

一种 HRV 数据预处理方法、装置及电子设备

相关申请的交叉引用

本申请要求于 2023 年 9 月 27 日提交中国专利局、申请号为 202311265053.1、发明名称为“一种 HRV 数据预处理方法、装置及电子设备”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及机器学习技术领域，尤其是涉及一种 HRV 数据预处理方法、装置及电子设备。

背景技术

生物信号分类是生物医学应用中一种重要的诊断工具，可以帮助医学专家自动对监测到的生物信号样本进行分类，得到分类后的正常生物信号和异常生物信号。大多数生物信号在本质上是随机的和非平稳的，这意味着它们的值是具有时间依赖性的，它们的统计数据在不同的时间点上发生变化。

HRV (Heart rate variability, 心率变异性) 是一类重要的生物信号数据，HRV 是指心率节奏快慢随时间所发生的变化。经临床实践证明，HRV 可作为心源性猝死危险性的一个独立预测指标，在评价心血管疾病的预后和预测急性心血管事件方面具有重要的意义。一般的，对于采集到的大量生理原始数据进行预处理后可以提取 HRV 特征值，基于提取到特征值进行机器学习，可以训练得到认知负荷等模型，可以用于预测疲劳、疾病等状态。

但是现有的 HRV 信号数据来源为心电图数据或者是心电监护仪设备，由于采集设备精准度不够或者被采集人员的情绪动作短时间内变化较大等问题，采集到的 HRV 信号数据中有一些异常数据，现有技术采用得到的原始 HRV 数据直接进行特征提取，导致提取得到的 HRV 数据特征中存在异常数据或干扰数据，影响临床中根据 HRV 数据特征对疾病进行预测的精准度。

发明内容

为了解决现有技术得到的 HRV 特征数据准确度不高的问题，本申请提供一种 HRV 数据预处理方法、装置及电子设备。

第一方面，本申请提供了一种 HRV 数据预处理方法，采用如下技术方案：

一种 HRV 数据预处理方法，包括：

获取滑动窗口对应的 HRV 数据；

基于 HRV 数据，确定所述 HRV 数据对应的多个目标峰值，计算所述多个目标峰值的方差，将所述方差符合预设方差范围的 HRV 数据作为第一目标 HRV 数据；

基于第一目标 HRV 数据的所述多个目标峰值，确定所述第一目标 HRV 数据的 RR 间期序列，判断所述 RR 间期序列的每个 RR 间期是否符合预设心跳时间间隔范围，将第一目标 HRV 数据中各个 RR 间期均符合所述预设心跳时间间隔范围的 HRV 数据作为第二目标 HRV 数据；

提取所述第二目标 HRV 数据的时域特征、频域特征和非线性特征。

通过采用上述技术方案，获取滑动窗口对应的 HRV 数据；确定 HRV 数据对应的多个目标峰值，并计算多个目标峰值的方差，再基于 HRV 数据对应的方差对 HRV 数据进行筛选，能够排除方差较大，即波动程度大的可能是异常的 HRV 数据，从而得到准确度高且较

为平稳的符合预设方差范围的第一目标 HRV 数据；再基于第一目标 HRV 数据的多个目标峰值，确定第一目标 HRV 数据的 RR 间期序列，RR 间期序列中的 RR 间期表示两个相邻峰值之间的时间差，表示人体两次心跳之间的时间间隔，基于预设心跳时间间隔范围能够排除异常心跳对应的第一目标 HRV 数据，得到正常的数据即第二目标 HRV 数据，对每个第二目标 HRV 数据进行特征提取；通过方差以及预设心跳时间间隔范围，进行两次异常数据的过滤，得到了准确度高且符合人体心跳特性的第二目标 HRV 数据，基于第二目标 HRV 数据进行特征提取，能够得到精准的 HRV 特征。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为：所述基于 HRV 数据，确定所述 HRV 数据对应的多个目标峰值，包括：

基于最短心动间隔点数确定所述 HRV 数据中的多个初始峰值，其中，所述最短心动间隔点数为 HRV 数据中一次心跳所包含的数据点个数；

确定所述 HRV 数据的第一上包络线和第一下包络线；

基于百分比阈值、所述第一上包络线和所述第一下包络线，确定所述 HRV 数据的电压阈值；

从所述多个初始峰值中选择超过所述电压阈值的峰值，得到所述 HRV 数据的多个目标峰值。

通过采用上述技术方案，峰值表示一次心跳的最大电压幅值，正常的 HRV 数据对应的峰值处于一个设定的范围，基于最短心动间隔点数确定 HRV 数据中的多个初始峰值，且，基于百分比阈值以及 HRV 数据的第一上包络线和第一下包络线，计算 HRV 数据的电压阈值，电压阈值表示符合人体特性的最小峰值，通过电压阈值能够从多个初始峰值中筛选符合人体特性的峰值作为目标峰值，以使得到目标峰值更加准确。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为：所述获取滑动窗口对应的 HRV 数据，包括：

获取滑动窗口对应的第一初始 HRV 数据，确定所述第一初始 HRV 数据的第二上包络线和第二下包络线；

确定所述第二上包络线和所述第二下包络线之间的最大幅值差值；

基于所述第一初始 HRV 数据中每个数据点对应的第二上包络线数值、第二下包络线数值以及所述最大幅值差值，确定所述第一初始 HRV 数据中每个数据点的幅值调整比例；

基于数据点对应的幅值调整比例对所述第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整，得到 HRV 数据。

通过采用上述技术方案，获取滑动窗口对应的第一初始 HRV 数据，确定第一初始 HRV 数据的第二上包络线和第二下包络线，以及第二上包络线和第二下包络线的最大幅值差值，基于第一初始 HRV 数据中每个数据点对应的第二上包络线数值、第二下包络线数值以及最大幅值差值确定初始总 HRV 数据中每个数据点的幅值调整比例，进而基于幅值调整比例调整每个数据点，使得调整后的第一初始 HRV 数据的幅值仍在原始的第二上下包络线内，幅值过高的数据幅值变小，幅值过低的数据幅值变大，最终将第一初始 HRV 数据中各个数据点的幅值调整在一个合理的幅值区间，得到平滑且有效的 HRV 数据。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为：所述基于数据点对应的幅值调整比例对所述第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整，得到 HRV 数据，包括：

基于数据点对应的幅值调整比例对第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整，得到幅值调整后的第一 HRV 数据；

对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测，确定异常点；

基于所述异常点之前或之后的多个数据点对应的均值或中值，对所述异常点的值进行校正，得到所述 HRV 数据。

通过采用上述技术方案，对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测，确定异常点，基于异常点的周围数据的均值或中值，对异常点的值进行校正，能够使异常点的异常值回到正常值，保证了 HRV 数据的准确度和平滑度。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为：所述对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测，确定异常点，包括：

确定幅值调整后的第一 HRV 数据中目标数据点与前一数据点的第一差值，以及目标数据点与后一数据点的第二差值，其中，所述目标数据点为所述第一 HRV 数据中的任一数据；

5 计算所述第一差值和所述目标数据点的第一比值，以及所述第二差值和所述目标数据点的第二比值；

当所述目标数据点的第一比值和所述第二比值均大于预设比值阈值时，判定所述目标数据点为异常点。

通过采用上述技术方案，确定幅值调整后的第一 HRV 数据中目标数据点的第一比值和
10 第二比值，若目标数据点的第一比值、第二比值均超过预设比值阈值，表示目标数据点相较于周围数据点产生了数值突变，确定目标数据点为异常点，通过目标数据点相较于周围数据点的变化情况能够精确定异常点。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为：所述对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测，确定异常点，包括：

15 确定幅值调整后的第一 HRV 数据的中值，基于所述中值确定所述幅值调整后的第一 HRV 数据中的目标数据点的中值偏差；

当所述目标数据点的中值偏差大于预设偏差阈值时，判定所述目标数据点为异常点。

通过采用上述技术方案，确定幅值调整后的第一 HRV 数据的中值，基于中值确定幅值调整后的第一 HRV 数据中的目标数据点的中值偏差，若目标数据点的中值偏差大于预设偏差
20 阈值，表示目标数据点偏移第一 HRV 数据的中值的程度超出正常范围，将目标数据点判定为异常点，能够准确筛选出偏移数据中值过大的异常点。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为：所述获取滑动窗口对应的第一初始 HRV 数据，包括：

获取滑动窗口对应的第二初始 HRV 数据；

25 对所述第二初始 HRV 数据对应的时域信号进行快速傅里叶变换，得到所述第二初始 HRV 数据对应的频域信号；

基于预设频域区间判断所述第二初始 HRV 数据对应的频域信号是否为有效频域信号；

若有效，对有效频域信号进行分段滤波，将分段滤波后的有效频域信号整合并进行快速傅里叶反变换，得到滤波后的第一初始 HRV 数据。

30 通过采用上述技术方案，时域信号转换为频域信号后，通过预设频域区间判断有效频域信号，能够排除频率异常的数据，得到有效数据，再结合分段滤波操作对有效数据进行去噪，能够准确去除噪声干扰，提高第一初始 HRV 数据的精准度。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为：提取所述第二目标 HRV 数据的非线性特征，包括：

35 基于所述第二目标 HRV 数据绘制庞德加来散点图和差值散点图；

确定所述庞德加来散点图的椭圆长轴标准差和椭圆短轴标准差；

确定所述差值散点图中第一象限和第三象限中点的个数；

其中，所述非线性特征包括：椭圆长轴标准差、椭圆短轴标准差、第一象限中点的个数以及第三象限中点的个数。

40 通过采用上述技术方案，基于第二目标 HRV 数据绘制庞德加来散点图和差值散点图，从庞德加来散点图中得到的椭圆长轴标准差和椭圆短轴标准差能够反映人体的副交感神经活性，从差值散点图中得到的第一象限中点的个数以及第三象限中点的个数能够反映两个连续的心动间隔变化，指示心率和交感神经活性，基于这些非线性指标能够对人体的生理状态进行评估。

45 本申请在一可选示例中可以进一步配置为：所述多个目标峰值为所述 HRV 数据中超过电压阈值的峰值，所述电压阈值的确定步骤为：确定所述 HRV 数据的第一上包络线和第一

下包络线之间的幅值差值最大值，并确定所述幅值差值最大值和预设百分比阈值的乘积，并将所述乘积和所述幅值差值最大值对应的第一下包络线的幅值的和作为所述电压阈值。

第二方面，本申请提供一种 HRV 数据预处理装置，采用如下的技术方案：

一种 HRV 数据预处理装置，包括：

5 获取模块，用于获取滑动窗口对应的 HRV 数据；

第一处理模块，用于基于 HRV 数据，确定所述 HRV 数据对应的多个目标峰值，计算所述多个目标峰值的方差，将所述方差符合预设方差范围的 HRV 数据作为第一目标 HRV 数据；

10 第二处理模块，用于基于第一目标 HRV 数据的所述多个目标峰值，确定所述第一目标 HRV 数据的 RR 间期序列，判断所述 RR 间期序列的每个 RR 间期是否符合预设心跳时间间隔范围，将第一目标 HRV 数据中各个 RR 间期均符合所述预设心跳时间间隔范围的 HRV 数据作为第二目标 HRV 数据；

提取模块，用于提取所述第二目标 HRV 数据的时域特征、频域特征和非线性特征。

第三方面，本申请提供一种电子设备，采用如下的技术方案：

15 一个或多个处理器；

存储器；

一个或多个应用程序，其中所述一个或多个应用程序被存储在所述存储器中并被配置为由所述一个或多个处理器执行，所述一个或多个程序配置用于：执行如第一方面任一项所述的 HRV 数据预处理方法。

20 第四方面，本申请提供一种计算机可读存储介质，采用如下的技术方案：

一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序/指令，该计算机程序/指令被处理器执行时实现如第一方面任一项所述的 HRV 数据预处理方法。

第五方面，本申请提供一种装置，包括：处理器，用于从存储器中调用并运行计算机程序，使得安装有所述装置的设备执行如第一方面任一项所述的 HRV 数据预处理方法。

25 第六方面，本申请提供一种计算机程序产品，包括计算机程序/指令，该计算机程序/指令被处理器执行时实现如第一方面任一项所述的 HRV 数据预处理方法。

综上所述，本申请包括以下有益技术效果：

本申请通过获取滑动窗口对应的 HRV 数据；确定 HRV 数据对应的多个目标峰值，并计算多个目标峰值的方差，再基于 HRV 数据对应的方差对 HRV 数据进行筛选，能够排除
30 方差较大，即波动程度大的可能是异常的 HRV 数据，从而得到准确度高且较为平稳的符合预设方差范围的第一目标 HRV 数据；再基于第一目标 HRV 数据的多个目标峰值，确定第一目标 HRV 数据的 RR 间期序列，RR 间期序列中的 RR 间期表示两个相邻峰值之间的时间差，表示人体两次心跳之间的时间间隔，基于预设心跳时间间隔范围能够排除异常心跳对应的第一目标 HRV 数据，得到正常的的数据即第二目标 HRV 数据，对每个第二目标 HRV
35 数据进行特征提取；通过方差以及预设心跳时间间隔范围，进行两次异常数据的过滤，得到了准确度高且符合人体心跳特性的第二目标 HRV 数据，基于第二目标 HRV 数据进行特征提取，能够得到精准的 HRV 特征。

附图说明

40 图 1 是本申请实施例提供的一种 HRV 数据预处理方法的流程示意图；

图 2 是本申请实施例提供的部分时域信号波形；

图 3 是本申请实施例提供的第一上包络线和第一下包络线的示意图；

图 4 是本申请实施例提供的目标峰值示意图；

图 5 是本申请实施例提供的幅值调整前的波形示意图；

45 图 6 是本申请实施例提供的幅值调整后的波形示意图；

- 图 7 是本申请实施例提供的幅值调整前后的波形对比图；
图 8 是本申请实施例提供的功率谱波形示意图；
图 9 是本申请实施例提供的庞德加来散点图；
图 10 是本申请实施例提供的一种 HRV 数据预处理装置的结构示意图；
5 图 11 是本申请实施例提供的电子设备的结构示意图。

具体实施方式

以下结合附图 1-11 对本申请作进一步详细说明。

本具体实施例仅仅是对本申请的解释，其并不是对本申请的限制，本领域技术人员在
10 阅读完本说明书后可以根据需要对本实施例做出没有创造性贡献的修改，但只要在本申请的
权利要求范围内都受到专利法的保护。

为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请实施例中的
附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本
申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员
15 在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

另外，本文中术语“和/或”，仅仅是一种描述关联对象的关联关系，表示可以存在三种
关系，例如，A 和/或 B，可以表示：单独存在 A，同时存在 A 和 B，单独存在 B 这三种情
况。另外，本文中字符“/”，如无特殊说明，一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。

为了便于理解，下面对本方案涉及到的名词进行解释：

20 RR 间期：定义为连续两个峰值之间的时间差，也可被称为 NN 间期或者 IBI(Inter-Beat
Interval,心跳间隔)间期，通常以 ms 为单位，是计算 HRV 指标的重要数据。

心率：表示正常人在安静状态下每分钟心跳的次数。

ECG：指心电图，可以利用心电图机从人体体表记录心脏每一心动周期所产生的电活
动变化。

25 PPG：指光电容积图，是利用光电传感器检测经过人体血液和组织吸收后的反射光强
度的不同，描记出血管容积在心动周期内的变化。

HRV 数据可以为正常人体心电信号 ECG 或脉搏信号 PPG 中提取的搏动间隔的时间序
列，HRV 数据的信号波形为时域信号，表示人体心跳产生的电压随时间的变化情况，其中，
时域信号波形的横坐标表示时间，纵坐标表示电压。

30 本申请实施例提供一种 HRV 数据预处理方法，如图 1 所示，在本申请实施例中提供的
方法可以由电子设备执行，该电子设备可以为服务器也可以为终端设备，其中，该服务器
可以是独立的物理服务器，也可以是多个物理服务器构成的服务器集群或者分布式系统，
还可以是提供云计算服务的云服务器。终端设备可以是智能手机、平板电脑、笔记本电脑、
台式计算机等，但并不局限于此，该终端设备以及服务器可以通过有线或无线通信方式进
35 行直接或间接地连接，本申请实施例在此不做限制。

本申请实施例提供的 HRV 数据预处理方法主要解决实时预测过程中针对生理原始信
号进行特征提取的准确性，由于采集设备的精准度不够或者佩戴可能出现偏差等问题，导
致采集到的 HRV 数据中存在异常数据，本申请实施例对 HRV 数据进行预处理，剔除其中
的异常数据，提高了 HRV 数据的精准度，以便提取更精准的数据特征，该方法包括：

40 S101、获取滑动窗口对应的 HRV 数据。

在本申请实施例中，获取实时 HRV 数据，并根据滑动窗口分割实时 HRV 数据，得到
滑动窗口对应的 HRV 数据。

具体的，滑动窗口滑动特定时长，便从实时获取的 HRV 数据中分割出滑动窗口时长的
数据，当获取实时 HRV 数据的时长大于滑动窗口时长时，可以通过滑动窗口对实时 HRV
45 数据进行分割。假设滑动窗口时长设置为 15s，滑动窗口的滑动特定时长为 1s，获取实时

HRV 数据的时长超过 15s 时, 滑动窗口可以对实时 HRV 数据进行一次分割, 获得滑动窗口对应的 0-15s 的 HRV 数据, 当实时 HRV 数据的时长超过滑动窗口时长和滑动特定长

5 的和, 即 16s 时, 通过滑动窗口对实时 HRV 数据进行第二次分割, 获得滑动窗口对应的 1-16s 的 HRV 数据。以此类推, 滑动窗口每滑动一次, 可以获得 15s 的 HRV 数据, 最终得到多个 HRV 数据。

其中, 对于滑动特定时长以及滑动窗口时长, 本申请实施例不进行限定, 用户可以根据实际需求设置。

滑动窗口按照滑动特定时长将实时 HRV 数据分割, 得到滑动窗口对应的 HRV 数据。通过滑动窗口分割数据可以保留时间序列中的顺序关系, 以将长序列分割成多个较短的窗口数据即 HRV 数据, 相邻的 HRV 数据存在数据冗余, 即使后续数据处理过程中去除部分

10 窗口数据也能保证整体数据的相对完整性, 通过窗口数据可以捕捉到更细小的变化和波动, 进而, 根据细小变化和波动中的异常情况进行数据去除, 使得最终保留的数据更加精准。

S102、基于 HRV 数据, 确定 HRV 数据对应的多个目标峰值, 计算多个目标峰值的方差, 将方差符合预设方差范围的 HRV 数据作为第一目标 HRV 数据。

15 在本申请实施例中, 假设某一滑动窗口对应的目标峰值为 n 个, 分别为: R_1 、 R_2 R_n 。计算 n 个目标峰值的均值 avg , 其表达式为:

$$avg = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n}$$

计算 n 个目标峰值的方差 s^2 , 其表达式为:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{R_i}{avg} - 1 \right)^2}{n}$$

其中, n 表示目标峰值的个数, R_i 表示 n 个目标峰值中的第 i 个目标峰值, avg 表示 n 个目标峰值的均值。

20 判断方差是否符合预设方差范围, 若方差不符合预设方差范围, 表示可能由于人体佩戴的采集设备网络延迟或故佩戴的采集设备受到晃动, 导致 HRV 数据对应的目标峰值产生了较大的波动, 为了整体数据的准确性, 将 HRV 数据剔除不用, 仅保留方差符合预设方差范围的 HRV 数据作为第一目标 HRV 数据。其中, 预设方差范围表示目标峰值的波动程度, 可以根据实际需求设置为 0-1。

25 S103、基于第一目标 HRV 数据的多个目标峰值, 确定第一目标 HRV 数据的 RR 间期序列, 判断 RR 间期序列的每个 RR 间期是否符合预设心跳时间间隔范围, 将第一目标 HRV 数据中各个 RR 间期均符合预设心跳时间间隔范围的 HRV 数据作为第二目标 HRV 数据。

在本申请实施例中, 对于第一目标 HRV 数据, 获取多个目标峰值各自对应的时刻, 计算第一目标 HRV 数据中相邻两个目标峰值的时间差, 得到第一目标 HRV 数据对应的 RR

30 间期序列, 假设第一目标 HRV 数据的目标峰值数量为 $n+1$, 目标峰值对应的横坐标时间分别为 R_1 、 R_2 R_{n+1} , 通过计算每两个相邻目标峰值的时间差值得到的 RR 间期的数量为 n , 对应的 RR 间期序列可以表示为 $[RR_1$ 、 RR_2 $RR_n]$, 其中, $RR_n = R_{n+1} - R_n$ 。

图 2 示出了第一目标 HRV 数据对应的部分时域信号波形, 横坐标表示时间, 纵坐标表示时间对应的电压幅值; 峰值表示一次心跳产生的最大电压, 图 2 中示出了 3 个目标峰值, 对应的横坐标分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 , R_1 和 R_2 之间的时间差为 $R_2 - R_1$, R_1 和 R_2 形成的 RR

35 间期为 RR_1 , 同理, R_2 和 R_3 形成的 RR 间期: $RR_2 = R_3 - R_2$ 。图 2 中 QST 波群表示心室除极; P 波表示心房的激动; T 波表示心室复极化; QT 间期表示心室除极到完全复极的时间; ST 段表示心室除极完成, 复极尚未开始的一段时间。

预设心跳时间间隔范围表示正常情况下的 RR 间期的最大值, 可以根据被测人员的年龄确定。若第一目标 HRV 数据对应的 RR 间期序列中存在不符合预设心跳时间间隔的 RR

40 间期, 表示第一目标 HRV 数据中产生了异常数据, 将异常数据对应的第一目标 HRV 数据

剔除，保留每个 RR 间期均符合预设心跳时间间隔范围的第一目标 HRV 数据作为第二目标 HRV 数据。

S104、提取第二目标 HRV 数据的时域特征、频域特征和非线性特征。

可见，在本申请实施例中，通过获取滑动窗口对应的 HRV 数据；确定 HRV 数据对应的多个目标峰值，并计算多个目标峰值的方差，再基于 HRV 数据对应的方差对 HRV 数据进行筛选，能够排除方差较大，即波动程度大的可能是异常的 HRV 数据，从而得到准确度高且较为平稳的符合预设方差范围的第一目标 HRV 数据；再基于第一目标 HRV 数据的多个目标峰值，确定第一目标 HRV 数据的 RR 间期序列，RR 间期序列中的 RR 间期表示两个相邻峰值之间的时间差，表示人体两次心跳之间的时间间隔，基于预设心跳时间间隔范围能够排除异常心跳对应的第一目标 HRV 数据，得到正常的第二目标 HRV 数据，对每个第二目标 HRV 数据进行特征提取；通过方差以及预设心跳时间间隔范围，进行两次异常数据的过滤，得到了准确度高且符合人体心跳特性的第二目标 HRV 数据，基于第二目标 HRV 数据进行特征提取，能够得到精准的 HRV 特征。

本申请实施例的一种可能的实现方式，基于 HRV 数据，确定 HRV 数据对应的多个目标峰值，包括：

基于最短心动间隔点数确定 HRV 数据中的多个初始峰值，其中，最短心动间隔点数为 HRV 数据中一次心跳所包含的数据点个数；

确定 HRV 数据的第一上包络线和第一下包络线；

基于百分比阈值、第一上包络线和第一下包络线，确定 HRV 数据的电压阈值；

从多个初始峰值中选择超过电压阈值的峰值，得到 HRV 数据的多个目标峰值。

在本实施例中，最短心动间隔点数表示心跳一次至少对应的数据点的数量，其可通过表达式计算得到，该表达式为：

$$\text{winSize} = \frac{60}{\text{maxRatePerMin1}} \times \text{freq}$$

其中，winSize 为最短心动间隔点数，maxRatePerMin1 表示最大心率，即正常人在安静状态下每分钟心跳的最大次数，可以根据人体特性设置为 120；freq 为采集原始 HRV 数据时设置的采样率，表示每秒钟采集多少个数据点；60 表示 1min 为 60s，用于单位转换。

在本申请实施例中，确定 HRV 数据中的所有极大值点和极小值点；将 HRV 时域信号波形（即 HRV 数据）按照最短心动间隔点数分段，得到多个数据段，每个数据段中包含的数据点个数为最短心动间隔点数；对于每个数据段，若数据段中不包含极大值，则不选取初始峰值，若数据段中包含一个极大值，则将该极大值作为初始峰值，若数据段中包含两个及两个以上极大值，在两个及两个以上极大值中选择幅值最大的一个作为初始峰值，从而得到 HRV 数据对应的多个初始峰值。

通过电压阈值对初始峰值进行筛选，得到符合人体特性的目标峰值。具体的，如图 3 所示，将所有的极大值点通过平滑曲线连接，构成 HRV 数据的第一上包络线，对于相邻两个极大值点之间，选择最小的极小值点作为波谷，将所有的波谷通过平滑曲线连接，构成 HRV 数据的第一下包络线。

确定 HRV 数据中每个数据点对应的第一上包络线和第一下包络线的幅值差值，差值的表达式为：

$$\text{maxThresholdi} = \text{upperEnvelopei} - \text{underEnvelopei}$$

其中，maxThresholdi 表示 HRV 数据中第 i 个数据点对应的第一上包络线和第一下包络线的差值，upperEnvelopei 表示 HRV 数据中第 i 个数据点对应的第一上包络线的幅值，underEnvelopei 表示 HRV 数据中第 i 个数据点对应的第一下包络线的幅值。

确定第一上包络线和第一下包络线之前幅值差值的最大值 maxThreshold1。

可选的，多个目标峰值为 HRV 数据中超过电压阈值的峰值，其中，所述电压阈值的确定步骤为：确定所述 HRV 数据的第一上包络线和第一下包络线之间的幅值差值最大值，并

确定所述幅值差值最大值和预设百分比阈值的乘积，并将所述乘积和所述幅值差值最大值对应的第一下包络线的幅值的和作为所述电压阈值。

具体地，计算电压阈值，也叫做百分比线值，表示正常人体采集到的 HRV 数据中峰值的最小值，百分比线值 Y 的表达式为：

$$Y = \maxThreshold1 \times \text{thersholdPercent} + \text{underEnvelope}$$

- 5 其中，thersholdPercent 为预设百分比阈值，可根据历史 HRV 数据设置，如设置为 70%；maxThreshold1 为第一上包络线和第一下包络线之前幅值差值的最大值；underEnvelope 为 maxThreshold1 对应的第一下包络线的幅值。

如图 4 所示，曲线为 HRV 数据的时域信号波形，直线为百分比线，其对应的幅值为电压阈值，其中，超过电压阈值的初始峰值被判定为目标峰值。

- 10 可见，在本申请实施例中，峰值表示一次心跳的最大电压幅值，正常的 HRV 数据对应的峰值处于一个设定的范围，基于最短心动间隔点数确定 HRV 数据中的多个初始峰值，且，基于百分比阈值以及 HRV 数据的第一上包络线和第一下包络线，计算 HRV 数据的电压阈值，电压阈值表示符合人体特性的最小峰值，通过电压阈值能够从多个初始峰值中筛选符合人体特性的峰值作为目标峰值，以使得得到目标峰值更加准确。

- 15 进一步的，为了提高 HRV 数据的精准度，计算多个目标峰值的方差包括：计算相邻两个目标峰值之间的时间差，作为 RR 间期；判断 RR 间期是否在预设时间间隔范围内，若存在任一 RR 间期不在心跳时间间隔范围内，则确定该 HRV 数据为异常数据；若所有 RR 间期在心跳时间间隔范围内，则计算多个目标峰值的方差，将方差符合预设方差范围的 HRV 数据作为第一目标数据。其中，心跳时间间隔范围从正常人体采集到的 HRV 数据对应的
- 20 RR 间期符合的心跳时间间隔，可以设置为 0-3s。

本申请实施例的一种可能的实现方式，获取滑动窗口对应的 HRV 数据，包括：

获取滑动窗口对应的第一初始 HRV 数据，确定第一初始 HRV 数据的第二上包络线和第二下包络线；

确定第二上包络线和第二下包络线之间的最大幅值差值；

- 25 基于第一初始 HRV 数据中每个数据点对应的第二上包络线数值、第二下包络线数值以及最大幅值差值，确定第一初始 HRV 数据中每个数据点的幅值调整比例；

基于数据点对应的幅值调整比例对第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整，得到 HRV 数据。

- 具体的，确定第一初始 HRV 数据的第二上包络线和第二下包络线，包络线的生成过程可参考上述生成第一上包络线和第一下包络线的过程。
- 30 当前数据点的幅值调整比例 ratio 的表达式为：

$$\text{ratio} = \frac{h1 - h2}{\maxThreshold2}$$

其中，h1 为当前数据点对应的第二上包络线处的幅值，h2 为当前数据点对应的第二下包络线处的幅值，maxThreshold2 为第二上包络线和第二下包络线的幅值差值的最大值。

当前数据点调整后的幅值结果 h3 的表达式为：

$$h3 = \frac{h - h2}{\text{ratio}}$$

- 35 其中，h 为当前数据点调整前的幅值，h2 为当前数据点对应的第二下包络线处的幅值，ratio 为当前数据点的幅值调整比例。

设备采集到的原始 HRV 数据的幅值为电压，可以将原始 HRV 数据的幅值从电压转换为百分数，便于对 HRV 数据进行处理和分析，具体的，将所有 HRV 数据点的电压幅值与设定值的比值作为更新后的数据点的幅值，得到的以百分数表示幅值的第一初始 HRV 数据，

40 其中，设定值是根据实际需求设置的，以通过设定值将原始的电压幅值调整在合适的百分数范围内。

图 5 为第一初始 HRV 数据进行幅值调整前的波形图,波形的横轴表示时间,纵轴用百分数表示幅值;图 6 为进行幅值调整后的 HRV 数据的波形图;图 7 为幅值调整前后的波形对比图,可以看出,幅值调整后的波形处于一个更小的幅值范围内,调整后的波形更加和缓。

5 可见,在本申请实施例中,获取滑动窗口对应的第一初始 HRV 数据,确定第一初始 HRV 数据的第二上包络线和第二下包络线,以及第二上包络线和第二下包络线的最大幅值差值,基于第一初始 HRV 数据中每个数据点对应的第二上包络线数值、第二下包络线数值以及最大幅值差值确定初始总 HRV 数据中每个数据点的幅值调整比例,进而基于幅值调整比例调整每个数据点,使得调整后的第一初始 HRV 数据的幅值仍在原始的第二上下包络线
10 内,幅值过高的数据幅值变小,幅值过低的数据幅值变大,最终将第一初始 HRV 数据中各个数据点的幅值调整在一个合理的幅值区间,得到平滑且有效的 HRV 数据。

本申请实施例的一种可能的实现方式,基于数据点对应的幅值调整比例对第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整,得到 HRV 数据,包括:

15 基于数据点对应的幅值调整比例对第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整,得到幅值调整后的第一 HRV 数据;

对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测,确定异常点;

基于异常点之前或之后的多个数据点对应的均值或中值,对异常点的值进行校正,得到 HRV 数据。

20 第一初始 HRV 数据总体是非平滑的,可以通过对异常数据检测和校正来提高数据的精度。对于检测得到的异常点,本实施例提供了两种校正方法,分别为均值校正法和中值校正法。

具体的,针对每个异常点,取异常点之前或之后多个数据点对应的均值或者中值,作为异常点的替换值。其中,多个数据点可以为异常点之前或之后特定数量的数据点,或者,多个数据点为异常点之前或之后特定时长对应的数据点,其中,特定数量和特定时长是根据实际需求设置的,可选的,特定数量设置为 75,特定时长设置为 2.5s。
25 据实际需求设置的,可选的,特定数量设置为 75,特定时长设置为 2.5s。

可见,在本申请实施例中,对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测,确定异常点,基于异常点的周围数据的均值或中值,对异常点的值进行校正,能够使异常点的异常值回到正常值,保证了 HRV 数据的准确度和平滑度。

30 本申请实施例的一种可能的实现方式,对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测,确定异常点,包括:

确定幅值调整后的第一 HRV 数据中目标数据点与前一数据点的第一差值,以及目标数据点与后一数据点的第二差值,其中,目标数据点为第一 HRV 数据中的任一数据;

计算第一差值和目标数据点的第一比值,以及第二差值和目标数据点的第二比值;

35 当目标数据点的第一比值和第二比值均大于预设比值阈值时,判定目标数据点为异常点。

在本申请实施例中,百分比检测,用于检测相较于相邻数据点产生了幅值突变的异常点。预设比值阈值表示目标数据点相较于前一数据点或后一数据点,目标数据点幅值的变化程度,可以根据实际需求设置为 20%。

40 具体的,假设目标数据点的幅值为 B,目标数据点前一数据点的幅值为 A,目标数据点后一数据点的幅值为 C,目标数据点与前一数据点的差值为第一差值 B-A,目标数据点与后一数据点的差值为第二差值 B-C。第一差值 B-A 和目标数据点的比值的绝对值,即第一比值 $|(B-A)/B \times 100\%|$,第二差值 B-C 和目标数据点的比值的绝对值,即第二比值 $|(B-C)/B \times 100\%|$,若目标数据点的第一比值和第二比值均大于预设比值阈值,将目标数据点判定为异常点。

45 可见,在本申请实施例中,确定幅值调整后的第一 HRV 数据中目标数据点的第一比值和第二比值,若目标数据点的第一比值、第二比值均超过预设比值阈值,表示目标数据点

相较于周围数据点产生了数值突变，确定目标数据点为异常点，通过目标数据点相较于周围数据点的变化情况能够精准确定异常点。

本申请实施例的一种可能的实现方式，对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测，确定异常点，包括：

5 确定幅值调整后的第一 HRV 数据的中值，基于中值确定幅值调整后的第一 HRV 数据中的目标数据点的中值偏差；

当目标数据点的中值偏差大于预设偏差阈值时，判定目标数据点为异常点。

在本申请实施例中，确定幅值调整后的第一 HRV 数据的中值 median；计算每一数据点与中值的差值的绝对值，生成一个差值集合；确定差值集合的中值 medianDiff。

10 计算目标数据点的中值偏差 f，其表达式为：

$$f = \frac{\text{目标数据点幅值} - \text{median}}{k \times \text{medianDiff}}$$

其中，k 为根据经验设置的系数，k 的值为 1.483。

若目标数据点的中值偏差大于预设偏差阈值，将目标数据点判定为异常点。其中，预设阈值表示目标数据点偏移数据中值的最大程度，可以根据实际经验设置为 4。

可见，在本申请实施例中，确定幅值调整后的第一 HRV 数据的中值，基于中值确定幅值调整后的第一 HRV 数据中的目标数据点的中值偏差，若目标数据点的中值偏差大于预设偏差阈值，表示目标数据点偏移第一 HRV 数据的中值的程度超出正常范围，将目标数据点判定为异常点，能够准确筛选出偏移数据中值过大的异常点。

本申请实施例的一种可能的实现方式，获取滑动窗口对应的第一初始 HRV 数据，包括：获取滑动窗口对应的第二初始 HRV 数据；

20 对第二初始 HRV 数据对应的时域信号进行快速傅里叶变换，得到第二初始 HRV 数据对应的频域信号；

基于预设频域区间判断第二初始 HRV 数据对应的频域信号是否为有效频域信号；

若有效，对有效频域信号进行分段滤波，将分段滤波后的有效频域信号整合并进行快速傅里叶反变换，得到滤波后的第一初始 HRV 数据。

25 滤波的主要原理是分段将时域信号转成频域信号滤波之后再转换回时域信号，对获取的滑动窗口对应的第二初始 HRV 数据进行快速傅里叶变换，得到频域信号。

HRV 数据的频域信号主要集中在预设频域区间内，计算预设频域区间内信号能量与频域总能量的比值，若该比值大于预设比值阈值，表明频域信号对应的 HRV 数据为有效数据，选取有效的 HRV 数据进行滤波，以得到精准的第一初始 HRV 数据。其中，PPG 信号的预设频域区间可选取 0.5-4Hz；ECG 信号的预设频域区间可选取 0.25-45Hz，预设比值阈值可以根据实际经验设置为 90%。

对有效的频域信号进行分段滤波，分段滤波的优点是没有相位偏差，但是数据不能太长，实时滤波中的窗口长度也不能太长，因此本申请实施例中选择 4096 长度的窗口作为滤波窗口，表示每个滤波窗口表示一段 HRV 数据，其中包含 4096 个数据点。

35 进一步的，窗口滤波可以采用高通滤波。高通滤波设定为高频信号能正常通过，而低于设定频率临界值的低频信号被阻隔或减弱，能够解决数据跳刺，且能去除环境中的工频干扰。数据跳刺指由于数据源的质量问题、采样偏差、设备故障或其他外部因素造成，导致数据中出现的随机且短暂的尖峰、抖动或异常值。由于存在其他设备干扰，或是采集设备为耳夹传感器时容易受到晃动，可能会产生工频干扰信号，工频干扰信号一般为 50Hz 或 60Hz，主要表现为信号测量时可能会出现正弦波或其他信号与正弦波的叠加。

可见，在本申请实施例中，时域信号转换为频域信号后，通过预设频域区间判断有效频域信号，能够排除频率异常的数据，得到有效数据，再结合分段滤波操作对有效数据进行去噪，能够准确去除噪声干扰，提高第一初始 HRV 数据的精准度。

本申请实施例的一种可能的实现方式，在对第二初始 HRV 数据进行滤波之前，对滑动

窗口对应的第二初始 HRV 数据进行小波分解，通过小波分解产生的小波系数含有 HRV 数据的重要信息，经小波分解后的有效数据对应的小波系数较大，噪声对应的小波系数较小，且噪声的小波系数小于有效信号的小波系数，通过选取一个合适的预设阈值进行筛选，大于阈值的小波系数被认为是有效信号，小于阈值的小波系数被认为是噪声，基于预设阈值对小波系数进行调整，对各层的调整后的小波系数进行小波重构，得到小波去噪后的第二初始 HRV 数据；

其中，小波分解的层数是根据实际需求设置的，可以设置为五层；预设阈值是根据历史数据中的噪声大小设置的，可以设置为 30db。

进一步的，基于预设阈值对小波系数进行调整，可以将小于预设阈值的小波系数置零处理，不小于预设阈值的小波系数不处理，或是用小波系数与预设阈值的差值，代替不小于预设阈值的小波系数。

本申请实施例的一种可能的实现方式，将第一目标 HRV 数据中各个 RR 间期均符合预设心跳时间间隔范围的 HRV 数据作为第二目标 HRV 数据之前，方法还包括：

确定 HRV 数据对应的人员年龄；

基于 HRV 数据对应的人员年龄以及预设正常心跳清单，确定人员年龄对应的预设心跳时间间隔范围；

其中，正常心跳清单表示不同年龄段与正常心跳范围的对应关系。

实际情况中，不同年龄段的人群的心率不同，对应的 RR 间期也不同，因此可以结合人员年龄确定正常的 RR 间期范围。

具体的，不同年龄段对应的正常心率可以参考预设正常心跳清单：新生儿（出生至 4 周）：100-205；婴儿（4 周至 1 岁）：100-180；幼儿（1 至 3 岁）：98-140；学前班（3 至 5 岁）：80-120；学龄期（5 至 12 岁）：75-118；青少年（13 至 18 岁）：60-100；成年人（18 岁以上）：60-100；成年运动员：40-60。

根据 HRV 数据对应的人员年龄和预设正常心跳清单确定预设心跳时间间隔范围，RR 间期=60000/心率，其中，60000 表示 1min=60000ms。

判断 RR 间期序列的每个 RR 间期是否符合预设心跳时间间隔范围，若第一目标 HRV 数据中存在不符合预设心跳时间间隔范围的 RR 间期，则将第一目标 HRV 数据剔除不用，将第一目标 HRV 数据中各个 RR 间期均符合预设心跳时间间隔范围的 HRV 数据作为第二目标 HRV 数据。

针对提取第二目标 HRV 数据的特征，本申请实施例进行进一步阐述。

在一种可实现的方式中，将第二目标 HRV 数据看作时间的函数，通过分析得到第二目标 HRV 数据的时域特征，时域特征可以包括：MeanRR(ms)、MeanHR(bpm)、SDNN(ms)、SDANN(ms)、RMSSD(ms)、SDSD(ms)、pNN50(%)和 pNN20(%)。

第二目标 HRV 数据的时域特征，包括：

MeanRR：表示 N 个 RR 间期的均值，单位为 ms，其表达式为：

$$\text{MeanRR} = \frac{RR_1 + RR_2 + \dots + RR_N}{N}$$

MeanHR 表示平均心率值，其表达式为：

$$\text{MeanHR} = \frac{60000}{\text{MeanRR}}$$

其中，60000 表示 1min=60s=60000ms，MeanRR 表示 N 个 RR 间期的均值。

SDNN：表示 N 个 RR 间期的标准差，能够反映心率的缓慢变化，是评价交感神经功能的敏感指标，其表达式为：

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RR_i - \text{MeanRR})^2}$$

其中, RR_i 表示第 i 个 RR 间期; MeanRR 表示 N 个 RR 间期的均值。

SDANN: 表示预设时间内 RR 间期均值的标准差, 假设预设时间内有 M 个滑动窗口, M 个滑动窗口对应 M 个 RR 间期均值, 分别为: $\text{MeanRR}_1, \text{MeanRR}_2, \dots, \text{MeanRR}_M$, SDANN 的表达式为:

$$SDANN = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\text{MeanRR}_i - \text{MeanRR}_z)^2}$$

5 其中, MeanRR_z 表示 M 个 RR 间期均值的均值, 其表达式为:

$$\text{MeanRR}_z = \frac{\text{MeanRR}_1 + \text{MeanRR}_2 + \dots + \text{MeanRR}_M}{M}$$

RMSSD: 表示连续相邻 RR 间期的均方根, 其表达式为:

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RR_i - RR_{i-1})^2}$$

其中, RR_i 表示第 i 个 RR 间期, RR_{i-1} 表示第 $i-1$ 个 RR 间期。

SDSD: 表示相邻 RR 间期之差的标准差, 其表达式为:

$$SDSD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((RR_i - RR_{i-1}) - (\text{MeanRR} - \text{MeanRR}_{i-1}))^2}$$

10 其中, RR_i 表示第 i 个 RR 间期, RR_{i-1} 表示第 $i-1$ 个 RR 间期, N 为 RR 间期的个数, MeanRR 表示 N 个 RR 间期的均值。

pNN50: 表示相邻 RR 间期之差大于 50ms 的 RR 间期个数占 RR 间期总数的百分比, 假设 RR 间期的个数为 N , 计算每个 RR 间期与前一个 RR 间期的差值的绝对值, 得到 $N-1$ 个差值的绝对值, 其中 a 个差值的绝对值大于 50ms, 则 NN50 的值为 a , pNN50 的表达式为:

$$pNN50 = \frac{a}{N-1} \times 100\%$$

15 pNN20: 表示相邻 RR 间期之差大于 20ms 的 RR 间期个数占 RR 间期总数的百分比, 假设 RR 间期的个数为 N , 计算每个 RR 间期与前一个 RR 间期的差值的绝对值, 得到 $N-1$ 个差值的绝对值, 其中 b 个差值的绝对值大于 20ms, 则 NN20 的值为 b , pNN20 的表达式为:

$$pNN20 = \frac{b}{N-1} \times 100\%$$

20 在一种可实现的方式中, 提取第二目标 HRV 数据的频域特征, 包括: 利用快速傅里叶变换将第二目标 HRV 数据的时域信号转换为频域信号, 进而对频域信号进行特征提取, 得到的频域特征可以包括: 频段, 包括超极低频、极低频、低频、高频, 以及各频段对应的频率范围; Total Power(ms²), 表示超极低频, 极低频, 低频, 高频在内的功率的总和; Power(ms²), 表示频段的功率频段的功率占总功率的百分比; Power Percent(%), 表示 Power Normalized, 表示低频和高频功率分别占低频和高频功率总合的百分比; Peak(Hz), 表示在

不同频段中功率最大值对应的频率；LF/HF，表示低频段和高频段功率的比值。

具体的，第二目标 HRV 数据的频域特征，包括：

将第二目标 HRV 数据对应的频域信号从频域谱转换为功率谱，得到的功率谱波形如图 8 所示，图 8 中信号划分为 4 个频段，分别为：超极低频 ULF，其频率范围为 0-0.0033Hz；

- 5 极低频 VLF，其频率范围为 0.0033-0.04Hz；低频 LF，其频率范围为 0.04-0.15Hz；高频 HF，其频率范围为 0.15-0.4Hz。

频段的功率 Power 可以用频段时间轴与波形形成的图形的面积来表示，从而得到 4 个频段对应的功率，分别为：超极低频功率 PULF、极低频功率 PVLF、低频功率 PLF、高频功率 PHF。

- 10 Total Power：表示超极低频功率 PULF、极低频功率 PVLF、低频功率 PLF、高频功率 PHF 的总和，其表达式为：

$$\text{Total Power} = P_{ULF} + P_{VLF} + P_{LF} + P_{HF}$$

Power Percent：表示频段的功率占总功率的百分比，以超极低频 ULF 为例，其功率占总功率的百分比表达式为：

$$\text{Power Percent(PULF)} = \frac{P_{ULF}}{\text{Total Power}} \times 100\%$$

- 15 其中，Total Power 为超极低频功率 PULF、极低频功率 PVLF、低频功率 PLF、高频功率 PHF 的总和。

Power Normalized：表示低频和高频功率分别占低频和高频功率总和的百分比，以低频 LF 为例，其功率占低频和高频功率总和的百分比表达式为：

$$\text{Power Normalized(PLF)} = \frac{PLF}{PLF + PHF} \times 100\%$$

其中，PLF 表示低频功率，PHF 表示高频功率。

- 20 Peak：表示不同频段中功率最大值对应的频率，基于功率谱可以确定不同频段中功率最大值对应的频率。

LF/HF：表示低频段和高频段功率的比值，即 PLF/PHF。

本申请实施例的一种可能的实现方式，提取第二目标 HRV 数据的非线性特征，包括：

基于第二目标 HRV 数据绘制庞德加来散点图和差值散点图；

确定庞德加来散点图的椭圆长轴标准差和椭圆短轴标准差；

- 25 确定差值散点图中第一象限和第三象限中点的个数；

其中，非线性特征包括：椭圆长轴标准差、椭圆短轴标准差、第一象限中点的个数以及第三象限中点的个数。

- 30 Poincare：庞德加来散点图，利用 RR 间期变化绘制的图像，每一个 RR 间期都会受到前一个 RR 间期的影响，如图 9 所示，庞德加来散点图的横坐标为 IBI 间期（RR 间期），纵坐标为下一个 IBI 间期（RR 间期），庞德加来散点图揭示了时间序列中连续值之间的相关性，包含了 HRV 的线性和非线性的变化趋势，给出了心脏波动的直观显示，能揭示非线性过程和非周期性运动。

从庞德加来散点图中提取的非线性指标包括：椭圆长轴标准差 SD1、椭圆短轴标准差 SD2，其中：

- 35 SD1，代表短期变异性，一般反映副交感神经活性，当 SD1 减少时，副交感神经活性降低，交感神经活性增强，SD1 的表达式为：

$$SD_1 = \sqrt{\frac{SDSD^2}{2}}$$

其中，SDSD 表示时域特征中相邻 RR 间期之差的标准差。

SD2，代表长期变异性，与交感神经活性关联程度比与副交感神经活性更强，当 SD2

减少时，交感神经活性增加，SD₂的表达式为：

$$SD_2 = \sqrt{2SDNN^2 - \frac{SDSD^2}{2}}$$

其中，表示时域特征中N个RR间期的标准差，SDSD表示时域特征中相邻RR间期之差的标准差。

Scatter：差值散点图，又叫二阶差分图，用以评估交感神经和副交感神经的平衡性以及频谱分析估计，优势是利用稳定的关联的RR间期序列。差值散点图以连续三个RR间期做差值得到一个坐标点做点图，差值散点图的x轴表示当前心脏节拍的持续时间RR_i与上一个心脏节拍RR_{i-1}的持续时间的差，第i个点在x轴上的坐标为：

$$x_i = RR_i - RR_{i-1}$$

差值散点图的y轴表示当前心脏节拍RR_i的持续时间与下一个心脏节拍的持续时间RR_{i+1}的差，第i个点在y轴上的坐标为：

$$y_i = RR_i - RR_{i+1}$$

差值散点图表示时间序列中连续的速率值之间的相关性，从差值散点图提取的非线性指标为：第一象限中点的个数A++、第三象限中点的个数B--，横纵坐标单位为ms。

A++，第一象限点表示两个连续的心动间隔增加，心率减小，代表副交感神经活性。

B--，第三象限点表示两个连续的心动间隔减小，心率增加，代表交感神经活性。

对于通过HRV数据处理后提取到的时域特征、频域特征以及非线性特征，可以将这些特征用于机器学习训练，以通过训练好的模型对人体生理状态进行预测，提高了预测的精度。

上述实施例从方法流程的角度介绍一种HRV数据预处理方法，下述实施例从虚拟模块或者虚拟单元的角度介绍了一种HRV数据预处理装置，具体详见下述实施例。

本申请实施例提供一种HRV数据预处理装置，如图10所示，该装置可以包括：

获取模块1001，用于获取滑动窗口对应的HRV数据；

第一处理模块1002，用于基于HRV数据，确定HRV数据对应的多个目标峰值，计算多个目标峰值的方差，将方差符合预设方差范围的HRV数据作为第一目标HRV数据；

第二处理模块1003，用于基于第一目标HRV数据的多个目标峰值，确定第一目标HRV数据的RR间期序列，判断RR间期序列的每个RR间期是否符合预设心跳时间间隔范围，将第一目标HRV数据中各个RR间期均符合预设心跳时间间隔范围的HRV数据作为第二目标HRV数据；

提取模块1004，用于提取第二目标HRV数据的时域特征、频域特征和非线性特征。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为：第一处理模块1002在执行基于HRV数据，确定HRV数据对应的多个目标峰值时，具体用于：

基于最短心动间隔点数确定HRV数据中的多个初始峰值，其中，最短心动间隔点数为HRV数据中一次心跳所包含的数据点个数；

确定HRV数据的第一上包络线和第一下包络线；

基于百分比阈值、第一上包络线和第一下包络线，确定HRV数据的电压阈值；

从多个初始峰值中选择超过电压阈值的峰值，得到HRV数据的多个目标峰值。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为：获取模块1001在执行获取滑动窗口对应的HRV数据时，具体用于：

获取滑动窗口对应的第一初始HRV数据，确定第一初始HRV数据的第二上包络线和第二下包络线；

确定第二上包络线和第二下包络线之间的最大幅值差值；

基于第一初始HRV数据中每个数据点对应的第二上包络线数值、第二下包络线数值以及最大幅值差值，确定第一初始HRV数据中每个数据点的幅值调整比例；

基于数据点对应的幅值调整比例对第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整,得到 HRV 数据。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为:获取模块 1001 在执行基于数据点对应的幅值调整比例对第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整,得到 HRV 数据时,具体用于:

基于数据点对应的幅值调整比例对第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整,得到幅值调整后的第一 HRV 数据;

对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测,确定异常点;

基于异常点之前或之后的多个数据点对应的均值或中值,对异常点的值进行校正,得到 HRV 数据。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为:获取模块 1001 在执行对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测,确定异常点时,具体用于:

确定幅值调整后的第一 HRV 数据中目标数据点与前一数据点的第一差值,以及目标数据点与后一数据点的第二差值,其中,目标数据点为第一 HRV 数据中的任一数据;

计算第一差值和目标数据点的第一比值,以及第二差值和目标数据点的第二比值;

当目标数据点的第一比值和第二比值均大于预设比值阈值时,判定目标数据点为异常点。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为:获取模块 1001 在执行对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测,确定异常点时,具体用于:

确定幅值调整后的第一 HRV 数据的中值,基于中值确定幅值调整后的第一 HRV 数据中的目标数据点的中值偏差;

当目标数据点的中值偏差大于预设偏差阈值时,判定目标数据点为异常点。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为:获取模块 1001 在执行获取滑动窗口对应的第一初始 HRV 数据时,具体用于:

获取滑动窗口对应的第二初始 HRV 数据;

对第二初始 HRV 数据对应的时域信号进行快速傅里叶变换,得到第二初始 HRV 数据对应的频域信号;

基于预设频域区间判断第二初始 HRV 数据对应的频域信号是否为有效频域信号;

若有效,对有效频域信号进行分段滤波,将分段滤波后的有效频域信号整合并进行快速傅里叶反变换,得到滤波后的第一初始 HRV 数据。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为:提取模块 1004 在执行提取第二目标 HRV 数据的非线性特征时,具体用于:

基于第二目标 HRV 数据绘制庞德加来散点图和差值散点图;

确定庞德加来散点图的椭圆长轴标准差和椭圆短轴标准差;

确定差值散点图中第一象限和第三象限中点的个数;

其中,非线性特征包括:椭圆长轴标准差、椭圆短轴标准差、第一象限中点的个数以及第三象限中点的个数。

本申请在一可选示例中可以进一步配置为:所述多个目标峰值为所述 HRV 数据中超过电压阈值的峰值,所述第一处理模块 1002 确定所述 HRV 数据的第一上包络线和第一下包络线之间的幅值差值最大值,并确定所述幅值差值最大值和预设百分比阈值的乘积,并将所述乘积和所述幅值差值最大值对应的第一下包络线的幅值的和作为所述电压阈值。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为描述的方便和简洁,上述描述的一种 HRV 数据预处理装置的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

本申请实施例中提供了一种电子设备,如图 11 所示,图 11 所示的电子设备 1100 包括:处理器 1101 和存储器 1103。其中,处理器 1101 和存储器 1103 相连,如通过总线 1102 相连。可选地,电子设备 1100 还可以包括收发器 1104。需要说明的是,实际应用中收发器

1104 不限于一个，该电子设备 1100 的结构并不构成对本申请实施例的限定。

处理器 1101 可以是 CPU (Central Processing Unit, 中央处理器), 通用处理器, DSP (Digital Signal Processor, 数据信号处理器), ASIC (Application Specific Integrated Circuit, 专用集成电路), FPGA (Field Programmable Gate Array, 现场可编程门阵列) 或者其他可编程逻辑器件、晶体管逻辑器件、硬件部件或者其任意组合。其可以实现或执行结合本申请公开内容所描述的各种示例性的逻辑方框, 模块和电路。处理器 1101 也可以是实现计算功能的组合, 例如包含一个或多个微处理器组合, DSP 和微处理器的组合等。

总线 1102 可包括一通路, 在上述组件之间传送信息。总线 1102 可以是 PCI (Peripheral Component Interconnect, 外设部件互连标准) 总线或 EISA (Extended Industry Standard Architecture, 扩展工业标准结构) 总线等。总线 1102 可以分为地址总线、数据总线、控制总线等。为便于表示, 图 11 中仅用一条粗线表示, 但并不表示仅有一根总线或一型的总线。

存储器 1103 可以是 ROM (Read Only Memory, 只读存储器) 或可存储静态信息和指令的其他类型的静态存储设备, RAM (Random Access Memory, 随机存取存储器) 或者可存储信息和指令的其他类型的动态存储设备, 也可以是 EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory, 电可擦可编程只读存储器), CD-ROM (Compact Disc Read Only Memory, 只读光盘) 或其他光盘存储、光碟存储 (包括压缩光碟、激光碟、光碟、数字通用光碟、蓝光光碟等)、磁盘存储介质或者其他磁存储设备、或者能够用于携带或存储具有指令或数据结构形式的期望的程序代码并能够由计算机存取的任何其他介质, 但不限于此。

存储器 1103 用于存储执行本申请方案的应用程序代码, 并由处理器 1101 来控制执行。处理器 1101 用于执行存储器 1103 中存储的应用程序代码, 以实现前述用于 HRV 数据预处理方法实施例所示的内容。

其中, 电子设备包括但不限于: 移动电话、笔记本电脑、数字广播接收器、PDA (个人数字助理)、PAD (平板电脑)、PMP (便携式多媒体播放器)、车载终端 (例如车载导航终端) 等等的移动终端以及诸如数字 TV、台式计算机等等的固定终端。还可以为服务器等。图 11 示出的电子设备仅仅是一个示例, 不应对本申请实施例的功能和使用范围带来任何限制。

本申请实施例提供了一种计算机可读存储介质, 该计算机可读存储介质上存储有计算机程序/指令, 当其被处理器执行时实现前述方法实施例中相应内容。该计算机可读存储介质可以是有形存储介质, 诸如随机存储器 (RAM)、内存、只读存储器 (ROM)、电可编程 ROM、电可擦除可编程 ROM、寄存器、软盘、硬盘、可移动存储盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质。

本申请还提供一种装置, 包括: 处理器, 用于从存储器中调用并运行计算机程序, 使得安装有所述装置的设备执行实现如前述方法实施例中相应内容。

本申请还提供一种计算机程序产品, 包括计算机程序/指令, 该计算机程序/指令被处理器执行时实现如前述方法实施例中相应内容。

应该理解的是, 虽然附图的流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示, 但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有明确的说明, 这些步骤的执行并没有严格的顺序限制, 其可以以其他的顺序执行。而且, 附图的流程图中的至少一部分步骤可以包括多个子步骤或者多个阶段, 这些子步骤或者阶段并不必然是在同一时刻执行完成, 而是可以在不同的时刻执行, 其执行顺序也不必然是依次进行, 而是可以与其他步骤或者其他步骤的子步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

以上仅是本申请的部分实施方式, 应当指出, 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本申请原理的前提下, 还可以做出若干改进和润饰, 这些改进和润饰也应视为本申请的保护范围。

权利要求书

- 1.一种 HRV 数据预处理方法，其特征在于，包括：
获取滑动窗口对应的 HRV 数据；
基于 HRV 数据，确定所述 HRV 数据对应的多个目标峰值，计算所述多个目标峰值的
5 方差，将所述方差符合预设方差范围的 HRV 数据作为第一目标 HRV 数据；
基于第一目标 HRV 数据的所述多个目标峰值，确定所述第一目标 HRV 数据的 RR 间
期序列，判断所述 RR 间期序列的每个 RR 间期是否符合预设心跳时间间隔范围，将第一目
标 HRV 数据中各个 RR 间期均符合所述预设心跳时间间隔范围的 HRV 数据作为第二目标
HRV 数据；
10 提取所述第二目标 HRV 数据的时域特征、频域特征和非线性特征。
- 2.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述基于 HRV 数据，确定所述 HRV 数
据对应的多个目标峰值，包括：
基于最短心动间隔点数确定所述 HRV 数据中的多个初始峰值，其中，所述最短心动间
隔点数为 HRV 数据中一次心跳所包含的数据点个数；
15 确定所述 HRV 数据的第一上包络线和第一下包络线；
基于百分比阈值、所述第一上包络线和所述第一下包络线，确定所述 HRV 数据的电压
阈值；
从所述多个初始峰值中选择超过所述电压阈值的峰值，得到所述 HRV 数据的多个目标
峰值。
- 3.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述获取滑动窗口对应的 HRV 数据，包
括：
获取滑动窗口对应的第一初始 HRV 数据，确定所述第一初始 HRV 数据的第二上包络
线和第二下包络线；
确定所述第二上包络线和所述第二下包络线之间的最大幅值差值；
25 基于所述第一初始 HRV 数据中每个数据点对应的第二上包络线数值、第二下包络线数
值以及所述最大幅值差值，确定所述第一初始 HRV 数据中每个数据点的幅值调整比例；
基于数据点对应的幅值调整比例对所述第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调
整，得到 HRV 数据。
- 4.根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述基于数据点对应的幅值调整比例对
30 所述第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整，得到 HRV 数据，包括：
基于数据点对应的幅值调整比例对第一初始 HRV 数据中每个数据点进行幅值调整，得
到幅值调整后的第一 HRV 数据；
对幅值调整后的第一 HRV 数据进行异常检测，确定异常点；
基于所述异常点之前或之后的多个数据点对应的均值或中值，对所述异常点的值进行
35 校正，得到所述 HRV 数据。
- 5.根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述对幅值调整后的第一 HRV 数据进行
异常检测，确定异常点，包括：
确定幅值调整后的第一 HRV 数据中目标数据点与前一数据点的第一差值，以及目标数
据点与后一数据点的第二差值，其中，所述目标数据点为所述第一 HRV 数据中的任一数据；
40 计算所述第一差值和所述目标数据点的第一比值，以及所述第二差值和所述目标数据
点的第二比值；
当所述目标数据点的第一比值和所述第二比值均大于预设比值阈值时，判定所述目标
数据点为异常点。
- 6.根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述对幅值调整后的第一 HRV 数据进行
45 异常检测，确定异常点，包括：

确定幅值调整后的第一 HRV 数据的中值，基于所述中值确定所述幅值调整后的第一 HRV 数据中的目标数据点的中值偏差；

当所述目标数据点的中值偏差大于预设偏差阈值时，判定所述目标数据点为异常点。

7.根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述获取滑动窗口对应的第一初始 HRV 数据，包括：

获取滑动窗口对应的第二初始 HRV 数据；

对所述第二初始 HRV 数据对应的时域信号进行快速傅里叶变换，得到所述第二初始 HRV 数据对应的频域信号；

基于预设频域区间判断所述第二初始 HRV 数据对应的频域信号是否为有效频域信号；
10 若有效，对有效频域信号进行分段滤波，将分段滤波后的有效频域信号整合并进行快速傅里叶反变换，得到滤波后的第一初始 HRV 数据。

8.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述多个目标峰值为所述 HRV 数据中超过电压阈值的峰值，所述电压阈值的确定步骤为：确定所述 HRV 数据的第一上包络线和第一下包络线之间的幅值差值最大值，并确定所述幅值差值最大值和预设百分比阈值的乘积，
15 并将所述乘积和所述幅值差值最大值对应的第一下包络线的幅值的和作为所述电压阈值。

9.根据权利要求 1 至 8 任意一项所述的方法，其特征在于，提取所述第二目标 HRV 数据的非线性特征，包括：

基于所述第二目标 HRV 数据绘制庞德加来散点图和差值散点图；

确定所述庞德加来散点图的椭圆长轴标准差和椭圆短轴标准差；

20 确定所述差值散点图中第一象限和第三象限中点的个数；

其中，所述非线性特征包括：椭圆长轴标准差、椭圆短轴标准差、第一象限中点的个数以及第三象限中点的个数。

10.一种 HRV 数据预处理装置，其特征在于，包括：

获取模块，用于获取滑动窗口对应的 HRV 数据；

25 第一处理模块，用于基于 HRV 数据，确定所述 HRV 数据对应的多个目标峰值，计算所述多个目标峰值的方差，将所述方差符合预设方差范围的 HRV 数据作为第一目标 HRV 数据；

第二处理模块，用于基于第一目标 HRV 数据的所述多个目标峰值，确定所述第一目标 HRV 数据的 RR 间期序列，判断所述 RR 间期序列的每个 RR 间期是否符合预设心跳时间
30 间隔范围，将第一目标 HRV 数据中各个 RR 间期均符合所述预设心跳时间间隔范围的 HRV 数据作为第二目标 HRV 数据；

提取模块，用于提取所述第二目标 HRV 数据的时域特征、频域特征和非线性特征。

11.一种电子设备，其特征在于，该电子设备包括：

至少一个处理器；

35 存储器；

至少一个应用程序，其中至少一个应用程序被存储在存储器中并被配置为由至少一个处理器执行，所述至少一个应用程序配置用于：执行权利要求 1~9 任一项所述的一种 HRV 数据预处理方法。

40 12.一种装置，其特征在于，包括：处理器，用于从存储器中调用并运行计算机程序，使得安装有该装置的设备执行如权利要求 1~9 中任一项所述的一种 HRV 数据预处理方法。

13.一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序/指令，其特征在于，该计算机程序/指令被处理器执行时实现如权利要求 1~9 中任一项所述的一种 HRV 数据预处理方法。

14.一种计算机程序产品，其特征在于，包括计算机程序/指令，该计算机程序/指令被处理器执行时实现权利要求 1~9 中任一项所述的一种 HRV 数据预处理方法。