

# 基于离子迁移谱的检测仪系统设计\*

张飞军, 江海河

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘要:** 介绍了基于离子迁移谱(IMS)技术的检测原理, 设计了离子迁移管传感器, 并在其基础上构建了嵌入式数据采集与显示系统, 在嵌入式系统上移植了应用程序, 并进行了相关测试。

**关键词:** 离子迁移谱; 离子化; 嵌入式系统; A/D转换器

**中图分类号:** TP274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-9787(2010)03-0071-03

## Design of detector system based on IMS\*

ZHANG Fei-jun, JIANG Hai-he

(Anhui Institute of Optics Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** The detection theory based on ion mobility spectrometer(IMS) is described. An ion mobility tube(IMT) sensor is designed. An embedded data acquisition and displaying system is established. Application program and test is also made.

**Key words:** ion mobility spectrometer(IMS); ionization; embedded system; A/D converter

### 0 引言

离子迁移谱检测仪是一种利用离子迁移谱(ion mobility spectrometer, IMS)技术的专用探测器。IMS技术是一项专门的新型技术<sup>[1]</sup>, 在确定的温度、气压、电场条件下, 通过精确测定离子在电场作用下穿过固定距离的迁移时间, 来确定被测可疑物质中是否具有某些化学成分的分子。因为不同物质的迁移率具有惟一性, 所以, 其迁移时间也具有惟一性。IMS检测仪具有灵敏度高、分析速度快、体积小、重量轻、耗能少的优点, 特别适合于爆炸物、化学战剂和毒品的痕量探测。在当今世界性反恐、禁毒的大形势下, 该仪器越来越多地受到各国相关部门的重视, 近年来陆续推出了商品化仪器。具有代表性的有Smith Detection公司生产的Ionscan系列, 已经成功地用来对机场随身携带行李进行日常安全检查。另外, 还有便携式Sabre 4000离子迁移谱仪, 既可以用来测定爆炸物颗粒, 又可以测定爆炸物蒸气。本文介绍一种基于IMS气技术的痕量爆炸物检测仪器的设计。

### 1 离子迁移管的原理与设计

采用薄壳不锈钢作为迁移管外壳, 密封且电屏蔽, 也容易做得轻巧; 金属气化室要升温快, 温度均匀, 能达到高的气化温度, 使气化效率高, 一般达到200~300℃以上; 传统的IMS采用放射性物质<sup>63</sup>Ni为离子源, 虽然有着稳定的优点, 但放射性物质的管理和使用会受到很大的限制。本文设

计了用电晕放电电离<sup>[2]</sup>的方式取代放射性物质作为离子源。即离子化区高压栅极, 高压栅极强电场产生高能电子, 高能电子与空气中的水氧气等气体分子碰撞后, 形成反应物 $H^+(H_2O)_n$ 和 $O_2^-(H_2O)_n$ 。被测样品进入离子化区后与反应物碰撞而被离子化, 如图1。

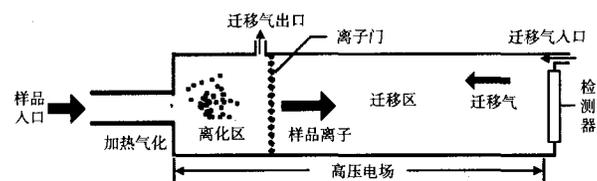


图1 离子迁移管原理

Fig 1 Theory of ion mobility pipeline

离子门由嵌入式数据采集系统控制开启和关闭, 样品离子在电场的作用下漂移至检测器, 即电荷采集器, 用以获得离子流信号, 通常用法拉第盘, 盘的弧度向外反射掉离子残骸, 不影响新的离子收集。采集到的离子电荷作为信号电流一般在nA级, 经放大后进入信号处理系统对离子流峰时间进行测定和计算比对迁移率。在法拉第盘前面应加上一个网型栏栅, 以防止电荷的堆积和屏蔽离子门开启和关闭时电压脉冲对电荷采集所造成的噪声, 提高探测效率; 栏栅和法拉第盘之间距离产生的场强对信号的测量影响较大, 栏栅应交流接地。设置合适的各点电场值是探测器灵敏测定微量物质的基础, 在离子迁移管上加加热保温的热源还不能产生纵向磁场影响离子的迁移, 采用相邻电流方向

相向来消除磁场。每一种化合物的漂移时间不同,故在检测结果的时间点上体现在不同的波峰位置上。

### 2 嵌入式数据采集与处理系统设计<sup>[3]</sup>

用于安检的仪器需要独立运行,不采用上下位机的形式,而是直接采用嵌入式数据采集与显示系统,该系统设计包括硬件设计和软件设计。

#### 2.1 硬件设计

硬件设计包括电路板设计,有内存模块,串口通信模块,USB 接口模块,电源模块,LCD 接口模块,AD 和 DA 模块。

##### 1) 模块的选择

CPU 采用 Samsung 的 S3C2440,主频 400 MHz。SDRAM 使用 2 片 32M 的三星公司生产的 K4S561632C,64M 的 Nand Flash,用于存储操作系统和程序数据等(三星公司的 K9F2808)

1M 的 Nor Flash(美国 AMD 公司的 AM29LV800BB),采用 NEC 3.5 寸触摸屏,为 256k 色 TFT 真彩屏,型号为 NL2432HC22-23B;

CPU 与 SDRAM 的接口如图 2,由于 NORFLASH 的接口和 RAM 完全一致,性质也相同,既可随即访问(数据掉电还在),故数据线 A0~A19 接 ADDR1~ADDR20,DATA0~DATA15 接 D0~D15,片选信号接 S3C2440 的 nGCS0。

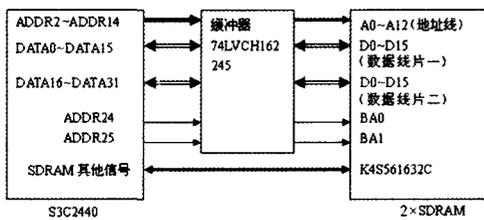


图 2 CPU 与 RAM 的连接

Fig 2 Connection of CPU and RAM

NANDFLASH 用来保存嵌入式 LINUX 系统和程序及数据,NANDFLASH 是使用顺序访问的 FLASH,这里使用三星公司生产的 K9F2808,主要包括 8 个 I/O 脚,还有一些使能管脚,CLE 为命令锁存使能,ALE 是地址锁存使能,CE 为芯片使能,RE 为读使能,RB 为就绪或者忙的信号(ready busy)WE 为写使能,WP 为写保护;S3C2440 使用存储控制器来提供访问外部设备所需要的信号,总共分为 8 个 BANK,每个 BANK 的地址空间是 128 M。8 根片选信号 nGCS0-nGCS7 对 8 个 BANK;因为 BANK6-BANK7 还支持 SDRAM(支持编程选择),故这段地址分配为 SDRAM。BANK0 由于其特殊性使用,对应 NANDFLASH,启动时加载 Bootloader。

##### 2) 离子信号采集电路设计

因为从检测器出来的信号经过放大后是 0~10 V 模拟信号,要求 AD 分辨率大于 14 位,采样速率大于 100 kHz。

采用 ADS7805 芯片。ADS7805 是一种 16 位精度,10 μs 采样时间的 CMOS 结构模数转换器,它采用了 SAR 技术,集成有高精度的内部参考电源、跟踪保持电路和内部时钟电路。具有如下特性:100ksps 的采样速率;标准的 ±10V 输入电压;±3LSB INL,16 位无缺失码;+5 V 供电电压;可以使用内部或外部参考电压;16 位并行数据接口;ADS7805 控制信号有 CS、R/C 和 BUSY。CS 为整个芯片的片选信号,R/C 为读写控制信号,BUSY 为整个采集标志信号。ADS7805 转换时序如图 3 所示。

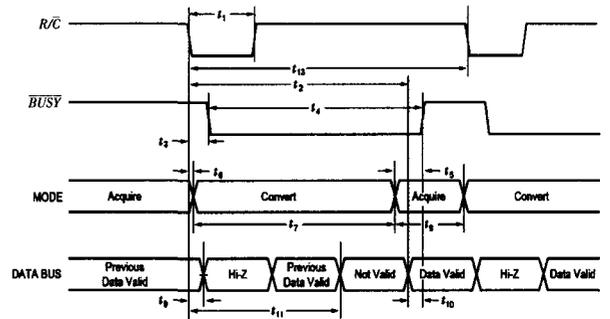


图 3 ADS7805 转换时序图

Fig 3 Time sequence of ADS7805

ADS7805 片选信号 CS 被始终设置为低电平,CS 和 R/C 控制数据的读取和转换。如果 CS 为低电平,BUSY 为高电平,R/C 上第一个下降沿将初始化一个新的转换,此转换脉冲宽度应该在 40 ns ~6 μs。变为低电平后大约延时 65 ns 后 BUSY 也变为低电平,并保持低电平直到转换完成,然后,更新输出寄存器的数据。当 BUSY 为低电平时,所有的转换命令都将被忽略,R/C 必须在 BUSY 恢复高电平前完成由低电平到高电平的转换。R/C 的脉冲周期应该至少在 10 μs 以上,而 BUSY 的脉冲宽度不应该超过 8 μs。当 CS 为高电平时,数据线上的数据为高阻状态。ADS7805 的 R/C 和 CS 段接 S3C2440 的 GPIO 端,BUSY 端接 S3C2440 的中断口。因为 BUSY 由高电平变成低电平的时候,A/D 转换开始,转换完成后恢复高电平,故采集完成后,通过中断告诉 CPU。

环境参数指腔体温度和腔体压力,而高压控制则是通过控制器输出控制信号来改变高压模块输出的电压值。

环境参数的采集是由 ARM 控制 MAX197 芯片完成的,MAX197 芯片是 12 位转换精度,分两次读取数据:先读取低 8 位,再读取高 8 位。

MAX197 的片选、读、写引脚分别与 ARM 控制器 BANK2 的 nGCS2,nWE 和 nOE 相连接。而 MAX197 的使能信号引脚则与地址最低位 ADDR0 相连,因为数据的存储是 16 位的,即当 ADDR0 为 0 时先发送低 8 位数据,然后,地址加 1,指向下一个存储区域,此时 ADDR0 为 1,再发送高 8 位数据到此存储区域即可。

2.2 软件设计

软件设计包括 Bootloader 移植<sup>[4]</sup>、操作系统内核移植、文件系统移植、应用程序开发。下面介绍应用程序的开发。

IMS 仪的控制系统软件流程如图 4 所示。硬件初始化完成了控制器 S3C2440 的配置并执行引导程序,为系统软件运行做好准备。系统初始化完成系统外围电路的初始化和系统软件的初始化,并开启电磁阀清洗模块,以便清除气体管道中的残余空气;当检测到有样品插入时,开启数据采集。

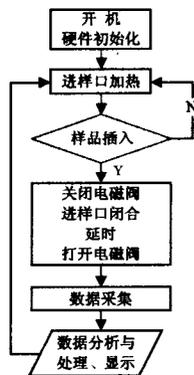


图 4 系统软件控制流程

Fig 4 Flow chart of system software control

本应用对乙醇(Ethanol),正丙醇(2-Propanol),异丙醇(1-Propanol),正丁醇(1-Butanol),正戊醇(1-Pentanol)和仲辛醇(2-Octanol)6种物质混合物(采用小波变换识别波峰的方法<sup>[5]</sup>)进行检测的结果如图5。

3 结束语

IMS 技术是当前国内外研究的热点,把它与嵌入式相结合应用于实际产品的研制,是较前沿的研究领域。本文

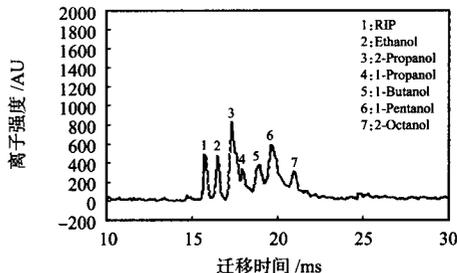


图 5 6 种混合物的波峰图

Fig 5 Diagram of six intermixtures

设计了基于 IMS 检测仪的系统设计,阐述了离子迁移管传感器的工作原理和设计,基于实时多任务操作系统的 IMS 仪嵌入式数据采集与显示系统的设计,此仪器在毒品和爆炸物检测中将发挥更大的作用。

参考文献:

[1] 郭成海,曹树亚,张国胜,等. 离子迁移谱技术研究和应用进展[J]. 生命科学仪器. 2008,6(7):1-11.  
 [2] 孙明,孙可平,陈长光. 电晕放电离子迁移谱的设计[J]. 河北大学学报,2007,27(10):142-144.  
 [3] 李金香,王兴军,武波涛. 离子迁移谱嵌入式控制系统设计及实现[J]. 舰船科学技术,2008(6):255-259.  
 [4] 于云松,由德凯,孙其芳. 基于 S3C2440 的 Bootloader 的设计与实现[J]. 甘肃科技,2008,24(15):24-28.  
 [5] 张磊,江海河,储焰南,等. 小波变换在重叠化学信号解析中的应用[J]. 理化检验——化学分册,2008,44(3):212-215.

作者简介:

张飞军(1985-),男,湖南郴州人,硕士研究生,研究方向为自动控制与嵌入式系统。

(上接第 70 页)

表 1 半径测量误差

Tab 1 Measurement error of radius

测量位置	测量误差(mm)	相对误差(%)
1	0.006	0.120
2	0.027	0.538
3	0.015	0.299
4	0.060	1.195
5	0.043	0.857
6	0.034	0.677
7	0.048	0.956
8	0.052	1.036
9	0.076	1.514

4 结论

针对机器人柔性坐标测量系统的需要,设计了一种线结构光单目视觉传感器,具体分析了传感器测量空间图形的数学模型,对其测量结果进行了误差分析,并用实验的方法证明了该传感器精度适中,可以满足工业现场在线测量的需

要。在实际测量时,应尽量使被测工件表面与传感器端面平行,并使结构光光条靠近被测孔中心,以减小理论误差。

参考文献:

[1] 刘常杰,杨学友,郝继贵,等. 基于工业机器人白车身柔性坐标测量系统研究[J]. 光电子·激光,2006,17(2):207-210.  
 [2] 吴斌,薛婷,郝继贵,等. 任意位姿平面靶标实现立体视觉传感器标定[J]. 光电子·激光,2006,17(11):1293-1296.  
 [3] 黄战华,蔡怀宇,李贺桥,等. 三角法激光测量系统的误差分析及消除方法[J]. 光电工程,2002,29(3):58-61.  
 [4] 李雁斌,刘常杰,郝继贵,等. 一种直线轨迹跟踪的视觉传感器[J]. 光电子·激光,2007,18(12):1414-1417.  
 [5] Suzuki S, Abe K. Topological structural analysis of digital binary images by border following[J]. CVGIP,1985,30(1):32-46.  
 [6] 吴剑锋,王文,陈予辰. 激光三角法测量误差分析与精度提高研究[J]. 机电工程,2003,20(5):89-91.  
 [7] 刘国文,闫达远. 一种基于线结构光的三维视觉曲面测量方法[J]. 光学技术,2008,31(7):554-556.

作者简介:

何佳(1985-),男,天津人,硕士,主要从事视觉检测技术研究。