



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109770851 A

(43)申请公布日 2019.05.21

(21)申请号 201910004741.X

G16H 50/30(2018.01)

(22)申请日 2019.01.03

G16H 80/00(2018.01)

(71)申请人 湖北工业大学

地址 430068 湖北省武汉市武昌区南湖李家墩1村1号

(72)发明人 万相奎 刘俊杰 刘翔宇 陈瑞 吴海波 金志尧 朱彬如 许正望 李风从 丰励

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 42222

代理人 薛玲

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

A61B 5/0402(2006.01)

G06K 9/00(2006.01)

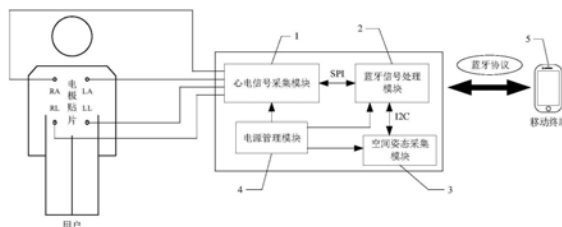
权利要求书9页 说明书18页 附图1页

(54)发明名称

一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统及方法。本发明系统包括心电信号采集模块、蓝牙信号处理模块、电源管理模块、空间姿态采集模块、移动终端。本发明方法对心电数据与空间姿态数据采集和滤波、计算相关系数和判断心脏机能健康水平数据,将滤波之后心电数据、空间姿态数据以及心脏机能健康水平数据信息通过蓝牙无线传输至移动终端后显示。本发明能够在用户不同运动状态下采集心电数据和空间姿态数据,从而获取多维度状态下的心电数据。本发明系统硬件结构简便,集成度高,方便携带且功耗低。软件方面提高了采集的数据的准确性和精度,结合不同滤波算法对数据处理,减少误判率,能够反映用户心脏机能健康水平数据信息。



1. 一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统,其特征在于,包括:心电信号采集模块、空间姿态采集模块、蓝牙信号处理模块、电源管理模块、移动终端;

所述心电信号采集模块与所述蓝牙信号处理模块通过导线连接;所述空间姿态采集模块与所述蓝牙信号处理模块通过导线连接;所述心电信号采集模块与所述电源管理模块通过导线连接;所述蓝牙信号处理模块与所述电源管理模块通过导线连接;所述空间姿态采集模块与所述电源管理模块通过导线连接;所述蓝牙信号处理模块与所述移动终端通过无线通信方式连接。

2. 根据权利要求1所述的基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统,其特征在于,

所述心电信号采集模块用于采集心电数据并传输至所述蓝牙信号处理模块;

所述空间姿态采集模块用于空间姿态数据并传输至所述蓝牙信号处理模块;

所述蓝牙信号处理模块将心电数据以及空间姿态数据进行信号滤波,根据滤波之后心电数据以及滤波之后空间姿态数据计算计算相关系数并判断心脏机能健康水平数据,将滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及心脏机能健康水平数据通过蓝牙无线传输至所述移动终端;

所述电源管理模块,通过多路低压差线性稳压电源为所述的心电信号采集模块、空间姿态采集模块、蓝牙信号处理模块进行供电;

所述移动终端用于实时显示滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及心脏机能健康水平数据。

3. 一种利用权利要求1所述的基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统进行权利要求1所述的基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测方法,其特征在于,

步骤1: 蓝牙信号处理模块通过心电信号采集模块采集心电数据,通过空间姿态采集模块采集空间姿态数据,心电数据通过汉明窗FIR数字带通滤波器处理得到滤波之后心电数据,空间姿态数据首先通过中位值平均滤波算法处理,然后根据扩展卡尔曼滤波算法处理得到滤波之后空间姿态数据;

步骤2: 蓝牙信号处理模块根据滤波之后心电数据以及滤波之后空间姿态数据计算相关系数,再根据滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及相关系数来判断用户心脏机能健康水平数据;

步骤3: 蓝牙信号处理模块将滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及用户心脏机能健康水平数据信息通过蓝牙无线传输至移动终端,移动终端实时显示滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及用户心脏机能健康水平数据。

4. 根据权利要求3所述的基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测方法,其特征在于,

步骤1中所述心电数据为:

$$\mathbf{U}_i^* = \mathbf{U}_i + \mathbf{U}_{NOISE,i}, i \in [1, M]$$

$$\mathbf{U}_i = (U_{P,i}, U_{Q,i}, U_{R,i}, U_{S,i}, U_{ST,i}, U_{T,i})^T$$

$$\mathbf{U}_{NOISE,i} = (U_{PNOISE,i}, U_{QNOISE,i}, U_{RNOISE,i}, U_{SNOISE,i}, U_{STNOISE,i}, U_{TNOISE,i})^T$$

$$\mathbf{U}_i^* = (U_{P,i}^*, U_{Q,i}^*, U_{R,i}^*, U_{S,i}^*, U_{ST,i}^*, U_{T,i}^*)^T$$

其中, M 为采集的心电信号组的数量, \mathbf{U}_i^* 为第*i*组采集的心电信号, \mathbf{U}_i 为第*i*组采集的理想心电信号, $\mathbf{U}_{NOISE,i}$ 为第*i*组采集的心电信号混入的噪声值;

$U_{P,i}$ 为第*i*组采集的理想心电信号中P波电压幅值, $U_{Q,i}$ 为第*i*组采集的理想心电信号中QRS波中Q波电压幅值, $U_{R,i}$ 为第*i*组采集的理想心电信号中QRS波中R波电压幅值, $U_{S,i}$ 为第*i*组采集的理想心电信号中QRS波中S波电压幅值, $U_{ST,i}$ 为第*i*组采集的理想心电信号中ST段电压幅值, $U_{T,i}$ 为第*i*组采集的理想心电信号中T波电压幅值;

$U_{PNOISE,i}$ 为第*i*组采集的心电信号中P波混入的噪声值, $U_{QNOISE,i}$ 为第*i*组采集的心电信号中Q波混入的噪声值, $U_{RNOISE,i}$ 为第*i*组采集的心电信号中R波混入的噪声值, $U_{SNOISE,i}$ 为第*i*组采集的心电信号中S波混入的噪声值, $U_{STNOISE,i}$ 为第*i*组采集的心电信号中ST段混入的噪声值, $U_{TNOISE,i}$ 为第*i*组采集的心电信号中T波混入的噪声值;

$U_{P,i}^*$ 为第*i*组混入噪声值的P波电压幅值, $U_{Q,i}^*$ 为第*i*组混入噪声值的Q波电压幅值, $U_{R,i}^*$ 为第*i*组混入噪声值的R波电压幅值, $U_{S,i}^*$ 为第*i*组混入噪声值的S波电压幅值, $U_{ST,i}^*$ 为第*i*组混入噪声值的ST段电压幅值, $U_{T,i}^*$ 为第*i*组混入噪声值的T波电压幅值;

步骤1中所述空间姿态数据为:

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_j^* &= \mathbf{a}_j + \mathbf{a}_{MAX,j} \\ \mathbf{a}_j &= (a_{x,j}, a_{y,j}, a_{z,j})^T \\ \mathbf{a}_{MAX,j} &= (a_{xMAX,j}, a_{yMAX,j}, a_{zMAX,j})^T \\ \mathbf{a}_j^* &= (a_{x,j}^*, a_{y,j}^*, a_{z,j}^*)^T \\ j &\in [1, N] \end{aligned}$$

其中, N 为采集的空间姿态信号组的数量, \mathbf{a}_j^* 为第*j*组采集的姿态信号, \mathbf{a}_j 为第*j*组采集的理想姿态信号, $\mathbf{a}_{MAX,j}$ 为第*j*组采集的姿态信号混入的抖动尖峰值;

$a_{x,j}$ 为第*j*组采集的理想姿态信号中X方向上的加速度, $a_{y,j}$ 为第*j*组采集的理想姿态信号中Y方向上的加速度, $a_{z,j}$ 为第*j*组采集的理想姿态信号中Z方向上的加速度;

$a_{xMAX,j}$ 为第*j*组抖动尖峰值中X方向上的最大加速度, $a_{yMAX,j}$ 为第*j*组抖动尖峰值中Y方向上的最大加速度, $a_{zMAX,j}$ 为第*j*组抖动尖峰值中Z方向上的最大加速度;

$a_{x,j}^*$ 为第*j*组X方向上混入抖动尖峰值的实际加速度, $a_{y,j}^*$ 为第*j*组Y方向上混入抖动尖峰值的实际加速度, $a_{z,j}^*$ 为第*j*组Z方向上混入抖动尖峰值的实际加速度;

步骤1中所述心电数据通过汉明窗FIR数字带通滤波器处理为:

理想FIR数字带通滤波器为:

$$h_d(n) = \frac{\sin[\omega_{c2}(n-\alpha)] - \sin[\omega_{c1}(n-\alpha)]}{\pi(n-\alpha)}$$

$$n \in [0, L-1]$$

$$\varphi(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{L-1}\right)$$

其中, $h_d(n)$ 为该滤波器的理想单位脉冲响应, ω_{c2} 为理想高通滤波器的通带截止角频率, ω_{c1} 为理想低通滤波器的通带截止角频率, α 为滤波器延时参数, L 为采样点数, $\varphi(n)$ 为汉明窗序列,作为冲激响应的窗函数;

$$h(n) = h_d(n)\varphi(n)$$

$$\hat{u}_i(n) = u_i^*(n) * h(n)$$

其中, $h(n)$ 为实际的汉明窗FIR数字带通滤波器的单位脉冲响应, 将采集到的心电信号 \mathbf{U}_i^* 写成序列形式 $\mathbf{u}_i^*(n)$, 与 $h(n)$ 进行卷积运算, 再将滤波之后的心电信号序列形式 $\hat{\mathbf{u}}_i(n)$ 表示为列向量形式 $\hat{\mathbf{U}}_i$, 则滤波之后的心电信号为:

$$\hat{\mathbf{U}}_i = (\hat{U}_{P,i}, \hat{U}_{Q,i}, \hat{U}_{R,i}, \hat{U}_{S,i}, \hat{U}_{ST,i}, \hat{U}_{T,i})^T$$

其中, $\hat{U}_{P,i}$ 为滤波之后的第 i 组P波幅值, $\hat{U}_{Q,i}$ 为滤波之后的第 i 组Q波幅值, $\hat{U}_{R,i}$ 为滤波之后的第 i 组R波幅值, $\hat{U}_{S,i}$ 为滤波之后的第 i 组S波幅值, $\hat{U}_{ST,i}$ 为滤波之后的第 i 组ST段幅值, $\hat{U}_{T,i}$ 为滤波之后的第 i 组T波幅值;

步骤1中所述空间姿态数据首先通过中位值平均滤波算法处理:

$$N_p = \frac{N}{10}$$

$$\mathbf{a}_{j,p}^* = \mathbf{a}_{(p-1)*10+k}^*, p \in [1, N_p]$$

$$\bar{\mathbf{a}}_p = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} \mathbf{a}_{(p-1)*10+k}^*, k \in [1, 10]$$

其中, 以10组空间姿态信号为一个滤波处理单位 p , 则共可分为 N_p 个单位, $\mathbf{a}_{j,p}^*$ 为第 p 个单位的第 j 组采集的姿态信号, $\mathbf{a}_{(p-1)*10+k}^*$ 为第 p 个单位的第 k 组采集的姿态信号;

$$a_{x,p \max} = \max_p \{ \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$a_{x,p \min} = \min_p \{ \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$\bar{a}_{x,p} = \frac{a_{x,p \max} + a_{x,p \min}}{2}$$

其中, $a_{x,p \max}$ 为第 p 个单位中X方向上的最大加速度值, $a_{x,p \min}$ 为第 p 个单位中X方向上的最小加速度值, $\mathbf{a}_{x,(p-1)*10+k}^*$ 为第 p 个单位中第 k 组X方向上的加速度值, $\bar{a}_{x,p}$ 为第 p 个单位中X方向上加速度的中位值;

$$a_{y,p \max} = \max_p \{ \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$a_{y,p \min} = \min_p \{ \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$\bar{a}_{y,p} = \frac{a_{y,p \max} + a_{y,p \min}}{2}$$

其中, $a_{y,p \max}$ 为第 p 个单位中Y方向上的最大加速度值, $a_{y,p \min}$ 为第 p 个单位中Y方向上的最小加速度值, $\mathbf{a}_{y,(p-1)*10+k}^*$ 为第 p 个单位中第 k 组Y方向上的加速度值, $\bar{a}_{y,p}$ 为第 p 个单位中Y方向上的加速度的中位值;

$$a_{z,p \max} = \max_p \{ \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$a_{z,p \min} = \min_p \{ \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$\bar{a}_{z,p} = \frac{a_{z,p \max} + a_{z,p \min}}{2}$$

$$\bar{\mathbf{a}}_p = (\bar{a}_{x,p}, \bar{a}_{y,p}, \bar{a}_{z,p})^T$$

$$\dot{\mathbf{a}}_p = \frac{\bar{\mathbf{a}}_p + \bar{\mathbf{a}}_p}{2}$$

其中, $a_{z,p \max}$ 为第 p 个单位中 Z 方向上的最大加速度值, $a_{z,p \min}$ 为第 p 个单位中 Z 方向上的最小加速度值, $\mathbf{a}_{z,(p-1)*10+k}^*$ 为第 p 个单位中第 k 组 Z 方向上的加速度值, $\bar{a}_{z,p}$ 为第 p 个单位中 Z 方向上的加速度的中位值;

$\dot{\mathbf{a}}_p$ 为中位值平均滤波算法之后的空间姿态数据;

步骤1中所述根据扩展卡尔曼滤波算法处理为:

$$\tilde{\mathbf{X}}_{p,l} = \mathbf{A}_l \tilde{\mathbf{X}}_{p,l-1} + \mathbf{B}_l \dot{\mathbf{a}}_{p,l-1} + \mathbf{K}_{p,l} (\mathbf{Z}_{p,l} - \mathbf{H}_l \tilde{\mathbf{X}}_{p,l}^-)$$

$$\mathbf{Z}_{p,l} = \mathbf{H}_l \cdot \mathbf{X}_{p,l} + \dot{\mathbf{a}}_p$$

$$l \in [1, N_p]$$

其中, $\tilde{\mathbf{X}}_{p,l}$ 为对当前第1个状态改进后的第 p 个单位的加速度数据, \mathbf{A}_l 为当前第1个状态的第一个因子矩阵, $\tilde{\mathbf{X}}_{p,l-1}$ 为第1个状态的前一个状态下改进后的第 p 个单位的加速度数据, \mathbf{B}_l 为当前第1个状态的第二个因子矩阵, $\dot{\mathbf{a}}_{p,l-1}$ 为第1个状态的前一个状态下第 p 个单位的加速度数据, $\mathbf{K}_{p,l}$ 为当前第1个状态下第 p 个单位的卡尔曼增益, $\mathbf{Z}_{p,l}$ 为当前第1个状态下第 p 个单位中观测到的加速度数据, \mathbf{H}_l 为当前第1个状态的第三个因子矩阵, $\mathbf{X}_{p,l}$ 为当前第1个状态第 p 个单位的系统状态随机变量, $\tilde{\mathbf{X}}_{p,l}^-$ 为第 p 个单位中已知第1个之前状态的情况下的第1个状态的加速度预测值;

扩展卡尔曼滤波算法处理后得到滤波之后空间姿态数据为:

$$\tilde{\mathbf{X}}_{p,N_p} = (\tilde{a}_{x,p}, \tilde{a}_{y,p}, \tilde{a}_{z,p})^T$$

其中, $\tilde{a}_{x,p}$ 为经过中位值平均滤波及扩展卡尔曼滤波的第 p 个单位中 X 方向上的加速度, $\tilde{a}_{y,p}$ 为经过中位值平均滤波及扩展卡尔曼滤波的第 p 个单位中 Y 方向上的加速度, $\tilde{a}_{z,p}$ 为经过中位值平均滤波及扩展卡尔曼滤波的第 p 个单位中 Z 方向上的加速度。

5. 根据权利要求3所述的基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测方法, 其特征在于,

步骤2中所述根据滤波之后心电数据以及滤波之后空间姿态数据计算相关系数为计算皮尔逊相关系数:

由于成年人的正常心率范围在 $60 \sim 100$ 次/min, 故每分钟取滤波之后的80组心电数据作健康数据分析, 以80组滤波之后的心电信号为1个分析单位 q , 则共可分为 M_Q 组, $\dot{\mathbf{U}}_{i,q}$ 是滤波之后的第 q 个单位的第 i 组心电信号, $\dot{\mathbf{U}}_{(q-1)*80+r}$ 是滤波之后的第 q 个单位的第 r 组心电信号;

将步骤1所得滤波之后的心电信号 $\dot{\mathbf{U}}_i$, 进一步处理有

$$M_Q = \frac{M}{80}$$

$$\dot{\mathbf{U}}_{i,q} = \dot{\mathbf{U}}_{(q-1)*80+r}, q \in [1, M_Q], r \in [1, 80]$$

$$\bar{u}_q = \frac{1}{80} \sum_{r=1}^{80} \dot{u}_{(q-1)*80+r}$$

$$\bar{u}_q = (\bar{u}_{P,q}, \bar{u}_{Q,q}, \bar{u}_{R,q}, \bar{u}_{S,q}, \bar{u}_{ST,q}, \bar{u}_{T,q})^T$$

其中, \bar{u}_q 为滤波之后的第 q 个单位的心电信号的平均值, $\bar{u}_{P,q}$ 为第 q 个单位的 P 波平均值, $\bar{u}_{Q,q}$ 为第 q 个单位的 Q 波平均值, $\bar{u}_{R,q}$ 为第 q 个单位的 R 波平均值, $\bar{u}_{S,q}$ 为第 q 个单位的 S 波平均值, $\bar{u}_{ST,q}$ 为第 q 个单位的 ST 段平均值, $\bar{u}_{T,q}$ 为第 q 个单位的 T 波平均值;

$$G = \frac{M_Q}{6}, \hat{q} \in [1, G], g \in [1, 6]$$

以每 6 个分析组又作为 1 个计算组 \hat{q} , 则共可分为 G 组;

$$\bar{u}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{u}_{P,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{u}_{P,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{u}_{P,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$\bar{u}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{u}_{Q,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{u}_{Q,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{u}_{Q,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$\bar{u}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{u}_{R,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{u}_{R,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{u}_{R,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$\bar{u}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{u}_{S,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{u}_{S,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{u}_{S,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$\bar{u}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{u}_{ST,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{u}_{ST,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{u}_{ST,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$\bar{u}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{u}_{T,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{u}_{T,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{u}_{T,(\hat{q}-1)*6+6})$$

其中, $\bar{u}_{P,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 P 波平均值, $\bar{u}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 Q 波平均值, $\bar{u}_{R,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 R 波平均值, $\bar{u}_{S,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 S 波平均值, $\bar{u}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 ST 段平均值, $\bar{u}_{T,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 T 波平均值;

$$\bar{\alpha}_P = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{u}_{P,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_Q = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{u}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_R = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{u}_{R,(\hat{q}-1)*6+g}$$

$$\bar{\alpha}_S = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{u}_{S,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_{ST} = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{u}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_T = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{u}_{T,(\hat{q}-1)*6+g}$$

其中, $\bar{\alpha}_P$ 为第 \hat{q} 个计算组的 P 波平均值, $\bar{\alpha}_Q$ 为第 \hat{q} 个计算组的 Q 波平均值, $\bar{\alpha}_R$ 为第 \hat{q} 个计算组的 R 波平均值, $\bar{\alpha}_S$ 为第 \hat{q} 个计算组的 S 波平均值, $\bar{\alpha}_{ST}$ 为第 \hat{q} 个计算组的 ST 段平均值, $\bar{\alpha}_T$ 为第 \hat{q} 个计算组的 T 波平均值;

根据步骤 1 所得滤波之后的空间姿态数据, 进一步处理有:

$$v_{x,t} = \sum_{p=1}^t \tilde{a}_{x,p}, v_{y,t} = \sum_{p=1}^t \tilde{a}_{y,p}, v_{z,t} = \sum_{p=1}^t \tilde{a}_{z,p}$$

$$v_t = \sqrt{(v_{x,t})^2 + (v_{y,t})^2 + (v_{z,t})^2}$$

$$\beta_t = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_t)^T, t \in [1, N_p]$$

其中, $v_{x,t}$ 为第 t 个单位中 X 方向上速度, $v_{y,t}$ 为第 t 个单位中 Y 方向上速度, $v_{z,t}$ 为第 t 个单位中 Z 方向上速度, v_t 为第 t 个人体在运动时的合速度;

$$N_W = \frac{N_p}{6}, W \in [1, N_W], o \in [1, 6]$$

以每 6 个时刻为一个计算组 W , 则共可分为 N_W 组; 则对第 t 个单位的合速度可以写成下列形式:

$$\beta_t = \beta_{(W-1)*6+o}$$

$$\beta_{(W-1)*6+o} = (\beta_{(W-1)*6+1}, \beta_{(W-1)*6+2}, \beta_{(W-1)*6+3}, \dots, \beta_{(W-1)*6+6})^T$$

其中, $\beta_{(W-1)*6+o}$ 为第W个计算组中第o个合速度;

$$\bar{\beta}_W = \frac{1}{6} \sum_{o=1}^6 \beta_{(W-1)*6+o}$$

其中, $\bar{\beta}_W$ 为第W个计算单位的平均合速度;

$$\sigma_{P,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P)^2}{6}}, \sigma_{Q,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q)^2}{6}}, \sigma_{R,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)^2}{6}},$$

$$\sigma_{S,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)^2}{6}}, \sigma_{ST,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})^2}{6}}, \sigma_{T,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)^2}{6}}$$

$$\sigma_{\beta_W} = \sqrt{\frac{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}{6}}$$

其中, $\sigma_{P,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的P波平均值的标准差, $\sigma_{Q,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的Q波平均值的标准差, $\sigma_{R,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的R波平均值的标准差, $\sigma_{S,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的S波平均值的标准差, $\sigma_{ST,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的ST段平均值的标准差, $\sigma_{T,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的T波平均值的标准差, σ_{β_W} 为第W个计算组中合速度的标准差;

$$\text{cov}(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P)}{6}$$

$$\text{cov}(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q)}{6}$$

$$\text{cov}(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)}{6}$$

$$\text{cov}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)}{6}$$

$$\text{cov}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})}{6}$$

$$\text{cov}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)}{6}$$

其中, $\alpha_{P,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中P波变量, $\alpha_{Q,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中Q波变量, $\alpha_{R,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中R波变量, $\alpha_{S,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中S波变量, $\alpha_{ST,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中ST段变量, $\alpha_{T,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中T波变量, β_W 为第W个计算组中的合速度变量;

各波型电压幅值与合速度的皮尔逊相关系数:

$$\gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\text{cov}(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{P,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P) (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$\gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\text{cov}(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{Q,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q) (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) &= \frac{cov(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W)}{\sigma_{R,\hat{q}}\sigma_\beta} = \frac{(\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6(\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}} \\ \gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W) &= \frac{cov(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W)}{\sigma_{S,\hat{q}}\sigma_\beta} = \frac{(\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6(\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}} \\ \gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W) &= \frac{cov(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W)}{\sigma_{ST,\hat{q}}\sigma_\beta} \\ &= \frac{(\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6(\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}} \\ \gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W) &= \frac{cov(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W)}{\sigma_{T,\hat{q}}\sigma_\beta} = \frac{(\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6(\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}} \end{aligned}$$

其中, $\gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中P波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数; $\gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中Q波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数; $\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中R波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数; $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中S波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数; $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中ST段变量与第W个计算组中的合速度变量之间的皮尔逊相关系数; $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中T波变量与第W个计算组中的合速度变量之间的皮尔逊相关系数;

正常人的心率会随着运动强度增加而变快,两者呈现正相关的关系,因此皮尔逊相关系数只需要考虑在区间(0,1]的范围;

$$\begin{aligned} \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W) &= \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \\ &= \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W) = 0 \\ \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W) &= \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \\ &= \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W) = 0.5 \\ \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W) &= \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \\ &= \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W) = 1 \\ \bar{\beta}_{WL} &= 9.5\text{km/h}, \bar{\beta}_{WH} = 12.5\text{km/h} \end{aligned}$$

其中, $\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中波型电压幅值变量 α 与第W个计算组中的合速度变量 β 之间的皮尔逊相关系数最小值,表明两组数据相关性较小 $\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中波型电压幅值变量 α 与第W个计算组中的合速度变量 β 之间的皮尔逊相关系数中等值,表明具有较强的相关性; $\gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中波型电压幅值变量 α 与第W个计算组中的合速度变量 β 之间的皮尔逊相关系数最大值,表明相关性最强; $\bar{\beta}_{WL}$ 为普通成年人跑步的平均最低速率, $\bar{\beta}_{WH}$ 为普通成年人跑步的平均最高速率;

步骤2中所述判断用户心脏机能健康水平数据为:

对于 $\bar{\alpha}_P$, 正常人P波的最小幅值为 α_{PL} , 最大幅值为 α_{PH} ;

若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_P \geq \alpha_{PH}$, $\gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明右心房肥厚, 肺源性心脏疾病可能性大, 运动时的P波幅值偏大, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\alpha_{PL} < \bar{\alpha}_P < \alpha_{PH}$, 且 $\gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好;

对于 $\bar{\alpha}_Q$, 正常人Q波的最大幅值为 α_{QH} ;

若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_Q \geq \alpha_{QH}$, $\gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明可能是劳累过度导致精神压力过大, 情绪波动较大, 运动时的Q波异常变化明显, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_Q < \alpha_{QH}$, 且 $\gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好;

对于 $\bar{\alpha}_R$, 正常人R波最小幅值为 α_{RL} , 最大幅值为 α_{RH}

若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_R \leq \alpha_{RL}$, $\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌缺血导致的低血压可能性较大, 运动时的R波幅度过低, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_R \geq \alpha_{RH}$, $\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明可能有高血压, 运动时的R波上升异常且幅值稍大, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\alpha_{RL} \leq \bar{\alpha}_R < \alpha_{RH}$, 且 $\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好;

对于 $\bar{\alpha}_S$, 正常人S波最大幅值为 α_{SH}

若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_S \geq \alpha_{SH}$, $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌缺血可能性较大, 低速运动时的S波幅度偏大, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_S \geq \alpha_{SH}$, $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌梗塞风险可能性较大, 高速运动时S波超出最大幅度明显, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_S < \alpha_{SH}$, 且 $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好;

对于 $\bar{\alpha}_{ST}$, 正常人ST段压低幅度最大值为 α_{STL} , 抬高幅度最大值为 α_{STH} ;

若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_{ST} \geq \alpha_{STL}$, 且 $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明劳累过度导致的心肌缺血可能性较大, 低速运动时的ST段压低幅度偏高, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_{ST} \geq \alpha_{STH}$, 且 $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明随着运动强度增加心率加快, 高速运动时的ST段抬高幅度偏高, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $0 \leq \bar{\alpha}_{ST} < \alpha_{STL}$, $0 \leq \bar{\alpha}_{ST} < \alpha_{STH}$, 且 $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好;

对于 $\bar{\alpha}_T$, 正常人T波最小幅值为 α_{TL} , 最大幅值为 α_{TH} ;

若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_T \leq \alpha_{TL}$, $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W)]$, 说明心肌缺血可能性较大, 低速运动时T波低平, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_T \geq \alpha_{TH}$, $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W)]$, 说明心肌受损的可能性较大, 高速运动时T波幅度偏高, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\alpha_{TL} < \bar{\alpha}_T < \alpha_{TH}$, 且 $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W)]$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好。

一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及移动医疗技术领域,尤其涉及一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统及方法。

背景技术

[0002] 随着现代人们生活节奏的加快和工作压力的增大,以及我国人口老龄化的加剧,心脏疾病的发病率和死亡率日益上升。心脏疾病具有突发性、一过性和阵发性的特点,心脏疾病患者在病情发作后若没有得到及时有效的治疗,不仅病情会加剧,而且甚至有可能付出生命的代价。早发现、早预防和早治疗是心脏疾病预防的三大原则,以往心脏疾病患者是去医院做心电检测,不仅在时间和活动空间上受到限制,而且采集到的心电信号是静态单一的,因此无法获取患者在不同运动状态下的心电信号。而之后市面上出现了早期传统的心电监护系统,虽然增加了一定的个体自由度,但是存在着体积大,接线复杂,穿戴不适以及功耗高等问题,心电数据也无法及时反馈给专业的医疗人员进行诊断。近年来,随着电子信息技术的发展,智能手机和平板电脑等智能移动终端已经基本普及了。目前市面上虽然出现了单导联的心电采集设备,但是其能够获得特征参数少,采集的数据不仅可信度低,而且也无法反映用户在运动或保持相对静止状态时的心脏机能健康水平,现有的心电监护设备即使能够判断出用户的运动状态,也会因为采集的数据准确度不够高导致其没有太大的应用价值。

发明内容

[0003] 为了解决背景技术中提到的问题,本发明提出了一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统及方法。

[0004] 本发明系统的技术方案为一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统,其特征在于,包括:心电信号采集模块、空间姿态采集模块、蓝牙信号处理模块、电源管理模块、移动终端;

[0005] 所述心电信号采集模块与所述蓝牙信号处理模块通过导线连接;所述空间姿态采集模块与所述蓝牙信号处理模块通过导线连接;所述心电信号采集模块与所述电源管理模块通过导线连接;所述蓝牙信号处理模块与所述电源管理模块通过导线连接;所述空间姿态采集模块与所述电源管理模块通过导线连接;所述蓝牙信号处理模块与所述移动终端通过无线通信方式连接。

[0006] 作为优选,所述心电信号采集模块用于采集心电数据并传输至所述蓝牙信号处理模块;

[0007] 作为优选,所述空间姿态采集模块用于空间姿态数据并传输至所述蓝牙信号处理模块;

[0008] 作为优选,所述蓝牙信号处理模块将心电数据以及空间姿态数据进行信号滤波,根据滤波之后心电数据以及滤波之后空间姿态数据计算相关系数并判断心脏机能健康水

平数据,将滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及心脏机能健康水平数据通过蓝牙无线传输至所述移动终端;

[0009] 作为优选,所述电源管理模块,通过多路低压差线性稳压电源为所述的心电信号采集模块、空间姿态采集模块、蓝牙信号处理模块进行供电;

[0010] 作为优选,所述移动终端用于实时显示滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及心脏机能健康水平数据。

[0011] 本发明方法的技术方案为一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测方法,具体包括以下步骤:

[0012] 步骤1:蓝牙信号处理模块通过心电信号采集模块采集心电数据,通过空间姿态采集模块采集空间姿态数据,心电数据通过汉明窗FIR数字带通滤波器处理得到滤波之后心电数据,空间姿态数据首先通过中位值平均滤波算法处理,然后根据扩展卡尔曼滤波算法处理得到滤波之后空间姿态数据;

[0013] 步骤2:蓝牙信号处理模块根据滤波之后心电数据以及滤波之后空间姿态数据计算相关系数,再根据滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及相关系数来判断用户心脏机能健康水平数据;

[0014] 步骤3:蓝牙信号处理模块将滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及用户心脏机能健康水平数据信息通过蓝牙无线传输至移动终端,移动终端实时显示滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及用户心脏机能健康水平数据。

[0015] 作为优选,步骤1中所述心电数据为:

$$[0016] \quad \mathbf{U}_i^* = \mathbf{U}_i + \mathbf{U}_{NOISE,i}, i \in [1, M]$$

$$[0017] \quad \mathbf{U}_i = (U_{P,i}, U_{Q,i}, U_{R,i}, U_{S,i}, U_{ST,i}, U_{T,i})^T$$

$$[0018] \quad \mathbf{U}_{NOISE,i} = (U_{PNOISE,i}, U_{QNOISE,i}, U_{RNOISE,i}, U_{SNOISE,i}, U_{STNOISE,i}, U_{TNOISE,i})^T$$

$$[0019] \quad \mathbf{U}_i^* = (U_{P,i}^*, U_{Q,i}^*, U_{R,i}^*, U_{S,i}^*, U_{ST,i}^*, U_{T,i}^*)^T$$

[0020] 其中,M为采集的心电信号组的数量, \mathbf{U}_i^* 为第i组采集的心电信号, \mathbf{U}_i 为第i组采集的理想心电信号, $\mathbf{U}_{NOISE,i}$ 为第i组采集的心电信号混入的噪声值;

[0021] $U_{P,i}$ 为第i组采集的理想心电信号中P波电压幅值, $U_{Q,i}$ 为第i组采集的理想心电信号中QRS波中Q波电压幅值, $U_{R,i}$ 为第i组采集的理想心电信号中QRS波中R波电压幅值, $U_{S,i}$ 为第i组采集的理想心电信号中QRS波中S波电压幅值, $U_{ST,i}$ 为第i组采集的理想心电信号中ST段电压幅值, $U_{T,i}$ 为第i组采集的理想心电信号中T波电压幅值;

[0022] $U_{PNOISE,i}$ 为第i组采集的心电信号中P波混入的噪声值, $U_{QNOISE,i}$ 为第i组采集的心电信号中Q波混入的噪声值, $U_{RNOISE,i}$ 为第i组采集的心电信号中R波混入的噪声值, $U_{SNOISE,i}$ 为第i组采集的心电信号中S波混入的噪声值, $U_{STNOISE,i}$ 为第i组采集的心电信号中ST段混入的噪声值, $U_{TNOISE,i}$ 为第i组采集的心电信号中T波混入的噪声值;

[0023] $U_{P,i}^*$ 为第i组混入噪声值的P波电压幅值, $U_{Q,i}^*$ 为第i组混入噪声值的Q波电压幅值, $U_{R,i}^*$ 为第i组混入噪声值的R波电压幅值, $U_{S,i}^*$ 为第i组混入噪声值的S波电压幅值, $U_{ST,i}^*$ 为第i组混入噪声值的ST段电压幅值, $U_{T,i}^*$ 为第i组混入噪声值的T波电压幅值;

[0024] 步骤1中所述空间姿态数据为:

$$[0025] \quad \mathbf{a}_j^* = \mathbf{a}_j + \mathbf{a}_{MAX,j}$$

$$[0026] \quad \mathbf{a}_j = (a_{x,j}, a_{y,j}, a_{z,j})^T$$

$$[0027] \quad \mathbf{a}_{\text{MAX},j} = (a_{x\text{MAX},j}, a_{y\text{MAX},j}, a_{z\text{MAX},j})^T$$

$$[0028] \quad \mathbf{a}_j^* = (a_{x,j}^*, a_{y,j}^*, a_{z,j}^*)^T$$

$$[0029] \quad j \in [1, N]$$

[0030] 其中, N 为采集的空间姿态信号组的数量, \mathbf{a}_j^* 为第 j 组采集的姿态信号, \mathbf{a}_j 为第 j 组采集的理想姿态信号, $\mathbf{a}_{\text{MAX},j}$ 为第 j 组采集的姿态信号混入的抖动尖峰值;

[0031] $a_{x,j}$ 为第 j 组采集的理想姿态信号中 X 方向上的加速度, $a_{y,j}$ 为第 j 组采集的理想姿态信号中 Y 方向上的加速度, $a_{z,j}$ 为第 j 组采集的理想姿态信号中 Z 方向上的加速度;

[0032] $a_{x\text{MAX},j}$ 为第 j 组抖动尖峰值中 X 方向上的最大加速度, $a_{y\text{MAX},j}$ 为第 j 组抖动尖峰值中 Y 方向上的最大加速度, $a_{z\text{MAX},j}$ 为第 j 组抖动尖峰值中 Z 方向上的最大加速度;

[0033] $a_{x,j}^*$ 为第 j 组 X 方向上混入抖动尖峰值的实际加速度, $a_{y,j}^*$ 为第 j 组 Y 方向上混入抖动尖峰值的实际加速度, $a_{z,j}^*$ 为第 j 组 Z 方向上混入抖动尖峰值的实际加速度;

[0034] 步骤1中所述心电数据通过汉明窗FIR数字带通滤波器处理为:

[0035] 理想FIR数字带通滤波器为:

$$[0036] \quad h_d(n) = \frac{\sin[\omega_{c2}(n-\alpha)] - \sin[\omega_{c1}(n-\alpha)]}{\pi(n-\alpha)}$$

$$[0037] \quad n \in [0, L-1]$$

$$[0038] \quad \varphi(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{L-1}\right)$$

[0039] 其中, $h_d(n)$ 为该滤波器的理想单位脉冲响应, ω_{c2} 为理想高通滤波器的通带截止角频率, ω_{c1} 为理想低通滤波器的通带截止角频率, α 为滤波器延时参数, L 为采样点数, $\varphi(n)$ 为汉明窗序列, 作为冲激响应的窗函数;

$$[0040] \quad h(n) = h_d(n)\varphi(n)$$

$$[0041] \quad \dot{u}_i(n) = u_i^*(n) * h(n)$$

[0042] 其中, $h(n)$ 为实际的汉明窗FIR数字带通滤波器的单位脉冲响应, 将采集到的心电信号 \mathbf{u}_i^* 写成序列形式 $u_i^*(n)$, 与 $h(n)$ 进行卷积运算, 再将滤波之后的心电信号序列形式 $\dot{u}_i(n)$ 表示为列向量形式 $\dot{\mathbf{U}}_i$, 则滤波之后的心电信号为:

$$[0043] \quad \dot{\mathbf{U}}_i = (\dot{U}_{P,i}, \dot{U}_{Q,i}, \dot{U}_{R,i}, \dot{U}_{S,i}, \dot{U}_{ST,i}, \dot{U}_{T,i})^T$$

[0044] 其中, $\dot{U}_{P,i}$ 为滤波之后的第 i 组P波幅值, $\dot{U}_{Q,i}$ 为滤波之后的第 i 组Q波幅值, $\dot{U}_{R,i}$ 为滤波之后的第 i 组R波幅值, $\dot{U}_{S,i}$ 为滤波之后的第 i 组S波幅值, $\dot{U}_{ST,i}$ 为滤波之后的第 i 组ST段幅值, $\dot{U}_{T,i}$ 为滤波之后的第 i 组T波幅值;

[0045] 步骤1中所述空间姿态数据首先通过中位值平均滤波算法处理:

$$[0046] \quad N_p = \frac{N}{10}$$

$$[0047] \quad \mathbf{a}_{j,p}^* = \mathbf{a}_{(p-1)*10+k}^*, p \in [1, N_p]$$

$$[0048] \quad \bar{a}_p = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} \mathbf{a}_{(p-1)*10+k}^*, k \in [1,10]$$

[0049] 其中,以10组空间姿态信号为一个滤波处理单位p,则共可分为 N_p 个单位, $\mathbf{a}_{j,p}^*$ 为第p个单位的第j组采集的姿态信号, $\mathbf{a}_{(p-1)*10+k}^*$ 为第p个单位的第k组采集的姿态信号;

$$[0050] \quad a_{x,p \max} = \max_p \{ \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0051] \quad a_{x,p \min} = \min_p \{ \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0052] \quad \bar{a}_{x,p} = \frac{a_{x,p \max} + a_{x,p \min}}{2}$$

[0053] 其中, $a_{x,p \max}$ 为第p个单位中X方向上的最大加速度值, $a_{x,p \min}$ 为第p个单位中X方向上的最小加速度值, $\mathbf{a}_{x,(p-1)*10+k}^*$ 为第p个单位中第k组X方向上的加速度值, $\bar{a}_{x,p}$ 为第p个单位中X方向上加速度的中位值;

$$[0054] \quad a_{y,p \max} = \max_p \{ \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0055] \quad a_{y,p \min} = \min_p \{ \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0056] \quad \bar{a}_{y,p} = \frac{a_{y,p \max} + a_{y,p \min}}{2}$$

[0057] 其中, $a_{y,p \max}$ 为第p个单位中Y方向上的最大加速度值, $a_{y,p \min}$ 为第p个单位中Y方向上的最小加速度值, $\mathbf{a}_{y,(p-1)*10+k}^*$ 为第p个单位中第k组Y方向上的加速度值, $\bar{a}_{y,p}$ 为第p个单位中Y方向上的加速度的中位值;

$$[0058] \quad a_{z,p \max} = \max_p \{ \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0059] \quad a_{z,p \min} = \min_p \{ \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0060] \quad \bar{a}_{z,p} = \frac{a_{z,p \max} + a_{z,p \min}}{2}$$

$$[0061] \quad \bar{\mathbf{a}}_p = (\bar{a}_{x,p}, \bar{a}_{y,p}, \bar{a}_{z,p})^T$$

$$[0062] \quad \dot{\mathbf{a}}_p = \frac{\bar{\mathbf{a}}_p + \bar{\mathbf{a}}_p}{2}$$

[0063] 其中, $a_{z,p \max}$ 为第p个单位中Z方向上的最大加速度值, $a_{z,p \min}$ 为第p个单位中Z方向上的最小加速度值, $\mathbf{a}_{z,(p-1)*10+k}^*$ 为第p个单位中第k组Z方向上的加速度值, $\bar{a}_{z,p}$ 为第p个单位中Z方向上的加速度的中位值;

[0064] $\dot{\mathbf{a}}_p$ 为中位值平均滤波算法之后的空间姿态数据;

[0065] 步骤1中所述根据扩展卡尔曼滤波算法处理为:

$$[0066] \quad \tilde{\mathbf{X}}_{p,l} = \mathbf{A}_l \tilde{\mathbf{X}}_{p,l-1} + \mathbf{B}_l \dot{\mathbf{a}}_{p,l-1} + \mathbf{K}_{p,l} (\mathbf{Z}_{p,l} - \mathbf{H}_l \tilde{\mathbf{X}}_{p,l}^-)$$

$$[0067] \quad \mathbf{Z}_{p,l} = \mathbf{H}_l \cdot \mathbf{X}_{p,l} + \dot{\mathbf{a}}_p$$

$$[0068] \quad l \in [1, N_p]$$

[0069] 其中, $\tilde{\mathbf{x}}_{p,l}$ 为对当前第1个状态改进后的第p个单位的加速度数据, A_1 为当前第1个状态的第一个因子矩阵, $\tilde{\mathbf{x}}_{p,l-1}$ 为第1个状态的前一个状态下改进后的第p个单位的加速度数据, B_1 为当前第1个状态的第二个因子矩阵, $\tilde{\mathbf{a}}_{p,l-1}$ 为第1个状态的前一个状态下第p个单位的加速度数据, $K_{p,1}$ 为当前第1个状态下第p个单位的卡尔曼增益, $Z_{p,1}$ 为当前第1个状态下第p个单位中观测到的加速度数据, H_1 为当前第1个状态的第三个因子矩阵, $X_{p,1}$ 为当前第1个状态第p个单位的系统状态随机变量, $\tilde{\mathbf{x}}_{p,l}^-$ 为第p个单位中已知第1个之前状态的情况下的第1个状态的加速度预测值;

[0070] 扩展卡尔曼滤波算法处理后得到滤波之后空间姿态数据为:

$$[0071] \quad \tilde{\mathbf{X}}_{p,N_p} = (\tilde{a}_{x,p}, \tilde{a}_{y,p}, \tilde{a}_{z,p})^T$$

[0072] 其中, $\tilde{a}_{x,p}$ 为经过中位值平均滤波及扩展卡尔曼滤波的第p个单位中X方向上的加速度, $\tilde{a}_{y,p}$ 为经过中位值平均滤波及扩展卡尔曼滤波的第p个单位中Y方向上的加速度, $\tilde{a}_{z,p}$ 为经过中位值平均滤波及扩展卡尔曼滤波的第p个单位中Z方向上的加速度。

[0073] 作为优选, 步骤2中所述根据滤波之后心电数据以及滤波之后空间姿态数据计算相关系数为计算皮尔逊相关系数:

[0074] 由于成年人的正常心率范围在60~100次/min, 故每分钟取滤波之后的80组心电数据作健康数据分析, 以80组滤波之后的心电信号为1个分析单位q, 则共可分为 M_Q 组, $\dot{\mathbf{U}}_{i,q}$ 是滤波之后的第q个单位的第i组心电信号, $\dot{\mathbf{U}}_{(q-1)*80+r}$ 是滤波之后的第q个单位的第r组心电信号;

[0075] 将步骤1所得滤波之后的心电信号 $\dot{\mathbf{U}}_i$, 进一步处理有

$$[0076] \quad M_Q = \frac{M}{80}$$

$$[0077] \quad \dot{\mathbf{U}}_{i,q} = \dot{\mathbf{U}}_{(q-1)*80+r}, q \in [1, M_Q], r \in [1, 80]$$

$$[0078] \quad \bar{\mathbf{U}}_q = \frac{1}{80} \sum_{r=1}^{80} \dot{\mathbf{U}}_{(q-1)*80+r}$$

$$[0079] \quad \bar{\mathbf{U}}_q = (\bar{U}_{P,q}, \bar{U}_{Q,q}, \bar{U}_{R,q}, \bar{U}_{S,q}, \bar{U}_{ST,q}, \bar{U}_{T,q})^T$$

[0080] 其中, $\bar{\mathbf{U}}_q$ 为滤波之后的第q个单位的心电信号的平均值, $\bar{U}_{P,q}$ 为第q个单位的P波平均值, $\bar{U}_{Q,q}$ 为第q个单位的Q波平均值, $\bar{U}_{R,q}$ 为第q个单位的R波平均值, $\bar{U}_{S,q}$ 为第q个单位的S波平均值, $\bar{U}_{ST,q}$ 为第q个单位的ST段平均值, $\bar{U}_{T,q}$ 为第q个单位的T波平均值;

$$[0081] \quad G = \frac{M_Q}{6}, \hat{q} \in [1, G], g \in [1, 6]$$

[0082] 以每6个分析组又作为1个计算组 \hat{q} , 则共可分为G组;

$$[0083] \quad \bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$[0084] \quad \bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$[0085] \quad \bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$[0086] \quad \bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$[0087] \quad \bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$[0088] \quad \bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+6})$$

[0089] 其中, $\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 P 波平均值, $\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 Q 波平均值, $\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 R 波平均值, $\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 S 波平均值, $\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 ST 段平均值, $\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第 g 个的 T 波平均值;

$$[0090] \quad \bar{\alpha}_P = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_Q = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_R = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g}$$

$$[0091] \quad \bar{\alpha}_S = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_{ST} = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_T = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g}$$

[0092] 其中, $\bar{\alpha}_P$ 为第 \hat{q} 个计算组的 P 波平均值, $\bar{\alpha}_Q$ 为第 \hat{q} 个计算组的 Q 波平均值, $\bar{\alpha}_R$ 为第 \hat{q} 个计算组的 R 波平均值, $\bar{\alpha}_S$ 为第 \hat{q} 个计算组的 S 波平均值, $\bar{\alpha}_{ST}$ 为第 \hat{q} 个计算组的 ST 段平均值, $\bar{\alpha}_T$ 为第 \hat{q} 个计算组的 T 波平均值;

[0093] 根据步骤 1 所得滤波之后的空间姿态数据, 进一步处理有:

$$[0094] \quad v_{x,t} = \sum_{p=1}^t \tilde{a}_{x,p}, v_{y,t} = \sum_{p=1}^t \tilde{a}_{y,p}, v_{z,t} = \sum_{p=1}^t \tilde{a}_{z,p}$$

$$[0095] \quad v_t = \sqrt{(v_{x,t})^2 + (v_{y,t})^2 + (v_{z,t})^2}$$

$$[0096] \quad \beta_t = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_t)^T, t \in [1, N_p]$$

[0097] 其中, $v_{x,t}$ 为第 t 个单位中 X 方向上速度, $v_{y,t}$ 为第 t 个单位中 Y 方向上速度, $v_{z,t}$ 为第 t 个单位中 Z 方向上速度, v_t 为第 t 个人体在运动时的合速度;

$$[0098] \quad N_W = \frac{N_p}{6}, W \in [1, N_W], o \in [1, 6]$$

[0099] 以每 6 个时刻为一个计算组 W , 则共可分为 N_W 组; 则对第 t 个单位的合速度可以写成下列形式:

$$[0100] \quad \beta_t = \beta_{(W-1)*6+o}$$

$$[0101] \quad \beta_{(W-1)*6+o} = (\beta_{(W-1)*6+1}, \beta_{(W-1)*6+2}, \beta_{(W-1)*6+3}, \dots, \beta_{(W-1)*6+6})^T$$

[0102] 其中, $\beta_{(W-1)*6+o}$ 为第 W 个计算组中第 o 个合速度;

$$[0103] \quad \bar{\beta}_W = \frac{1}{6} \sum_{o=1}^6 \beta_{(W-1)*6+o}$$

[0104] 其中, $\bar{\beta}_W$ 为第 W 个计算单位的平均合速度;

$$[0105] \quad \sigma_{P,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P)^2}{6}}, \sigma_{Q,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q)^2}{6}}, \sigma_{R,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)^2}{6}},$$

$$[0106] \quad \sigma_{S,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)^2}{6}}, \sigma_{ST,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})^2}{6}}, \sigma_{T,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)^2}{6}}$$

$$[0107] \quad \sigma_{\beta_W} = \sqrt{\frac{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}{6}}$$

[0108] 其中, $\sigma_{P,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的 P 波平均值的标准差, $\sigma_{Q,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的 Q 波平

均值的标准差, $\sigma_{R,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的R波平均值的标准差, $\sigma_{S,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的S波平均值的标准差, $\sigma_{ST,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的ST段平均值的标准差, $\sigma_{T,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的T波平均值的标准差, σ_{β_W} 为第 W 个计算组中合速度的标准差;

$$[0109] \quad cov(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P)}{6}$$

$$[0110] \quad cov(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q)}{6}$$

$$[0111] \quad cov(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)}{6}$$

$$[0112] \quad cov(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)}{6}$$

$$[0113] \quad cov(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})}{6}$$

$$[0114] \quad cov(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)}{6}$$

[0115] 其中, $\alpha_{P,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中P波变量, $\alpha_{Q,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中Q波变量, $\alpha_{R,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中R波变量, $\alpha_{S,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中S波变量, $\alpha_{ST,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中ST段变量, $\alpha_{T,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中T波变量, β_W 为第 W 个计算组中的合速度变量;

[0116] 各波型电压幅值与合速度的皮尔逊相关系数:

$$[0117] \quad \gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{P,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P) (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$[0118] \quad \gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{Q,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q) (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$[0119] \quad \gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{R,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R) (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$[0120] \quad \gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{S,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S) (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$[0121] \quad \gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{ST,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST}) (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$[0122] \quad \gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{T,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T) (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

[0123] 其中, $\gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中P波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数; $\gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中Q波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数; $\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中R波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数; $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中S波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数; $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中ST段变量与第W个计算组中的合速度变量之间的皮尔逊相关系数; $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中T波变量与第W个计算组中的合速度变量之间的皮尔逊相关系数;

[0124] 正常人的心率会随着运动强度增加而变快,两者呈现正相关的关系,因此皮尔逊相关系数只需要考虑在区间(0,1]的范围;

$$[0125] \quad \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \\ = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W) = 0$$

$$[0126] \quad \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \\ = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W) = 0.5$$

$$[0127] \quad \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \\ = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W) = 1$$

$$[0128] \quad \bar{\beta}_{WL} = 9.5\text{km/h}, \bar{\beta}_{WH} = 12.5\text{km/h}$$

[0129] 其中, $\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中波型电压幅值变量 α 与第W个计算组中的合速度变量 β 之间的皮尔逊相关系数最小值,表明两组数据相关性较小; $\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中波型电压幅值变量 α 与第W个计算组中的合速度变量 β 之间的皮尔逊相关系数中等值,表明具有较强的相关性; $\gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中波型电压幅值变量 α 与第W个计算组中的合速度变量 β 之间的皮尔逊相关系数最大值,表明相关性最强; $\bar{\beta}_{WL}$ 为普通成年人跑步的平均最低速率, $\bar{\beta}_{WH}$ 为普通成年人跑步的平均最高速率;

[0130] 步骤2中所述判断用户心脏机能健康水平数据为:

[0131] 对于 $\bar{\alpha}_P$,正常人P波的最小幅值为 α_{PL} ,最大幅值为 α_{PH} ;

[0132] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_P \geq \alpha_{PH}$, $\gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)]$, 说明右心房肥厚,肺源性心脏疾病可能性大,运动时的P波幅值偏大,用户心脏机能健康水平数据为较差;

[0133] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\alpha_{PL} < \bar{\alpha}_P < \alpha_{PH}$, 且

$\gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)]$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好;

[0134] 对于 $\bar{\alpha}_Q$,正常人Q波的最大幅值为 α_{QH} ;

[0135] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_Q \geq \alpha_{QH}$, $\gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)]$, 说明可能是劳累过度导致精神压力过大,情绪波动较大,运动时的Q波异常变化明显,用户心脏机能健康水平数据为中等;

[0136] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_Q < \alpha_{QH}$, 且 $\gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)]$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好;

[0137] 对于 $\bar{\alpha}_R$, 正常人R波最小幅值为 α_{RL} , 最大幅值为 α_{RH}

[0138] 若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_R \leq \alpha_{RL}$, $\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌缺血导致的低血压可能性较大, 运动时的R波幅度过低, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

[0139] 若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_R \geq \alpha_{RH}$, $\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明可能有高血压, 运动时的R波上升异常且幅值稍大, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

[0140] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\alpha_{RL} \leq \bar{\alpha}_P < \alpha_{RH}$, 且

$\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好;

[0141] 对于 $\bar{\alpha}_S$, 正常人S波最大幅值为 α_{SH}

[0142] 若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_S \geq \alpha_{SH}$, $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌缺血可能性较大, 低速运动时的S波幅度偏大, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

[0143] 若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_S \geq \alpha_{SH}$, $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌梗塞风险可能性较大, 高速运动时S波超出最大幅度明显, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

[0144] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_S < \alpha_{SH}$, 且 $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好;

[0145] 对于 $\bar{\alpha}_{ST}$, 正常人ST段压低幅度最大值为 α_{STL} , 抬高幅度最大值为 α_{STH} ;

[0146] 若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_{ST} \geq \alpha_{STL}$, 且 $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明劳累过度导致的心肌缺血可能性较大, 低速运动时的ST段压低幅度偏高, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

[0147] 若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_{ST} \geq \alpha_{STH}$, 且 $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明随着运动强度增加心率加快, 高速运动时的ST段抬高幅度偏高, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

[0148] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $0 \leq \bar{\alpha}_{ST} < \alpha_{STL}$, $0 \leq \bar{\alpha}_{ST} < \alpha_{STH}$, 且 $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好;

[0149] 对于 $\bar{\alpha}_T$, 正常人T波最小幅值为 α_{TL} , 最大幅值为 α_{TH} ;

[0150] 若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_T \leq \alpha_{TL}$, $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌缺血可能性较大, 低速运动时T波低平, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

[0151] 若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_T \geq \alpha_{TH}$, $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌受损的可能性较大, 高速运动时T波幅度偏高, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

[0152] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\alpha_{TL} < \bar{\alpha}_T < \alpha_{TH}$, 且

$\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好。

[0153] 相对于现有技术, 本发明所具有的优点和有益的社会效果如下:

[0154] 本发明克服了传统心电监护系统存在着接线复杂, 不易携带等问题的基础上, 解决了目前市面上可穿戴式医疗设备存在着系统功耗高、遭遇突发情况无法紧急求救、记录

特征参数少以及采集数据的准确性和精度不高等问题,也解决了数据静态单一、数据传输实时性差以及无法反映用户基本健康水平的问题。

[0155] 佩戴方便,接线简单,用户功能按键操作简单;数据智能传输;蓝牙协议进行无线通信;健康状态监护装置工作时消耗的电流和待机的功耗极低;体积小、可嵌入腰带、皮带或放在衣物口袋中、成本低,集成度高;能够获取不同运动状态下的多维度心电数据;提高了采集数据的精度和准确性,减少装置对用户运动状态的误判率;能够反映心脏机能的基本健康水平;结合多种数据滤波算法,使得监护系统更具有应用价值。

附图说明

[0156] 图1:为本发明的系统结构示意图;

[0157] 图2:为本发明的系统方法过程图;

[0158] 图3:为本发明的系统通信流程图。

具体实施方式

[0159] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0160] 如图1所述,为本发明的系统结构示意图。本发明实施方式系统的技术方案为一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统及方法,其特征在于,包括:心电信号采集模块、空间姿态采集模块、蓝牙信号处理模块、电源管理模块、移动终端;

[0161] 所述心电信号采集模块与所述蓝牙信号处理模块通过导线连接;所述空间姿态采集模块与所述蓝牙信号处理模块通过导线连接;所述心电信号采集模块与所述电源管理模块通过导线连接;所述蓝牙信号处理模块与所述电源管理模块通过导线连接;所述空间姿态采集模块与所述电源管理模块通过导线连接;所述蓝牙信号处理模块与所述移动终端通过无线通信方式连接。

[0162] 所述心电信号采集模块用于采集心电数据并传输至所述蓝牙信号处理模块;

[0163] 所述空间姿态采集模块用于空间姿态数据并传输至所述蓝牙信号处理模块;

[0164] 所述蓝牙信号处理模块将心电数据以及空间姿态数据进行信号滤波,根据滤波之后心电数据以及滤波之后空间姿态数据计算相关系数并判断心脏机能健康水平数据,将滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及心脏机能健康水平数据通过蓝牙无线传输至所述移动终端;

[0165] 所述电源管理模块,通过多路低压差线性稳压电源为所述的心电信号采集模块、空间姿态采集模块、蓝牙信号处理模块进行供电;

[0166] 所述移动终端用于实时显示滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及心脏机能健康水平数据。

[0167] 所述空间姿态采集模块的选型为MPU6050,属于空间姿态数据采集模块;

[0168] 所述心电信号采集模块采用AgCl材质的电极贴片获取心电信号,所述心电信号采集模块的选型为ADS1293;

[0169] 所述蓝牙信号处理模块的选型为CC2541；

[0170] 所述电源管理模块采用锂离子电池供电；

[0171] 所述移动终端选型为具备Android操作系统4.2版本以上的智能手机或平板。

[0172] 下面结合图1至图3介绍本发明的实施方式,具体为:

[0173] 步骤1:蓝牙信号处理模块通过心电信号采集模块采集心电数据,通过空间姿态采集模块采集空间姿态数据,心电数据通过汉明窗FIR数字带通滤波器处理得到滤波之后心电数据,空间姿态数据首先通过中位值平均滤波算法处理,然后根据扩展卡尔曼滤波算法处理得到滤波之后空间姿态数据;

[0174] 步骤1中所述心电数据为:

$$[0175] \quad \mathbf{U}_i^* = \mathbf{U}_i + \mathbf{U}_{NOISE,i}, i \in [1, M]$$

$$[0176] \quad \mathbf{U}_i = (U_{P,i}, U_{Q,i}, U_{R,i}, U_{S,i}, U_{ST,i}, U_{T,i})^T$$

$$[0177] \quad \mathbf{U}_{NOISE,i} = (U_{PNOISE,i}, U_{QNOISE,i}, U_{RNOISE,i}, U_{SNOISE,i}, U_{STNOISE,i}, U_{TNOISE,i})^T$$

$$[0178] \quad \mathbf{U}_i^* = (U_{P,i}^*, U_{Q,i}^*, U_{R,i}^*, U_{S,i}^*, U_{ST,i}^*, U_{T,i}^*)^T$$

[0179] 其中, M 为采集的心电信号组的数量, \mathbf{U}_i^* 为第 i 组采集的心电信号, \mathbf{U}_i 为第 i 组采集的理想心电信号, $\mathbf{U}_{NOISE,i}$ 为第 i 组采集的心电信号混入的噪声值。

[0180] $U_{P,i}$ 为第 i 组采集的理想心电信号中P波电压幅值, $U_{Q,i}$ 为第 i 组采集的理想心电信号中QRS波中Q波电压幅值, $U_{R,i}$ 为第 i 组采集的理想心电信号中QRS波中R波电压幅值, $U_{S,i}$ 为第 i 组采集的理想心电信号中QRS波中S波电压幅值, $U_{ST,i}$ 为第 i 组采集的理想心电信号中ST段电压幅值, $U_{T,i}$ 为第 i 组采集的理想心电信号中T波电压幅值;

[0181] $U_{PNOISE,i}$ 为第 i 组采集的心电信号中P波混入的噪声值, $U_{QNOISE,i}$ 为第 i 组采集的心电信号中Q波混入的噪声值, $U_{RNOISE,i}$ 为第 i 组采集的心电信号中R波混入的噪声值, $U_{SNOISE,i}$ 为第 i 组采集的心电信号中S波混入的噪声值, $U_{STNOISE,i}$ 为第 i 组采集的心电信号中ST段混入的噪声值, $U_{TNOISE,i}$ 为第 i 组采集的心电信号中T波混入的噪声值;

[0182] $U_{P,i}^*$ 为第 i 组混入噪声值的P波电压幅值, $U_{Q,i}^*$ 为第 i 组混入噪声值的Q波电压幅值, $U_{R,i}^*$ 为第 i 组混入噪声值的R波电压幅值, $U_{S,i}^*$ 为第 i 组混入噪声值的S波电压幅值, $U_{ST,i}^*$ 为第 i 组混入噪声值的ST段电压幅值, $U_{T,i}^*$ 为第 i 组混入噪声值的T波电压幅值。

[0183] 步骤1中所述空间姿态数据为:

$$[0184] \quad \mathbf{a}_j^* = \mathbf{a}_j + \mathbf{a}_{MAX,j}$$

$$[0185] \quad \mathbf{a}_j = (a_{x,j}, a_{y,j}, a_{z,j})^T$$

$$[0186] \quad \mathbf{a}_{MAX,j} = (a_{xMAX,j}, a_{yMAX,j}, a_{zMAX,j})^T$$

$$[0187] \quad \mathbf{a}_j^* = (a_{x,j}^*, a_{y,j}^*, a_{z,j}^*)^T$$

$$[0188] \quad j \in [1, N]$$

[0189] 其中, N 为采集的空间姿态信号组的数量, \mathbf{a}_j^* 为第 j 组采集的姿态信号, \mathbf{a}_j 为第 j 组采集的理想姿态信号, $\mathbf{a}_{MAX,j}$ 为第 j 组采集的姿态信号混入的抖动尖峰值。

[0190] $a_{x,j}$ 为第 j 组采集的理想姿态信号中X方向上的加速度, $a_{y,j}$ 为第 j 组采集的理想姿态信号中Y方向上的加速度, $a_{z,j}$ 为第 j 组采集的理想姿态信号中Z方向上的加速度;

[0191] $a_{xMAX,j}$ 为第 j 组抖动尖峰值中X方向上的最大加速度, $a_{yMAX,j}$ 为第 j 组抖动尖峰值中Y方向上的最大加速度, $a_{zMAX,j}$ 为第 j 组抖动尖峰值中Z方向上的最大加速度;

[0192] $a_{x,j}^*$ 为第j组X方向上混入抖动尖峰值的实际加速度, $a_{y,j}^*$ 第j组Y方向上混入抖动尖峰值的实际加速度, $a_{z,j}^*$ 为第j组Z方向上混入抖动尖峰值的实际加速度。

[0193] 步骤1中所述心电数据通过汉明窗FIR数字带通滤波器处理为:

[0194] 理想FIR数字带通滤波器为:

$$[0195] \quad h_d(n) = \frac{\sin[\omega_{c2}(n-\alpha)] - \sin[\omega_{c1}(n-\alpha)]}{\pi(n-\alpha)}$$

$$[0196] \quad n \in [0, L-1]$$

$$[0197] \quad \varphi(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{L-1}\right)$$

[0198] 其中, $h_d(n)$ 为该滤波器的理想单位脉冲响应, ω_{c2} 为理想高通滤波器的通带截止角频率, ω_{c1} 为理想低通滤波器的通带截止角频率, α 为滤波器延时参数, L 为采样点数, $\varphi(n)$ 为汉明窗序列, 作为冲激响应的窗函数;

$$[0199] \quad h(n) = h_d(n)\varphi(n)$$

$$[0200] \quad \dot{u}_i(n) = u_i^*(n) * h(n)$$

[0201] 其中, $h(n)$ 为实际的汉明窗FIR数字带通滤波器的单位脉冲响应, 将采集到的心电信号 U_i^* 写成序列形式 $u_i^*(n)$, 与 $h(n)$ 进行卷积运算, 再将滤波之后的心电信号序列形式 $\dot{u}_i(n)$ 表示为列向量形式 \dot{U}_i , 则滤波之后的心电信号为:

$$[0202] \quad \dot{U}_i = (\dot{U}_{P,i}, \dot{U}_{Q,i}, \dot{U}_{R,i}, \dot{U}_{S,i}, \dot{U}_{ST,i}, \dot{U}_{T,i})^T$$

[0203] 其中, $\dot{U}_{P,i}$ 为滤波之后的第i组P波幅值, $\dot{U}_{Q,i}$ 为滤波之后的第i组Q波幅值, $\dot{U}_{R,i}$ 为滤波之后的第i组R波幅值, $\dot{U}_{S,i}$ 为滤波之后的第i组S波幅值, $\dot{U}_{ST,i}$ 为滤波之后的第i组ST段幅值, $\dot{U}_{T,i}$ 为滤波之后的第i组T波幅值。

[0204] 步骤1中所述空间姿态数据首先通过中位值平均滤波算法处理:

$$[0205] \quad N_p = \frac{N}{10}$$

$$[0206] \quad \mathbf{a}_{j,p}^* = \mathbf{a}_{(p-1)*10+k}^*, p \in [1, N_p]$$

$$[0207] \quad \bar{\mathbf{a}}_p = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} \mathbf{a}_{(p-1)*10+k}^*, k \in [1, 10]$$

[0208] 其中, 以10组空间姿态信号为一个滤波处理单位 p , 则共可分为 N_p 个单位, $\mathbf{a}_{j,p}^*$ 为第 p 个单位的第 j 组采集的姿态信号, $\mathbf{a}_{(p-1)*10+k}^*$ 为第 p 个单位的第 k 组采集的姿态信号;

$$[0209] \quad a_{x,p \max} = \max_p \{ \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0210] \quad a_{x,p \min} = \min_p \{ \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{x,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0211] \quad \bar{a}_{x,p} = \frac{a_{x,p \max} + a_{x,p \min}}{2}$$

[0212] 其中, $a_{x,p \max}$ 为第 p 个单位中X方向上的最大加速度值, $a_{x,p \min}$ 为第 p 个单位中X方向上的最小加速度值, $\mathbf{a}_{x,(p-1)*10+k}^*$ 为第 p 个单位中第 k 组X方向上的加速度值, $\bar{a}_{x,p}$ 为第 p 个单位

中X方向上加速度的中位值；

$$[0213] \quad a_{y,p \max} = \max_p \{ \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0214] \quad a_{y,p \min} = \min_p \{ \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{y,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0215] \quad \bar{a}_{y,p} = \frac{a_{y,p \max} + a_{y,p \min}}{2}$$

[0216] 其中, $a_{y,p \max}$ 为第p个单位中Y方向上的最大加速度值, $a_{y,p \min}$ 为第p个单位中Y方向上的最小加速度值, $\mathbf{a}_{y,(p-1)*10+k}^*$ 为第p个单位中第k组Y方向上的加速度值, $\bar{a}_{y,p}$ 为第p个单位中Y方向上的加速度的中位值；

$$[0217] \quad a_{z,p \max} = \max_p \{ \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0218] \quad a_{z,p \min} = \min_p \{ \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+1}^*, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+2}^*, \dots, \mathbf{a}_{z,(p-1)*10+10}^* \}$$

$$[0219] \quad \bar{a}_{z,p} = \frac{a_{z,p \max} + a_{z,p \min}}{2}$$

$$[0220] \quad \bar{\mathbf{a}}_p = (\bar{a}_{x,p}, \bar{a}_{y,p}, \bar{a}_{z,p})^T$$

$$[0221] \quad \dot{\mathbf{a}}_p = \frac{\bar{\mathbf{a}}_p + \bar{\mathbf{a}}_p}{2}$$

[0222] 其中, $a_{z,p \max}$ 为第p个单位中Z方向上的最大加速度值, $a_{z,p \min}$ 为第p个单位中Z方向上的最小加速度值, $\mathbf{a}_{z,(p-1)*10+k}^*$ 为第p个单位中第k组Z方向上的加速度值, $\bar{a}_{z,p}$ 为第p个单位中Z方向上的加速度的中位值；

[0223] $\dot{\mathbf{a}}_p$ 为中位值平均滤波算法之后的空间姿态数据；

[0224] 步骤1中所述根据扩展卡尔曼滤波算法处理为：

$$[0225] \quad \tilde{\mathbf{X}}_{p,l} = \mathbf{A}_l \tilde{\mathbf{X}}_{p,l-1} + \mathbf{B}_l \dot{\mathbf{a}}_{p,l-1} + \mathbf{K}_{p,l} (\mathbf{Z}_{p,l} - \mathbf{H}_l \tilde{\mathbf{X}}_{p,l}^-)$$

$$[0226] \quad \mathbf{Z}_{p,l} = \mathbf{H}_l \cdot \mathbf{X}_{p,l} + \dot{\mathbf{a}}_p$$

$$[0227] \quad l \in [1, N_p]$$

[0228] 其中, $\tilde{\mathbf{X}}_{p,l}$ 为对当前第1个状态改进后的第p个单位的加速度数据, \mathbf{A}_l 为当前第1个状态的第一个因子矩阵, $\tilde{\mathbf{X}}_{p,l-1}$ 为第1个状态的前一个状态下改进后的第p个单位的加速度数据, \mathbf{B}_l 为当前第1个状态的第二个因子矩阵, $\dot{\mathbf{a}}_{p,l-1}$ 为第1个状态的前一个状态下第p个单位的加速度数据, $\mathbf{K}_{p,l}$ 为当前第1个状态下第p个单位的卡尔曼增益, $\mathbf{Z}_{p,l}$ 为当前第1个状态下第p个单位中观测到的加速度数据, \mathbf{H}_l 为当前第1个状态的第三个因子矩阵, $\mathbf{X}_{p,l}$ 为当前第1个状态第p个单位的系统状态随机变量, $\tilde{\mathbf{X}}_{p,l}^-$ 为第p个单位中已知第1个之前状态的情况下的第1个状态的加速度预测值；

[0229] 扩展卡尔曼滤波算法处理后得到滤波之后空间姿态数据为：

$$[0230] \quad \tilde{\mathbf{X}}_{p,N_p} = (\tilde{a}_{x,p}, \tilde{a}_{y,p}, \tilde{a}_{z,p})^T$$

[0231] 其中, $\tilde{a}_{x,p}$ 为经过中位值平均滤波及扩展卡尔曼滤波的第p个单位中X方向上的加速度, $\tilde{a}_{y,p}$ 为经过中位值平均滤波及扩展卡尔曼滤波的第p个单位中Y方向上的加速度, $\tilde{a}_{z,p}$

为经过中位值平均滤波及扩展卡尔曼滤波的第p个单位中Z方向上的加速度。

[0232] 步骤2: 蓝牙信号处理模块根据滤波之后心电数据以及滤波之后空间姿态数据计算相关系数, 再根据滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及相关系数来判断用户心脏机能健康水平数据;

[0233] 步骤2中所述根据滤波之后心电数据以及滤波之后空间姿态数据计算相关系数为计算皮尔逊相关系数:

[0234] 由于成年人的正常心率范围在60~100次/min, 故每分钟取滤波之后的80组心电数据作健康数据分析, 以80组滤波之后的心电信号为1个分析单位q, 则共可分为 M_Q 组, $\dot{U}_{i,q}$ 是滤波之后的第q个单位的第i组心电信号, $\dot{U}_{(q-1)*80+r}$ 是滤波之后的第q个单位的第r组心电信号。

[0235] 将步骤1所得滤波之后的心电信号 \dot{U}_i , 进一步处理有

$$[0236] \quad M_Q = \frac{M}{80}$$

$$[0237] \quad \dot{U}_{i,q} = \dot{U}_{(q-1)*80+r}, q \in [1, M_Q], r \in [1, 80]$$

$$[0238] \quad \bar{U}_q = \frac{1}{80} \sum_{r=1}^{80} \dot{U}_{(q-1)*80+r}$$

$$[0239] \quad \bar{U}_q = (\bar{U}_{P,q}, \bar{U}_{Q,q}, \bar{U}_{R,q}, \bar{U}_{S,q}, \bar{U}_{ST,q}, \bar{U}_{T,q})^T$$

[0240] 其中, \bar{U}_q 为滤波之后的第q个单位的心电信号的平均值, $\bar{U}_{P,q}$ 为第q个单位的P波平均值, $\bar{U}_{Q,q}$ 为第q个单位的Q波平均值, $\bar{U}_{R,q}$ 为第q个单位的R波平均值, $\bar{U}_{S,q}$ 为第q个单位的S波平均值, $\bar{U}_{ST,q}$ 为第q个单位的ST段平均值, $\bar{U}_{T,q}$ 为第q个单位的T波平均值;

$$[0241] \quad G = \frac{M_Q}{6}, \hat{q} \in [1, G], g \in [1, 6]$$

[0242] 以每6个分析组又作为1个计算组 \hat{q} , 则共可分为G组。

$$[0243] \quad \bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$[0244] \quad \bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$[0245] \quad \bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$[0246] \quad \bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$[0247] \quad \bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+6})$$

$$[0248] \quad \bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} = (\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+1}, \bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+2}, \dots, \bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+6})$$

[0249] 其中, $\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第g个的P波平均值, $\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第g个的Q波平均值, $\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第g个的R波平均值, $\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第g个的S波平均值, $\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第g个的ST段平均值, $\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g}$ 为第 \hat{q} 个计算组中第g个的T波平均值;

$$[0250] \quad \bar{\alpha}_P = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_Q = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_R = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g}$$

$$[0251] \quad \bar{\alpha}_S = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_{ST} = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g}, \bar{\alpha}_T = \frac{1}{6} \sum_{g=1}^6 \bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g}$$

[0252] 其中, $\bar{\alpha}_P$ 为第 \hat{q} 个计算组的P波平均值, $\bar{\alpha}_Q$ 为第 \hat{q} 个计算组的Q波平均值, $\bar{\alpha}_R$ 为第 \hat{q} 个计算组的R波平均值, $\bar{\alpha}_S$ 为第 \hat{q} 个计算组的S波平均值, $\bar{\alpha}_{ST}$ 为第 \hat{q} 个计算组的ST段平均值, $\bar{\alpha}_T$ 为第 \hat{q} 个计算组的T波平均值。

[0253] 根据步骤1所得滤波之后的空间姿态数据,进一步处理有:

$$[0254] \quad v_{x,t} = \sum_{p=1}^t \bar{a}_{x,p}, v_{y,t} = \sum_{p=1}^t \bar{a}_{y,p}, v_{z,t} = \sum_{p=1}^t \bar{a}_{z,p}$$

$$[0255] \quad v_t = \sqrt{(v_{x,t})^2 + (v_{y,t})^2 + (v_{z,t})^2}$$

$$[0256] \quad \beta_t = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_t)^T, t \in [1, N_P]$$

[0257] 其中, $v_{x,t}$ 为第 t 个单位中X方向上速度, $v_{y,t}$ 为第 t 个单位中Y方向上速度, $v_{z,t}$ 为第 t 个单位中Z方向上速度, v_t 为第 t 个人体在运动时的合速度;

$$[0258] \quad N_W = \frac{N_P}{6}, W \in [1, N_W], o \in [1, 6]$$

[0259] 以每6个时刻为一个计算组W,则共可分为 N_W 组;则对第 t 个单位的合速度可以写成下列形式:

$$[0260] \quad \beta_t = \beta_{(W-1)*6+o}$$

$$[0261] \quad \beta_{(W-1)*6+o} = (\beta_{(W-1)*6+1}, \beta_{(W-1)*6+2}, \beta_{(W-1)*6+3}, \dots, \beta_{(W-1)*6+6})^T$$

[0262] 其中, $\beta_{(W-1)*6+o}$ 为第 W 个计算组中第 o 个合速度;

$$[0263] \quad \bar{\beta}_W = \frac{1}{6} \sum_{o=1}^6 \beta_{(W-1)*6+o}$$

[0264] 其中, $\bar{\beta}_W$ 为第 W 个计算单位的平均合速度;

$$[0265] \quad \sigma_{P,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P)^2}{6}}, \sigma_{Q,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q)^2}{6}}, \sigma_{R,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)^2}{6}},$$

$$[0266] \quad \sigma_{S,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)^2}{6}}, \sigma_{ST,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})^2}{6}}, \sigma_{T,\hat{q}} = \sqrt{\frac{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)^2}{6}}$$

$$[0267] \quad \sigma_{\beta_W} = \sqrt{\frac{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}{6}}$$

[0268] 其中, $\sigma_{P,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的P波平均值的标准差, $\sigma_{Q,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的Q波平均值的标准差, $\sigma_{R,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的R波平均值的标准差, $\sigma_{S,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的S波平均值的标准差, $\sigma_{ST,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的ST段平均值的标准差, $\sigma_{T,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中的T波平均值的标准差, σ_{β_W} 为第 W 个计算组中合速度的标准差。

$$[0269] \quad cov(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P)}{6}$$

$$[0270] \quad cov(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q)}{6}$$

$$[0271] \quad cov(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W) (\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)}{6}$$

$$[0272] \quad cov(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)(\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)}{6}$$

$$[0273] \quad cov(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)(\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})}{6}$$

$$[0274] \quad cov(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{\sum_{g=1}^6 \sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)(\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)}{6}$$

[0275] 其中, $\alpha_{P,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中P波变量, $\alpha_{Q,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中Q波变量, $\alpha_{R,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中R波变量, $\alpha_{S,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中S波变量, $\alpha_{ST,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中ST段变量, $\alpha_{T,\hat{q}}$ 为第 \hat{q} 个计算组中T波变量, β_W 为第W个计算组中的合速度变量。

[0276] 各波型电压幅值与合速度的皮尔逊相关系数:

$$[0277] \quad \gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{P,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P)(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{P,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_P)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$[0278] \quad \gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{Q,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q)(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{Q,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_Q)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$[0279] \quad \gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{R,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{R,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_R)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$[0280] \quad \gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{S,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{S,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_S)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$[0281] \quad \gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{ST,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{ST,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_{ST})^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

$$[0282] \quad \gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) = \frac{cov(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W)}{\sigma_{T,\hat{q}} \sigma_{\beta}} = \frac{(\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)(\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)}{\sqrt{\sum_{g=1}^6 (\bar{U}_{T,(\hat{q}-1)*6+g} - \bar{\alpha}_T)^2} \sqrt{\sum_{o=1}^6 (\beta_{(W-1)*6+o} - \bar{\beta}_W)^2}}$$

[0283] 其中, $\gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}}, \beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中P波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数。 $\gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}}, \beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中Q波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数。 $\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}}, \beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中R波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数。 $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中S波变量与第W个计算组的合速度变量之间的皮尔逊相关系数。 $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中ST段变量与第W个计算组中的合速度变量之间的皮尔逊相关系数。 $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中T波变量与第W个计算组中的合速度变量之间的皮尔逊相关系数。

[0284] 正常人的心率会随着运动强度增加而变快,两者呈现正相关的关系,因此皮尔逊相关系数只需要考虑在区间(0,1]的范围;

$$[0285] \quad \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \\ = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W) = 0$$

$$[0286] \quad \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \\ = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W) = 0.5$$

$$[0287] \quad \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \\ = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}},\beta_W) = \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}},\beta_W) = 1$$

$$[0288] \quad \bar{\beta}_{WL} = 9.5\text{km/h}, \bar{\beta}_{WH} = 12.5\text{km/h}$$

[0289] 其中, $\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中波型电压幅值变量 α 与第 W 个计算组中的合速度变量 β 之间的皮尔逊相关系数最小值,表明两组数据相关性较小。 $\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中波型电压幅值变量 α 与第 W 个计算组中的合速度变量 β 之间的皮尔逊相关系数中等值,表明具有较强的相关性。 $\gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W)$ 为第 \hat{q} 个计算组中波型电压幅值变量 α 与第 W 个计算组中的合速度变量 β 之间的皮尔逊相关系数最大值,表明相关性最强。 $\bar{\beta}_{WL}$ 为普通成年人跑步的平均最低速率, $\bar{\beta}_{WH}$ 为普通成年人跑步的平均最高速率。

[0290] 步骤2中所述判断用户心脏机能健康水平数据为:

[0291] 对于 $\bar{\alpha}_P$,正常人P波的最小幅值为 $\alpha_{PL}=0.05\text{mV}$,最大幅值为 $\alpha_{PH}=0.25\text{mV}$ 。

[0292] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_P \geq \alpha_{PH}$, $\gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W))$, 说明右心房肥厚,肺源性心脏疾病可能性大,运动时的P波幅值偏大,用户心脏机能健康水平数据为较差;

[0293] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\alpha_{PL} < \bar{\alpha}_P < \alpha_{PH}$, 且

$\gamma_{P,\hat{q},W}(\alpha_{P,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好。

[0294] 对于 $\bar{\alpha}_Q$,正常人Q波的最大幅值为 $\alpha_{QH}=1.0\text{mV}$ 。

[0295] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_Q \geq \alpha_{QH}$, $\gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W))$, 说明可能是劳累过度导致精神压力过大,情绪波动较大,运动时的Q波异常变化明显,用户心脏机能健康水平数据为中等;

[0296] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_Q < \alpha_{QH}$, 且 $\gamma_{Q,\hat{q},W}(\alpha_{Q,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好。

[0297] 对于 $\bar{\alpha}_R$,正常人R波最小幅值为 $\alpha_{RL}=0.5\text{mV}$,最大幅值为 $\alpha_{RH}=2.0\text{mV}$

[0298] 若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_R \leq \alpha_{RL}$, $\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W))$, 说明心肌缺血导致的低血压可能性较大,运动时的R波幅度过低,用户心脏机能健康水平数据为较差;

[0299] 若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_R \geq \alpha_{RH}$, $\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W))$, 说明可能有高血压,运动时的R波上升异常且幅值稍大,用户心脏机能健康水平数据为中等;

[0300] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\alpha_{RL} \leq \bar{\alpha}_P < \alpha_{RH}$, 且

$\gamma_{R,\hat{q},W}(\alpha_{R,\hat{q}},\beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}},\beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好。

[0301] 对于 $\bar{\alpha}_S$,正常人S波最大幅值为 $\alpha_{SH}=0.5\text{mV}$ 。

[0302] 若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_S \geq \alpha_{SH}$, $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌缺血可能性较大, 低速运动时的S波幅度偏大, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

[0303] 若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_S \geq \alpha_{SH}$, $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌梗塞风险可能性较大, 高速运动时S波超出最大幅度明显, 用户心脏机能健康水平数据为中等。

[0304] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\bar{\alpha}_S < \alpha_{SH}$, 且 $\gamma_{S,\hat{q},W}(\alpha_{S,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好。

[0305] 对于 $\bar{\alpha}_{ST}$, 正常人ST段压低幅度最大值为 $\alpha_{STL} = 0.05\text{mV}$, 抬高幅度最大值为 $\alpha_{STH} = 0.1\text{mV}$ 。

[0306] 若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_{ST} \geq \alpha_{STL}$, 且 $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明劳累过度导致的心肌缺血可能性较大, 低速运动时的ST段压低幅度偏高, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

[0307] 若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_{ST} \geq \alpha_{STH}$, 且 $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明随着运动强度增加心率加快, 高速运动时的ST段抬高幅度偏高, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

[0308] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $0 \leq \bar{\alpha}_{ST} < \alpha_{STL}$, $0 \leq \bar{\alpha}_{ST} < \alpha_{STH}$, 且 $\gamma_{ST,\hat{q},W}(\alpha_{ST,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好。

[0309] 对于 $\bar{\alpha}_T$, 正常人T波最小幅值为 $\alpha_{TL} = 0.1\text{mV}$, 最大幅值为 $\alpha_{TH} = 1.5\text{mV}$ 。

[0310] 若 $\bar{\beta}_W \leq \bar{\beta}_{WL}$, $\bar{\alpha}_T \leq \alpha_{TL}$, $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌缺血可能性较大, 低速运动时T波低平, 用户心脏机能健康水平数据为较差;

[0311] 若 $\bar{\beta}_W \geq \bar{\beta}_{WH}$, $\bar{\alpha}_T \geq \alpha_{TH}$, $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MAX,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 说明心肌受损的可能性较大, 高速运动时T波幅度偏高, 用户心脏机能健康水平数据为中等;

[0312] 若 $\bar{\beta}_W \in [\bar{\beta}_{WL}, \bar{\beta}_{WH}]$, $\alpha_{TL} < \bar{\alpha}_T < \alpha_{TH}$, 且 $\gamma_{T,\hat{q},W}(\alpha_{T,\hat{q}}, \beta_W) \in (\gamma_{MIN,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W), \gamma_{MED,\hat{q},W}(\alpha_{\hat{q}}, \beta_W))$, 则用户心脏机能健康水平数据为良好。

[0313] 步骤3: 蓝牙信号处理模块将滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及用户心脏机能健康水平数据信息通过蓝牙无线传输至移动终端, 移动终端实时显示滤波之后心电数据、滤波之后空间姿态数据以及心脏机能健康水平数据。

[0314] 尽管本文较多地使用了心电信号采集模块、蓝牙信号处理模块、电源管理模块、空间姿态采集模块、移动终端等术语, 但并不排除使用其他术语的可能性。使用这些术语仅仅是为了更方便的描述本发明的本质, 把它们解释成任何一种附加的限制都是与本发明精神相违背的。

[0315] 应当理解的是, 上述针对较佳实施例的描述较为详细, 并不能因此而认为是对本发明专利保护范围的限制, 本领域的普通技术人员在本发明的启示下, 在不脱离本发明权利要求所保护的范围情况下, 还可以做出替换或变形, 均落入本发明的保护范围之内, 本发明的请求保护范围应以所附权利要求为准。

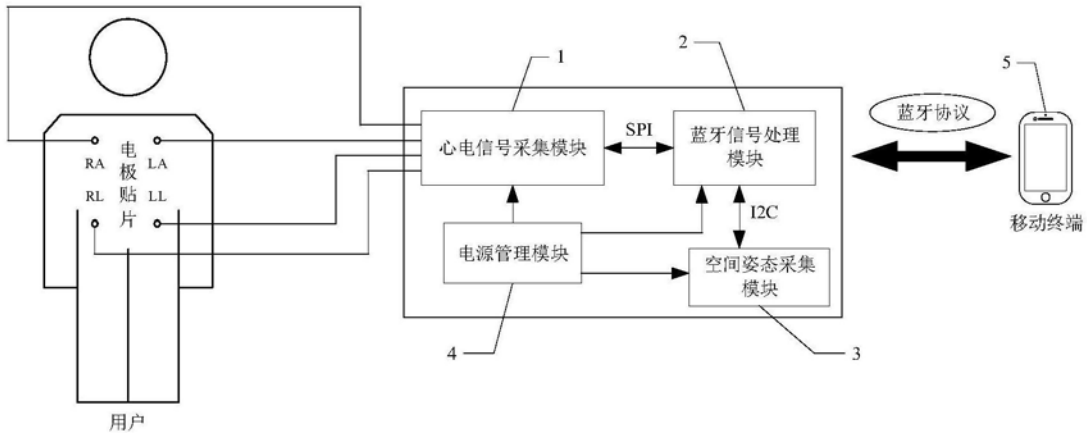


图1

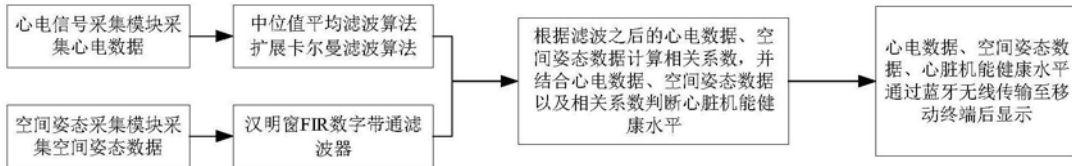


图2

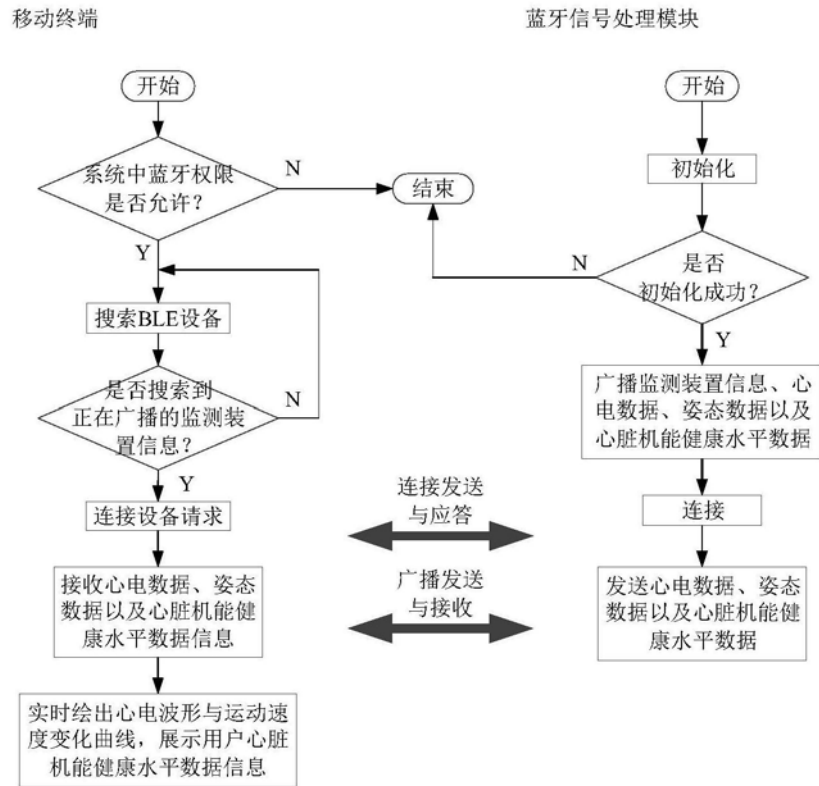


图3

| | | | |
|----------------|--|---------|------------|
| 专利名称(译) | 一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统及方法 | | |
| 公开(公告)号 | CN109770851A | 公开(公告)日 | 2019-05-21 |
| 申请号 | CN201910004741.X | 申请日 | 2019-01-03 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 湖北工业大学 | | |
| 申请(专利权)人(译) | 湖北工业大学 | | |
| 当前申请(专利权)人(译) | 湖北工业大学 | | |
| [标]发明人 | 万相奎 刘俊杰 刘翔宇 陈瑞 吴海波 许正望 李风从 丰励 | | |
| 发明人 | 万相奎 刘俊杰 刘翔宇 陈瑞 吴海波 金志尧 朱彬如 许正望 李风从 丰励 | | |
| IPC分类号 | A61B5/00 A61B5/0402 G06K9/00 G16H50/30 G16H80/00 | | |
| 代理人(译) | 薛玲 | | |
| 外部链接 | Espacenet SIPO | | |

摘要(译)

本发明公开了一种基于蓝牙无线通信的心脏健康状态监测系统及方法。本发明系统包括心电信号采集模块、蓝牙信号处理模块、电源管理模块、空间姿态采集模块、移动终端。本发明方法对心电数据与空间姿态数据采集和滤波、计算相关系数和判断心脏机能健康水平数据，将滤波之后心电数据、空间姿态数据以及心脏机能健康水平数据信息通过蓝牙无线传输至移动终端后显示。本发明能够在用户不同运动状态下采集心电数据和空间姿态数据，从而获取多维度状态下的心电数据。本发明系统硬件结构简便，集成度高，方便携带且功耗低。软件方面提高了采集的数据的准确性和精度，结合不同滤波算法对数据处理，减少误判率，能够反映用户心脏机能健康水平数据信息。

