

文章编号:1004-1478(2011)04-0105-04

基于 ARM 的便携式血液流变测试仪的设计与实现

刘旭娟

(西安航空技术高等专科学校 车辆与医电工程系, 陕西 西安 710077)

摘要:采用 U 型管毛细管式快速黏度测量方法,利用 ARM-Linux 嵌入式技术,通过交叉编译方式对系统软件进行调试,设计了一种新型的一体化、便携式血液流变测试仪。试验结果表明,该仪器使用方便,操作简单,测定快速,数据准确度高。

关键词:血液流变测试仪;U 型管黏度计;嵌入式系统;ARM;Linux

中图分类号:R319 **文献标志码:**A

Design and implementation of the portable hemorheology measurement device based on ARM

LIU Xu-juan

(Dept. of Vehicle & Medical Eng., Xi'an Aero-technical College, Xi'an 710077, China)

Abstract: A portable automatic hemorheology measurement device was designed by using U-shape capillary viscosimeter and ARM-Linux embedded technology. The system software was modulated by using the cross-compiling way. The experimental results showed that the device has the following merits: conveniency to use, simplicity of operation, rapid determination and high accuracy.

Key words: hemorheology measurement device; U-shape viscosimeter; embeded system; ARM; Linux

0 引言

国内外临床研究表明,血液流变学指标与心血管、动脉、血液等方面的疾病有高度相关性,许多疾病发生时会导致血液流变学指标异常。因此,血液流变学指标可以作为这些疾病诊断、鉴别、疗效观察、预先判断及复发预测的重要参考^[1]。黏度参数是血液流变学检测中最基本、也是最重要的参数^[2]。对于血液这种具有黏塑性的非牛顿流体而言,其黏度随剪切率变化而变化。为了测得一定范

围剪切率下的黏度,通常需要不断改变这些黏度计的参数,重复进行测量,既耗时又费力,并且过多地重复操作会使样本的测量结果准确率降低。近年来国外有研究者开始研究新的适合临床应用的快速测定黏度的方法,较有代表性的是采用具有 U 形管装置的扫描式毛细管黏度计^[3]。

在仪器实现方式上,市场上很多血液流变测试仪采用的都是基于 PC 机的上下位机形式,这些仪器需要在 PC 上安装专门的软件,仪器体积较大,携带和移动都不方便。为了方便携带,早期的血液流

收稿日期:2011-04-12

作者简介:刘旭娟(1983—),女,陕西省渭南市人,西安航空技术高等专科学校助教,硕士,主要研究方向为生物医学电子与信息技术检测。

变测试仪开始采用单片机进行控制^[4],但这些仪器通常都不具备良好的用户操作界面,也不利于系统功能的进一步升级。

ARM 是业界公认的领先的 32 位嵌入式 RISC (reduced instructions set computer) 微处理器,具有体系结构可扩展、功耗低、成本低和支持实时多任务等特点^[5-6]。将 ARM 应用于医疗仪器的设计符合医疗仪器便携化、一体化的发展趋势。本文拟将 ARM 技术应用于血液流变测试仪的设计,采用基于 U 型管的黏度测量方法,设计一种新型便携式血液流变测试仪。

1 便携式血液流变测试仪结构设计

便携式血液流变测试仪的系统结构如图 1 所示,系统主要包括电机、电磁阀驱动控制模块,小键盘输入模块,数据采集模块,LCD 显示模块,串口打印模块,U 盘存储模块,网络接口模块等部分。

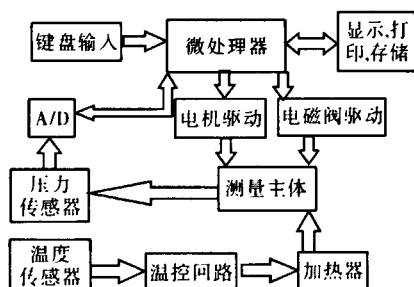


图 1 便携式血液流变测试仪结构框图

测量主体是测量的核心,包括毛细管、电机、电磁阀和连通管道,其结构如图 2 所示。毛细管结构为 U 型,由左右 2 个小室和连通其间的毛细管组成,管路部分装有电机、压力传感器。U 型管 1 有 3 个出口分别接通 3 个电磁阀,经电磁阀再分别连通进样管、清洗管、电机抽排气管;U 型管 2 上端有一出口,由三通管接通压力传感器与电磁阀,通过连接管道与电机抽排气管相连。

测量过程中,微处理器通过控制电机的正、反、停转以及电磁阀组合的开闭,来完成试样的吸取、平衡、加压、回流等过程,血液黏度测量操作表如表 1 所示。压力传感器测得血样在管中回流时的一系列压力值,通过 A/D 转换口进行模数转换,经微处理器处理、运算,然后把测得的结果送到液晶显示器显示,同时也可实现结果的打印和存储。键盘输入系统测量所需参数和控制信号。温度控制部分为

测量主体提供恒温环境,以减小温度变化对测量产生的不良影响。

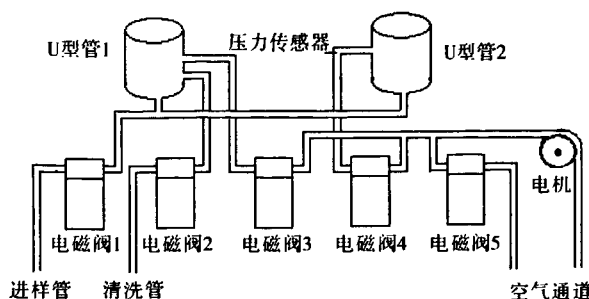


图 2 测量主体结构

表 1 血液黏度测量操作表

过程	时间/s	设备	开	关
吸样	0~10 (吸样时间)	电磁阀	1,3	2,4,5
		电机	反转	正转
平衡	平衡时间	0.4	电磁阀 3	1,2,4,5
		电机	正转	反转
		0.05	电磁阀 3	1,2,4,5
		电机	停转	1,2
加压	0.1	电磁阀	3,4,5	1,2
		电机	停转	1,2
		压力达阈值	电磁阀 3	1,2,4,5
		电机	正转	反转
等待	0.05	电磁阀	3	1,2,4,5
		电机	停转	1,2
等待	等待时间	电磁阀	5	1,2,3,4
		电机	停转	1,2
采样	0.25	电磁阀	3,5	1,2,4
		电机	停转	1,2
排样	5 (排样时间/2)	电磁阀	3,5	1,2,4
		电机	停转	1,2
		5	电磁阀 1,4	2,3,5
		电机	正转	反转
排样	5 (排样时间/2)	电磁阀	1,3	2,4,5
		电机	正转	反转

2 血液流变指标的计算

本文采用 U 型管毛细管式快速黏度测量方法,其基本原理如下:当 2 个 U 型管初始液面水平高度不同时,高液面管中的液体在重力作用下向低液面管流动。

根据泊肃叶公式

$$Q = \frac{\pi r_c^4}{8\eta l} \cdot \Delta p$$

并做简单变化,可得血浆黏度计算公式

$$\eta = \frac{\pi r_c^4 \Delta P}{8 Q l}$$

式中, η 为流体黏度, Q 为体积流量, ΔP 为管两端压差, l 为管长, r_c 为管半径.

全血黏度则可通过建立 Casson 方程来求取. 将 Casson 方程

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\eta_c} \cdot \sqrt{\gamma} + \sqrt{\tau_c}, \eta = \frac{\tau}{\gamma}$$

简单转化,可得

$$\eta = \eta_c + \tau_c / \gamma + 2 \cdot \sqrt{\eta_c \cdot \tau_c} / \gamma$$

式中, η 为全血黏度, γ 为切变率, η_c 为 Casson 黏度, τ_c 为 Casson 应力. 若 η_c 和 τ_c 为已知条件, 任意给定 1 个满足 $\gamma \geq 1/s$ 的切变率, 即可得到其相应的黏度值. 另外, 由血液流变仪检测出的黏度值, 配合血沉仪检测出的血沉和压积参数, 可以计算出其他血液流变学指标, 如还原黏度、红细胞聚集指数等.

3 硬件控制系统设计

嵌入式处理器是嵌入式系统硬件的核心部分, 三星公司推出的 S3C2410 是 16/32 位 RISC 处理器, 主频高达 203 MHz, 能够轻松运行 Wince. net, Linux 等操作系统, 进行较为复杂的信息处理.

系统的硬件逻辑框图如图 3 所示.

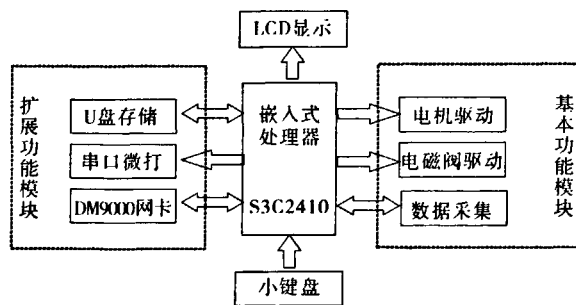


图 3 控制系统硬件结构

在硬件设计中, 充分利用 S3C2410 丰富的内部集成资源来扩展各个功能模块: 选择 7 个 GPIO 口控制驱动电路来实现对电机、电磁阀驱动控制; 选择 8 个 GPIO 口来扩展 4 × 4 小键盘, 实现控制命令和参数的输入; 扩展 12 位并行 A/D 转换芯片 AD1674 采集压力传感器传送的压力值; 利用内部自带的 LCD 控制器驱动 4 位灰度级、320 × 240 分辨率的 STN 型 LCD 显示屏, 为用户提供操作界面; 通

过标准 RS232 串口扩展微型打印机, 通过 USB 控制器扩展 USB HOST 接口, 为系统提供打印、存储数据功能; 利用总线扩展网卡芯片 DM9000 给系统提供网络接口, 方便系统调试和仪器测量数据的网络共享.

电机、电磁阀驱动控制模块和数据采集处理模块是整个测量部分的核心, 用于实现血液流变测试仪的主要功能. 对 A/D 转换时间的要求主要是在采样过程中, 每隔 1/50 个采样时间就连续采集 25 个压力值. 采样时间最小为 5 s, 因此要确保在规定时间内采到 1 250 个有效数据, 采样频率不能低于 250 Hz, 即平均每次转换时间(包括应用程序进行 A/D 转换函数调用的时间)不能大于 4 ms.

4 软件系统设计

本软件系统采用交叉编译方式进行调试, PC 使用 RedHat Linux 9.0 操作系统, ARM 板使用 arm-Linux 操作系统, GUI 软件使用 MiniGUI, PC 机上的交叉编译调试工具使用 armv4l-unknown-Linux 工具链. 设计内容包括上层的图形用户界面程序开发以及和底层硬件系统相关的软件设计.

本软件系统的结构图如图 4 所示.

4 个功能模块分别为黏度测量、设备维护、记录处理和参数设置. 考虑到操作方便, 设计了 9 个功能界面, 即主界面、全血测量界面、血浆测量界面、设备清洗界面、设备排样界面、设备浸泡界面、记录处理界面、参数设置界面和设备检查界面. 主程序从 MiniGUIMain 入口, 加载用户参数数据(即读取用户参数文件 param. ini 中的参数值), 并创建一个主窗口, 然后返回. 只有当用户按键操作引发消息后, 才进入主窗口回调函数进行消息处理^[7]. 主程序流程如图 5 所示.

与底层系统相关的软件设计包括系统定时机制、小键盘输入、硬件驱动接口、U 盘转存等.

5 试验验证

笔者采用全血质控液作为全血测量标准、血浆质控液作为血浆测量标准进行黏度测量. 准备好质控液, 设定好参数, 进入全血测量对话框, 选中“黏度测量”按钮开始测量. 观察液体的进样、采样、排样等操作是否正确, 压力曲线绘制是否正常. 进入记录处理对话框, 输入刚测量的样本编号以及对应

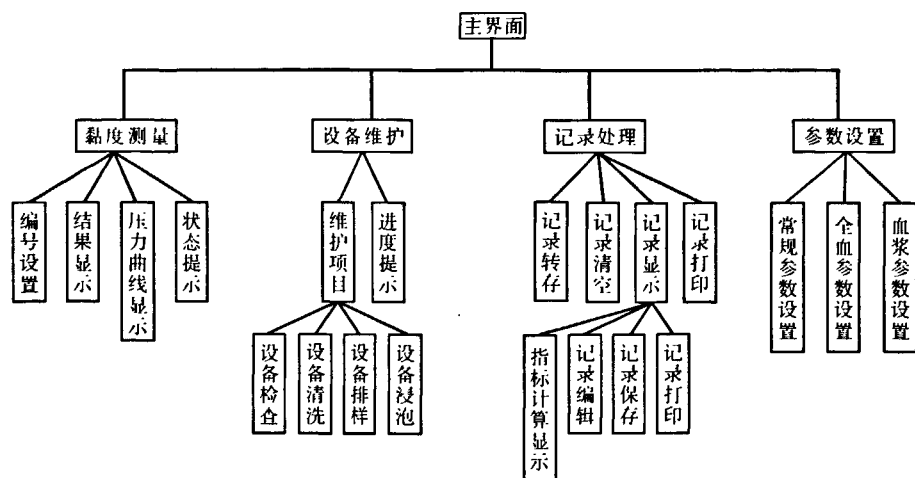


图4 软件系统结构图

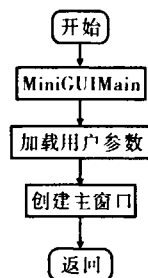


图5 主程序流程图

样本的血沉、压积值,可正确计算并显示所有指标结果.血浆测量方法相同.

连续 20 次对质控液进行黏度测量后,对测试结果进行准确性和重复性评价,结果如表 2 所示.由表 2 可知,测试结果在质控液参数范围之内,重复率在 2% 以内,符合医用标准.

表 2 黏度测量性能评价表

测试指标	质控标准/ (MPa·s)	测试结果 ($\bar{x} \pm s$)	重复率/ %
全血高切黏度	4.8 ± 0.1	4.80 ± 0.06	1.30
全血中切黏度	5.9 ± 0.2	5.90 ± 0.08	1.30
全血低切黏度	11.8 ± 0.5	11.82 ± 0.11	0.93
血浆黏度	1.56 ± 0.1	1.56 ± 0.01	0.64

6 结论

采用 U 型管毛细管式快速黏度测量方法,利用 ARM-Linux 嵌入式技术,通过交叉编译方式对系统软件进行调试,设计了一种新型的一体化、便携式血液流变测试仪.测试结果表明,该仪器不仅使用方便、操作简单、测定快速,而且测试结果准确度较高.另外,仪器测试参数可以根据实际使用情况进行

调整,有利于医院血液流变学检测的质量控制和建立医院内部统一的指标评定标准.

参考文献:

- [1] 袁进,顾为望.血液流变学在临床疾病诊断、治疗中的应用[J].中国比较医学杂志,2007,17(7):406.
- [2] 董伟,秦东兴,伍瑾斐.基于血液流变学理论的血液流变仪的设计[J].微计算机信息,2006,22(9):170.
- [3] Sangho Kim, Young I Cho, William N Hogenauer, et al. A method of isolating surface tension and yield stress effects in a U-shaped scanning capillary-tube viscometer using a Casson model [J]. J Non-Newtonian Fluid Mech, 2002, 103:207.
- [4] 朱翔,马波,刘骥.单片微机在血液流变学中的应用[J].中国医学物理学杂志,1999(2):92.
- [5] 魏忠,蔡勇,雷红卫,等.嵌入式开发详解[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [6] 李学桥,张征.基于 ARM 的无线一指通考务管理器设计与实现[J].郑州轻工业学院学报:自然科学版,2007,22(2/3):162.
- [7] 魏永明. MiniGUI 编程指南[M].北京:飞漫软件技术有限公司,2003.