

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2022.12.011

医学信号处理与医学仪器

## 寸口桡动脉智能脉象采集与分析系统

王海龙, 弓伟

广州中医药大学医学信息工程学院, 广东 广州 510006

**【摘要】**传统的脉诊信息收集和辨证具有明显的主观特性,影响证候的规范化和标准化。本文提出一种融合了微控制器技术、传感器技术、数字信号处理技术、人工智能等技术的数字化脉诊仪,采用数字化信号表示中医脉诊的信息,针对采集到的脉象信息使用机器学习的有关算法进行脉象的识别和分类,该系统对提升中医临床诊疗的客观性和准确性具有重要的借鉴和参考意义。

**【关键词】**桡动脉;脉象;压力传感器;小波变换;支持向量机

**【中图分类号】**R318

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2022)12-1525-05

## Intelligent pulse acquisition and analysis system for radial artery

WANG Hailong, GONG Wei

School of Medical Information Engineering, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510006, China

**Abstract:** Traditional pulse diagnosis information collection and syndrome differentiation have obvious subjectivity, which affects the normalization and standardization of syndromes. Herein a digital pulse diagnosis instrument which integrates microcontroller technology, sensor technology, digital signal processing technology, artificial intelligence and other technologies is presented. The information of traditional Chinese medicine pulse diagnosis is represented by digital signals. For the collected pulse information, the relevant algorithms using machine learning are used to identify and classify the pulse conditions. The system has important reference significance for improving the objectivity and accuracy of clinical diagnosis and treatment of traditional Chinese medicine.

**Keywords:** radial artery; pulse condition; pressure sensor; wavelet transform; support vector machine

### 前言

辨证论治是中医临床诊疗遵循的基本原则,是将由望、闻、问、切收集到的信息整合为证候诊断,继而决定与证候相应的治疗措施<sup>[1]</sup>。《古今医统大全》中记载:“望闻问切四字,诚为医之纲领”<sup>[2]</sup>。其中,“切”指脉诊,根据三部九候理论<sup>[3]</sup>,脉诊的寸口诊法即医师将食指、中指和无名指分别放于寸、关、尺3个部位,对3个部位施加不同压力,从而得到3个部位在不同压力下的脉搏的强弱宽窄等触感,继而依照脉

诊理论分析患者的身体状况。传统的脉诊信息收集和辨证具有明显的主观特性,由于受到医生诊断水平和诊疗习惯的影响,使得诊疗信息的可靠性和准确性缺乏稳定性,进而影响证候的规范化和标准化,阻碍了中医临床诊疗能力的进一步提升<sup>[4]</sup>。本文提出一种数字化脉诊仪,该脉诊仪融合了微控制器技术、传感器技术、数字信号处理技术、人工智能技术等,采用数字化信号表示中医脉诊的信息,针对采集到的脉象信息使用机器学习的有关算法进行脉象的识别和分类,以期提升中医脉诊的客观性、准确性、自动化和智能化水平。

### 1 脉诊仪系统概述

脉搏是人体微弱的生理信号,与人体的健康状况联系紧密。根据脉搏的不同特征,脉象总共分为6大类28种<sup>[5]</sup>,见表1。脉搏波形主要由升支和降支两部分组成<sup>[6]</sup>,波形图见图1。升支在生理学中对应心室的快速射血期,在此时期动脉扩张,血液流速加快,血液从心室流向动脉<sup>[7]</sup>。而降支是一条主趋势呈

**【收稿日期】**2022-06-21

**【基金项目】**国家重点研发计划(2019YFC1710400);教育部产学研合作协同育人项目(220506528172218);广东省教育厅重点平台及科研项目青年创新人才项目(2017KQNCX040);广州中医药大学人文社会科学专项扶持项目(2021SKZX04)

**【作者简介】**王海龙,研究方向:生物医学电子仪器, E-mail: w13076805119@126.com

**【通信作者】**弓伟,讲师,研究方向:生物医学信号检测、医学电子仪器, E-mail: gongwei@gzucm.edu.cn

表 1 中医 6 大脉象分类明细  
Table 1 Classification of 6 pulse conditions of traditional Chinese medicine

脉象类型	脉象数量/种	脉象类别
浮脉类	6	浮脉、洪脉、濡脉、散脉、乳脉和革脉
沉脉类	3	沉脉、伏脉、牢脉
迟脉类	4	迟脉、缓脉、涩脉、结脉
数脉类	4	数脉、疾脉、促脉、动脉
虚脉类	6	虚脉、细脉、微脉、弱脉、代脉、短脉
实脉类	5	实脉、滑脉、弦脉、紧脉、长脉

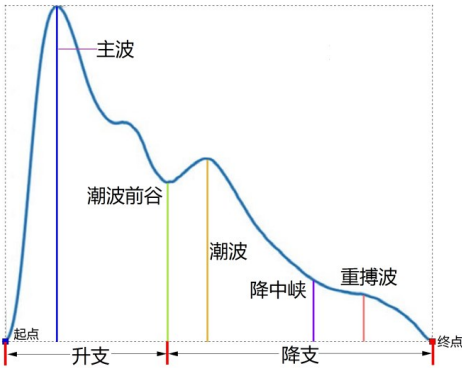


图 1 脉搏波形图  
Figure 1 Pulse oscillogram

递减的曲线,包括潮波前谷、潮波、降中峡和重搏波,对应心室射血的后期,此时心室的收缩速度减慢,房室瓣关闭。

本文所述脉诊仪系统采用压阻式传感器获得脉搏压力信号,然后利用开源电子平台 Arduino 通过串行数据接口将数字化之后的脉象波形传输给计算机,计算机利用 Python 程序对数据进行小波变换等预处理操作,最后利用机器学习中的支持向量机算法将脉象波形进行分类。根据不同的脉象特征,将其分为 6 类,即实脉类、虚脉类、迟脉类、数脉类、浮脉类和沉脉类。

2 脉诊仪系统方案设计

2.1 脉搏传感器

脉搏类传感器的种类丰富,较常用的传感器类型包括压电式、压阻式和光电式 3 种<sup>[8]</sup>。综合比较这 3 种类型,光电式传感器较为适合采集手指上的信号,但不适用于手腕的脉搏信号测量。压电式传感器耐高温性能优良,而压阻式传感器精度高。本系统中脉搏压力信号较小,故选用精度较高的压阻式薄膜传感器<sup>[9]</sup>。

本系统选用 Keyes 薄膜压力传感器,该传感器基于

新型纳米压敏材料辅以舒适杨式模量的超薄薄膜衬底一次性贴片而成,兼具防水和压敏双重功能。其工作原理为:在弹性膜片的一侧施加压力时,膜片会受到压力的挤压而产生形变,而位于膜片另一测的惠斯通电桥桥臂电阻薄膜的阻值随之改变。惠斯通电桥会因阻值改变而产生与压力成线性关系的输出电信号,将信号经过放大处理后,再传输给 A/D 转换器或微控制器<sup>[10]</sup>。Keyes 薄膜压力传感器实物见图 2。

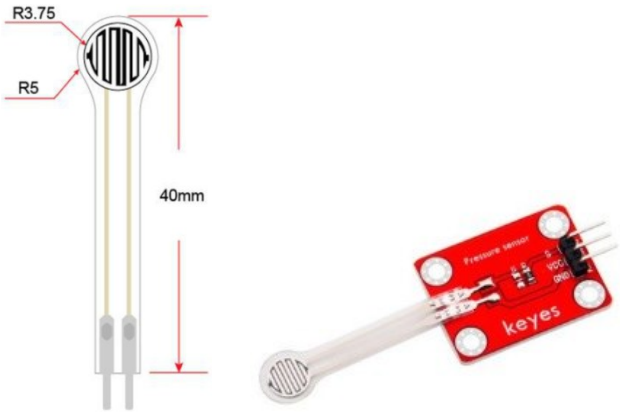


图 2 Keyes 薄膜压力传感器实物图  
Figure 2 Keyes membrane pressure sensor

2.2 微控制器

本系统采用 Arduino UNO 板作为主控板。该主控板以 AT mega328p 作为微控制器,单个时钟周期内可执行强大的功能指令,同时拥有 AT mega16U2 微控制器负责 USB 的连接和 ICSP 来引导程序的加载<sup>[11]</sup>。Arduino UNO 板兼具 UART 串行通信、IIC 以及 SPI 等通信协议,只需通过程序中的内置函数以及接线连接调用,无需额外编写调用函数。Arduino 的核心库文件、IDE 软件等都是开源的,编程方式简便清晰,适用于多种硬件装置的开发。其内部结构见图 3。Arduino 与 Keyes 传感器的连接方式见图 4。

2.3 脉象信号的预处理

通常情况下,脉搏传感器在采集信号的过程中,传感器除了获取目标信号外,还会受到环境因素的干扰,从而产生噪声<sup>[12]</sup>。故在进行脉象波形的分类之前,需要滤除信号的噪声。

传统的去噪通常使用模拟滤波器或数字滤波器这两种方法<sup>[13]</sup>。除此之外,还有快速傅里叶变换 (Fast Fourier Transform, FFT),但是 FFT 去噪不能将目标数据信号中的高频部分和含有噪声干扰的高频信号加以区分,所以在需要信号的高频信息时就显得无能为力,因为需要去除高频噪声的同时保留信号的高频成分<sup>[14]</sup>。小波变换是一种数字信号处理算

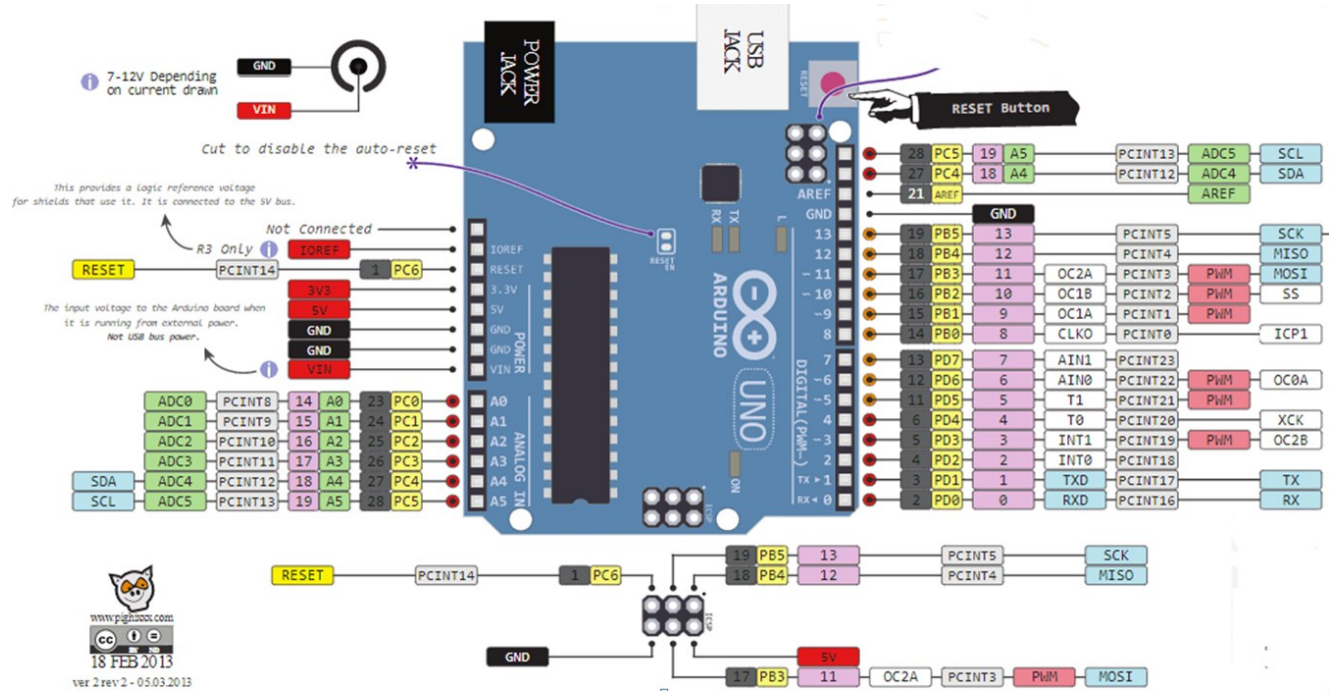


图3 Arduino UNO引脚功能示意图

Figure 3 Pin function diagram of Arduino UNO

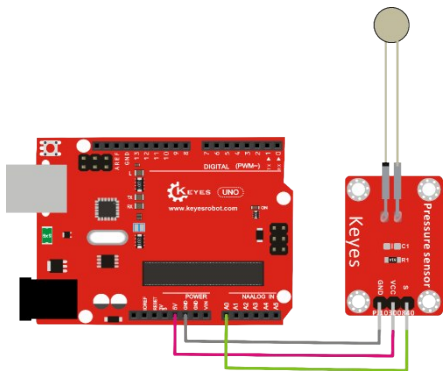


图4 Arduino UNO与Keyes传感器的连接方式

Figure 4 Connection mode between Arduino UNO and Keyes sensor

法,通常用来处理一维离散数据。通过对信号(函数)的多尺度细分,逐级实现高频的时间细分和低频的频率细分,从而实现对信号(函数)在时间(空间)频率上的定位<sup>[15]</sup>。为了达到良好的去噪效果,需要设置合适的小波基、阈值和阈值函数3个变量。

由图5可以看到,原始数据信号受到噪声的干扰,不利于进一步的数据分析。将原始的数据信号分别经过1阶、2阶、3阶小波分解重构,从而得到相应的信号和噪声,如图6所示。由图6可知,分解重构的层数越多,得到的信号波形越光滑,但是获得的特征越少;反之,分解重构的层数越少,信号波形特征越明显。从过滤掉的噪声对比结果来看,2阶分解重构的效果比1阶更完整,而3阶则显得多余。所以1阶和2阶分解重构的波形更有参考意义。

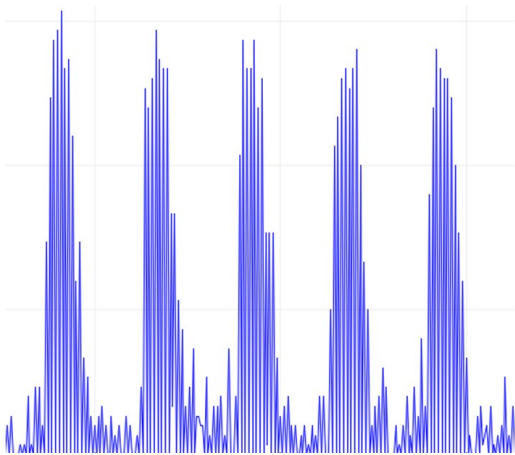


图5 未经去噪的原始数据信号

Figure 5 Raw signals without denoising

2.4 脉象的识别分类

机器学习的应用已经涉及到多个领域,在辅助中医决策辨证方面发挥较为重要的作用<sup>[16]</sup>。支持向量机(Support Vector Machines, SVM)是一种二分类模型,适用于数据样本数量较少、非线性、高维的分类问题<sup>[17]</sup>。

6大类脉象是相对的,如浮-沉、迟-数、虚-实等。浮脉与沉脉是脉位浅深相反的两种脉象,浮脉脉位表浅、轻取即得,主表属阳;沉脉脉位深在,轻取不应,重按始得,主里属阴。迟脉与数脉是脉搏慢快相反的两种脉象,迟脉搏动比正常脉慢,即一息不足四至;数脉搏动则比正常脉快,即一息五至以上,迟主



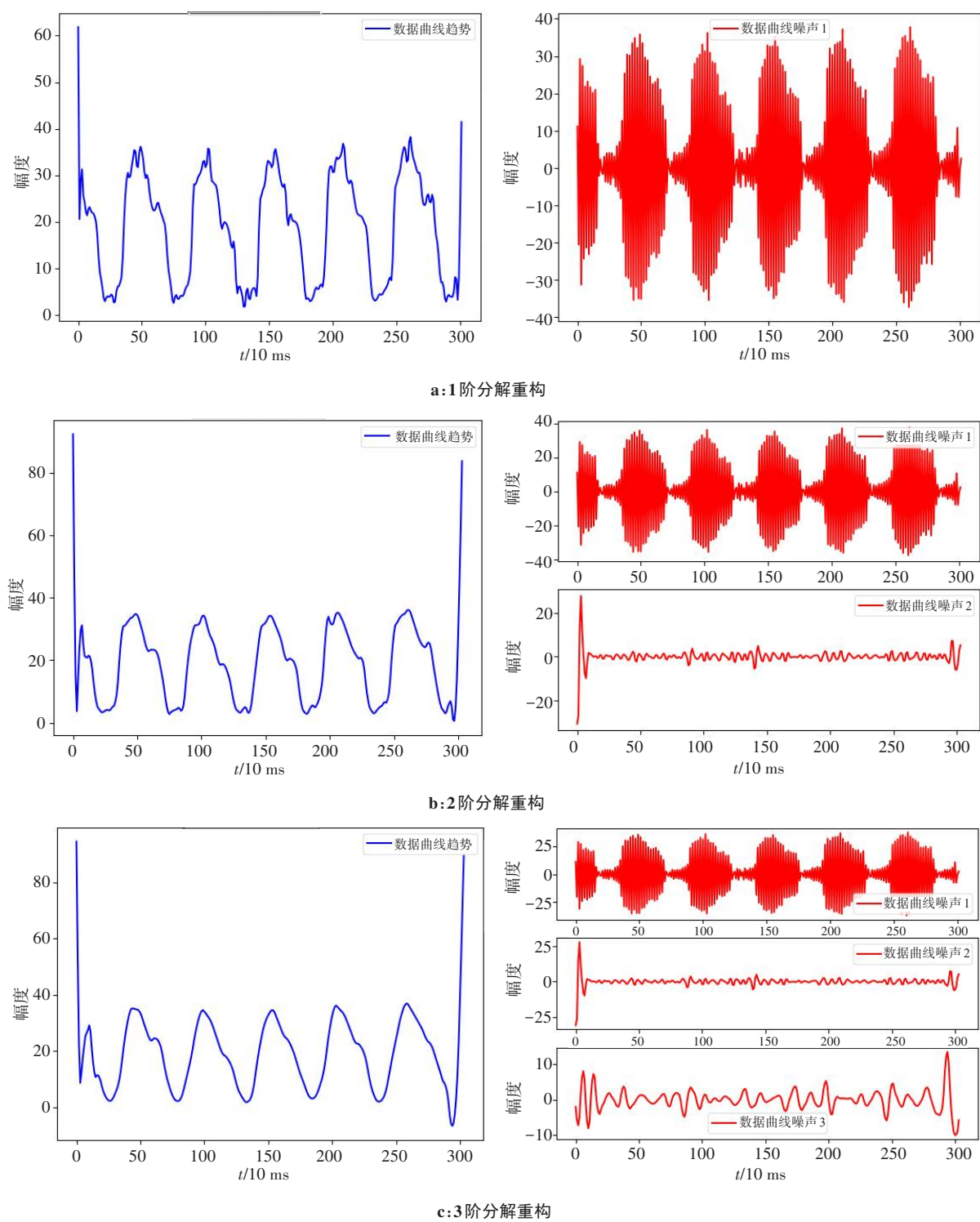


图6 1阶、2阶、3阶小波分解与重构后的信号与噪声

Figure 6 Signal and noise after the 1st, 2nd and 3rd order wavelet decompositions and reconstructions

寒而数主热,亦主虚。虚脉与实脉是脉的搏动力量强弱(气势)相反的两种脉象,虚脉三部举按均无力;实脉举按均有力,分主虚实<sup>[18]</sup>。根据6类脉象的主要特征,可以对预处理后的脉象数据进行识别和分类。

### 3 实验结果与分析

提供48例包含6类脉象(每一类脉象8例)的数

据对机器学习模型进行训练。这些数据分别在不同身体条件下测量获得,如剧烈运动后、静息状态、空腹等。

训练完成后,使用18例脉象数据进行测试。从测试结果来看,脉象识别的准确率约为78%(14/18),见表2。由测试结果可以看出,实脉类和浮脉类的脉象数据识别准确率不高,原因可能是训练数据的样本数量较少,无法充分掌握数据的特点<sup>[19]</sup>。若要进

一步提升识别准确率,可以从两个方面改进:①增加训练数据的样本量;②使用循环神经网络等算法替代SVM<sup>[20]</sup>。

表2 测试脉象的识别结果  
Table 2 Recognition results of pulse conditions

序号	测试脉象类别	数量	脉象正确识别数量
1	实脉类	3	1
2	沉脉类	3	3
3	浮脉类	3	1
4	数脉类	3	3
5	迟脉类	3	3
6	虚脉类	3	3

4 结 论

本文提出的智能中医脉诊仪,基本实现了中医脉诊客观化和数字化的临床需求,对于提升中医临床诊疗的客观性和准确性具有重要的借鉴和参考意义。

【参考文献】

[1] 邓铁涛,陈群,郭振球. 中医诊断学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2018: 1-8.  
Deng TT, Chen Q, Guo ZQ. Diagnostics of Traditional Chinese Medicine[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2018: 1-8.

[2] 陈万泓. 痛证/症脉象变化特征的古代文献研究及实验研究[D]. 北京:北京中医药大学,2016.  
Chen WH. Ancient literature study and experimental study on pulse change characteristics of pain syndrome [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2016.

[3] 郑佩峰,东红升,鲍春龄,等. 从三部九候论东氏针灸[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(11): 5547-5549.  
Zheng PF, Dong HS, Bao CL, et al. Discussion on DONGS' clinical practice of acupuncture from theory of three body parts and nine pulse taking sites[J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2020, 35(11): 5547-5549.

[4] 田好雨,齐向华,薛文丽,等. 基于系统辨证脉学的脉象信息人工智能分析策略与思考[J]. 中医药导报, 2022, 28(1): 83-86.  
Tian HY, Qi XH, Xue WL, et al. Strategies and thoughts on artificial intelligence analysis of pulse information based on "systematic sphymology for pattern differentiation" [J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2022, 28(1): 83-86.

[5] 刘帅帅,夏芬. 翻译适应选择论下中医脉象术语英译标准化研究[J]. 中医药导报, 2021, 27(11): 224-228.  
Liu SS, Xia F. Study on standardization of English translation of pulse condition terms from perspective of translation as adaptation and selection[J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2021, 27(11): 224-228.

[6] 张诗雨,杨珂,夏春明,等. 基于随机森林的脉象信号特征降维与分类研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2020, 22(7): 2418- 2426.  
Zhang SY, Yang K, Xia CM, et al. Research on feature reduction and classification of pulse signal based on random forest [J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-

World Science and Technology, 2020, 22(7): 2418- 2426.

[7] 张剑锋,陈光华,高博. 基于光电容积脉搏波的脉搏信息提取研究[J]. 电子测量技术, 2019, 42(13): 117-120.  
Zhang JF, Chen GH, Gao B. Research on body pulse information extraction based on PPG[J]. Electronic Measurement Technology, 2019, 42(13): 117-120.

[8] 罗静静,左晶晶,季仲致,等. 面向脉诊客观化的脉搏传感器研究综述[J]. 仪器仪表学报, 2021, 41(8): 1-14.  
Luo JJ, Zuo JJ, Ji ZZ, et al. Research review on pulse sensors for pulse diagnosis objectification[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2021, 41(8): 1-14.

[9] 李凤超,孔振,吴锦华,等. 柔性压阻式压力传感器的研究进展[J]. 物理学报, 2021, 70(10): 7-24.  
Li FC, Kong Z, Wu JH, et al. Research progress of flexible piezoresistive pressure sensor[J]. Acta Physica Sinica, 2021, 70(10): 7-24.

[10] 朱莉,邢鑫,孟兆新,等. 基于柔性薄膜传感器木板平面度测量方法[J]. 传感器与微系统, 2021, 40(11): 143-145.  
Zhu L, Xing X, Meng ZX, et al. Wood flatness measurement method based on flexible thin film sensor[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2021, 40(11): 143-145.

[11] Merolli A, Mao Y, Voronin G, et al. A method to deliver patterned electrical impulses to Schwann cells cultured on an artificial axon[J]. Neural Regen Res, 2019, 14(6): 1052-1059.

[12] 弓伟,曹东. 基于压电驻极体的脉象采集分析系统[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(5): 113-117.  
Gong W, Cao D. Pulse acquisition and analysis system based on piezoelectret[J]. Experimental Technology and Management, 2022, 39(5): 113-117.

[13] 周明娟,王语园,王田戈,等. 针对微弱表面肌电信号的采集电路设计[J]. 中国医学物理学杂志, 2021, 38(5): 625-630.  
Zhou MJ, Wang YY, Wang TG, et al. Design of acquisition circuit for weak surface electromyography signals [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2021, 38(5): 625-630.

[14] 肖贤贵,李开成,蔡得龙,等. 一种电能质量扰动信号的联合去噪算法[J]. 电工技术学报, 2021, 36(21): 4418-4428.  
Xiao XG, Li KC, Cai DL, et al. A combined de-noising method for power quality disturbances events [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2021, 36(21): 4418-4428.

[15] 黎志翔,肖夏. 小波变换和能谱分析在无创血糖检测中的应用[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2021, 54(5): 53-58.  
Li ZX, Xiao X. Application of wavelet transform and energy density spectrum analysis in noninvasive blood glucose monitoring[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2021, 54(5): 53-58.

[16] 肖迪尹. 基于机器学习的中医脉诊辅助决策研究[D]. 成都:电子科技大学, 2021.  
Xiao DY. Research on auxiliary decision-making of pulse diagnosis of Traditional Chinese Medicine based on machine learning [D]. Chengdu: University of Electronic Science and technology of China, 2021.

[17] 周志华. 机器学习[M]. 北京:清华大学出版社, 2016: 121-123.  
Zhou ZH. Machine learning[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2016: 121-123.

[18] 李永春,吕英,宫凤英,等. 试论寸口脉诊中基本要素的采集[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(10): 4887-4891.  
Li YC, LÜ Y, Gong FY, et al. Discussion on collection of basic elements in Cunkou pulse taking[J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2020, 35(10): 4887-4891.

[19] 胡满满,陈旭,孙毓忠,等. 基于动态采样和迁移学习的疾病预测模型[J]. 计算机学报, 2019, 42(10): 2339-2354.  
Hu MM, Chen X, Sun YZ, et al. A disease prediction model based on dynamic sampling and transfer learning [J]. Chinese Journal of Computers, 2019, 42(10): 2339-2354.

[20] Huang XZ, Tang SL, Zhang Y, et al. Hybrid embedding and joint training of stacked encoder for opinion question machine reading comprehension[J]. Front Inform Technol Electron Eng, 2020, 21(9): 1346-1356.

(编辑:黄开颜)