

LabVIEW 平台上的心音分析虚拟仪器设计

张会香, 成谢锋

(南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要:介绍了一种心音分析虚拟仪器的设计方案,为开发出适合个人在PC机上使用的心音分析仪器打下平台。该仪器以LabVIEW为开发平台,硬件以压控心音传感器和计算机自带声卡为基础,软件包含了心音采集、小波去噪、时域分析和频域分析等多个模块。为计算心跳频率和第一心音与第二心音之间的时间间隔,采用了提取心音包络、归一化和分段平均相结合的方法,提高了系统的容差能力和计算精度。该仪器实现了传统的心脏听诊从单一的“听”转变为可视、可听和多角度分析,可作为临床心脏诊断的辅助仪器。

关键词:心音; LabVIEW; 小波去噪; FFT 频谱; 心跳频率; 心音间隔

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)11-0217-04

Heart Sound Analysis Virtual Instrument Based on LabVIEW Platform

ZHANG Hui-xiang, CHENG Xie-feng

(Department of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Introduce a kind of heart sound analysis virtual instrument based on the platform of LabVIEW. Hardware consists of voltage-controlled sensor and the computer sound card. The software integrates three modules: heart sound collection, denoise by wavelet, analysis in time and frequency domains. By extracting the envelope of the heart sound first and then cut it into pieces to improve fault tolerance and accuracy, it also calculates the heart-beat frequency and the average interval of S1 and S2, which are quite important for the heart auscultate. At last, some practical examples are given to demonstrate the validity and the effectiveness of this instrument. Due to the visibility, audibility, stability and multi-analysis, this instrument can be used as an assistant implementation for heart auscultate.

Key words: heart sound; LabVIEW; wavelet denoise; FFT spectrum; heart beat frequency; heart sound interval

0 引言

心音含有关于心脏各个部分的重要病理信息,心脏听诊是医学诊断中的重要手段。正常的心音包含第一心音(S1)、第二心音(S2)、第三心音(S3)和第四心音(S4)四个成分,第一心音的频率成分主要集中在50-150Hz范围内,而第二心音的频率成分主要集中在50-200Hz范围内。其中S1、S2是可以听闻的部分,S3、S4强度很弱,几乎不可听闻^[1]。传统的心脏听诊方法是用听诊器听取病人的心音,医生靠经验判断病人心跳是否正常,其分析方法极其有限,分析范围非常狭

窄,其准确性和精确性也难以保障,也不易被新手掌握^[2]。

LabVIEW是近年来非常流行的图形化编程工具。它所使用的“G”语言使得用户可以使用图形模块编写出功能强大的程序,最终的应用界面类似于实际使用的仪器界面。LabVIEW同时还提供丰富的语言接口和软件接口,方便在其内部调用其它语言如C、C++、Matlab的代码和使用其它软件的功能。可以说LabVIEW完成了PC机资源的完美整合,用它开发的虚拟仪器创造了逼近现实世界的虚拟环境,是计算机技术与仪器技术完美结合的产物,代表了仪器发展的方向^[3,4]。

文中介绍了一种基于LabVIEW开发平台的虚拟心音分析仪器。该仪器借助PC机丰富的资源和LabVIEW的灵活性,实现了对心音的采集和时域、频域分析,并采用分段平均的方法计算出心跳频率和心音间

收稿日期: 2010-03-14; 修回日期: 2010-06-28

基金项目: 山东省自然科学基金项目(y2006G03, y2007G14, 2007Jy17); 南京邮电大学基金项目(NY207139)

作者简介: 张会香(1986-),女,河南焦作人,硕士研究生,研究方向为智能信息系统与应用;成谢锋,教授,硕士生导师,从事智能信息处理、智能仪器方面的研究工作。

隔,突破了传统心脏听诊仅凭经验听的局限,提高了心跳听诊的科学性和准确性。

1 仪器结构和实现

该仪器主要分为三个模块:心音采集模块,小波去噪模块和心音分析模块。心音分析模块又包括时域分析和频域分析。时域分析给出了心跳频率和第一心音与第二心音之间的间隔,频域分析主要是心音信号的 FFT 频谱分析。整个虚拟仪器的前面板如图 1 所示。

1.1 心音采集模块

采集模块硬件设备以微音传感元件 HKY-06B (带有 HKY06B-PC 适配器)连接 PC 机声卡组成。HKY-06B 是一种由新型高分子聚合材料制成的微音传感元件,适合于各类心音采集。由于本仪器是运行在 PC 机上的分析仪器,而 PC 机声卡本身就是一个优秀的数据采集系统,目前普通声卡的最高采样频率是 44.1kHz,有的达到 48kHz,足以满足采样定律的要求(心音信号的频率在 0~200Hz 之间)。

基于不同的分析要求和 PC 声卡配置,用 LabVIEW 的声音函数设计的心音采集模块(前面板如图 1(a)所示)设置了“心音格式参数设置”区域,用户可以在这里设置采集频率、通道数和每采样比特数。用户把带有 MIC 接口的压控传感器一端连接电脑,另一端放在被采集者心脏附近,设置参数,点击“心音采集”按钮开始采集。采集到的心音以 .wav 文件格式保存在默认目录上,供重新播放和后面分析使用。

1.2 小波去噪模块

通常提取到的心音信号含有一些杂音,因此有必要对其进行去噪。由于心音信号集中在低频部分,噪声分布在高频部分,因此,可以用一个低通滤波器进行

滤波。但是它不能将有信号的高频部分和噪声引起的高频干扰加以有效的区分。而小波去噪则可以将信号和噪声有效区分,同时保留信号的尖峰和突变成分^[5,6]。另外,LabVIEW 提供的 Matlab 脚本节点可以实现在 LabVIEW 中添加 Matlab 脚本,而 Matlab 中提供的 wrcoef 函数可以在不知道对特定心音信号该取什么阈值去噪的情况下用百分比来确定小波分解中每层取零的数据个数,具有一定的通用性。所以,这里选择小波对心音去噪。

这里采取的小波去噪是在小波分解基础上的阈值降噪方法。已知时间信号 $f(t)$,称

$$WT(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_R f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

为 $f(t)$ 的连续小波变换,其中 $\frac{1}{\sqrt{a}} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 为小波基函数,是由同一母函数 $\phi(t)$ 经伸缩和平移后得到的一组函数序列。定义离散小波函数为:

$$WT(m, n) = 2^{-m/2} \int f(t) \varphi(2^{-m}t - n) dt \quad (2)$$

经离散小波变换之后,信号 $f(t)$ 被分解为低频成分和一系列高频成分 $w_{j,k}$ 。有效信号多分布在低频部分,噪声则多分布在高频部分,同时信号的系数要大于噪声的系数,于是可以找到一个合适的数 λ 作为阈值对高频部分进行去噪^[7,8]。当 $w_{j,k}$ 小于该阈值时,认为这时的 $w_{j,k}$ 主要是由噪声引起的,并置为零;当 $w_{j,k}$ 大于该值时,认为这时的 $w_{j,k}$ 主要由信号引起的,则把这部分的 $w_{j,k}$ 直接保留下来(硬阈值方法)或者按某一定量向零收缩(软阈值方法),然后由新的小波系数重构得到去噪后的信号。本系统采用 Matlab 提供的 wthcoef 函数去噪,可以设置一个百分比,把高频系数中系数较小的那一部分系数设为 0,然后再重构,达到

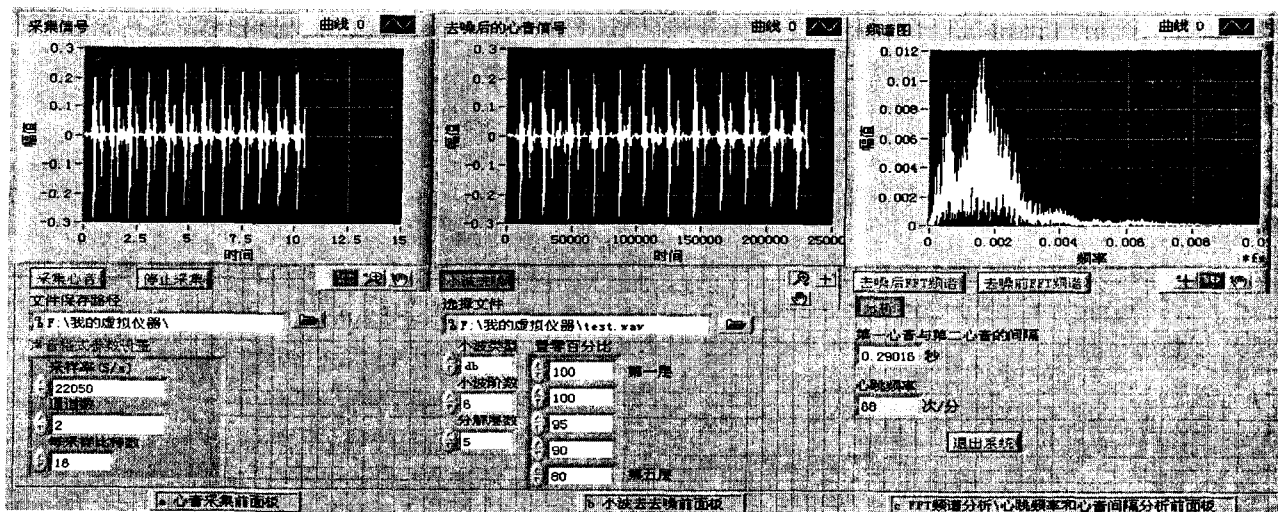


图 1 心音分析仪器前面板

消噪的目的。小波去噪效果如图 2(2)所示。

小波去噪前面板如图 1(b)所示。用户可以根据自己的需要在前面板上选择小波类型、小波阶数、小波分解层数(最多 5 层)和每层置零百分比。考虑到有不了解小波去噪原理的用户,给每一参数设定了默认值^[9],默认小波为 db 小波,阶数为 6,分解层数为 5,经理论和实验证明,这样的设置能达到不错的去噪效果。

1.3 心音分析模块

1.3.1 心音 FFT 频谱分析

心音 FFT 频谱可以把信号转化到频域观察,从频谱图上观察心跳是否异常^[10]。心音 FFT 频谱分析前面板和分析结果如图 1(c)上方所示。为方便比较,可分别点击“去噪前 FFT 频谱”和“去噪后 FFT 频谱”进行观察。

1.3.2 心跳频率和心音间隔分析模块

心跳频率和第一心音与第二心音之间的间隔是医生诊断的重要依据。为得出这些参数,需要首先得到心音的包络^[11,12],因为单从采集到的波动信号上是不容易确定心音尖峰出现的时刻的(如图 2(1)所示)。为此,取消噪之后的心音信号 ss 为

$$P(i) = ss(i)^2 \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

按照(3)式计算出能量 $P(i)$ 。 $P(i)$ 仍然是一个波动曲线(如图 2(3)所示)。给 $P(i)$ 加窗并使窗沿 x 轴移动,取窗长范围内的 $P(i)$ 局部最大值组成 $P_2(j)$ 。 $P_2(j)$ 的数据数目远远少于 $P(i)$,为得到完整的包络,采用三次样条插值法对 $P_2(j)$ 进行插值,这样就得到了心音的包络,如图 2(4)所示。

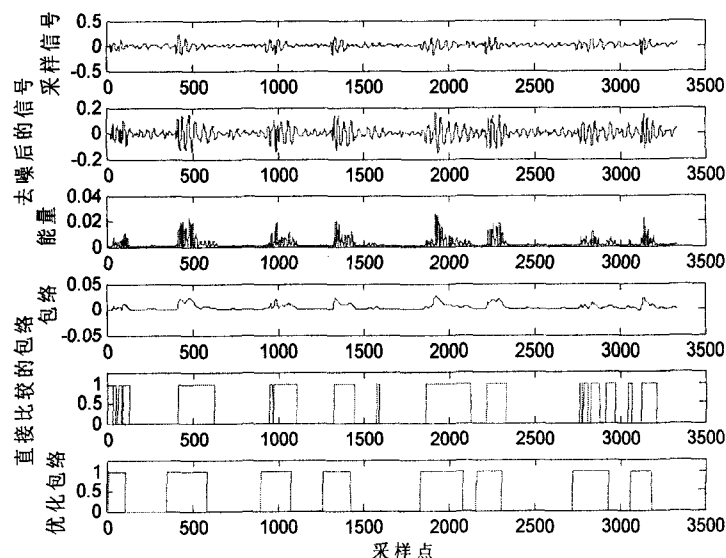


图 2 获取心音包络

从图 2(4)可以看出,这样得出的包络极为不光滑,心音尖峰分裂的地方也非常容易误判为不是一个心音,所以需要进一步优化波形。设包络为 $a(i)$ ($i =$

$0, 1, 2, \dots, n$),如果选择包络数据的平均值 $\text{meanp} = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n a(i)$ 作为阈值,按照

$$\bar{a}(i) = \begin{cases} 1 & a(i) > \text{meanp} \\ 0 & a(i) \leq \text{meanp} \end{cases} \quad (4)$$

逐点比较 $a(i)$ 与 meanp 的大小,则得到的归一化包络 $\bar{a}(i)$ 非常不准确(如图 2(5)所示),一个心音可能由不止一个脉冲代表。

为提高判决准确度,给 $a(i)$ 加矩形窗 $W(n)$:

$$W(n) = \begin{cases} 1 & -50 \leq n < 50 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

得到

$$\overline{aa}(i, k) = a(i) \times W(n - k) \quad (i = 0, 1, 2, \dots, k = 50, 51, 52, \dots) \quad (6)$$

取

$$\text{Suma}(k) = \sum_{i=k-50}^{k+49} \overline{aa}(i, k) \quad (7)$$

并修正阈值为:

$$\text{thresh} = \text{meanp} \times 0.8 \quad (8)$$

按照

$$\bar{a}(j) = \begin{cases} 1 & \text{Suma}(k) \geq 100\text{thresh} \\ 0 & \text{Suma}(k) < 100\text{thresh} \end{cases} \quad j = k - 50 \quad (9)$$

得到归一化的能量包络 $\bar{a}(j)$ 。每个脉冲代表第一心音或者第二心音,如图 2(6)所示。

可见,经过优化后的归一化包络比直接比较取得的包络更能准确地反应出心音的分段。

由于采样的问题,第一脉冲和最后一个脉冲可能不够完整,影响计算。所以在计算心率之前需要先去掉第一个脉冲和最后一个脉冲。取 $\bar{a}(j)$ 的每一个脉冲中间对应的索引值(横坐标采样点数)组成 $TT(i) = i = 0, 1, 2, \dots$,则 $TT(3) - TT(1)$ 是一个心音周期,从而可以按照下式取心音周期的平均得到心跳周期:

$$T = \frac{1}{f_s \cdot n} \sum_{i=1}^n TT(2i+1) - TT(2i-1) \quad (10)$$

其中 f_s 是采样频率,心跳频率为 $f = 60/T$ (次/分)。

为得出第一心音与第二心音的间隔,取 $TT(i)$ 的第二个值和第一个值的差,如果大于一定值判断为一个心跳的第二心音与下一个心跳的第一心音的间隔,舍弃第一个值;否则,按照

$$\bar{t} = \frac{1}{f_s \cdot N} \sum_{i=2n}^N TT(i) - TT(i-1) \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

计算便可得到第一心音与第二心音的间隔。

用户前面板如图1(c)下方所示,点击前面板上的“分析”按钮,便可显示出心跳频率和心音间隔。

用上面的方法计算出一次心音采样信号的心跳频率为68次/分,第一心音与第二心音的间隔是0.29016秒。经试验40多个人的心音采样,与实际计数比较,证明该方法是行之有效并符合实际的。而且所有数据不超过三秒就可以计算出来,计算速度还是令人满意的。

2 结束语

该心音分析虚拟仪器综合利用了PC机丰富的资源,突破了传统心脏听诊的局限,不仅“可听”,而且“可视”,不仅提供心音采集,而且提供心音分析,不仅分析频域,还分析时域,为心脏听诊提供了新的方法和途径,并为心音的进一步研究奠定了基础。经多次实际使用验证,该仪器达到了可信赖的精确度和准确度,具有很强的实用性。

下一步要做的就是丰富该仪器的内容,进一步提高它的精确度,同时设法把它和传统的听诊器结合起来,开发出可推广的产品。

参考文献:

- [1] 吴延军,徐泾平,赵艳.心音的产生与传导机制[J].生物医学工程学杂志,1996,13(3):280-288.
- [2] 陈剑,郭兴明,肖守中.心音信号识别的意义及其方法的研究[J].国外医学(生物医学工程分册),2004(2):151-

156.

- [3] 朱启琨,李雯.基于虚拟仪器的心音分析系统研制[J].仪表技术,2008(12):82-86.
- [4] Topal T, Polat H, Güler I. Software Development for the Analysis of Heartbeat Sounds with LabVIEW in Diagnosis of Cardiovascular Disease[J]. Springer Science & Business Media, 2008, 32: 409-421.
- [5] 成谢锋,陶冶薇,张少白,等.独立子波函数和小波分析在单路含噪信号中的应用研究:模型与关键技术[J].电子学报,2009(7):1522-1528.
- [6] 张建,沈民奋,宋骥.三种时频分析方法在心音信号分析中的应用[J].汕头大学学报(自然科学版),2003(2):111-115.
- [7] 单正娅,苏卫峰,韩东起.基于小波分析的心音诊断方法研究[J].科技创报,2007,35:21-22.
- [8] Debbal S M, Bereksi-Reguig F. Analysis of the second heart sound using continuous wavelet transform[J]. Journal of Medical Engineering & Technology, 2004, 28: 151-156.
- [9] 刘江红,李小坚. LabVIEW 中属性节点的研究[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(5): 919-922.
- [10] 胡玉良,王海滨,陈健,等.心音在时频两域中解析方法的研究[J].西华大学学报(自然科学版),2009,28(5):5-8.
- [11] 朱冰莲,吕信.时频表达在心音研究中的应用[J].重庆大学学报(自然科学版),2006,29(5):116-119.
- [12] Bulgrin J R, Rubal B J, Thompson C R, et al. Comparison of short-time Fourier, Wavelet and time domain analyses of intercardiac sounds[J]. Biomedical Sciences Instrumentation, 2003, 29: 465-472.

(上接第216页)

参考文献:

- [1] 倪栋,段进. ANSYS10.0 基础教程与实例详解[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004:3-4.
- [2] 李奉香.用 ANSYS 软件进行热应力分析[J].造船技术,2005(3):44-46.
- [3] 谈卓君,左正兴,张儒华.发动机连杆有限元分析进展[J].中国机械工程,2004,15(4):365-369.
- [4] 白敏丽,丁铁新,吕继组.活塞组一缸缸套耦合热模拟[J].内燃机学报,1995,23(2):168-175.
- [5] 佟景伟,李林安,李鸿琦,等.在温度和机械载荷作用下活塞应力与变形的三维有限元分析[J].内燃机学报,1995,13(2):123-131.
- [6] 冯立岩,范立云,隆武强,等.柴油机活塞组耦合模型有限元分析[J].汽车工程,2004,26(2):154-156.
- [7] 李兵,胡欲立,姚倡峰.活塞在温度和机械载荷作用下的应力和变形的有限元分析[J].机械科学与技术,2002,21(2):222-223.
- [8] 杨威启,李晓玲.现代有限元理论与工程应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [9] 尚晓江,邱峰. ANSYS 结构有限元法高级分析方法与范例分析[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [10] Robinson D, Palaninathan R. Thermal analysis of piston casting using 3-D finite element method[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2001, 37: 85-95.
- [11] Yan Y H, Chen C S, Moo C S, et al. Harmonic analysis for industrial customers[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1994, 30(2): 462-468.
- [12] Lu L K H. Vibration analysis by the combined FEA/SEA approach[M]. US: Design Engineering Division, American Society of Mechanical Engineer, 1989: 343-347.