图等性能出现不同程度的下降。本文从外部环境和天线设计出发,详细介绍了4种无源超高频抗金属标签天线的原理及设计方法,在分析各方法优缺点的同时,讨论了其对标签天线各方面的影响,最后展望了无源超高频抗金属标签天线在今后比较具有潜力的发展方向,以期从事此方面研究的人员提供参考。

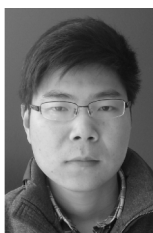
参考文献:

- [1] 陈宏山,何平. RFID标签天线技术发展综述[J]. 移动通信,2009,33(18): 25-28.
CHEN Hongshan, HE Ping. Review of the development of RFID tag antenna technology [J]. Mobile Communication, 2009, 33(18): 25-28. (in Chinese)
- [2] 许长青,王朱丹,盛喆,等. 一种新型UHF RFID抗金属标签天线的设计与分析[J]. 现代电子技术,2013,36(15): 59-61.
XU Changqing, WANG Zhudan, SHENG Zhe, et al. Design and analysis of novel UHF RFID antimetal tag antenna [J]. Modern Electronics Technique, 2013, 36(15): 59-61. (in Chinese)
- [3] Foster P R. Antenna problems in RFID systems [C] // Proceedings of 1999 IEE Colloquium on RFID Technolo-

- gy. London:IEEE,1999:3/1-3/5.
- [4] Dobkin D M, Weigand S M. Environmental Effects on RFID Tag Antennas [C] // Proceedings of 2005 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. Calif, USA:IEEE,2005:135-138.
 - [5] Griffin J D, Durgin G D, Haldi A, et al. RF Tag Antenna Performance on Various Materials Using Radio Link Budgets [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2006, 5(1): 247-250.
 - [6] Aroor S R, Deavours D D. Evaluation of the State of Passive UHF RFID: An Experimental Approach [J]. IEEE Systems Journal, 2007, 1(2): 168-176.
 - [7] Xi J T, Ye T T. Ultra Low-Profile Metal Tag Antenna Design with an Emphasis on Radiation Efficiency [C] // Proceedings of 2013 IEEE International Conference on RFID. Penang: IEEE, 2013: 41-49.
 - [8] Sievenpiper D, Zhang L J. High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1999, 47(11): 2059-2073.
 - [9] Phatra C, Krachodnok P. Design of a RFID Tag Using Dipole Antenna with Electromagnetic Band Gap [C] // Proceedings of 9th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology. Phetchaburi: IEEE, 2012: 1-4.
 - [10] Kim D H. Dual-Band Long-Range Passive RFID Tag Antenna Using an AMC Ground Plane [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(6): 2620-2626.
 - [11] Sim D U, Kim D H, Choi J I, et al. Design of Novel Dipole-Type Tag Antennas using Electromagnetic Bandgap (EBG) Surface for Passive RFID Applications [C] // Proceedings of 2007 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation Society. Honolulu, HI: IEEE, 2007: 1333-1336.
 - [12] 李荣强, 杜国宏, 唐军, 等. 一种双偶极子 RFID 标签天线设计 [J]. 微波学报, 2013, 29(3): 13-17.
LI Rongqiang, DU Guohong, TANG Jun, et al. A Dual-dipole RFID Tag Antenna Design [J]. Journal of Microwaves, 2013, 29(3): 13-17. (in Chinese)
 - [13] Hirvonen M, Pursula P, Jaakkola K, et al. Planar inverted-F antenna for radio frequency identification [J]. Electronics Letters, 2004, 40(14): 848-850.
 - [14] Chen H D, Tsao Y H. Low-profile PIFA Array Antennas for UHF band RFID Tags Mountable on Metallic Objects [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2010, 58(4): 1087-1092.
 - [15] Sidén J, Nilsson H E. An Electrically Small Elliptic PIFA for RFID in Harsh Metallic Environments [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronics, Systems. Tel Aviv: IEEE, 2013: 1-4.
 - [16] Zhang J, Long Y L. A Dual-layer Broadband Compact UHF RFID Tag Antenna for Platform Tolerant Application [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2013, 61(9): 4447-4455.
 - [17] Ukkonen L, Sydanheimo L, Kivikoski M. Effects of Metallic Plate Size on the Performance of Microstrip Patch-Type Tag Antennas for Passive RFID [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2005(4): 410-413.
 - [18] Son H W, Jeong S H. Wideband RFID Tag Antenna for Metallic Surfaces Using Proximity-Coupled Feed [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011(10): 377-380.
 - [19] Chiang C H, Cheng T H, Chen S Y. A Compact RFID Tag Antenna Using Miniaturized Patch Structure for Metallic Object Applications [C] // Proceedings of 2014 Antennas and Propagation Society International Symposium. Memphis: IEEE, 2014: 1510-1511.
 - [20] Ismael A M, Abdel-Rahman A B. A Meander Shaped Defected Ground Structure (DGS) for Reduction of Mutual Coupling Between Microstrip Antennas [C] // Proceedings of 31st National Radio Science Conference. Cairo: IEEE, 2014: 21-26.
 - [21] 王平, 文光俊. 集装箱表面的超高频 RFID 标签天线设计 [J]. 微波学报, 2011, 27(2): 42-46.
WANG Ping, WEN Guangjun. Design of UHF RFID Tag Antenna Used in Container [J]. Journal of Microwaves, 2011, 27(2): 42-46. (in Chinese)
 - [22] 高浩, 郭勇. 金属表面超高频 RFID 印刷标签天线设计 [J]. 现代电子技术, 2011, 34(7): 97-99.
GAO Hao, GUO Yong. Design of Printed Tag Antenna Mountable on Metallic Surface for UHF Band RFID [J]. Modern Electronics Technique, 2011, 34(7): 97-99. (in Chinese)
 - [23] Clementi G, Fortino N. A Novel Low Profile Tapered Slot Antenna with Absorbing Material for Radar Imagine System [C] // Proceedings of 7th European Conference on Antennas and Propagation. Gothenburg: IEEE, 2013: 2891-2895.
 - [24] Bo Gao. Passive UHF RFID Packaging with Electromagnetic and Gap (EBG) Material for Metallic Objects Tracking [J]. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2011, 1(8): 1140-1146.
 - [25] Abdulhadi A E. Passive UHF RFID Printed Monopole Tag Antenna for Identification of Metallic Objects [C] // Proceedings of International Symposium on Antennas and Propagation Society. Chicago, IL: IEEE, 2012: 1-2.
 - [26] Sharma A, Azeemuddin S, Harish A R. Miniature Slotted RFID Tag Antenna for Metallic Objects [C] // Proceedings of 2011 International Conference on Communications and Signal Processing. Kerala: IEEE, 2011: 353-357.
 - [27] Park I Y, Kim D H. Artificial magnetic conductor loaded long-range passive RFID tag antenna mountable on me-

- tallic objects [J]. Electronics Letters, 2014, 50 (5): 335–336.
- [28] Simone Z, Pau A, Gerard Z. An Impedance Matching Method for Optical Disc–Based UHF–RFID Tags [C] // Proceedings of IEEE International Conference on RFID. Orlando, FL: IEEE, 2014: 15–22.
- [29] 吴庭万, 张达, 凌学明. 用开路线馈电结构的宽带超高频 RFID 标签天线 [J]. 移动通信, 2011(12): 73–77.
WU Tingwan, ZHANG Da, LING Xueming. Broadband UHF RFID Tag Antenna with Open–circuited Feed Line [J]. Mobile Communication, 2011 (12): 73–77. (in Chinese)
- [30] Ryoo J, Choo J, Choo H. Novel UHF RFID Tag Antenna for Metallic Foil Packages [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(1): 377–379.
- [31] Marrocca G. RFID Antennas for the UHF Remote Monitoring of Human Subjects [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(6): 619–622.
- [32] Bashri M S R, Ibrahimy M I, Motakabber S M A. A Planar Wideband Inductively Coupled Feed Patch Antenna for UHF RFID Tag [C] // Proceedings of IEEE International Conference on RFID Technologies and Applications. Johor Bahru: IEEE, 2013: 302–306.
- [33] Huang L K, Lin C S, Mittra R. A Looped–Bowtie RFID Tag Antenna Design for Metallic Objects [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2013, 61 (2): 499–505.
- [34] Kim J S, Choi W, Choi G Y. Ceramic Patch Antenna for UHF RFID Tag Embedded in Metallic Objects [C] // Proceedings of 2009 Antennas and Propagation Society International Symposium. Charleston: IEEE, 2009: 1–4.
- [35] 黄梦雅, 丁召, 胡明哲. UWB 天线的宽带化技术及其发展 [J]. 电讯技术, 2014, 54(2): 236–244.
HUANG Mengya, DING Zhao, HU Mingzhe. Ultra–wide Band Technology and its Development of UWB Antennas [J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54 (2): 236–244. (in Chinese)
- [36] Abdulhadi A S, Ismail A. Metal Mount Fractal RFID Tag Antenna with Complementary Split Ring Resonator [C] // Proceeding of the 2013 IEEE International Conference on RFID Technologies and Applications. Johor Bahru, Malaysia: IEEE, 2013: 1–5.
- [37] Chen H D, Kuo S H. Coupling–Feed Circularly Polarized RFID Tag Antenna Mountable on Metallic Surface [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(5): 2166–2174.
- [38] Du G H, Tang T, Deng Y. Dual–band metal skin UHF RFID tag antenna [J]. Electronics Letters, 2013, 49 (14): 858–860.
- [39] Cho J H, Son H W, Jeong S H, et al. A Flexible, Wideband RFID Tag Antenna for Metallic Surfaces [C] // Proceedings of International Symposium on Antennas and Propagation Society. Chicago, IL: IEEE, 2012: 1–2.
- [40] Akshay J, Harish A R. Performance Study of RFID Tags Placed on Metallic Cylinders [C] // Proceedings of IEEE–APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications. Torino: IEEE, 2013: 1052–1055.
- [41] Costa F, Genovesi S, Monorchio A. Chipless RFIDs for Metallic Objects by Using Cross Polarization Encoding [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(8): 4402–4407.
- [42] Rezaiesarlak R, Manteghi M. A Space–Time–Frequency Anticollision Algorithm for Identifying Chipless RFID Tags [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(3): 1425–1432.
- [43] Pichler A, Steffellbauer D, Nazarov A. Examples for Genetic Algorithm based Optimal RFID Tag Antenna Design [C] // Proceedings of 2014 IEEE RFID Technology and Applications Conference. Tampere: IEEE, 2014: 223–227.
- [44] Hotte D, Siragusa R, Tedjini S. A New Concept of UHF RFID Tag for Metallic Object Tracking with Embedded Cavity [C] // Proceedings of 2014 IEEE RFID Technology and Applications Conference. Tampere: IEEE, 2014: 237–240.

作者简介:



章国庆 (1990—), 男, 江苏南京人, 2013 年获学士学位, 现为上海海事大学硕士研究生, 主要研究方向为标签天线的理论与设计等;

ZHANG Guoqing was born in Nanjing, Jiangsu Province, in 1990. He is now a graduate student. His research concerns theory and design of tag antenna etc.

Email: zgq57291759@163.com

蒋开明 (1967—), 男, 江苏姜堰人, 副教授、硕士生导师, 主要研究方向为自旋电子学、天线理论与设计;

JIANG Kaiming was born in Jiangyan, Jiangsu Province, in 1967. He is now an associate professor and also the instructor of graduate students. His research interests include spintronics, and antenna theory and design.

Email: kmjiang@shmtu.edu.cn

特木尔朝鲁 (1962—), 男, 内蒙古通辽人, 教授、博士生导师, 主要研究方向为吴方法与 PDEs 对称及应用研究、智能算法。

Temuer Chaolu was born in Tongliao, Neimenggu Autonomous Region, in 1962. He is now a professor and also the Ph. D. supervisor. His research concerns Wu's method, PDEs symmetry and its application, and intelligent algorithm.

Email: tmchaolu@shmtu.edu.cn