

# 基于 ARM Cortex-M3 的声磁 EAS 设计

温宗周 薛冬旺 刘亮

(西安工程大学电子信息学院 西安 710048)

**摘要:** 针对普通 EAS 系统存在抗干扰性能差、检测灵敏度低、检测范围小、误报率高等缺点,设计了一种基于 ARM Cortex-M3 的声磁 EAS 系统。介绍了声磁 EAS 系统的工作原理和硬件结构框图,分析了声磁标签信号在时域和频域上的特征,提出了 FFT 信号频谱分析、信号互相关、最小二乘法拟合直线求取斜率、计算信号峰值数及峰值方差运算等多种检测声磁标签信号的算法,并详细描述了系统软件算法的设计。经过实验验证,本系统具有抗干扰性能强、检测灵敏度高、检测范围宽、误报率低等特点。

**关键词:** 声磁;电子防盗系统;互相关;斜率;数字信号处理

**中图分类号:** TP23; TN7    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.8040

## Acoustic-magnetic EAS system based on ARM Cortex-M3

Wen Zongzhou Xue Dongwang Liu Liang

(College of Electrics and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** An Acoustic-magnetic EAS system based on ARM Cortex-M3 is designed owing to bad anti-jamming ability, detection sensitivity, low detection range and high rate of false positives faults in common EAS system. This paper introduces the working principle and hardware structure diagram of acoustic-magnetic EAS system, analyses the acoustic-magnetic tags signal in time domain and frequency domain characteristics, proposes FFT spectrum analysis, signal cross-correlation, calculate the least squares fitting line slope variance calculation, calculation of signal peak value and peak varieties of acoustic-magnetic tags signal algorithm, and describes the system software design of the algorithm in detail. The practice test proves that the system has strong anti-jamming performance, high detection sensitivity, wide detection range, low rate of false positives, etc.

**Keywords:** acoustic-magnetic; EAS; cross-correlation; Slope; digital signal processing

## 1 引言

随着现代商品经营模式逐渐由传统柜台模式转变为开放式自选模式,使得智能超市和大型购物商场大量涌现。这种模式一方面统一管理了商品,提高了商家的服务质量和经济效益,另一方面却给商家带来商品失窃的问题<sup>[1]</sup>。由此,出现了商品电子防盗系统(electronic article surveillance),简称 EAS。当商品标签未经过消磁而离开检测区域时,EAS 系统会发出声光报警,提醒工作人员进行相关处理<sup>[2]</sup>。目前国内的 EAS 系统大多采用 51 单片机、PIC 单片机或者早期的 DSP 处理器,但是由于芯片的存储和外设资源相对匮乏,无法满足更多有效的标签检测算法融入的条件和商家对系统功能日益增长的需求<sup>[3]</sup>。本文设计的基于 ARM Cortex-M3 的声磁 EAS 系统具有防盗检测率高、几乎零误报、不受金属锡箔纸屏蔽、抗干扰性能好、灵敏度高和保护出口宽等

特点,能够较好的完成防盗系统的检测。

## 2 声磁技术与系统工作原理

### 2.1 声磁技术分析

声磁技术(acoustic magnetic, AM)源于音叉原理产生的共振现象,其典型工作频率为 58 kHz,其抗干扰能力和穿透力极强,性能优于其他原理的 EAS 系统<sup>[4-5]</sup>。

声磁标签由坡莫合金制成,该材料在交变的磁场当中会产生一种磁致伸缩效应。当交变磁场频率为 58 kHz 时,这种磁致伸缩效应达到最强效果,即产生一种共振现象<sup>[6-8]</sup>。此时即便当交变磁场停止发射,标签由于共振现象也能继续发出共振信号,这就使得标签信号在空间中存在被检测出的可能。

### 2.2 电子商品防盗系统工作原理

音叉在振荡频率相同情况下会引起共振现象,声磁系

统正是利用了这种音叉原理产生共振信号,实现对声磁标签的检测。发射天线和接收天线直接安装在同一个天线架上,发射天线连续向空间发射 58 kHz 交变磁场使设备左右产生一个检测区域,当声磁标签经过检测区域时,引起声磁标签共振产生共振信号,这时声磁系统通过采样检测到共振信号,并通过各种数字信号处理算法提取标签信号特征,最后经多次确认触发声光报警<sup>[9-10]</sup>。

### 3 系统硬件平台设计

声磁 EAS 系统硬件电路采用模块化设计理念进行开发,其中主要包括以下功能模块电路:发射模块电路、同步电路、模式选择电路、接收模块电路、处理器模块电路、声光报警模块电路以及 FLASH 存储单元,如图 1 所示。

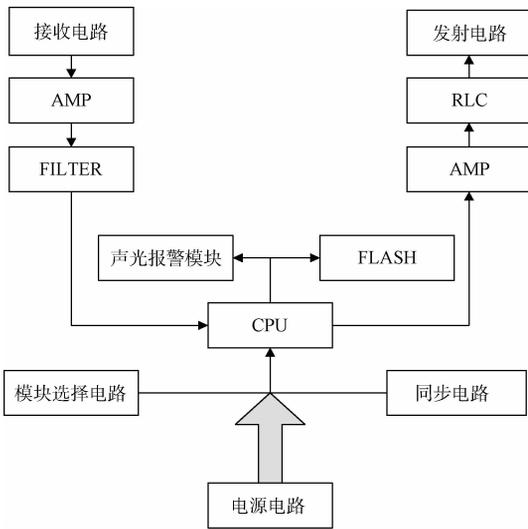


图 1 系统硬件电路

#### 3.1 核心控制电路及其功能

声磁 EAS 系统采用的核心控制器为 Cortex-M3 内核芯片,时钟频率达 50 MHz,内部集成 10 位 1 M 采样率 ADC 单元,PWM 控制器以及常用的 SPI、UART 通信接口,其功能强大,可满足声磁系统需求。核心控制电路其功能主要包括:磁场发射、信号采样、信号处理。

#### 3.2 信号接收电路

采用差分式多级放大电路对天线接收信号进行放大滤波。从天线接收端至处理器 ADC 采样端,各级放大电路依次为:跟随器、电压放大级、跟随器、ADC 驱动级,其中 ADC 驱动级放大电路同时充当滤波器,采用无限增益多路负反馈有源二阶带通滤波器,如图 2 所示。

#### 3.3 声光报警电路

声光报警电路的设计采用多级晶体管放大电路如图 3 所示,控制器对采样信号经处理算法计算决策标签存在性,通过改变 I/O 口输出状态经放大电路驱动指示灯及蜂鸣器进行报警。

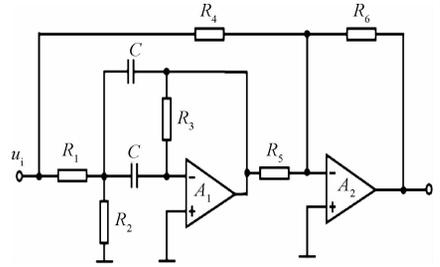


图 2 无限增益多路负反馈有源二阶带通滤波器

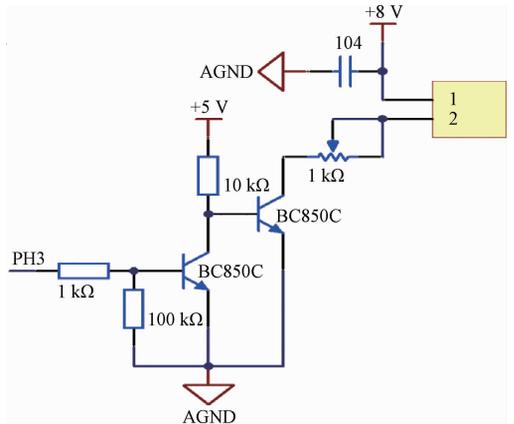


图 3 多级晶体管放大电路

### 4 系统软件设计

#### 4.1 系统软件流程

系统软件设计的开发环境为 Keil uVision4,是 ARM 公司推出的 ARM 集成开发环境。充分利用其方便易用的集成环境和强大软件仿真调试工具可以加快系统的开发进程,大大缩短 ARM 程序的开发周期,提高工作效率,流程如图 4 所示。

#### 4.2 标签信号特征

由于标签的谐振频率与载波频率一致,当声磁标签进入检测区,会引起标签共振产生共振信号。共振信号是一种声磁复合信号,它的能量在机械能与磁场能交替转换传递中能量逐渐衰减。因此共振信号不仅作为激励磁场的空间延伸,而且具有超声波的特性。

#### 4.3 标签信号检测算法

##### 4.3.1 信号互相关运算

对 ADC 采样信号数据进行信号互相关运算,随机信号  $x(t)$  和  $y(t + \tau)$  的互相关函数可以描述为:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t + \tau) dt \quad (1)$$

式中:  $x(t)$  为固化的环境噪声,  $y(t + \tau)$  为 ADC 采样信号,  $R_{xy}(\tau)$  为互相关输出结果。由于环境噪声是随机产生的,是非周期性信号,而标签信号则是周期性信号;当噪声信号之间或噪声信号与标签信号之间进行互相关时,互相关的结果是均匀的,而标签信号之间进行互相关时,在时间  $\tau$  内

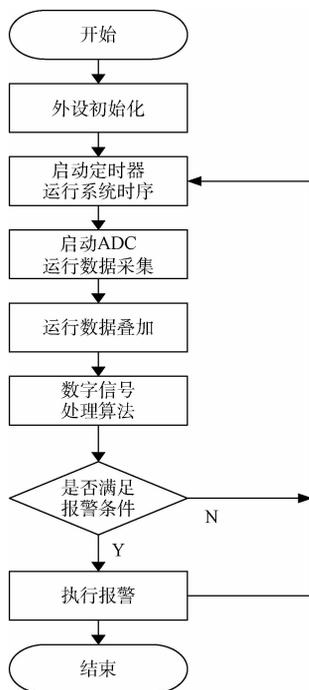


图 4 系统软件流程

隔内,互相关的输出变化很大。

#### 4.3.2 FFT 信号频谱分析

对 ADC 采样信号数据进行 FFT 信号频谱分析,信号  $x_s(n)$  频谱可以描述为:

$$X_s(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_s(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}nk} \quad (2)$$

式中:  $x_s(n)$  为噪声信号或标签信号,  $X_s(k)$  为输出信号频谱。设实际采样信号的频谱为  $x_r(n)$ , 如果

$$\sum_{K=0}^{N-1} |X_R(K) - X_s(k)| \geq \sigma \quad (3)$$

式中:  $\sigma$  为频谱能量的的阈值,可以判断没有标签通过。有标签信号时,频谱能量主要集中在 58 kHz 左右的范围;而无标签信号时,频谱能量分布比较均匀。

#### 4.3.3 求取信号波形峰值数

对 ADC 采样信号数据进行相位同步多周期叠加,首先把相邻  $N$  周期数据进行保存,其次求取各个周期采样数据同相位点,最后以各个周期采样数据的同相位点为基准点对  $N$  周期采样数据进行叠加。信号叠加后,能够明显的突出标签信号波形的特征,有利于对信号进行处理。对信号进行叠加后,求取信号波形峰值数。求取信号波形峰值数可以描述为:设  $y_i$  为某一峰值,让当前数据  $x_i$  和下一数据  $x_{i+1}$  作比较,若  $x_i < x_{i+1}$ ,则认为波形处于上升,令  $y_i = x_{i+1}$ ,依次比较直到  $x_i > x_{i+1}$ ,则认为找到一个峰值;若  $x_i > x_{i+1}$ ,则认为波形处于下降,令  $y_i = x_i$ ,依次比较直到  $x_i < x_{i+1}$ ,则认为波形处于上升,令  $y_i = x_{i+1}$ ,依次比较直到  $x_i > x_{i+1}$ ,则认为找到另一个峰值。通过计算采样的 256

个数据,最后得到信号波形峰值数  $N$ 。

#### 4.3.4 最小二乘法求取信号波形包络斜率

得到信号波形峰值数后,可以通过最小二乘法拟合直线来求取信号波形包络斜率。最小二乘法可以描述成:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (4)$$

式中:  $x_i, y_i$  是信号的两个数据,通过最小二乘法求取  $x_i, y_i$  之间的斜率  $k$ ,再拟合出直线。

$$y = kx + b \quad (5)$$

最小二乘法拟合直线如图 5 所示。对噪声信号和标签信号分别求取斜率,得到的斜率有所不同。

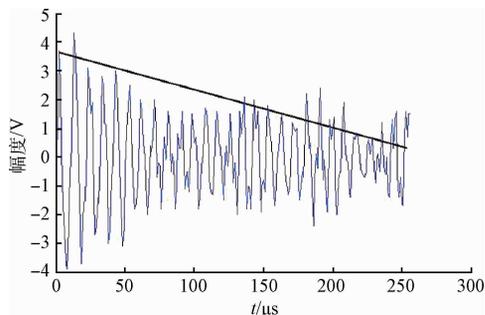


图 5 最小二乘法拟合直线

#### 4.3.5 信号波形峰值方差运算

利用求取的波形波峰值来作方差运算,设  $y_i$  为某一峰值,求取峰值平均值  $\bar{y}$ :

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} y_i}{N} \quad (3)$$

式中:  $N$  为峰值数。方差运算描述为:

$$Z = \sum_{i=0}^{N-1} |y_i - \bar{y}| \quad (4)$$

式中:  $z$  为波形波峰值方差。求取信号波形波峰值方差之和,其值是非常大的,反映各个波峰值与其平均值偏离程度的大小,容易区分出噪声信号和标签信号的波形特征。

## 5 系统调试及性能测试

通过统计波形特征和信号处理数据的差异,设置阈值来判定标签的存在与否。在对信号进行互相关处理时,噪声之间相关、噪声与标签信号互相关、标签之间波形的不同也可以作为识别标签信号的一个阈值。对信号进行 FFT 频谱分析时,集中存在 58 kHz 的频谱能量可以作为识别标签信号的一个阈值,如表 1 所示。对信号进行相位同步多周期叠加后求取的峰值数及其方差运算可以作为识别标签信号的另一个阈值,如表 2 和 3 所示。而最重要的一个阈值则是通过最小二乘法拟合直线求取斜率的差异,如表 4 所示。

表 1 FFT 频谱分析阈值

噪声	标签近程	标签中程	标签远程	
1	13	72	25	26
2	15	72	30	25
3	13	72	32	16
4	14	72	34	20
5	8	73	25	24
6	27	72	28	9
7	14	72	30	20
8	13	73	32	20

表 2 峰值数阈值

噪声	标签近程	标签中程	标签远程	
1	38	22	22	26
2	41	22	22	23
3	41	22	22	24
4	38	22	22	23
5	47	22	22	29
6	41	22	22	32
7	38	22	22	31
8	32	22	29	30

表 3 峰值方差运算阈值

噪声	标签近程	标签中程	标签远程	
1	273	6311	1484	199
2	229	6385	1593	300
3	151	6383	1643	346
4	215	6441	1690	350
5	336	6439	1724	287
6	218	1677	350	196
7	311	1620	372	169
8	271	1562	369	185

表 4 斜率阈值

噪声	标签近程	标签中程	标签远程	
1	-8	-7 243	-2 042	-31
2	-16	-7 208	-2 045	-73
3	0	-7 200	-1 999	-31
4	-21	-7 119	-2 027	-25
5	-6	-7 135	-2 056	-7
6	2	-2 140	-569	-27
7	2	-2 190	-529	-37
8	-19	-2 052	-540	-16

假定 FFT 频谱分析阈值、峰值阈值、峰值方差运算阈值、斜率阈值分别为  $FFT$ 、 $peak$ 、 $variance$ 、 $slop$ 。通过组合这几种不同的阈值,得到 3 种判定条件:近程、中程、远程判定条件如图 6 所示。

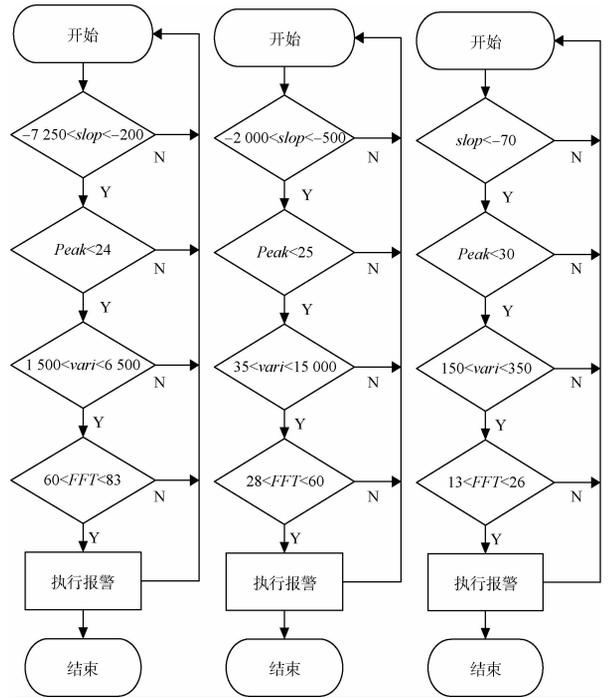


图 6 近程、中程、远程判定条件

1) 近程判断条件,所得计算结果与标准标签特征值很相似,此时报警标签与检测装置距离较近,相应各项报警判断阈值越高,条件越苛刻。

2) 中程判断条件,所得计算结果与标准标签特征值比较相似,此时报警标签与检测装置距离稍远,相应各项报警判断阈值居中,报警条件较为宽松。

3) 远程判断条件,所得计算结果与标准标签特征值比较相似程度较低,此时报警标签与检测装置距离很远,相应各项报警判断阈值较低,这时检测装置不易区分标签信号与噪声信号。为了使系统误报降低,需要加入二次确认,在连续若干周期内连续出现类似于标签的信号方可认为标签存在。通过多种算法组合,使系统达到抗干扰性强、检测范围宽、灵敏度高和误报率低的检测效果。

## 6 测试结果

基于 ARM 技术的声磁 EAS 系统与传统的 EAS 系统在无干扰环境和强干扰环境下进行了实验测试。实验测试结果如表 5 和表 6 所示。

实验结果表明,基于 ARM 技术的声磁 EAS 系统比传统的 EAS 系统有检测距离远、检测率高、误报率低等优势。而且在强同频或异频干扰环境下,前者各项指标只比在无干扰环境下差一点,而后者各项指标比在无干扰环境下相

表 5 无干扰环境测试结果

	最大检测距离/m	检测率/%	误报率(次/天)
普通 EAS	1.2	91.2	1.3
声磁 EAS	1.55	99.5	0

表 6 无干扰环境测试结果

	最大检测距离/m	检测率/%	误报率(次/天)
普通 EAS	1.0	81.2	3.6
声磁 EAS	1.4	95.4	0.3

差很远,证明了前者的抗干扰能力比后者大大增强。

## 7 结 论

本文设计的声磁电子商品防盗系统关于标签的检测方法是一个复杂的软件系统,其中包含了许多先进的数字信号处理算法以及一些时序控制算法。声磁技术的引进将使电子商品防盗系统的检测距离、检测灵敏度、误报率、抗干扰等性能指标得到很大程度上的提高。

## 参考文献

- [1] 夏标. 新一代 EAS 系统的研究与实现[D]. 上海:华东师范大学,2009.
- [2] 姚江敏,王忠勇,张延彬,等. 基于 DSP 的声磁 EAS 系

统设计[J]. 电声技术,2013,37(5):62-65.

- [3] 牛元海. EAS 系统设计与电子标签抗干扰检测技术研究[D]. 宁波:宁波大学,2015.
- [4] 都伊林. 声磁防盗系统的识别原理及应用[J]. 电子科技,2007(7):79-82.
- [5] 李云胜,李晓虹. 基于 STC 单片机的商品电子防盗系统设计[J]. 自动化与仪表,2009(7):38-41.
- [6] 滕士雷. EAS 声磁防盗系统的若干关键技术研发[D]. 北京:中国科学院大学,2013.
- [7] 欧阳晓慧. EAS 防盗系统的研究[D]. 上海:华东师范大学,2010.
- [8] 王琰. 一种防盗声磁标签中共振片的制备工艺研究[D]. 沈阳:东北大学,2012.
- [9] 李帅,张雪凡,任秀方,等. UHF RFID 标签谐振特性非接触测试方法的研究与实现[J]. 电子测量技术,2015,38(6):5-10.
- [10] 陈高强. 电子标签检测技术研究[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2011.

## 作者简介

温宗周,研究生导师,副教授,主要研究方向为嵌入式系统应用与开发。

薛冬旺,硕士研究生,主要研究方向为嵌入式系统的工业应用。

E-mail:1169525400@qq.com