The Design of Multi-Lead ECG Heart Sound Synchronization Smart Stethoscope*

LU Yezhao[1,2], *GUO Jia*[3], *ZHANG Liping*[4], *ZHANG Huixin*[1,2*], *ZHAO Kaiming*[1]

(1.*Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement*, *Ministy of Education*, *North University of China*, *Taiyuan Shanxi* 030051, *China*;
2.*National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology*, *North University of China*, *Taiyuan Shanxi* 030051, *China*;
3.91550 *Troops*, *Dalian Liaoning* 116018, *China*; 4.*Beijing Institute of Telemetry*, *Beijing* 100076, *China*)

Abstract: Since conventional electronic stethoscopes do not have the functions of synchronous playback and monitoring of ECG signals, we design a smart stethoscope that can collect and display multi-lead ECG and heart sounds synchronously in real time. The stethoscope uses FPGA and DSP as the control core. By controlling modules with different functions, the stethoscope completes the collection and transmission of ECG and heart sound signals. The stethoscope has the advantages of low cost, low power consumption, small size, high sensitivity, and real-time detection of heart sounds and electrocardiogram signals through output waveforms. It is convenient for doctors to accurately and effectively judge the patient's condition and has high practical value for medical diagnosis.

Key words: ECG and heart sound; synchronization; real-time acquisition; FPGA

EEACC: 6140; 7220 **doi**: 10.3969/j.issn.1005-9490.2021.01.036

多导联心电心音同步智能听诊器设计*

芦夜召[1,2], 郭 珈[3], 张利平[4], 张会新[1,2*], 赵凯明[1]

(1.中北大学仪器科学与动态测试教育重点实验室, 山西 太原 030051; 2.中北大学电子测试技术重点实验室, 山西 太原 030051;
3.91550 部队, 辽宁 大连 116018; 4.北京遥测技术研究所, 北京 100076)

摘 要: 针对常规电子听诊器仅能实现单纯的心音听诊, 无法同步显示回放及监测心电信号功能的局限性, 设计了一种多导联心电心音同步实时采集、显示的智能听诊器。该听诊器以 FPGA 和 DSP 控制核心, 通过对不同功能模块的控制, 完成了对心电心音信号的采集传输。并且该听诊器具有成本低、功耗低、体积小、灵敏度高、可通过输出波形实时完成心音心电信号检测等优点。便于医生准确有效地判断患者的病情, 有较高的医学诊断实用价值。

关键词: 心电心音; 同步; 实时采集; FPGA

中图分类号: TP391 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9490(2021)01-0188-04

近年来, 心血管疾病成为影响人类健康的主要疾病之一, 随着社会的进步该病的发病率呈逐年上升的趋势, 控制其增长速度成为全球医务工作者的主要任务。心电图技术为心血管疾病诊断的基石, 心音听诊亦不能孤立进行。传统声学听诊器存在着低频响应差, 听诊灵敏度低, 对复杂心音症状响应不佳; 医生利用传统声学听诊器听诊, 需要拥有纯熟的听诊技能和丰富的临床阅历; 传统声学听诊器的听诊音不能保存、共享。目前, 国内市场上的电子听诊器仅能实现单纯的心音听诊, 没有同步显示回放心电信号的功能; 并且市场上的心电图仪大多为三导联或者六导联, 很少有十二导联心电图仪。如能将心音和心电图同步记录, 二者强强联合, 视听结合, 将能极大地提高医生的听诊准确率。因此需要研制一种可以同步监测记录心电心音的听诊器。

本文研制了一种心电心音同步实时采集、能长时间存储使用、体积小、灵敏度高、穿戴方便的多功能的心电心音同步智能听诊器[1]。从输出波形的

项目来源: 国家自然科学基金杰出青年基金项目(61525107); 青年科学基金项目(51705475)
收稿日期: 2020-04-20 **修改日期**: 2020-07-13

相互关系中,不仅能更好地诊断心音和杂音,而且能更好地反映心血管系统的血液动力学及电机械活动等改变,为了解受检者的心血管病理生理、心脏功能,提供更多的参数。

1　系统整体设计

本文在市场现有的心电图的基础上,设计了一套集成 5 个 MEMS 心音检测探头[2-3]与标准 12 导联心电图采集的同步采集测试仪[4]。系统整体框图如图 1。多导联心电心音同步监测仪是指实时同步记录 12 路心电信号和 5 路心音信号的心电心音监测设备。相比于以前的单导或者三导,多导联可选择的导联更多,计算机自动生成的模块也多,精确度也越高。心电心音监测仪有很大优势:记录心电图各波段清晰不失真,测量数据精度更高。

当听诊器前段采集到声音信号后,该声音信号经过模拟放大、滤波、AD 转换后传给 DSP 芯片。DSP 芯片在高速外部存储的协助下处理采集回来的数据,并最终将信息显示在屏幕上。

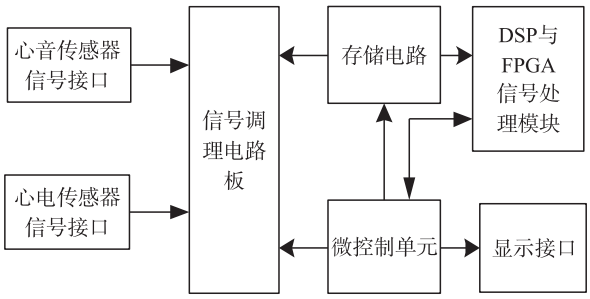

图 1　心电心音信号同步采集系统集成

2　硬件电路设计

2.1　心音采集模块

心脏瓣膜和大血管在血流冲击下形成振动,以及心脏内的血流的加速与减速形成的湍流与涡流及其对心脏瓣膜、心房、室壁的作用所产生的振动,再加上心肌在周期性的心电活动作用下其弹性的迅速增加和减小形成的振动,经过心胸传导系统到达体表形成了体表心音[5]。

心音采集模块采用 AD7091 芯片[6],AD7091 是一款 12 位逐次逼近型模数转换器,可在高吞吐率下实现超低功耗,该芯片内置一个宽带宽采样保持放大器,可处理 7 MHz 以上的输入频率。心音信号经过信号放大电路后进入 A/D 转换模块,A/D 转换模块电路原理图如图 2 所示。R_{15}、C_{51} 构成一阶滤波电路,能够限制噪声带宽,减少噪声干扰,提高心音信号采集精确性[7]。

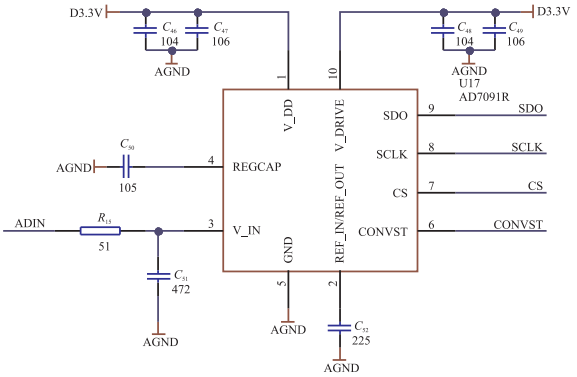

图 2　心音采集电路

2.2　心电采集模块

人的心脏每次收缩之前会产生电激励,形成微弱的电流,人体是一个良好的导体,心脏处于这个导体中,把测量电极放在合适的位置就可以显示出心脏电位变化曲线,也就是心电图。

心电采集模块采用的是 ADS1298 芯片[8]。ADS1298 芯片是 TI 公司设计的一种高精度多通道同步采样 24 位 Δ-Σ 模数转换器,内置可编程增益放大器。该芯片是专门用于生物电位测量的低功耗芯片。ADS1298 更大优势在于其便携性、经济性、紧凑性,便于小型化设计[9-10]。心电信号经过信号调理电路后进入 A/D 转换模块,A/D 转换模块电路原理图如图 3。

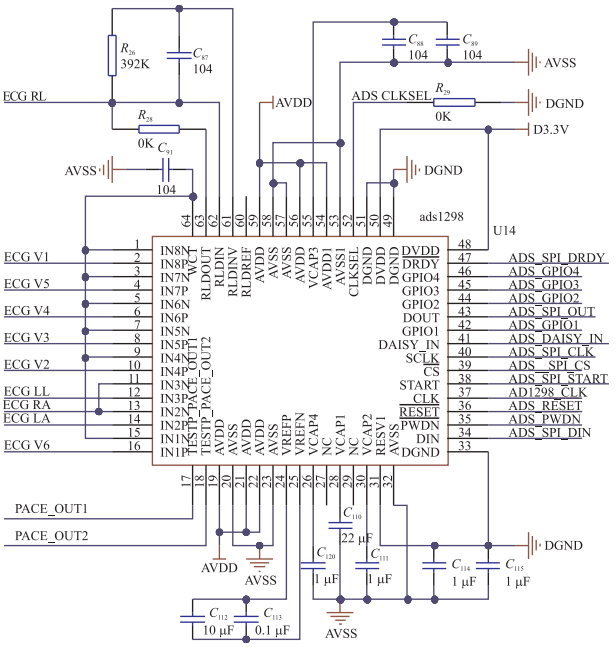

图 3　心电采集电路

2.3　USB 接口模块

本文采用 FT232 接口转换芯片,使用 USB 转串口输出数据,把 RS422/RS485 与 USB 两种协议取长补短,将他们的优点集于一身,实现了 RS422/RS485 和 USB 接口之间的可靠连接。另外,USB 接口支持

热插拔,接口方便连接,可以给 RS422/RS485 设备提供了非常容易使用的环境,而 RS422/RS485 弥补了 USB 口不能远距离传输的缺陷。

2.4 蓝牙发送接收模块

采用深圳新壹公司的 XY-MBD07C,该模块采用 CYW20707 芯片,支持 A2DP、HSP、SPP、HID 和 GATT/GAP 等蓝牙规范协议[11-12],可与蓝牙笔记本电脑、智能手机、蓝牙耳机、蓝牙音箱等完美通信,在连续发送模式下,设置的串口波特率最高可达 2 Mbit/s,传输距离可达 40 m。该蓝牙模块具有尺寸小、传输距离远、灵敏度高等优点。使用蓝牙设备听诊可以有效减少医生感染的风险。

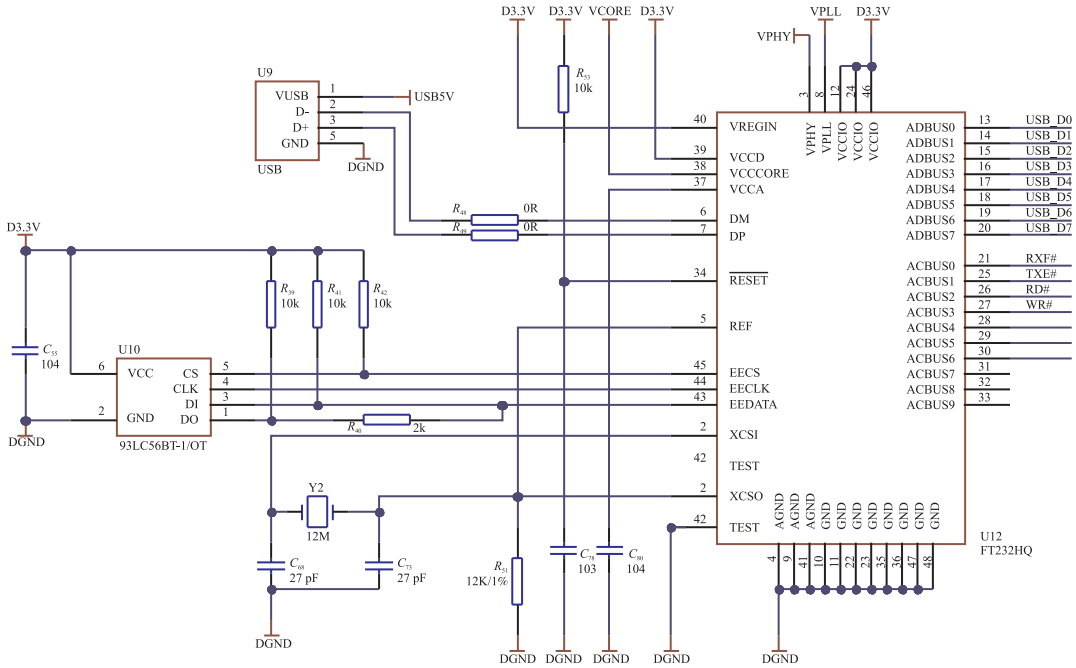

图 4 USB 接口电路

3 软件设计

心电心音同步接收及显示上位机软件,主要实现心电心音同步采集设备数据的接收和显示,具有实时同步显示心电心音信号的功能。液晶显示屏可以实时显示听诊波形,实现了心音信号的可视化。软件流程框图如图 5 所示。

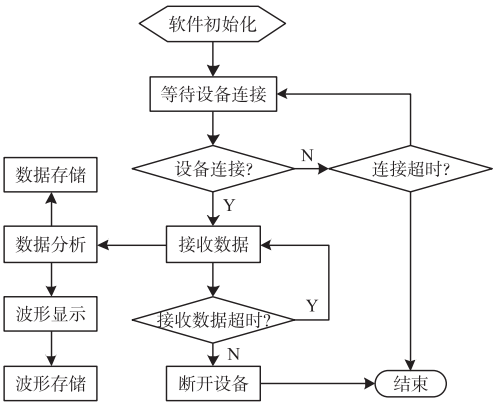

图 5 心电心音信号软件流程图

4 测试结果分析

使用终端设备对心电心音信号进行多次测量,上位机软件将收到的数据进行处理、分析并保存到数据库,最终得到心电心音波形如图 6 所示。

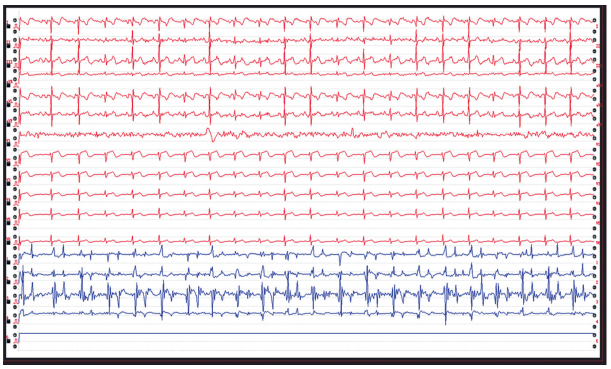

图 6 心电心音图

人体心电心音波形并不是单一频率的,而是可以分解成不同频率、不同比例的正弦波成分,也就是说心电心音信号含有丰富的高次谐波,故需要根据每个信号的强弱设置不同幅值,有利于提高诊断的精确性和系统稳定性。各个导联幅值如表 1 和表 2 所示。

表 1 心电幅值表

导联	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	aVR	aVL	aVF
幅值/mV	10	10	2	3	2	2
导联	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
幅值/mV	0.5	10	310	10	10	710

表 2　心音幅值表

导联	1	2	3	4	5
幅值/mV	50	10	10	8	70

经过临床试验测试,该设备通过心电标准十二导联采集到的心电信号清晰明显;通过 MEMS 心音检测探头采集到的心音信号清晰明显;可以实现十二导联心电信号和 5 路 MEMS 心音信号的同步采集,并在上位机软件上同步实时显示。该系统实现了设计目标,能够满足测试和实际应用需求。

5　结束语

本文主要介绍了一种新型的心电心音同步记录仪,相比于传统听诊器,该设备支持实时播放、收听、显示、存储和回放等功能,具有低成本、高精度、高信噪比、体积小、灵敏度高等优点,同时可以将信号存储起来,方便后续查阅。

参考文献:

[1]　郝祥飞.便携式数字听诊器系统设计与实现[D]. 厦门:集美大学,2018.

[2]　杨晟辉. 基于 MEMS 声传感器的电子听诊器设计[D]. 太原:中北大学,2018.

[3]　赵正平. MEMS 智能传感器技术的新进展[J]. 微纳电子技术,2019,56(2):85-100.

[4]　崔晓琳. 12 导联心电信号同步采集系统[D]. 北京:北京交通大学,2008.

[5]　谭江平. 心音信号采集和分析系统[D]. 重庆:重庆大学,2004.

[6]　罗晟,张昂. 基于 AD7091 的三线补偿式 12 位高速完全隔离式 RTD 温度测量系统设计[J]. 信息系统工程,2014(12):42.

[7]　洪盛楠,谭晓东. 基于 Arduino 的心音采集与回放系统设计[J]. 科技经济导刊,2019,27(15):32-33.

[8]　何超文,冯智毅. 基于 ADS1298 的便携式心电采集卡的设计[J]. 中国医疗设备,2019,34(10):49-52.

[9]　王子敬. 基于 ADS1298 的 12 导联动态心电监护仪的实现与心律失常智能诊断算法研究[D]. 沈阳:东北大学,2011.

[10]　阳广照. 基于 ADS1298 和 ARM7 的 12 导联无线 Holter 监护系统设计与实现[D]. 昆明:云南大学,2013.

[11]　苑尧尧,曹佃国,迟祥,等. 基于低功耗、双模蓝牙通信的心电监护系统设计[J]. 通信技术,2019,52(10):2573-2580.

[12]　李宏恩,石春花,郝文延. 蓝牙与安卓平台的无线电子听诊器系统设计[J]. 实验室研究与探索,2018,37(5):87-90.

芦夜召(1992—),男,汉族,河北石家庄人,在读研究生,研究方向为测试计量技术及仪器,953123616@qq.com;

张会新(1980—),男,汉族,黑龙江牡丹江人,副教授,研究方向为抗过载存储技术及动态测试技术与仪器,zhanghx@nuc.edu.cn。