

# 基于 LabVIEW 的心电信号检测平台的设计

曼世超, 卢会国, 卢勇

(成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**心电信号能直观、高效反映人体心脏健康状况,关注人体心电信号的动态变化对帮助预防、治疗各种心脏突发疾病具有重要意义。该设计基于 LabVIEW 设计一个人体心电信号检测平台,对接收的数字信号进行相应的信号处理最终得到人体心电信号波形,平台还具有数据存储及波形回放功能,并可通过扫描相应二维码实现移动端访问等功能。经测试,平台基本能够实现对人体心电信号状况的实时监控显示,方便人们随时关注自身心脏健康状况。

**关键词:**信号与信息处理;虚拟仪器设计;心电信号;数据存储;实时监控;二维码

**中图分类号:**TP274

**文献标志码:**A

## 0 引言

近些年来日益突发的心血管疾病正在严重影响着人们的健康,成为威胁人类生命健康的一大凶手。人体的心电信号不仅能够很好地反映人体心脏健康状况,同时还是医疗中用于诊断心脏病最直接有效的手段,也是诊断和治疗各类心血管疾病的重要依据<sup>[1-4]</sup>。实时监控人体心脏健康状况将为预防、发现、治疗各种心血管疾病提供便利。然而由于医疗仪器价格昂贵、去医院检查不方便等原因,很难及时了解自身心脏健康状况。

LabVIEW 是由美国国家仪器公司(NI)推出的高效图形化虚拟仪器开发平台,是一种图形化的编程语言(G语言),相比其他编程语言来说具有直观简便、快速、易于开发和便于维护等明显优势<sup>[5]</sup>。LabVIEW 软件集成了与使用 GPIB、VXI、RS-232 和 RS-485 等协议的硬件及数据采集卡通信的全部功能,通过这些功能可以轻松实现 LabVIEW 与各种设备单通信任务,大大简化设计的复杂性,提高了效率<sup>[6]</sup>。

为此,设计一款使用方便快捷、能够实时监控心电信号的检测平台,平台可以与其他心电信号采集设备进行通信并对心电信号进行显示,一旦心脏出现异常,系统就可以及时发出报警提醒病人就医确诊。

## 1 串口通信的实现

平台基于 LabVIEW 的虚拟仪器软件结构——VISA(virtual instrument software architecture)函数与单片

机等使用 RS232 协议的设备进行串口通信。需要注意的是,在使用 VISA 函数与单片机进行通信之前,PC 端需要安装相应的 VISA 驱动程序,否则无法正常使用该功能。

在 LabVIEW 程序框图中使用“VISA 读取 VI”、“VISA 写入 VI”“VISA 设置 VI”即可实现串口的读写通信任务。单片机串口在与 LabVIEW 进行通信时,单片机和 LabVIEW 的 VISA 函数串口的参数(波特率、数据位、校验位、数据流等)设置均需保持一致,否则将导致通信失败。

LabVIEW 实现与单片机串口通信的程序框图见图 1。

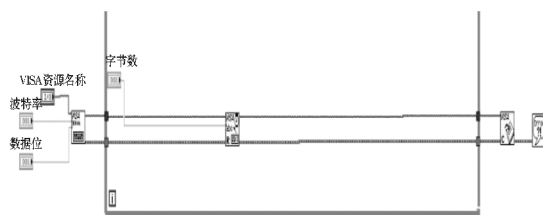


图1 串口通信的实现

在程序框图中,主要包括 VISA 资源名称、波特率、数据位和读取字节数的设置,参数设置完毕后通过 VISA 读函数可以接收数据,该函数的“读取缓冲区”可以作为信号的输出端。在完成通信后,需要调用 VISA 关闭函数,释放串口资源。其中 VISA 资源名称读取电脑串口号,设计中波特率设置为 9600 Baud,数据位为 8 位,字节数可根据需求灵活设置。

## 2 心电信号处理实现

心电信号本身微弱且易受到肌体和外界的干

扰<sup>[7]</sup>。为进一步提取心电信号特征参数,对心率做出初步计算,必须对原始心电信号进行处理得到能满足进一步分析要求的信号。在对原始心电信号处理前,首先要知道心电信号中的干扰种类,以便逐个解决。

2.1 信号滤波处理及频谱测量设计

在采集到的原始心电信号中,还包含着各种干扰,其中主要的干扰有引线干扰、电极分离或接触噪声、电极或肢体运动过程中引入的伪影、肌电噪声和基准漂移等<sup>[8]</sup>。其中,电源线干扰和基准漂移对心电信号的干扰影响最大,因此对心电信号的处理主要是要减弱这两类干扰对心电信号带来的影响。电源线干扰通常是以 50 Hz (或 60 Hz) 为中心的窄带噪声 (工频干扰),其带宽小于 1 Hz,一般用陷波滤波器或带阻滤波器加以改善。基准漂移通常由人体呼吸产生,频率在 0.15 ~ 0.3 Hz,可以通过一系列滤波器减弱甚至消除基线漂移带来的影响<sup>[9]</sup>。设计采用滤波器法消除基线漂移。

首先通过带通滤波器得到 0.05 ~ 100 Hz 心电信号,带通滤波器可以将截取到心电信号主要部分,同时可以抑制较低频和高频干扰。通过设计一个中心频率为 50 Hz 的带阻滤波器可以抑制工频干扰,其低频截止频率和高频截止频率设置为 49.5 Hz 和 50.5 Hz。由于心电信号连续不断变换,因此以上滤波器均是采用无限长冲击响应滤波器 (IIR 滤波器),采用三阶巴特沃斯滤波器<sup>[10]</sup>。滤波器设计程序框图见图 2。

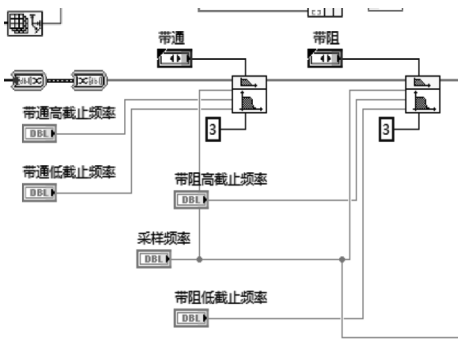


图 2 数字滤波器设计

在数字滤波得到正常频率范围心电信号后,还需要解决信号的基线漂移问题。为进一步消除基线漂移,设计采用高通滤波器实现。设计使用 LabVIEW 中的 Classical Filter Design Express VI 设计加 Kaiser 窗 FIR 高通滤波器实现基线漂移的消除<sup>[10]</sup>。消除基准漂移高通滤波器设计见图 3。

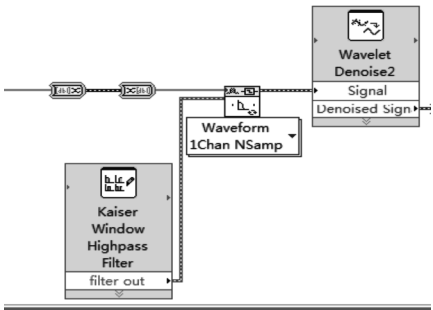


图 3 消除基准漂移高通滤波器设计

在消除基线漂移后,得到较为清晰的波形,但还有部分宽带噪声存在,为减小宽带噪声对处理效果的影响,设计使用 LabVIEW 高级信号处理工具箱 (ASPT) 中的 Wavelet Denoise Express VI 设计实现对宽带噪声的弱化。该 VI 首先通过小波变换将心电信号进行分解,然后利用阈值收缩功能调整小波系数,最后重建除去噪声的心电信号。最后,需要通过一个平滑滤波器对处理后的信号进行进一步的平滑处理。平滑滤波器采用 3 阶移动平均滤波,加矩形窗。消除宽带噪声及平滑处理程序框图见图 4。

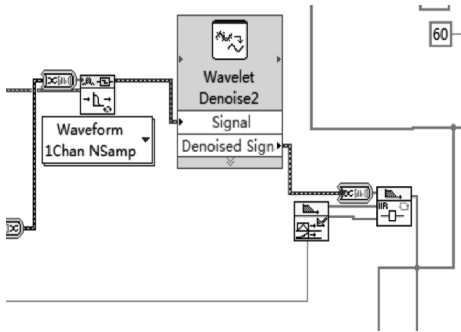


图 4 宽带噪声的消除和平滑滤波实现

在对信号处理完成后,通过对信号进行频谱测量可更进一步直观了解心电信号特点。测量心电信号频谱的程序框图见图 5。

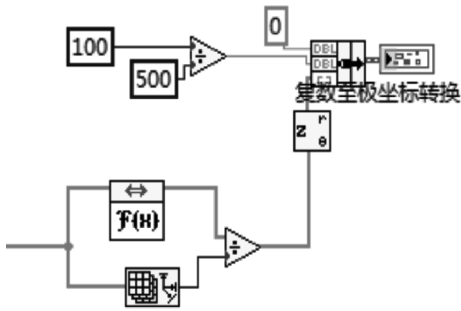


图 5 信号频谱的测量

得到符合条件的心电信号后,需要继续根据心电信号的特征参数计算心率,做出最基本的心脏健康状况判断。

## 2.2 心率计算

对心电图正确分析的前提是能够正确检测到 QRS 波群尤其是 R 波, 确定 R 波的位置就能算出 RR 间期, 根据 RR 间期则可计算心率并据此大致判断是否心率正常。一般是提取 QRS 波群参数如 RR 间期计算心率, 心率计算公式为

$$\text{心率(次/min)} = \frac{60\text{S}}{\text{PP 间期或 RR 间期}} \quad (1)$$

设计对心率的计算采用另一种思路:设计不直接通过计算 RR 间期计算心率,根据 NI 帮助手册, Tone Measurements VI 可以根据输入信号,查找幅值最高的单频,或在指定频域内搜索,返回单频的频率、幅值和相位,输入信号可以是实数或复数、单个通道或多通道<sup>[11]</sup>。通过调用 LabVIEW 中提供的 Tone Measurements VI 测得最大波峰(设计为 R 波)的频率,该 VI 可以找出输入信号中幅值最高的频率成分  $f_c$ 。最大波峰即为 R 波,RR 间期即 R 波的周期,R 波的周期可由公式  $T = \frac{1}{f_c}$  计算 RR 间期的正常范围在 0.6 ~ 1 S,所以利用 Tone Measurements VI 检测单频在 1.4 Hz 处,上下浮动范围在 25 % 的频率范围,通过最终变换后的心率计算公式得到被测者的在一段时间内的心率,由于测得的频率在更新时需要一定时间,故测得的心率值准确度不高。最终的心率计算公式为

$$\text{心率} = 60 \times f_c \quad (2)$$

式中:  $f_c$  表示测得的 R 波最大频率。

正常心率范围在 60 ~ 100 次/min, 当心率小于 60 次/min 时为心动过缓, 大于 100 次/min 时为心动过速, 两者均为心律异常, 需要发出警报。通过程序设计可实现当心率异常时发出报警。

心率测量及异常提醒程序框图见图6。

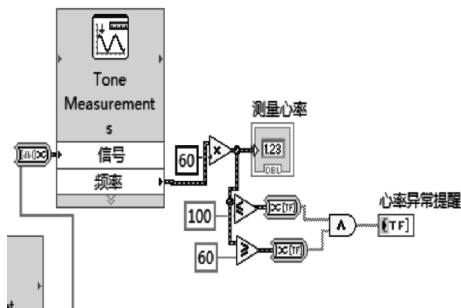


图6 心率测量及异常提醒程序框图

### 2.3 数据存储与波形回放实现

为方便用户对历史测量数据进行查询,设计添加了数据存储和波形回放功能,使检测平台更加人性化。

LabVIEW 的“文件 I/O”VI 为用户提供括读/写文本、电子表格文件、二进制文件等函数。用户可通过函数实现数据的保存和读取。设计通过文件对话框、打开(或创建、替换)等函数实现数据保存和读取功能。

利用该 VI 可设计文件保存功能,为提高系统的完善性,在设计过程中特加入实时文件写入时间的显示功能,该功能可实时显示当前数据的写入时间。文件保存和读取系统写入时间程序框图见图 7。

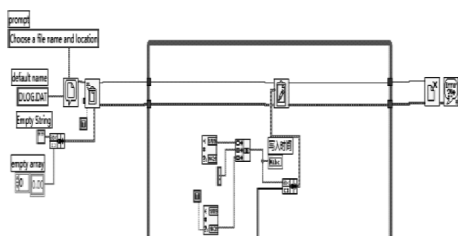


图7 文件保存程序框图

该程序运行后,系统提示选择文件保存路径,并生成后缀为.DAT的二进制文件。读取文件后,为了保证回放显示效果,仍需对其进行滤波等处理,其设计与实时显示程序设计相同。与文件的保存类似,文件的读取框图见图8。

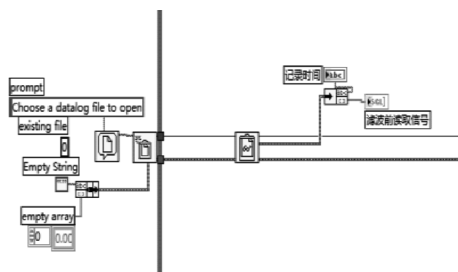


图 8 文件的读取框图

通过以上的程序设计,基本可以实现正常频段内心电信号的提取、消除基线漂移、抑制工频干扰等功能得到正常的心电信号波形。功能模块实现后,需要对前面板进行设计,使设计界面更加美观实用,提高整个系统的完善性。

## 2.4 系统登录及二维码生成程序设计

为提高系统的实用性,设计提供用户登录、二维码生成功能。用户通过登陆界面的“用户名”和“密码”对话框进行登录,并可通过 LabVIEW 的 Web 发布功能生成的网址在登陆界面生成二维码,实现用户在同一局域网下同时在其他电脑端和移动端实时查看心电图。

用户登录功能的实现主要通过“文件对话框与用户界面”及 VI 调用控件实现,心电信号检测主程序作为子 VI 在登录程序中被调用。利用 LabVIEW 自带的



“GET QR CODE”去调用 QR\_ENCODE.dll 文件生成相应二维码,用户可利用移动设备扫描二维码并实现在移动端观察心电信号<sup>[12-13]</sup>。二维码生成及用户登录程序框图见图 9。

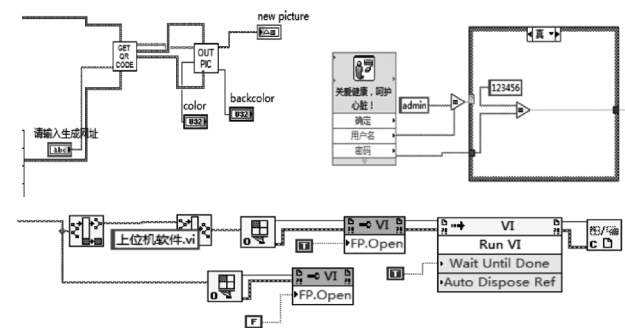


图 9 二维码生成及用户登录框图

2.5 人机交互界面设计

在系统程序框图设计完成后便是对前面板的设计完善。一个好的系统,不仅体现在功能完善上,还体现在人机交互界面设计上,前面板的设计应尽量美观、简洁。

用户登录及二维码生成扫描程序设计完成后,在前面板中采用了 LabVIEW 2014 中“银色”面板所提供的修饰控件,使整个界面更加美观、整洁。用户登录及二维码生成扫描界面见图 10。



图 10 用户登录及二维码生成扫描界面

根据系统的功能设置,设计将系统实时显示部分和文件读取部分分别置于一个选项卡控件上,既节省空间又方便进行观察和测量。在实时显示界面,用户可以实时方便快捷的观察到自己的心电波形及心律参数。在波形回放系统用户可以观察之前保存的数据并且以波形的形式直观显示出来。实时显示系统界面及波形回放界面设计见图 11。

实时显示系统界面主要包括 VISA 串口读写参数设置、滤波器参数设置,界面不仅可实时显示测得的心电信号原始波形、滤波后的波形及滤波前后信号的频谱,还能够实时显示使用者的平均心率,如果心率正常,则指示灯为绿色,否则显示红色报警。在波形回放

界面,仍然具有波形、频谱显示和心率测量及报警功能。

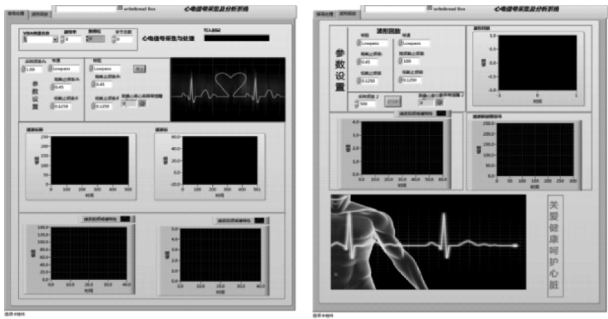


图 11 平台显示界面

3 整体测试

为对检测平台工作效果进行测试,将检测平台与心电信号采集前端连接,设计中使用的硬件部分为基于 MSP430 单片机的心电信号采集器。运行系统,系统进入用户登陆界面,用户根据对话框提示进行二维码生成以及登陆操作。用户登录界面效果见图 12。



图 12 用户登录效果图

在各项参数设置完毕后,点击 LabVIEW 窗口的“运行”按钮,系统自动弹出文件保存对话框,用户需要根据弹出对话框选择文件要保存的位置和名称。文件保存对话框见图 13。



图 13 文件保存对话框

选择好文件保存位置后,系统开始运行。随后就得到信号处理结果,包括心电信号处理前后的波形图、频谱图。滤波前后心电信号波形对比见图 14。

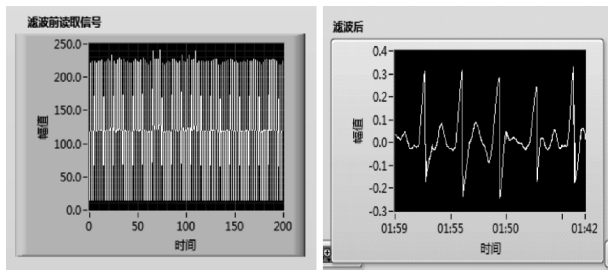


图14 滤波前后心电信号波形

设计对心电信号的分析从时域特性和频域特性两个方面入手。消除工频干扰、宽带噪声等干扰前后的心电信号频谱对比见图15。

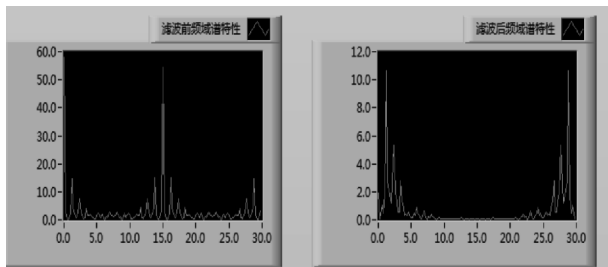


图15 滤波前后信号频谱对比

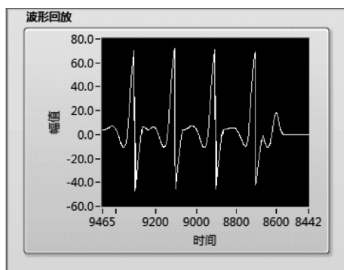


图16 波形回放

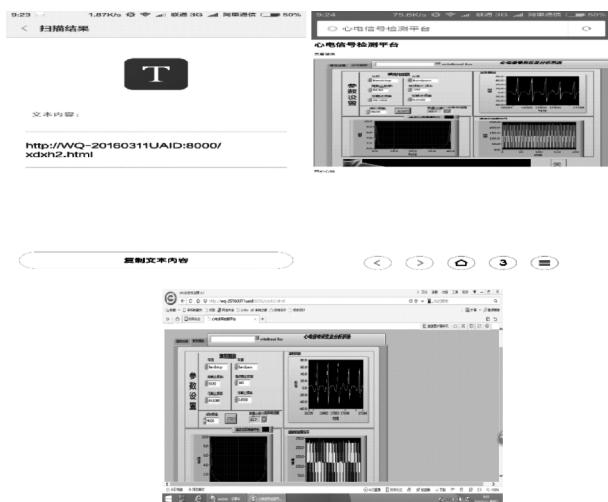


图17 电脑端及移动端实时察看实现效果

在完成实时显示系统的测试后,需要对波形回放系统进行测试。第一步切换选项卡,选项卡控制按钮选择“read”,之后完成相关参数设置。参数设置完毕后,点击“运行”按钮,根据系统弹出的对话框选择要

读取的文件,文件选择完毕后系统开始运行。波形回放测试结果效果见图16。

利用 LabVIEW 的 Web 发布功能生成主程序的监控网址 <http://wq-20160311uaid:8000/xdxh1.html> 并生成相应二维码,实现在其他电脑端及移动端的实时查看。移动端和电脑端实现效果见图17。

## 4 结束语

设计的心电信号检测软件依托 LabVIEW 强大的信号处理资源,在心率的计算上通过测量 R 波频率,进而通过频率-周期转换得到 RR 间期并推算心率。能够实时检测心电信号采集前端发送的心电信号,并将其直观地显现,并且能够保存和回放历史数据。此外,为使整个系统更具实用性,添加用户登录、二维码生成及 Web 访问功能,并在设计完成后将系统生成安装文件,可以在任何 Windows 平台安装使用。这使心电信号的检查更为方便,用户可以足不出户掌握自身心电信号变化并据此对自身心脏健康状况作出判断,对心脏疾病的预防和治疗具有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 高秉新. 心电向量图图谱[M]. 北京:北京医科大学中国协和医科大学联合社,1995.
- [2] 支龙,陈建新,李三波. 心电图诊断标准手册[M]. 太原:山西科学技术出版社,2001.
- [3] 黄进文. 虚拟仪器心电信号自动分析系统设计[M]. 昆明:云南大学出版社,2009.
- [4] 成清清,吴蒙. 基于 LabVIEW 的实时心电信号采集系统的设计[J]. 计算机技术与发展,2013, 23(4):177-180.
- [5] 岂兴明,田京京,夏宁. LabVIEW 入门与实践开发100例[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
- [6] 彭勇,潘晓辉,谢龙汉. LabVIEW 虚拟仪器设计及分析[M]. 北京:清华大学出版社,2011.
- [7] 徐成斌. 心音图学[M]. 北京:科学出版社,1982.
- [8] 吴学勤. 动态心电图技术与应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1998.
- [9] 王步青,王卫东. 基于 Lab VIEW 心电信号的采集与分析系统[J]. 医疗卫生装备,2006, 27(10):26-28.
- [10] 王艳芬,王刚,张晓光,等. 数字信号处理原理及实现[M]. 北京:清华大学出版社,2008.

[ 11 ]    National Instruments. 产品手册 [ EB/OL ]. <http://www.ni.com/manuals/zhs/>,2012-11-08/2015-04-12.

[ 12 ]    NI Developer Community. QR Code Generator [ EB/OL ]. <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-14442>,2010-11-27/2016-05-10.

[ 13 ]    电子发烧友论坛. LabVIEW 二维码生成与识别 [ DB/OL ]. <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-14442>,2013-09-08/2016-05-10.

[ 14 ]    余学飞. 现代医学电子仪器原理与设计 [ M ]. 广州:华南理工大学出版社,2013.

[ 15 ]    李俊超,李克天. 基于 LabVIEW 和 Vision 的二维码监测系统 [ J ]. 机床与液压,2011,39 ( 24 ) : 87-89.

The Design of ECG Detection Platform based on LabVIEW

MAN Shi-chao,   LU Hui-guo,   LU Yong

( College of Electronic Engineering , Chengdu University of Information Technology , Chengdu 610225 , China )

**Abstract:** ECG can reflect the health of the human heart intuitively and efficiently. Thus , it is important to pay attention to the dynamic changes in the human body for ECG can help prevent and treat various heart diseases. This platform is designed based on LabVIEW , it can receive ECG signals and relative operations. Finally, it could be displayed in the form of waveform. Besides, the design also store data and play back the waveform measured before, Further more , mobile terminal could access the interface by scanning the QR code. After testing, the design can basically realize the real-time status monitoring display of human ECG. It is convenient for people to the healthy status of their hearts.

**Key words:** signal and information processing; design of virtual instrument; ECG; data storage; real-time monitoring; QR code