



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108577883 A

(43)申请公布日 2018. 09. 28

(21)申请号 201810286359.8

(22)申请日 2018.04.03

(71)申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 涂圣贤 黄鹏 李莹光 张素

(74)专利代理机构 北京迎硕知识产权代理事务
所(普通合伙) 11512

代理人 吕良 张群峰

(51)Int.Cl.

A61B 7/04(2006.01)

A61B 5/0205(2006.01)

A61B 5/0402(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

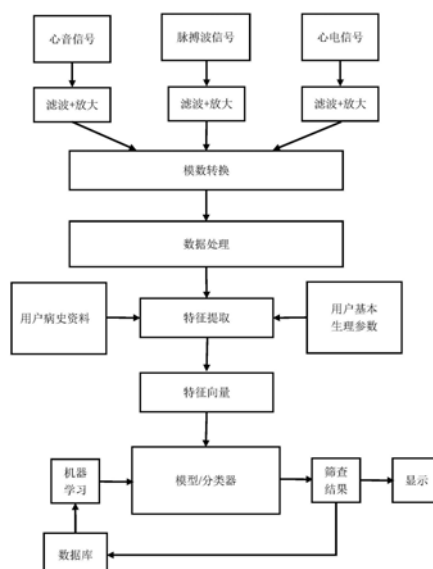
权利要求书3页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

一种冠心病筛查装置、筛查系统以及信号特征提取方法

(57)摘要

一种冠心病筛查装置,包括:拾音器,用于获取心音信号;脉搏波传感器,用于获取脉搏波信号;心电传感器,用于获取心电信号;微处理器,连接拾音器、脉搏波传感器和心电传感器的输出端,获取心音信号、脉搏波信号和心电信号。将从心音、脉搏波和心电数据中获取的特征与用户病史资料和用户基本生理参数进行结合,获得特征向量。将特征向量输入筛查模型,获得筛查结果,筛查模型基于径向基函数(RBF)神经网络。



1. 一种冠心病筛查装置,其特征在于,所述筛查装置包括:
拾音器,用于获取心音信号;
脉搏波传感器,用于获取脉搏波信号;
心电传感器,用于获取心电信号;
微处理器,连接拾音器、脉搏波传感器和心电传感器的输出端,获取心音信号、脉搏波信号和心电信号,微处理器对这三种信号进行处理和分析后,给出冠心病的筛查结果。
2. 根据权利要求1所述的冠心病筛查装置,其特征在于,所述筛查装置还包括模数转换器,所述拾音器、脉搏波传感器和心电传感器的输出端分别经由滤波器、放大器的处理接入所述微处理器的输入端;
优选的,所述拾音器、脉搏波传感器和心电传感器的输出端分别经由滤波器、放大器的处理后,再经过模数转换器后接入所述微处理器的输入端。
3. 根据权利要求1所述的冠心病筛查装置,其特征在于,所述筛查装置还包括无线通讯模块,该模块用于通信连接远程服务器和/或PC机,用于将筛查数据或筛查结果发送至远程服务器,或者同时接收PC机给所述筛查装置的控制指令。
4. 根据权利要求2所述的冠心病筛查装置,其特征在于,所述筛查装置具有存储器,
微处理器被配置为执行存储在内置存储器中的指令或执行与微处理器连接的存储器中的指令,微处理器执行的操作包括:
对从拾音器、脉搏波传感器和心电传感器获取的信号进行数据预处理;
将心音、脉搏波和心电数据结合用户病史资料和基本生理参数进行特征提取,获得特征向量;
将所述特征向量输入基于径向基函数神经网络的筛查模型,获得筛查结果。
5. 根据权利要求4所述的冠心病筛查装置,其特征在于,若在得到筛查结果后又进行了冠状动脉造影检查,则将冠状动脉造影检查作为对于筛查结果的验证上传数据库,加入训练样本集,通过机器学习过程,进一步优化筛查模型参数,提高筛查模型对冠心病筛查的准确度。
6. 根据权利要求4所述的冠心病筛查装置,其特征在于,所述的对从拾音器、脉搏波传感器和心电传感器获取的信号进行的预处理包括:
对获取的心音信号进行分割处理、频谱分析和小波变换;
计算踝肱脉搏波速度(baPWV)和踝肱指数(ABI);
计算心电信号的ST段电平和QRS波群宽度。
7. 根据权利要求6所述的冠心病筛查装置,其特征在于,所述筛查模型的建立方法包括:
(1) 对训练样本特征的确定,具体包括:
对于心电信号,需要确定其ST段电平和QRS波群宽度,
对于心音信号,需要确定其频谱质心、频谱滚降点及通过小波变换得到的5个频率区间的舒张期能量与整个心动周期能量的比值,
对于脉搏波信号,需要确定踝肱脉搏波传导速度(baPWV)和踝肱指数(ABI),
优选的,训练样本特征还包括:
采集基本生理参数,该基本生理参数包括:与血液检测指标有关的空腹血糖、甘油三

酯、总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、脂蛋白 α 、糖化血红蛋白以及用户的年龄、性别或身体质量指数(BMI)的其中一种或任意组合,

优选的,训练样本特征还包括病史类型参数,病史类型参数包括:冠心病史、糖尿病史、吸烟史、饮酒史、高血脂症史、PCI手术史或心脏旁路移植手术史的其中一种或任意组合;

(2)挑选一批具有代表性的病情各异的冠心病患者和正常人的数据组成训练样本,由医生根据训练样本的冠脉造影图像对每个训练样本进行SYNTAX评分,该评分用于表征样本的冠状动脉的狭窄程度;

(3)使用训练样本,构建基于径向基函数(RBF)神经网络的筛查模型,

优选的,采用最近邻聚类学习算法,构建所述筛查模型。

8.一种冠心病筛查系统,其特征在于,所述筛查系统包括:

拾音器,用于获取心音信号;

脉搏波传感器,用于获取脉搏波信号;

心电传感器,用于获取心电信号;

存储器,以及与其耦合的处理器;

处理器,被配置为执行以下操作指令:

获取来自拾音器的心音信号、来自脉搏波传感器的脉搏波信号和来自心电传感器的心电信号;

对获取的心音信号进行分割处理、频谱分析和小波变换;

计算踝肱脉搏波速度(baPWV)和踝肱指数(ABI);

计算心电信号的ST段电平和QRS波群宽度;

将从心音、脉搏波和心电数据中提取的特征与用户病史资料和基本生理参数结合,组成特征向量;

构建训练样本,采用最近邻聚类算法构建基于径向基函数神经网络的冠心病筛查模型;

将所述特征向量输入筛查模型,获得筛查结果;

将所述对该筛查结果的验证结果上传数据库,并加入训练样本集,继续对径向基函数神经网络进行训练优化。

9.根据权利要求8所述的冠心病筛查系统,其特征在于,对训练样本特征的确定,包括:

对于心电信号,需要确定其ST段电平和QRS波群宽度;

对于心音信号,需要确定其频谱质心、频谱滚降点和通过小波变换得到的5个频率区间的舒张期能量与整个心动周期能量的比值;

对于脉搏波信号,需要计算踝肱脉搏波传导速度(baPWV)和踝肱指数(ABI);

采集基本生理参数,基本生理参数包括:与血液检测指标有关的空腹血糖、甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、脂蛋白 α 、糖化血红蛋白以及用户的年龄、性别或身体质量指数(BMI)的一种或任意组合;

获取病史类型参数,病史类型参数包括:冠心病史、糖尿病史、吸烟史、饮酒史、高血脂症史、PCI手术史、心脏旁路移植手术史中的一种或任意组合。

10.一种信号特征提取方法,其特征在于,所述信号包括获取的心电信号、心音信号和脉搏波信号,对信号特征的提取方法包括以下步骤:

对于心电信号,确定其ST段电平和QRS波群宽度;

对于心音信号,确定其频谱质心、频谱滚降点及通过小波变换得到的5个频率区间的舒张期能量与整个心动周期能量的比值;

对于脉搏波信号,确定踝肱脉搏波传导速度(baPWV)和踝肱指数(ABI)。

一种冠心病筛查装置、筛查系统以及信号特征提取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及冠心病筛查设备技术领域,特别涉及一种冠心病筛查装置、筛查系统以及信号特征提取方法。

背景技术

[0002] 冠状动脉疾病(Coronary Artery Disease,缩写为CAD,简称冠心病)是全球致死率最高的疾病之一。冠心病的基本病理过程是冠脉血管壁的增厚、变硬以及斑块的沉积(包括脂肪、胆固醇、纤维等),即冠状动脉粥样硬化。斑块的沉积会使血管壁变窄,从而限制冠脉将富氧的血液输送至心肌。心肌供血不足可能会引发胸痛、心肌梗死、心力衰竭或者心率不齐。相当一部分病人在猝死前并没有任何明显的症状,因此对于冠心病的早期筛查尤为重要。

[0003] 目前用于冠心病的检测的方法有许多,其中冠状动脉造影是公认的“金标准”。但由于冠状动脉造影需要用导管将造影剂送入冠脉,对医疗机构的设备和医疗工作者的技术有很高的要求,而且冠状动脉造影价格昂贵,对病患带来创伤,因此很难将该技术普及。因此,开发一种非侵入式、操作简便且价格低廉的冠心病筛查方法是很有必要的。

[0004] 专利文献CN103841882A,公开了“一种用于检测冠状动脉疾病的系统,其包括检测装置,所述检测装置包括:检测装置本体,至少一个连接至所述检测装置本体的传感器,存储器,控制器,其配置为指令所述至少一个传感器进行数据采样并且将采样数据存储在所述存储器中,和接触部,其配置为接触患者;以及识别元件,所述识别元件包括至少一个与所述患者身上的数据获取位置相对应的识别区域,所述至少一个识别区域配置为与所述接触位置连接,其中所述系统配置为根据在所述与至少一个识别区域相关联的所述数据获取位置由所述至少一个传感器采样的数据判定是否存在冠状动脉疾病”,该技术方案仅仅考虑了心音检测在非侵入式冠心病筛查领域的应用,由于心音检测固有的缺陷,筛查准确率不高,使用效果并不理想。

[0005] 然而,在现有的身体健康普查中,除了心音,脉搏波和心电信号也是可能涉及的检测项目。其中,

[0006] 脉搏波是心脏的搏动沿着动脉血管和血流传播形成的,脉搏波传导速度是指脉搏波在单位时间内沿动脉壁传导的距离,主要和传输介质的物理与几何性质有关。当动脉血管的弹性降低(硬度增加)时,脉搏波的传导速度增加。动脉血管的主要功能是输送血液和缓冲血液,其中弹性血管在缓冲血液和抑制压力振荡方面起主导作用,并将搏动的血流转换为稳定的血流输送至全身,防止心脏收缩产生的机械应力对动脉血管壁和微血管造成损伤。研究表明,测量脉搏波传导速度可以评估动脉硬化程度,并间接反映冠脉的血流供应情况。此外,粥样硬化往往并非局部病变,患有主动脉粥样硬化的患者往往其冠脉也可能存在粥样硬化病变。因此,脉搏波传导速度与冠状动脉狭窄之间存在相关性,其可以作为筛查冠心病的一个指标。

[0007] 心电信号反映的是心脏在每个心动周期中,由起搏点、心房、心室相继兴奋,并伴

随有心肌细胞膜电位的变化。临床上,心电波形的变化可以反映心脏的功能异常。例如心肌梗塞病人的心电波形有较长的QT间期和异常的高幅值T波,而心内膜心肌缺血和大面积缺血病人的ST段的幅值则分别低于和高于正常人。QT间期是心电图波段中,心室除极到完全复极的时间。T波在心电图波段中表示心室复极化。ST段在心电图波段中表示心室除极完成。

[0008] 由于心电波形中夹杂有许多噪声,并且异常波形的出现没有规律,因此仅凭肉眼很难对冠心病做出诊断。目前已经有研究将机器学习用于ECG信号的分析。此外,心电信号还可以用于校正脉搏波的波形。

[0009] 本文中的关于心音信号的分割参考了文献Segmentation of heart sound recordings by a duration-dependent hidden Markov model.Physiological Measurement,2010.31(4):p.513-529.

[0010] 本文中关于心电信号的处理参考了以下文献:

[0011] 熊敏and刘雄飞,基于多孔算法的心电图QRS波检测.计算机仿真,2011.28(12):p.244-248.

[0012] Illanes-Manriquez,A.and Q.Zhang.An algorithm for robust detection of QRS onset and offset in ECG signals.in Computers in Cardiology.2013.

[0013] 芦继来and胡广书,基于小波变换的运动心电ST段检测方法.北京生物医学工程,2005.24(5):p.329-332.

发明内容

[0014] 本发明的实施例公开了一种冠心病筛查装置、筛查系统以及信号特征提取方法,目的在于解决现有的冠心病筛查系统准确率偏低的问题。

[0015] 一个实施例中,一种冠心病筛查装置,所述筛查装置包括:拾音器,用于获取心音信号。脉搏波传感器,用于获取脉搏波信号。心电传感器,用于获取心电信号。微处理器,连接拾音器、脉搏波传感器和心电传感器的输出端,获取心音信号、脉搏波信号和心电信号,经过分析判断,给出冠心病的筛查结果。筛查诊断装置还包括与微处理器连接的存储器,该存储器用于存储程序指令、用于诊断的原始数据和/或筛查诊断结果。

[0016] 另一实施例中,一种冠心病筛查系统,包括:拾音器,用于获取心音信号;脉搏波传感器,用于获取脉搏波信号;心电传感器,用于获取心电信号;存储器以及处理器。处理器执行操作包括:获取拾音器的心音信号、脉搏波传感器的脉搏波信号和心电传感器的心电信号。将从心音、脉搏波和心电数据中获取的特征与用户病史资料 and 用户基本生理参数进行结合,获得特征向量。将所述特征向量输入诊断模型,获得筛查结果。诊断模型基于径向基函数(RBF)神经网络。将所述的筛查结果以及对该筛查诊断结果的验证结果存入数据库,并且作为训练样本,采用最近邻聚类学习算法,构建径向基函数(RBF)神经网络。

[0017] 又一个实施例中,一种信号特征提取方法,所述信号包括获取的心电信号、心音信号和脉搏波信号,对信号特征的提取方法包括以下步骤:

[0018] 对于心电信号,确定其ST段电平和QRS波群宽度;

[0019] 对于心音信号,确定其频谱质心、频谱滚降点及通过小波变换得到的5个频率区间的舒张期能量与整个心动周期能量的比值;

- [0020] 对于脉搏波信号,确定踝肱脉搏波传导速度(baPWV)和踝肱指数(ABI)。
- [0021] 本发明的有益效果包括:
- [0022] 1.通过对病患的心音、脉搏波和心电信号三者的结合采集和分析,提高了冠心病筛查的准确性。
- [0023] 2.通过进一步综合考虑病患的生理指标,提高冠心病筛查的准确度。
- [0024] 3.通过建立病患的冠心病筛查模型,利用海量的训练样本,提高了冠心病筛查的智能化程度。
- [0025] 4.通过引入径向基函数(RBF)神经网络,采用深度学习技术,不断优化冠心病的筛查模型的准确度,达到了接近冠脉造影的判断水平。

附图说明

- [0026] 通过参考附图阅读下文的详细描述,本发明示例性实施方式的上述以及其他目的、特征和优点将变得易于理解。在附图中,以示例性而非限制性的方式示出了本发明的若干实施方式,其中:
- [0027] 图1本发明实施例中冠脉疾病筛查的基本流程图。
- [0028] 图2本发明实施例中冠心病筛查装置的基本结构图。
- [0029] 图3本发明实施例中RBF神经网络结构示意图。

具体实施方式

- [0030] 根据一个或多个实施例,如图2所示,一种冠心病筛查装置,该装置包括:用于获取心音信号的拾音器,用于获取脉搏波信号的脉搏波传感器,和用于获取心电信号的心电传感器。还包括微处理器,连接拾音器、脉搏波传感器和心电传感器的输出端,获取心音信号、脉搏波信号和心电信号,经过信号处理与机器学习,给出冠心病的筛查结果。
- [0031] 根据一个或多个实施例,拾音器、脉搏波传感器和心电传感器的输出端分别经由滤波器和放大器的处理接入所述微处理器的输入端。筛查装置还包括与微处理器连接的存储器,该存储器用于存储程序指令、用于诊断的原始数据和/或筛查结果。筛查装置还包括显示器,该显示器用于显示拾音器、脉搏波传感器和心电传感器的实时信号,以及冠心病筛查结果。根据一个或多个实施例,存储器包括计算机可读记录/存储介质,如随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、闪存存储器、光盘、磁盘、固态硬盘等等。
- [0032] 根据一个或多个实施例,所述筛查装置还包括无线通讯模块,该模块用于通信连接远程服务器和/或PC机,用于将诊断数据或筛查结果发送至远程服务器,或者同时接收PC机给所述筛查装置的控制指令。
- [0033] 根据一个或多个实施例,拾音器、脉搏波传感器和心电传感器的输出端分别经由滤波器、放大器和模数转换器的处理接入所述微处理器的输入端。
- [0034] 根据一个或多个实施例,如图1所示,微处理器被配置为执行存储在存储器中的指令或执行与微处理器连接的存储器中的指令,微处理器执行的操作包括:
- [0035] 对从拾音器、脉搏波传感器和心电传感器获取的信号进行数据分析和处理;
- [0036] 将心音、脉搏波和心电数据结合用户病史资料 and 用户基本生理参数进行特征提取,获得特征向量;

- [0037] 将所述特征向量输入筛查模型,获得筛查结果。
- [0038] 其中,所述的对从拾音器、脉搏波传感器和心电传感器获取的信号进行数 据分析和处理包括:
- [0039] 对获取的心音信号进行分割处理、频谱分析和小波变换;
- [0040] 计算踝肱脉搏波速度(baPWV)和踝肱指数(ABI);
- [0041] 计算心电信号的ST段电平和QRS波群宽度。
- [0042] 将所述的对该筛查结果的验证结果上传数据库,并加入训练样本集,反复 训练神经网络,进一步提高模型对冠心病还筛查的准确度。
- [0043] 根据一个或多个实施例,所述筛查模型的建立方法包括:
- [0044] 对样本特征的确定,具体有:
- [0045] 对于心电信号,需要确定ST段电平和QRS波群宽度,
- [0046] 对于心音信号,需要确定其频谱质心、频谱滚降点及通过小波变换得到 的5个频率区间的舒张期功率与整个心动周期能量的比值。
- [0047] 对于脉搏波信号,需要确定踝肱脉搏波传导速度(baPWV)和踝肱指 数(ABI),
- [0048] 基本生理参数包括与血液检测指标有关的空腹血糖、甘油三酯、总胆固 醇、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、脂蛋白 α ,糖化血红蛋 白、以及用户的年龄、性别和/或BMI指数中的一种或任意组合。
- [0049] 病史类型参数包括:冠心病史、高血压史、糖尿病史、吸烟史、饮酒 史、高血脂症史、PCI手术史、心脏旁路移植手术史中的一种或者任意组合。
- [0050] 挑选一批具有代表性的数据(包括病情各异的冠心病患者和正常人)组成 训练样本,由经验丰富的医生根据训练样本的冠脉造影图像对每个训练样本进 行SYNTAX评分,该评分用于表征样本的冠状动脉的狭窄程度使用训练样本,
- [0051] 采用最近邻聚类学习算法,构建径向基函数(RBF)神经网络。
- [0052] 以下,对于该实施例中利用径向基函数神经网络筛查冠心病的方法具体描 述。
- [0053] 1、特征向量的筛选包括
- [0054] 1.1心电信号的特征提取
- [0055] 1.1.1 QRS波群宽度检测
- [0056] 选取三次B样条小波作为基小波,运用其高阶导数对干扰信号进行平滑, 利用其特有的高阶平滑特性最大限度去除低频和高频干扰。
- [0057] 对信号进行三次B样条小波分解,共分为五个尺度,并在第三个尺度找到 所有的模极大值点,指定阈值区间,保留在阈值区间内的模极大值点。在模极 大值点中找出模极大值对,提取模极大值对的零点交叉点,并进行时移修正, 得到R波峰值点 t_p 。
- [0058] 从R波峰值点 t_p 向前300ms,向后200ms分别划定两个区间,在这两个区 间中分别检测QRS波群的起点和终点。下面以QRS波群终点的检测为例,QRS 波群起点的检测采用相同的步骤。
- [0059] ①对信号进行希尔伯特变换得到QRS波群的包络,用 $env(t)$ 表示;
- [0060] ②用一个滑动的矩形窗 R 在区间内移动,计算该窗与QRS包络相交的区间 内的面积 $A(t)$

$$[0061] \quad A(t) = \int_{t-W}^t [env(\tau) - env(t - \tau)] d\tau$$

[0062] 其中W为窗口的宽度

[0063] ③设定窗口的初始宽度为 W_0 ,即实际情况下QRS波群可能的最大宽度。移动该窗口并计算 $A(t)$,当 $A(t)$ 最大时的窗口最右端的位置记为 s_2 ;

[0064] ④设定窗口的实际宽度 $W = s_2 - t_p$ 。再次移动该窗口并计算 $A(t)$,记下当 $A(t)$ 值最大时的窗口最右端的位置,该点即为QRS波群的终点。

[0065] 将QRS波群的终点和起点的时间坐标相减,即可得到QRS波群的宽度,同一病人多个QRS波群宽度取平均值(单位:ms)。

[0066] 1.1.2 ST段幅值检测

[0067] 采用J+60/80方法确定ST段采样点位置。其中J点即为上文求得的QRS波群的终点,在心率小于120bpm时,采用J+80,即将J点后80ms处作为ST段的采样点;在心率大于120bpm时,采用J+60,即将J点后60ms处作为ST段的采样点。为了提高可靠性,将采样点前后各8ms的数据的平均值作为ST段的幅值,同一病人多个ST段幅值取平均值(单位:mV)。

[0068] 1.2心音信号特征提取,包括:

[0069] 1.2.1心音信号分割(基于持续时间依赖的隐马尔科夫模型)

[0070] 首先从样本中取出一部分作为模型训练样本,并将这些样本手动分割为四个区域:第一心音、静息收缩期、第二心音、静息舒张期,作为马尔科夫模型的四个状态。对这些分割好的信号片段进行带通滤波(25Hz,1000Hz)。求取第一心音和第二心音的包络。用包络的97百分位数对包络进行归一化以减少个体之间的差异。

[0071] 在传统的隐马尔科夫模型的基础上为每一个状态补充一个状态持续时间的概率分布函数 $P_j(d)$ 即产生了状态持续时间依赖的隐马尔科夫模型。

[0072] 利用训练样本得到模型的参数——状态转移概率矩阵、初始状态概率向量和四种状态关于持续时间的概率分布,然后用训练好的模型去处理未分割的心音信号。

[0073] 保存使下式最大化的持续时间d和上一状态i,之后用回溯算法得到隐式状态链,即每一个采样点从观测值分别属于哪个状态。

$$[0074] \quad \delta(j, i, d) = \delta_{t-d}(i) a_{ij} P_j(d) \prod_{s=0}^{d-1} b_j(O_{t-s})$$

[0075] 上式中, $\delta(j)$ 是指下一时刻从状态j转换到一个新的状态的概率, $\delta_{t-d}(i)$ 是指上一个状态i在时刻t-d结束的概率, a_{ij} 是从状态i转变为状态j的概率, $P_j(d)$ 是在状态中的关于状态j持续时间d的概率分布, $\prod_{s=0}^{d-1} b_j(O_{t-s})$ 是指从t-d到t这段时间内状态j产生可观测序列的概率。

[0076] 用上述的持续时间依赖的隐马尔科夫模型可以精确地将每个心音周期分为第一心音、第二心音、静息收缩期和静息舒张期四段。

[0077] 1.2.2频谱质心和频谱滚降点的计算

[0078] 在求取频谱质心和频谱滚降点前需要对信号进行快速傅里叶变换。

[0079] 求取频谱质心公式如下:

$$[0080] \quad SC = \frac{\sum_{k=1}^M X(k)}{\sum_{k=1}^M k * X(k)}$$

[0081] 其中, $X(k)$ 是对心音信号进行快速傅里叶变换后经求模运算得到的频谱序列, M 是该序列的样本点数量, 求取每个周期的频谱质心取平均值 (单位: Hz)。

[0082] 求取频谱滚降点公式如下:

$$[0083] \quad \sum_{k=1}^{f_c} X(k) = \sum_{k=1}^M X(k)$$

[0084] f_c 即为频谱滚降点, 求出同一病人多个周期的频谱滚降点取平均值, (单位: Hz)。

[0085] 1.2.3 利用小波变换得到不同频率区间的舒张期能量和整周期能量的比值

[0086] 小波积分变换公式如下:

$$[0087] \quad WT(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) * \varphi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt$$

[0088] 其中, $\varphi(t)$ 是基本小波, $f(t)$ 是信号。 a 是经变换后与频率有关的伸缩因子, 反比于频率; τ 是信号变换后与时间相关的位移因子。小波变换能够将不同频率成分的混合信号分解为不同频率块的信号, 这对于分析本身频率不高但包含有与疾病相关的高频成分的心音信号很有帮助。在这里采用中心三次B样条小波, 对信号 (采样频率 $f=4\text{kHz}$) 进行半周期离散小波变换, 当小波尺度为5时, 心音信号频域被分为6个区域, 分别是 1000-2000Hz, 500-1000Hz, 250-500Hz, 125-250Hz, 62.5-125Hz 和残余信号 0-62.5Hz。计算前5个频率段的舒张期能量与完整周期能量的比值 $Q1-Q5$, 同一病人多个周期的能量比值 ($Q1-Q5$) 分别取平均值, 该值无量纲单位。

[0089] 信号能量: $En = \sum_{k=1}^N |x[k]|^2$, 其中, N 是信号中的样本总数, $x[k]$ 是离散的信号序列。

[0090] 1.3 脉搏波信号特征提取

[0091] 1.3.1 踝肱脉搏波速度 (baPWV)

[0092] 在肱动脉脉搏波波形和胫后动脉脉搏波波形中各选择一个特征点, 利用相交切线算法计算这两个点之间的时间差即为脉搏波的传导时间 Δt 。在体表测量肱动脉处的测量点到胸骨上切迹间的距离记为 L_b , 在体表测量胫后动脉处的测量点到胸骨上切迹之间的距离记为 L_a 。踝肱脉搏波传导速度 $baPWV = \frac{L_a - L_b}{\Delta t}$, 求出左边的 $baPWV$ 和右边的 $baPWV$ 然后取平均值 (单位: cm/s)。

[0093] 1.3.2 踝肱指数 (ABI)

[0094] 用示波压力传感器测得肱动脉和胫后动脉的收缩压, 肱动脉收缩压取两侧测量值的高值, 并分别以左踝及右踝动脉的收缩压计算相应的左右两侧踝肱指数, 最后取左右两侧的ABI的低值作为该患者的ABI (无量纲单位)。

[0095] 1.4 用户的基本生理指标和病史

[0096] 1.4.1 基本生理指标

[0097] 用户在医院进行以下血液指标的检测, 包括: 空腹血糖 FPG (mmol/L)、甘油三酯 TG (mmol/L)、总胆固醇 TC (mmol/L)、高密度脂蛋白胆固醇 $HDL-C$ (mmol/L)、低密度脂蛋白胆固醇

醇LDL-C (mmol/L)、糖化血红蛋白HbA_{1c} (%) 和脂蛋白αLP (α) (g/L);在测量踝肱脉搏波时可同时获取病人的血压指标,包括:收缩压SBP (mmHg)、舒张压DBP (mmHg) 和平均动脉压MAP (mmHg) (MAP=(SBP+2*DBP)/3);通过问卷调查或者体格检查得到用户的其他指标,包括:年龄(岁)、BMI指数(kg/m²)和性别(男-1女-0)。

[0098] 1.4.2病史类型

[0099] 通过问卷调查或者调取患者个人就诊记录得到病人的病史资料,包括:

[0100] 冠心病家族史(是-1,否-0) 糖尿病(是-1,否-0)

[0101] 吸烟(是-1,否-0) 饮酒(是-1,否-0)

[0102] 高血脂(是-1,否-0) 经皮冠状动脉介入治疗史(是-1,否-0)

[0103] 心脏旁路移植手术史(是-1,否-0)。

[0104] 2、训练样本的生成

[0105] S Y N T A X积分是一种新的根据冠状动脉病变解剖特点进行危险分层的积分系统,根据病变位置和严重程度、分叉、钙化等解剖特点定量评价冠状动脉病变的复杂程度,以期指导治疗手段。SYNTAX积分将冠心病冠脉造影结果分为三类。轻度狭窄(0-22分)、中度狭窄(23-32分)、重度狭窄(≥33分)。

[0106] 挑选一批具有代表性的数据(包括病情各异的冠心病患者和正常人),组成训练样本,由经验丰富的医生根据训练样本的冠脉造影图像对每个训练样本进行SYNTAX评分作为样本的标签。

[0107] 3、筛查模型——径向基函数(RBF)神经网络

[0108] 3.1RBF神经网络简介

[0109] 径向基函数(radial basis function,RBF)神经网络是一种前馈式神经网络,具有最佳逼近和全局最优的性能,训练方法快速易行,且不存在局部最优的问题,具有广泛的应用。

[0110] RBF网络通过径向基函数将数据非线性映射到一个高维的线性空间,然后在高维空间用线性模型来做拟合或者回归。其网络结构如图3所示。该网络包括三层,第一层为输入层,共N个节点(即特征);第二层为隐藏层,共M个节点,每个节点都是一个激活函数,用于将输入层的数据非线性映射到高维空间;第三层为输出层,这里只输出一个值。在这里,RBF神经网络的输出便是SYNTAX积分的预测值,根据网络输出评估病人的冠状动脉病变的严重程度。径向基函数通常是高斯型的,如下所示:

$$[0111] \quad P_j = \exp\left\{-\frac{(x - c_j)^2}{2\sigma_j^2}\right\} \quad j=1,2,\dots,M$$

[0112] 其中, P_j 是隐藏层的第j个节点的输出, c_j 为第j个径向基函数的中心, x 是输入的特征向量、 σ_j 是隐藏层第j个节点的归一化参数。

[0113] 3.2 RBF网络的构建——最近邻聚类学习算法

[0114] 按照RBF中心选取方式的不同,RBF神经网络的学习算法大致可以分为随机选取中心、自组织选取中心、最近邻聚类法、有监督选取中心及正交最小二乘法等。而最近邻聚类学习法是一种在线自适应聚类学习方法,不需要事先确定隐藏层的节点数,完成聚类得到的RBF网络是最优的。该算法的具体步骤如下:

[0115] ①选取高斯函数宽度 r ,定义向量 $A(m)$ 保存各类别输出向量之和,定义变量 $B(m)$ 用于保存各类的样本个数, m 为类别数;

[0116] ②从第一个数据对 (x_1, y_1) 开始,将该数据作为第一个聚类中心,令 $c_1 = x_1, A(1) = y_1, B(1) = 1$ 。该隐藏层单元到输出层的权值为 $w_1 = \frac{A(1)}{B(1)}$ 。

[0117] ③考虑第二个数据对 (x_2, y_2) ,先求取 x_2 到 c_1 的距离即欧式范数 $|x_2 - c_1|$,若 $|x_2 - c_1| < r$,则 x_2 属于第一个聚类,令 $A(1) = y_1 + y_2, B(1) = 2, w_1 = \frac{A(1)}{B(1)}$ 。若 $|x_2 - c_1| > r$,则以 x_2 为中心 c_2 新建一个聚类,令 $A(1) = y_2, B(2) = 1, w_1 = \frac{A(2)}{B(2)}$ 。

[0118] ④考虑第 k 个数据对 (x_k, y_k) ,假设之前已经构建了 t 个聚类($t < k$),计算 x_k 到这 t 个聚类中心的距离 $d_i = |x_k - c_i|$ ($i = 1, 2, \dots, t$)。如果 d_i 的最小值小于 r ,则 x_k 属于该中心定义的聚类, $A(j) = A(j) + y_k, B(j) = B(j) + 1, w_j = \frac{A(j)}{B(j)}$;如果 $d_i > r$,则令 $c_{t+1} = x_k$,定义一个新的聚类。 $t = t + 1, A(j) = y_k, B(j) = 1, w_1 = \frac{A(t)}{B(t)}$ 。

[0119] ⑤对训练样本中每一个数据重复上述过程,即可构建RBF神经网络。最后网络的输出可以表示为:

$$[0120] \quad f(x_k) = \frac{\sum_{i=1}^M \omega_i \exp\left\{-\frac{(x_k - c_i)^2}{r^2}\right\}}{\sum_{i=1}^M \exp\left\{-\frac{(x_k - c_i)^2}{r^2}\right\}}$$

[0121] 3.3模型的使用与优化

[0122] 完成RBF网络的构建后,将从新患者的三种信号中提取的特征与该患者的基本生理指标及病史组成特征向量,将该特征向量输入筛查模型,即可得到一个SYNTAX评分的估计值,并在显示屏上给出相对应的建议。

[0123] 对于在筛查后又进行了冠脉造影的患者,可以将验证结果上传至远程服务器,扩充现有的训练样本集,对筛查模型的参数进行进一步优化,不断提高该模型对冠状动脉疾病预测的准确率。理论上,只要训练样本集足够大,则该模型的效果将逼近现有的诊断“金标准”——冠脉造影。

[0124] 根据一个或多个实施例,一种信号特征提取方法,所述信号包括从用户获取的心电信号、心音信号和脉搏波信号,对信号特征的提取方法包括以下步骤:

[0125] 对于心电信号,确定其ST段电平和QRS波群宽度;

[0126] 对于心音信号,确定其频谱质心、频谱滚降点及通过小波变换得到的5个频率区间的舒张期能量与整个心动周期能量的比值;

[0127] 对于脉搏波信号,确定踝肱脉搏波传导速度(baPWV)和踝肱指数(ABI)。

[0128] 将心电信号、心音信号和脉搏波信号特征提取后,将特征向量作为训练样本用于生成冠心病筛查模型。

[0129] 进一步的,还可以将基本生理参数和病史类型参数作为冠心病筛查模型的训练样本特征,例如,

[0130] 基本生理参数包括：与血液检测指标有关的空腹血糖、甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、脂蛋白 α ，糖化血红蛋白以及用户的年龄、性别或BMI指数的其中一种或任意组合；

[0131] 病史类型参数包括：冠心病史、糖尿病史、吸烟史、饮酒史、高血脂症史、PCI手术史或心脏旁路移植手术史的其中一种或任意组合。

[0132] 值得说明的是，虽然前述内容已经参考若干具体实施方式描述了本发明创造的精神和原理，但是应该理解，本发明并不限于所公开的具体实施方式，对各方面的划分也不意味着这些方面中的特征不能组合，这种划分仅是为了表述的方便。本发明旨在涵盖所附权利要求的精神和范围内所包括的各种修改和等同布置。

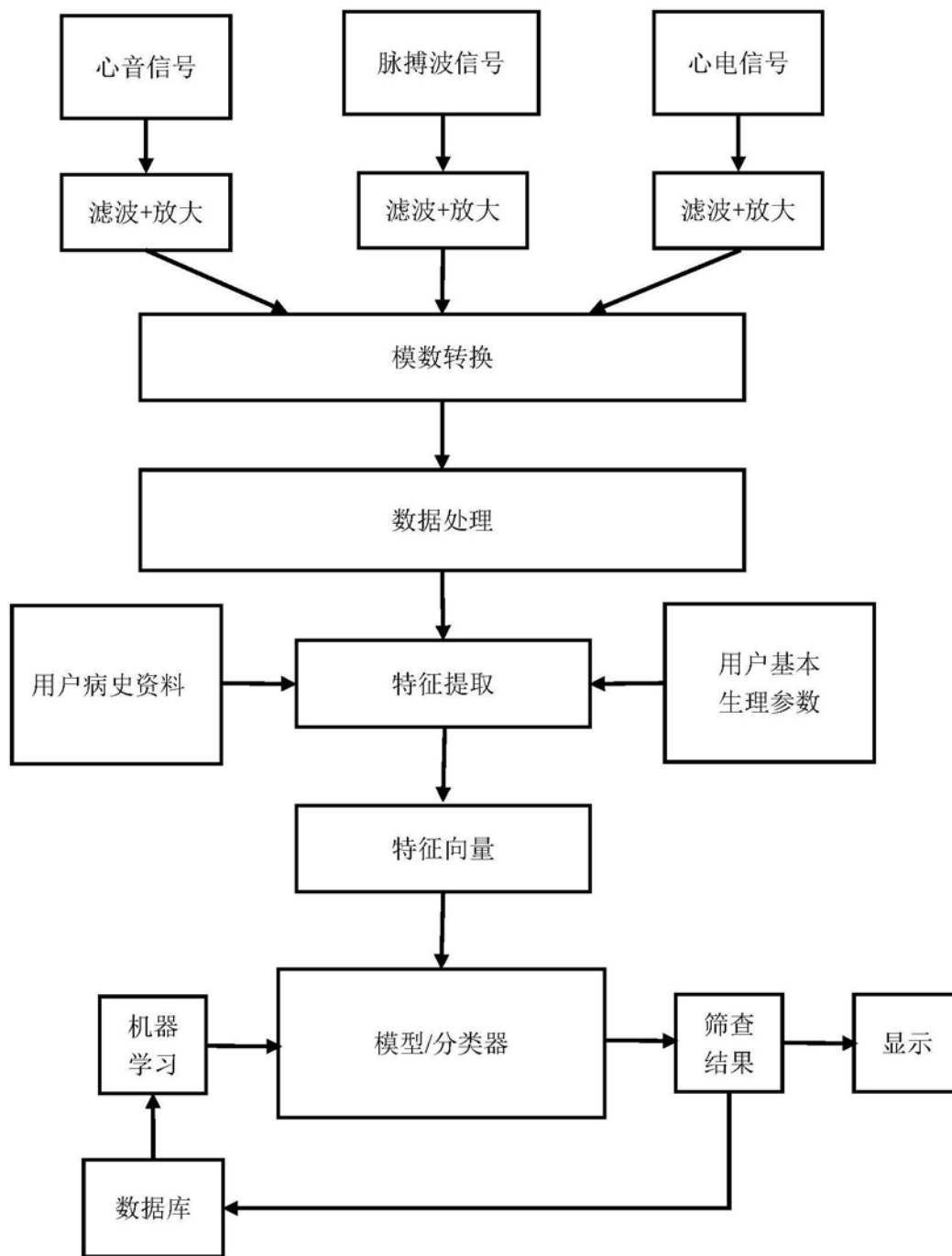


图1

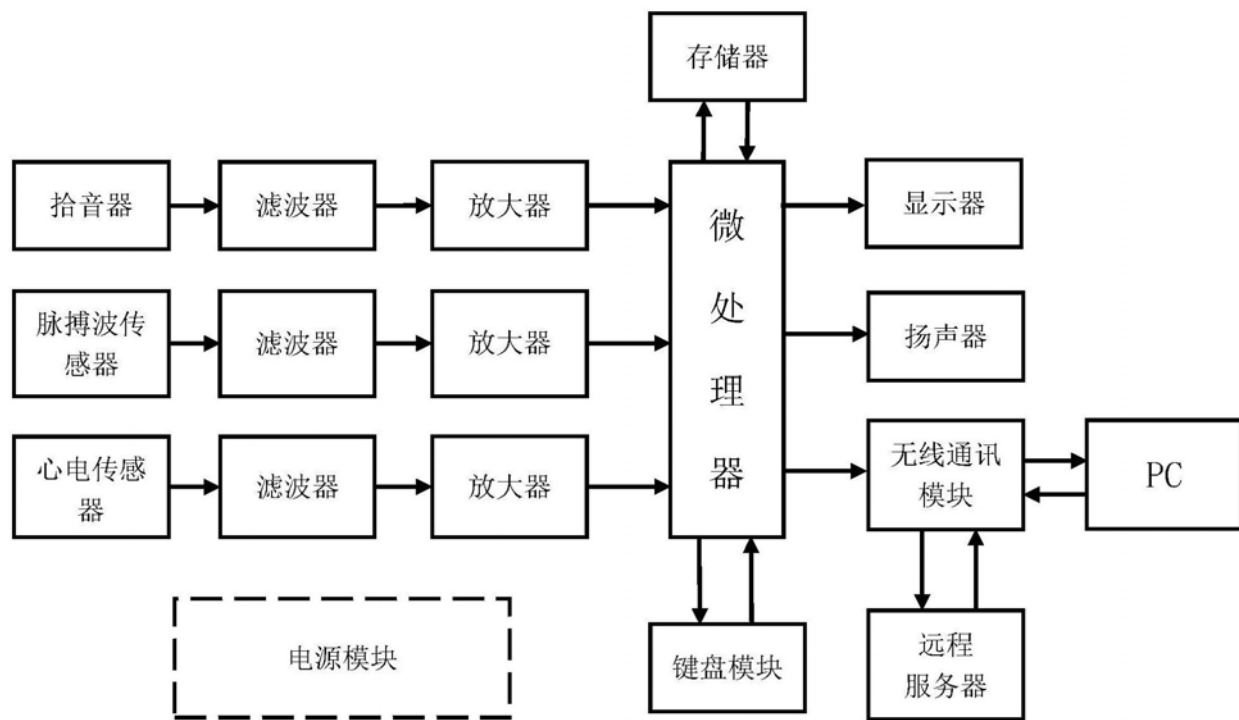


图2

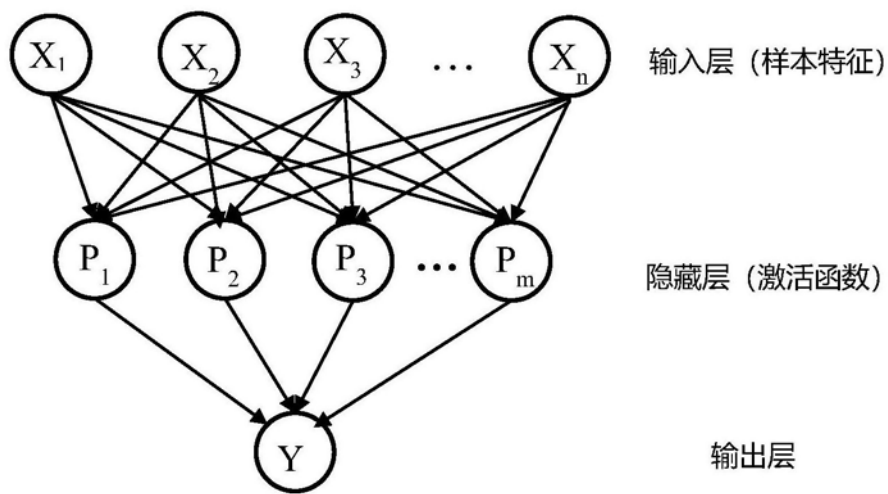


图3

专利名称(译)	一种冠心病筛查装置、筛查系统以及信号特征提取方法		
公开(公告)号	CN108577883A	公开(公告)日	2018-09-28
申请号	CN201810286359.8	申请日	2018-04-03
[标]申请(专利权)人(译)	上海交通大学		
申请(专利权)人(译)	上海交通大学		
当前申请(专利权)人(译)	上海交通大学		
[标]发明人	涂圣贤 黄鹏 李莹光 张素		
发明人	涂圣贤 黄鹏 李莹光 张素		
IPC分类号	A61B7/04 A61B5/0205 A61B5/0402 A61B5/00		
CPC分类号	A61B7/04 A61B5/0205 A61B5/04012 A61B5/0402 A61B5/7235 A61B5/7253 A61B5/7257 A61B5/7271		
代理人(译)	吕良 张群峰		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种冠心病筛查装置，包括：拾音器，用于获取心音信号；脉搏波传感器，用于获取脉搏波信号；心电传感器，用于获取心电信号；微处理器，连接拾音器、脉搏波传感器和心电传感器的输出端，获取心音信号、脉搏波信号和心电信号。将从心音、脉搏波和心电数据中获取的特征与用户病史资料和用户基本生理参数进行结合，获得特征向量。将特征向量输入筛查模型，获得筛查结果，筛查模型基于径向基函数(RBF)神经网络。

