

文章编号: 1671-7104(2013)02-0112-04

基于DSP的脉象仪的设计与实现

【作者】焦琪玉, 庞春颖

长春理工大学生命科学技术学院, 长春市, 130022

【摘要】设计的脉象仪通过HKG-07B红外脉象传感器提取脉象信号, 以TMS320VC5402作为控制核心, 进行时域及频域特征提取和分类, 通过USB接口可实现脉象数据的大量存储和与PC机的通信。通过对200位受试者脉象信号的采集和分类实验, 表明该仪器对脉象信号的平均识别率达到87.4%, 适用于临床脉象信号的诊断检测和家庭医疗保健。

【关键词】脉象; DSP; HKG-07B; 特征值

【中图分类号】R444

【文献标志码】A

doi:10.3969/j.issn.1671-7104.2013.02.010

Design and Implementation of Pulse Instrument Based on DSP

【Writers】Jiao Qiyu, Pang Chunying

School of Life Science and Technology, Changchun University of Science and Technology, Changchun, 130022

【Abstract】The Traditional Chinese Medical Pulse Instrument uses the HKG-07B infrared pulse sensor to get pulse signal from the body. It makes full use of the TMS320VC5402 chip to realize time-frequency domain parameters extracting, classification and identification of the pulse signal. The system can store a plenty of pulse signal and realize data communication with the PC via the USB interface. According to acquisition and classification of pulse signal experiments of 200 subjects, the results show that the recognition rate of pulse signal can reach to 87.4%. It is applicable to the clinical diagnosis and detection of the pulse signal and home healthcare.

【Key words】pulse, DSP, HKG-07B, characteristic value

0 前言

在中医理论中, 对疾病的诊断与治疗绝大部分是以脉诊为依据的。对于这项“在心易了, 指下难明”的技术, 现代人早就渴望能有一种客观的中医脉象检测和描述方法, 以系统地解释中医脉诊的奥秘^[1]。

近年来, 国内外学者先后研发了多种类型的中医脉象仪, 不同程度地实现了脉象信号的检测、分析处理和诊断描述。如上海中医药大学的ZM-III型中医脉象仪, 北京清华科技园的APCP-IV中医脉象仪和北京华宇脉象诊断仪等, 对脉象信号进行了不同程度的描述和分析。但是它们在信号采集和分析处理功能上有不足之处, 而且多数需要PC机的配合使用, 距离脉诊技术的智能化、客观化和量化的要求还有一段差距。在脉象信号的采集和临床分析方面, 文献[2]提出了多点三维动态压力脉搏波的采集方法, 文献[3]分析了高血压病人的脉象信号的时域特征, 文献[4]对冠心病患者和健康人分别研究了其EMD分解后的模态特征, 但都仅限于方法学的研究。国外的Womersley、Cox等一批学者建立了动脉管中脉搏波的传播模型, 麦克唐纳在考虑组织对血管约束作用的基础上讨论了管内脉动流与波的传播问题^[5-8], 还有德国、俄罗斯、意大利、印度、日本和韩国也开发了

基于不同检测原理的脉象检测仪器。

本文研制的基于DSP的脉象仪, 充分利用DSP芯片的控制能力和信号处理能力, 通过数据采集、人机接口模块、存储器模块的设计, 实现了脉象信号的采集、分析处理和结果显示。该仪器可测量具有临床诊断意义的9个脉象信号的时域和频域参数, 并通过这些参数对脉象信号进行分类识别, 为疾病诊断提供了重要的生理信息。通过USB接口设计实现了与PC机的数据通信, 既可以进行信号的上位机分析, 也为远程监控提供了条件。实验证明, 仪器具有体积小, 信号处理功能强, 易于操作和使用的特点。

1 系统设计

1.1 系统硬件结构

本中医脉象仪采用HKG-07B红外脉象传感器提取脉象信号, 并对脉象信号进行滤波放大等模拟调理, 保证脉象信号的质量及幅度, 以便进行A/D转换; 以TI公司的TMS320VC5402芯片作为控制核心; 通过CM320240-3EBLWA-5N液晶屏和触摸板进行脉象信号的实时显示和人机交互的接口设计。系统扩展了RAM和FLASH, 用于多用户的脉象信号的数据存储。还通过CY7C68013A芯片扩展了USB接口, 可方便地与PC机或者其他带有USB接口的外设相连。其硬件框图如图1所示, 仪器实物如图2所示。

收稿日期: 2012-10-29

作者简介: 焦琪玉, E-mail: pangchunying8888@163.com

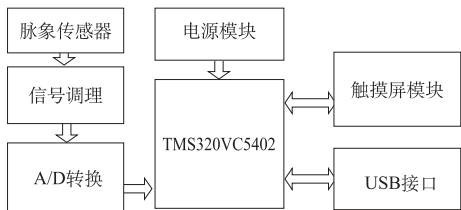


图1 脉象仪硬件系统总体结构
Fig.1 Block diagram of hardware system of pulse instrument



图2 脉象仪实物图
Fig.2 Picture of pulse instrument

1.2 系统软件设计

1.2.1 主程序结构

系统软件实现的功能包括系统设置，有LCD设置、AD设置和其他参数设置（如时间设置、信号增益设置等）；有脉象信号采集和实时显示，时域特征参数和频域特征参数的提取，脉象信号的数据存储。整体软件的流程图如图3所示，其中特征参数的提取是软件处理的关键。

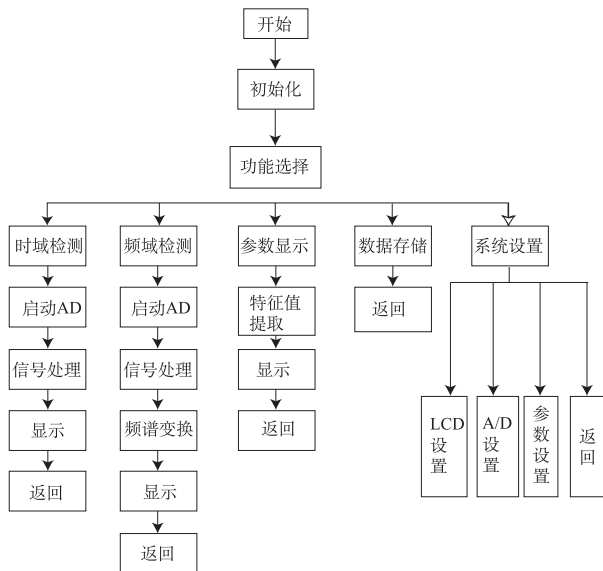


图3 系统软件流程图
Fig.3 System software flowchart

1.2.2 脉象信号时域分析

脉象图大多由三个峰两个谷组成，其中升支和降

支组成主波，降支上有一切迹称为降中峡，它出现在主动脉瓣关闭的瞬间，反映心脏舒张期起点的主动脉压力。主波和降中峡之间往往出现重搏前波，又称潮波。紧接降中峡出现的重搏波又称降中波，以上的波和峡是构成脉象图的主要成分。图4为典型的脉象时域波形^[9]。在实际脉象信号的形态分析中，一般取各波和峡的对比值进行研究。如 h_2/h_1 、 h_3/h_1 、 $(h_1-h_3)/h_1$ 、 t_1/t 和 t_2/t 等。

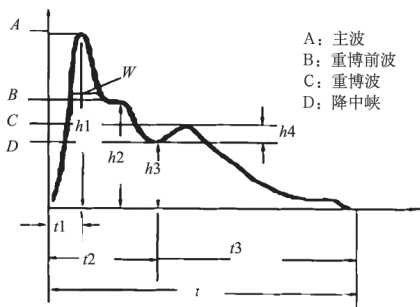


图4 脉图的时域特征

Fig.4 The pulse figure time domain features

进行时域分析的关键是对一个周期的脉象信号进行准确定位，本研究采用阈值定位法。脉象信号定位后，计算信号的幅值比 h_2/h_1 、 h_3/h_1 、脉动周期 t 和波形特征量 K ，这几个特征参数。其中幅值比 h_2/h_1 、 h_3/h_1 能客观反映血管阻力和血管壁弹性。定义 K ^[10]为

$$K = \frac{p_m - p_d}{p_s - p_d} \quad (1)$$

式中， $p_m = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$ 为平均动脉压， p_s 和 p_d 收

缩压和舒张压，如图5所示。该参数反映了血管的硬化程度。以上这几个参数可以客观地反映脉象信号的时域形态。

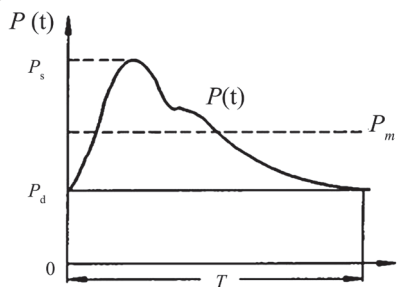


图5 脉搏波波形特征量K值的提取

Fig.5 The characteristic parameter K value of the pulse waveform

时域分析步骤如图6所示。其中设 $x(t)$ 为脉象信号， m 为阈值，一般在3~5之间选取，图4中的D点以下。

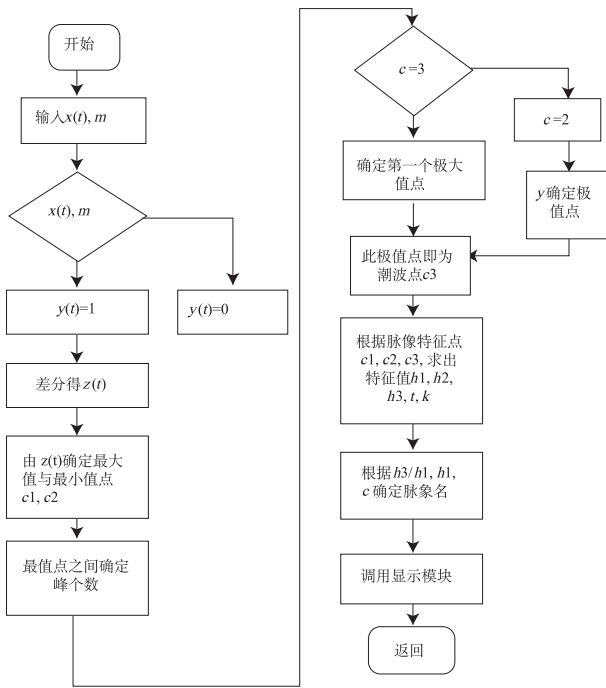


图6 时域算法流程图

Fig.6 Time domain algorithm flowchart

1.2.3 频域分析模块

本仪器选择对脉象信号进行功率谱分析，并计算相应的特征参数。采用多个周期进行谱分析，然后求取平均值的方法。其计算流程如图7所示。

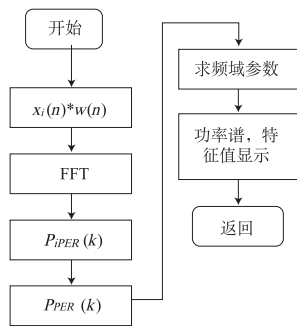


图7 频域算法流程图

Fig.7 Frequency domain algorithm flowchart

FFT参数中设定了 $N=1024$ ，将预处理后的数字信号 $x(n)$ 分为 L 段，每一段数据长度为 M ，则有 $L=N/M$ ，第 i 段数据记为 $x_i(n)=x[n+(i-1)M]$ ，其中 $0 \leq n \leq M-1$ ， $1 \leq i \leq L$ 。

用式(2)计算每一段数据的功率谱^[11]，

$$Pi_{PER} = \frac{1}{MU} \left| \sum_{n=0}^{M-1} x_i(n)W(n)e^{-j\frac{2pikn}{M}} \right| \quad (2)$$

其中 $0 \leq k \leq M-1$; $U = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} w^2(n)$;

$$W(n) = \frac{1}{2} \{1 - \cos[\frac{2pin}{N-1}]\} ;$$

把 Pi_{PER} 对应相加，再取平均值可得平均功率谱为：

$$P_{PER}(k) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L Pi_{PER}(k) = \frac{1}{MUL} \sum_{i=1}^L \left| \sum_{n=0}^{M-1} x_i(n)e^{-j\frac{2pikn}{N}} \right| \quad (3)$$

其中 $0 \leq k \leq M-1$ 。

频域特征参数的选取和计算如下：

(1) f_0 ：基频，功率谱中第一主峰所对应的频率。该参数反映心脏搏动的基本频率，即心脏跳动的快慢。

(2) h_0 ：前次峰值，功率谱第一主峰前的一个峰值，该参数反映测试者的呼吸频率。

(3) 谱能比：SER₁₀。由于脉象信号的频率主要集中在0~40 Hz，所以设信号的总能量值为

$$E = \int_0^{40} P_{PER}(f)df = \sum_{k=1}^{N/25} P_{PER}(k)F \quad (4)$$

则0~10 Hz能量值表示为

$$E_{10} = \int_0^{10} P_{PER}(f)df = \sum_{k=1}^{N/100} P_{PER}(k)F \quad (5)$$

式中 F 为频谱分辨率。

则谱能比定义为 $SER_{10}=E_{10}/E$ ，代表0~10 Hz的谱能量占总能量的百分比。该参数反映了信号能量随频率的分布。

(4) x ：功率谱谐波个数，它代表了频率是基频整数倍的波峰的个数。该参数在一定程度上反映了脉搏的节律。

2 仪器性能测试实验与讨论

2.1 仪器性能测试实验

为了验证仪器的性能，在长春理工大学医院和前卫医院进行了临床使用试验，图8和图9是仪器触摸屏显示的试验结果。

由临床经验丰富的医生通过“双盲法”诊断，确诊了平脉、沉脉、滑脉、细脉、弦脉、数脉、缓脉等共200例样本。其中男性82例，女性118例。在仪器使用试验过程中要求测试者在安静状态下休息15 min，然后用本系统进行脉象信号的提取、特征参数的计算以及结果显示。有10例样本的特征参数如表1所示。对所计算的参数进行了统计学的分析，具有明显的统计意义 ($p < 0.05$)。

从样本中随机抽取100例作为训练样本，剩下100例作为测试样本。根据提取的脉象信号的特征参数，采用9-5-3型BP网络，用Sigmoid作为输入函数，基于梯度下降法进行学习，以“最大值准则”作为分类依据^[12]，具体识别率如表2所示。

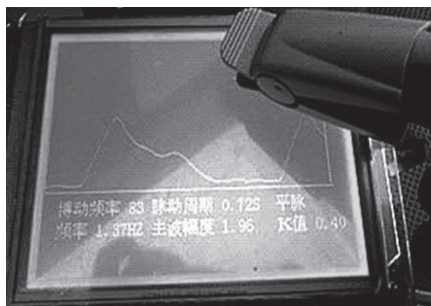


图8 时域分析试验结果
Fig.8 Time domain analyze experimental results



图9 频域分析试验结果
Fig.9 Frequency domain analyze experimental results

表1 脉象信号特征参数

Tab.1 Pulse signal characteristic parameters

编号	时域参数					频域参数				脉象类别	临床诊断
	$\frac{h_2}{h_1}$	$\frac{h_3}{h_1}$	c	k	t	f_0	h_0	x	SER ₁₀		
1	0.514	0	2	0.4	0.617	1.8	0.28	9	0.98	细脉	四肢无力
2	0.344	0.306	3	0.41	0.607	1.4	0.32	8	0.98	沉脉	消化不良
3	0.374	0.258	3	0.46	0.709	1.2	0.25	8	0.99	平脉	健康
4	0.514	0.435	3	0.42	0.784	1.2	0.24	9	0.99	平脉	健康
5	0	0	1	0.39	0.862	1.3	0.32	6	0.98	沉脉	胃胀
6	0.314	0	2	0.36	0.835	1.2	0.36	13	0.97	滑脉	怀孕
7	0.658	0	2	0.41	0.751	1.4	0.34	7	0.98	细脉	气血不足
8	0.858	0.584	3	0.39	0.887	1.3	0.29	5	0.99	弦脉	高血压
9	0.735	0	2	0.42	0.519	1.9	0.35	7	0.98	数脉	心慌
10	0.840	0.651	3	0.39	1.055	1.0	0.21	6	0.98	缓脉	风湿

表2 脉象信号识别结果对照表

Tab.2 Pulse signal identification results comparison

样本类型	医生诊断 样本数目	训练样 本数目	训练样本 识别率	测试样本 数目	测试样本 识别率
平脉	32	16	99.2%	16	90.6%
沉脉	24	12	99.8%	12	90.3%
滑脉	30	15	99.5%	15	87.1%
细脉	30	15	99.9%	15	89.5%
弦脉	36	18	100%	18	91.7%
数脉	28	14	99.8%	14	82.4%
缓脉	20	10	96%	10	80%

2.2 结果分析和讨论

通过对200例受试者脉象的识别结果的比较,该中医脉象仪系统对脉象信号的平均识别率可达87.4%,其中对弦脉的识别率最高,而对于缓脉的识

别率最低。产生这个结果的原因在于,某些脉象信号本身的形态就比较容易识别,另外与所选择的特征参数也有很大的关系。因此,可考虑从脉象的“位、数、形、势”的整体上选择更有代表意义的参数。另外,在建立预测模型时,可以考虑参数的自适应选取,以此提高分类识别方法的自适应性。

理论上讲,脉象中蕴含了丰富的人体信息,而且对同一个人,不同的状态、不同时间、左右手寸关尺不同部位采集的脉搏波都会有差异。因此,对于脉象仪,还需要进一步开展多传感器融合、时频域信号处理等方面的研究,并将这些工程技术和临床医生的经验相结合。

3 结论

基于DSP的脉象仪可实现脉象信号的采集、处理、形态分析和脉象识别。同时,触摸屏的运用使操作更加简单,使USB的接口可方便地与PC机通信。通过对200位受试者的脉象信号的采集和分类试验,平均识别率达到了87.4%,适用于医院和家庭的临床诊断和健康情况的监护,对于实现中医脉诊的客观化、标准化有重要的意义。

参考文献

- [1] 李景唐. 中医脉象的客观描述和检测[J]. 中国医疗器械杂志, 2001, 25(6): 318-323.
- [2] 刘元华, 杨其华, 史红斐, 等. 脉象采集方法及功率谱分析研究[J]. 中国计量学院学报, 2008, 19(3): 251-255.
- [3] 行鸿彦, 许瑞庆, 王长松. 基于经验模态分解的脉搏信号特征研究[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(3): 2-3.
- [4] 李福凤, 王忆勤, 孙仁, 等. 基于Hilbert-Huang变换时域方法的冠心病患者脉图波形特征研究[J]. 中国心血管病研究, 2008, 6(4): 244-246.
- [5] Yoshio Maniwa, Tadashi Iokibe, Masaya Koyama. The application of pulse wave chaos in clinical medicine[C]. 17th FSS, 2001(8): 787-790.
- [6] Womersley, JR. Osilatory motion of a viscous liquid in thin-walled elastic tube-I: the linear approximation for long waves[J], Phil Mag, 1955, 46(7): 199-221.
- [7] Wei LY, Lee CT, Chow P. A new scientific method of pulse diagnosis[J]. Am J Acupunct, 1995, 12(3): 205-210.
- [8] Shankar R, Webster JG. Noninvasive measurement of compliance of human leg-arteries[J]. IEEE Tran Bme, 1991, 38(1): 62-67.
- [9] 何素荣, 刘世斌. 临床脉图诊断学[M]. 北京: 人民军医出版社, 2003.
- [10] 罗志昌, 张松, 杨益民. 脉搏波的工程分析与临床应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [11] 王炳和, 杨顺, 相敬林. 脉象声信号检测系统试验设计及功率谱特征. 中华物理医学杂志[J], 1998, 20(3): 158-161.
- [12] 周越, 许晴, 孔薇. 脉象特性分析和识别方法的研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2006, 23(3): 505-508.