

文章编号: 2095-4980(2022)01-0085-05

基于无线传输的心电心音监护系统设计

王 健^{1a,1b}, 赵凯明^{1a,1b}, 张会新^{1a,1b}, 郭 珈², 张利平³, 王 健^{1a,1b}

(1.中北大学 a.电子测试技术国家重点实验室; b.仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051;
2.91550 部队, 辽宁 大连 116018; 3.北京遥测技术研究所, 北京 100076)

摘 要: 针对现有心电心音监测仪覆盖性不足、时效性差等问题, 提出了一种基于无线传输的心电(ECG)心音(PCG)监护系统设计。本系统设计有 64 个监护节点, 各节点由传感模块、调理采集模块、存储模块、主控管理模块、通信模块、电源管理模块组成, 各节点可对 12 导联心电信号、HKY-06B 心音信号进行同步采集传输, 将信息汇总给监护中心并及时处理与反馈, 实现远程实时监护, 为心血管疾病的早期诊断提供参数依据; 适用于医院、社区、灾害救援现场如方舱医院等场所, 保证高可靠性的同时极大提高了医护人员的工作效率。

关键词: 无线传输; 12 导联心电信号; HKY-06B 心音信号; 远程实时监护

中图分类号: TP274

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2020401

Design of ECG and PCG monitoring system based on wireless transmission

WANG Jian^{1a,1b}, ZHAO Kaiming^{1a,1b}, ZHANG Huixin^{1a,1b}, GUO Jia², ZHANG Liping³, WANG Jian^{1a,1b}

(1a.State Key Laboratory of Electronic Testing Technology, 1b.Key Laboratory of Instrument Science and Dynamic Testing, North University of China, Taiyuan Shanxi 030051, China; 2.91550 Unit, Dalian Liaoning 116018, China; 3.Beijing Institute of Telemetry, Beijing 100076, China)

Abstract: Aiming at the problems of insufficient coverage and poor timeliness of existing Electrocardiograph(ECG) and Phonocardiogram(PCG) monitors, a wireless transmission-based ECG and heart sound monitoring system design is proposed. The system consists of 64 monitoring nodes. Each node is composed of a sensor module, a conditioning acquisition module, a storage module, a main control management module, a communication module, and a power management module. Each node can respond to 12-lead ECG signals and HKY-06B PCG signal that are collected and transmitted synchronously, and the information is collected to the monitoring center and fed back in time to realize remote real-time monitoring and provide parameter basis for early diagnosis of cardiovascular diseases. This system is suitable for hospitals, communities, disaster rescue sites such as shelter hospitals, which greatly improves the work efficiency of medical staff while ensuring high reliability.

Keywords: wireless transmission; 12-lead ECG signal; HKY-06B PCG signal; remote real-time monitoring

目前心电心音监测仪主要用于家庭监护、单个病患检测等情景, 覆盖性不足, 且时效性差。多种心血管疾病如冠脉阻塞、心肌梗塞等存在首次出现病症临床表现就导致人体猝死或失能的情况, 导致人类没有机会接受现有的针对性治疗就发生了死亡、心肌梗死导致的心力衰竭等严重事件。因此心血管疾病的早期诊断对于降低心血管病人发病率和死亡率至关重要。心音是由心脏搏动过程中各瓣膜的开闭以及心肌和血液运动所产生的震动形成的, 它含有关于心脏各个部分如心房、心室、大血管、心血管及各个瓣膜功能状态的大量信息。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, 如能将心音图和心电图同步记录且实时监测人体心电心音参数, 不仅能更好地诊断心音和杂音, 实现对心血管疾病的早期诊断; 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, 这将会使临床医师“耳聪目明”, 提高物理诊断水平和鉴别水平。随着心血管疾病的发病率逐年上升, 连续实时的心电心音远程监护需求日益增加^[1]。

收稿日期: 2020-08-15; 修回日期: 2020-09-13

1 系统总体设计

系统基于 Xilinx 的高性能 ZYNQ-7000 系列全可编程片上系统，采用合肥华科电子研究所的 HKY-06B 心音传感器和 12 导联心电图仪，采取节点化设计，覆盖 64 个相同结构的监护节点，这些节点可以根据实际需求放在要监测的范围，图 1 为系统组成结构示意图。每个节点由传感模块、调理采集模块、存储模块、主控管理模块、无线收发模块、电源管理模块组成。主控管理模块负责对调理采集模块收回来的数据进行分析处理，发出相应的控制指令。同时为了保证节点高效平稳地工作，设计了电源管理部分，图 2 为单个节点组成结构框图。

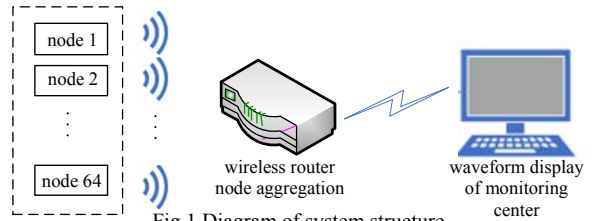


Fig.1 Diagram of system structure
图 1 系统组成结构示意图

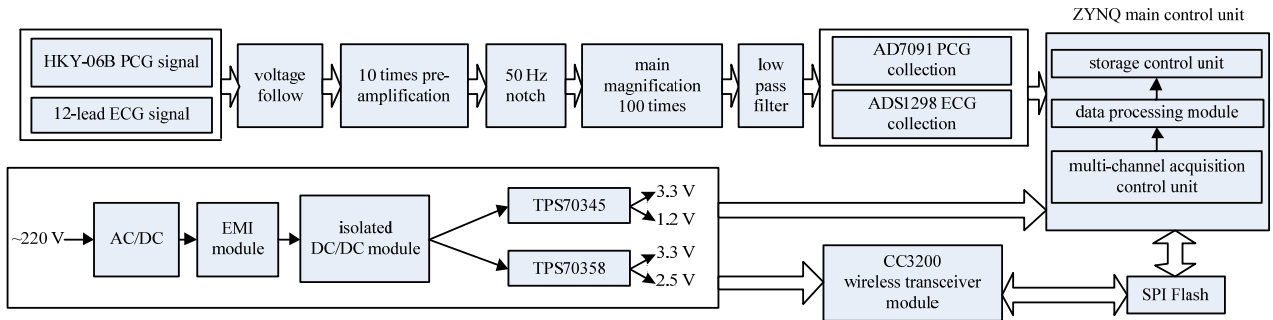


Fig.2 Structure diagram of a single node
图 2 单个节点组成结构框图

2 系统主要硬件设计

人体是一个与外界有密切联系的开放系统，加之身体内部存在着器官间的相互影响，所以无论是来自外部或者内部的刺激，都会使包括心电心音信号在内的人体电信号一直处于变化之中，维持着一种动态平衡^[2]。因此在对心电心音信号进行测量、分析和处理时，应当注意它是随时间变化的信号，按照信号特点来完成调理采集电路的设计。

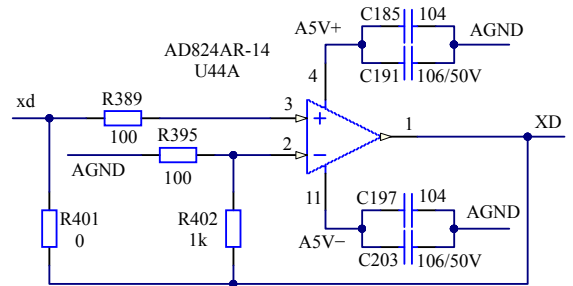


Fig.3 AD824 preamplifier circuit
图 3 AD824 前置放大电路

2.1 前置放大电路

图 3 为 AD824 前置放大电路，放大倍数约为 10。从人体体表提取的心电心音信号一般只有 $0.05\sim 5\text{ mV}$ ^[3]，因此心电电极和心音探头得到的信号要先经过前置放大电路。对输入阻抗、共模抑制比、噪声漂移、增益等多方面综合考虑后，本设计选用 ADI 公司的 AD824。AD824 的高共模抑制比能有效减少人体携带的工频干扰以及心电心音信号以外的生理信号的干扰；低噪声、低漂移特性防止输出饱和，提高低电压条件下的信号拾取能力；FET 输入和轨到轨(rail-to-rail)输出的组合使 AD824 能在低电压下进行高精度度设计，适用于医疗仪器。

2.2 心音采集电路

心音信号包含心脏各个部分本身及相互之间作用的生理和病理信息，心音的改变和杂音的出现往往是心脏产生器质性病变的早期症状，因此心音信号 AD 转换芯片的选择需慎之又慎。本设计中，采用 ADI 公司的 AD7091R，它可在 1 MSPS 的高吞吐速率下实现 $349\text{ }\mu\text{A}$ 的超低功耗，为每个监护节点能长时间平稳高效运行提供保障。本设计中，AD7091R 芯片采用 3.3 V 供电，其中 8 引脚为串行时钟输入，9 引脚为串行数据输出，转换输出数据以串行数据流^[4]的形式提供给 ZYNQ 的 PS 端的 BANK502 的 GPIO 接口。心音采集电路如图 4 所示。

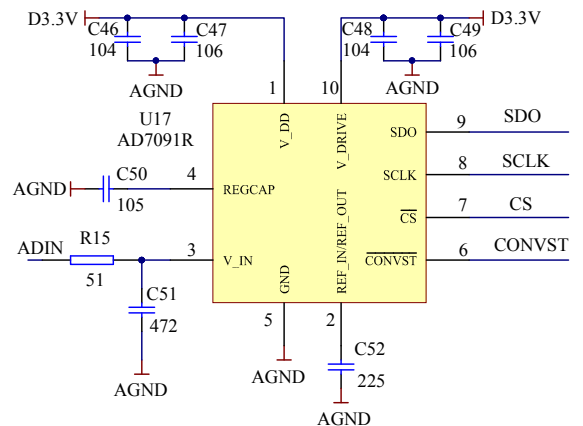


Fig.4 PCG collection circuit
图 4 心音采集电路

2.3 心电采集电路

人体心电信号的频谱范围主要集中在 0.05~100 Hz，50 Hz 的工频干扰是心电信号的主要干扰源，它通过人体和测量系统的输入导线的电容性耦合，以位移电流的形式引入，其强度足以覆盖有用的心电信号。为此设计了带阻滤波器(即陷波器)对 50 Hz 的工频干扰予以抑制。第四级为主放大，放大倍数为 100 倍，采用 TL084；第五级为低通滤波电路，所设计的截止频率为 100 Hz。心电信号 AD 转换芯片选用 TI 公司^[5]的专用于生理信号测量的超低功耗、8 通道、24 位高精型 ADS1298。

本设计中，对 63 引脚配置生成右腿驱动 (Right Leg Drive, RLD)输出信号，内置 3 个集成放大器生成了标准 12 导联 ECG 所需的威尔逊中心终端(Wilson Center Terminal, WCT)和戈德伯格中心终端(Goldberg Center Terminal, GCT)。心电采集电路如图 5 所示。

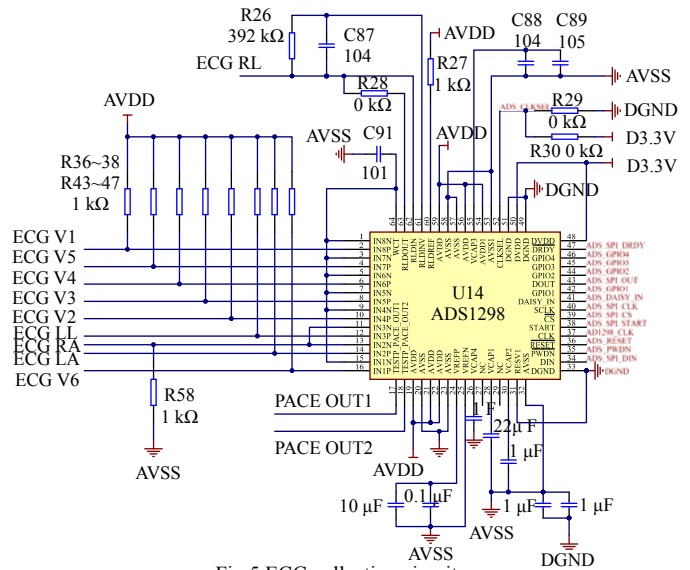


Fig.5 ECG collection circuit
图 5 心电采集电路

2.4 无线射频电路

综合考虑无线收发芯片的输出功率、时钟频率、接收灵敏度、低功耗设计、TCP 最大传输速率等技术参数后，本设计选用 CC3200。CC3200 的 31 管脚 RF_BG 为射频端口，负责指令与数据的收发。为抑制空间中其他频率电磁信号干扰，在无线射频电路 CC3200 的射频管脚处外接了带通滤波器 BF1608-E2R4DAA，确保每个监护节点能通过同轴馈电微带天线^[6]与无线路由器进行平稳高效的数据交互。无线射频电路如图 6 所示。

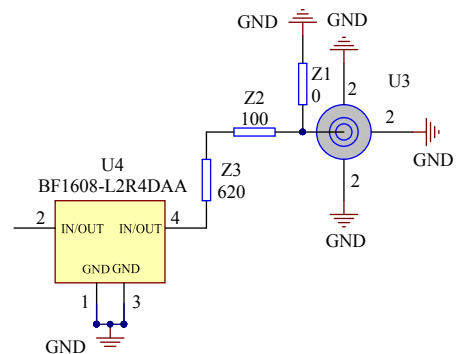


Fig.6 Radio frequency circuit
图 6 无线射频电路

3 系统主要软件设计

3.1 串口配置软件设计

CC3200 串口与 SPI FLASH 进行数据交互时，CC3200 需要串口中断完成数据存储。随后将数据打包形成一个数据包，通过 TCP/IP 通信协议进行数据交互。串口中断流程图如图 7 所示。

3.2 存储模块软件设计

在经无线射频电路发送之前，存储模块软件将 ADS1298 和 AD7091R 采编的心电心音信号帧从异步 FIFO 存储器一页一页地往闪存(flash)存储器中搬运^[7]，且当一页数据写完后要对下一页的命令字和地址重新写入。flash 的页缓冲区为 2 kB，页编程时间大约 220 μs，本设计中写入速度 8 MB/s，可以计算出将一页数据写入缓冲区的时间为 100 μs，而 flash 对一页缓存区的数据进行页编程^[8]的典型时间为 200 μs，可见写入数据的速度大于页编程的速度，确保了心电心音帧数据从缓存中读取后完整准确地写入 flash^[9]。

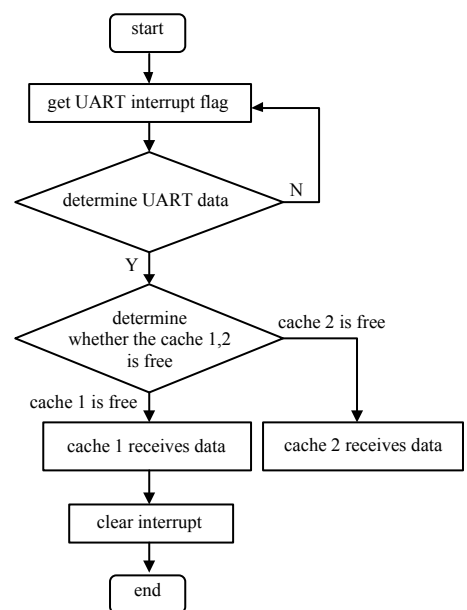


Fig.7 Flow chart of data interaction serial port interrupt
图 7 数据交互串口中断流程图

4 系统测试

为验证系统中每个监护节点对心电心音信号采集编码传输的实时性与准确性,用正弦信号模拟心电心音信号^[10],对第 1,7,13,19 个监护节点分别输入直流偏移为 0.5 mV,频率为 60 Hz,幅值为 1 mV 的正弦波,利用 MATLAB 软件对 TCP 数据包中的模拟数据进行提取,文件格式为 txt,再通过监护中心处的上位机软件对数据进行实时读取并作图显示。

图 8 为监护中心上位机心电心音信号^[11]的多节点实时汇总显示,图中白、黄、红、绿四种颜色的波形分别对应第 1,7,13,19 个监护节点信号拾取后的波形重绘,未出现丢帧、错帧和削波现象。分析模拟数据且对比标定值,可以判定本系统实现了对心电心音^[12]信号的多节点高精度度实时同步采样与汇总,实现了医护人员对病患心电心音参数的远程实时监护。

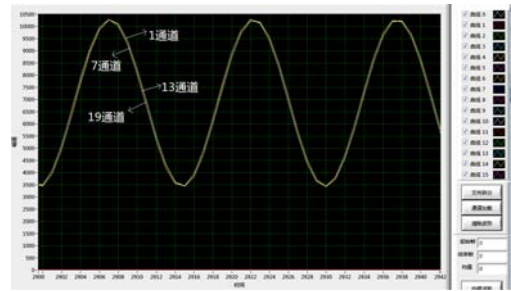


Fig.8 Real-time summary display of multi-node signal
图 8 多节点信号实时汇总显示

5 结论

本文提出了一种基于无线传输的心电心音监护系统设计,系统携有 64 个监护节点,每个节点都具有对心电心音信号采集^[13]与转发的双重功能,将人体心电心音参数通过无线射频模块汇总给监护中心,实现医护人员对病患心电心音生理参数的远程实时监测,为心血管疾病的早期诊断提供参数依据^[14]。本系统适用于医院、社区、灾害救援现场如方舱医院等场所,具有较高的实用价值。

参考文献:

- [1] 逢天洋,李永贵,牛英滔,等. 无线通信中周期性脉冲的干扰检测方法及其性能[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2019, 17(5):788-793. (PANG Tianyang, LI Yonggui, NIU Yingtao, et al. Interference detection method and performance of periodic pulse in wireless communication[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2019, 17(5):788-793.)
- [2] 成谢锋,戴世诚,赵鹏军. 基于心音信号的一种血压评估方法[J]. 物理学报, 2020, 69(14):277-286. (CHENG Xiefeng, DAI Shicheng, ZHAO Pengjun. A blood pressure assessment method based on heart sound signal[J]. Acta Physica Sinica, 2020, 69(14):277-286.)
- [3] 白建新,刘宇鹏,刘学,等. 基于柔性干电极的肌电信号无线采集系统设计[J]. 微纳电子技术, 2019, 56(7):556-563. (BAI Jianxin, LIU Yupeng, LIU Xue, et al. Design of a wireless acquisition system for myoelectric signals based on flexible dry electrodes[J]. Micro-Nanoelectronic Technology, 2019, 56(7):556-563.)
- [4] 黄彬,曾庆宁,龙超. 一种 Android 平台的便携心音心电实时采集系统[J]. 现代电子技术, 2016, 39(2):85-88. (HUANG Bin, ZENG Qingning, LONG Chao. A portable real-time heart sound ECG acquisition system based on Android platform[J]. Modern Electronic Technology, 2016, 39(2):85-88.)
- [5] 张翼,宾光宇,吴水才. 一种可穿戴式多参数心脏活动监测设备的设计[J]. 中国医疗设备, 2018, 33(3):18-21. (ZHANG Yi, BIN Guangyu, WU Shuicai. Design of a wearable multi-parameter cardiac activity monitoring device[J]. China Medical Equipment, 2018, 33(3):18-21.)
- [6] 成谢锋,单煦,余辰俊. 听诊位置对心音生物识别效果的影响[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2020, 40(2):13-19. (CHENG Xiefeng, SHAN Xu, SHE Chenjun. The effect of auscultation position on the effect of heart sound biometric recognition[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications(Natural Science Edition), 2020, 40(2):13-19.)
- [7] 曾文入,王维博,王彬蓉,等. 基于小波能量谱的先天或风湿性心脏病异常心音分类算法研究[J]. 航天医学与医学工程, 2020, 33(2):159-165. (ZENG Wenru, WANG Weibo, WANG Binrong, et al. Research on classification algorithm of abnormal heart sounds in congenital or rheumatic heart disease based on wavelet energy spectrum[J]. Aerospace Medicine and Medical Engineering, 2020, 33(2):159-165.)
- [8] 崔志斌,王卿明. 风电机组振动无线采集系统设计与应用[J]. 电力科学与工程, 2019, 35(6):44-50. (CUI Zhibin, WANG Qingming. Design and application of a wind turbine vibration wireless acquisition system[J]. Electric Power Science and Engineering, 2019, 35(6):44-50.)

- [9] 卢永建,张曦,吕其兵. 基于 WiFi 技术的焊接参数无线采集与传输系统[J]. 电焊机, 2019,49(7):51-56. (LU Yongjian, ZHANG Xi,LYU Qibing. Wireless acquisition and transmission system of welding parameters based on WiFi[J]. Electric Welding Machine, 2019,49(7):51-56.)
- [10] 成雨含,张友讯,孙科学. 基于 PCA 串并融合的多路心音特征表征方法[J]. 计算机与现代化, 2019(12):88-94,100. (CHENG Yuhan,ZHANG Youxun,SUN Keke. Multi-channel heart sound feature representation method based on PCA serial-parallel fusion[J]. Computer and Modernization, 2019(12):88-94,100.)
- [11] 李海霞,张国军,任勇峰. 基于 MEMS 电子听诊器的冠心病心音检测[J]. 微纳电子技术, 2020,57(8):657-664. (LI Haixia, ZHANG Guojun,REN Yongfeng. Coronary heart disease heart sound detection based on MEMS electronic stethoscope[J]. Micro-Nanoelectronic Technology, 2020,57(8):657-664.)
- [12] 张小兰,房玉,刘栋博,等. 肥心病心音时频杂波特征提取识别算法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2020,34(4):20-26. (ZHANG Xiaolan,FANG Yu,LIU Dongbo,et al. Research on the algorithm for extracting and recognizing the time-frequency clutter features of obese heart disease heart sound[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2020,34(4):20-26.)
- [13] 谭朝文,宗容,王威廉,等. 适于卷积神经网络的心音预处理算法[J]. 计算机仿真, 2019,36(12):214-218. (TAN Chaowen, ZONG Rong,WANG Weilian,et al. Heart sound preprocessing algorithm suitable for convolutional neural network[J]. Computer Simulation, 2019,36(12):214-218.)
- [14] 成雨含,张友讯,戴世诚. 四通道同步心音信号采集装置设计及特征识别[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2019,39(5):7-13. (CHENG Yuhan,ZHANG Youxun,DAI Shicheng. Design and feature recognition of four-channel synchronous heart sound signal acquisition device[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2019,39(5):7-13.)

作者简介:

王 健(1994-), 男, 硕士, 主要研究方向为仪器仪表工程.email:1249954328@qq.com.

张会新(1980-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为动态测试技术及仪器.

(上接第 57 页)

- [12] LI G,XU J,SHEN W, et al. LSTM-based frequency hopping sequence prediction[C]// 2020 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing(WCSP). Nanjing,China:IEEE, 2020:472-477.
- [13] SUN J,WANG J,DING G,et al. Long-term spectrum state prediction:an image inference perspective[C]// IEEE Access, 2018(6):43489-43498.

作者简介:

李 高(1997-), 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为无线通信、认知无线网络、频谱数据挖掘、频谱感知与预测等.email:lgscu_1@163.com.

王 威(1990-), 男, 研究员, 主要研究方向为空地一体化网络、电磁频谱安全和区块链等.

李 婕(1992-), 女, 副研究员, 主要研究方向为雷达通信一体化波形设计、阵列信号处理、认知雷达信号处理等.

况婷妍(1997-), 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为异常信号识别与检测、时频分析、深度学习等.

丁国如(1986-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为认知网络、机器学习和无人机通信.