

文章编号: 1671-7104(2023)02-0150-04

基于CC3200和ADS1299表面肌电无线采集系统

【作者】 侯一帆¹, 文斌², 徐进², 叶继伦³, 朱子孚³

1 合肥市第二人民医院 物流管理中心, 合肥市, 230000

2 西安交通大学 健康与康复科学研究所 生物医学信息工程教育部重点实验室, 西安市, 710049

3 深圳大学 医学部 生物医学工程学院, 深圳市, 518060

【摘要】 该文设计了一种多通道表面肌电无线采集系统, 该系统硬件主要由TI公司的ADS1299集成模拟前端芯片和CC3200无线MCU构成。按照行业标准测量硬件关键性指标, 测量结果均优于行业标准, 能够满足多场景任务下连续使用。该系统具有性能高、功耗低、体积小等优点, 已应用在运动手势识别的表面肌电信号检测中, 具有很好的应用价值。

【关键词】 CC3200; ADS1299; 表面肌电; 无线

【中图分类号】 R197.39; TH77

【文献标志码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1671-7104.2023.02.007

sEMG Wireless Acquisition System Based on CC3200 and ADS1299

【Writers】 HOU Yifan¹, WEN Bin², XU Jin², YE Jilun³, ZHU Zifu³

1 Logistics Management Center, the Second People's Hospital of Hefei, Hefei, 230000

2 Institute of Health and Rehabilitation Science, the Key Laboratory of Biomedical Information Engineering of Ministry of Education, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049

3 School of Biomedical Engineering, Health Science Center, Shenzhen University, Shenzhen, 518060

【Abstract】 A multi-channel surface electromyography wireless acquisition system is designed, which is mainly composed of ADS1299 integrated analog front-end chip and CC3200 wireless MCU of TI company. The key indicators of hardware are measured according to the industry standard, and the results are better than the industry standard, which can meet the continuous use of multi-scene tasks. This system has the advantages of high performance, low power consumption and small size. It has been applied to the detection of surface EMG signal in motion gesture recognition and has a good application value.

【Key words】 CC3200, ADS1299, surface electromyography, wireless

0 引言

表面肌电信号 (surface electromyography, sEMG) 是从肌肉表面通过电极引导、记录下来的神经肌肉系统活动时的生物电信号^[1]。由于sEMG具有安全、无创的优点^[2], 近些年广泛用于康复工程和运动监测领域^[3-4]。随着传感器技术和信号处理技术的快速发展, 研制无线sEMG采集系统成为近年来的一个研究热点。与传统有线方式相比, 无线sEMG采集系统不仅便携, 还能够满足多场景任务下连续使用^[5]。

本研究设计了一款基于TI公司的无线微控制

器CC3200^[6]和集成模拟前端芯片ADS1299^[7]无线sEMG采集系统, 该系统能够实现多通道肌电同步采集, 具有高性能、低功耗、远距离传输的优点。

1 系统整体设计

本研究研制的无线肌电采集系统由电源模块、肌电信号处理模块、无线MCU主控模块、上位机显示模块等组成。无线肌电采集系统功能框架如图1所示。

2 系统硬件设计

2.1 肌电信号处理电路

肌电信号采集电路主要基于ADS1299^[8]展开设计, ADS1299拥有8个可差分信号采集通道, 每个通道独立放大并采样, 内置可编程增益放大

收稿日期: 2022-03-30

基金项目: 国家重点研发计划重点专项项目 (2018YFC2002601); 深圳市科创委基金 (JSGG20190222175027859)

作者简介: 侯一帆, E-mail: houyifan_hyf@163.com

通信作者: 文斌, E-mail: xjtu_charleswen@163.com

器 (programmable gain amplifier, PGA), 器件内部噪声约为 $1\ \mu\text{V}$, 采样频率最高可达 $16\ \text{kHz}$, 采用24位的delta-sigma ADC, 芯片内部共模抑制比 (common-mode rejection ratio, CMRR) 高达 $-110\ \text{dB}$, 正常运行功耗为 $5\ \text{mW}$.

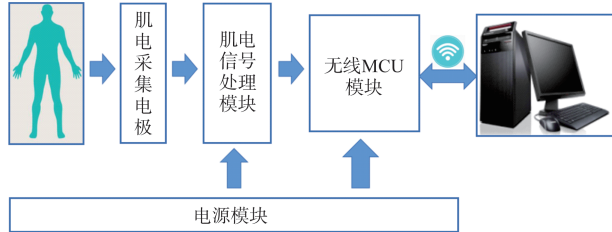


图1 无线肌电采集系统功能框架
Fig.1 Functional framework of wireless EMG acquisition system

在采集到的表面肌电信号进入ADS1299之前, 在每一对差分输入端前增加一个预处理电路, 主要用于抗混叠滤波以及EMI滤波, 预处理电路如图2所示。

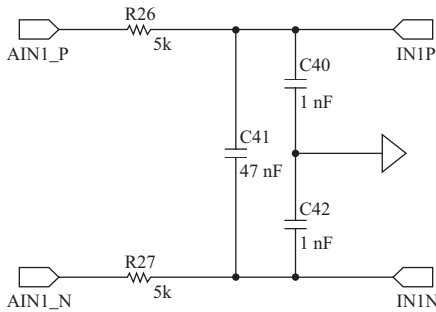


图2 预处理电路
Fig.2 Preprocessing circuit

为提高系统的CMRR, 在ADS1299外围电路中设计了偏置驱动电路。将输入信号进行叠加, 通过偏置输出到参考电极, 从而将耦合进来的共模干扰通过偏置放大器反相输出到人体。偏置驱动电路如图3所示。

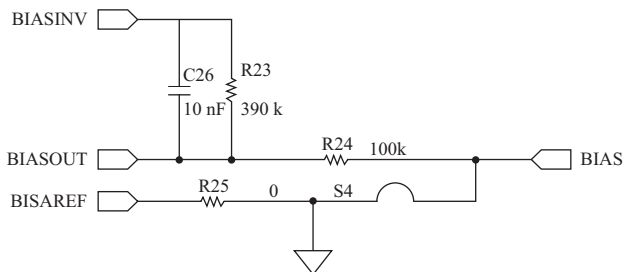


图3 偏置驱动电路
Fig.3 Bias drive circuit

无线MCU与ADS1299通过串行外设接口 (serial peripheral interface, SPI) 协议进行通信, ADS1299整体电路如图4所示。

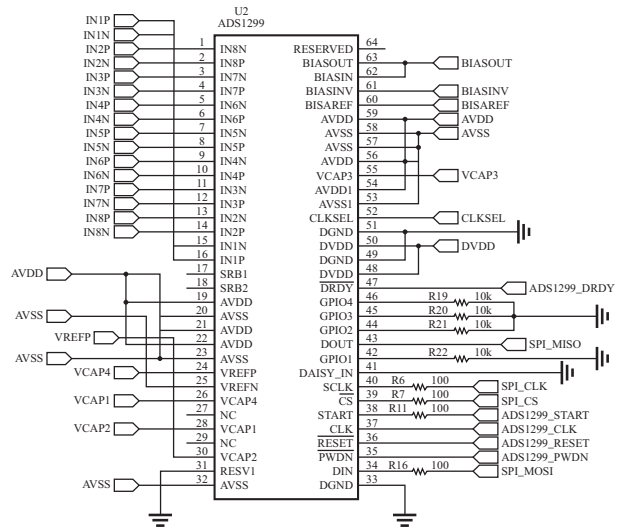
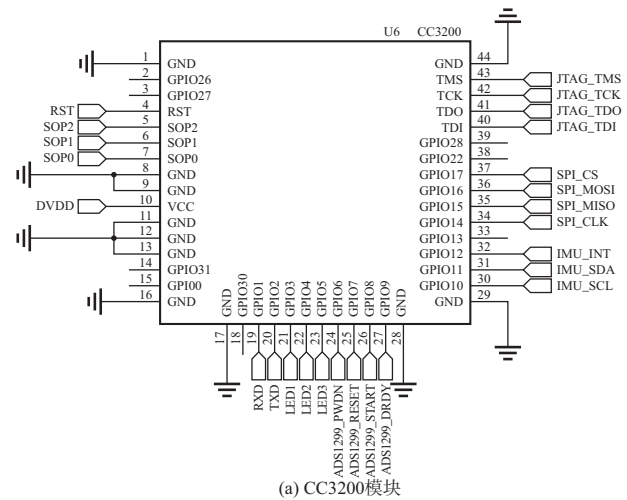


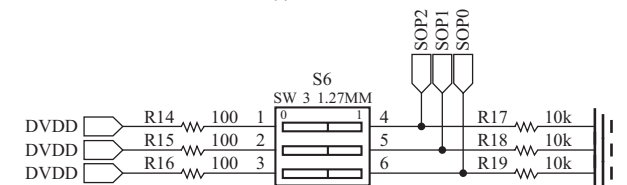
图4 ADS1299整体电路
Fig.4 ADS1299 integrated circuit

2.2 无线MCU电路

MCU电路主要基于CC3200进行设计, 由于CC3200集成高性能MCU+WiFi网络处理芯片, 因此只需要为其提供工作必要的外围电路, 即能够实现与ADS1299的SPI通信和数据处理, 也能够完成上下位机无线通信。整个无线MCU电路主要由CC3200模块、设备状态显示电路和BOOT方式选择电路组成, 无线MCU电路如图5所示。



(a) CC3200模块
(a) CC3200 module



(b) BOOT方式选择电路
(b) BOOT mode selection circuit

图5 无线MCU电路
Fig.5 Wireless MCU circuit

其中, BOOT方式选择电路通过一个3位的拨码开关来控制主控芯片上电启动的功能模式。启动模式一共有3种: 串行总线调试(serial wire debug, SWD)调试模式、联合测试工作组(joint test action group, JTAG)调试模式和通用异步接收/传送器(universal asynchronous receiver/transmitter, UART)烧写模式。前两种模式用于临时在线调试程序, 后一种模式用于将功能完善的程序固化到Flash中。LED状态显示电路则用于显示设备当前工作的状态(WiFi连接状态、socket连接状态、采集状态)。

2.3 电源管理电路

电源模块的主要功能是为其他器件提供正常工作所需要的稳定电压。系统使用3.7 V 500 mA锂电池作为主要供电方式。锂电池电量不足时, 可使用USB为系统供电, 并同时为锂电池充电。其中, 充电管理电路由BQ24232电路、USB电路、充电状态显示电路组成, 充电管理电路如图6所示。BQ24232芯片具有动态电源管理的功能, 充电电流最大能达到500 mA。

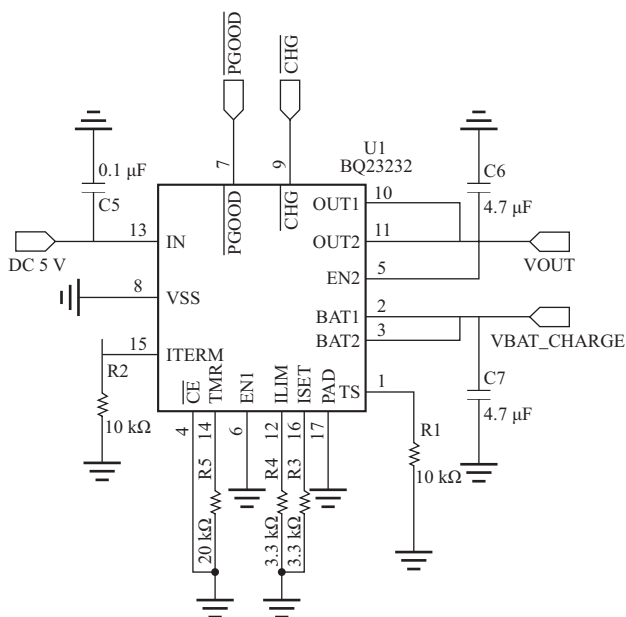


图6 充电管理电路

Fig.6 Charge management circuit

为保证系统稳定、安全工作, 电源转换电路将锂电池提供的电压转换到其他器件所需的安全电压。分别使用TPS7A2033LDO线性稳压芯片和TPS60403电荷泵反向电压芯片, 将锂电池+3.7 V转换成+3.3 V数字电源(digital VDD, DVDD)和-3.3 V数

字电源(digital VSS, DVSS), 为ADS1299和CC3200供电; 使用电压基准芯片REF2125生成+2.5 V模拟电压(analog VDD, AVDD)和-2.5 V模拟电压(analog VSS, AVSS), 为ADS1299提供参考电压。

3 系统软件设计

无线肌电采集系统软件设计主要包括ADS1299驱动程序, 进行多任务调度的实时操作系统设计和系统上位机软件设计。

SPI通信接口初始化完成后, 主控芯片通过SPI发送控制指令对ADS1299进行设置。主控芯片通过双字节指令, 将ADS1299的采样频率设置为1 kHz, 各通道PGA增益设置为12, 驱动放大电路设置为启用, 采样模式设置为连续采样模式, 通过DataReady管脚发送下降沿有效的中断信号来通知主控芯片接收数据。ADS1299驱动流程如图7所示。

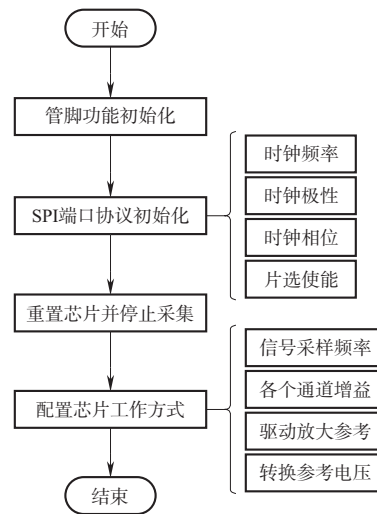


图7 ADS1299驱动流程

Fig.7 ADS1299 driver flowchart

实时操作系统基于FreeRTOS开发, 实现对数据接收中断服务程序、设备初始化、指令接收和解析、数据封包和上传等多个任务的调度。实时操作系统软件执行流程如图8所示, 系统启动后, 首先使用外设驱动程序对系统和外设初始化, 其中包括GPIO管脚功能设置; SPI通信协议的初始化; WiFi网络处理器初始化; ADS1299和CC3200等外设芯片工作模式的初始化, 然后创建需要进行调度的各项任务, 对各项任务优先级进行设置, 最后进入各项任务的调度执行。

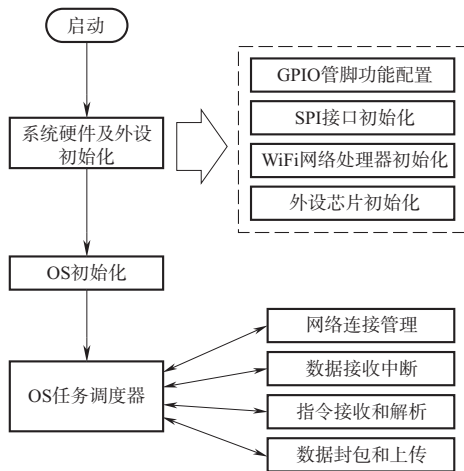


图8 实时操作系统软件执行流程
Fig.8 Real-time operating system software execution flowchart

本系统上位机软件基于QT5开发，编程语言为C++。主要分为数据通信单元、数据显示单元、数据存储单元和数据回放单元。上位机软件界面如图9所示。

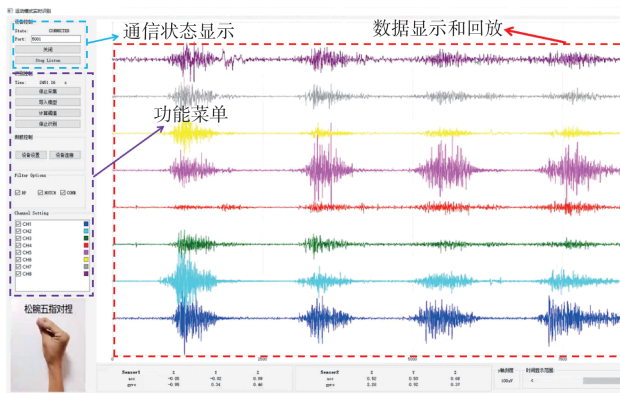


图9 上位机软件界面
Fig.9 Upper computer software interface

4 系统性能测试

为系统方便使用和减少外部环境的干扰，系统集成在5.9 cm×5 cm×2.7 cm的模具中，系统集成实物如图10所示，图11为使用本系统进行手势识别表面肌电信号采集的场景。



图10 系统集成实物
Fig.10 Figure of integrated system

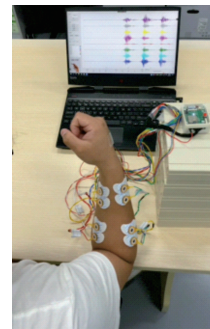


图11 本系统使用场景
Fig.11 Usage scenario diagram of the system

本肌电采集系统需要满足以下3个要求：

(1) 高输入阻抗。在测量肌电时，皮肤-电极接触电阻的等效阻抗可达10~500 kΩ。通常设备输入阻抗应为皮肤-电极接触电阻的100倍为宜，一般要求为MΩ级。

(2) 高共模抑制比。肌电信号是差分信号，共模抑制比定义为放大电路对差模信号的电压增益与对共模信号的电压增益之比的绝对值。其数值越大，电路对差分信号的放大能力越强，对共模信号的抑制能力也越强。

(3) 低输入噪声。肌电信号的幅值在μV级别，易受环境干扰，输入噪声越低肌电信号信噪比越高。

为保证系统可靠，按照YY/T 1095—2015肌电生物反馈仪行业标准^[9]，使用鲸扬CMRR 3.0仪器和SEEG100仪器对系统的关键性指标进行了测试^[10]。系统参数测量结果如表1所示。

表1 系统参数测量结果

Tab.1 Measurement results of system parameters

测量参数	YY/T 1095—2015	测量结果
采集通道数		8
最高采样频率		1 000 Hz
数据传输方式		无线
续航时间		6.3 h
灵敏度	≤2 μV	0.022 μV
系统输入噪声	≤1 μV	0.42 μV
输入阻抗	>5 MΩ	78.8 MΩ
信号通带带宽	20~500 Hz	0.5~500 Hz
共模抑制比	>100 dB	139 dB

由表1可知，系统共模抑制比高达139 dB、输入阻抗达到78.8 MΩ、系统输入噪声为0.42 μV，能够保证高质量sEMG的采集。续航时长高达6.3 h，并且使用无线通信，能够实现sEMG的便携式无线采集。

为医院节省设备的维修开销。

4 结束语

本系统是一套基于B/S架构和微信公众号, 涉及可视化技术、数据库、互联网技术等所设计开发的设备管理应用数字化系统。系统基本实现了设备管理、采购验收、设备报修维修、质控管理和设备报废的功能, 以及设备全生命周期的信息化管理, 提高了设备管理的工作效率、有效管控设备风险、降低设备管理人力成本, 规范化医疗设备管理流程, 同时推动了三甲医院设备智能化管理的进程, 提高了医院信息化水平。

参考文献

- [1] 彭明辰. 临床医学工程学科建设之我见[J]. 中国医疗设备, 2009, 24(1): 1-2, 116.
- [2] 翁哲阳. 临床医学工程学科发展之我见[C]//中华医学会医学工程学分会第十五次全国学术年会论文集汇编, 2015.
- [3] 陆婷娟, 李洁. 基于BS结构的医院信息管理系统架构分析[J]. 现代商贸工业, 2016, 37(15): 67-68.
- [4] 张宇, 米春香. 基于BS架构的血液透析患者排床管理系统开发[J]. 医学信息, 2020, 33(4): 20-22, 25.
- [5] 张旭刚, 张昕, 高若寒. 基于Spring Boot与MyBatis框架构建动态读写分离模型[J]. 微型电脑应用, 2021, 37(2): 84-86, 98.
- [6] 吕学婷. 基于Spring MVC和Mybatis框架的门户网站及其内容管理系统的设计与实现[D]. 上海: 东华理工大学, 2016.
- [7] 田宗梅. 医院集成平台建设中的主要问题与对策[J]. 中国卫生信息管理杂志, 2020, 17(3): 271-274, 295.
- [8] 王琼, 周毅. 医院主数据管理的研究与应用[J]. 中国数字医学, 2017, 12(10): 11-13.
- [9] 肖文娟, 王加胜. 基于Vue和SpringBoot的校园记录管理Web App的设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2020, 37(4): 25-30, 88.
- [10] 耿向南. 基于微信公众平台的医疗设备管理系统的开发与应用[J]. 中国医疗设备, 2016, 31(12): 42-45.
- [11] 曾诚, 王爱民, 肖田元, 等. 面向全生命周期的项目管理系统分析与设计[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(4): 853-856.

上接第153页

5 结语

本研究基于CC3200和ADS1299设计了一款sEMG采集系统, 并对系统的硬件参数按照行业标准进行了测试, 结果表明该系统能够满足肌电信号的采集。与姜磊等^[11]设计的同类产品相比, 本系统在实现高通道数、高采样率采样的同时, 实现了基于WiFi的通用通信协议, 不需要上位机连接额外设备即可通信, 可以兼容笔记本、手机、平板电脑等多种平台, 极大地扩展了使用范围。本系统具有高性能、低功耗、远距离传输的优点, 对开发高性能sEMG机具有一定的参考价值。目前本系统已经应用在24种手势识别表面肌电信号的检测中, 选择了sEMG信号段长度为300 ms来进行特征提取, 分类正确率为93.92%^[12]。后续将开发更多通道的sEMG采集系统, 为运动功能评估提供优质的检测平台。

参考文献

- [1] LONGHI M, MERLO A, PRATI P, et al. Instrumental indices for upper limb function assessment in stroke patients: a validation study[J]. J Neuroeng Rehabil, 2016, 13(1): 52.
- [2] 刘凡, 曹蕾. 表面肌电应用的新进展[J]. 体育世界(学术版), 2019(7): 149-151.
- [3] BAO S C, LEUNG K W, TONG K Y. Cortico-muscular interaction to monitor the effects of neuromuscular electrical stimulation pedaling training in chronic stroke[J]. Comput Biol Med, 2021, 137: 104801.
- [4] PAN B, HUANG Z, JIN T, et al. Motor function assessment of upper limb in stroke patients[J]. J Healthc Eng, 2021: 6621950.
- [5] ISHAK A J, AHMAD S A, SOH A C, et al. Design of a wireless surface EMG acquisition system[C]//2017 24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP). IEEE, 2017: 1-6.
- [6] 王博, 邱达, 张远念, 等. 基于CC3200的无线传输系统的设计[J]. 信息技术与信息化, 2018(7): 38-40.
- [7] 叶志雄, 罗锦宏, 糜超, 等. 16通道脑电采集系统设计与实现[J]. 电子技术应用, 2017, 43(8): 73-76, 80.
- [8] Texas Instruments, Inc. ADS1299-x Low-Noise, 4-, 6-, 8-Channel, 24-Bit, Analog-to-Digital Converter for EEG and Biopotential Measurements[EB/OL]. (2017-01-25) [2022-03-29]. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1299.pdf>.
- [9] 郑佳, 余新华, 何骏, 等. 家用电子医疗器械标准体系研究[J]. 中国医疗器械杂志, 2017, 41(5): 369-370, 390.
- [10] 文斌. 多通道脑电同步测量及应用系统的研制[D]. 深圳: 深圳大学, 2020.
- [11] 姜磊, 杜冬梅. 基于CC430的表面肌电信号无线采集系统的研究与设计[J]. 河南工程学院学报(自然科学版), 2013, 25(1): 61-65.
- [12] 吴旭洲. 基于多源信号的运动意图实时识别系统的研发[D]. 西安: 西安交通大学, 2020.