

# 手持式声表面波射频识别系统

彭福强<sup>1</sup>, 陈智军<sup>1</sup>, 陈涛<sup>1</sup>, 李庆亮<sup>2</sup>, 贾浩<sup>1</sup>

(1. 南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 211106; 2. 深圳信息职业技术学院 机电学院, 广东 深圳 518172)

**摘要:**针对脉冲时延结合相位编码的声表面波标签, 设计了相应的射频识别系统, 阅读器接收链路采用零中频正交解调方案。实际制作了编码容量接近 300 万的标签和采用 4 层印制电路板(PCB)结构的小型化阅读器硬件电路。通过对硬件电路、陶瓷天线、液晶屏的一体化布局, 搭建了一款手持式声表面波射频识别系统, 并测试了阅读器的发射、接收链路及陶瓷天线的回波损耗。手持式系统的识别距离可达 50 cm, 液晶屏不仅能显示识别结果, 还能显示图像信息以实时调试系统。

**关键词:**射频识别系统; 手持式; 声表面波标签; 零中频正交解调; 阅读器; 天线

**中图分类号:** TN82; TB973

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.11977/j.issn.1004-2474.2018.03.009

## Portable Surface Acoustic Wave Radio-frequency Identification System

PENG Fuqiang<sup>1</sup>, CHEN Zhijun<sup>1</sup>, CHEN Tao<sup>1</sup>, LI Qingliang<sup>2</sup>, JIA Hao<sup>1</sup>

(1. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shenzhen Institute of Information Technology, Shenzhen 518172, China)

**Abstract:** For the surface acoustic wave (SAW) tag with pulse time delay and phase coding, the radio frequency identification (RFID) system is designed, and the zero intermediate frequency (IF) quadrature demodulation scheme is adopted in the reader-receiving link. We manufactured the tags with the coding capacity of nearly 3 million as well as the miniaturized reader hardware circuit using a four-layer printed circuit board (PCB) structure. A portable SAW RFID system is set up through the integrated layout of the hardware circuit, the ceramic antenna, and the LCD screen, and the transmit/receive chains as well as the return loss of the ceramic antenna are tested accordingly. The identification distance of the portable system is 50 cm, and the LCD screen can not only display the identification result, but also display the image information to debug the system in real time.

**Key words:** radio frequency identification system; portable type; surface acoustic wave tag; zero intermediate frequency quadrature demodulation; reader; antenna

## 0 引言

射频识别(RFID)是物联网及其相关领域的关键技术,与条码识别、磁卡识别等技术相比,其具有无接触、识别速度快等优点<sup>[1]</sup>。基于声表面波(SAW)技术的RFID系统是一种新型的RFID系统,与常规的基于集成电路(IC)的RFID系统相比,其具有标签纯无源、防篡改、适用于恶劣极端环境等特点,从而可作为IC RFID系统的重要补充<sup>[2-3]</sup>。

RFID系统由标签和阅读器组成,两者之间通过天线实现信息的无线传输。阅读器通常分为固定式和手持式两种<sup>[4]</sup>。固定式阅读器的天线增益高,尺寸大,读写距离较远,通常留有电源接口和通信接口,可将数据传输到计算机或服务器等设备以进一

步进行数据处理,但由于天线尺寸较大等原因,便携性较差,一般仅适用于固定出入口使用。手持式阅读器的使用较灵活、方便,通常由电池供电,对系统的功耗有明确要求。由于手持式阅读器对硬件电路、天线、显示屏的尺寸都有着较严格的限制,在一定程度上需要以牺牲系统的性能为代价,因此,其识别距离比固定式的近。

针对脉冲时延结合相位大容量编码方案的SAW标签,本文设计了相应的手持式RFID系统,阅读器的接收链路采用零中频正交解调方案。本文实际制作了采用4层印制电路板(PCB)结构的小型化阅读器硬件电路,选用相应尺寸的陶瓷天线和液晶屏,通过对硬件电路、陶瓷天线、液晶屏的一体化

收稿日期:2017-09-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51475240);航空科学基金资助项目(2014ZD52053)

作者简介:彭福强(1993-),男,山西大同人,硕士生,主要从事声表面波传感与识别技术的研究。通信作者:陈智军(1976-),男(侗族),湖北武汉人,副教授,硕士生导师,主要从事声表面波传感与识别技术的研究。E-mail: zjchen@nuaa.edu.cn.

布局,搭建了手持式 SAW RFID 系统,并测试了阅读器的发射、接收链路及陶瓷天线的回波损耗以验证系统的性能。手持式系统的识别距离可达 50 cm,满足大多数手持式射频识别场景的应用要求。系统不仅能显示标签编码,还能实时显示正交解调后的图像信息,以便对系统进行实时调试。

### 1 系统工作原理

SAW 标签由压电基底、叉指换能器(IDT)和反射栅构成。SAW RFID 系统的工作原理如图 1 所示。阅读器通过天线发射的射频查询脉冲经标签天线接收进入 IDT,通过逆压电效应转换为 SAW;SAW 在沿压电基底传播的过程中遇到反射栅产生部分反射和部分透射,其反射信号由 IDT 经正压电效应转换为回波脉冲串。阅读器通过回波脉冲串时间延迟与反射栅位置间的关系获得标签编码信息。

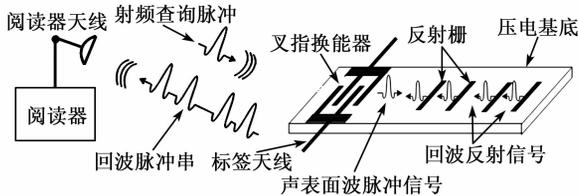


图 1 SAW 射频识别系统工作原理

SAW 标签常见的编码方式是脉冲幅度编码和脉冲时延编码<sup>[5]</sup>,但其编码容量有限,限制了 SAW RFID 系统的大规模应用。同等条件下,相位分辨率远大于时间分辨率,因此可通过测量相位来弥补时间分辨率的不足,从而实现编码容量的大幅度提升。脉冲时延结合相位编码<sup>[6-7]</sup>是采用上述特点的一种大容量 SAW 标签编码方案,其标签结构如图 2 所示。图中的 SAW 标签,起始反射栅和截止反射栅的位置固定,在作为参考反射栅的同时还可消除环境温度的影响<sup>[8]</sup>。起始和截止反射栅之间的其他

反射栅为编码反射栅,分别位于标签的各个数据区中。标签有  $X$  个数据区,每个数据区有  $n$  个时隙,分别以“1”,“2”, $\dots$ ,” $n$ ”区分,解码时可通过不同时隙的反射栅对应的脉冲时延来分辨;每个时隙又细分为  $N$  个相隙,分别以“A”,“B”, $\dots$ ,” $N$ ”区分,解码时无法通过脉冲时延分辨,必须通过不同相隙的反射栅对应的脉冲相位才能分辨。采用上述方案的编码容量为  $(n \times N)^X$ 。若每个标签上总共有 8 个反射栅,标签为 6 个数据区,每个数据区有 4 个时隙,每个时隙有 3 个相隙,则编码容量接近 300 万,可满足很多场合的应用要求。

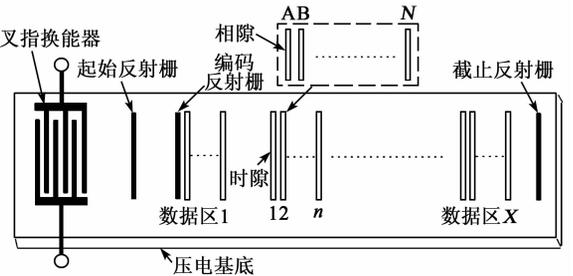


图 2 脉冲时延结合相位编码的声表面波标签结构

### 2 系统设计

系统的结构框图如图 3 所示。阅读器发射链路由本振源、调制开关、功率放大器组成,用于产生中心频率( $f_0$ )为 922.5 MHz 的射频查询脉冲信号。接收链路对经过低噪声放大器、带通滤波器后的回波信号进行零中频正交解调<sup>[9]</sup>。发射链路与接收链路之间的切换通过隔离开关完成。阅读器采用现场可编程门阵列(FPGA)和 ARM 共同作为中央处理器(CPU)分工合作的方式,通过 FPGA 精确控制时序,通过 ARM 对接收到的回波进行信号处理并在液晶屏显示识别结果。由于系统采用手持式,整个阅读器采用电池供电<sup>[10]</sup>。

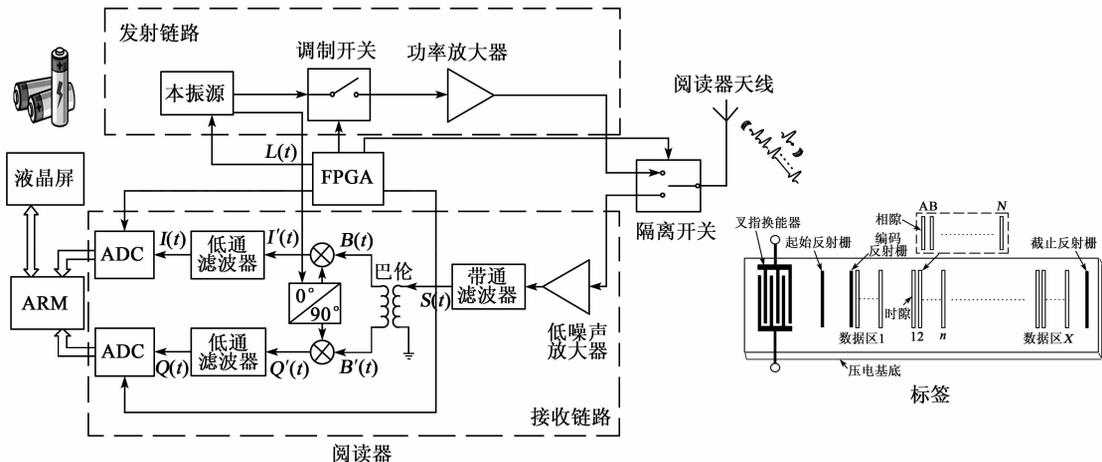


图 3 系统结构框图

本振信号为

$$L(t) = C\cos(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

式中： $C$ 为本振信号的幅值； $t$ 为工作时间。

经过低噪声放大器、带通滤波器后的回波信号可描述为

$$S(t) = \sum_{i=1}^k A_i(t)\cos(2\pi f_0 t + \varphi_i) \quad (2)$$

式中： $k$ 为回波脉冲串的数量，即标签的反射栅数量； $A_i(t)$ 为第  $i$  个反射栅的回波包络幅值； $\varphi_i$  为第  $i$  个反射栅的相位。

本振信号  $L(t)$  经过  $0^\circ/90^\circ$  移相器后分别与回波信号  $S(t)$  经过巴伦得到的两路差分信号  $B(t)$ 、 $B'(t)$  混频，得到  $I'(t)$ 、 $Q'(t)$  两路信号：

$$\begin{cases} I'(t) = B(t) \times C\cos(2\pi f_0 t) = \sum_{i=1}^k \frac{A_i(t)C}{2} \cdot \\ \quad [\cos(4\pi f_0 t + \varphi_i) + \cos \varphi_i] \\ Q'(t) = B'(t) \times C\sin(2\pi f_0 t) = \\ \quad - \sum_{i=1}^k \frac{A_i(t)C}{2} [\sin(4\pi f_0 t + \\ \quad \varphi_i) - \sin \varphi_i] \end{cases} \quad (3)$$

$I'(t)$ 、 $Q'(t)$  经过低通滤波，得到两路基带信号  $I(t)$ 、 $Q(t)$ ：

$$\begin{cases} I(t) = \sum_{i=1}^k \frac{A_i(t)C}{2} \cos \varphi_i \\ Q(t) = \sum_{i=1}^k \frac{A_i(t)C}{2} \sin \varphi_i \end{cases} \quad (4)$$

模/数转换器(ADC)采样两路基带信号，通过  $I(t)$ 、 $Q(t)$  的平方和、反正切，解算出标签各反射栅的时延、相位，并进一步判断出每个反射栅位于各自数据区的时隙和相隙。所有编码反射栅的时隙、相隙的组合即为标签编码。

### 3 系统实现

针对标签上总共有 8 个反射栅，标签为 6 个数据区，每个数据区有 4 个时隙，每个时隙有 3 个相隙的编码方案，实际制作的 SAW 标签实物如图 4 所示。



图 4 SAW 标签实物

阅读器硬件电路采用 4 层 PCB 板的结构，第一、四层用于局部分割铺铜以及焊接元器件，第二、三层进行地层和电源层的分割。制作完成的 PCB 板厚度为 1.6 mm，长和宽为 12 cm×12 cm，如图 5 所示。

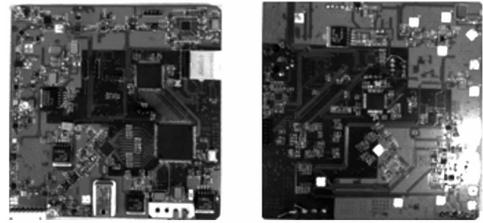


图 5 阅读器硬件电路实物

阅读器本振源产生 922.5 MHz 的射频信号，通过 FPGA 控制调制开关产生射频查询脉冲，再通过功率放大器放大。采用带频域功能的高频示波器测得的阅读器发射信号如图 6(a) 所示，射频查询脉冲的中心频率为 922.5 MHz，功率为 22.312 dBm，且中心频率附近几乎无其他杂散频率，说明发射链路产生的信号质量较好，满足系统的使用要求。通过矢量网络分析仪为阅读器接收链路提供中心频率为 922.5 MHz，功率为 -50 dBm 的输入信号。对低噪声放大、带通滤波后的信号进行测试，测试结果如图 6(b) 所示。接收链路的总增益为 10.593 dBm - (-50) dBm = 60.593 dB。

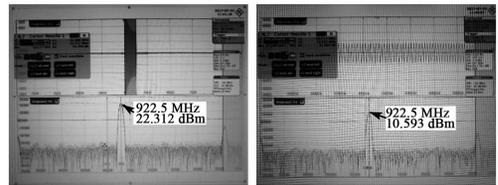


图 6 阅读器收发链路测试

阅读器天线选用增益为 6 dBi 的右旋圆极化陶瓷天线，包括参考地的天线总尺寸为 12 cm×12 cm，完整的天线参数如表 1 所示。结合图 6(a) 测得的发射链路功率 22.312 dBm 可知，系统的发射信号总功率(发射链路端口功率+天线增益)为 22.312 dBm + 6 dBi = 28.312 dBm，符合国家标准在 800 MHz/900 MHz 频段规定的发射功率不超过 2 W(约 33 dBm)的要求。

表 1 阅读器天线参数

陶瓷介质尺寸/mm	天线总尺寸/mm	中心频率/MHz	带宽/MHz	增益/dBi	特性阻抗/ $\Omega$	极化方式
80×80	120×120	922.5	21	6	50	圆极化

阅读器天线实物如图 7(a) 所示。通过矢量网络分析仪对天线的回波损耗进行测试，结果如图 7(b) 所示。天线在中心频率 924.110 MHz 处的反射系数  $S_{11}$  值最小(为 -38.034 dB)，其绝对带宽约为 39.800 MHz。本系统的信号频率为 920.5 ~

924.5 MHz,处于天线的带宽范围内,该陶瓷天线可满足系统的使用要求。

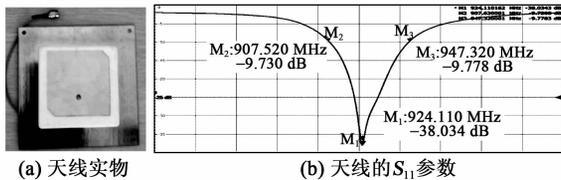


图7 阅读器天线

将阅读器天线接入系统,SAW 标签放在阅读器的可识别范围内,通过示波器对正交解调前的标签回波信号进行测试,测试结果如图8所示。由图可见,8个反射栅对应8个回波脉冲,且回波信号的信噪比较好,便于后续正交解调和ADC采样。

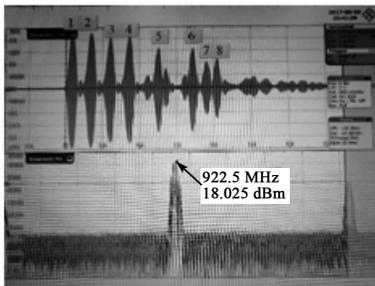


图8 标签回波信号测试

本系统选用一款4.3英寸(1 in = 2.54 cm) LCD电阻触摸型液晶屏。将阅读器硬件电路、阅读器天线、液晶屏进行一体化布局和手工DIY包装,手持式系统实物如图9所示。



图9 手持式系统实物

液晶屏具有曲线控件功能,可以显示正交解调后I、Q基带信号的平方和、反正切图像以计算反射栅时延和相位信息,如图10所示。通过图10可以实时对手持式系统进行调试。

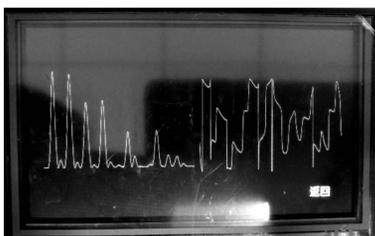


图10 I、Q基带信号的平方和、反正切  
针对已知编码“3A-2C-1B-2C-4B-1A”的SAW

标签,手持式系统的识别结果如图11所示。系统算出的编码与标签实际编码一致,表明了系统的有效性。多次实验表明,系统的识别距离可达50 cm,满足大多数手持式射频识别场景的应用要求。



图11 系统的识别结果

#### 4 结束语

为使声表面波射频识别系统具有更好的便携性,使用起来更灵活、方便,设计并实现了一款手持式系统。该系统采用脉冲时延结合相位编码方案的声表面波标签,编码容量可达300万。阅读器的接收链路采用了零中频正交解调方案。手持式系统的识别距离可达50 cm,这不仅能显示识别结果,还能显示图像信息以实时调试系统。

#### 参考文献:

- [1] 陈国荣. 射频识别技术及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2016.
- [2] PLESSKY V P, REINDL, LEONHARD M. Review on SAW RFID tags[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2010, 57(3): 654-668.
- [3] 韩韬, 水永安. 声表面波射频标签的研究进展[C]// 都江堰: 中国西部声学学术交流会, 2006: 33-36.
- [4] 厉世亮. 基于Android系统的手持式动物标签阅读器的研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2015.
- [5] HARTMANN C S. A global SAW ID tag with large data capacity[C]// Munich, Germany; IEEE Ultrasonics Symposium, 2002: 65-69.
- [6] HAMA S, ARTHUR W G, HARTMANN C S, et al. Inline SAW RFID tag using time position and phase encoding[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2008, 55(8): 1840-1846.
- [7] TAVAKOLI M, HAJGHASSEM H, DOUSTI M, et al. Design and implementation of high data capacity RFID tag using eight-phase encoding[J]. International Journal of Electronics, 2014, 101(1): 113-120.
- [8] 蒋玲, 陈智军, 高智翔, 等. 反射率补偿型声表面波标签的温度测量[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(10): 2372-2377.
- [9] 朱旭芳, 马知远, 潘丽. 基于零中频解调的高精度频率特性测试仪设计[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(6): 62-65.
- [10] 张光. 一种基于ZigBee无线射频识别系统的设计[J]. 兵器装备工程学报, 2016(7): 109-112.