

基于矩阵实验室的无线传输脉象处理系统

曹晓燕¹, 雷 勇², 李良刚³

Wireless pulse condition identification based on the matrix laboratory

Cao Xiao-yan¹, Lei Yong², Li Liang-gang³

Abstract

BACKGROUND: The collection of pulse wave is usually based on cable way, this measure brings inconvenience with what is not easy to move and expand. At the same time, the traditional pulse condition identification also restricted by artificial experience.

OBJECTIVE: In order to make up the inconvenience of the cable acquisition pulse wave and the limitation of traditional pulse condition identification by the doctor's knowledge and experience, this paper put forward a wireless pulse acquisition and use the improved support vector machine algorithm to classify the pulse condition, in order to achieve the purposes of pulse condition wireless transmission and intelligent identification.

METHODS: Firstly, we used the **HK2000B+ integrated pulse sensor** to collect the pulse wave, then after the pulse signal disposal circuit processed, transferred it to the computer through the wireless transceiver module, then after the pretreatment by the matrix laboratory software, the time domain and frequency domain feature were picked up. Finally, the 160 cases of pulse were classified into four kinds of pulse condition by improved support vector machine algorithm. The kinds of pulse condition were flat, smooth, string and fine.

RESULTS AND CONCLUSION: The experimental results show that this method has the high classification rate, low complexity and higher classification accuracy in present classification methods. It has an important significance to realize the remote and reveal of the pulse-taking.

Cao XY, Lei Y, Li LG. Wireless pulse condition identification based on the matrix laboratory. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2012;16(17): 3173-3177. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景：脉搏波的采集一般都是基于有线的方式，这给测量带来不易移动、不易扩展等不便，同时传统的脉象识别也受到人为经验的限制。

目的：为了弥补有线方式采集脉搏波带来的不便以及传统脉象识别受医生知识及经验的限制，文章提出一种应用无线采集脉搏信号，再应用正态二叉树支持向量机算法对脉象进行分类，以达到脉象无线传输、智能识别的目的。

方法：首先通过 **HK2000B+集成脉搏传感器** 采集到脉搏波，经过信号调理电路的处理，采用无线收发模块，将其传输到计算机中，然后应用矩阵实验室软件对采集到脉搏波进行处理后提取脉搏波的时域和频域特征，最后对采集到的 160 例脉搏信号应用正态二叉树支持向量机算法对平、滑、弦、细 4 种脉象进行分类识别。

结果与结论：该方法在目前的脉象分类方法中具有较高的分类速率、较低的计算复杂度以及较高的分类正确率，有利于推进脉诊的远程和客观化的实现。

关键词：脉象；脉搏；无线模块；时域和频域；支持向量机；智能分类

缩略语注释：BT-SVM：binary tree-support vector machine，正态二叉树支持向量机；SVM：support vector machine，支持向量机

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2012.17.031

曹晓燕，雷勇，李良刚. 基于矩阵实验室的无线传输脉象处理系统[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(17):3173-3177. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

脉搏是人体活动最重要、最灵敏和最可靠的信息来源，脉搏波中包含着重要的病理、生理信息，不同的脉象反映人体不同的病变^[1]。但是在传统中医脉诊中，对某一脉象的认识是以医生的主观感受和经验为依据加以鉴别和区分的，而且切脉技术较难掌握，这使得脉诊的传承和推广受到了较大的限制，因而将现代科技信息技术应用于中医脉诊中成为现今一新的研究热点^[2]。到了近代，随着检测技术、计算机技术和信息技术的发展，脉搏波采集和脉象辨识

的仪器化与智能化成为了新的发展方向。但是脉搏波的采集一般都是基于有线的方式^[3]，这给测量带来不易移动、不易扩展等不便；在对脉象进行分类辨识时也是采用的BP神经网络的算法^[4]，该方法的缺点就是需要以设计者的先验和经验知识为基础，这为脉象的分类辨识带来很大的不便，因而为了弥补有线脉搏采集方式及BP神经网络算法的不足，本文采用了一种正态二叉树支持向量机(binary tree-support vector machine, BT-SVM)算法^[5]：将二叉树的思想应用在支持向量机(support vector machine, SVM)算法中，提高分类的速度，降低分类计算的复杂度。本文的基本思路是：从

¹School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan Province, China;
²Department of Sports Medicine, Chengdu Sport University, Chengdu 610041, Sichuan Province, China

Cao Xiao-yan, Studying for master's degree, School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan Province, China
caoxiaoyan2012@yahoo.cn

Corresponding author: Lei Yong, Doctor, Professor, Master's supervisor, School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan Province, China
Yonglei@163.com

Corresponding author: Li Liang-gang, Doctor, Professor, Master's supervisor, Department of Sports Medicine, Chengdu Sport University, Chengdu 610041, Sichuan Province, China
554905620@qq.com

Received: 2011-11-10
Accepted: 2012-03-10

¹ 四川大学电气信息学院, 四川省成都市 610065;
² 成都体育学院运动医学系, 四川省成都市 610041

曹晓燕, 女, 1986 年生, 四川省内江市人, 汉族, 四川大学在读硕士, 主要从事医学电子学方面的研究。
caoxiaoyan2012@yahoo.cn

通讯作者: 雷勇, 博士, 教授, 硕士生导师, 四川大学电气信息学院, 四川省成都市 610065
Yonglei@163.com

并列通讯作者: 李良刚, 博士, 教授, 硕士生导师, 成都体育学院运动医学系, 四川省成都市 610041
554905620@qq.com

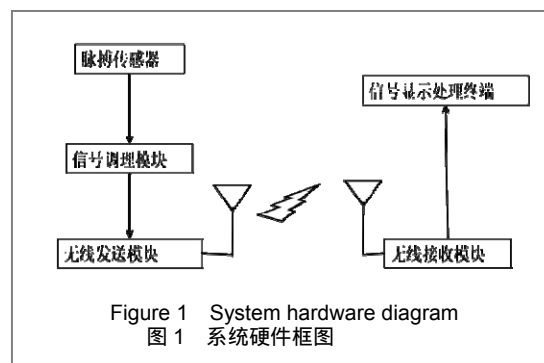
中图分类号: R318
文献标识码: B
文章编号: 1673-8225 (2012)17-03173-05

收稿日期: 2011-11-10
修回日期: 2012-03-10
(20111122015/D · C)

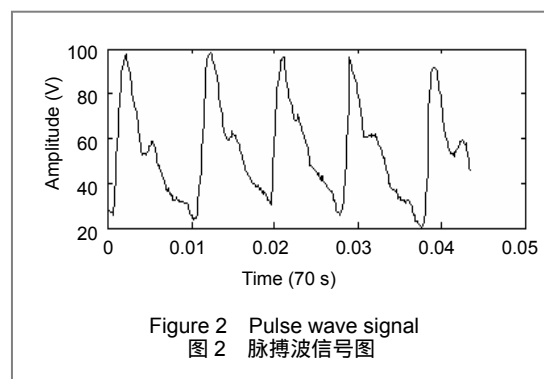
无线的方式出发^[6], 采用HK2000B+集成脉搏传感器采集脉搏波, 对其进行预处理后, 提取其时域和频域特征, 采用BT-SVM算法对平脉、弦脉、滑脉、细脉4种脉象进行分类^[7], 从而实现脉搏波无线采集以及脉象智能分类辨识的目的。

1 脉搏信号的采集及预处理

该脉搏采集系统的硬件包括信号采集传感器、信号处理模块(包括脉搏信号的滤波及放大)^[8]、A/D转换模块、无线收发模块、信号处理终端等。系统框图, 剪图见图1。

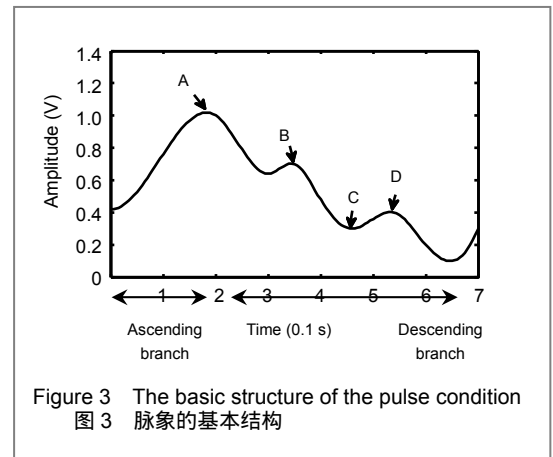


在本系统中采用HK2000B+集成脉搏传感器, 在传感器的输出端接上A/D转换及无线传输模块。采集到脉搏波后对其进行滤波等预处理后, 得到如图2所示的脉搏波形。

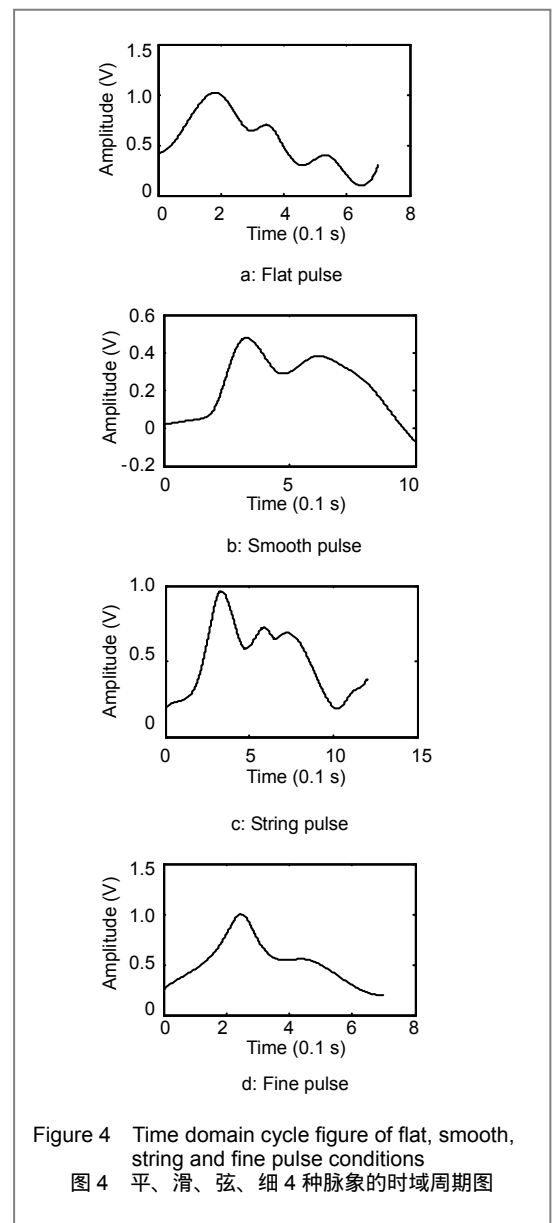


2 脉搏波信号的特征提取

脉象的基本结构如图3所示, 脉象主要由升支和降支组成^[9]。升支的顶点为A, 为主波幅度, 降支上有一个切迹称降中峡(峡底为点C), 主波和降中峡之间出现的为重搏前波(波峰为点B), 又称潮波, 紧邻降中峡出现的重搏波又称降中波(波峰为点D)^[10], 以上的波和峡构成了脉图的主要成分。



如图4所示为平、滑、弦、细4种脉象的时域周期波形^[11]。



在传统中医中, 对4种脉象的描述表述为^[12]: 平脉(又称常脉): 即健康人的脉象,

不浮不沉,不大不小,节律均匀,从容和缓,流利有力。

滑脉:按之流利,圆滑如按滚珠;主病痰饮,食滞及妇女有孕。弦脉:端直而长,挺然指下,如按琴弦,主肝胆病、痛证。细脉:脉按之细小如线,起落明显,主病虚证,多见于阴虚、血虚证,又主湿病。从4种脉象的时域周期图可以看出,它们的升支和降支有明显的差别,因而在时域中提取它们的升值率和降支率作为两个特征值;由于降支率为负值,因而取其绝对值方便计算;脉图面积是指单个周期内脉搏波形与时间轴所围成的面积^[13],由于4种脉象脉图面积也存在差异,因而再提取脉图面积为其中一个特征值。

但是中医学中许多脉象的脉搏信号时域波特点不明显,相似脉象较难鉴别。而且,同一种脉象不同人的波形也有差异,所以仅从时域周期波形判断,误差较大,所以为了提高4种脉象辨识的正确率,还需要提取频域内的谱能比作为它的又一个特征值^[14],用以表征能量随频率的分布。因为脉搏信号为弱电信号,频率最高不超过40 Hz,定义谱能比 $SER = \frac{E_s}{E}$ ^[15];其中E为信号0~40 Hz范围内的能量, X_1, X_2, X_3, X_4 为信号0~5 Hz范围内的能量。

将以上4个特征值分别标记为 ,从而得到4种脉象的特征值,见表1。

表 1 四种脉象的特征值
Table 1 Characteristic value of the four kinds of pulse condition

Pulse condition	Rate ascending branch of (χ^2)	Rate of descending branch (χ^2)	Pulse area (χ^2)	Spectral energy ratio (χ^2)
Flat pulse	0.310	0.142	3.512	0.984
Smooth pulse	0.143	0.074	4.126	0.955
String pulse	0.241	0.058	6.723	0.978
Fine pulse	0.502	0.278	5.234	0.964

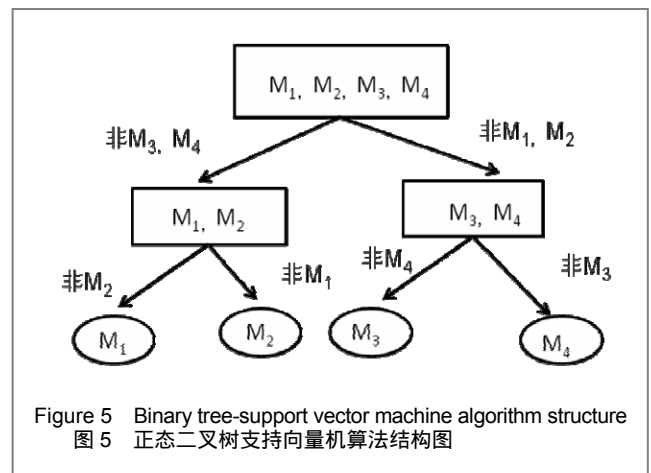
3 SVM算法用于脉象识别

随着现代信息技术的发展,智能化识别技术的应用越来越广泛。SVM作为智能识别的一种技术被广泛应用在分类问题中,具有良好的推广能力、极低的分类及逼近误差。它是建立在统计学习理论的VC 维理论和结构风险最小原理基础上的机器学习方法,其基本思想^[16]是通过某种非线性映射 $\Phi(\cdot)$ 将输入向量 X 映射到一个高维空间 Z (特征空间),然后在这个新的高维空间中构造最优分类超平面,从而实现类别的划分。

但是,SVM实际上构建的是一个两类分类器,不能直接用来解决多类分类问题。近年来国内外学者提出了很多种多类SVM分类算法,如成对分类1-v-1(one versus one)SVM算法,一类对余类1-v-R(one versus

rest)SVM算法等^[17],但是这些SVM算法都是利用标准的二次型优化技术来求得最优解^[18],这就导致了一些问题的出现,包括训练算法速度慢、算法复杂而难以实现以及检测阶段运算量大等。

为了克服以上问题,本文采用了BT-SVM算法来对采集到的脉象样本进行分类,在降低计算的复杂度和提高分类速率方面取得了很好的效果。算法的基本思想是:首先将原始样本从顶部的根节点开始,构造两类分类器,将原始样本平分为两个子类,然后再将每个子类平均划分为两个次级子类,依此类推,直到得到一个独立的类别为止。将平、滑、弦、细脉4种脉象标记为 M_1, M_2, M_3, M_4 ,这样就得到BT-SVM的分类模型,见图5。



在SNM算法中一个最重要的步骤就是核函数的选取^[19],目前比较常用的核函数有以下几个:

线性核函数: $K(x_i, y_i) = x_i, y_i$

多项式核函数: $K(x_i, y_i) = (x_i, y_i + 1)^d$

径向基(RBF)核函数: $K(x_i, y_i) = \exp(-\gamma \|x_i - y_i\|^2)$

Sigmoid 核函数: $K(x_i, y_i) = \tanh[c(x_i, y_i)] + b$

在这4种核函数中RBF函数的应用最为广泛,且它具有较宽的收敛域,因此本文选择RBF函数为改进的SVM算法的核函数。以第二节提取的4个特征参数归一化后作为输入向量^[20],选择模型的惩罚参数C和径向基函数 γ 分别为0.5和2,选择4种脉象的脉搏信号各20例作为训练样本,用其求得最优分类平面,然后对其余的80例样本进行测试实验。

4 结果分析

文中所用的样本的来源由前面所设计的无线脉搏检测仪采集所得。采集对象均为四川大学电气信息学院的自愿者,在采集过程中,由成都体育学院运动医

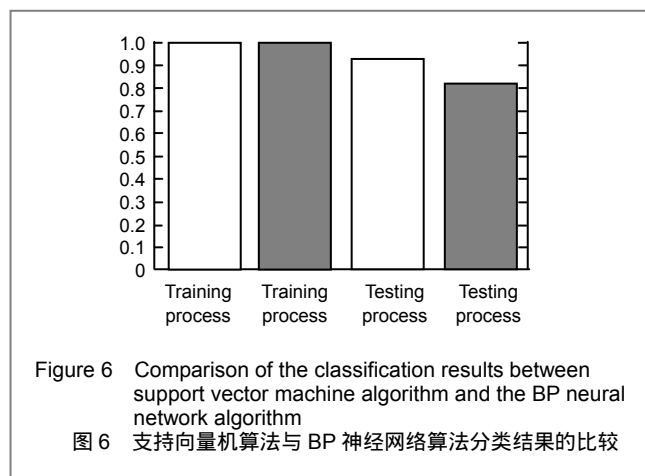
学系的李良刚教授对采集对象的脉象进行选择, 对80例未训练过的脉象样本进行测试实验分类识别的结果, 见表2。

表 2 脉象识别分类结果 Table 2 Identification and classification results of the pulse condition			
Pulse condition	Number of tested samples	Number of correctly identified Samples (%)	Correct rate
Flat pulse (M ₁)	20	19	95.00
Smooth pulse (M ₂)	20	18	90.00
String pulse (M ₃)	20	19	95.00
Fine pulse (M ₄)	20	18	90.00
Total	80	74	92.50

最后, 为了对本文中应用的BT-SVM算法的计算复杂度、分类速度及分类精度也进行评估, 进行了如下操作: 首先评价其在计算复杂度及分类精度方面的优势, 将其与一对一、一对多两类典型的SVM多分类算法+比较, 结果见表3。

表 3 正态二叉树支持向量机算法性能评价 Table 3 Performance evaluation of BT-SVM algorithm			
Item	One-on-one SVM	One-to-many SVM	BT-SVM
Required number for classification device	6	4	2
Computing number of kernel function	3	4	2
BT-SVM: binary tree-support vector machine			

然后将BT-SVM多分类算法和BP神经网络的分类结果进行了比较, 结果见图6。



从以上的比较中可以看出BT-SVM算法对脉象的分

类识别在识别速度、计算复杂度以及分类精度上有一定的优势^[21], 因而有一定的发展前景。

5 讨论

通过无线收发模块采集脉搏信号, 使患者有了较大活动空间, 医生可以随时监护患者的脉搏信息, 做到实时诊断病情, 节约医疗资源, 提高监控有效性。然后应用BT-SVM算法对采集到的脉搏波实现了脉象的分类识别, 对于推动脉象识别的智能化有重大和广泛的应用价值。

在以后的研究中可以通过倡导建立一个具有相当权威性和代表性的脉搏信号专家数据库, 利用SVM等神经网络的学习能力可直接进行脉象的众多样本的学习, 来不断丰富扩充它的分类识别能力。为今后的实际应用探索一种有效的提取脉搏波信号特征参数的方法以及公认的分析分类指标, 进而为心血管疾病诊断和其他生理指标的判断提供科学的依据。本文提出了一种脉象智能化检测和识别实现的方法, 为传统中医的发展提供了新的研究方法。

致谢: 首先感谢刘奇老师及黄华老师在课题研究过程中对我提出的宝贵意见及无私的帮助, 其次感谢在实验设计中实验室师兄师姐及同学给我支持、鼓励及帮助。

6 参考文献

- [1] Yang L, Wang RX. Zhongguo Keji Lunwen Zaixian. 2011;6(1): 49-53.
杨凌, 王汝旭. 基于LabVIEW 的智能化中医脉象识别系统[J]. 中国科技论文在线, 2011, 6(1): 49-53.
- [2] Yang YH, Wu XM. Chuangan Jishu Xuebao. 2009;2(11): 1538-1541.
杨易华, 吴效明. 基于Zigbee技术的穿戴式脉搏波检测模块的研制[J]. 传感技术学报, 2009, 2(11): 1538-1541.
- [3] Wang F, Wu XM. Yiliao Weisheng Zhuangbei. 2009;30(6): 21-23.
王芳, 吴效明. 基于ZigBee的无线传输脉搏检测系统设计[J]. 医疗卫生装备, 2009, 30(6): 21-23.
- [4] Yang LJ. Dongbei Linye Daxue. 2006: 16-17.
杨丽娟. 脉象分析系统及神经网络识别脉象的研究[D]. 东北林业大学, 2006: 16-17.
- [5] Ma FY, Cui YL. Dianzi Celiang Jishu. 2011;34(3): 71-74.
麻美阳, 崔玉龙. 基于虚拟仪器的无线脉搏检测仪设计[J]. 电子测量技术, 2011, 34(3): 71-74.
- [6] Li YR, Ai J. Keji Qingbao Kaifa yu Jingji. 2008;18(11): 223-224.
李亚荣, 艾杰. 智能化无线遥控脉搏测试仪的设计[J]. 科技情报开发与经济, 2008, 18(11): 223-224.
- [7] Shi HF, Yang QH. Zhejiang Zhongyi Zazhi. 2010;45(11): 784-785.
史红斐, 杨其华. 弦、滑、细、涩脉象的脉搏信号识别分析[J]. 浙江中医杂志, 2010, 45(11): 784-785.
- [8] Wang F, Wu XM. Weijisuanji Xinxi. 2009;25(8): 61-62.
王芳, 吴效明. 基于LabVIEW 的人体脉搏波检测系统[J]. 微计算机信息, 2009, 25(8): 61-62.
- [9] Yang YL. Changchun Ligong Daxue Xuebao(Ziran Kexueban). 2010;33(4): 153-156.
杨玉兰. 压电式脉搏波检测系统的研究[J]. 长春理工大学学报: 自然科学版, 2010, 33(4): 153-156.
- [10] Qi SM, Du L. Shandong Jianzhu Daxue Xuebao. 2010;25(1): 51-53.
齐淑敏, 杜丽. 基于Matlab的脉搏信号参数提取[J]. 山东建筑大学学报, 2010, 25(1): 51-53.
- [11] Yu L, Liu J. Yiliao Shebei Xinxi. 2007;22(5): 10-13.
于璐, 柳军. 虚拟仪器在脉象采集分析系统中的应用[J]. 医疗设备信息, 2007, 22(5): 10-13.

- [12] Chen RZ, Zhou HB. Yanjiu Lunzhu. Yanjiu Lunzhu. 2009;24(4):20-22.
陈若珠,周红标.基于LabVIEW的脉搏信号检测与分析系统的设计[J].研究论著,2009,24(4):20-22.
- [13] Zhang WB, Qi SM. Shandong Jianzhu Daxue Xuebao. 2010;25(1):419-422.
张蔚波,齐淑敏.基于频域分析的脉搏波信号研究[J].山东建筑大学学报,2010,25(1):419-422.
- [14] Tang MY, Li K. Jisunji Yu Xiandaihua. 2010;17(4):15-17.
唐铭一,李凯.脉搏波信号时域特征提取与算法的研究[J].计算机与现代化,2010,17(4):15-17.
- [15] Sun ZM, Guo JY, Liu J, et al. Nami Jishu yu Jingmi Gongcheng. 2010;8(1):70-74.
苏子美,郭建英,刘瑾,等.脉搏波的频域特征提取与自动识别技术[J].纳米技术与精密工程,2010,8(1):70-74.
- [16] Deng NY, Tian YJ. Beijing: Science Press. 2009:193-196.
邓乃扬,田英杰.支持向量机——理论、算法与拓展[M].北京:科学出版社,2009:193-196.
- [17] Xin XH. Xinx Gongcheng Daxue. 2005:33-34.
辛宪会.支持向量机理论、算法与实现[D].信息工程大学,2005:33-34.
- [18] Wang XF. Chongqing Jiaotong Daxue Xuebao(Ziran Kexueban). 2009;28(5):973-975.
王晓锋.一种改进的有向无环图支持向量机分类算法[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2009,28(5):973-975.
- [19] Chen RY, Jiang JF. Jisuanji yu Zidonghua. 2006;25(1):103-105.
陈荣元,蒋加伏.基于聚类算法和层次支持向量机的人脸识别方法[J].计算技术与自动化,2006,25(1):103-105.
- [20] Li PC, Xu SH. Jisuanji Gongcheng yu Sheji. 2005;26(2):302-304.
李盼池,许少华.支持向量机在模式识别中的核函数特性分析[J].计算机工程与设计,2005,26(2):302-304.
- [21] Wu B, Yu YZ. Jiaozuo Daxue Xuebao. 2008;1(1):82-84.
吴彬,于亚征.基于正态层次支持向量机的多分类研究[J].焦作大学学报,2008,1(1):82-84.

来自本文课题的更多信息--

作者贡献:在课题研究中,雷勇老师对实验的设计提出了宝贵的意见并对文章进行审校,曹晓燕完成了资料的收集,实验设计并进行实施,并完成论文的写作,对文章负责;李良刚老师对实验进行了评估。

利益冲突:课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

伦理要求:因在实验采集过程中对人体没有伤害,而且都是采用的自愿参加原则,故没有申请伦理委员会批注。

本文创新性:通过无线收发模块采集脉搏信号,使患者有了较大活动空间,医生可随时监护患者的脉搏信息,做到实时诊断病情,提高监控有效性。应用正态二叉树支持向量机算法对采集到的脉搏波实现了脉象的分类识别,对于推动脉象识别的智能化有重大和广泛的应用价值。在以后的研究中可通过倡导建立一个具有相当权威性和代表性的脉搏信号专家数据库,利用支持向量机等神经网络的学习能力可直接进行脉象的众多样本的学习,来不断丰富扩充其分类识别能力。为今后的实际应用探索一种有效的提取脉搏波信号特征参数的方法以及公认的分析分类指标,进而为心血管疾病诊断和其他生理指标的判断提供科学的依据。



ISSN 1673-8225 CN 21-1581/R 2012 年版权归《中国组织工程研究》杂志社所有

SCI 收录的《中国神经再生研究(英文版)》杂志国际投稿服务①

特色优质服务项目:文章的翻译和语言润色及参考文献的核准服务。

① 服务对象:

医学基础学科:生物学、酶学、细胞生物学、生理学、发育生物学、遗传学、放射生物学、分子生物学、生态学、神经生物学、微生物学、病毒学、基因工程、细胞工程、蛋白质工程、酶工程、微生物工程、生物技术、心理学。

基础医学学科:医学生物化学、人体解剖学、医学细胞生物学、人体生理学、人体组织胚胎学、医学遗传学、放射医学、人体免疫学、医学寄生虫学、医学微生物学及病毒学、病理学、药理学、医学实验生物学、医学心理学、医学统计学、生物医学工程学、基础医学其他学科。

临床医学学科:临床诊断学、保健医学、病理学、麻醉学、内科学、外科学、妇产科学、儿科学、眼科学、耳鼻咽喉科学、口腔医学、皮肤病学、性医学、神经病学、精神病学、急诊医学、核医学、肿瘤学、护理学、临床医学其他学科、预防医学与卫生学、药理学、民族医学、中医学、中药学、中西医结合医学、中医学与中药学其他学科。

② 保证语言润色的专家是母语为英语国家的学科专家与语言专家:每篇稿件由2位以上专家共同修改2遍。

③ 在语言润色的同时,有外国优秀学科专家对稿件提出学术意见:作者认真修改后将有利于稿件被期刊的接受。

④ 单做语言润色不仅质量高,而且时间快:如果您是在投稿后修稿阶段进行语言润色,学科专家和语言专家的润色时间可在15天内完成。

⑤ 保证语言润色后稿件为地道英语:润色后稿件如您未进行修改变更内容,国际杂志提出语言问题,可保证免费重修。

自我认定真正有创新意义的稿件,向哪类SCI收录期刊投稿好?

同行瞄准的几本优秀期刊→因投稿人数多,被采用的机率仍然较小。

交叉学科高影响因子的期刊→有可能性,需分析该刊具体情况,我们的服务可提供高质量的客观分析报告。

开放获取新型期刊→需作者付费金额较高,但对提高文章即年影响因子及文章显示度很有好处。如不太了解此类期刊种类,我们的服务可提供您需要的您满意的客观数据分析。

第一种层面的服务:

1、对有向SCI优秀杂志投稿经验的作者,可提供的服务项目有:

服务项目1:高质量的稿件语言润色及参考

文献核准服务:

有国外学科专家和语言专家共同修饰稿件语言,保证稿件语言润色后为地道英语。

服务项目2:可为投稿作者提供本专业领域SCI收录期刊及相关期刊的数据分析:

提供可提高稿件被引率的分析意见,提供向影响因子较高杂志投稿的可行性建议!

提供的服务参考意见:

有向SCI收录优秀杂志投稿经验的作者:可选择翻译服务。

但一定要提供:英文关键词,英文专业术语,文中缩略语全文。

如时间紧时→尽量以英文文章进入润色过程。

稿件何时润色好?选定投稿目标期刊,并按目标期刊要求修改格式规范后润色?

如时间允许→此时进行润色,对稿件进入初审状态很有帮助。

(我们可提供选刊和修改格式服务)

完稿后即润色?

这时润色,在以后修稿中常会出现很多改动,到投稿时可能需要再润色。

投稿后按编辑要求修改时润色?

投稿命中把握率大的文章可在此时进行,此时的关键是要快,在期刊规定的时间内完成。

(我们可提供高质量短时效的润色服务)

2、对有向SCI收录优秀杂志投稿经验,有优秀科研能力,有国家级多项基金资助项目的团队,可提供的服务项目有: