



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110598549 A

(43)申请公布日 2019.12.20

(21)申请号 201910727324.8 *G16H 10/65*(2018.01)

(22)申请日 2019.08.07 *G16H 40/67*(2018.01)

(71)申请人 王满 *G16H 80/00*(2018.01)

地址 北京市门头沟区石门营新区五区6号 *G06F 21/60*(2013.01)

楼2单元602 *A61B 5/00*(2006.01)

申请人 王江源 *A61B 5/024*(2006.01)

(72)发明人 王江源 王满 *A61B 5/029*(2006.01)

(74)专利代理机构 昆明知道专利事务所(特殊 *A61B 5/11*(2006.01)

普通合伙企业) 53116

代理人 姜开侠 姜开远

(51)Int.Cl.

G06K 9/00(2006.01)

G06K 9/62(2006.01)

G06N 3/04(2006.01)

G06N 3/08(2006.01)

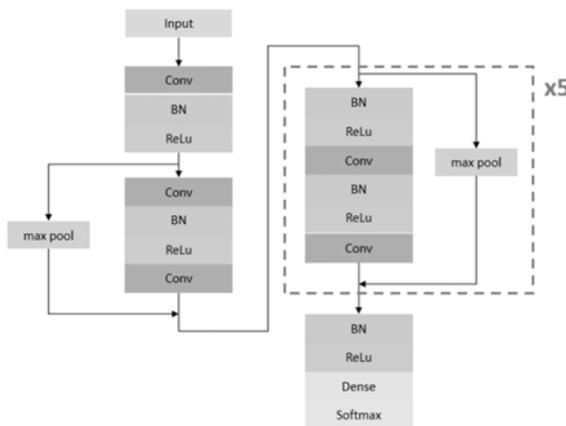
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种基于心脏功能监控的卷积神经网络信息处理系统及训练方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于心脏功能动态监控的卷积神经网络信息处理系统及方法,信息处理系统包括一个14层高效卷积神经网络。卷积神经网络信息处理技术应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。结合预警报告系统,实现心脏疾病早预警与及时救护的目的。对严重心律失常、心绞痛、急性心肌梗死的早期预警监测,对照手术后康复监测,居家养老人群,体育运动人群的日常监护意义重大。



1. 一种基于心脏功能动态监控的卷积神经网络信息处理系统,其特征在于,所述信息处理系统包括一个14层高效卷积神经网络;

所述卷积神经网络的输入为心脏振动信号经过连续小波变换所形成的二维时间-频率图,输入图像的大小固定且归一化;

所述卷积神经网络包含6个残差块,每个块有2个卷积层;

所述卷积核大小固定为 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;

所述每一个残差块会对输入进行2倍下采样,经过6个残差块后,网络输出维度将减小为输入图像的 $1/2^6$;

所述每个旁路残差连接通过最大值池化的方法对输入进行2倍下采样,保持维度一致,然后对应元素相加;

所述卷积神经网络最后会经过一个全连接层,通过Softmax函数(归一化指数函数)输出各个分类的归一化概率值,取概率最大值所对应的分类作为网络的最终输出结果。

2. 根据权利要求1所述的基于心脏功能动态监测与分析的卷积神经网络信息处理系统,其特征在于,所述旁路的残差连接也通过最大值池化(max-pool)方法进行2倍下采样,保证维度一致。

3. 根据权利要求1所述的基于心脏功能动态监测与分析的卷积神经网络信息处理系统,其特征在于,所述卷积层后面连接一个批量归一化层(BN)。

4. 根据权利要求1所述的基于心脏功能动态监测与分析的卷积神经网络信息处理系统,其特征在于,所述卷积层内部的激活函数为线性整流单元(ReLU)。

5. 根据权利要求1所述的基于心脏功能动态监测与分析的卷积神经网络信息处理系统,其特征在于,所述卷积层结束后会经过一个全连接层(Dense),以增强非线性映射能力。

6. 根据权利要求1所述的基于心脏功能动态监测与分析的卷积神经网络信息处理系统,其特征在于,所述卷积神经网络最终通过Softmax层输出18个分类的归一化概率,根据概率大小对诊断分类进行筛选和排序,输出的分类如下表:

心脏功能信息诊断分类对比表

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

7. 一种基于心脏功能动态监测与分析的卷积神经网络离线训练方法,其特征在于,所述卷积神经网络的离线训练,包括下列步骤:

(1) 对样本的振动信号滤波降噪等预处理;

(2) 经过小波变换得到时频图,输入卷积神经网络,得到输出结果(诊断标号组成的向量);

(3) 与人工标注的真实结果进行对比,采用交叉熵损失函数进行训练,即优化:

$$C = \sum_i y_i \ln a_i$$

其中*i*为分类标签的下标, y_i 为真实值, a_i 为网络输出值,用随机梯度下降法(SGD)不断循环迭代,修改网络权重参数,直至误差收敛;

(4) 在推断阶段,如果卷积神经网络的输出为“窦性心律”,这是一种正常情况,不会触发预警机制,系统会继续循环运行;

(5) 如果出现了除“窦性心律”以外的情况,则被认为是异常情况,定义为一次心脏“事件”,进入预警流程。

8. 根据权利要求7所述基于心脏功能动态监控的卷积神经网络离线训练方法,其特征在于,进一步包括下列步骤:

(1) 临床采集到的每份心脏振动数据,都由多位心脏专家分析诊断确认,专家的意见和诊断结果是机器学习系统的目标,它基于心脏物理属性,通过学习得到模型,从而不断优化人工智能分析结果;

(2) 通过身份识别装置提取心脏振动图谱的特征,与数据库中存储的特征进行对比,以确定用户的身份;

(3) 通过预警装置的片上预警逻辑电路一旦收到卷积神经网络的报警信号,就会驱动心脏智能贴片上的LED报警灯和蜂鸣器。

9. 根据权利要求7所述基于心脏功能动态监控的卷积神经网络离线训练方法,其特征在于,所述的预警程序,基于“事件驱动”数据传输模式,即智能芯片逻辑电路一旦检测到心脏异常事件发生,就会记录下事件的类型和时间,发送给片上预警模块;存储事件,支持无线通讯协议传输事件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云端,以便后续分析;支持蓝牙等协议同步传输到就近移动终端或服务器。

10. 根据权利要求7或9所述基于心脏功能动态监控的卷积神经网络离线训练方法,其特征在于,所述的预警程序,存储事件,支持无线通讯协议传输事件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云端,以便后续分析;支持蓝牙等协议同步传输到就近移动终端或服务器。

一种基于心脏功能监控的卷积神经网络信息处理系统及训练方法

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测与分析的卷积神经网络信息处理系统及训练方法。

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测与分析的卷积神经网络系统,另一目的在于提供基于心脏功能动态监测与分析的卷积神经网络处理方法。

[0008] 本发明第一目的是这样实现的,基于心脏功能动态监控的卷积神经网络信息处理系统,所述信息处理系统包括一个14层高效卷积神经网络;

所述卷积神经网络的输入为心脏振动信号经过连续小波变换所形成的二维时间-频率图,输入图像的大小固定且归一化。

[0009] 所述卷积神经网络包含6个残差块,每个块有2个卷积层;

所述卷积核大小固定为 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;

所述每一个残差块会对输入进行2倍下采样,经过6个残差块后,网络输出维度将减小为输入图像的 $1/2^6$;

所述每个旁路残差连接通过最大值池化的方法对输入进行2倍下采样,保持维度一致,然后对应元素相加;

所述卷积神经网络最后会经过一个全连接层,通过Softmax函数(归一化指数函数)输出各个分类的归一化概率值。取概率最大值所对应的分类作为网络的最终输出结果。

[0010] 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卷积神经网络离线训练方法,所述卷积神经网络的离线训练,包括下列步骤:

(1)对样本的振动信号滤波降噪等预处理;

(2)经过小波变换得到时频图,输入卷积神经网络,得到输出结果(诊断标号组成的向量);

(3)与人工标注的真实结果进行对比,采用交叉熵损失函数进行训练,即优化:

$$C = \sum_i y_i \ln a_i$$

其中 i 为分类标签的下标, y_i 为真实值, a_i 为网络输出值。用随机梯度下降法(SGD)不断循环迭代,修改网络权重参数,直至误差收敛;

(4)在推断阶段,如果卷积神经网络的输出为“窦性心律”,这是一种正常情况,不会触

发预警机制,系统会继续循环运行;

(5) 如果出现了除“窦性心律”以外的情况,则被认为是异常情况,定义为一次心脏“事件”,进入预警流程。

[0011] 本发明卷积神经网络信息处理技术应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

[0012] 图1为本发明卷积神经网络系统架构关系框图;

图2为本发明神经网络的离线训练过程图;

图3为本发明之心脏智能贴片系统架构关系框图;

图4为本发明心脏智能贴片结构关系框图(方框内为智能芯片)。

具体实施方式

[0013] 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。

[0014] 如图1、2所示,本发明一种基于心脏功能动态监控的卷积神经网络信息处理系统,所述信息处理系统包括一个14层高效卷积神经网络;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;经过6个残差块后,网络输出维度将减小为输入图像的 $1/2^6$ 。

[0015] 所述旁路的残差连接也通过最大值池化(max-pool)方法进行2倍下采样,保证维度一致,然后将对应元素相加。

[0016] 所述卷积层后面连接一个批量归一化层(BN)。

[0017] 所述卷积层内部的激活函数为线性整流单元(ReLU)。

[0018] 所述卷积层结束后会经过一个全连接层(Dense),以增强非线性映射能力。

[0019] 所述卷积神经网络最终通过Softmax层输出18个分类的归一化概率,根据概率大小对诊断分类进行筛选和排序,输出的分类如下表:

心脏功能信息诊断分类对比表

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卷积神经网络离线训练方法,进一步包括下列步骤:

(1)临床采集到的每份心脏振动数据,都由多位心脏专家分析诊断确认,专家的意见和诊断结果是机器学习系统的目标,它基于心脏物理属性,通过学习得到模型,从而不断优化人工智能分析结果;

(2)通过身份识别装置提取心脏振动图谱的特征,与数据库中存储的特征进行对比,以确定用户的身份;

(3)通过预警装置的片上预警逻辑电路一旦收到卷积神经网络的报警信号,就会驱动心脏智能贴片上的LED报警灯和蜂鸣器。

[0020] 基于心脏功能动态监测与分析的卷积神经网络离线训练方法,所述的预警程序,基于“事件驱动”数据传输模式,即智能芯片逻辑电路一旦检测到心脏异常事件发生,就会记录下事件的类型和时间,发送给片上预警模块;存储事件,支持无线通讯协议传输事件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云端,以便后续分析;支持蓝牙等协议同步传输到就近移动终端或服务器。

[0021] 下面通过实施例,说明本发明的工作原理与工作过程

本发明卷积神经网络信息处理技术应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。

[0022] 图2、图3示出了应用本发明的心脏功能智能监测预警装置系统架构关系和装置结构关系。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),经过身份识别后,结果再经加密模块进行加密,暂存在内部的存储器内,并即时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。

[0023] 作为智能芯片的一种实现方式,所述微处理器采用片上系统SoC实现,SoC芯片中既包含处理器又包含存储器及外围电路,单个芯片就能实现数据的采集、转换、存储、处理和输入/输出等多种功能。

[0024] 所述微处理器为MCU(Microcontroller Unit)、专用集成芯片ASIC(Application Specific Integrated Circuit)或现场可编程门阵列FPGA;均可以实现本发明之目的。

所述电源管理装置包括纽扣型电池,并通过相关插口对系统供电;所述预警装置通过相关插口启动外置蜂鸣器、LED灯或液晶显示屏报警。

[0025] 所述无线数据通讯装置采用无线方式进行数据传输,将发现的预警事件的相关信息经过256位AES加密后传送给蓝牙模块,或WiFi、4G、5G、NFC、NB-IoT模块,将无线信号通过隐形式天线发送。

[0026] 作为一种实施例,采用nRF52832蓝牙SoC芯片,该SoC芯片包含64MHZ的ARM Cortex-M4F CPU,512KB闪存,64KB RAM,低功耗蓝牙模块,2.4GHZ的无线发射模块,AHB/APB总线结构,以及相关的外围电路、接口和电源管理模块;所述智能贴片的传感器信息通过智能处理芯片的J7插口输入到16位200KSPS ADC端,A/D模块进行数模转换;智能处理芯片之微处理器模块对数据进行实时地预处理,然后进行实时数据计算推演,将推演结果存储、分发至相关子系统、平台或智能移动终端。所述智能处理芯片将预警结果经过256位AES加密后传送给蓝牙模块;蓝牙信号通过J9插口及隐形式天线发送。所述电源管理模块包括纽扣电池,容量不低于950mAh;通过SoC芯片J8插口对系统供电。

[0027] 当云端服务器接收到预警信息后,首先会进行解密和存储,然后根据预警级别的不同,发出不同的预警信号:低度危险的可发送短信告知患者本人或监护人,高度危险的比如完全房室传导阻滞、心室颤动等会启动自动语音电话,通知监护人或医生。

[0028] 用户端手机APP在接受到预警信息后,会可视化展示当前的心脏诊断及建议,不同的预警级别会有不同的颜色显示,严重预警还会调用手机的振动器和扬声器。APP同时提供一键联系监护人和医生的按钮,可选择手机短信或电话方式,供用户在紧急情况下使用。APP还提供历史报告查看和添加、修改病情档案的功能。病情档案包括年龄、性别、身高、体重等个人基本信息,所患疾病信息,日常用药信息,以及医院检查、化验等资料。这些信息可以由用户授权远程共享给医生,以帮助医生更加准确的判断病情。此外,用户还可以在APP上添加或修改用于接受预警的监护人姓名、手机号码以及医生信息。手机APP和远端服务器之间会实时进行数据同步。

[0029] 医生端手机APP提供医生所管理用户列表,点击用户列表可查看用户的预警和档案等,还可选择以短信或电话的方式联系用户或其监护人,实现远程指导。

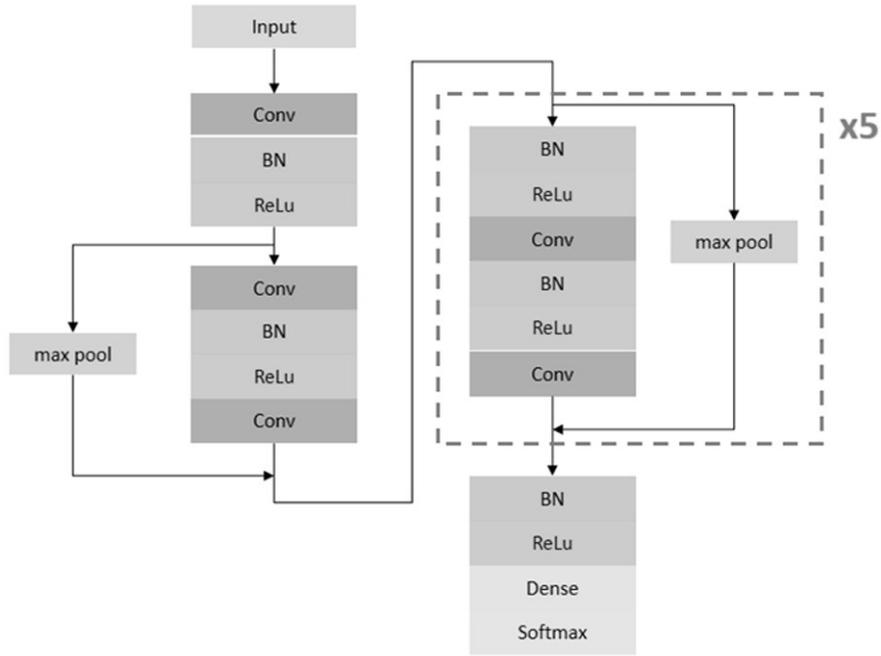


图1

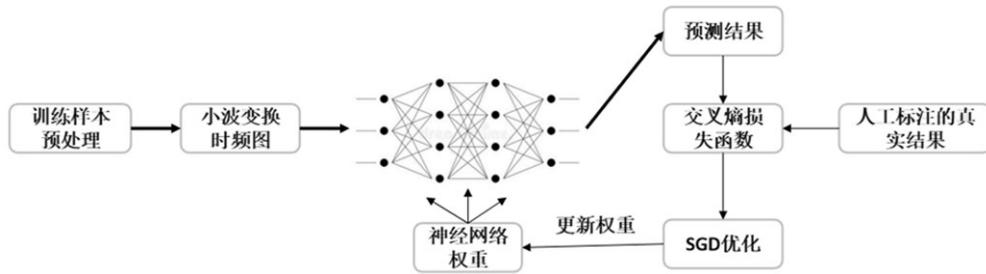


图2

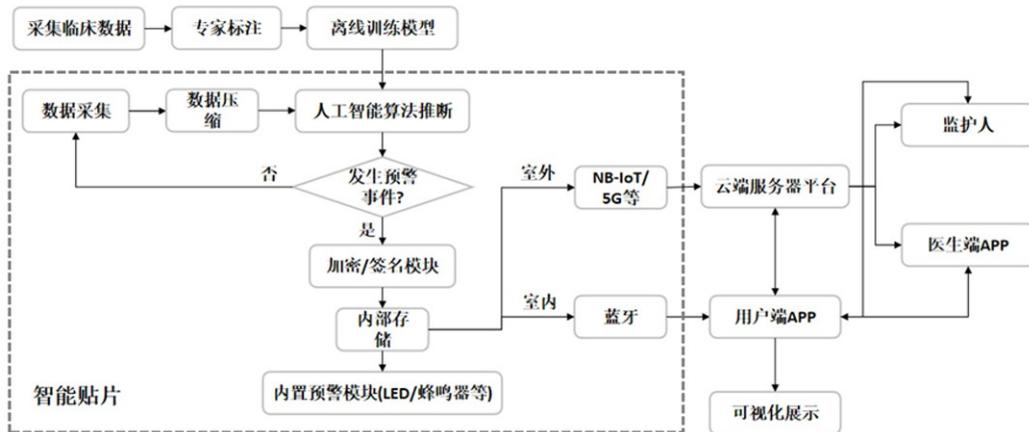


图3

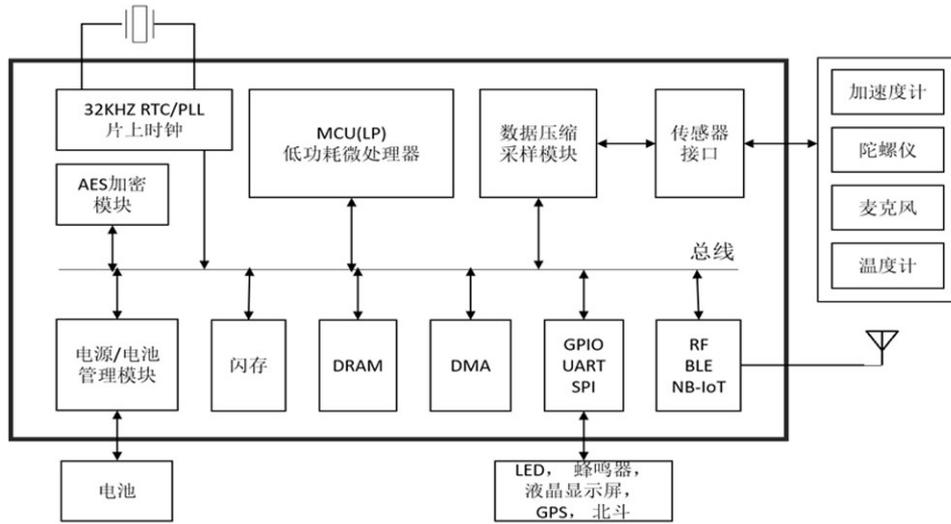


图4

专利名称(译)	一种基于心脏功能监控的卷积神经网络信息处理系统及训练方法		
公开(公告)号	CN110598549A	公开(公告)日	2019-12-20
申请号	CN201910727324.8	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	G06K9/00 G06K9/62 G06N3/04 G06N3/08 G16H10/65 G16H40/67 G16H80/00 G06F21/60 A61B5/00 A61B5/024 A61B5/029 A61B5/11		
CPC分类号	A61B5/02405 A61B5/029 A61B5/11 A61B5/1102 A61B5/6802 A61B5/7203 A61B5/7267 A61B5/746 A61B2576/023 G06F21/602 G06K9/00516 G06K9/00523 G06K9/00536 G06K9/6273 G06N3/0454 G06N3/08 G16H10/65 G16H40/67 G16H80/00		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于心脏功能动态监控的卷积神经网络信息处理系统及方法，信息处理系统包括一个14层高效卷积神经网络。卷积神经网络信息处理技术应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。结合预警报告系统，实现心脏疾病早预警与及时医护的目的。对严重心律失常、心绞痛、急性心肌梗死的早期预警监测，对照手术后康复监测，居家养老人群，体育运动人群的日常监护意义重大。

