

Non-Invasive Glucose Measuring Apparatus of the DSP and Android Software System Design *

LI Yang^{1,2}, TANG Fei^{2*}, WANG Xiaohao², YU Cilong²

(1. School of Electronics and Computer Science and Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Department of Precision Instrument, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The platform for processing based on DSP and Android operating system is the hotspots in electronic product. The structure of hardware and software of non-invasive glucose measuring apparatus is introduced. The controlling and measuring program for DSP and application for Android platform are presented in detail. The serial communication between modules in device is established by standard RS232 interface. Blood glucose test conducted on 16 volunteers, the correlation coefficient of sample tests is 0.863. The experiments show that the system could be completed under the control of the software system. Original data can be saved. Non-invasive blood glucose test has feasibility.

Key words: non-invasive glucose measurement; TMS320F2812DSP; Android

EEACC:7230J

doi:10.3969/j.issn.1004-1699.2013.10.002

无创血糖检测仪的 DSP 和 Android 软件系统设计 *

李 阳^{1,2}, 唐 飞^{2*}, 王晓浩², 于赐龙²

(1. 中北大学电子与计算机科学技术学院, 太原 030051; 2. 清华大学精密仪器系精密测试技术及仪器国家重点实验室, 北京 100084)

摘 要: 基于 DSP 和 Android 操作平台的处理系统是目前电子产品的应用热点。介绍了无创血糖检测仪系统的硬件结构和软件应用平台, 详细阐述了 DSP 主控芯片的控制流程和 Android 平台的用户交互模块设计, 通过 RS232 标准接口, 实现了无创血糖检测仪系统各模块的串行通信。对 16 名志愿者进行血糖测试实验, 样本测试相关系数为 0.863, 实验表明, 该系统可以控制完成血糖检测和原始数据的存储, 无创血糖测试具有可行性。

关键词: 无创血糖检测仪; TMS320F2812DSP; Android

中图分类号: TM930

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2013)10-1323-05

糖尿病是一种以高血糖为特征的代谢紊乱疾病, 是最为常见的慢性病之一, 其治疗包括糖尿病教育、饮食、运动、药物、血糖监测以及其他心血管疾病危险因子的检测和控制。其中, 血糖监测是指导血糖控制达标的重要措施, 也是减少高血糖或低血糖风险的重要手段, 血糖监测以定期检测血糖指标方式进行^[1]。目前, 血糖检测方法按照对人体的侵入程度分为有创、微创和无创血糖检测。其中无创血糖检测仪既无试纸需求, 又消除了采血给患者带来的心理负担和感染风险, 而成为一个重要的研究热点。具有代表性的无创血糖检测方法有红外光谱法、光声谱法、偏振光旋法、阻抗谱法、超声法和代谢

热整合法^[2]。本课题组以代谢热整合方法为理论基础, 依靠高精度数据采集单元对温度变化测量和光学系统进行测量, 从而获取血糖浓度信息^[3], 研究开发了基于代谢热法的无创血糖检测仪。该仪器把 TI 公司的 TMS320F2812 作为控制处理芯片, 该芯片在测试控制和算法处理上优势明显, 但是其人在人机交互界面开发方面存在明显不足, 而基于 RK2928 处理器的 Android 平台, 应用交互性优良, 扩展性强, 开发周期短, 能便捷的开发用户体验良好的客户端。本文重点介绍便携式血糖检测仪的软件系统, 实现微弱信号检测、数据处理算法、数据记录和与人机交互功能。

项目来源: 国家 863 项目(2011AA040406)

收稿日期: 2013-09-17 修改日期: 2013-10-20

1 无创血糖仪检测原理

代谢热血糖检测理论在 2004 年由韩国 Ok Kyung Cho 等人和日立公司提出,认为血液中的葡萄糖和氧气在血液循环系统的作用下进入组织细胞中,经过氧化反应转化为能量、水和二氧化碳,其中大部分能量转换成热量,被转换的热量以对流和辐射的形式散发到周围环境中。因此,人体代谢热量是血糖浓度、供氧量的函数并与其正相关,通过测试散热量的方法可以预测代谢热^[4]。

根据代谢热整合法理论,可以把代谢热量作为血糖浓度值和氧供给量的函数,氧供给量又由血氧饱和度、血红蛋白浓度和局部组织的血流量决定,因此代谢产热量为血糖浓度值、血氧饱和度、血红蛋白浓度和血流量的函数^[5],并可用式(1)表示:

$$H = \text{Function}(G, qb, SPO_2, Hb) \quad (1)$$

式中: H 为代谢热量, qb 为血流量, SPO_2 为血氧饱和度, Hb 为血红蛋白浓度, G 为血糖浓度值。若测得代谢热量、血氧饱和度和血流量,即可推算出血糖浓度值,并可用式(2)表示:

$$G = \text{Function}(H, qb, SPO_2, Hb) \quad (2)$$

2 系统总体结构设计

依据代谢热整合法理论,被测参数包含 6 组温湿度信息以及 4 组红外光信息^[6],通过信号调理电路和 DSP 芯片控制系统实现对这些信号的处理与存储,然后通过串口协议,由基于 ARM Cortex-A9 的 Android 平台显示,因此硬件分为 3 部分:多传感器探头、DSP 控制系统和基于 Android 平台的 ARM Cortex-A9 系统,具体硬件结构如图 1 所示。

基于以上硬件设计,仪器的软件系统设计分为 3 大部分:血糖检测模块、用户交互模块、串行通信

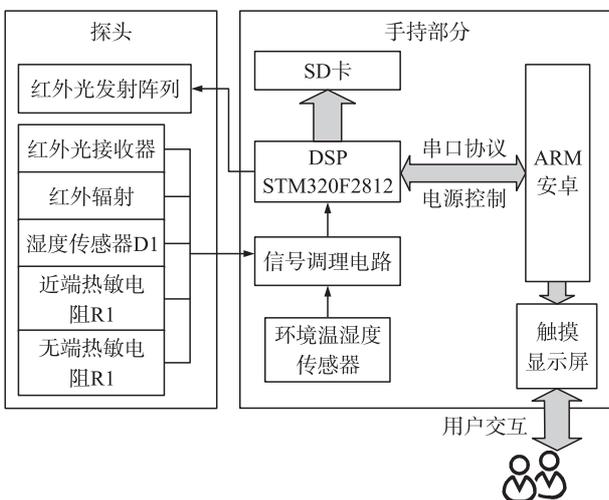


图 1 无创血糖检测仪硬件结构框图

协议。血糖检测模块用来控制探头内光敏传感器的光源(红外光发射阵列)和各传感器数据采集,对采集的原始数据进行算法分析和保存;用户交互模块实现完善的人机交互体验;串行通信协议实现两模块之间命令和数据的通信。

2.1 血糖检测模块设计

血糖检测模块核心采用 TI 公司的 32 bit 定点 DSP 芯片 TMS320F2812(后文简称为 F2812),该芯片外设包括两个事件管理器、数模转换模块 ADC、串行通讯接口 SCI 以及两组串行外设接口 SPI 等。利用片内提供的外设可以实现多种专用仪器的快速开发,以及功能扩展。

2.1.1 血糖检测的流程设计

在 F2812 中,利用一个事件管理器 EVA 实现内部 AD 和内部定时器的绑定,即定时器按一定频率触发内部 AD 进行采样;利用串行接口 SCI 作为通信协议的接口,利用串行外设接口 SPI 作为与 SD 卡传输的接口。

DSP 上电后,初始化 DSP 中所有外设,并打开串口接收中断,待串口接收到检测中断命令才开始检测。检测程序分为若干模块:温湿度采集模块、红外光控制模块、血氧采集模块、血糖计算模块以及 SD 卡原始数据存储模块。其中,前 3 个模块利用不同的中断实现,血糖计算模块实现了代谢热整合算法,SD 卡数据存储模块将原始数据保存到 SD 卡供进一步分析研究。程序流程如图 2 所示。

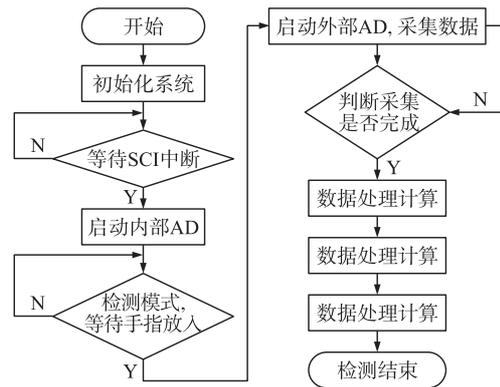


图 2 DSP 检测程序流程图

2.1.2 数据处理及算法实现

数据处理的总流程图如图 3 所示。传感器探头对采集的数据预处理,完成各路传感器矩阵的建立,采用二阶巴特沃兹低通数字滤波器以及实验系统设置的数据剔除阈值来剔除噪声和无用数据^[7]。经过预处理后送入各级运算模块,在各模块中完成各个生理参数的计算。计算结束后,调用 SD 卡读写模块保存检测原始数据^[8]。

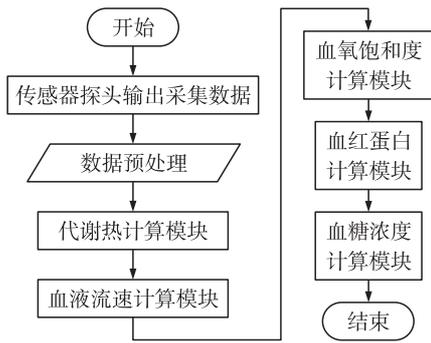


图 3 DSP 模块中的数据处理流程

2.2 用户交互模块设计

在 Android 平台下开发完成用户交互模块, Android 是一款基于 Linux 修订版本的移动操作系统,使用 Android 的主要优势是它提供了统一的应用程序开发方法。在 Android 系统中,利用系统的资源可以便捷的开发出交互性强,界面美观的应用程序。由用户交互模块获取用户给出的检测开始信号,利用串行接口通信,血糖检测模块检测完毕后将结果返回给用户交互模块并显示。

本仪器中 ARM 电路的硬件外设设计比普通的平板电脑电路增加了一组 RS232 接口和可控的电源输出管理,RS232 接口用于与血糖检测模块的通信,可控电源输出用于控制所有外设的供电。

2.2.1 Android 程序结构设计

Android 程序结构如图 4 所示。该程序完成的任务有:(1)血糖检测模块的电源控制,在测试开始时给血糖检测模块上电,并在检测结束时掉电;(2)用户信息保存,通过共享首选项(Shared Preferences)实现用户数据在程序内部共享;(3)用户交互模块与血糖检测模块的串行通信,通过服务(Service)后台实现双方的数据交换;(4)检测过程提示,通过血糖检测模块反馈的信息在屏幕上提示用户检测进度。

客户端启动后,直接进入功能选择模块,用户根据需要选择界面上的内容。用户信息存储在一个 XML 文件中,用 android.content.SharedPreferences.

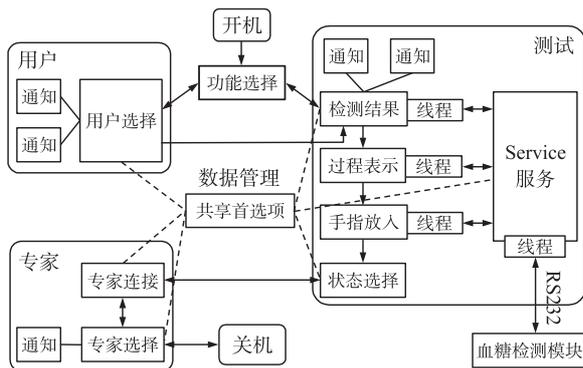


图 4 Android 程序结构示意图

Editor 库中 putString() 和 putInt() 方法保存用户信息^[9],信息包括病人类型、饭后时间等用户状态。在用户选择开始检测后,dsp.power.PowerOn() 给血糖检测模块上电。检测过程中,血糖检测模块通过串行接口与 Android 的服务组件通信,提供检测过程的状态信号。为了保证界面不会处于无响应状态,每个状态界面都有一个线程(Thread)用来与服务通信^[10]。在得到检测结束信号后,血糖检测模块发送所有分析结果交由用户交互模块最终显示。

2.2.2 串行通信协议设计

血糖检测模块与用户交互模块之间采用标准 RS232 接口的半双工串行通信。通信协议的设计把传输数据分成两类信息包:命令信息包和数据信息包,以信息包开头两个字节作为标识,数据包以特定符号结尾。串行通信协议示意图如图 5 所示。

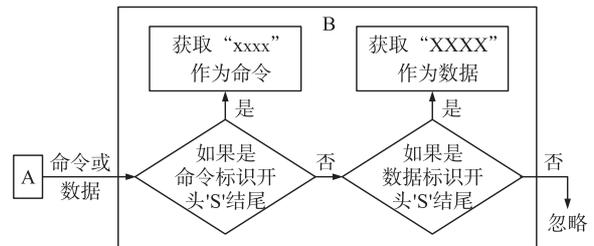


图 5 串行通信协议实现框图

据协议分别在血糖检测模块和用户交互模块内编写实现协议内容。DSP 中利用内部 SCI 中断实现 RS232 接口串行传输。Android 系统本身并没有串行接口,并且 Java 语言中也并没有现有的底层串行接口驱动的库,所以使用支持 C/C++ 开发的原生态开发包 NDK(Native Development Kit)来开发串行接口动态库,实现串行接口通信^[11]。

3 仪器实现及实验

为检验该仪器的稳定性和有效性,使用如图 6 所示的无创血糖检测仪样机在北京市海淀区医院对 16 名志愿者进行 OGTT(Oral Glucose Tolerance Test)血糖测试实验。医院工作人员通过对志愿者血液样本进行生化测试,提供血糖样本标准值,确保参考值的正确性。用样机对 16 名志愿者进行 64 次血糖测试,其中男性志愿者 10 名,女性志愿者 6 名,血糖覆盖范围为 60 mL/dL ~ 310 mL/dL,测试结果如表 1 所示。

64 组样本的血糖测试值与参考值的相关性相关系数达 0.863,个别数据绝对误差较大。利用 Clarke 误差网格分析^[12]结果如图 7 所示,其中 A 区样本 50 个,B 区样本 13 个,共占总样本数 98.4%,说明仪器有效性较高。

表1 16名受试者测量值和标准值结果

mg·dL⁻¹

序号	标准值	测量值	绝对误差	序号	标准值	测量值	绝对误差	序号	标准值	测量值	绝对误差
1	89.2	97.7	8.5	23	199.1	218.3	19.3	45	85.2	100.8	15.6
2	212.5	225.7	13.2	24	117.4	132.3	14.9	46	208.0	189.0	19.0
3	164.2	149.9	14.3	25	102.4	102.1	0.4	47	158.1	165.6	7.5
4	96.0	94.9	1.2	26	236.3	132.8	103.4	48	93.8	102.1	8.3
5	108.8	97.2	11.6	27	228.8	278.5	49.7	49	98.2	118.8	20.6
6	186.2	184.5	1.7	28	114.5	114.7	0.2	50	251.1	256.9	5.8
7	157.7	131.8	26.0	29	96.3	113.9	17.7	51	186.3	200.3	14.0
8	85.2	91.6	6.4	30	238.3	270.0	31.7	52	102.5	97.9	4.6
9	107.9	106.2	1.7	31	214.3	220.0	5.7	53	105.7	126.0	20.3
10	182.8	211.0	28.2	32	117.2	139.1	22.0	54	168.3	181.1	12.8
11	126.4	119.2	7.2	33	74.2	88.2	14.0	55	151.9	153.5	1.7
12	73.7	67.9	5.9	34	161.4	137.9	23.6	56	90.0	84.4	5.6
13	79.8	97.7	18.0	35	153.1	100.4	52.6	57	86.6	99.4	12.7
14	123.7	110.5	13.2	36	82.3	63.7	18.6	58	155.8	143.3	12.5
15	212.7	264.4	51.8	37	106.8	95.9	10.9	59	121.7	122.8	1.0
16	123.7	94.5	29.2	38	156.9	138.6	18.3	60	91.2	95.6	4.4
17	99.9	110.2	10.3	39	143.3	137.3	6.0	61	112.7	148.5	35.8
18	276.2	263.2	13.0	40	89.5	71.6	17.8	62	210.6	280.3	69.6
19	167.6	107.6	60.0	41	105.2	114.8	9.6	63	161.7	156.1	5.6
20	88.5	128.7	40.2	42	218.1	216.7	1.4	64	106.1	127.8	21.7
21	77.0	152.5	75.5	43	186.4	143.8	42.5	65	—	—	—
22	211.7	311.2	99.6	44	112.1	102.2	9.9	66	—	—	—



图6 无创血糖检测仪样机

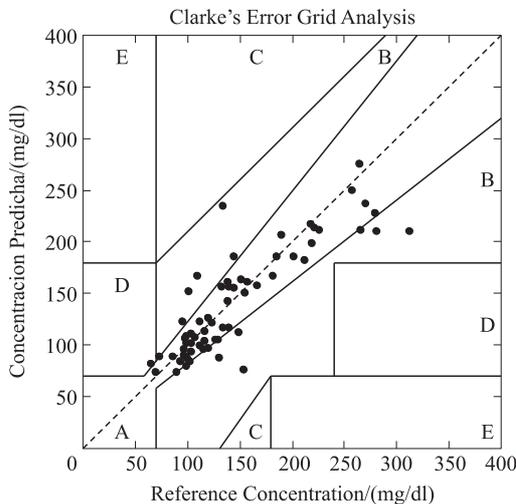


图7 16名受试者的 Clarke 误差网格分析图

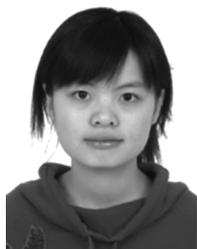
4 结语

基于 DSP 和 Android 的触摸屏人机交互无创血糖检测仪有操作简单,检测迅速,用户体验性好等优点。初步实验验证该仪器对多人测量相关系数为 0.863,原始数据的保存可以为改进无创血糖检测的研究提供依据,进一步完善算法模型。

参考文献:

- [1] 姜利英,任丽杰,陈青华,等. 血糖检测技术研究进展[J]. 传感器世界,2009,15(10):6-10.
- [2] Sieg A, Guy R H, Delgado-Charro M B. Noninvasive and Minimally Invasive Methods for Transdermal Glucose Monitoring[J]. Diabetes Technology and Therapeutics,2005,7(1):174-197.
- [3] 唐飞,王晓浩,王东生,等. 代谢热整合法无创血糖检测技术研究[J]. 仪器仪表学报,2007(10):1858-1859.
- [4] Cho O K, Kim Y O, Mitsumaki H, et al. Noninvasive Measurement of Glucose by Metabolic Heat Conformation Method[J]. Clinical Chemistry,2004,50(10):1894-1898.
- [5] Maskai Y, Masayuki M, Yoshio K. Noninvasively Measuring Blood Glucose Using Saliva [J]. IEEE Engineering in Medicine and Biology. 1998,59-63.
- [6] 李国军,唐飞,王晓浩,等. 基于 TMS320F2812DSP 的无创血红蛋白

- 白浓度检测仪设计[J]. 传感器与微系统,2012(12):120-123.
- [7] 余志强,刘建华,何朝峰,等. 巴特沃兹数字滤波及其在智能测控系统中的应用[J]. 电测与仪表,2007,44(5):5-18.
- [8] 宋杰,唐飞,王晓浩,等. SD 卡在生理信号数据采集中的应用[J]. 现代电子技术,2011,34(23):70-72.
- [9] Eckel B, Allison C. Thinking in Java[M]. Prentice Hall Englewood Cliffs,2003:536-549.
- [10] Lee W M. Android 4 编程入门经典[M]. 北京:清华大学出版社,2012:205-217.
- [11] 金智义,张戟. 基于 Android 平台的串口通信实现[J]. 电脑知识与技术,2011(5):2983-2985.
- [12] Kovatchev B P, G-Frederick L A. Evaluating the Accuracy of Continuous Glucose-Monitoring Sensors[J]. Emerging Treatments and Technologies. 2004(8):1922-1927.



李 阳(1989-),女,硕士研究生,研究方向为嵌入式系统,智能医疗仪器;



唐 飞(1973-),男,副教授,硕士生导师,主要研究方向为精密测量和控制技术、微系统设计和工艺等;



王晓浩(1971-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为科学仪器、微型机电系统和微型飞行器。