

文章编号:1007-2780(2014)02-0245-06

基于 FPGA 的多路微弱医学生物电信号处理系统

黄学业,凌朝东*,黄锐敏,万 安

(华侨大学 信息科学与工程学院,福建 厦门 361008)

摘要:介绍了一种便携式多路微弱医学生物电信号处理系统,用户可根据实际的需要对电极进行选择,从而实现对脑电或心电信号的实时采集,进而对其进行数据处理并显示波形和存储数据。该系统采用德州仪器(TI)公司的 ADS1198 为核心的模拟前端电路实现脑电或心电信号的采集、放大、隔离等预处理操作,利用 Altera 公司的 FPGA 芯片 Cyclone II EP2C70F896C6 对数据进行处理,并在 TRDB_LTM 液晶屏上显示波形。该系统精度高、体积小、功耗低,具有较好的实用性和可扩展性。

关 键 词:生物电信号;ADS1198;FPGA;液晶显示

中图分类号:TH776 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142902.0245

Multichannel weak medical bioelectrical signal processing system based on FPGA

HUANG Xue-ye, LING Chao-dong*, HUANG Rui-min, WAN An

(College of Information Science & Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361008, China)

Abstract: A portable multichannel bioelectrical signal processing system is proposed. Through electrode selection according to the actual needs, the system can collect, process, display and store EEG or ECG signal in real-time. Texas Instruments (TI) Company's ADS1198 is employed as the core for the analog front-end circuit, realizing EEG or ECG acquisition, amplification, isolation and other pre-treatment operations. Altera Company's FPGA chip Cyclone II EP2C70F896C6 is used for processing the data, displaying waveform in the LCD screen of TRBD_LTM. The system has high accuracy, small size, low power consumption, good practicality and scalability.

Key words: bioelectrical signals; ADS1198; FPGA; liquid crystal display

1 引 言

随着世界人口老龄化进程的加快以及个人对

健康的关注程度增加,医疗电子终端市场有了显著的发展^[1]。不论在医疗诊断,还是在科学研究等方面,生物电信号都有着重要的意义^[2]。生物电信号一般都很微弱,脑电信号幅值大小为

收稿日期:2013-11-17;修订日期:2013-12-12.

* 通信联系人,E-mail:edac@hqu.edu.cn

0.001~0.1 mV, 主频带范围为 0.5~40 Hz; 心电的幅值大小为 1~5 mV, 主频带范围为 0.05~100 Hz。因此, 生物电信号采集系统各个通道通常都需要独立的模拟放大、滤波等模块, 其体积往往较大, 限制了仪器的应用推广, 这给一些专用的生物电信号提取电极芯片提供了发展的契机^[3]。本文采用德州仪器(TI)公司的 ADS1198 芯片采集生物电信号, 节省了大量的外围电路; 并利用 FPGA 芯片高速并行处理数据的能力实时地对信号进行处理; 采用软硬件协同设计的技术, 利用 SOPC 定制 IP, 每一个模块都能够单独完成, 又能轻松地整合在一起形成一个系统。本系统具有可复用、便携、功耗低、实时性强等特点, 提供了一种全新的生物电信号的采集方案。

2 系统总体设计方案

本系统硬件主要由模拟前端电路模块 ADS1198、FPGA 数字系统开发平台 DE2_70、液晶屏模块 TRDB-LTM 构成。系统可分成三大功能模块: 生物电信号采集、放大及隔离等预处理模块、生物电信号处理及控制模块、LCD 波形显示、数据存储及人机交互模块^[4]。图 1 为系统总体设计框图。

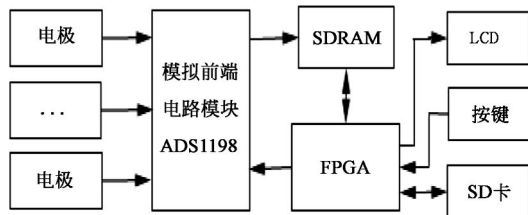


图 1 系统总体设计框图

Fig. 1 System overall design diagram

(1) 生物电信号采集、放大及隔离等预处理模块: 采用德州仪器(TI)公司的全面集成的模拟前端(AFE)芯片 ADS1198 为核心的模拟前端电路实现生物电信号的采集、放大、隔离等预处理操作。

(2) 生物电信号处理及控制模块: 利用 FPGA 强大的快速并行处理数据的能力, 实时地处理生物电信号, 控制系统各个模块的协调工作。我们能在一个系统中嵌入多个主设备(包括 AD、LCD 的 IP)来实现数据的传输, 大大减轻了 CPU 的负

担; 同时能快速升级硬件模块, 只需进行相应的定制, 一个 IP 就能挂接到总线上; 所有 IP 都采用 Avalon 总线架构, 并采用统一的同步时钟。

(3) LCD 波形显示、数据存储及人机交互模块: 采用数字式触摸面板液晶屏 TRDB_LTM、SD 卡及按键来实现波形的显示、数据存储和人机交互的功能。LCD 通过自己编写的 IP 核, 以 Avalon 从设备的方式连接到 Nios II 处理器。SD 卡采用 SPI 总线模式, 传输协议较简单, 易于实现^[5]。按键用来控制系统的复位、启动及关闭等功能。

3 各个模块的具体设计方案

3.1 生物电信号采集、放大及隔离等预处理模块

本系统采用 TI 公司的 ADS1198 为核心的模拟前端电路。ADS1198 具有以下主要特性^[6]:

(1) 8 通道 16 位 ADC 转换芯片, 其采样频率范围是 125 sps~8 ksp/s。

(2) 各通道含可编程放大器, 其放大倍数在 1~12 倍可调; CMRR 达到 -105 dB。

(3) 内置右腿驱动放大器和威尔逊中心电端。

(4) 低功耗: 每个通道 0.55 mW。

ADS1198 模拟前端的输入电路包括二阶无源低通滤波电路和限幅电路, 分别起到了消除高频干扰和过压保护的作用。其中, 低通截止频率为 30 kHz, 可通过电压幅值范围为 ± 700 mV。图 2 为 ADS1198 模拟前端的输入电路。

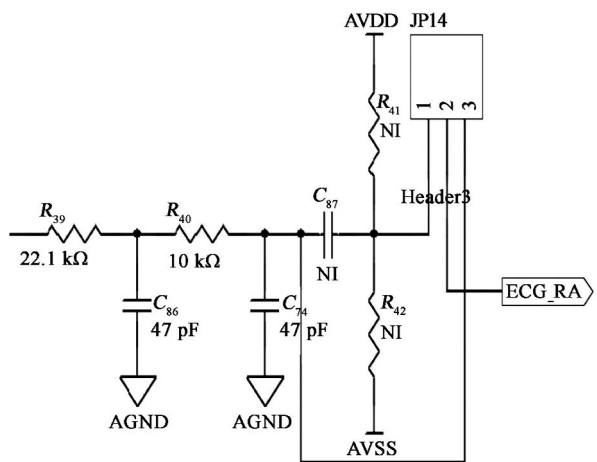


图 2 ADS1198 模拟前端的输入电路

Fig. 2 Input of ADS1198 analog front end circuit

根据实际应用需要,FPGA通过SPI总线发送指令,配置ADS1198芯片内部的多路选择器(MUX)实现各个输入端(INPUTS、RLD)的通断,设置可编程放大器(A1~A8)的放大倍数和AD转换器(ADC1~ADC8)的采样频率等。当ADS1198芯片完成一次转换,Data Ready引脚变为低电平,通知FPGA通过SPI总线读取数据。图3为ADS1198模拟前端的核心电路。

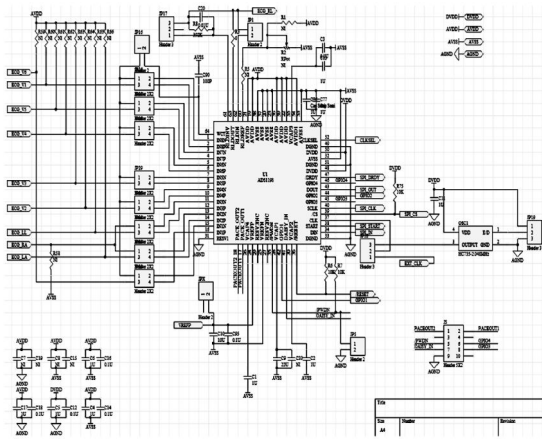


图3 ADS1198模拟前端的核心电路

Fig. 3 Core of the ADS1198 analog front end circuit

3.2 LCD波形显示、数据存储及人机交互模块

本系统的LCD显示模块选用TRDB_LTM,这是Altera公司提供的一款数字式触摸面板液晶屏。TRDB_LTM主要包括液晶触摸面板模块、AD转换器和40引脚扩展信号接口等模块^[7]。40引脚扩展信号接口用来连接DE2/DE2_70/DE1等开发平台预留的40引脚扩展端口;液晶触摸面板模块从FPGA中得到输入的控制信号并将图像显示在液晶面板上;AD转换器将触摸点的坐标值输出给FPGA的预留接口,从而实现触摸控制效果。图4为TRDB_LTM的整体框图。

读写SD卡实现本系统的数据存储。SD卡的总线模式可分为两种:SD总线模式和SPI总线模式。在SD总线模式下,4条数据线并行传输数据,数据传输速率高,但是传输协议较复杂;而在SPI总线模式下,只有一条数据传输线,数据传输速率较低,但传输协议简单,易于实现。本系统采用SPI总线模式。

SPI总线由同步时钟线SCK(SD_CLK)、主机输入/从机输出数据线MISO(SD_DAT)、主

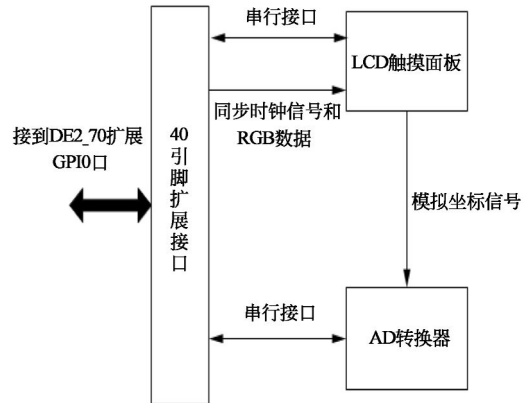


图4 TRDB_LTM整体框图

Fig. 4 Overall block diagram of TRDB_LTM

机输出/从机输入数据线MOSI(SD_CMD)3根线组成。此外,还有一条从机片选线CS(SD_DAT3)。FPGA提供SPI系统的片选信号以及同步时钟脉冲。SPI总线模式的数据是以字节为单位进行传输的。主机与SD卡的各种通信都由主机控制,主机在对SD卡进行任何操作前都必须先拉低SD卡的片选信号CS,然后由主机向SD卡发送命令,SD卡对主机发送的任何命令都要进行响应,不同的命令会有不同的响应格式(1字节或2字节响应)。SD卡除了对命令响应外,在执行写操作时,还要对主机发送的每个数据块进行响应(向主机发送一个特殊的数据响应标志)。图5是SD卡SPI模式下的电气接口。

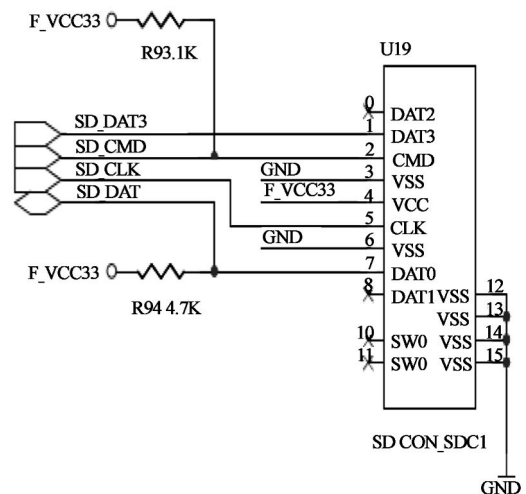


图5 SD卡SPI模式下的电气接口

Fig. 5 Electrical interface of SD card in the SPI mode

此外,本系统采用 DE2_70 上的按键,实现系统的复位、启动及关闭等功能。

3.3 生物电信号处理及控制模块

本系统采用软硬件协同设计的思想。在 FPGA 上,采用 SOPC 定制 IP 核的技术,独立完成各个模块,再将各个模块整合在一起形成一个系统,CPU 采用 Altera 公司提供的 Nios II 软核处理器。

Nios II 软核处理器采用 Avalon 交换式总线^[8]。该总线是 Altera 开发的一种专用的内部连线技术,用来连接系统处理器、内部 IP 模块以及外设等。Avalon 交换式总线使用最少的逻辑资源来实现数据总线的复用、地址译码、等待周期的产生、外设的地址对齐(包括支持原始的和动态的总线尺寸对齐)、中断优先级的指定以及高级的交换式总线传输等功能。在传统的总线控制模式下,当一个 master 用总线时,其他的单元不能同时使用,而 Avalon 总线却允许它们共享,由此大大提高了资源的利用率。

3.3.1 SOPC 定制硬件系统

外接时钟使用 50 MHz,系统时钟 150 MHz 由内部 pll IP 产生的倍频时钟提供。在构建了包含 cpu、tri_state_bridge、cfi_flash、sdram、epcs_controller、jtag_uart 等组件的最小系统的基础上,添加 LTM、ADS1198、FIR、SD 等接口 IP 模块,分别实现对系统中 TRDB_LTM、AD、FIR、SD 卡等功能模块的控制。图 6 是系统的 SOPC 硬件平台。

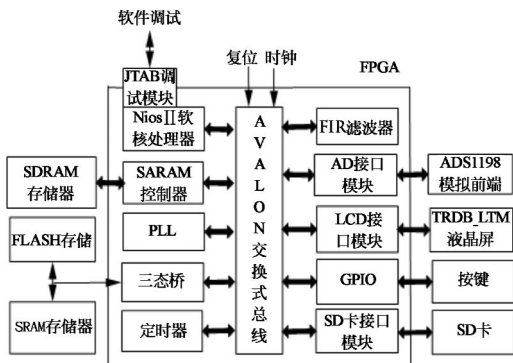


图 6 SOPC 硬件平台

Fig. 6 SOPC hardware platform

3.3.2 Nios II 软件开发环境实现软件编程

系统的软件部分在 Nios II 软件开发环境下实现。系统上电后,等待系统初始化;初始化完毕,生物电信号通过放大、隔离、滤波等预处理后,AD 转换成数字信号;接着,利用 FIR 数字滤波器滤除信号中的 50 Hz 工频噪声等干扰;最后,存储数据,并在 TRDB_LTM 上显示波形。图 7 为系统软件流程图。

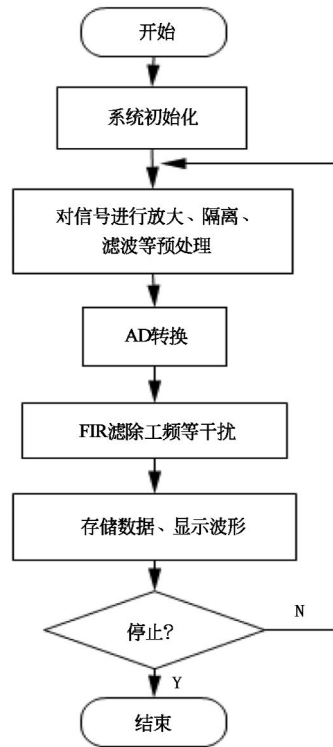


图 7 系统软件流程图

Fig. 7 Flow chart of system software

4 实验结果

本系统对心电信号进行测试。该测试是在室内常温环境下,被测人体端坐在椅子上,身体自然放松。连接好 DE2_70、TRDB_LTM、ADS1198 模拟前端电路等模块后,连接人体的左手腕、右手腕和右脚踝,再由蓄电池供电,即可测得正常人的心电波形图。系统的采样频率为 500 Hz。利用波形的补点处理技术^[9],可以得到更为明亮紧凑的波形。图 8 是利用 Matlab 平台对所存储的波形数据进行验证。表 1 是实验测试结果分析。

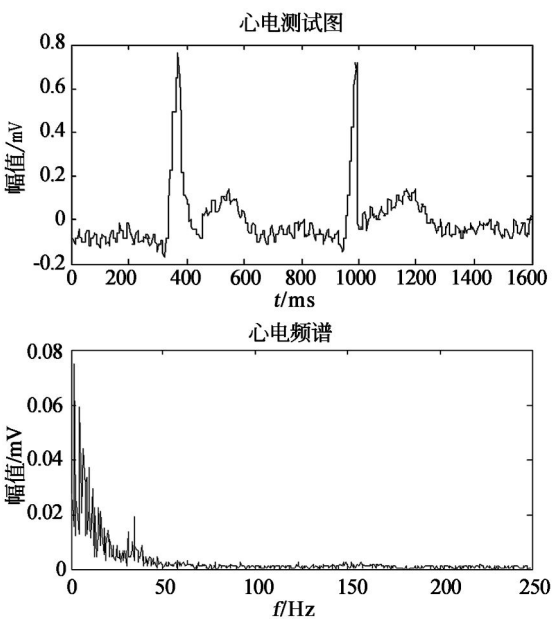


图 8 存储数据在 Matlab 上画出的波形
Fig. 8 Waveform draw in the Matlab

表 1 实验测试结果分析

Tab. 1 Analysis of experimental results

测试项目	理论	实测
精度	6.1 μV	μV 级

续表

测试项目	理论	实测
幅度测量范围	1~5 mV	-0.169~0.763 mV
主频带范围	0.05~100 Hz	0.05~50 Hz
心率	60~100 次/min	100 次/min
50 Hz 工频干扰	——	小于 1 μV
通道误差	——	0.15%

5 结 论

介绍了一种基于 FPGA 的全新的多路微弱医学生物电信号采集方案,具有精度高、体积小、功耗低、实时性强等特点。采用软硬件协同设计的思想,定制 SOPC 的 IP 模块的设计方法,可以方便快捷地实现产品的升级更新。该产品具有较广阔的市场前景。今后的研究重点是根据具体的脑电或心电应用,进行相应的算法研究,开发出具有实际应用前景的脑电或心电设备。

参 考 文 献:

[1] 陈颖莹.德州仪器为 ECG 和 EEG 量身打造全面集成的模拟前端[J]. 电子技术应用,2010(5):3-3.
Chen Y Y, Texas instruments make comprehensive integrated analog front end for ECG and EEG. Electronic Technology Application,2010(5):3-3. (in Chinese)

[2] 魏厚杰,官金安,方浩. ADS1298 模拟前端的便携式生理信号采集系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2012,12(2):36-39.
Wei H J, Guan J A, Fang H. ADS1298 analog front end of a portable physiological signal acquisition system [J]. Microcontroller and Embedded Systems Applications,2012,12(2):36-39. (in Chinese)

[3] 凌朝东,黄群峰,张艳红,等. 脑电信号提取专用电极芯片的设计[J]. 华侨大学学报,2007,28(3):260-263.
Ling C D, Huang Q F, Zhang Y H, et al. Brain electrical signal extraction electrode chip design [J]. Journal of Huaqiao University,2007,28(3):260-263. (in Chinese)

[4] Huang X Y, Wan A, CHEN Z J. Development of EEG-based Intelligent Wheelchair Based on FPGA [J]. The 1st Asia-Pacific Workshop on FPGA Applications,2012,1(1):79-91.

[5] 张洪涛,莫文承,李兵兵. 基于 SPI 协议的 SD 卡读写机制与实现方法[J]. 电子元器件应用,2008,10(3):42-43,47.
Zhang H T, Mo W C, Li B B. Mechanism and implementation method of SD card reading and writing based on the SPI protocol [J]. Electronic Component & Device Applications,2008,10(3):42-43,47. (in Chinese)

[6] TI. ADS1198 Datasheet[EB/OL]. [2011-11]. <http://www.ti.com/cn/lit/ds/symlink/ads1198.pdf>.

[7] Altera. TRDB_LTM User Manual [EB/OL]. [2011-06]. http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive_download.pl?Language=English&No=213&FID=b226168825c32dd5d7064e9a57f42b0b.

[8] 凌朝东,洪华峰,李国刚,等. 基于 NIOS II 的便携式远程医疗监护器硬件平台的设计[J]. 仪器仪表学报,2008,29(2):336-341.

- Ling C D, Hong H F, Li G G, *et al.* Hardware design of portable telemedicine monitoring equipment based on NIOS II soft-core [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2008, 29(2): 336-341. (in Chinese)
- [9] 徐洋. 40Gps 随机取样数字示波器关键技术预先研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2004.
- Xu Y. The key technology research in advance 40 GSPS random sampling digital oscilloscope [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2004.

作者简介:黄学业(1986—),男,福建诏安人,硕士研究生,主要从事固体电子技术及应用,生物医学电子的研究。E-mail:huangxueye2008@163.com

第三届液晶光子学国际会议

热烈欢迎您参加在中国上海举行的第三届液晶光子学国际会议。在中国国家科学技术部 973 计划、国家自然科学基金委、美国光学学会 OSA、国际信息显示学会 SID 的支持下,“第三届国际液晶光子学会议”将于 2014 年 4 月 19 日—20 日在上海市召开。本次会议将为液晶光子学领域的国际同行提供一个专业交流平台,为国内学者及业界同仁提供一个与国际著名专家面对面进行深入交流的良好机会。

会议日期:

2014 年 4 月 18 日:注册

2014 年 4 月 19 日至 20 日:学术报告

学术报告范围:

该学术会议涵盖先进液晶的各个方面,包括从基础物理、化学到实际应用。原创性的学术论文包含但不仅限于以下领域:先进液晶材料、显示与光子器件、电光效应与光学效应、器件仿真、液晶聚合物和高弹体、光取向、聚合物稳定纳米结构、微波和太赫兹器件等。

主办单位:

国际信息显示学会北京分会
美国光学学会
中国自然科学基金
中国国家“973”项目

联合承办单位:

南京大学
四川大学
中国物理学会液晶分会

承办单位:

上海交通大学电子信息与电气工程学院
电子工程系
TFT—LCD 关键材料及技术国家工程实验室
(上海交通大学)
上海玉鑫会务服务有限公司

大会主席:

主席:吴诗聪 美国中佛罗里达大学
副主席:陆延青 南京大学
副主席:王琼华 四川大学

程序委员会:

主席:苏翼凯 上海交通大学
副主席:孙小卫 南方科技大学

协办单位:

Journal of Display Technology 期刊
Optical Materials Express 期刊
《液晶与显示》杂志

大会报告:

1. Martin Schadt, MS High Tech Consulting, “Photoalignment”
2. Dick J. Broer, Eindhoven University of Technology, “Photo—responsive LC polymers”
3. Sung Tae Shin, Samsung Display Co. Ltd., “Can OLED replace LCD for the New Jump in Display Industry?”

⋮

会议亮点:

该学术报告会主要包括大会报告、特邀报告和张贴报告。会议设立“优秀张贴论文奖”5 个,将给与每位获奖者 500 元的奖金并颁发证书。

注册费(现场现金):一般参会人员:1000 元;学生:800 元;企业:1000 元

联系方式:网站:<http://comd.sjtu.edu.cn/slcp2014/>

联系人:陆建钢老师 (邮箱:lujg@sjtu.edu.cn 电话:13585752055)

钟 静秘书 (邮箱:zhongjing@sjtu.edu.cn 电话:15821810698)

地址:上海交通大学电子工程系

邮编:200240