

基于 ARM 的心电监护仪的设计与实现*

李 梁¹ 文笃石²

(1. 西安邮电大学 通信与信息工程学院 西安 710121; 2. 西安邮电大学 计算机学院 西安 710121)

摘 要:心电监护仪能长时间连续记录心电数据,一直以来是医院病房不可缺少的医疗仪器,如今在家庭中的应用也越来越普及。基于 ARM 微处理器,设计开发了一种心电监护仪。采用 AD8232 作为 ECG 前端采集芯片来获取心电信号,结合放大、滤波电路,将前端信号放大后再进行滤波除噪处理。使用 STM32 微处理器作为心电信号处理芯片,对心电信号进行模数转换,通过蓝牙模块 ATK-HC05 发送至智能终端,实现在智能终端上的心电图形绘制与实时显示。系统设计中,充分考虑了心电电极的导联脱落检测以及低功耗模式实现,因此实现的心电监护仪具有数据准确,携带便捷等优点,必将在市场上得到广泛使用。

关键词:AD8232;STM32;心电图;心电监护仪;蓝牙无线传输

中图分类号: TN609 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.5040

Design and implementation of ECG monitor based on ARM

Li Liang¹ Wen Dushi²

(1. School of Telecommunication and Information Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China; 2. School of Computer Science and Technology, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: The ECG monitor can continuously record the ECG data for a long time, so it has been an indispensable medical instrument in hospital wards. And now it is more and more popular in the family. An ECG monitor is designed and implemented based on ARM microprocessor in this thesis. AD8232 is used as the ECG front-end acquisition chip to obtain the ECG signal, and the signal is filtered and denoised after being amplified by amplifier and filter circuit. The ECG signal is converted from analog to digital using the STM32 microprocessor as signal processing chip and sent to the smart terminal through the Bluetooth module ATK-HC05. Then electrocardiogram can be drawn and display in real time in the smart terminal. In the design of the system, the detection of lead drop and the realization of low power consumption mode are fully considered, so the ECG monitor will be widely used in the market because of its accurate data, light weight and so on.

Keywords: AD8232; STM32; electrocardiogram(ECG); electrocardiogram monitor; bluetooth wireless transmission

1 引 言

近年来的研究数据表明,患有心脏疾病的人越来越多,呈快速上升趋势。心脏病早期症状并不明显,不易被察觉,但是一旦病症突发,治疗与恢复相对困难。因此,长期的心电监护十分有助于心脏病的早期发现和诊断。长期以来,心电监护仪一直是医院病房必备的医疗仪器,如今在家庭中的应用也越来越普及,心电监护仪必将有着广阔的应用前景,对其进行研究开发具有重要的现实意义。

本文基于 STM32 微控制器,结合 ECG 前端心电采集芯片 AD8232 和蓝牙传输模块 ATK-HC05,设计实现了一种轻量级的心电监护仪,具有成本低廉、数据准确、携带便捷等优点。

2 心电监护仪的总体设计

通过对心电监护仪的功能进行分析,可以看出系统应具有 4 个主要模块,即信息采集^[1]、信息处理、信息传输和信息显示,系统总体结构如图 1 所示。硬件选型过程中,

收稿日期:2017-01

* 基金项目:陕西省教育厅科研计划项目(15JK1679)资助

应在充分考虑系统的体积、功耗和成本等因素基础上,选取合适的硬件模块进行系统集成。信息处理模块使用 STM32 作为核心控制板,通过 GPIO 接口与心电信号采集芯片 AD8232^[2] 连接,同时通过蓝牙无线传输模块 ATK-HC05 与智能终端实施数据传输。

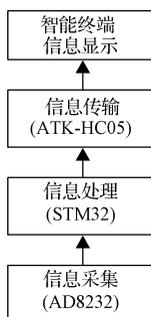


图1 系统总体结构

心电监护仪开始工作时,心电数据先被 AD8232 芯片模块采集出来,然后发送至 STM32 进行 AD 转换,再经过串口连接蓝牙模块 ATK-HC05^[3],通过无线方式发送给智能手机,手机端的蓝牙模块接收到数据后开始绘制心电数据图形,实现心电数据的可视化显示。

3 心电监护仪的硬件功能实现

3.1 信息处理模块

信息处理模块是心电监护仪的核心部分,控制整个系统的运行,本系统选用 STM32 作为心电信号的处理芯片。STM32 采用 Cortex-M3 架构^[4],支持 Thumb-2 指令集,具有很多突出的优势。与以往的 ARM7 TDMI 系列相比,Cortex-M3 拥有更强劲的性能,提供丰富的中断且可嵌套使用,代码密度更高,支持位带操作,制造成本低廉,使用功耗更低。在整个心电监护仪的设计中,选择 STM32 完全可以满足系统的硬件需求。

STM32 的时钟频率为 36 MHz,拥有内存直接存取、定时器、数模转换、I²C、I²S、通用串口、SDIO、SPI、CAN 总线、实时时钟、FSMC 等一系列丰富外设,支持 SWD 和 JTAG 两种调试接口,各个外设的时钟开关都是独立的,实时性能十分优异,且集成度极高。所有的外端口都可以作为外部 interrupt 的输入,中断资源十分丰富。系统设计中还使用了 12 位 ADC 接口、TIMx 定时器中断、UART 串口、按键外部中断、GPIO 接口等硬件资源。

3.2 信息采集模块

系统采用市场上较为常见的 AD8232 作为 ECG 前端心电采集芯片,用来对心电信号进行放大和滤波,AD8232 拥有卓越的性能、低廉的成本和超低的功耗,为 ECG 的测量提供较为成熟的解决方案^[5]。

AD8232 是一种可以用来对人体 ECG 生物电或其他生物电测量的芯片。在被测对象运动时,或者心电电极所放置部位产生人体电流噪声等复杂环境下,AD8232 仍然

能够提取出生物电信号,并对其进行放大及过滤。AD8232 采用双极点的导联方式,芯片的内部集成了高通滤波器,能够有效去除运动产生的噪声以及电极半电池电位。高通滤波器和芯片的仪表放大器相耦合连接,可以将心电信号高通滤波并且实现单级高增益,成本低廉,体积小。芯片内置的放大器将 ECG 信号放大,从而产生出一个三电极的低通滤波器,可以有效消除外界的噪声。所有滤波器的截止频率都可以由用户来选择,足以面对用户各种类型应用的需求。

AD8232 集成了一项快速恢复功能,主要是为了降低高通滤波器工作建立时造成的长尾现象。在工作时,若放大器的轨电压的信号突然变化,比如检测电极脱落,此时芯片能够立即检测到,并根据变化将滤波器截止状态调节至更高的状态。通过该特殊设计,可以让 AD8232 在工作时实现快速恢复功能,从而在心电检测时一旦电极连接到人体的测量部位就可以迅速取得有效且准确的人体生物电值。AD8232 芯片的引脚及功能如图 2 所示。

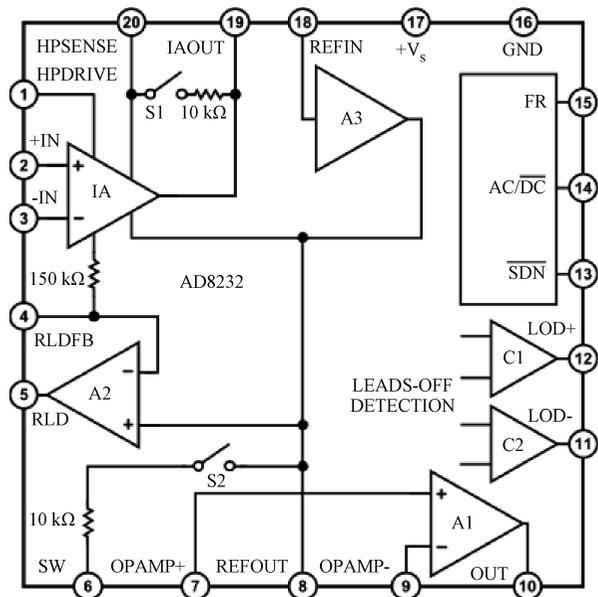


图2 AD8232 的引脚及功能图

3.3 无线信息传输模块

在心电监测过程中,心电监护仪通过 STM32 主控板搭载的无线通信模块将前端采集的心电信号传输至手机端进行心电波形显示。作为短距离无线通信方式之一的蓝牙通信,具有效率高、准确性好等特点^[6]。目前,智能手机已广泛普及到大众人群,而且智能机全部搭载蓝牙模块,因此本文设计的心电监护仪选择蓝牙传输作为心电数据的传输方式,从而能够保证便携式心电监护仪在市场上的广泛推广使用。

ATK-HC05 是一款优秀的传输快速的蓝牙串口模块,它工作时的主从模式可以切换,各种便携式终端设备(如手机、笔记本电脑、平板电脑、ARM 片上设备等)的蓝

牙都可以与之配对连接。蓝牙模块 ATK-HC05 的波特率可以从 4 800 至 1 382 400,拥有十分宽泛的可调范围。它与嵌入式设备 (STM32) 连接时,模块兼容性非常好,5 V 或者 3.3 V 电源均可,可以方便灵活地用于产品开发。

ATK-HC05 蓝牙模块一共有 6 个引脚,包括连接状态端口 LED、AT 进入状态的端口 KEY、TTL 电平串口接收端口 RXD、TTL 电平串口发送端口 TXD、电源地 GND 和电源正极 VCC。蓝牙模块的接收端 (RXD) 应该与 STM32 的发送端 (TXD) 相连接,如图 3 所示。蓝牙模块接入电源后,如果在 RXD 端接收到数据,接着就会将这个数据通过无线方式发送出去。

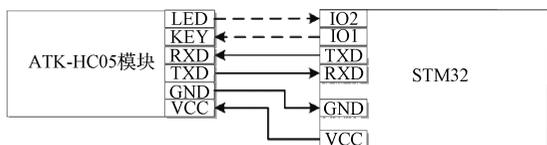


图 3 ATK-HC05 与 STM32 的连接示意

3.4 电压线性调节器

心电采集模块需要 3.3 V 的外接电压,这个电压可以由 STM32 来提供,但是系统设计中应尽量减少 ECG 采集前端与 STM32 之间的耦合性,所以应该将两个部分尽可能地分离。本文选用 ADP150 模块设计了一个电压线性调节器,拥有稳定的 3.3 V 输出,用来为心电采集模块供电。

ADP150 是一款超低噪声、低压差线性调节器,采用 2.2~5.5 V 电源供电,最大输出电流为 150 mA。驱动 150 mA 负载时压差仅为 105 mV,这种低压差特性不仅可以提高效率,而且能使器件在很宽的输入电压范围内工作。ADP150 芯片在结构上使用了最新的电路拓扑结构,在不用添加特别的噪声旁路电容情况下,将超低噪声性能得以实现,特别适用于对噪声灵敏的模拟应用中。该稳压芯片不仅拥有超低噪声的特性,它的电源抑制性能及线路和负载瞬时响应能力也十分优秀。在超低噪声和低芯片功耗之间实现了完美平衡,在便携产品开发的应用中,可使电池的寿命达到最佳。在一些特殊条件下,如电路短路或者热过载,ADP150 可以维持电路正常工作以防损坏器件。小巧的体积,也使得 ADP150 非常适用于便携式设备的供电方案设计。

本系统在 ADP150 芯片的基础上,完成了前端芯片稳压电路设计。将它的 VCC 引脚与处理芯片的 5 V VCC 相连接,GND 与处理器的 GND 相接,然后将 OUT 引脚引出来,与心电采集模块的 VCC 连接,作为心电采集模块的电源输入,如图 4 所示。输出电压始终为 3.3 V,即使输入电压存在小幅度的波动也不会影响输出电压,适合给心电采集模块供电,使得心电信号的采集更加准确。

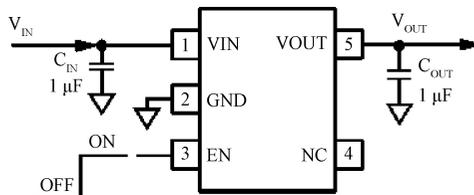


图 4 电压线性调节器电路

4 系统软件功能实现

4.1 软件功能分析

心电监护仪的软件功能实现主要是对硬件平台 ARM 的编程,STM32 将采集的心电数据读入 ARM 芯片^[7],由 ARM 芯片将心电数据进行算法处理,并通过无线方式发送至智能终端进行显示。在编程实现这一基本过程的基础上,可以对软件模块进一步完善,使其拥有更加丰富的功能,例如采集数据时可以控制随时暂停,芯片不进行测量时进入低功耗模式等。软件功能可以总结为如下几个方面:

- 1) 读出 ECG 前端采集芯片 AD8232 得到的心电数据;
- 2) 将获得的心电数据依据一定的算法进行处理;
- 3) 将处理后的心电信号通过蓝牙传输方式发送给手机;
- 4) 检测心电电极是否正常工作,即是否脱落;
- 5) 在采集过程中实现随时暂停、恢复测量功能;
- 6) 使前端采集芯片 (AD8232) 在不使用时进入低功耗模式;

7) 在心电监护仪的 LCD 屏上即时显示当前工作状态^[8],如暂停、测量、低功耗、电极异常等。

4.2 软件开发环境

本项目开发中,使用了 Windows 8.1 下的 Keil 开发环境^[9]。Keil 提供了完整的嵌入式开发方案,支持一系列嵌入式开发中所需要的各种功能,如芯片环境选择,工程文件生成模拟等,自带可以模拟众多芯片的仿真调试器。对于从事嵌入式开发工作的人来说,它是一款必不可少的开发软件。在整个心电监护仪的软件设计中,采用了 Keil 环境来编码调试。

4.3 软件工作流程

系统软件工作过程,可以分为以下几个步骤:

1) 初始化,包括主控板初始化、心电采集模块初始化和蓝牙输出模块初始化^[10]。初始化后,控制板的 TIMER 启动,当 TIMER 每中断一次,在定时器中断函数中将 TIME_FLAG 标志置为 1。

2) 主控程序中先检测按键,如果按键“0”被按下,则开始心电数据测量,当检测到 TIME_FLAG 被置 1 时,从心电测量模块中读取一次心电值 (ADC 方式),并将它通过蓝牙方式无线传输给用户终端设备。传输结束后将 TIME_FLAG 置为 0,等待下一次心电数据采集。

3)当按键“1”被按下后,心电采集芯片进入低功耗模式,再次按下按键“1”可恢复心电采集。

4)当按键“2”被按下后,心电采集将会暂停,再次按下按键“2”可恢复心电采集。

需要说明的是,3个按键“0”、“1”、“2”均是以外部 interrupt 形式来触发。

5 结 论

本文以 STM32 微处理器为核心处理芯片,结合心电采集芯片 AD8232 和蓝牙传输芯片 ATK-HC05,设计实现了一个轻量级的心电监护仪。设计过程中,充分考虑了心电电极的导联脱落检测以及低功耗模式的实现,心电电极的导联脱落检测是为了防止由于用户使用不当而造成的心电测量数据有误,而低功耗模式则是为了节省电力。系统测试中,采集的 QRS 波群清晰可见,心率波群也有规律地出现。实现的心电监护仪成本低廉、数据准确、携带便捷且功耗较低,具有较高的实用价值,必将在医院、家庭中得到广泛使用。

随着电子产业的快速发展,可以对硬件组成进一步改进,使得心电监护仪的精度越来越高,体积越来越小,可靠性越来越稳定。软件设计方面,可以结合云存储技术,对大量历史数据进行保存与分析,为用户提供更为准确的个性化健康服务。

参 考 文 献

- [1] 支丹阳,杜秀兰,赵靖,等. 基于便携式脑电信号采集器的脑-机器人交互系统[J]. 电子测量与仪器学

(上接第 66 页)

- [2] 3GPP Technical Report 36. 913. Requirements for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced) [R]. March 2011, Available: www.3gpp.org:1322-1326.
- [3] 刘毅,王琼. LTE 系统中 PDN 连接过程的建立与实现[J]. 电视技术,2010,42(12):34-37.
- [4] 郭彬,樊迅,曹伟,等. 八天线 TD-LTE 系统的波束赋形算法分析[J]. 电讯技术,2010,31(8):32-35.
- [5] 白力军,张冠宇,苏志强,等. 任意频点双混频时差测量方法及仪器的研究[J]. 电子测量与仪器学报,2014,34(5):32-35.
- [6] 3GPP TS 36. 213. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) ; Physical layer procedures [R]. 1232-1235.
- [7] 黄武,王志. 一种 LTE-Advanced 系统信道估计算法的设计与实现[J]. 国外电子测量技术,2014,42(9):24-26.

报,2016,30(5):694-701.

- [2] 胡立新. 基于 ARM 的医疗终端的研究与设计[D]. 兰州:兰州交通大学,2015.
- [3] 李娟娟,雷斌. 基于 WSN 野外冻土地温自动监测系统的设计[J]. 国外电子测量技术,2015(11):86-90.
- [4] 刘振凯,姚骏,张露露,等. 基于 STM32L152 的低功耗超声波热量表的设计[J]. 电子测量技术,2016,39(7):149-153.
- [5] 杨斌,董永贵. 电容耦合非接触电极及心电信号获取[J]. 仪器仪表学报,2015,36(5):1072-1078.
- [6] 钱志鸿,刘丹. 蓝牙技术数据传输综述[J]. 通信学报,2012,33(4):143-151.
- [7] 卢彪,李悦,张万礼. 基于 ARM 芯片的汽车智能远程防盗系统的设计[J]. 兰州文理学院学报:自然科学版,2016,30(5):55-59.
- [8] 樊亚玲,杨宏亮. 多功能加湿器控制系统的设计与实现[J]. 国外电子测量技术,2015(3):32-36.
- [9] 黎雪芬. Keil 及 Proteus 软件在单片机仿真教学中的应用[J]. 装备制造技术,2012(3):49-50.
- [10] 李晓丹. 基于 STM32 的物联网嵌入式网关的设计[J]. 计算机工程与应用,2015,51(4):61-65.

作 者 简 介

李梁,2004 年于西安邮电学院获得学士学位,2012 年于西安邮电大学获得硕士学位,现为西安邮电大学讲师,主要研究方向为计算机应用技术。

E-mail:liliang@xupt.edu.cn

作 者 简 介

徐啸涛,1979 年出生,2004 年获南京邮电学院硕士学位。现为浙江机电职业技术学院电气电子技术系副教授。主要研究方向为移动通信、软件测试、物联网等。

E-mail:xxztzime@126.com