

学校编码: 10384

分类号密级

学号: 19920121152704

UDC

廈門大學

硕士学位论文

便携式拉曼光谱仪嵌入式主控系统的研制

Design and Implementation of Embedded Control

System for Portable Raman Spectrometer

王海涛

指导教师姓名: 范贤光副教授

王昕助理教授

专业名称: 测试计量技术及仪器

论文提交日期: 2015 年月

论文答辩时间: 2015 年月

学位授予日期: 2015 年月

答辩委员会主席:

评阅人:

2015 年月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年月日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

() 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

() 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年月日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

拉曼光谱以其高灵敏度、快速检测和对样品无损等特点，被广泛应用于生物、制药、化工等众多分子鉴别领域。近些年来，随着激光技术的进步，多种拉曼光谱增强技术的发展和化学计量学分析方法的完善，各类拉曼光谱检测仪器也取得了很大地发展，且正朝着小型化、集成化进步。

将嵌入式技术与拉曼检测技术结合起来，研制出一套基于嵌入式平台的便携式拉曼光谱仪主控系统是很有意义的。本文在对国内外便携式拉曼光谱仪的发展现状进行综述的基础之上，通过分析光谱仪的组成，提出了可对拉曼光谱数据进行采集和处理的嵌入式主控系统的设计方案。

硬件部分由 ARM+FPGA 的双核心处理器及其外围电路组成。ARM 芯片作为主控芯片采用的是意法半导体公司 Cortex-M4 内核的 STM32F407IGT6(非特别说明，以下简称为 STM32)，FPGA 作为协处理器负责数据采集和 FSMC (Flexible Static Memory Controller) 类设备的译码。触摸显示模块的 LCD 作为系统的输入输出设备，USB 接口可连接 U 盘存储数据或连接上位机交换数据。

软件部分由嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 、图形库 emWin、FatFs 文件系统和各类设备的驱动组成。驱动程序基于 STM32 的库函数编写，并通过 emWin 和 FatFs 封装对应的驱动程序，使在 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 之上编写用户应用程序更加方便。此外，本文还提出了一种使用非均匀 B 样条进行基线校正的新算法。

文章最后对系统的主要功能模块进行了测试并对本文提出的基线校正算法与多项式拟合等算法的实验结果进行了对比分析。

关键词： 便携；拉曼光谱；数据采集与处理；嵌入式

ABSTRACT

Raman spectroscopy has been widely used in many domain (biology, pharmaceuticals, chemicals, etc) with its characteristics of high sensitivity, rapid and nondestructive sample detection. In recent years, laser technology and Raman enhancement technology has been greatly developed. Chemometric analysis technology method has got great development at the same time. With all these changes, Raman spectrometers of various types have made great progress and are moving towards miniaturization and integration.

So, it is very meaningful to develop a set of portable Raman spectrometer by combining Raman detection technology with embedded technology. By analyzing the composition of spectrometer, this paper has made a plan for data acquisition and processing of embedded system based on the present research status of portable Raman spectrometer domestic and overseas.

The hardware part of the paper is made up of ARM and FPGA module, and its peripheral circuits. And STM32F407IGT6 (Without specification, other parts of the paper called STM32 for short) which is the Cortex-M4 core of STMicroelectronics is the main MCU as ARM chip. FPGA as a co-processor for data acquisition and decoding equipment of FSMC class. LCD touch screen module is the input and output device of the whole system. USB interface can be connected to a USB drive storing data or a PC exchanging data.

The software part of the paper is made up of real time operation system μ C/OS-III, graphics library emWin, file system FatFs and various types of equipment components. All the device drivers are based on the STM32 library functions. The emWin and FatFs is very simple to use just by wrapping different corresponding driver. All above these software parts is managed by various types of user applications which is the subset of μ C/OS-III. In addition, this paper proposes a new baseline correction algorithm using non-uniform B-spline.

Finally, the system's main function modules are tested. And another two

baseline correction algorithms are used to compare with this paper's algorithm by testing and analyzing the experimental results of colza oil and parathion-methyl. Therefore, non-uniform B-spline proves to be an effective baseline correction algorithm of Raman spectroscopy.

Keywords: Portable; Raman spectroscopy; Data acquisition and processing;
Embedded

目录

摘要	I
ABSTRACT	II
目录	IV
Table of Contents	VII
第一章绪论	1
1.1 课题研究的目的和意义	1
1.2 便携式拉曼光谱仪的研究现状	3
1.3 拉曼光谱基线校正算法的研究现状	5
1.4 本文主要内容	6
第二章系统整体设计	7
2.1 系统需求分析	7
2.2 系统方案设计	8
2.3 关键技术解决	9
2.3.1 ARM+FPGA 双核心构架	9
2.3.2 USB 接口通信技术	11
2.3.3 RTOS 的选择	11
2.4 本章小结	13
第三章硬件系统设计	14
3.1 硬件系统结构	14
3.2 双处理器模块	15
3.2.1 主控芯片 STM32F407	15
3.2.2 灵活的静态存储控制器	16
3.2.3 系统复位设计	18
3.3 数据采集模块	19
3.4 人机交互模块	21
3.4.1 LCD 接口电路	21

3.4.2 RA8875 控制电路.....	22
3.4.3 显示屏的驱动.....	23
3.4.4 触摸屏的驱动.....	26
3.5 存储和通信模块.....	28
3.5.1 USB 接口设计.....	28
3.5.2 Micro SD 卡接口设计.....	30
3.6 本章小结.....	31
第四章软件系统设计.....	32
4.1 软件系统分层设计.....	32
4.1.1 需求分析和概要设计.....	32
4.1.2 驱动程序设计.....	34
4.1.3 任务的划分和设计.....	35
4.2 $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ 的任务管理.....	37
4.2.1 系统初始化.....	37
4.2.2 任务间的调度分析.....	40
4.2.3 任务间的同步.....	42
4.3 emWin 界面设计.....	44
4.4 FatFs 文件存储设计.....	49
4.4.1 移植 FatFs.....	49
4.4.2 文件管理.....	49
4.5 基于非均匀 B 样条的基线校正算法.....	50
4.5.1 非均匀 B 样条拟合.....	50
4.5.2 节点向量自适应选取方法.....	51
4.5.3 非均匀 B 样条基线校正的实现.....	53
4.6 本章小结.....	54
第五章系统调试和实验分析.....	55
5.1 系统功能测试.....	55
5.1.1 SRAM 读写测试.....	55
5.1.2 文件存储测试.....	57
5.1.3 光谱数据采集测试.....	58

5.2 基线校正算法有效性测试.....	59
5.3 本章小结.....	62
全文总结.....	63
参考文献.....	64
附录.....	68
致 谢.....	69
硕士期间的科研成果.....	70

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Table of Contents

ABSTRACT In Chinese	I
ABSTRACT	II
CONTENTS In Chinese	IV
CONTENTS	VVII
Chapter1 Introduction	1
1.1 Purpose and Significance of the Paper	1
1.2 Present Development Status of Portable Raman Spectrometer	3
1.3 Present Research Status of Baseline correction	5
1.4 Major Contents of the paper	6
Chapter2 Overall Design of the System	7
2.1 Requirements Analysis of the System	7
2.2 Scheme Design of the System	8
2.3 The Solution of Key Technology	9
2.3.1 Dual-processor Architecture.....	9
2.3.2 USB Interface Communication Technology.....	11
2.3.3 The Selection of RTOS.....	11
2.4 Chapter Summary	13
Chapter3 Hardware Design of the System	14
3.1 Architecture of the Hardware System	14
3.2 Dual-processor Module	15
3.2.1 Master chip.....	15
3.2.2 Flexible Static Memory Controller.....	16
3.2.3 Design of System Reset.....	18
3.3 Data Collecting Module	19
3.4 Human-Computer Interaction Module	21
3.4.1 LCD Interface Circuit.....	21
3.4.2 Control Circuit of RA8875.....	22
3.4.3 The Drive of LCD Screen.....	23
3.4.4 The Drive of Touch Screen.....	26
3.5 The Memory and Communication Module	28
3.5.1 The Design of the USB Interface Circuit.....	28

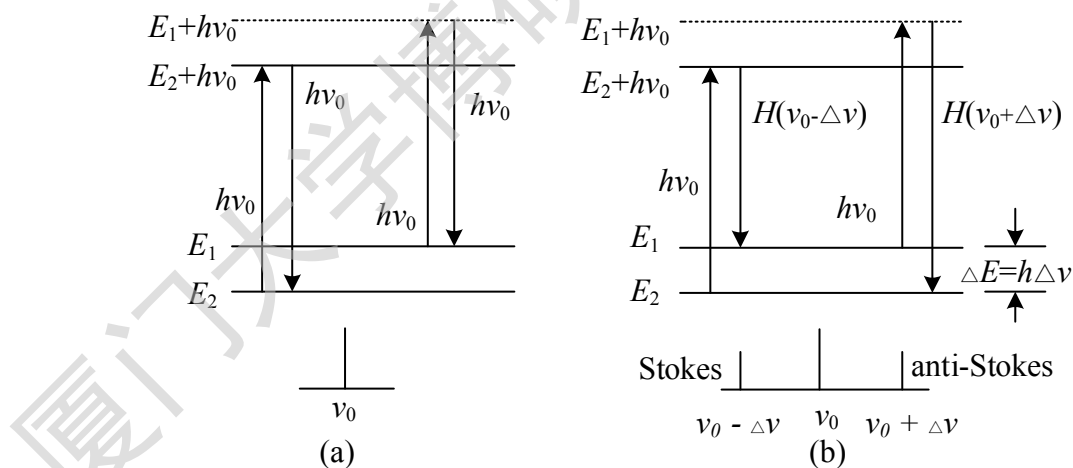
3.5.2 The Design of the SD Card Interface Circuit.....	30
3.6 Chapter Summary	31
Chapter4 Software Design of the System	32
4.1 Multiple-Layer Design of the Software System	32
4.1.1 System Layer Architecture Programming.....	32
4.1.2 Application layer Architecture Programming.....	34
4.1.3 Application layer Architecture Programming.....	35
4.2 Task Management of the μC/OS-III	37
4.2.1 System Initialization.....	37
4.2.2 Analysis of Task Schedule.....	40
4.2.3 Synchronization Analysis.....	42
4.3 Graphic User Interface Design	44
4.4 Usage of FatFs	49
4.4.1 System Initialization.....	49
4.4.2 Analysis of Task Schedule.....	49
4.5 Baseline correction algorithm base on Non-uniform B-spline	50
4.5.1 Non-uniform B-spline.....	50
4.5.2 Selection of Spline Node.....	51
4.5.3 Implementation of the Algorithm.....	53
4.6 Chapter Summary	54
Chapter5 Testing and Analysis of Experimental results	55
5.1 System Function Testing	55
5.1.1 SRAM Test.....	55
5.1.2 File Storage Test.....	57
5.1.2 Raman Data Collecting Test.....	58
5.2 Effectiveness of the Baseline Correction Algorithm	59
5.3 Chapter Summary	62
Summarization	63
References	64
Appendix	68
Acknowledgements	69
Paper Published and Honour Received	70

第一章绪论

1.1 课题研究的目的和意义

拉曼散射 (Raman Scattering) 现象是印度科学家 C. V. Raman 在 1928 年发现的^[1]。拉曼散射是一种与入射光频率不同的散射。对于同一物质，拉曼散射光子与入射光子的频率之差为固定值，这个差值称为拉曼位移。以拉曼位移作为横坐标，拉曼散射强度作为纵坐标所绘制的谱图称为拉曼光谱，拉曼光谱能够提供分子鉴别所需要的重要特征。

一束能量为 $h\nu_0$ (h 为普朗克常量, ν_0 为光波的频率) 的光照射到某物质表面时, 除了透射和反射的部分, 会有很少部分发生散射。散射光按照频率划分可分为两种: 与入射光频率相同的瑞利散射 (Rayleigh Scattering) 和与入射光频率不同的拉曼散射。拉曼效应是由入射光与照射分子中的分子键和电子云相互作用产生的。图 1-1 为拉曼散射对比瑞利散射的原理图。



(a) 瑞利散射 (b) 拉曼散射

图 1-1 拉曼散射原理图

如图 1-1 所示, E_1 为振动激发态能级, E_2 为基态。对于瑞利散射, 由于散射光子频率与入射光子频率相同, 即碰撞过程不发生能量交换, 只是方向发生

改变，所以分子接收入射光子后跃迁到 $E_1 + hv_0$ 或者 $E_2 + hv_0$ 的虚态后，会马上返回原来状态，并释放出能量为 hv_0 的光子。对于拉曼散射，在分子与入射光子发生碰撞的过程中会发生能量交换，使最终的散射光子能量与最初的入射光子有一个 $\Delta E = h\Delta\nu$ 的能量差，其中，散射光子能量发生损失的射线称为斯托克斯线（Stokes Scattering），反之则称之为反斯托克斯线（Anti-Stokes Scattering），入射与散射光子的频率之差称为拉曼位移，这个差值是固定的，即它不随入射光的频率变化而发生变化。

既能够检测拉曼数据，又能对采集到的拉曼数据进行一系列处理和分析的仪器称为拉曼光谱仪。根据光谱仪的检测器和分光系统的差异，一般可以将拉曼光谱仪分为傅里叶变换型、扫描型、滤光片型和 CCD 型^[2]。拉曼检测技术具有快速、无损、痕量级别检测等众多特点^[3]。拉曼光谱的研究领域非常广泛，拉曼光谱仪器也拥有巨大的市场潜力，近些年来，随着激光技术的进步^[4]，各种拉曼增强技术的发展^[5-12]以及多种化学计量学^[13-14]光谱分析方法的完善，应用拉曼光谱技术作为检测原理以及化学计量学方法作为分析方法的拉曼光谱仪已应用于生物^[15]、食品^[16]和考古^[17]等众多领域。

受到光谱仪体积和操作的限制，拉曼光谱仪未能走进生活，进入现场使用，便携式拉曼光谱仪不同于实验室内摆放的光谱仪，实验室用的大型拉曼光谱仪体积大、操作复杂、价格昂贵，无法达到拉曼数据现场实时监测的要求。解决以上问题必须保证拉曼光谱仪的小型化、智能化，而实现拉曼主控系统的便携化便是研制便携式拉曼光谱仪的首要任务。受制于拉曼光谱仪体积和功能完备性的限制，普通单片机采集系统尽管也可实现便携化，但不足以满足拉曼仪器对数据采集的实时性和数据处理的高效性的要求。嵌入式技术的高速发展，给拉曼光谱数据采集和处理功能的集成带来了可能。ARM^[18-19]芯片是嵌入式领域最流行的架构芯片，相比普通微控器（Microcontroller Unit, MCU），ARM 芯片拥有更高的主频、更多的控制 I/O、更丰富的外设。基于此，应用嵌入式 ARM 技术开发的便携式拉曼光谱主控系统，兼具体积小、现场实时检测和处理速度快等优点，研究基于嵌入式的拉曼主控系统是很有必要的。

1.2 便携式拉曼光谱仪的研究现状

激光现象是美国科学家肖洛和汤斯于 1958 年发现的。自激光出现至今，激光拉曼光谱仪得到了极大的发展。而随着计算机技术、弱信号检测技术的进步，激光拉曼光谱仪越来越趋向于向智能化、便携化发展。

目前为止，便携式拉曼光谱仪还是以国外的产品占据垄断地位，国内的产品无论从性能或是精度上，都与国外产品存在着巨大差距。市场上主要的便携式拉曼光谱仪厂商有：美国 B&W Tek 公司、美国 SciAps 公司、美国海洋光学 (Ocean Optics) 公司、日本 HORIBA Jobin Yvon 公司、荷兰 Avantes 公司等^[20-21]。表 1-1 列出了国外四家厂商典型产品的主要性能指标。

表 1-1 便携式拉曼光谱仪典型产品性能参数比较

型号	i-Raman	ReporteR	Pinpointer	Inspector
公司	B&W Tek	SciAps	Ocean Optics	SciAps
分辨率 (cm^{-1})	4.5	10	12	8
激光波长 (nm)	785	785	785	785
波数范围 (cm^{-1})	175-3200	300-2000	200-3000	200-2000

Inspector 系列是 DeltaNu 推出了的全球首款便携式拉曼光谱仪，该公司于 2013 年被 SciAps 收购后，这一系列产品的功能更加完善：可以配合 NuscopeTM 数字显微镜和三维载物台搭建显微拉曼实验环境，搭配高速 ARM Cortex 芯片可与大型数据库快连接后进行样品数据快速对比，且这款仪器待机时间长，测量范围广，涵盖包括有毒试剂、工业品、塑料、矿石等各种物质。新的 SciAps Inspector 是世界上最强大的可用的拉曼手持材料识别系统。创新及重新设计的便携式 Inspector 系列通过消除无用的样品和背景荧光来鉴别一个更广泛样本的拉曼物质。

SciAps 最新版的 ReporteR 光谱仪可以在 -20°C 到 40°C 的温度下正常工作，可用于违禁药品、化工制品的快速检测，并能够将现场获取到的数据存储到 SD 卡中，方便后续处理，而其重量仅不到 0.5Kg，是目前世界上最小最轻的拉曼

光谱仪。图 1-2 分别为 SciAps 公司的 ReporterR 和 Inspector 光谱仪实物图。



图 1-2 ReporterR 和 Inspector 光谱仪实物图

B&W Tek 的 i-Raman 是专注于实验室用的便携式拉曼仪器，相较于其它便携式产品，该仪器具有更高测量范围和分辨率。Ocean Optics 公司除了提供便携式拉曼光谱仪，主要为其它公司提供 OEM 解决方案，提供光线探头、CCD 光谱仪模块等拉曼系统附件产品，知名的产品有 USB4000、QE65 Pro 等。图 1-3 为 i-Raman 和 QE65 Pro 光谱仪模块的实物图。



图 1-3 i-Raman 和 QE65 Pro 实物图

相较于国外的便携式拉曼光谱仪器，国内产品由于发展较晚，技术上跟国外产品还有一定差距。如清华同方的威视拉曼安检仪 RT1003，该产品于 2014 年已经通过欧洲民航航空委员会的测试，是全球第二套通过测试的拉曼安检仪

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.