

一种小型化类条形码无芯片电子标签的设计

邢海涛, 黄剑梅, 曾馨慧, 叶怡, 马中华

(集美大学海洋信息工程学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了使射频识别(radio frequency identification, RFID)系统的标签能够应用到低价值商品,降低射频电子标签成本,设计了一种类条形码的无芯片电子标签。该标签由介质基板上刻蚀一系列长度相同、宽度不同的微带缝隙组成,类似于光条形码结构。采用4-bit的编码结构,验证了几种典型的编码状态无芯片标签设计的准确性和有效性,并通过增加长度不同的谐振器组扩展编码容量。这种结构的无芯片标签有取代目前流行的条形码的潜力,能够实现低价格商品的自动识别,无需人工干预,在应用中节省了人力、物力和时间。

[关键词] 条形码; 无芯片标签; 射频识别; 雷达散射截面; 编码

[中图分类号] TN 929.5

Design of a Miniaturized Barcode-Like Chipless Electronic Tag

XING Haitao, HUANG Jianmei, ZENG Xinhui, YE Yi, MA Zhonghua

(School of Ocean Information Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to make the tags of the radio frequency identification (RFID) system be applied to low-cost goods, reducing the cost of radio frequency electronic tags, a barcode-like chipless electronic tag is designed. The chipless tag is composed of a series of microstrip slots with the same length and different widths etched on the dielectric substrate, which is similar to the optical barcode structure. The experiment adopts 4-bit encoding structure to verify the accuracy and validity of several chipless tag designs for coding states. The encoding capacity can be expanded by adding resonator groups with different lengths. In addition to saving labor, material resources and application time, the chipless tag suggested in this research has the potential to replace the already widely used barcodes and achieve automatic identification of inexpensive goods without human involvement.

Keywords: barcode; chipless tag; radio frequency identification (RFID); radar cross section; encoding

0 引言

射频识别(radio frequency identification, RFID)系统已经成功应用到人们日常生活的方方面面^[1-4]。传统的标签是由硅芯片和天线组成,成本较高;而且,硅芯片的材料和工艺流程不能简化,无法进一步降低传统标签的成本;因此,传统带芯片的标签无法应用到低价值的商品上,限制了

[收稿日期] 2022-10-13

[基金项目] 福建省自然科学基金项目“无芯片标签防碰撞关键技术的研究”(2022J01823);大学生创新创业项目“类条形码RFID系统无芯片电子标签设计”(2019xj208);福建省教育厅中青年教育科研项目“5G视频传输终端研究”(JAT200283)

[作者简介] 通信作者:邢海涛(1981—),男,实验师,从事无线通信电路方向研究。E-mail:xht2005@jmu.edu.cn

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

RFID 系统的进一步推广^[5]。近年来, 研究人员对无芯片标签展开了研究。Vena 等^[6]提出了基于雷达散射截面 (radar cross section, RCS) 域的圆环微带贴片无芯片标签, 采用微带圆环嵌套的方法提高了单位面积的编码容量; 黄能玉等^[7]提出了基于微带传输线耦合的可重发无芯片标签, 采用 U 形微带嵌套提高了带阻谐振器的品质因数, 通过短路谐振器的方法减小谐振频率的偏移; Chamarti 等^[8]提出了一种基于传输延迟线的时域工作的无芯片标签, 在 915 MHz 的频率上实现了二进制振幅键控调制; Prabavathi 等^[9]提出了由方形环路和可调频率的微带线组成的可重发无芯片标签; 文献 [10] 提出基于微带线结构类条形码的无芯片标签; 文献 [11] 使用相同的微带偶极子阵列进行电容调谐, 实现不同的频率谐振; 文献 [12] 介绍了半八边形铜带谐振器组成的大容量的无芯片标签。但这些无芯片标签存在标签面积较大、灵敏度较低、容易产生误码等问题。鉴于此, 本研究设计了一种类似光学条形码的无芯片标签, 以期降低标签成本, 提高编码容量。

1 类条形码无芯片标签设计

参考了文献 [13], 介质基板上的缝隙结构和其对应的谐振频率关系为

$$f = (C/2L) \sqrt{2/(\epsilon_r + 1)}$$

其中: f 是谐振频率; C 是光速; L 是缝隙的长度; ϵ_r 是介质基板的相对介电常数。本研究基板采用厚度 h 为 1 mm、相对介电常数 ϵ_r 为 2.2、损耗角正切 $\tan D$ 为 0.0007 的聚四氟乙烯玻璃布覆铜箔板 F4BM。缝隙长度 L 固定为 30 mm, 缝隙宽度 W 分别取 0.1 (W_1)、0.3 (W_2)、0.4 (W_3)、0.5 (W_4) mm, 用三维电磁高频结构仿真器 (high-frequency structure simulator, HFSS) 仿真的标签的 RCS 频谱特征如图 1 所示。

由图 1 可见, 在缝隙长度固定的情况下, 当缝隙宽度为 0.1 mm 时, RCS 的频谱在 3.71 GHz 时形成一个凹陷, 这时谐振频率为 3.71 GHz; 当缝隙宽度为 0.3 mm 时, 谐振频率为 3.80 GHz; 当缝隙宽度为 0.4 mm 时, 谐振频率为 3.95 GHz; 当缝隙宽度为 0.5 mm 时, 谐振频率为 4.21 GHz。可见, 当缝隙长度相同而宽度不同时, 其谐振频率是不同的。利用缝隙宽度不同, 可以设计出类似条形码的无芯片标签。比如对于 RCS 的频谱上出现凹陷的特征记为逻辑“1”状态, 没有凹陷的特征记为逻辑“0”状态, 通过 RCS 频谱上凹陷的存在和消失就可以把数据信息编码到标签中。

图 2 是微带缝隙长度为 30 mm 时, 编码为 ID1111 的 4-bit 无芯片标签的结构示意图, 基板选用 F4BM。在 HFSS 仿真软件中建模, 得到的 RCS 的仿真频谱结构如图 3 所示。编码为 ID1111 的无芯片标签的四个谐振器对应的谐振频率分别是 3.65、3.80、3.96、4.20 GHz。将此标签的编码作为参考标签, 和其他标签谐振频率进行对比, 可以得出其他标签的各种编码。为了实现编码状态位为“0”时, 其他位的频率特征对应的谐振频率不会发生较大偏移, 本研究采用将微带缝隙谐振器短路的方法, 避免了其他编码状态的标签出现谐振频率的较大偏移。

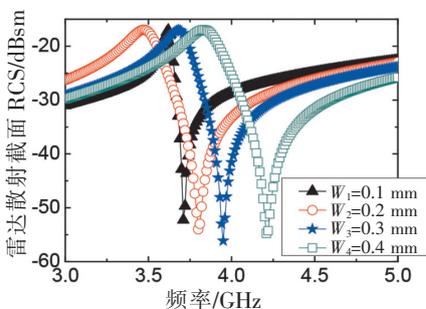


图 1 缝隙长度为 30 mm 时, 不同缝隙宽度的谐振曲线

Fig.1 Resonance curves with different slot widths when the slot length is fixed at 30 mm

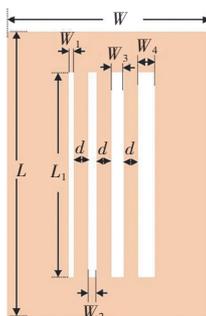


图 2 类条形码的微带缝隙无芯片标签
Fig.2 Barcode-like chipless tag composed of microstrip slots

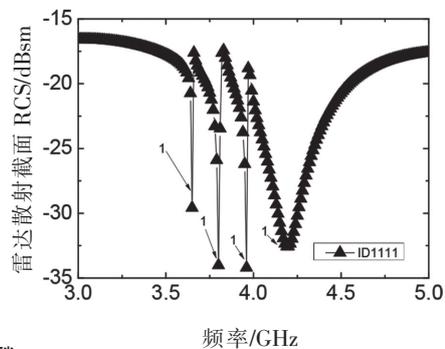


图 3 编码为 ID1111 的频谱特征
Fig.3 Spectral features encoded as ID1111

该结构能够在 RCS 的频谱上产生明显的特征，利用这些频谱特征可进行相应的编码。4-bit 的四条缝隙刻蚀在面积为 $19.5 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$ 的基板上，基板厚度 h 为 1 mm ，I 型缝隙谐振器之间的间距 d 恒等于 2 mm ，缝隙谐振器的长度 L_1 为 30 mm ，第一个缝隙宽度 W_1 为 0.1 mm ，第二个缝隙的宽度 W_2 为 0.3 mm ，第三个缝隙宽度 W_3 为 0.4 mm ，第四个缝隙宽度 W_4 为 0.5 mm 。

2 实验分析

图 2 中四个缝隙谐振器对应的谐振频率分别为 3.65 、 3.80 、 3.96 、 4.20 GHz ，把 ID1111 标签作为参考标签，若其他编码的标签在参考标签对应的谐振特征处没有相似的凹陷就看作是逻辑“0”状态。凹陷深度越深，灵敏度较高，识别率就越好。图 4 ~ 8 是把对比标签 ID1100、ID1010、ID0101、ID0011、ID1001 的谐振曲线和参考标签 ID1111 进行对比。为了减小缝隙谐振器消失时带来大的谐振频率偏移，采用导体短路谐振器让其谐振频率消失，实现逻辑“0”状态，如图 9 所示。

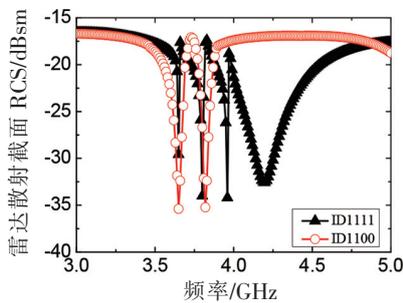


图 4 编码为 ID1100 无芯片标签的频谱特征
Fig.4 Spectral features encoded as ID1100

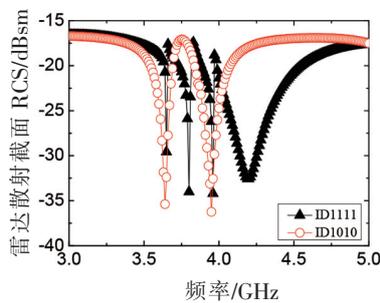


图 5 编码为 ID1010 无芯片标签的频谱特征
Fig.5 Spectral features encoded as ID1010

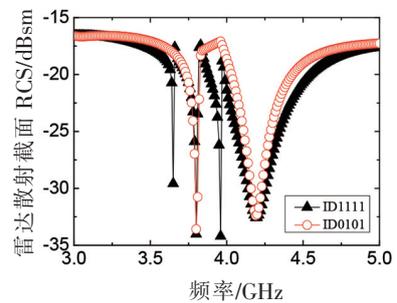


图 6 编码为 ID0101 无芯片标签的频谱特征
Fig.6 Spectral features encoded as ID0101

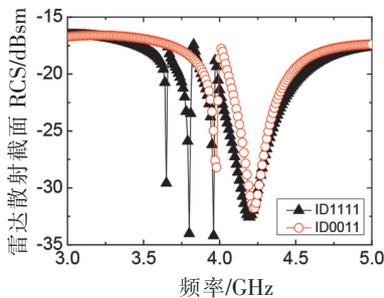


图 7 编码为 ID0011 无芯片标签的频谱特征
Fig.7 Spectral features encoded as ID0011

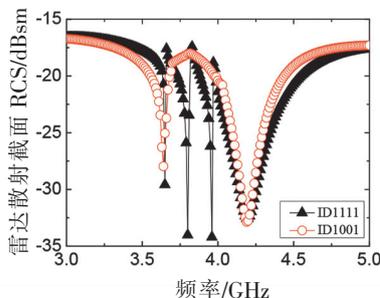


图 8 编码为 ID1001 无芯片标签的频谱特征
Fig.8 Spectral features encoded as ID1001



图 9 编码为 ID1001 无芯片标签的结构图
Fig.9 Structure diagram of the chipless tag encoded as ID1001

可以看到图 4 ~ 8 中逻辑状态为“1”的谐振特征和参考标签基本一致，最大偏差不超过 30 MHz 。由图 9 可见，编码为 ID1001 的标签结构，将缝隙宽度为 0.3 mm 和 0.4 mm 的缝隙用导体从中间短路。由图 8 可看到，缝隙谐振器对应谐振特征消失，达到了编码的目的。当编码的组合方式发生变化时，为了防止频点的大范围偏移，将缝隙谐振器短路。对于较长的谐振器，用短路多次的方式，这样频率偏移不会太大，保持在可识别的范围内。

无芯片标签在实际应用时，可能需要打印在不同厚度的物品上。为了验证物品厚度对标签性能的影响，本文在 F4BM 介质不变的情况下，分别取了 0.7 、 0.8 、 1.0 、 1.3 mm 四种不同的厚度。各种厚度无芯片标签 RCS 频谱谐振点对应的谐振频率如表 1 所示。由表 1 可知，随着介质厚度增加，每个谐振点对应的谐振频率向低频移动，但是每种厚度下的无芯片标签编码状态仍然很清晰。

为了增加编码容量, 再增加一组四条长度 L_2 为 20 mm 而宽度不同的缝隙, 组成 8-bit 编码的无芯片标签 (如图 10 所示)。长度 $L_1 = 30$ mm 的这组宽度不同的缝隙谐振器对应的谐振频率范围为 (f_1, f_2) ; 长度为 L_2 的这组宽度不同的缝隙谐振器对应的谐振频率范围为 (f_3, f_4) 。相邻谐振器之间的间距也是固定的, 这样对于同一种介质材料来说, 各个谐振器对应的谐振频率就确定了。对于不同的介质材料, 谐振频率会发生变化, 但是对于图 10 所示的结构, 编码状态是保持不变的。图 11 是仿真图 10 的 RCS 频谱特征, 共有 8 个明显的频谱凹陷。

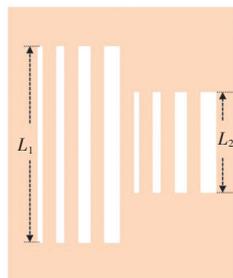


图 10 增加长度为 L_2 的 4 条宽度不同的缝隙谐振器
Fig.10 Add 4 slot resonators with different widths and the length is fixed L_2

表 1 不同介质厚度无芯片标签对应的谐振频率
Tab.1 Resonant frequencies corresponding to different dielectric thicknesses chipless tag

厚度/mm	谐振频率/GHz			
	1	2	3	4
$h = 0.7$	3.91	4.09	4.21	4.44
$h = 0.8$	3.81	3.99	4.11	4.31
$h = 1.0$	3.65	3.80	3.96	4.20
$h = 1.3$	3.61	3.84	4.00	4.18

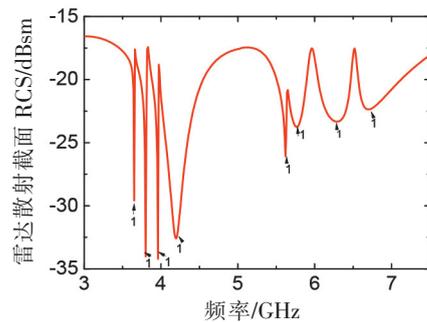


图 11 编码为 ID1111 无芯片标签的频谱特征
Fig.11 Spectral features encoded as ID1111

表 2 中所示的可重发无芯片标签采用了收发两面天线, 但是标签的面积较大, 使其应用受限; 而基于 RCS 频谱特征的无芯片标签, 由于没有收发天线, 使得尺寸较小。因为 4-bit 编码的无芯片标签最宽宽度的谐振器对应的最低谐振频率为 3.65 GHz, 最窄宽度的谐振器对应的最高谐振频率为 4.2 GHz, 这样编码容量为 $4 \text{ bit}/(4.2 - 3.65) \text{ GHz} = 7.3 \text{ bit}/\text{GHz}$ 。将本文提出的类条形码无芯片标签, 同其他学者^[7,9-10,14-15]提出的无芯片标签进行比较 (见表 2), 发现本文提出的类条形码无芯片标签尺寸小、编码容量较大、频率分辨率高, 总体性能较优良。

表 2 不同的无芯片标签比较
Tab.2 Comparison of different chipless tags

参考文献	无芯片标签类型	谐振器	谐振器品质因数 Q	编码容量/ (bit · GHz ⁻¹)	频率分辨率/MHz	标签尺寸/ (mm × mm)
文献[7]	可重发	U 型微带	52	6.5	120	较大
文献[9]	可重发	L 型微带	—	8	—	70 × 90
文献[10]	RCS	I 型微带	100	9.7	60	—
文献[14]	可重发	六边形开环缝隙	5.1	2.58	800	较大
文献[15]	RCS	弧形缝隙	45.32	3.85	—	38 × 18
本文	RCS	I 型缝隙	26	7.3	160	19.5 × 45

3 结论

本文设计的类条形码射频识别无芯片电子标签, 可用来自动识别低价值物品。在 F4BM 介质板上刻蚀一系列等长不等宽的缝隙, 通过实验验证了 4-bit 编码容量类条形码无芯片标签能区分出各种编

码的状态。逻辑状态为“1”的谐振频率与参考标签对应的谐振频率相比,频率偏移最大不超过 30 MHz,谐振频率处的频谱特征凹陷较深,识别灵敏度高。由于成本远远小于传统的带芯片标签,本研究的无芯片电子标签可以应用到无人售货柜、生产流水线等场景,应用前景广阔。

[参 考 文 献]

- [1] CHANG G A, LI B J, YUAN R P. Introduction to the RFID technology in the application of the smart supermarket [C]//2015 International Conference on Mechanical Engineering and Electrical Systems (ICMES 2015), Singapore: ACM, 2015: 07008. DOI:10.1051/mateconf/20164007008.
- [2] NING J Y, XIE L, WANG C Y, et al. Revolving scanning on tagged objects 3D structure detection of logistics packages via RFID systems [J]. Transactions on Sensor Networks, 2022, 18(2): 1-29. DOI:10.1145/3490171.
- [3] LUO Z Y, ZHANG R, WANG Q. Research of encoding rules for RFID tags used in automobile parts production line [J]. Mechanics and Material, 2012, 220/221/222/223: 71-77. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.220-223.71.
- [4] SUNIL, OJHA N. Radio frequency identification (RFID) technology in library: advantages and issues [C]//2nd International conference on Inventive Systems and Control (ICISC). Coimbatore, India: IEEE, 2018: 1206-1213. DOI:10.1109/ICISC.2018.8398996.
- [5] KAISER U, STEINHAGEN W. A low-power transponder IC for high performance identification systems [J]. Journal of Solid-State Circuits, 1995, 30(3): 335-338. DOI:10.1109/4.364446.
- [6] VENA A, PETTET E, TEDJINI S. High-capacity chipless RFID tag insensitive to the polarization [J]. Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(10): 4509-4515. DOI:10.1109/TAP.2012.2207347.
- [7] 黄能玉, 郭佳庆, 韦雪婷, 等. 基于微带耦合的可重发无芯片标签设计 [J]. 福州大学学报(自然科学版), 2020, 48(2): 192-197. DOI:10.7631/issn.1000-2243.19421.
- [8] CHAMARTI A, VARAHRAMYAN K. Transmission delay line-based ID generation circuit for RFID applications [J]. Microwave and Wireless Components Letters, 2006, 16(11): 588-590. DOI:10.1109/LMWC.2006.884897. DOI:10.1109/LMWC.2006.884897.
- [9] PRABAVATHI P, RANI S S. Modified microstrip transmission line based chipless RFID tag with high bit encoding [J]. Measurement, 2022, 190: 110684. DOI:10.1016/j.measurement.2021.110684.
- [10] JALALY I, ROBERTSON I D. RF barcodes using multiple frequency bands [C]//2005 IEEE MTT-S International Microwave Symposium. Long Beach, CA: IEEE, 2005: 139-142. DOI:10.1109/MWSYM.2005.1516542.
- [11] JALALY I, ROBERTSON I D. Capacitively-tuned split microstrip resonators for RFID barcodes [C]//35th European Microwave Conference. Paris, France: IEEE, 2005: 1161-1164.
- [12] HAIDER U A, NOMAN M, RASHID A, et al. A semi-octagonal 40-bit high capacity chipless RFID tag for future product identification [J]. Electronics, 2023, 12(2): 349. DOI:10.3390/electronics12020349.
- [13] DISSANAYAKE T, ESSELLE K P. Prediction of the notch frequency of slot loaded printed UWB antennas [J]. Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55: 3320-3325. DOI:10.1109/TAP.2007.908792.
- [14] 顾姗姗, 张亚曦, 田小敏, 等. 基于互补六边形开环谐振器的无芯片 RFID 标签 [J]. 电子元件与信息技术, 2021, 5(11): 145-147. DOI:10.19772/j.cnki.2096-4455.2021.11.058.
- [15] 李珊珊, 薛严冰, 宋智, 等. 基于弧型谐振器的高密度无芯片 RFID 标签 [J]. 大连交通大学学报, 2020, 41(6): 100-105. DOI:10.13291/j.cnki.djdxac.2020.06.019.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄振坤)