



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110477863 A

(43)申请公布日 2019. 11. 22

(21)申请号 201910727338.X

(22)申请日 2019.08.07

(71)申请人 王满

地址 北京市门头沟区石门营新区五区6号楼2单元602

申请人 王江源

(72)发明人 王江源 王满

(74)专利代理机构 昆明知道专利事务所(特殊普通合伙) 53116

代理人 姜开侠 姜开远

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

A61B 5/029(2006.01)

A61B 5/11(2006.01)

A61B 5/024(2006.01)

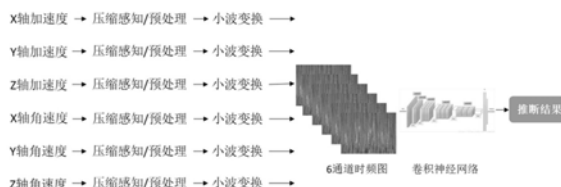
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种基于心脏功能动态监控的人工智能算法模型系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法系统... 一种基于心脏功能动态监控的人工智能算法模型系统及方法





4. 根据权利要求1所述基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法系统,其特征在于,所述嵌入式人工智能算法装置采取压缩信号上直接进行滤波和特征提取操作,无需进行数据重建,此时的变换矩阵可以由变换得到:

$$\hat{\mathbf{H}} = \sqrt{N/M}(\mathbf{S}^{-1}\mathbf{V}^T)$$

其中S和V为奇异值分解得到的矩阵:

$$\mathbf{USV}^T = \mathit{SVD}(\mathbf{D})$$

$$\mathbf{D} = (\Phi\mathbf{H}^{-1})^T$$

5. 根据权利要求1所述基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法系统,其特征在于,所述的预处理装置,首先对压缩域振动信号进行数字带通滤波,去除呼吸、人体活动及仪器噪音等的影响;然后采用连续小波变换,选取morlet小波基,有利于多尺度、多分辨率地提取信号的时间-频域特征,真实反映原始信号的时频特征,形成二维的时间-频率图,便于后续的卷积神经网络的特征提取。

6. 根据权利要求1所述基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法系统,其特征在于,所述卷积神经网络装置,基于残差网络ResNet建立一个至少10层的卷积神经网络,每个卷积层后面连接一个批量归一化层(BN),然后采用线性整流单元(ReLU)进行非线性变换。

7. 根据权利要求1所述基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法系统,其特征在于,所述卷积神经网络装置为14层的卷积神经网络,该网络包含6个残差块,每个块有2个卷积层;卷积核大小固定为 $3 \times 3$ ,卷积核个数为 $8k$ ,其中 $k$ 初始值为1,以后每增加一个残差块 $k$ 增加1,即第1个残差块的卷积核个数为8,第6个残差块的卷积核个数为48;每一个残差块会对输入进行2倍下采样,同时旁路的残差连接也通过最大值池化(max-pool)的方法进行2倍下采样,保证维度一致,然后将对应元素相加,作为下一层的输入;经过6个残差块后,网络输出维度将减小为输入图像的 $1/2^6$ ;最后一个卷积层输出的特征图会被重整为1维向量,经过一个全连接层,最后通过Softmax函数(归一化指数函数)输出各个诊断分类的归一化概率值,取概率最大值所对应的诊断为网络的最终输出结果。

8. 一种基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法之运算方法,其特征在于,通过所述人工智能算法装置对来自传感器的信号进行计算、分析、特征提取、模式识别与分类,给出诊断结果,包括下列步骤:

(1) 通过数据采集装置,采集来源于心脏振波传感器的信号,包括3轴加速度计和3轴陀螺仪的信号,共6个数据通道;

(2) 通过所述压缩感知装置,对采集装置的信号进行压缩;

(3) 通过压缩域计算装置,直接在压缩信号上进行计算,而无须数据重建;

(4) 通过所述预处理装置,对信号进行数字滤波和小波变换,得到信号的二维时间-频率图,数字滤波如采用带通巴特沃斯滤波器,通带频率1-45HZ;

(5) 通过所述卷积神经网络装置,自动对二维时间-频率图像进行特征提取和识别,推断出预警事件。

9. 根据权利要求8所述基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法之运算方法,其

特征在于,所述的人工智能算法装置为嵌入式结构,对来自传感器的信号进行计算、分析、特征提取,得到二维时间-频率图,并将其转换为特定分辨率并归一化后输入卷积神经网络,最终给出预警分析结果。

10. 根据权利要求8所述基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法之运算方法,其特征在于,所述的通过数据采集装置的A/D采样模块以特定的频率对传感器组进行采样,针对加速度计、陀螺仪采样频率为200Hz,麦克风采样频率为11KHz,温度计及GPS采样频率为0.01Hz。

## 一种基于心脏功能动态监控的人工智能算法模型系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于智能医疗器械技术领域,具体涉及一种基于心脏功能动态监控的人工智能算法模型系统及方法。

### 背景技术

[0002] 心脏疾病是人类第一号杀手,今天全球有数以十亿计的心脏病患者,需要得到及时、适当和成本可负担的医疗护理。传统的心电图(ECG)只能发现心电信号异常,对心脏物理结构本身的缺损、病变、老化、功能丧失(如心肌部分坏死)却作用不大或无能为力。超声心动图、计算机断层扫描(CT)、磁共振成像(MRI)及心肌灌注核素扫描等检测手段需要大型设备和专业人员操作,检测成本高,且难以做到随时随地监测,失去宝贵的病理信息和抢救机会。

[0003] 近年来,随着微机电系统(MEMS)技术的发展和人群健康需求的提高,针对心脏健康监测的便携式可穿戴设备成为了热门研究领域。但大部分研究和产品基于传统的ECG,Pranav Rajpurkar报道过,对来自可穿戴设备的数万份单导联ECG进行了分析,使用一个34层的卷积神经网络(CNN),对心律失常的诊断能力可以达到人类医学专家的水平。但由于ECG技术本身的局限性,并不能及时、完整地反映心脏的健康状态,所以研究人员很早就注意到体外心脏振动信号能反映出心脏的结构和功能变化,以弥补ECG的不足,试图为心脏疾病无创监测提供新的途径。

[0004] 早在1991年报道,Salerno等学者首次在临床中观察到心肌缺血患者的心脏振动谱异于正常人,并提出SCG(Seismocardiogram,SCG,由心脏运动对胸壁产生的加速度所绘制的图谱)可能对冠心病患者的左心室功能监测有帮助。科技人员进一步研究发现SCG能够估计出心脏的血流动力学参数,如射血前期时间、左室射血时间、射血分数等,进而评估心脏功能。

[0005] 大部分研究均局限于实验室环境下,2010年的MagIC-SCG是第一款可以在日常活动中连续采集心脏电机械信号的可穿戴设备。该系统包含两个ECG电极、一个压力传感器、一个三轴加速度传感器和一个数据储存及传输模块,所有模块被封装在一件特制的上衣内。数据通过蓝牙传输到计算机设备进行计算、分析和可视化。可以分析出的指标包括心率、呼吸次数和一些血流动力学参数。2017年中国台湾学者发明了一套基于多通道SCG和ECG联合分析的心脏疾病早期预警系统。其传感器包括三个ECG电极,4个加速度传感器,分布在人体四肢、胸壁等不同位置。传感器数据先传送至智能手机,再传输至云端服务器进行计算分析。通过对ECG和4通道SCG数据联合分析,最终达到88%的预警准确度。迄今为止,大部分学者是所采取的技术手段是将SCG和GCG(Gyrocardiography, GCG,由心脏运动对胸壁产生的旋转角速度所绘制的图谱)数据融合,取得了较好的效果。也有人直接采用智能手机内置的传感器,如Jafari Tadi等用智能手机内置的三轴加速度传感器和陀螺仪检测房颤,准确度也是很高的,但是数据计算和分析仍然需要离线进行。Ng Seng Hooi 等人2018年利用加速度传感器对心脏瓣膜开合引起的振动进行监测分析,再一次验证了SCG对于心脏早

期物理病变的预警价值,但整个实验停留在理论概念验证阶段,没有提出一套商业上可行的实施方案。

[0006] 综上所述,现有技术和产品存在着:其一数据分析处理和疾病诊断依赖于云端平台或离线计算机设备,实时性差,影响了即时响应,即时处置的实用性,数据可用性低。其二是配套的可穿戴设备结构复杂,成本高,使用不便。其三是软件算法模型简单,导致疾病诊断能力弱。其四未考虑数据安全性问题;其五没有考虑心脏预警,手术康复与居家养老等商业化服务模式。本发明人多年潜心研究心脏动态信号,尤其基于振动信号采集与分析,以及心脏疾病诊断方面的研究,让基于SCG+GCG的数据采集与分析技术的小型化与智能化,直接应用于远程心脏机能的动态预警,手术的康复、居家养老的心脏功能的实时跟踪服务的商业化网络系统研究与应用,为人类健康事业做一些实实在在的贡献。

### 发明内容

[0007] 本发明第一目的在于提供一种基于心脏功能智能监控的人工智能算法模型系统,另一目的在于提供基于心脏功能动态监控的人工智能算法模型运算方法。

[0008] 本发明第一目的是这样实现的,一种基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法系统,所述人工智能算法装置,包括,

所述数据采集装置,用于采集来源于心脏振波传感器的信号,包括3轴加速度计和3轴陀螺仪的信号,共6个数据通道;

所述压缩感知装置,用于对采集装置的信号进行压缩;

所述压缩域计算装置,用于直接在压缩信号上进行计算,而无须数据重建;

所述预处理装置,用于对信号进行数字滤波和小波变换,得到信号的二维时间-频率图;

所述卷积神经网络装置,用于自动对二维时间-频率图像进行特征提取和识别,推断出预警事件。

[0009] 本发明另一目的是这样实现的,基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法之运算方法,通过所述人工智能算法装置对来自传感器的信号进行计算、分析、特征提取、模式识别与分类,给出诊断结果,包括下列步骤:

(1)通过数据采集装置,采集来源于心脏振波传感器的信号,包括3轴加速度计和3轴陀螺仪的信号,共6个数据通道;

(2)通过所述压缩感知装置,对采集装置的信号进行压缩;

(3)通过所述压缩域计算装置,直接在压缩信号上进行计算,而无须数据重建;

(4)通过所述预处理装置,对信号进行数字滤波和小波变换,得到信号的二维时间-频率图,数字滤波如采用带通巴特沃斯滤波器,通带频率1-45HZ;

(5)通过所述卷积神经网络装置,对二维时间-频率图像进行自动特征提取和识别,推断出预警事件。

[0010] 本发明基于人工智能算法模型系统,将其用于便携式心脏智能贴片系统,以可穿戴设备的形式佩戴于人体胸壁,对心脏机械振动进行体外监测,连续地、非侵入地的获取心脏的振动信息,结合数字信号处理、机器学习和人工智能技术进行模式识别和智能诊断,从而早期发现心脏物理结构和搏动节律的异常,比如瓣膜病变、心脏壁的运动异常、心脏射血

分数改变、心律失常等。同时结合预警报告系统,实现心脏疾病早期预警和及时救护的目的。对严重心律失常(如房颤、室速、室颤)、心绞痛、急性心肌梗死的早期预警监测,手术后康复监测,居家养老人群,体育运动人群的日常监护有着重大意义。

### 附图说明

- [0011] 图1为本发明人工智能算法模型系统架构关系框图;  
 图2为本发明数据压缩感知系统架构关系框图(三种模式);  
 图3为本发明真实的振动信号图及小波变换图;  
 图4为本发明卷积神经网络系统架构关系框图;  
 图5为本发明神经网络的离线训练过程图;  
 图6为基于本发明人工智能算法的心脏智能贴片系统架构关系框图。

### 具体实施方式

[0012] 下面将结合附图与实施例对本发明作进一步的说明,但不以任何方式对本发明加以限制,基于本发明的教导所作的任何变换或改变,均属于本发明保护的范围。

[0013] 如图1~图5所示,本发明一种基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法系统,其特征在于,所述人工智能算法装置,包括,

所述数据采集装置,用于采集来源于心脏振波传感器的信号,包括3轴加速度计和3轴陀螺仪的信号,共6个数据通道;

所述压缩感知装置,用于对采集装置的信号进行压缩;

所述压缩域计算装置,直接在压缩信号上进行计算,而无须数据重建;

所述预处理装置,用于对信号进行数字滤波和小波变换,得到信号的二维时间-频率图,数字滤波如采用带通巴特沃斯滤波器,通带频率1-20HZ;

所述卷积神经网络装置,自动对二维时间-频率图像进行特征提取和识别,推断出预警事件。

[0014] 所述人工智能算法系统能识别16种常见心脏疾病、正常情况和噪音信号。

[0015] 所述的嵌入式人工智能算法装置,采取压缩感知的采样方式,直接在压缩信号上进行数据处理操作;数字滤波和小波变换等预处理和特征提取技术可以转换为矩阵变换;所述的原始信号为列向量 $x$ ,变换矩阵为 $H$ ,提取的特征向量为 $y$ ,则有:

$$y = Hx$$

所述嵌入式人工智能算法装置采取压缩感知+压缩域计算方式,基于心脏振动信号在小波变换基下的稀疏状态,可采用压缩感知对数据进行压缩,过程如下:

步骤1:采集长度为 $N$ 的原始信号,作为列向量 $x_{N \times 1}$ ,即:

$$x_{N \times 1} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}$$

步骤二:构造观测矩阵 $\Phi_{M \times N}$  ( $M < N$ ),采用二元置换块对角矩阵(Binary Permuted

Block Diagonal matrix, BPBD),该矩阵有2M个1元素,其余元素均为0。

$$\Phi_{M \times N} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & & & & \\ & & 1 & 1 & & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & 1 & 1 \end{bmatrix}_{M \times N}$$

[0016] 步骤三:计算压缩信号  $\Phi x$ :

$$\Phi_{M \times N} \times N \times 1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & & & \\ & & 1 & 1 & \\ & & & & \dots \\ & & & & & 1 & 1 \end{bmatrix}_{M \times N} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_N \end{bmatrix}_{N \times 1}$$

所述嵌入式人工智能算法装置采取压缩信号上直接进行滤波和特征提取操作,此时的变换矩阵可以由变换得到:

$$\hat{H} = \sqrt{N/M} (S^{-1} V^T)$$

其中S和V为奇异值分解得到的矩阵:

$$USV^T = SVD(D)$$

$$D = (\Phi H^{-1})^T$$

所述的预处理装置,首先在压缩域对振动信号进行数字带通滤波,如采用巴特沃斯滤波器,通带频率为1-45HZ,以去除呼吸、人体活动和仪器噪音的干扰。然后采用连续小波变换,选取morlet小波基,有利于多尺度、多分辨率地提取信号的时间-频域特征,真实反映原始信号的时频特征,得到二维的时间-频率图,便于后续的特征提取。

[0017] 所述卷积神经网络装置,基于残差网络ResNet建立一个至少10层的卷积神经网络,每个卷积层后面连接一个批量归一化层(BN),然后采用线性整流单元(ReLU)进行非线性变换。

[0018] 所述卷积神经网络装置为14层的卷积神经网络,该网络包含6个残差块,每个块有2个卷积层。卷积核大小固定为3×3,卷积核个数为8k,其中k初始值为1,以后每增加一个残差块k增加1,即第1个残差块的卷积核个数为8,第6个残差块的卷积核个数为48。每一个残差块会对输入进行2倍下采样,同时旁路的残差连接也通过最大值池化(max-pool)的方法进行2倍下采样,保证维度一致,然后将对应元素相加,作为下一层的输入。经过6个残差块后,网络输出维度将减小为输入图像的1/2<sup>6</sup>。最后一个卷积层输出的特征图会被重整为1维向量,经过一个全连接层,最后通过Softmax函数(归一化指数函数)输出各个诊断分类的归一化概率值。取概率最大值所对应的诊断为网络的最终输出结果。网络输出的诊断结果见下表:

心脏健康状态分类表

编号	类别名称	备注
0	心房颤动	心律失常
1	心房扑动	心律失常
2	II度1型房室传导阻滞	心律失常
3	II度2型房室传导阻滞	心律失常
4	室性早搏二联律	心律失常
5	室性早搏三联律	心律失常
6	完全性房室传导阻滞	心律失常
7	异位心房节律	心律失常
8	心室自主心律	心律失常
9	交界性心律	心律失常
10	窦性心律	正常心律
11	室上性心动过速	心律失常
12	室性心动过速	心律失常
13	心室颤动	致命性心律失常
14	噪音	非心脏振动信号
15	急性心肌梗死(ST段抬高)	冠心病, 心电图显示 ST 段抬高
16	急性心肌梗死(ST段压低)	冠心病, 心电图显示 ST 段压低
17	心功能衰竭	心脏收缩能力下降

本发明基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法之运算方法,所述的人工智能算法装置为嵌入式结构,对来自传感器的信号进行计算、分析、特征提取,得到二维时间-频率图,将其转换为特定分辨率并归一化后输入卷积神经网络,给出预警分析结果。

[0019] 所述的通过数据采集装置的A/D采样模块以特定的频率对传感器组进行采样,针对加速度计、陀螺仪采样频率为200Hz,麦克风采样频率为11KHz,温度计及GPS采样频率为0.01Hz。

[0020] 下面通过实施例,说明本发明的工作原理与工作过程

本发明基于人工智能算法模型系统,将其用于便携式心脏智能贴片系统,以可穿戴设备的形式佩戴于人体胸壁,对心脏机械振动进行体外监测,连续地、非侵入地的获取心脏的振动信息,结合数字信号处理、机器学习和人工智能技术进行模式识别和智能诊断,从而早期发现心脏物理结构和搏动节律的异常,比如瓣膜病变、心脏壁的运动异常、心脏射血分数改变、心律失常等。同时结合预警报告系统,实现心脏疾病早期预警和及时救护的目的。可广泛应用于对严重心律失常(如房颤、室速、室颤)、心绞痛、急性心肌梗死的早期预警监测,以及手术后康复监测,居家养老人群,体育运动人群的日常监护等。

[0021] 图6显示了基于本发明人工智能算法的心脏智能贴片系统架构关系。系统连续从振动传感器采集振波数据,实时进行数据压缩、数据预处理,嵌入式人工智能算法模块实时进行数据推断,给出诊心脏断结果。如果诊断结果存在异常(如发生心肌梗死、心律失常等),结果会经加密模块进行加密,暂存在内部的存储器内,后立即经数据通信模块将诊断

结果传输至智能终端或后台服务云平台等其他模块。这种数据传输方式称为基于“事件驱动”的数据传输,即只有在智能处理芯片逻辑电路检测到发生了心脏异常事件的情况下,才会开启数据传输,传输的数据包括诊断结论和事件发生时间前后一定时间段内的传感器原始数据,以便后续分析。

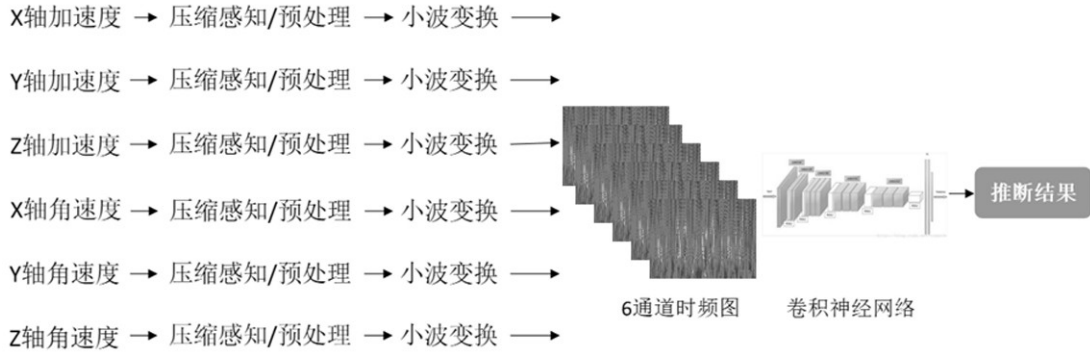


图1

A. Nyquist频率采样，信号不压缩



B. 压缩感知+信号重建



C. 压缩感知+压缩域计算

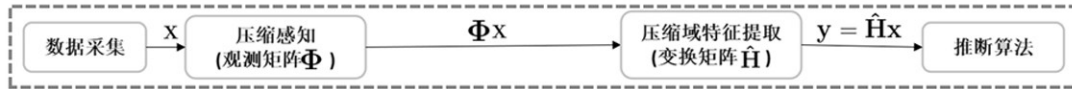


图2

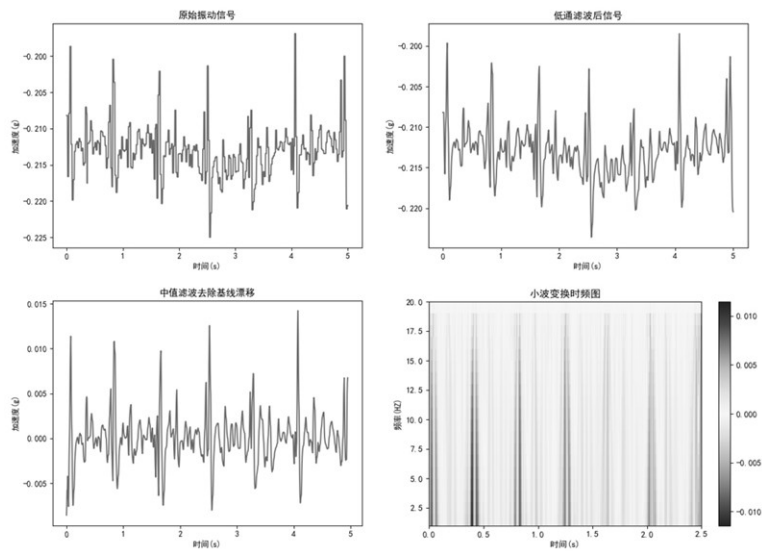


图3

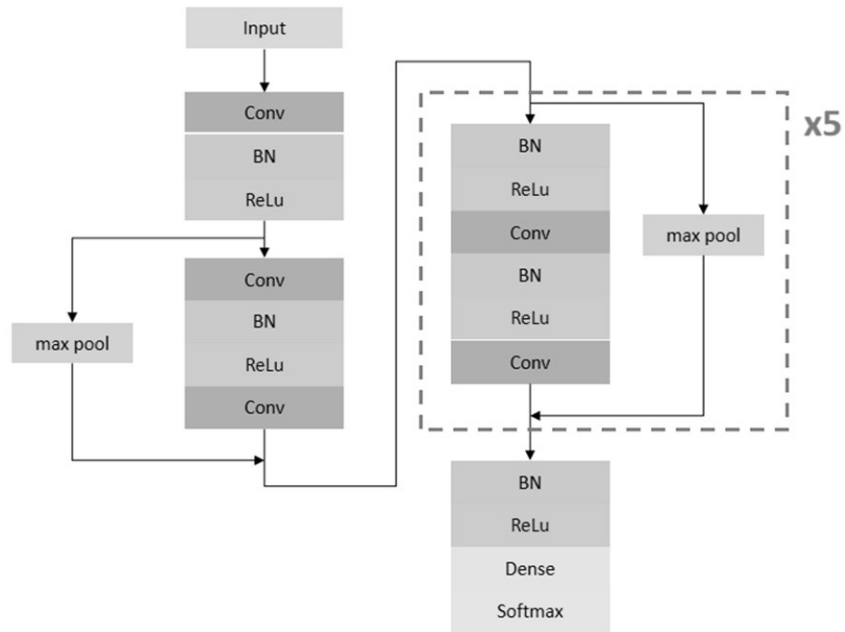


图4

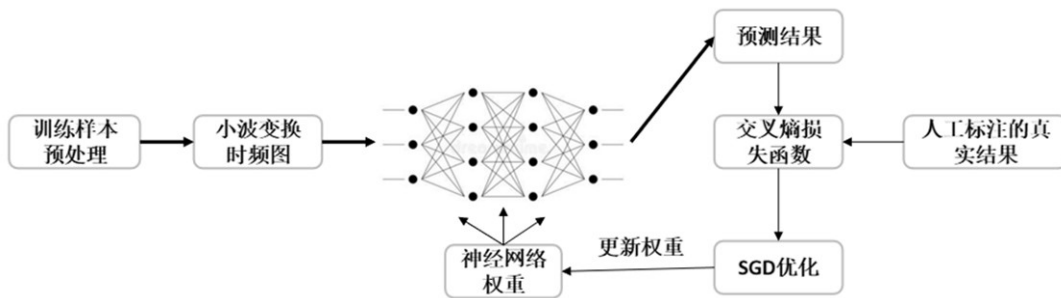


图5

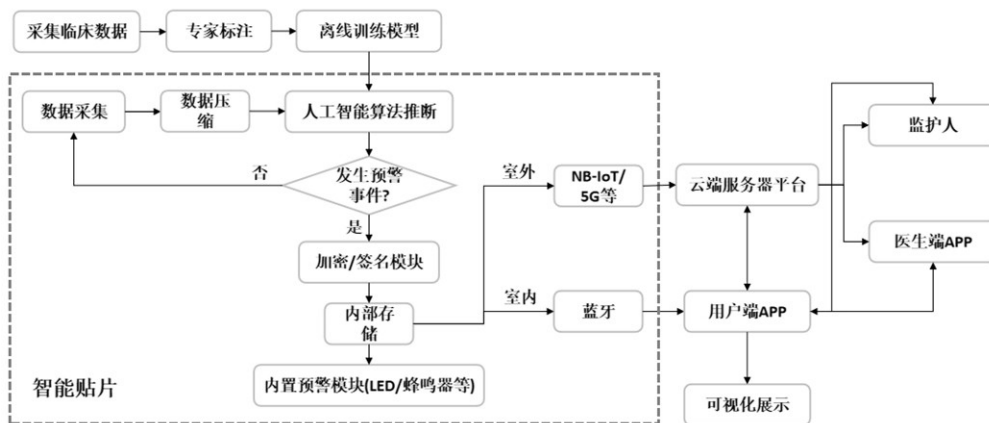


图6

专利名称(译)	一种基于心脏功能动态监控的人工智能算法模型系统及方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN110477863A</a>	公开(公告)日	2019-11-22
申请号	CN201910727338.X	申请日	2019-08-07
[标]申请(专利权)人(译)	王满 王江源		
申请(专利权)人(译)	王满 王江源		
当前申请(专利权)人(译)	王满 王江源		
[标]发明人	王江源 王满		
发明人	王江源 王满		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/029 A61B5/11 A61B5/024		
CPC分类号	A61B5/02405 A61B5/02438 A61B5/029 A61B5/11 A61B5/1102 A61B5/6802 A61B5/7232 A61B5/725 A61B5/7264 A61B2576/023		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明公开了一种基于心脏功能动态监测与分析的人工智能算法系统及方法，所述人工智能算法装置，包括数据采集装置、压缩感知装置、压缩域计算装置、预处理装置和卷积神经网络装置。本发明基于人工智能算法模型系统，将其用于便携式心脏智能贴片系统，以可穿戴设备的形式佩戴于人体胸壁，对心脏机械振动进行体外监测，连续地、实时非侵入地获取心脏的振动信息，结合数字处理、机器学习和人工智能技术模式识别和智能诊断，早期发现心脏物理结构和搏动节律异常，如瓣膜病变、心脏壁的运动异常、心脏射血分数改变、心律失常等。实现心脏疾病早预警与及时救护的目的。对心脏功能早期预警监测，对照手术后康复监测，居家养老及体育运动人群的日常监护有现实意义。

