

· 电路与控制 ·

## 基于微型光谱仪的微型生化检测仪检测系统设计与实验

黄 晓, 温志渝, 廖海洋, 刘念慈, 吴卫馨

(重庆大学微系统中心 重庆 400044)

**摘 要:** 针对在野外环境下快速准确检测人体生化指标的需求, 基于 MOMEMS 和嵌入式技术, 设计基于微型光谱仪的微型生化检测仪检测系统。该检测系统包括: 光学系统模块, 直线型光谱扫描系统模块, 基于嵌入式 ARM9 的步进电机控制系统模块等。并进行了微型生化检测仪检测系统光强重复性实验。实验结果表明, 检测精度高, 光谱扫描速度快, 功耗低, 实现了在检测波长范围内连续光谱检测, 满足微型生化检测仪的应用需求。

**关键词:** 微型生化检测仪; 微型光谱仪; 光学系统; 光谱扫描; ARM9

中图分类号: O657.3; TN702

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-02-0067-04

### Design and Experiment of Micro-biochemical Detector Test System Based on Micro-spectrometer

HUANG Xiao, WEN Zhi-yu, LIAO Hai-yang, LIU Nian-ci, WU Wei-xin

(Micro-system Center of Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** According to the requirements for detecting human biochemical parameters quickly and accurately in field, based on MOMEMS and embedded technology, a micro-biochemical detector test system based on micro-spectrometer is designed. The system includes optical system modules, linear spectral scanning system modules and stepping motor control system modules based on embedded ARM9. And the light intensity repetition experiment of a micro-biochemical detection system is performed. Experimental results show that the system has high detection accuracy, fast spectral scanning speed and low power consumption. Continuous spectrum detection in the range of detection wavelength is realized and application requirements of micro-biochemical detectors are met.

**Key words:** micro-biochemical detector; micro-spectrometer; optical system; spectral scanning; ARM9

生化分析仪是临床检验的一种必备的重要检测仪器,它是通过对人体血液或体液的测定来确定人体各项生化指标,如:钾、钠、血糖、血脂、肝功、肾功等,为医生诊断病情提供可靠的科学依据<sup>[1]</sup>。由于传统生化分析仪多采用滤光片或光栅式单色器进行分光,无法实现连续波长检测,且其检测系统体积、功耗大,结构复杂不便于维护等多方面的局限性无法满足当前野外环境下快速实时监测的需求背景<sup>[2-3]</sup>。针对上述问题,提出基于微型光谱仪的生化检测系统,采用微型光谱仪作为分光器件和检测系统,在微型光谱仪中采用了全息凹面平场光栅作为分光元件,

以 CCD 线阵作为检测器,实现检测波长连续可调,且检测速度和精度均大大提高<sup>[4]</sup>。

### 1 微型生化检测仪检测系统工作原理

微型生化检测仪的检测系统是基于微型光谱仪的连续光谱检测分析方法,依据朗伯-比尔定律:当一束平行单色光通过单一均匀的、非散射的吸光物质溶液时,溶液的吸光度与溶液浓度和液层厚度的乘积成正比,从而建立标准曲线。依据标准曲线,选择相应的检测方法测得参数指标<sup>[5]</sup>。生化分析仪检

收稿日期: 2013-02-27

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2007AA042101); 重庆市科技攻关计划项目(CSTC, 2007AC2045)资助

作者简介: 黄晓(1986-), 女, 河南省南阳市人, 重庆大学光电工程学院硕士研究生, 研究方向为电路与系统。

测系统检测方法主要有:终点法,速率法,两点法,吸光光度法,双波长法等,该微型生化检测仪检测系统检测方法为速率法和终点法<sup>[6]</sup>。

## 2 检测系统硬件构成及功能设计

微型生化检测仪检测系统以微型光谱仪为核心,外围搭建光学系统,直线型光谱扫描系统和基于嵌入式 ARM9 的步进电机控制系统等模块以实现连续光谱适时快速检测,选用三星公司生产的 ARM9 S3C2410 作为该微型生化检测仪检测系统步进电机控制模块的核心。

### 2.1 光学系统设计

光学系统主要包括光源、平凸透镜、光纤等。选用卤钨灯作为系统光源,光谱检测范围为 330~770 nm<sup>[7]</sup>。为保证光强不受工作时间、温度、光源阻值变化影响,采用间歇式供电方法。即由 ARM 通过通用口 GPE12 控制 LM2596-ADJ 工作方式从而控制卤钨灯供电电压。当 GPE12 为低电平时,LM2596-ADJ 工作,将 24 V 电压转为卤钨灯额定电压 6 V,当需要开启卤钨灯时,使 GPE12 为高电平即可。供电电路图如图 1 所示。

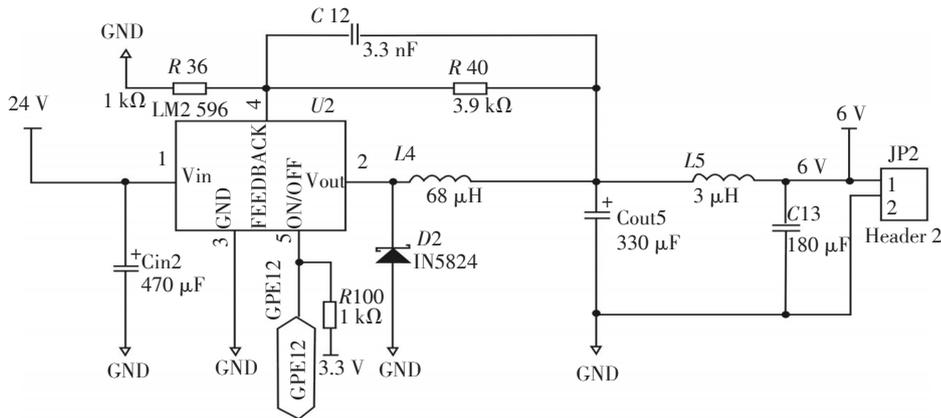


图1 卤钨灯供电电路图

进行生化指标测试时,将 S3C2410 的通用口 GPE12 通过软件置为高电平,适时开启卤钨灯工作,卤钨灯经平凸透镜准直通过样品检测室,然后耦合经光纤进入微型光谱仪,获得被检测信号,送入 S3C2410 处理器对测试数据进行处理。

### 2.2 直线型样品室光谱扫描系统设计

直线型光谱扫描系统主要包括样品室、直线导轨、步进电机、光电限位开关等。微型生化检测仪样品室光谱扫描系统结构示意图如图 2 所示。8 个样品室呈直线排列,可同时进行 8 项生命指标检测,光纤探头通过限位孔固定于样品槽壁上。光电限位开关安装于样品槽初始位置<sup>[8]</sup>。系统开机时,S3C2410 通过软件控制步进电机复位至此位置。进行生化指标测试时,由脉冲个数控制各个样品室任意走位,实现各个样品室与光纤探头高精度对准。直线型光谱扫描结构具有光谱扫描精度高,便于安装,且可避免因步进电机带动样品室移动造成累加误差无法适时消除等优点。

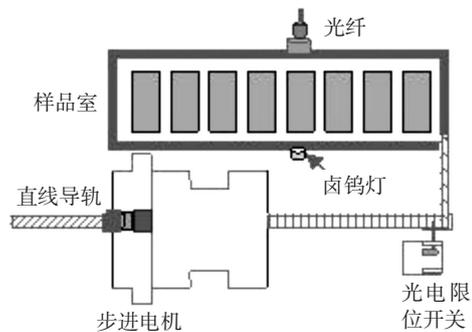


图2 光谱扫描结构示意图

### 2.3 基于 ARM9 控制步进电机控制系统设计

直线步进电机是一种将电脉冲信号转换成相应角位移或线位移的执行机构,其功能的实现需要控制系统和电机驱动器的配合<sup>[9]</sup>。系统选择海顿直线电机有限公司的 43H4A-05-08-004 型直线步进电机和 DCM4010 细分型高性能步进驱动器配合使用。设置步进电机动态工作电流为额定工作电流 0.7 A。根据步进电机驱动器参数设置脉冲频率  $\geq 1.5$  kHz,电机细分步数依次设置为 1,2,4 等,查看电机的运行状

况。经实验验证当细分步数为1时,电机运行平稳且速度较快无失步现象,此时电机功耗约为4.8 W,远小于电机设置细分步数后的功耗。

完整的步进电机控制电路包括:步进电机、步进驱动器、直流电源及控制器<sup>[10]</sup>。通过 ARM9 的 TOUT3、GPE15、GPE13 端口控制步进电机驱动器(如图3),分别向驱动器输出步进脉冲(PUL)、步进方向(DIR)和使能信号(ENA)。TOUT3 可产生具有脉宽调制的脉冲信号,保证脉冲频率和脉宽的准确性。根据收到脉冲个数,驱动器可驱动步进电机带动样品槽架实现对各样品室光谱信号扫描及各个样品室的任意走位。

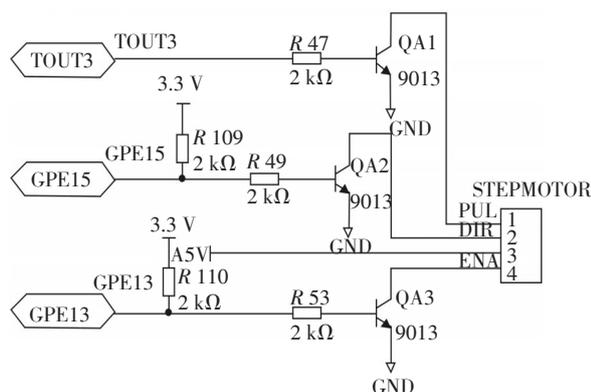


图3 直线步进电机控制电路

步进电机执行光谱扫描功能时,微处理器对PUL、DIR、ENA三个端口发送控制指令间隔应大于 $5\mu\text{s}$ (如图4),且脉冲上升或下降时间应小于 $0.5\mu\text{s}$ ,否则步进电机不能正常工作,由ARM产生可脉宽调制的脉冲符合此要求,避免了由软件产生脉冲延时、脉宽、上升下降时间等不准确的问题,从而保证样品槽架走位控制具有良好的适时性<sup>[11]</sup>。

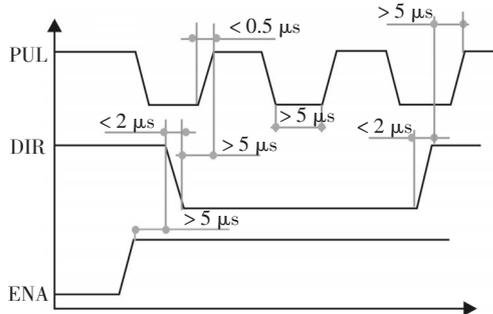


图4 步进电机控制信号时序图

### 3 微型生化检测仪检测系统光强重复性实验

为测试微型生化检测仪检测系统测试精度,需

要进行微型光谱仪对每个样品室采集光强的重复性实验,试验中以540 nm中心波长为例,对1~8号样品室依次采集光强,且每个样品室采集光强25次。实验步骤如下:

(1)编写并通过串口下载光谱扫描程序至S3C2410核心板。

(2)搭建实验平台,光谱扫描系统中的微型光谱仪输出端与计算机相连。

(3)启动光谱仪测试软件,在测试软件中置相关参数。并观察在540 nm波长下,卤钨灯光强是否饱和,若饱和,调节积分时间至光强在未饱和状态<sup>[12]</sup>。

(4)打开电源,样品室光谱扫描系统带动8个比色杯进行光谱扫描。

(5)记录、保存并处理数据,制点图如图5所示,并数据分析每个杯位光强波动情况如表1所示。

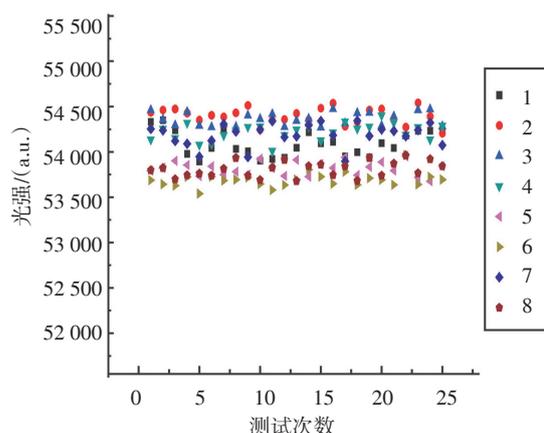


图5 光强重复性曲线

表1 每个杯位的光强波动分析

杯位号	最大偏差	均值	标准差/( $\delta$ )
1	331	54 089.96	147.006 2
2	336	54 397.64	151.071 4
3	298	54 354.64	105.195 4
4	392	54 222.28	238.017 6
5	277	53 816.56	110.056 7
6	386	53 690.36	198.897 9
7	448	54 187.68	314.562 5
8	285	53 807.08	98.193 5

由图5和表1的统计分析可知,对于每一检测杯位,重复扫描25次测得的光强最大偏差不大于448。而微型光谱仪的自身波动约为500,即每个样品室光谱扫描波动可认为是微型光谱仪自身引起的,光强最大偏差均小于 $3\delta$ 。因此可以说明微型生化检测仪

测试精度高,光谱检测重复性好,满足微小型快速生化检测仪应用指标。

## 4 结 论

文中针对微小型快速生化检测仪对高精度光谱扫描系统的需求,成功研发出基于微型光谱仪的微型生化检测仪检测系统。经实验验证该系统降低了仪器功耗,提高了光谱扫描精度,并由 ARM 产生脉宽可调制的脉冲信号实现样品室任意走位,满足微型生化检测仪实际应用需求。

## 参考文献

- [1] 郑万华.全自动生化分析仪及市场概况[J]. 上海生物医学工程,2007,28(2):124-125.
  - [2] 王前,郑磊,张鹏.战地快速检验的现状和发展趋势[J]. 人民军医,2005,48(2):118-119.
  - [3] Tudos AJ, Besselink GJ, Schasfoort RB. Trends in miniaturized total analysis systems for point of care testing in clinical chemistry[J]. Lab Chip, 2001, 1(12):83-89.
  - [4] 邵胜敏,温志渝,杨玉发,等.基于连续光谱的微型快速救护仪采集系统设计[J]. 自动化与仪表,2010,4:42-45.
  - [5] 温志渝,李恒毅,廖海洋,等.快速救护微型生化检测仪的光学系统设计[J]. 半导体光电,2010,31(2):288-295.
  - [6] S R Taneja, R C Gupta. Design and development of microcontroller-based clinical chemistry analyzer for measurement of various blood biochemistry parameters[J]. Journal of Automated Methods & Management in Chemistry, 2005(4): 223-229.
  - [7] 朱昊,章恩耀,赵子英.半自动生化分析仪的智能化改型设计研究[J]. 光学仪器, 2004, 26(3):27-31.
  - [8] 余清华,温志渝,陈刚,等.基于微型光谱仪的微型快速生化检测仪设计与实验[J]. 光谱学与光谱分析,2012,32(3):855-857.
  - [9] 温志渝,陈刚,潘银松,等.微型生化分析系统[J]. 微纳电子技术,2003,7(8):338-339.
  - [10] 陈刚,温志渝,温中泉,等.微型生化分析系统实验测试[J]. 光谱学与光谱分析,2005,25(3):439-443.
  - [11] 张海江,黎海文,吴一辉,等.生化分析仪的 ARM-SoC 控制系统设计[J]. 自动化仪表,2007,33(3): 21-27.
  - [12] 李正刚,吴一辉,宣明,等.由统一积分时间数据提高生化分析仪的精度[J]. 光学精密工程, 2009, 17(5): 980-983.
- 
- (上接第43页)
- [5] 张毅刚,乔立岩.虚拟仪器软件开发环境: LabWindows/CVI6.0编程指南[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
  - [6] 谭浩强. C 程序设计[M]. 3 版.北京:清华大学出版社,2005.
  - [7] 艾谦.光纤光栅在电力系统测温中的应用研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2006.
  - [8] 任建新,熊亮,张鹏.基于 GPRS 的油井远程监控系统设计[J]. 测控技术,2010,29(8): 98-101.
  - [9] 张纪花,王砚波,王喜昌.基于边缘滤波的 FBG 解调系统[J]. 光电技术应用,2012,27(2): 14-16.
- 
- (上接第54页)
- of large chromatographic and spectral datasets[J]. Analytical Chemistry,2005,77(17):5655-5661.
  - [15] K A Veselkov, J C Lindon, T M D Ebbels, et al. Recursive segment-wise peak alignment of biological <sup>1</sup>H NMR spectra for improved metabolic biomarker recovery[J]. Analytical Chemistry, 2009, 81(1):56-66.
  - [16] F Savorani, G Tomasi, S B Engelsen. A versatile tool for the rapid alignment of 1D NMR spectra[J]. Journal of Magnetic Resonance, 2010,202(2):190-202.
  - [17] 蒋怀周,鲍远程,刘兰林,等.基于 NMR 技术对 Wilson 病模型大鼠血清代谢组学研究[J]. 辽宁中医药大学学报,2010,38(5):19-22.
  - [18] J Forshed, I Schuppe Koistinen, S P Jacobsson. Peak alignment of NMR signals by means of a genetic algorithm[J]. Analytica Chimica Acta, 2003, 487(2):189-199.