

文章编号:1671-6833(2011)06-0108-05

基于 FPGA 和 Matlab 的实时脉图信息处理系统设计

郭广灵^{1,2}, 李智强², 王艳芳²

(1. 华中科技大学 控制科学与工程系, 湖北 武汉 430074; 2. 河南工业大学 电气工程学院, 河南 郑州 450007)

摘要: 为了在无创心功能检测中准确迅速地检测出脉搏波, 获得有用的诊断信息, 在临床医学上有效地防治疾病, 设计了一种基于 FPGA 和 Matlab 的高速实时脉图信息处理系统. 该系统以 FPGA 芯片为核心, 利用 FT245BM 型快速 USB 接口芯片和 HK-2000G 脉搏传感器, 实现了对脉搏信号的采集, 在主机上运用 VB 和 Matlab 混合编程技术, 采用均值微分、积分、模糊插值、希尔伯特黄变换、小波变换等算法, 完成脉搏信息的时频处理. 该系统通过软硬件滤波, 去除了呼吸等干扰信号, 能正确地实时显示、存储、打印数字化脉波图像信息, 自动运算得到脉图特征参数. 通过对不同人体脉图特征参数测试, 脉图信息有效、可靠, 在医学亚健康诊断及病态诊断和家庭医疗方面有广泛的应用价值.

关键词: 脉图; FPGA; Matlab; 信息处理

中图分类号: TP29 **文献标志码:** A

0 引言

在世界范围内, 心血管类疾病患者与日俱增, 已成为人类健康的头号杀手. 人体脉搏系统是心血管系统的重要组成部分, 从脉搏波中提取人体的生理和病理信息作为临床诊断和治疗的依据, 受到中外医学界的重视. 随着传感器技术和计算机处理技术的发展, 中医数字化和标准化研究日益深入, 进行中医辅助诊疗应运而生. 自上个世纪 50 年代始, 很多学者就利用现代科学技术和仪器, 致力于中医脉诊客观化的研究, 旨在开发出能用于中医脉诊的仪器设备. 但国内脉诊客观化研究尚未取得突破性进展. 第一, 脉象信息的采样手段单一, 目前传感系统的设计, 尚不能实现脉象信息的全面采集, 使脉象显示一般只能实现压力脉搏图的描记及分析, 由于脉象形成的复杂性, 仅采集单维压力脉搏信息, 显然是不够的, 应实现多维动态采集^[1]; 第二, 脉搏的测量参数较少, 且没有参考特征值, 受测者不能自己判断身体状况, 不利于客观化脉诊仪的推广; 另外, 提取与信息分析处理方法简单, 仅限于时域、频域的常规分析方法, 不能满足脉象信息的客观、量化, 以及后续的诊断和治疗^[2-3].

笔者基于 FPGA 和 Matlab 技术的脉图信息处

理系统, 从中医的脉诊数字化入手, 采集并重现中医的脉图和心血管功能参数, 可为医师临床工作带来极大的方便.

1 系统的组成

本系统的研究主要由硬件部分和软件部分构成, 实现数据的采集、传输与处理. 具体包括 3 个部分: 数据采集电路部分(下位机)、USB 接口电路部分和上位机. 硬件系统由 FPGA 芯片 EP2K8Q208C8、USB 接口芯片 FT245BM、模数转换芯片 ADS8364 和存储器芯片 AM29LV160DB 及其外围电路组成. 传感器采集的实时脉搏波信号通过处理, 变成 A/D 可以采样的信号后送入采集系统, FPGA 通过 A/D 转换器对输入电压信号进行采样, 将 16 位的采样结果存储在 FLASH AM29LV160DB 中, USB 系统将数据从中读出, 并送至主机, 并将脉搏波波形显示在屏幕上, 如图 1 所示.

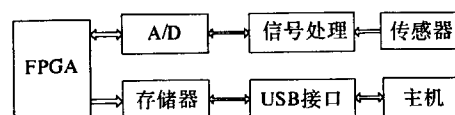


图1 脉图数据处理系统组成

Fig. 1 Pulse figure data processing system composition

收稿日期:2011-01-28;修订日期:2011-04-09

基金项目:河南省科技项关计划资助重点科技项目(072102330025)

作者简介:郭广灵(1966-),女,河南通许人,河南工业大学副教授,华中科技大学博士研究生,研究方向:计算机控制及信号处理,E-mail:guanglingguo@163.com.

2 主要硬件设计

2.1 数据采集电路

下位机软硬件是系统功能实现的基础.脉图数据采集电路主要由传感器、信号处理电路、脉图采集(A/D转换)电路部分组成,本设计采用的脉搏传感器为合肥华科电子研究所研制开发的基于PVDF压电膜的HK-2000G,它可由电压或电流驱动产生正比于输入压力的毫伏等级电压输出信号,其驱动电压 $<15\text{ Vdc}$,驱动电流 $<3\text{ mA}$,具有优异的可重复性和时间稳定性.

信号处理模块主要由放大和滤波电路组成.放大电路主要由AD623构成,它是在传统的三运放结构基础上改进的一种新型仪表放大器,能在单电源($+3\text{ V} \sim +12\text{ V}$)下提供满电源幅度的输出,AD623允许使用单个增益设置电阻进行增益编程,以得到良好的用户灵活性^[4].AD623通过提供极好的随增益增大而增大的交流共模抑制比而保持最小的误差.

滤波电路采用OP07芯片,构成二阶无限增益多路反馈低通滤波器,由于人体的脉搏大约在 1 s/次 ,约 1 Hz ,但考虑一些特殊情况,特征频率取 20 Hz .

2.2 FPGA逻辑控制模块

系统中的FPGA采用了Cyclone II系列的EP2C8Q208C8,该芯片提供8,256 LEs,165,888 RAM bits,2 PLL,18个 18×18 Embedded Multipliers,138 user I/O pins,门数为20万门.FPGA配置芯片采用EPCS4N.

FPGA负责A/D模块的控制及数据的存储与读取;USB芯片与外部电路及主机的通信,是系统的控制核心.用于控制整个系统,增大了系统的灵活性和实时性^[5].

2.3 A/D转换模块

该模块采用了高速、低功耗、6通道同步采样的16位模数转换器ADS8364,适用于噪声比较大的环境.每个输入端的ADCs保持信号用来保证几个通道能同时进行采样和转换,可以对单极性或双极性输入电压进行A/D转换^[6].文中采用双极性输入方式,输入电压可以在 ± 2.5 , ± 5 , $\pm 10\text{ V}$ 范围内.当ADS8364采用 5 MHz 的外部时钟来控制转换时,它的采样率是 250 kHz .地址/模式信号(A_0 , A_1 , A_2)决定ADS8364的数据读取方式,可以选择单通道、周期或FIFO模式.FPGA对

A/D转换进行控制,并将转换结果送入FLASH进行缓存.16位的采样结果存储在FLASH存储器芯片AM29LV160DB中.

2.4 USB接口电路

为了摆脱常规USB数据接口设计的难度,加快设计开发进程,本设计采用了FT245BM芯片,FT245BM是FTDI(Future Technology Devices IntLtd)公司的一种快速USB通信接口.它无需编写片内固件程序.FTDI公司提供D2XX官方驱动程序,使用D2XX驱动程序能获得更好的数据传输性能,且传输速率最大可达 1 MB/s ^[7].

FT245BM由FTDI(Future Technology Devices Int. Ltd.)公司推出,该芯片的主要功能是进行USB和并行I/O口之间的协议转换.PC机通过USB接口与FT245BM进行数据交换,FT245BM通过并行方式与下位微控制器通信.

3 软件程序设计

3.1 FPGA软件设计

FPGA的任务是通过AD转换采集脉搏信息,并将采集的脉搏信息通过USB口发送给上位机.系统软件主要由初始化模块、脉搏数据的采集模块(AD转换)、USB通讯模块3部分组成.主程序流程图如图2所示.系统上电复位后,完成初始化,设置A/D采样频率及采样通道,启动A/D开始采样.将其采样结果送入FLASH进行存储.当其存满时,USB将数据读出,通过数据线送入主机,在主机上完成波形输出.

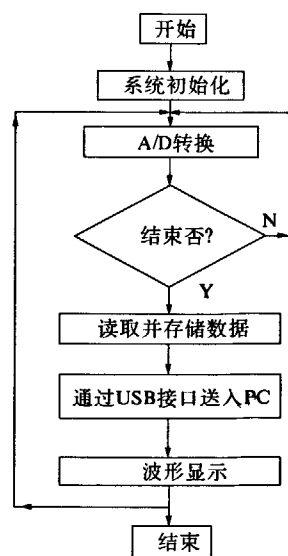


图2 系统流程图

Fig.2 System flow chart

3.2 PC 机端软件设计

3.2.1 USB 通讯软件设计

PC 机与接口设备通信的软件程序设计有两种方法:VCP 和 D2XX 方式. 本系统采用 VCP 方式,即在 PC 机上安装一个由 FTDI 公司免费提供的虚拟串行口 VCP(Virtual COM Port)驱动程序,将 USB 口虚拟成一个串口,像一个标准的串口那样进行进行外设和 PC 机的通信.可本质上所有针对虚拟串口的数据通信都是通过 USB 总线完成的.

在 PC 端,应用 VB 对 VCP(通常设置为 COM3)进行编程.可以直接应用 MSComm 控件,将 MSComm. CommPort 置为 3,MSComm. Settings 置为“9600,n,8,1”(该速率为默认设置,实际上 VCP 驱动程序总是使数据以最快速率传输);通过 MSComm. PortOpen 设置 COM3 的开关状态;通过 MSComm. Input 和 MSComm. Output 读入或输出数据.在读取数据时,设置 MSComm. Rthreshold 的值为 1.只要有数据传到 PC 机,就立即触发 MSComm. CommEvent 事件,自动读取 COM3 的数据;而发送数据则可自动或手动发送,由用户自己设置.以上操作与操纵标准的串行口完全一致.

3.2.2 脉图信号处理中用到的算法

上位机软件是整个系统设计另一个核心部分.设计思想是,借助于 VB 和 Matlab 混合编程技术,对采集到的脉图信号进行希尔伯特黄变换、小波变换、均值微分、积分、模糊插值等算法进而得到脉图的相关信息.该系统能实时显示、存储、打印数字化脉波图像和相关信息,自动运算得到脉图特征参数,并对采集到的脉搏图像进行瞬时频率分析,判断受测者的身体状况.由于篇幅,仅介绍均值微分和 HHT 变换及 B-样条插值

(1)均值微分.对于常微分方程:

$$x'(t) = \frac{dx(t)}{dt} \tag{1}$$

离散微分方程,即再用向前差值商近似代替微分.

$$x'_{\max}(n) = (x(n+1) - x(n))/\Delta t \tag{2}$$

式中: $x(n+1)$ 为下一时刻的采样值, Δt 为采样时间.

本软件中由于脉图信号的顶点有可能不是一个值,而是连续几个极值点,因此采用均值处理,在第一个极值点周围的差值小于某一特定值的极值进行均值处理.即将在第一个极值点周围的差值小于某一特定值的在连续五个出现的极值点求均值.得到高压和低压.

$$x'_{\max}(t) = \sum_{i=1}^5 x'_{\max i}/5 \tag{3}$$

(2)HHT 变换及 B-样条插值. HHT 方法主要有两步:EMD 分解和 Hilbert 变换. EMD 分解即 Huang 变换.对满足本征模式分量两个限定条件的信号可以通过 Hilbert 变换求出其瞬时频率.但大多数实际信号并不是本征模式函数,任何时刻,信号中可能包含多个振荡模式,采用希尔伯特变换并不能求出具有物理意义的瞬时频率,因此大多数信号在 Hilbert 变换之前都要进行 EMD 分解.

在进行 EMD 分解时,需要将极大极小值包络线与均值曲线拟合.这是 HHT 的关键问题,它在很大程度上将影响到新理论的成熟和推广应用.但现有文献几乎都采用三次样条插值,而未提出新的和更合理的方法.三次样条插值容易造成过冲和欠冲,只有二阶光滑性,如果采用直接拟合均值曲线的方法,可以降低过冲和欠冲现象.但有时结果仍然很严重.这里采用 B-样条插值算法拟合所有的极大、极小值点,得到极大、极小值的平滑包络线.

4 脉图信息处理系统功能界面

脉图信息处理系统的主要功能如图 3 所示.

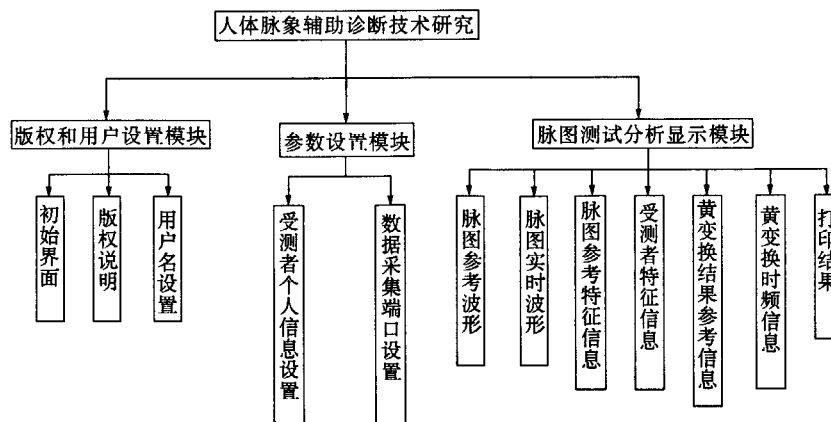


图 3 系统主要功能

Fig. 3 System main function

4.1 初始界面

测试软件的初始界面如图4所示。



图4 测试软件的欢迎界面

Fig.4 The welcome screen

4.2 版权与用户设置模块

在该模块中,用户既可以参照初始画面的传感器放置方法进行传感器的放置,也可以通过用户名和密码的设置界面进行用户名和密码的添加、修改、删除。在该界面可以设置多个用户,但只有管理员可以修改和删除用户名和密码。

4.3 参数设置模块

在该模块中,用户需要设置必要的参数。该模块又包含两个子模块:①受测者个人信息模块,用户需要根据受测者的个人信息进行填写,受测者不同,个人信息不同,以便于后期进行数据分析和存档;②数据采集端口设置模块,用来选择数据采集的端口,即传感器的端口,这个端口是个虚拟的串行口,用户选择不正确的话,系统会自动提示错误。

4.4 脉图测试分析显示模块

该模块是该项目的重点,主要完成脉图信息的采集、特征提取、显示、打印功能。该模块可以完成:①脉图参考波形。该模块给出了以健康年轻人的参考波形,以便于与后面的受测者的实时波形相比较;②脉图实时波形。该模块将受测者的实时波形显示出来,用户可以实时看到自己当前脉图波形,选择自己想要的采集数据起始点,由于信息量较大,因此在后续的特征提取过程中,我们仅选取其中一段具有代表性的脉图信息进行计算;③脉图参考特征信息。该模块给出了国际上公认的各个年龄段的脉搏数、高压、低压、舒张压等能量特征信息以供受测者参考比对,以判断受测者的

个人身体状况;④脉图用户特征信息。该模块将受测者的实时脉图信息进行小波变换、模糊差值、微分、积分等运算后得到受测者当前的脉搏数、高压、低压、舒张压等能量特征信息,可以根据受测者的特征信息与参考特征信息相比较;⑤黄变换结果参考。该模块给出了黄变换的结果如何分析的一个参考建议,每个黄变换结果所代表的含义在该模块进行了详细的叙述;⑥黄变换时频信息。该时频信息是根据受测者当前采集到的脉图的瞬时频率从高到低排列,高频代表了受测者的心血管方面的一些信息,低频代表了受测者的脉搏数、呼吸等信息,受测者可以自己根据⑤中的说明自己进行身体状况的分析;⑦打印结果。该模块可以将受测者的个人信息,脉搏图打印出来,交给专业医生诊断。典型界面如图5和图6所示。

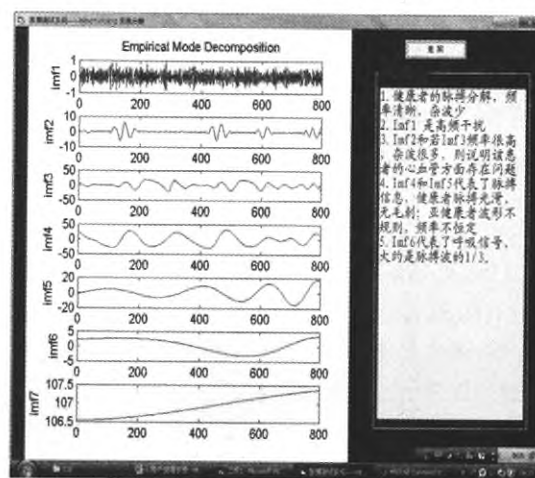


图5 黄变换界面

Fig.5 Yellow transform screen

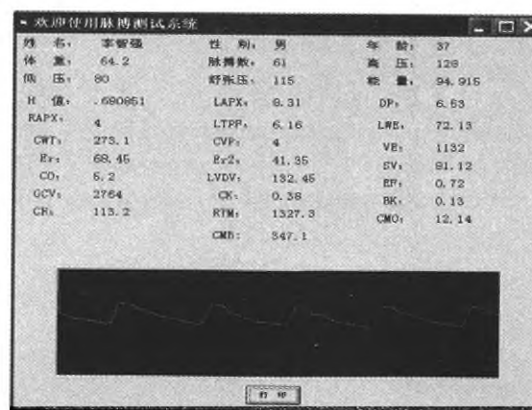


图6 打印界面

Fig.6 Print screen

5 结论

本研究在硬件和软件上均从实际应用和行业

要求的角度出发,器件选择合理,布局得当,整个系统按照干扰小、稳定性高以及成本低的原则进行设计.软件算法具有创新性、高效性和可移植性.该研究的成果在医学亚健康诊断及病态诊断和家庭医疗方面有广泛的应用价值.

参考文献:

- [1] 燕海霞,王忆勤,李福凤.中医脉象传感器的研究进展[J].上海中医药大学学报,2005,19(1):62-64.
- [2] 王燕.中医脉象客观量化理论方法研究[J].世界科学技术—中医药现代化,2005,7(1):118-122.
- [3] 谭延亮,游开明,陈列尊,等.脉诊客观化研究新思

路,四川中医,2007(8):25-27.

- [4] 王建新,任勇峰,焦新泉.仪表放大器 AD623 在数采系统中的应用[J].微计算机信息,2007,23(7):175-177.
- [5] 袁江南.基于 USB2.0 与 FPGA 技术的高速数据采集系统的设计[J].电子技术应用,2007(7):122-124.
- [6] 刘来福.基于 CPLD 和 USB 的高速数据采集系统的设计[J].西安科技大学学报,2005(2):78-80.
- [7] 徐峰.基于 FT245BM 的快速 USB 接口设计[J].电子工程师,2007,33(3):64-66.

The Design of the Real-Time Pulse Wave Information Processing System Based on FPGA and Matlab

GUO Guang-ling^{1,2}, LI Zi-qiang², WANG Yan-fang³

(1. Department of Control Science & Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;

2. College of Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: In order to detect the pulse wave accurate quickly with noninvasive heart function testing, get useful information in clinical medicine diagnosis, prevent and treat of disease effectively, this paper designed a kind of FPGA and Matlab high-speed real-time pulse figure information processing system. FPGA chip is the core in the system, using FT245BM fast USB interface chip and HK-2000 G pulse transducer, the system realized pulse signal collection, in the host with VB and Matlab programming technology, mixed by average differential and integral, fuzzy interpolation and hilbert-huang transform, yellow wavelet transform algorithm, complete the pulse information processing of time domain and frequency domain, the system can real-time display, store print pulse digital images and related information, automatic get pulse figure characteristic parameters. Through the pulse figure characteristic parameters test to different human body, pulse figure is effective and reliable. It has extensive application value in medical sub-health diagnosis and pathological diagnosis and family medical.

Key words: pulse wave; FPGA; Matlab; information processing

(上接第 107 页)

- [8] MURALIDHARAN A, DERVISOGU G, HOROWITZ R. Freeway traffic flow simulation using the Link Node

Cell transmission model[C]//Proceedings of the 2009 conference on American Control Conference. St. Louis. MO: IEEE Press Piscataway, 2009: 2916-2921.

The Design of Dynamic Simulation Based on Cell Transmission Model

LI Shu-guang, ZHANG Jing-ru, YU Hong-kai, YANG Kang-kang

(School of Electrical and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: The paper devises the process of traffic flow simulation based on link-node cell transmission model. Then, flow and density of the single-direction of a highway with four lanes is simulated with Matlab, and the formation and dissipation of crowded waves of the highway is analyzed. The result shows that cell transmission model can well describe the formation and the dissipation of vehicles' queues. Therefore, highways' macro parameters and traffic incident management strategies have a great impact on the ability of vehicles' passing.

Key words: cell transmission model; cell density; traffic flow; traffic jam