

便携式心电监测系统的硬件设计与实现

吴敏,谢云,邬洋

广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510006

【摘要】介绍了一种基于AD8232模拟电路和PSOC4 BLE可编程芯片的便携式心电监测系统的硬件设计,AD8232内置多个运放能够设计前置放大器、滤波电路和主放大电路,非常符合心电信号采集的要求,而PSOC4 BLE可编程芯片内含A/D转换、蓝牙等可编程模拟和数字电路,硬件设计体积非常小,便于携带,能够实现实时、低功耗和无线移动传输功能,又包括了软件滤波,处理后的波形验证了本设计的可行性。

【关键词】AD8232;PSOC4 BLE;便携式;心电信号;蓝牙

【中图分类号】TP391

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)02-0210-04

Hardware design and implementation of portable electrocardiogram monitoring system

WU Min, XIE Yun, WU Yang

School of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China

Abstract: A portable electrocardiogram monitoring system based on analog devices 8232 (AD8232) chip and programmable analog circuit of programmable system-on-chip 4 with Bluetooth low energy (PSOC4 BLE) was introduced. The built-in multiple operational amplifiers in AD8232 chip includes pre-amplifier, filter circuit and main amplifier circuit, which accord with the requirements of ECG signal acquisition. PSOC4 BLE programmable chip contains analog and digital conversion, Bluetooth and other programmable analog and digital circuits, which not only makes the hardware design very small, easy to carry, achieve real-time, low-power and wireless transmission function, but also achieves software filtering. The processed waveform verifies the feasibility of the proposed design.

Keywords: analog devices 8232; programmable system-on-chip 4 with Bluetooth low energy; portable; electrocardiogram signal; Bluetooth

前言

随着人口老龄化问题日趋严重,心血管疾病发病率越来越高,对老人的防护要求也越来越高,对老人的心电监护需要高度重视。许多研究表明,大部分的猝死者死前都有心电图失常的症状。那么实时的心电监护就显得尤为重要,病人不用亲自到医院进行观察,也能够实时监测分析发病情况,进而能够得到及时有效的治疗,医务人员能够根据保存的心电图,检测出心率变化趋势做出治疗的最佳方案。

近年来心电监护仪设计领域有很大的进步,监护仪的设计越来越智能,但也还是存在一定的缺陷,例如

功耗大、体积大、携带不方便,不能实时监测等^[1-5]。针对这种情况,本设计基于模拟电路8232(Analog Devices 8232, AD8232)和可编程片上系统低功耗蓝牙芯片(Programmable System-on-Chip 4 with Bluetooth Low Energy, PSOC4 BLE)的心电监测系统能够很好的解决这些问题,AD8232和PSOC4 BLE可编程芯片体积都非常小,整个硬件设计相对就很小了。

1 总体设计方案

实现心电采集的设计包括硬件和软件两部分,硬件包括模拟采集和数字处理。本设计通过一次性氯化银(AgCl)电极和三导联线实现信号采集,设计硬件电路中利用AD8232^[6]设置前置放大电路、带通滤波电路、主放大电路和一个电平抬升电路组成一个模拟采集电路,出来的信号幅值控制在A/D转换器的采集范围内,PSOC4 BLE^[7-9]通过设定A/D采样进行A/D转换,将模拟信号转换成数字信号,通过数字

【收稿日期】2017-11-12

【基金项目】广东省工业高新技术领域科技计划项目(2013B010401028)

【作者简介】吴敏,硕士研究生,研究方向:嵌入式系统与应用、信号处理,
E-mail: 413640413@qq.com

滤波的方式对得到的数字信号进行处理,最后进行无线传输,无线传输功能是利用蓝牙无线传输^[10],这样可以实现移动式接收信号,显示波形,系统总体框图如图1所示。

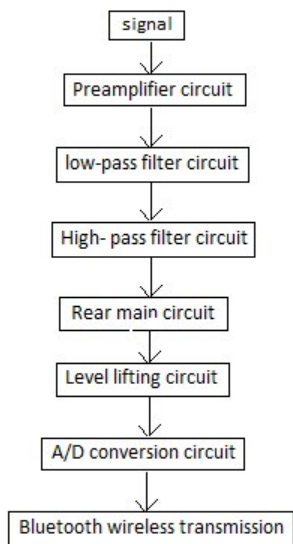


图1 系统总体框图

Fig.1 Block diagram of overall system configuration

2 硬件设计

2.1 电极放置

考虑到心电信号的微弱性,采集起来非常困难,本设计采用电极是一次性AgCl电极,此电极电势稳定,重现性很好,标准电极电势为+0.222 4 V(25 ℃),在升温的情况下比甘汞电极稳定。并且采用三导联的电极采集方式,能较清晰的检测到心电波的峰值,电极分别放置在心脏附近、右边对称位置和肚脐附近。

2.2 心电采集模块

因为心电信号幅值非常微弱,大约在10 μV~4 mV之间,频率在0.05~100 Hz之间,是mV量级和低频信号,干扰特别强,有基线干扰、工频干扰和人体信号的各种噪声,导致心电信号采集非常困难,采集电路的设计要求相应的也就非常高。为了确保不失真,要通过两级放大:前置放大和主放大,为了消除干扰,还要设计滤波电路,隔离器等等。为了体现体积小,本设计中采用AD8232采集芯片,AD8232芯片尺寸大小只有4 mm×4 mm,它内置1个专用仪表放大器(IA)、1个运算放大器(A1)、1个右脚驱动放大器(A2)和1个中间电源基准电压缓冲器(A3)。所以,前置放大和主放大都可以在此芯片设置,此外,AD8232还内置导联脱落检测电路和一个自动快速恢复电路,该电路可在导联重新连接后迅速恢复信号。该芯片还配置了由低通电

路和高通电路组成的带通电路,因为心电信号频率主要集中在0.05~100 Hz之间,而该范围以外的信号需要得到最大范围的衰减,就需要高精度,低偏置的二阶有源高通滤波器和低通滤波器,本设计中高通滤波器的截止频率约为0.03 Hz,低通滤波器的截止频率为100 Hz。

2.3 主控芯片的电路设计

主控芯片PSOC4 BLE是一个可编程芯片,它内含模拟电路和数字电路和无线蓝牙功能。它采用12位分辨率、1 Msps的采样率,支持单端和差分输入。在此芯片中设计电平抬升电路和A/D转换电路,因为心电信号存在负向的电位信号,所以需要对放大后心电信号叠加正向电位,使心电信号的电位信号全部为正,在此设计中利用电平抬升电路解决,并且进行A/D转换器,对整个心电信号进行处理,继而保证显示完整的心电波形,A/D采样率设置为1 000 Hz,基准电压为1.024 V,如图2所示为电平抬升电路和A/D转换电路图。

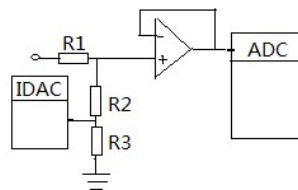


图2 电平抬升电路和A/D转换电路图

Fig.2 Electric lifting circuit and analog and digital (A/D) conversion circuit diagram

2.4 无线蓝牙电路设计

本设计采用无线蓝牙^[11-13]来实现数据的传输功能,蓝牙是移动数据传输的最佳选择,它不需要网络,距离合适,带宽合适且不浪费能量,穿透性强,稳定性高。蓝牙芯片有多种,而主控芯片PSOC4 BLE内含的蓝牙芯片中的标准4.2,它具有4个功耗设置模式,本设计采用低功耗的设置,在普通操作模式下没有挂起中断时,节省了整个模块能量的使用,使其维持的时间更长,能够很好的进行数据传输。

3 软件设计

本设计的软件滤波采用了FIR滤波器^[14-15]设计,除无效的信号外,大部分的信号的分析处理都是经过滤波器来实现的,其中数字滤波器处理的精度很高。本设计的FIR数字滤波器选用窗函数法,它的设计是通过设置宽度函数截取无限长脉冲响应序列,从而获取有限长脉冲响应序列波形的过程。窗函数的主程序框图如图3所示。

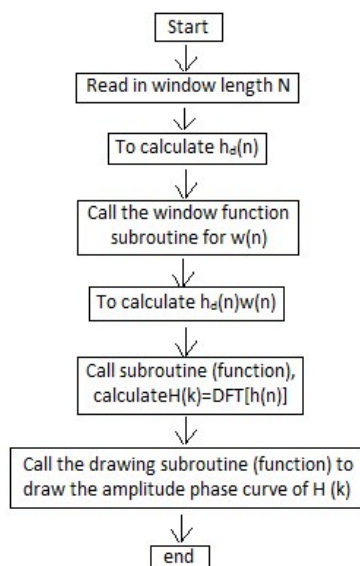


图3 窗函数的主程序框图

Fig.3 The main program block diagram of window function

4 实验结果

通过电极片和三导联采集的心电信号,经过放大、滤波和主芯片处理,实验过程如图4所示,图5为经过软件滤波后的波形显示。

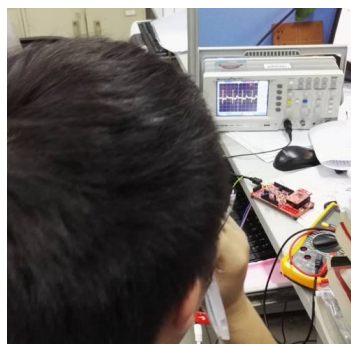


图4 系统实验显示图

Fig.4 System experiment display

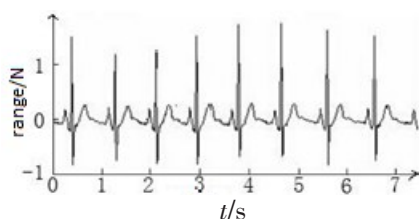


图5 软件滤波后的波形显示

Fig. 5 Waveform after software filtering

5 结语

采用AD8232芯片进行前端的心电信号采集,能够检测导联脱落等,硬件上滤出信号干扰后,再利用

PSOC4 BLE低功耗可编程芯片进行进一步的采集处理和数据传输,通过软件上的滤波,再次去掉一些干扰信号。又利用无线蓝牙传输,使其达到实时。由于芯片尺寸非常小,最后的总体设计也就很小,实现了一个体积小,低功耗,实时性的便携式心电监测系统^[16-20],为心电监护提供了方便,有很大的研究意义。

【参考文献】

- [1] 秦玉伟. 一种便携式心电监测装置[J]. 渭南师范学院学报, 2017, 32(4): 27-31.
QIN Y W. A portable ecg monitoring design[J]. Journal of Weinan Normal University, 2017, 32(4): 27-31.
- [2] 胡成功, 查君君. 便携式低功耗心电监测系统[J]. 电子产品世界, 2015(6): 44-45.
HU C G, CHA J J. The design of portable low power heart rate monitoring system[J]. Electronics World, 2015(6): 44-45.
- [3] 李淑园, 吴水才. 可穿戴式无线低功耗心电记录仪的设计与实现[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(3): 21-23.
LI S Y, WU S C. Design and implementation of wearable wireless low-power ECG recorder[J]. China Medical Devices, 2015, 30(3): 21-23.
- [4] 徐超. 基于STM32的便携式心电信号测量仪的设计[J]. 装备制造技术, 2012(1): 57-59.
XU C. Portable electrocardiogram measurement based on STM32[J]. Equipment Manufacturing Technique, 2012(1): 57-59.
- [5] 黄智伟, 于红利, 宁志刚. 基于STM32F417的图像采集系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012, 12(10): 48-51.
HUANG Z W, YU H L, NING Z G. Design of image acquisition system based on STM32F417[J]. Microcontroller & Embedded Systems, 2012, 12(10): 48-51.
- [6] 陈嘉绪, 周颖. 基于AD8232的心电实时监测及分析系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2017, 25(2): 26-31.
CHEN J X, ZHOU Y. Development of a real-time ECG monitoring and analysis system based on AD8232[J]. Computer Measurement and Control, 2017, 25(2): 26-31.
- [7] 叶学俭, 许武军, 范红. 基于PSOC的无创血糖检测的微弱信号采集[J]. 微型机与应用, 2016, 35(18): 32-34.
YE X J, XU W J, FAN H. Weak signal acquisition based on PSOC for monitoring of non-invasive blood glucose[J]. Hardware and Architecture, 2016, 35(18): 32-34.
- [8] AN91445: Antenna design and RF layout guidelines[EB/OL]. <http://www.cypress.com/go/AN91445>.
- [9] 熊扬成, 许武军. 基于蓝牙低功耗PSOC的心电图穿戴装置设计[J]. 微型机与应用, 2016, 35(13): 90-91.
XIONG Y C, XU W J. Design of ECG wearable device based on PSOC BLE[J]. Microcomputer & Its Applications, 2016, 35(13): 90-91.
- [10] 朱凌云, 吴宝明. 移动心电监护系统QRS波的实时检测算法研究[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(6): 603-607.
ZHU L Y, WU B M. A real-time QRS complex detection algorithm for mobile ECG telemonitoring system[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(6): 603-607.
- [11] 柴继红. 基于蓝牙4.0 BLE的移动心电监测系统[J]. 深圳职业技术学院学报, 2014(5): 16-20.
CHAI J H. Wireless ECG monitoring system based on bluetooth 4.0[J]. Journal of Shenzhen Polytechnic, 2014(5): 16-20.
- [12] 黄敏, 张珣. 基于蓝牙4.0的心电监护系统的研究[J]. 物联网技术, 2015(1): 30-31.

- HUANG M, ZHANG X. Research on the ECG monitoring system based on bluetooth 4.0[J]. Internet of Things Technologies, 2015(1): 30-31.
- [13] 吕恒勇. 基于蓝牙技术的心电监护模块设计[J]. 医疗卫生装备, 2007, 28(9): 21-22.
- LÜ H Y. ECG monitoring module based on Bluetooth technology[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2007, 28(9): 21-22.
- [14] 红梅, 韩万刚. FIR滤波器时延分析及其在信号融合的应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2016, 49(2): 303-308.
- HONG M, HAN W G. Time-delay analysis of FIR filter and its application to signal fusion[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2016, 49(2): 303-308.
- [15] 董胡. 基于窗函数与MATLAB的数字FIR滤波器设计[J]. 微型电脑应用, 2016, 32(3): 30-32.
- DONG H. Digital FIR filter design based on window function and MATLAB[J]. Microcomputer Applications, 2016, 32(3): 30-32.
- [16] 管仲玲, 杨雪萍, 吴绪灯, 等. 基于嵌入式技术的便携式心电监护仪设计[J]. 计算机与现代化, 2011(12): 168-170.
- GUAN Z L, YANG X P, WU X D, et al. Design of portable ECG monitor based on embedded technology [J]. Computer and Modernization, 2011(12): 168-170.
- [17] 王景文. 基于单片机的心电实时监测系统的研究与设计[J]. 中国新通信, 2016(2): 155.
- WANG J W. Real-time ECG monitoring system research and design based on SCM[J]. China New Telecommunications, 2016(2): 155.
- [18] 郭劲松. 可穿戴式心电、呼吸传感器与检测系统的研制[J]. 中国医疗器械杂志, 2006, 30(5): 341-344.
- GUO J S. The design of a wearable ECG and respiration sensor vest and its monitoring system [J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2006, 30(5): 341-344.
- [19] 李严. 可穿戴式医疗芯片研究进展[J]. 科技导报, 2017, 35(2): 33-40.
- LI Y. Research progress of wearable medical chips[J]. Science & Technology Review, 2017, 35(2): 33-40.
- [20] 薛诗静, 高帅锋. 可穿戴式心电监护系统设计与实现[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(1): 6-9.
- XUE S J, GAO S F. Design and implementation of wearable ECG monitor[J]. China Medical Devices, 2015, 30(1): 6-9.
- (编辑: 薛泽玲)