



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105286846 B

(45)授权公告日 2018.03.02

(21)申请号 201510873978.3

CN 104323772 A,2015.02.04,

(22)申请日 2015.11.29

Zhilin Zhang.Photoplethysmography-
Based Heart Rate Monitoring in Physical

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105286846 A

Activities via Joint Sparse Spectrum
Reconstruction.《IEEE Transactions on

(43)申请公布日 2016.02.03

Biomedical Engineering》.2015,第62卷(第8
期),第1902-1910页.

(73)专利权人 浙江师范大学

地址 321004 浙江省金华市迎宾大道688号

审查员 卢晓萍

(72)发明人 熊继平 蔡丽桑 汤清华 王妃

(51)Int.Cl.

A61B 5/0245(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

G06F 19/00(2018.01)

(56)对比文件

CN 103211598 A,2013.07.24,

US 2012/0259590 A1,2012.10.11,

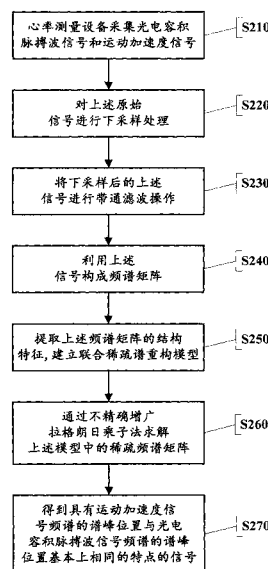
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种适用于心率信号的运动噪声检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种适用于心率信号的运动噪声检测方法,以提高可穿戴式心率测量设备的心率测量值精度。该方法中,可穿戴式的心率测量设备采集用户在同时间段内的多个光电容积脉搏波信号及运动加速度信号;利用多个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号构成频谱矩阵,通过提取频谱矩阵中整体稀疏和行稀疏的结构特征建立联合稀疏谱重构模型;然后利用不精确增广拉格朗日乘子法求解联合稀疏谱重构模型中的稀疏频谱矩阵,求解得到的信号具有运动加速度信号频谱的谱峰位置与多个光电容积脉搏波信号频谱的谱峰位置基本上相同的特点。本发明能精确地检测出心率信号中强烈的运动噪声,为有效去除心率信号中强运动噪声奠定理论基础。



1. 一种适用于心率信号的运动噪声检测方法,包括采集信号、构建联合稀疏谱重构模型、求解稀疏频谱矩阵三个部分,其特征在于:

可穿戴式的心率测量设备在用户手腕处采集同时间段内的多个光电容积脉搏波信号及运动加速度信号;利用所述多个光电容积脉搏波信号和所述运动加速度信号构成频谱矩阵,提取上述频谱矩阵的结构特征建立所述联合稀疏谱重构模型,并求解所述联合稀疏谱重构模型中的稀疏频谱矩阵;

该方法包括如下步骤:

所述心率测量设备采集用户在同一时间段内的多个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号;对上述多个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号进行下采样处理;然后将下采样后的多个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号进行带通滤波操作;

同时,利用所述多个光电容积脉搏波信号和所述运动加速度信号构成频谱矩阵,提取上述频谱矩阵中全局稀疏和行稀疏的结构特征建立所述联合稀疏谱重构模型,并通过不精确增广拉格朗日乘子法求解所述联合稀疏谱重构模型中的稀疏频谱矩阵,求解得到的信号具有运动加速度信号频谱的谱峰位置与多个光电容积脉搏波信号频谱的谱峰位置基本相同的特点。

2. 根据权利要求1所述的适用于心率信号的运动噪声检测方法,其特征在于:

所述心率测量设备内嵌多个光电容积脉搏波传感器和三轴加速度计;所述多个光电容积脉搏波传感器采集用户的多个光电容积脉搏波信号;所述三轴加速度计采集用户在同时时间段内的运动加速度信号。

3. 根据权利要求1所述的适用于心率信号的运动噪声检测方法,其特征在于:

所述联合稀疏谱重构模型是根据所述多个光电容积脉搏波信号和所述运动加速度信号构成的频谱矩阵除了具有全局稀疏外还有行稀疏的结构特征而构造的,所述联合稀疏谱重构模型的目标函数如下:

$$\min_{X,V} \lambda_1 \|V\|_F^2 + \lambda_2 \|X\|_{1,2} + \lambda_3 \|X\|_{1,1}$$

$$s.t \begin{cases} \|V\|_F = \sqrt{\text{tr}(V^T V)} = \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^R v_{i,j}^2} \\ \|X\|_{1,2} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^R x_{i,j}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ \|X\|_{1,1} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R |x_{i,j}| \\ Y = \Phi X + V \end{cases}$$

其中,

M为矩阵Y、矩阵V、矩阵Φ和矩阵C的行数,N为矩阵C和矩阵Φ的列数以及矩阵X的行数,R为矩阵V、矩阵X和矩阵Y的列数, $\|V\|_F$ 用来约束误差矩阵V使误差最小, $\|X\|_{1,1}$ 用来约束频谱矩阵全局稀疏, $\|X\|_{1,2}$ 用来约束频谱矩阵行稀疏, $x_{i,j}$ 是频谱矩阵X第i行第j列元素, $v_{i,j}$ 是误差矩阵V第i行第j列元素, λ_1 、 λ_2 、 λ_3 是权值,用来权衡各项的重要性; $Y = \Phi X + V$ 为等式约束条件, $Y \in \mathbb{R}^{M \times H}$ 是一个观测矩阵, $X \in \mathbb{C}^{N \times H}$ 是相应信号的频谱矩阵,即需要求解的稀疏频谱矩阵, $\Phi \in \mathbb{C}^{M \times N}$ ($M < N$) 是一个冗余离散傅里叶变换基,V是模型误差或者测量误差矩阵。

4. 根据权利要求1所述的适用于心率信号的运动噪声检测方法,其特征在于:

所述不精确增广拉格朗日乘子法是将罚函数与传统的拉格朗日函数相结合,构造出的更适合所述联合稀疏谱重构模型目标函数的迭代方法;同时所述不精确增广拉格朗日乘子法允许以一种交替或者序贯的方式更新未知的变量,具有二次收敛速度。

一种适用于心率信号的运动噪声检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及信息处理领域,尤其涉及一种适用于心率信号的运动噪声检测方法。

背景技术

[0002] 光电容积脉搏波描记法 (Photoplethysmography, PPG) 是借助光电手段在活体组织中检测血液容积变化的一种无创检测方法,当一定波长的光束照射到皮肤表面时,光束将通过透射或反射的方式传送到光电接收器。在此过程中,由于受到皮肤肌肉和血液的吸收衰减作用,检测器检测到的光强度将减弱,其中皮肤、肌肉、组织等对光的吸收在整个血液循环中是保持恒定不变的,而皮肤内的血液容积在心脏作用下呈搏动性变化。从而使光电接收器检测到的光强度随之呈脉动式变化。将此光强度变化的信号转换成电信号即光电容积脉搏波信号,便可以获得容积脉搏血流的变化。

[0003] 由于光电容积脉搏波信号是从皮肤表面提取的生物信号,它的信号强度弱、易受噪声干扰。例如在运动中,存在由于组织干扰、静脉血容量以及光程变化产生的运动噪声干扰,并且运动噪声的频率在很多情况下会与心率的频率十分接近,故最难从心率中检测出运动噪声信号。

[0004] 本发明提出了一种适用于心率信号的运动噪声检测方法。该方法中多个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号构成频谱矩阵,上述频谱矩阵中行稀疏的结构特征能更好的使多个光电容积脉搏波信号频谱中运动噪声的频率位置与加速度信号频谱的频率位置对齐。本发明能精确地检测出心率信号中的运动噪声,为有效去除心率信号中强运动噪声奠定理论基础。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是如何在运动噪声非常强的情况下提供一种准确检测心率信号中运动噪声的方法,为提高可穿戴式心率测量设备的心率测量值精度打下基础。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明提供了一种适用于心率信号的运动噪声检测方法,包括采集信号、构建联合稀疏谱重构模型、求解稀疏频谱矩阵三个部分,其特征在于:

[0007] 所述可穿戴式的心率测量设备在用户手腕处采集同时间段内的多个光电容积脉搏波信号及运动加速度信号;利用所述多个光电容积脉搏波信号和所述运动加速度信号构成频谱矩阵,提取上述频谱矩阵的结构特征建立所述联合稀疏谱重构模型,并求解所述联合稀疏谱重构模型中的稀疏频谱矩阵。

[0008] 该方法包括如下步骤:

[0009] 所述可穿戴式的心率测量设备采集用户在同一时间段内的多个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号;对上述多个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号进行下采样处理;然后将下采样后的上述信号进行带通滤波操作。

[0010] 同时,利用所述多个光电容积脉搏波信号和所述运动加速度信号构成频谱矩阵,

提取上述频谱矩阵中整体稀疏和行稀疏的结构特征建立所述联合稀疏谱重构模型,并通过不精确增广拉格朗日乘子法求解所述联合稀疏谱重构模型中的稀疏频谱矩阵,求解得到的信号具有运动加速度信号频谱的谱峰位置与多个光电容积脉搏波信号频谱的谱峰位置基本相同的特点。

[0011] 优选地,所述可穿戴式的心率测量设备内嵌多个光电容积脉搏波传感器和三轴加速度计;所述多个光电容积脉搏波传感器采集用户的多个光电容积脉搏波信号;所述三轴加速度计采集用户在同时间段内的运动加速度信号。

[0012] 优选地,所述联合稀疏谱重构模型是根据所述多个光电容积脉搏波信号和所述运动加速度信号构成的频谱矩阵除了具有全局稀疏外还有行稀疏的结构特征而构造的,所述联合稀疏谱重构模型的目标函数如下:

$$[0013] \quad \min_{X,V} \lambda_1 \|V\|_F^2 + \lambda_2 \|X\|_{1,2} + \lambda_3 \|X\|_{1,1}$$

$$[0014] \quad s.t. \quad \begin{cases} \|V\|_F = \sqrt{\text{tr}(V^T V)} = \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^R v_{i,j}^2} \\ \|X\|_{1,2} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^R x_{i,j}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ \|X\|_{1,1} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R |x_{i,j}| \\ Y = \Phi X + V \end{cases}$$

[0015] 其中,

[0016] $\|V\|_F$ 用来约束误差矩阵 V 使误差最小, $\|X\|_{1,1}$ 用来约束频谱矩阵全局稀疏, $\|X\|_{1,2}$ 用来约束频谱矩阵行稀疏, $x_{i,j}$ 是频谱矩阵 X 第 i 行第 j 列元素, $v_{i,j}$ 是误差矩阵 V 第 i 行第 j 列元素, λ_1 、 λ_2 、 λ_3 是权值,用来权衡各项的重要性; $Y = \Phi X + V$ 为等式约束条件, $Y \in \mathbb{R}^{M \times H}$ 是一个观测矩阵, $X \in \mathbb{C}^{N \times H}$ 是相应信号的频谱矩阵,即需要求解的稀疏频谱矩阵, $\Phi \in \mathbb{C}^{M \times N}$ ($M < N$)是一个冗余离散傅里叶变换基, V 是模型误差或者测量误差矩阵。

[0017] 优选地,所述不精确增广拉格朗日乘子法是将罚函数与传统的拉格朗日函数相结合,构造出的更适合所述联合稀疏谱重构模型目标函数的迭代方法;同时所述不精确增广拉格朗日乘子法允许以一种交替或者序贯的方式更新未知的变量,具有二次收敛速度。

[0018] 与现有技术相比,本发明提供的技术方案准确地检测出心率信号中强烈的运动噪声,为有效去除心率信号中强运动噪声奠定理论基础,从而使提高可穿戴式心率测量设备的心率测量值精度成为可能。

附图说明

[0019] 图1为本发明实施例的运动噪声检测方法的流程示意图。

具体实施方式

[0020] 以下结合附图及实施例来详细说明本发明的实施方式,借此对本发明如何应用技术手段来解决技术问题,并达到相应技术效果的实现过程能充分理解并据以实施。

[0021] 本发明的技术方案中,多个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号构成频谱矩

阵,上述频谱矩阵中行稀疏的结构特征能更好的使多个光电容积脉搏波信号频谱中运动噪声的频率位置与加速度信号频谱的频率位置对齐。此技术方案精确地检测出心率信号中的运动噪声,为有效去除心率信号中强运动噪声奠定理论基础。

[0022] 实施例一、心率信号中运动噪声的检测方法

[0023] 图1为本实施例的运动噪声检测方法的流程示意图。

[0024] 图1所示的本实施例,是心率信号中运动噪声的检测方法的整体流程,主要包括如下步骤:

[0025] 步骤S210,可穿戴式的心率测量设备利用两个分布在不同位置的光电容积脉搏波传感器采集两个通道的光电容积脉搏波信号,利用三轴加速度计采集同时间段内的三个通道的运动加速度信号。

[0026] 步骤S220,上述原始信号的初始采样频率为125Hz,为减少计算量,需要对上述原始信号进行下采样至采样频率为25Hz的操作。

[0027] 步骤S230,经下采样后的上述信号需要通过通带为0.4Hz-4Hz的二阶巴特沃斯滤波器进行滤波,以消除一定频率范围以外的运动噪声及其它噪声的干扰。

[0028] 步骤S240,利用上述两个光电容积脉搏波信号和三个运动加速度信号构成频谱矩阵。

[0029] 步骤S250,提取上述频谱矩阵中全局稀疏和行稀疏的结构特征,然后利用上述结构特征构造联合稀疏谱重构模型。

[0030] 本步骤中,典型地,公式(1)为联合稀疏谱重构模型的目标函数:

$$[0031] \quad \min_{X,V} \lambda_1 \|V\|_F^2 + \lambda_2 \|X\|_{1,2} + \lambda_3 \|X\|_{1,1}$$

$$[0032] \quad s.t \quad \begin{cases} \|V\|_F = \sqrt{\text{tr}(V^T V)} = \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^R v_{i,j}^2} \\ \|X\|_{1,2} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^R x_{i,j}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ \|X\|_{1,1} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R |x_{i,j}| \\ Y = \Phi X + V \end{cases} \quad (2)$$

[0033] 其中, $\|V\|_F$ 用来约束误差矩阵V使误差最小, $\|X\|_{1,1}$ 用来约束频谱矩阵全局稀疏, $\|X\|_{1,2}$ 用来约束频谱矩阵行稀疏, $x_{i,j}$ 是频谱矩阵X第i行第j列元素, $v_{i,j}$ 是误差矩阵V第i行第j列元素, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 是权值, 用来权衡各项的重要性; $Y = \Phi X + V$ 为等式约束条件, $Y \in \mathbb{R}^{M \times H}$ 是一个观测矩阵, $X \in \mathbb{C}^{N \times H}$ 是相应信号的频谱矩阵, 即需要求解的稀疏频谱矩阵, $\Phi \in \mathbb{C}^{M \times N}$ ($M < N$) 是一个冗余离散傅里叶变换基, V是模型误差或者测量误差矩阵。

[0034] 步骤S260,通过不精确增广拉格朗日乘子法可对上述联合稀疏谱重构模型中的目标函数进行求解。

[0035] 本步骤中,典型地,为解决公式(1)中复杂的目标函数,在公式(2)中引进两个松弛变量 X_1, X_2 ,同时增加了两个等式约束:

$$[0036] \quad \min_{X_1, X_2, V} \lambda_1 \|V\|_F^2 + \lambda_2 \|X_1\|_{1,2} + \lambda_3 \|X_2\|_{1,1}$$

$$[0037] \quad s.t \quad \begin{cases} Y = \Phi X + V \\ X = X_1 \\ X = X_2 \end{cases} \quad (2)$$

[0038] 然后,利用增广拉格朗日乘子法合并公式(2)中等式约束项和目标函数,并通过一系列简单封闭的交替更新操作得最小化表达,如公式(3)所示:

$$[0039] \quad \begin{aligned} L(X, X_1, X_2, V, Q_1, \dots, Q_3, \mu) &= \lambda_1 \|V\|_F^2 + \lambda_2 \|X_1\|_{1,2} + \lambda_3 \|X_2\|_{1,1} \\ &+ \langle Q_1, Y - \Phi X - V \rangle + \langle Q_2, X - X_1 \rangle + \langle Q_3, X - X_2 \rangle \\ &+ \frac{\mu}{2} \|Y - \Phi X - V\|_F^2 + \frac{\mu}{2} \|X - X_1\|_F^2 + \frac{\mu}{2} \|X - X_2\|_F^2 \\ \Rightarrow \min_{X, X_1, X_2, V, Q_1, \dots, Q_3, \mu} L(X, X_1, X_2, V, Q_1, \dots, Q_3, \mu) \end{aligned} \quad (3)$$

[0040] 其中, $Q_1, \dots, Q_3$ 是拉格朗日乘数, $\mu > 0$ 为惩罚参数;

[0041] 不精确增广拉格朗日乘子法是一种迭代的方法,可对公式(3)中各变量进行独立地并行更新,公式(4)、(5)、(6)、(7)、(8)为各变量更新公式:

$$[0042] \quad X_1^* = W_{\frac{\lambda_2}{\mu}} \left(X + \frac{Q_2}{\mu} \right) \quad (4)$$

$$[0043] \quad X_2^* = S_{\frac{\lambda_3}{\mu}} \left(X + \frac{Q_3}{\mu} \right) \quad (5)$$

$$[0044] \quad V^* = \frac{Q_1 + \mu(Y - \Phi X)}{2\lambda_1 + \mu} \quad (6)$$

$$[0045] \quad X^* = (\Phi^T \Phi + 2I)^{-1} \left[\frac{1}{\mu} (\Phi^T Q_1 - Q_2 - Q_3) + \Phi^T (Y - V) + X_1 + X_2 \right] \quad (7)$$

$$[0046] \quad \begin{cases} Q_1 = Q_1 + \mu(Y - \Phi X - V) \\ Q_2 = Q_2 + \mu(X - X_1) \\ Q_3 = Q_3 + \mu(X - X_2) \\ \mu = \min(\rho\mu, \mu \max) \end{cases} \quad (8)$$

[0047] 步骤S260,通过上述不精确增广拉格朗日乘子法得到稀疏频谱矩阵,该稀疏频谱矩阵中的信号具有运动加速度信号频谱的谱峰位置与多个光电容积脉搏波信号频谱的谱峰位置基本上相同的特点,从而达到了准确检测出心率信号中运动噪声的目的。

[0048] 本实施例中,可穿戴式的心率测量设备内嵌两个光电容积脉搏波传感器和三轴加速度计,并在用户手腕处采集同时间段内的两个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号,利用两个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号构成频谱矩阵,提取上述频谱矩阵中全局稀疏和行稀疏的结构特征建立联合稀疏谱重构模型,通过不精确增广拉格朗日乘子法求解上述联合稀疏谱重构模型中的稀疏频谱矩阵,最后得到具有运动加速度信号频谱的谱峰位置与两个光电容积脉搏波信号频谱的谱峰位置基本上相同的特点的信号。其中,频谱矩阵中行稀疏的结构特征能更好的使两个光电容积脉搏波信号频谱中运动噪声的谱峰位置与

运动加速度信号频谱的谱峰位置精确对齐。此方法能准确地检测出心率信号中强烈的运动噪声,为有效去除心率信号中强运动噪声奠定理论基础,从而使提高可穿戴式心率测量设备的心率测量值精度成为可能。

[0049] 虽然本发明所揭露的实施方式如上,但上述内容只是为了便于理解本发明而采用的实施方式,并非用以限定本发明。在不脱离本发明所揭露的精神及范围的前提下,可在实施的形式上及细节上作任何的修饰与变化,但本发明的专利保护范围,仍须以所附的权利要求书所界定的范围为准。

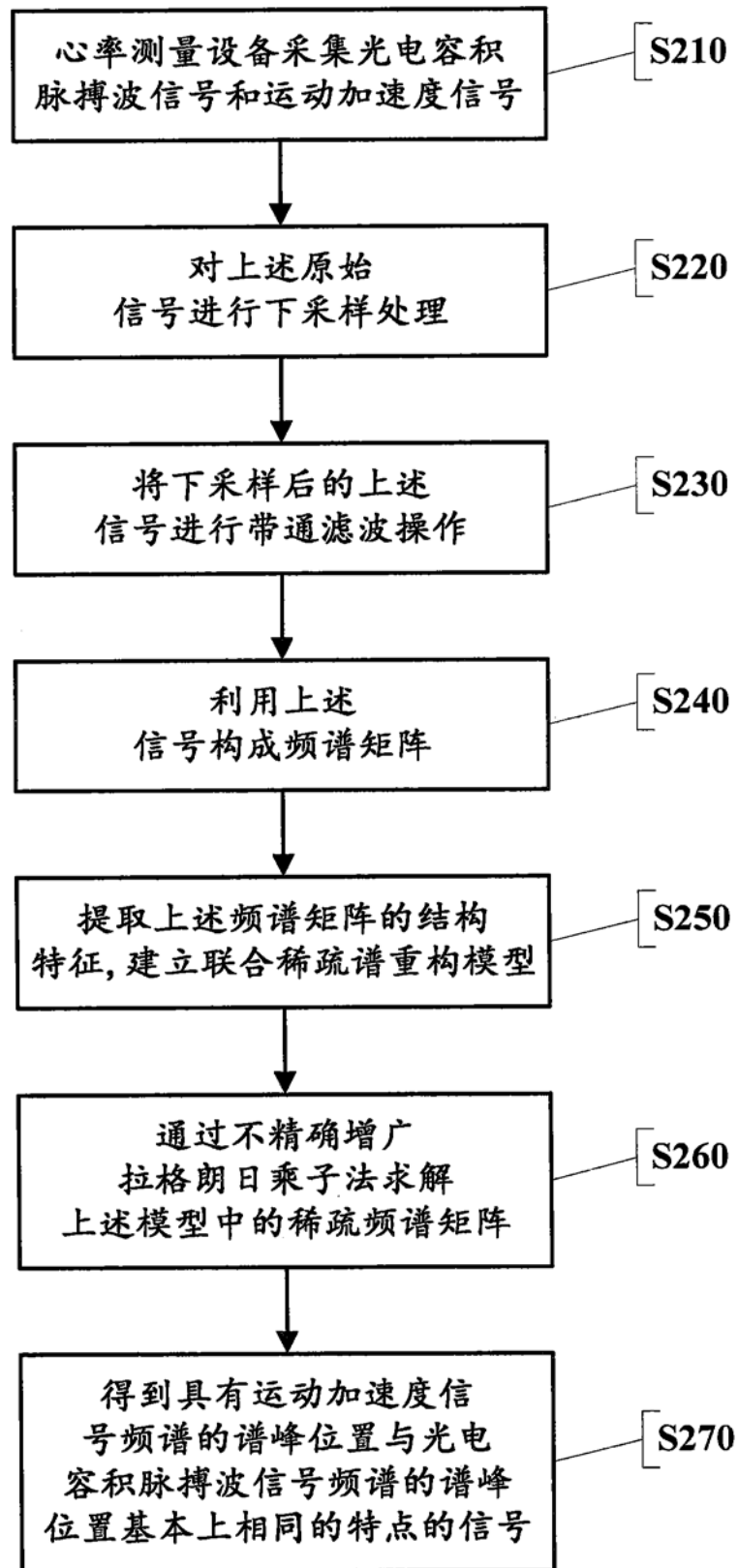


图1

专利名称(译)	一种适用于心率信号的运动噪声检测方法		
公开(公告)号	CN105286846B	公开(公告)日	2018-03-02
申请号	CN201510873978.3	申请日	2015-11-29
[标]申请(专利权)人(译)	浙江师范大学		
申请(专利权)人(译)	浙江师范大学		
当前申请(专利权)人(译)	浙江师范大学		
[标]发明人	熊继平 蔡丽桑 汤清华 王妃		
发明人	熊继平 蔡丽桑 汤清华 王妃		
IPC分类号	A61B5/0245 A61B5/00 G06F19/00		
其他公开文献	CN105286846A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种适用于心率信号的运动噪声检测方法，以提高可穿戴式心率测量设备的心率测量值精度。该方法中，可穿戴式的心率测量设备采集用户在同时间段内的多个光电容积脉搏波信号及运动加速度信号；利用多个光电容积脉搏波信号和运动加速度信号构成频谱矩阵，通过提取频谱矩阵中整体稀疏和行稀疏的结构特征建立联合稀疏谱重构模型；然后利用不精确增广拉格朗日乘子法求解联合稀疏谱重构模型中的稀疏频谱矩阵，求解得到的信号具有运动加速度信号频谱的谱峰位置与多个光电容积脉搏波信号频谱的谱峰位置基本上相同的特点。本发明能精确地检测出心率信号中强烈的运动噪声，为有效去除心率信号中强运动噪声奠定理论基础。

