

·光电系统·

多参数微型快速生化检测仪光谱扫描自动定位控制系统研究

吴卫馨^{1,2,3}, 温志渝^{1,2,3}, 魏康林^{1,2,3,4}, 周苏怡^{1,2,3}, 杨庭燕^{1,2,3}

(1. 国家级微纳系统与新材料技术国际联合研究中心, 重庆 400044; 2. 重庆大学新型微纳器件与系统国家重点学科实验室, 重庆 400044;
3. 重庆大学微系统研究中心, 重庆 400044; 4. 三峡大学理学院, 宜昌 湖北 443002)

摘要: 样品检测光谱扫描自动定位控制是多参数快速生化检测仪的关键技术之一。针对重庆大学研制的基于微型光谱仪的多参数微型快速生化检测仪, 提出并完成了多参数样品检测光谱扫描自动定位控制系统的设计, 并基于该控制系统展开了多参数微型快速生化检测仪的联机调试实验研究。实验结果表明: 样品检测吸光度的变异系数 $CV \leq 1\%$, 吸光度的线性相关系数 $R^2 \geq 0.995$, 满足半自动生化检测仪的相关技术要求。

关键词: 微型生化检测仪; 自动定位; 控制; 实验

中图分类号: TN707

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-06-0040-04

Research on Auto Location Control System for Spectral Scanning of Fast Micro Multi-parameter Biochemical Detector

WU Wei-xin^{1,2,3}, WEN Zhi-yu^{1,2,3}, WEI Kang-Lin^{1,2,3,4}, ZHOU Su-yi^{1,2,3}, YANG Ting-yan^{1,2,3}

(1. International Joint Research Center of National Micro/Nano Systems and New Material Technologies, Chongqing 400044, China;
2. National Key Disciplines Laboratory of New Micro/Nano Devices and Systems of Chongqing University, Chongqing 400044, China;
3. Microsystem Research Center of Chongqing University, Chongqing 400044, China; 4. College of Science, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: The auto location control to spectral scanning of sample detection is one of the key technologies of fast biochemical detectors with multi-parameter. According to fast micro-biochemical detectors with multi-parameter researched by Chongqing University based on micro-spectrometer, the design of auto-location control systems for multi-parameter sample detection spectral scanning is referred and finished. And an online debugging experiment research on multi-parameter fast micro-biochemical detectors based on the control system is developed. Experimental results show that the variation coefficient of sample detection absorbance CV is equal and less than 1%, the linear coefficient of absorbance R^2 is equal and more than 0.995. And the relative technology requirements of semiautomatic biochemical detector are met.

Key words: micro-biochemical detector; auto-location; control; experiment

现场、快速、多参数微型生化检测仪是广泛应用于现场急救、家庭卫生与社区医院的重要生化检测分析仪器^[1], 重庆大学微系统研究中心以自主研发的微型可见光谱仪为核心, 针对反映人体生命特征参数的生化指标的现场快速检测, 基于连续光谱分析^[2], 开展多参数微型快速生化检测仪的研究, 为突

破一次性多参数快速检测的关键技术, 提出并完成了多参数样品检测光谱扫描自动定位控制系统的设计, 并基于该控制系统展开了多参数微型快速生化检测仪的联机调试实验研究。实验结果表明, 自动定位控制系统满足设计要求, 对提高多参数微型快速生化检测仪的整体性能具有重要的作用。

收稿日期: 2013-08-26

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: 吴卫馨(1988-), 女, 重庆人, 重庆大学光电学院硕士研究生, 主要从事硬件电路设计及相关应用程序设计方面的研究工作。

1 微型快速生化检测仪光谱扫描系统

基于微型光谱仪的多参数微型快速生化检测仪光谱扫描系统结构^[3]如图1所示。

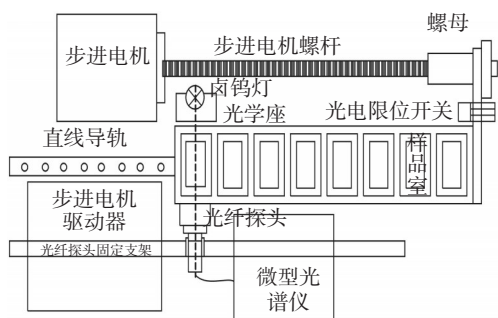


图1 光谱扫描系统结构图

光谱扫描系统以卤钨灯作为检测光源,通过直线步进电机带动直线型结构排列的分立式多参数样品检测室移动,样品室透射光通过光纤探头进入微型光谱仪,从而获取光谱信号^[4],各被测样品室与准直光源、光谱仪形成生化检测系统以检测相应的生化指标。光纤探头在样品室通光孔处获取光谱信号时,光线相对纤芯平面的入射角对光纤获取的光强信号有较大影响,如果光纤探头对同一样品室的多次对准过程中存在较大偏差,便会导致检测结果的准确性、重复性变差,因此准直光源、光纤探头与样品室通光孔必须精确共轴,因此,光谱扫描自动定位的高精度控制是微型快速生化检测仪精确检测各被测样品的关键技术,文中就此展开微型快速生化检测仪光谱扫描自动定位控制系统的设计与实验研究,对提高微型快速生化检测仪的稳定性与准确性具有重要的作用。

2 光谱扫描系统控制电路

光谱扫描系统的控制电路原理如图2所示。

光谱扫描系统控制电路主要是采用S3C2410A核心板控制光源、光谱仪、直线步进电机和光电限位开关等硬件设备^[5]。通过S3C2410A控制GPE12端口的高低电平实现光源的开关,USB接口控制光谱仪的光强数据采集。S3C2410A核心板的TOUT3端口及GPE15、GPE13端口为步进电机驱动器提供脉冲信号、方向信号以及使能信号,使步进电机驱动器驱动步进电机转动,从而带动样品室沿直线导轨移动,实

现各个样品室的光谱扫描功能。S3C2410A核心板的GPB2端口读入光电限位开关输出电平,设置步进电机初始参考位置^[6]。

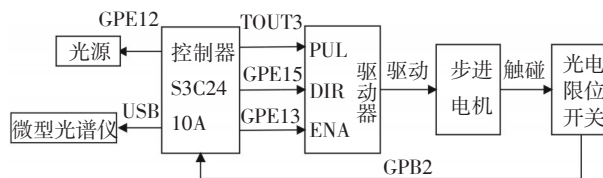


图2 光谱扫描系统硬件电路框图

3 光谱扫描系统自动定位控制程序

光谱扫描系统样品室自动定位程序是在基于微型快速检测仪的嵌入式Linux软件系统方案下设计的,软件系统平台采用最新的Linux2.6.14内核作为嵌入式操作系统^[7]。

3.1 搭建交叉编译环境

由于嵌入式设备的资源有限,需要在PC机上进行应用程序的编写,但是PC机是基于X86的体系结构,而嵌入式设备是基于ARM9的体系结构,因此PC机上编写的应用程序不能直接应用到嵌入式设备中,需要通过交叉编译环境来开发嵌入式设备程序^[8]。最后把编译好的应用程序生成可执行文件下载到嵌入式设备中^[9]。所选用的是开源的基于ARM体系结构的GCC工具链,交叉编译时所用的工具链是ARM3.4.1版本,采用arm-linux-g++交叉编译器^[10]。

3.2 应用程序设计

程序首先要进行设备初始化,包括:光源控制函数(PSMSC_IOC_W_LAMP)、风扇控制函数(PSMSC_IOC_W_CHASSIS_FAN)、温度控制函数(PSMSC_IOC_R_CELL_TEMP_T)等设备函数的初始化。初始化完成后,电机调用原点程序使步进电机回到初始位置。发送脉冲前调用电机驱动程序(PSMSC_IOC_R_STEPPER_MOTOR_RUN),同时光谱仪采集光强信号,通过判断光强是否为最大函数的算法比较得到光强最大点所对应的脉冲数,并记录为样品室的定位位置。最后所有样品室定位完成时,步进电机触碰光电限位开关定位结束^[11]。应用程序的结构框图如图3所示。

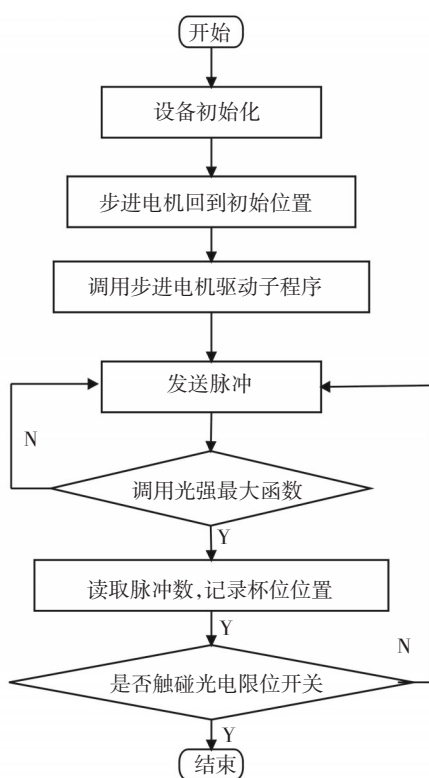


图3 定位程序流程图

3.3 自动定位控制图形界面

在 Windows 下使用集成开发工具 Qt Creator 设计的光谱扫描系统样品室自动定位界面^[12]如图 4 所示。点击 start 按钮, 开始发送脉冲并采集光强数据, 程序自动找到光强最大点。

数据采集结束后, 点击 result 按钮, 每个样品室的定位点显示在 location 子界面中如图 5 中得到的每个样品室定位点的脉冲数^[13]。

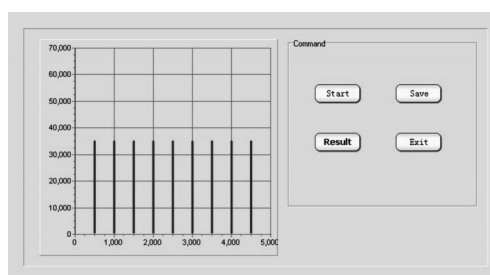


图4 定位程序界面

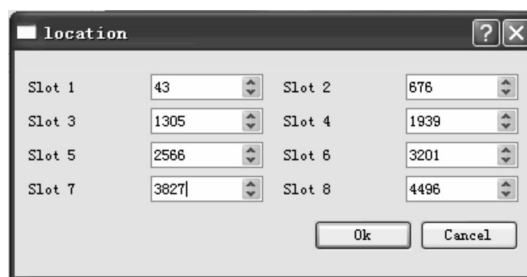


图5 定位结果显示

4 控制系统的联机测试

将光谱扫描自动定位控制模块程序优化整合到微型快速生化检测仪样机软件设计中, 进行联机调试实验研究。以甲基橙溶液为例, 展开了仪器测试吸光度重复性、吸光度线性的实验研究^[14]。

由于甲基橙在 465 nm 波长处的吸光度效果最好, 因此实验时设置波长为 465 nm, 并将积分时间调至 270 s, 此时光强大且处于不饱和状态, 能够达到很好的实验效果。配置的溶液浓度分别为: 5 $\mu\text{mol/L}$ 、10 $\mu\text{mol/L}$ 、20 $\mu\text{mol/L}$ 、25 $\mu\text{mol/L}$ 、30 $\mu\text{mol/L}$ 、35 $\mu\text{mol/L}$ 、40 $\mu\text{mol/L}$ 。每个浓度测试 10 次, 实验的原始数据如表 1 所示。

表1 各浓度甲基橙吸光度值

浓度/ $\mu\text{mol/L}$	5	10	20	25	30	35	40
吸光度							
1	0.123	0.267	0.542	0.637	0.772	0.888	1.003
2	0.124	0.265	0.541	0.637	0.774	0.887	1.003
3	0.122	0.266	0.541	0.638	0.771	0.885	1.001
4	0.124	0.266	0.540	0.639	0.772	0.885	1.000
5	0.122	0.268	0.541	0.640	0.771	0.889	1.005
6	0.125	0.264	0.543	0.637	0.768	0.883	1.001
7	0.123	0.266	0.543	0.639	0.772	0.884	0.999
8	0.123	0.271	0.546	0.641	0.771	0.886	0.999
9	0.126	0.268	0.544	0.637	0.773	0.885	0.997
10	0.125	0.268	0.542	0.640	0.771	0.886	1.000
平均值	0.124	0.267	0.542	0.639	0.771	0.886	1.002

(1)吸光度重复性

将所得数据按式(1)计算每个杯位的变异系数CV值^[15]

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$; x 为每次实测的吸光度值; n 为实测次数; \bar{x} 为 n 次测量结果的平均值。

由以上计算公式得到数据的重复性为: $CV_1=0.35\%$ 、 $CV_2=0.23\%$ 、 $CV_3=0.10\%$ 、 $CV_4=0.07\%$ 、 $CV_5=0.06\%$ 、 $CV_6=0.06\%$ 、 $CV_7=0.07\%$ 。根据 YY/T0014-2005《半自动生化分析仪》中仪器重复性要求

$\ll 1\%$, 由计算结果得知每个杯位的重复性均满足要求。

(2)吸光度线性

由于系统采用的样品检测室为标准比色杯, 标准比色杯光程为 10 mm, 因此该项检测, 依据 YY/T0014-2005《半自动生化分析仪》中线性的检测方法来计算吸光度的线性度, 按照式(2)计算线性偏倚

$$\Delta A_i = \frac{\bar{A}_i - A_{i0}}{A_{i0}} \times 100\% \quad (2)$$

其中, ΔA_i 为在吸光度为 i 时的线性偏倚; \bar{A}_i 为在吸光度为 i 时的实测吸光度的平均值; A_{i0} 为在吸光度为 i 时的标准溶液或中性滤色片的标称值。各浓度吸光度线性偏倚如表 2。

表 2 各浓度吸光度线性偏倚

A_{i0}	0.12	0.26	0.53	0.62	0.75	0.87	0.99
\bar{A}_i	0.124	0.267	0.542	0.639	0.771	0.886	1.002
ΔA_i	3.3%	2.3%	2.2%	3.1%	2.8%	1.8%	1.2%

YY/T0014-2005《半自动生化分析仪》吸光度线性应满足如下要求:

吸光度在 ≤ 0.5 范围内, 偏倚不超过 $\pm 5\%$;

吸光度在 $> 0.5 \sim \leq 1.0$ 范围内, 偏倚不超过 $\pm 4\%$;

吸光度在 $> 1.0 \sim \leq 1.8$ 范围内, 偏倚不超过 $\pm 2\%$ 。

由计算结果得出, 微型快速生化检测仪的吸光度在各个范围内均满足要求。

将表 1 中的数据以浓度为横坐标, 对应的吸光度平均值为纵坐标, 用最小二乘法对数据进行拟合, 根据《生化分析仪检定规程 JJG464》要求相关系数 > 0.995 。甲基橙吸光度拟合曲线如图 6 所示。

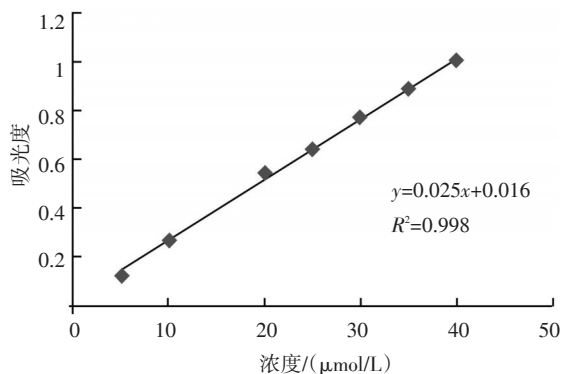


图 6 甲基橙吸光度拟合曲线

由拟合曲线得出, 拟合的斜率为 0.025, 截距为 0.016, 拟合直线的线性系数 $R^2=0.998 > 0.995$, 数据基本成线性, 满足检定规程要求。

5 结束语

针对多参数微型快速生化检测仪精确检测的要求, 研究高精度多样品室光谱扫描自动定位控制系统, 完成了系统的设计及实验。实验结果表明, 控制系统满足多参数微型快速生化检测仪稳定、准确检测的要求, 解决了多参数快速检测的关键技术, 为多参数微型快速生化检测仪的实用化奠定了重要的技术基础。

参考文献

- [1] 黄俭, 温志渝, 洪明坚, 等. 仪器仪表学报, 2005, 26(2): 297-299.
- [2] 胡松, 温志渝, 梁玉前, 等. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(9): 1769-1773.
- [3] 张波, 微型生化分析仪的系统结构设计与实验[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [4] 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.
- [5] 曾庆钟. 微型生化分析仪控制系统的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [6] 李恒毅. 快速救护微型生化检测仪硬件系统设计与实验[D]. 重庆: 重庆大学, 2009.
- [7] 黄俭. 半自动微型生化分析仪软件系统的设计与实验[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.

(下转第 90 页)

参考文献

- [1] 张继红,张惠殊,孙喜寿. 油井试井手册[M]. 北京:石油工业出版社,2008.
- [2] 黄俊钦.测试系统动力学[M]. 北京:国防工业出版社,1996.
- [3] 崔春生.新型石油井下动态参数测试技术研究[D]. 太原:中北大学,2007.
- [4] 何金田,张斌.传感器原理设计与应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2009.
- [5] 孟立凡,郑宾.传感器原理及技术[M]. 北京:兵器工业出版社,2000.
- [6] 孙以材,刘玉岭,孟庆浩.压力传感器的设计、制造与应用[M]. 北京:冶金工业出版社,2000:369-381.
- [7] 孙以材,魏占永,孙新宇,等.压阻型压力传感器的零点温漂及其补偿技术[J]. 半导体杂志,1999,24(4):40-49.
- [8] C Pramanik,T Islam, H Saha. Temperature compensation of piezoresistive micromachined porous silicon N pressure sensor by ANN[J]. Microelectronics Reliability,2006,46: 343-351.
- [9] Monica Bianchini. Learning without local minim in radial basis function networks [J]. IEEE Trans. On Neural Networks, 1995,6(3): 749-755.
- [10] 刘鹏.压阻式压力传感器温度补偿方法实现的研究 [D]. 天津:天津大学,2010.

(上接第43页)

- [8] 陈勤.基于Linux的嵌入式生化分析仪信号采集系统驱动程序设计[J]. 电子测量技术,2008(3).
- [9] 高亮.基于Linux的多参数水质监测仪的软件系统设计[D].重庆:重庆大学,2011.
- [10] 陈勤.基于ARM & Linux的嵌入式微型生化分析系统软件设计[D]. 重庆:重庆大学,2008.
- [11] 张洪建.基于嵌入式Linux半自动生化分析仪的研究与设计[D]. 镇江:江苏大学,2009.
- [12] Gasmin Blanchette, Mark Summerfield. C++ GUI Qt3 编程[M]齐亮. 北京:北京航空航天大学出版社,2006:325-400.
- [13] 白玉霞,刘旭辉,孙肖子.基于Qt/Embedded的GUI移植及应用程序开发[J]. 电子产品世界.
- [14] 陈集,饶小桐.仪器分析[M]. 重庆:重庆大学出版社,2002.6: 3-41.
- [15] YY/T 0014-2005 Semi-automatic Biochemical Analyzer [S].半自动生化分析仪.

(上接第70页)

- [3] 李鸿飞. XX综合测试技术的发展与应用[C]// 第二届国防科技工业试验与测试技术发展高层论坛论文集,2008:71-75.
- [4] 张军. AVR单片机应用系统开发典型实例[M]. 北京:中国电力出版社,2005:229-248.
- [5] 王福瑞. 单片微机测控系统设计大全[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1999.
- [6] 冯健,张化光. AVR单片机在多回路数据采集器中的应用[J]. 仪器仪表学报,2005(8): 256-257.
- [7] 张斌,赵冬娥,宋涛,等. 高速密集多路光电信号的并行采集与控制[J]. 光电技术应用2011,26(1):66-69.
- [8] Bossche. A reliability technology-theory and application[J]. IEEE TransReliab,1984,R-36(2).

版权声明

本刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中文科技期刊数据库》、《中国期刊全文数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》、美国《乌利希期刊指南》、波兰《哥白尼索引》收录期刊,加入了中国光学期刊网,建立了《光电技术应用》期刊网站,所刊载的文章在国内外数据库检索机构及网站(包括纸版、光盘版、网络版)报道时,不再征求作者意见。稿件刊登录用后作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给,并赠送当期样刊两份。