

基于Arduino的无线心电信号采集系统设计与实现

梁伟玲¹, 吴超¹, 林建斌², 钟志龙¹

1. 惠州市中心人民医院医学工程部, 广东 惠州 516001; 2. 惠州市中心人民医院招标办公室, 广东 惠州 516001

【摘要】心电图是有效监测心血管疾病的无创监测方法。本文针对现有监测系统的不足,设计一套低成本、便携式、无线传输的心电信号采集系统。在开源硬件的微处理器上实时采集心电信号,并实现Pan&Tompkins检波算法对心电信号进行实时分析,将计算结果通过无线方式发给上位机。实验测试表明,该系统能有效地长时间监测受试者的心率,操作方便,成本低,在医院和家庭监测方面具有应用价值,同时,也为后续相关研究奠定了基础。

【关键词】心电图;信号采集系统;无线传输;心率

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2019)06-0715-06

Design and implementation of wireless ECG signal acquisition system based on Arduino

LIANG Weiling¹, WU Chao¹, LIN Jianbin², ZHONG Zhilong¹

1. Department of Medical Engineering, Central People's Hospital of Huizhou City, Huizhou 516001, China; 2. Bidding Office, Central People's Hospital of Huizhou City, Huizhou 516001, China

Abstract: Electrocardiography is a noninvasive monitoring method for effectively monitoring cardiovascular diseases. Herein a set of low-cost and portable electrocardiogram (ECG) signal acquisition system of wireless transmission is designed to overcome the shortcomings of the existing monitoring system. Real-time ECG signals are collected on open source hardware microprocessors, and Pan & Tompkins detection algorithm is used to conduct real-time analysis of ECG signals. The obtained results are sent to the host computer *via* wireless transmission. The experimental tests show that the proposed system can effectively monitor the heart rate of subjects over a long period of time, with the advantages of easy operation and lower cost. The proposed system not only has application values in hospital and home monitoring, but also lays a foundation for further research.

Keywords: electrocardiogram; signal acquisition system; wireless transmission; heart rate

前言

据统计,心血管病死亡人数占居民疾病死亡人数40%以上,居于所有疾病首位,足见其风险性之高。根据《中国心血管病报告2017》估算结果显示,现在国内心血管病患者人数高达2.9亿,今后10年心血管病患者人数仍将快速增长^[1]。心电图(Electrocardiogram, ECG)通过电极片记录心肌细胞生物电位的变化,是医生对患者进行心血管疾病诊断(如心肌梗塞、心率异常等)的重要依据。由于心血管疾病本身具有隐蔽性强,不易察觉的特点,因此

早期的ECG监测对于筛查、预防、早期干预心血管疾病有着十分重要的意义^[2]。心电监测因其具有无创、快速、直接等优点而成为医院检查的首选^[3]。

现阶段的心电监测方法可以分为两大类:①医院重症科室广泛使用的心电监护仪,通过心电导线连接病人,实时采集受试者的心电信号,并实时分析,异常报警。②动态心电图,亦称为Holter,一般连续监测1~7d,监测过程中,将采集的数据实时写入设备的存储芯片或存储卡,监测结束后,将数据导入到电脑端,再进行分析。第一类设备的优点很明显,能有效检查患者的心电、血氧饱和度、血压等多项参数,并且诊断结果准确,可信度高,但是整机设备体积大、价格昂贵,显然不适合广泛使用,另外,导线与设备的有线连接,令受试者束缚感明显,设备不够便携^[4-6]。第二类设备通过长时间的监测,一般可以记录多达10万多次的心电信号,这样可以大大提高对

【收稿日期】2019-01-15

【作者简介】梁伟玲,工程师,研究方向:医疗器械安装、维修、管理和质控, E-mail: 312052868@qq.com

【通信作者】林建斌,高级工程师,研究方向:医疗器械管理和采购, E-mail: 229772764@qq.com

非持续性心律失常的检出率,如间歇性房颤或短暂的心肌缺血发作^[7],这类设备的不足:数据分析不是实时的,如果在监测过程中遇到致命性心律失常发生,如心脏骤停或室颤,不能及时给出报警^[8]。

针对上述不足,本文提出一种低成本、实时数据传输的无线心电信号采集系统,方便后续深入开展研究相关无线物联网技术下的在线Holter技术。

1 系统总体设计

本系统分为上位机和下位机两部分。上位机可以是一台普通的电脑或者树莓派等主机,配置相应的软件程序和无线通信模块。下位机采用开源硬件平台 Arduino Nano 作为主控模块,另外,还包括心电采集模块和无线通信模块,如图1所示。

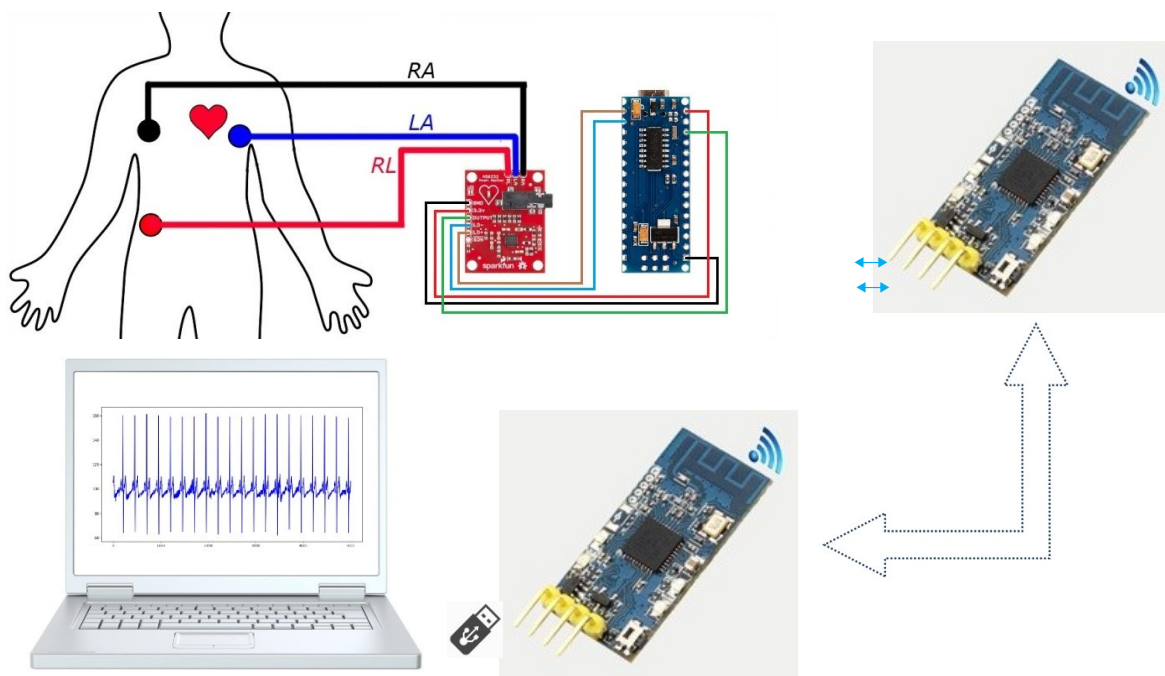


图1 心电信号采集系统架构

Fig.1 Architecture of electrocardiogram (ECG) acquisition system

虚线图表示无线双工传输方式

2 主要模块设计

2.1 心电检测模块设计

心电信号采集模块采用ADI公司的低功耗、单导联心率监护仪模拟前端AD8232^[9]。该芯片内部集成了仪表放大器、增益放大器、右腿驱动电路、休眠电路、基准电压缓冲,内置高灵敏度导联脱落检测和自动快速恢复电路,极大地方便开发应用(低成本、低功耗、小尺寸等优势被广泛应用在便携式健身设备、远程医疗监护终端、汽车、手表、手机等多种电子设备上)^[10-11]。根据数据手册提供的参考电路,设计了心电监测模块电路(图2),前端心电导联线将电极片拾取的微弱生理信号,通过模拟前端AD8232进行调理,输入到二阶低通滤波器^[12]。实验中发现,采用了带屏蔽层的心电导联线,能有效的减小干扰,降低信号的毛刺。

本设计中采用 Arduino Nano 作为系统的主处理器模块, Arduino Nano 是一款小巧、全面、基于

ATmega328 单片机的开源硬件平台^[13]。二阶低通滤波器的输出端接入到 Arduino Nano 的模数转换端口,通过单片机内部的模数转换,实现模拟信号到数字信号的转变。同时, Arduino Nano 还负责将采集到的信号和计算结果发送到无线传输模块。

由于心电信号中有用成分的频率范围是 0.05~100 Hz,根据奈奎斯特采样定理,采样频率必须大于原始信号最高频率的2倍以上,采样之后的数字信号才能完整地保留原始信号信息,本设计采用 250 Hz 采样率^[14]。

2.2 波形检测算法设计

在波形检测算法方面,本设计采用文献[15]提出的 R 波检测算法,该方法是基于 Pan&Tompkins 的 R 波检测算法的延伸。Pan&Tompkins 算法是 Pan 和 Tompkins^[16]提出的一种至今仍广泛使用的 R 波检测方法,它通过对心电信号进行带通、差分、平方来消

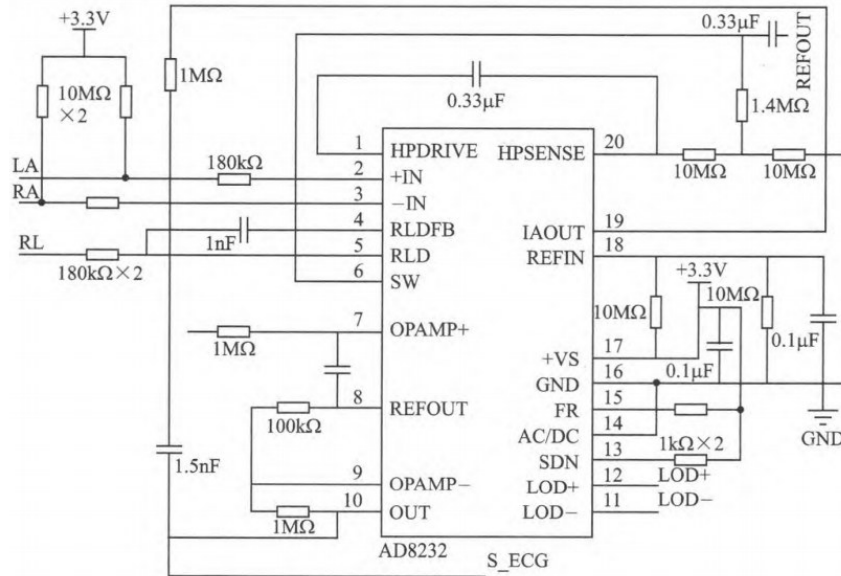


图2 心电监测模块电路原理图

Fig.2 Schematic diagram of ECG monitoring module

弱P、T波成份和噪声、突出QRS波群成份,然后设置阈值检测大于阈值的波峰^[17]。文献[15]中将Pan&Tompkins输出平方项进行了滑动窗口求和,这样做的好处是QRS波群的特征进一步得到凸显。此

算法的基本信号流程如图3所示^[15],采集到的信号先输入一个带通滤波器(包含有低通滤波、高通滤波)、再经过微分、平方、滑窗积分,以及后续的阈值更新决策机制等过程。



图3 心电信号经过带通滤波的流程图

Fig.3 Flow diagram of ECG signals after bandpass filtering

在算法验证阶段,笔者在Matlab上先对该算法进行验证,各个环节的波形如图4所示。从图4可以看出,该波形的QRS波特征得到了较好的凸显。

2.3 通信协议设计

ZigBee协议栈使用TI公司的Z-Stack协议栈^[18]。基于CC2530的ZigBee模块内部已经集成了相关的协议^[19]。通过生产厂商提供的资料,当ZigBee采用点对点方式传输数据时,数据包格式如表1所示。

表1为一帧完整的数据包,共长58字节(byte)。其中,发送端口1字节,接收端口为1字节,目标地址为16位二进制,对应2字节,数据块为50字节,校验和1字节,故数据长度为55字节,对应十六进制为0x37。值得一提的是:校验码仅对数据块的50字节进行奇校验,校验结果保存在校验码的低七位,有效的避免与包头包尾信息冲突。为了测试系统丢包率,笔者使用两个ZigBee模块搭建了一个简单的测试平台。一个模块连接Arduino的串行接口,将数据块的数据填充为0x55,配置波特率为115 200 bps,配

置定时器200 ms,定时器中断子函数中将数据包发送一次;另一个模块通过USB转串口线接入电脑,打串口调试助手进行计数。测试平台,持续测试3个多小时,系统运行稳定,无数据包丢失现象。

2.4 上位机软件设计

为了使上位机软件能在不同的操作系统平台应用,笔者选择了Python作为上位机编程语言,结合Pyserial(串口通信)和PyQt4(Python图形界面开发工具包)两个模块,实现数据读取、解包和图形界面程序心电波形的显示^[20]。上位机程序设计采用了QT内部多线程技术^[21],一个线程负责通过Pyserial实时读取无线模块接收的数据(模块接收后存入串口缓冲区),进行解包;一个线程负责将解包的数据进行处理和波形绘制。上位机界面如图5所示。

3 结果

首先在Protel 99se软件上完成了下位机端的PCB设计,并将各个模块焊接调试好。然后,将心电

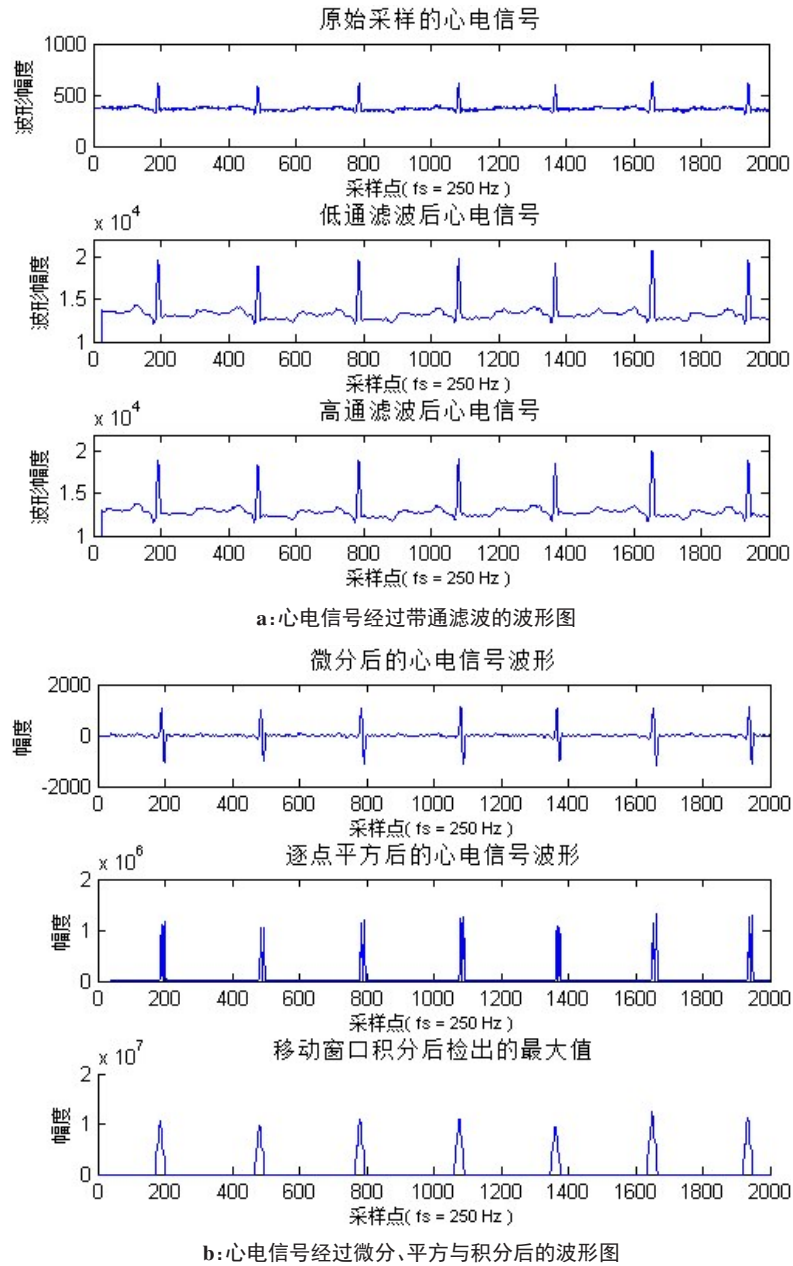


图4 心电信号波形图

Fig.4 ECG waveforms

表1 点对点模式串口数据包格式

Tab.1 Packet format of point-to-point serial port

包头	数据长度	发送端口	接收端口	16位目标地址		数据块	校验和	包尾
FE	37	80	82	地址低位	地址高位	50字节	ChkSum	FF

导联线连接心电模拟盒,实时采集模拟器的心电信号,将结果通过 ZigBee 模块发给电脑,然后在电脑端将整个趋势描点出来。系统测试图如图6所示。

为了验证心电算法的准确性,先将心电模拟盒设为固定的心率值,单位:次/min,然后在该心率值的对应点上测量3组数据,每组测量5次数据,每次

数据之间间隔时间 2 min,取其平均值作为每组测试数据的心率平均值,相对误差=(设定值-均值)/设定值 $\times 100\%$,依次完成 60、80 和 120 bpm 的测试,测试结果记录在表2中。从表2测试的45个点数据来看,误差均小于1%,且均值与模拟盒的值相差不大于1 bpm。

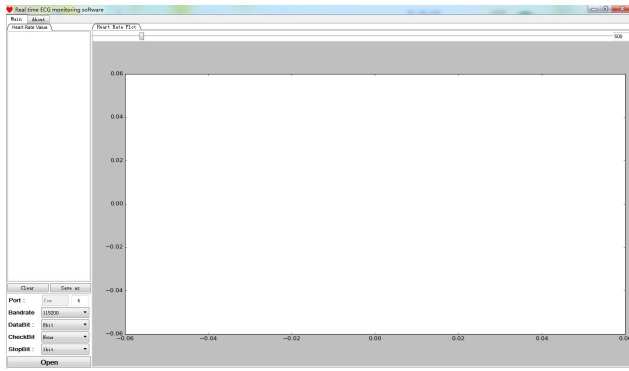
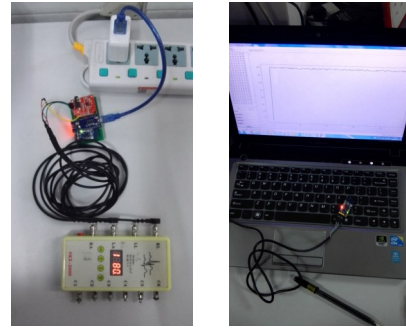


图5 上位机界面截图

Fig.5 Screenshot of upper computer interface



a: 下位机图

b: 上位机图

图6 系统测试图

Fig.6 System test

表2 对比心率测试结果

Tab.2 Comparison of heart rate test results

组数	模拟盒/次·min ⁻¹	测量1/次·min ⁻¹	测量2/次·min ⁻¹	测量3/次·min ⁻¹	测量4/次·min ⁻¹	测量5/次·min ⁻¹	均值/次·min ⁻¹	相对误差/%
1	60	59	60	60	60	59	59.6	0.67
2	60	60	60	60	59	59	59.6	0.67
3	60	60	60	59	60	59	59.6	0.67
4	80	80	80	80	80	79	79.8	0.25
5	80	80	80	80	79	79	79.6	0.50
6	80	80	79	80	79	80	79.6	0.50
7	120	120	119	120	119	119	119.4	0.50
8	120	119	120	120	120	120	119.8	0.17
9	120	120	120	119	120	119	119.6	0.33

4 结论

本文搭建了一套基于 Arduino Nano 和 AD8232 的心电信号采集系统,采用 ZigBee 无线通信方式传输数据,采用实时心电处理算法对心电信号进行预处理和分析,通过参比心电模拟器的方式验证了系统的准确性。由于时间关系,未能将心电算法中的 EC57 标准中规定的数据库对整个 QRS 波检测算法进行评测。希望以后有机会能在这方面进行一些深入研究。本设计提出的无线心电信号采集系统,为后续开展心电信号处理研究和心律失常分析等奠定了一定的研究基础。

【参考文献】

[1] 陈伟伟.《中国心血管病报告2017》概要[J]. 中国循环杂志, 2018, 33(1): 1-8.
CHEN W W. China cardiovascular diseases report 2017: a summary [J]. Chinese Circulation Journal, 2018, 33(1): 1-8.

[2] 赵治栋, 杨雷, 陈甸甸. 基于 FFT-Matching Pursuit 的心电身份识别算法研究[J]. 传感技术学报, 2013, 26(3): 307-314.
ZHAO Z D, YANG L, CHEN D D. Research of ECG identification

based on FFT-Matching Pursuit algorithm [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2013, 26(3): 307-314.

[3] 石波, 张莉, 曹阳, 等. 院前急救全程心电监测的概念及实现[J]. 中国医疗器械杂志, 2017, 41(5): 349-352.
SHI B, ZHANG L, CAO Y, et al. Concept and implementation of ECG monitoring for whole-course of pre-hospital emergency [J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2017, 41(5): 349-352.

[4] 轩运动, 赵湛, 方震, 等. 基于无线体域网技术的老人健康监护系统的设计[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(z2): 355-359.
XUAN Y D, ZHAO Z, FANG Z, et al. A wireless body sensor network for the elderly health monitoring [J]. Journal of Computer Research and Development, 2011, 48(z2): 355-359.

[5] 何潇一, 叶卫华, 王嵘, 等. 心血管疾病远程监测设备的应用现状及展望[J]. 中国医疗设备, 2018, 33(3): 115-117.
HE X Y, YE W H, WANG R, et al. Application status and prospect on the remote monitoring of cardiovascular diseases [J]. China Medical Devices, 2018, 33(3): 115-117.

[6] 陈海军, 陈婷. 一种基于移动网络的心电监测报警系统的设计[J]. 中国医疗设备, 2016, 31(8): 96-98.
CHEN H J, CHEN T. Design of an electrocardiograph monitoring and alarming system based on mobile network [J]. China Medical Devices, 2016, 31(8): 96-98.

[7] 韩方. 动态心电图对监测室性心动过速分析及临床意义[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2017, 12(7): 643-645.
HAN F. Characteristics and clinical significance of ventricular

- tachycardia: analysis of 1 920 cases[J]. China Journal of Emergency Resuscitation and Disaster Medicine, 2017, 12(7): 643-645.
- [8] 石涛, 吴水才, 李艳峥, 等. 基于嵌入式Web服务器的心电远程监护系统[J]. 北京生物医学工程, 2014, 33(1): 66-71.
SHI T, WU S C, LI Y Z, et al. An ECG tele-monitoring system based on embedded Web server[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2014, 33(1): 66-71.
- [9] AD8232 datasheet-analog devices[EB/OL]. [2017-02-06]. <http://www.mouser.cn/ds/2/609/AD8232-877697.pdf>.
- [10] 卢潭城, 刘鹏, 高翔, 等. 基于AD8232芯片的便携式心电监护仪设计[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(3): 113-117.
LU T C, LIU P, GAO X, et al. Design of portable ECG monitor based on AD8232 chip[J]. Experimental Technology and Management, 2015, 32(3): 113-117.
- [11] 吴敏, 谢云, 鄢洋. 便携式心电监测系统的硬件设计与实现[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(2): 210-213.
WU M, XIE Y, WU Y. Hardware design and implementation of portable electrocardiogram monitoring system[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(2): 210-213.
- [12] 陈妮, 黄代政, 张国栋. 人体生理参数测量系统低功耗设计与实现[J]. 传感器与微系统, 2017, 36(3): 80-83.
CHEN N, HUANG D Z, ZHANG G D. Low power consumption design and realization of human physiological parameters measurement system [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2017, 36(3): 80-83.
- [13] 赵杨, 查启秋, 宋少帅, 等. 基于Arduino的ECG心电信号采集系统设计[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2017, 39(4): 554-558.
ZHAO Y, ZHA Q Q, SONG S S, et al. The design of ECG signal acquisition system based on the Arduino [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2017, 39(4): 554-558.
- [14] 金林鹏, 董军. 面向临床心电图分析的深度学习算法[J]. 中国科学(信息科学), 2015, 45(3): 398-416.
JIN L P, DONG J. Deep learning research on clinical electrocardiogram analysis [J]. Science in China (Information Sciences), 2015, 45(3): 398-416.
- [15] CHEN H C, CHEN S W. A moving average based filtering system with its application to real-time QRS detection [C]. 2003 Annual Conference on Computers in Cardiology, 2003: 585-588.
- [16] PAN J, TOMPKINS W J. A real-time QRS detection algorithm[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 1985, 32(3): 230-236.
- [17] 叶继伦, 孙纪光, 吴跃胜, 等. 一种新型、快速心电P波检测算法[J]. 中国医疗器械杂志, 2017, 41(1): 13-16.
YE J L, SUN J G, WU Y S, et al. A novel and fast P wave detection algorithm in ECG signals [J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2017, 41(1): 13-16.
- [18] 吴超, 江贵平. 基于ZigBee的便携式睡眠监测仪设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(2): 478-483.
WU C, JIANG G P. Design and implementation of portable sleep monitoring instrument based on ZigBee[J]. Computer Engineering and Design, 2014, 35(2): 478-483.
- [19] 王国静, 王卫东, 余雷. 基于AD8232和CC2530的无线心电监护仪的设计和实现[J]. 中国医疗器械杂志, 2018, 42(1): 18-21.
WANG G J, WANG W D, YU L. Design and implementation of the wireless ECG monitor based on AD8232 and CC2530[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2018, 42(1): 18-21.
- [20] 陈笑飞, 李滔. 基于Python的虚拟仪器技术研究及实现[J]. 电子设计工程, 2012, 20(16): 48-50.
CHEN X F, LI T. Development and research of virtual instrument based on Python [J]. Electronic Design Engineering, 2012, 20(16): 48-50.
- [21] SUMMERFIELD M. Rapid GUI Programming with python and Qt [M]. New Jersey: Prentice Hall Inc, 2007: 552-576.

(编辑:薛泽玲)