



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106137167 A

(43)申请公布日 2016. 11. 23

(21)申请号 201610604505.8

(22)申请日 2016.07.21

(71)申请人 浙江师范大学

地址 321004 浙江省金华市迎宾大道688号

(72)发明人 熊继平 蔡丽桑 王妃

(51)Int.Cl.

A61B 5/024(2006.01)

A61B 5/02(2006.01)

A61B 5/11(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

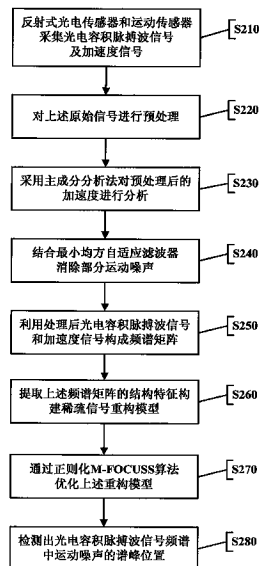
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法,为心率测量的后续工作奠定基础。该方法中,由反射式光电传感器和运动传感器采集同时间段内的多个光电容积脉搏波信号及加速度信号;采用主成分分析法对加速度信号进行处理,产生运动噪声相关的参考信号,并结合最小均方自适应滤波器消除部分运动噪声;然后将处理后多个光电容积脉搏波信号和加速度信号构成频谱矩阵,提取频谱矩阵行稀疏的结构特征构建稀疏信号重构模型;最后通过正则化算法优化稀疏信号重构模型,获得多个光电容积脉搏波信号频谱中运动噪声的谱峰位置。本发明能精确地检测出光电容积脉搏波信号中的运动噪声,实现心率的高精度测量。



1. 一种基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法,其特征在于:

所述主成分分析法对所述加速度信号进行处理,并结合所述自适应滤波器消除所述多个光电容积脉搏波信号中的部分运动噪声;然后,将处理后的多个光电容积脉搏波信号和所述加速度信号构成频谱矩阵,依据上述频谱矩阵的结构特征构建所述稀疏信号重构模型,并优化所述稀疏信号重构模型;

该方法包括如下步骤:

所述主成分分析法对预处理后的所述加速度信号进行分析,产生运动噪声相关的参考信号,并结合最小均方自适应滤波器对所述光电容积脉搏波信号中的部分运动噪声进行消除;

同时,将去除部分运动噪声的多个光电容积脉搏波信号和所述加速度信号构成频谱矩阵,依据上述频谱矩阵行稀疏的结构特征建立所述稀疏信号重构模型,并通过正则化M-FOCUSS算法优化所述重构模型,获得多个光电容积脉搏波信号频谱中运动噪声的谱峰位置。

2. 根据权利要求1所述的基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法,其特征在于:

所述加速度信号与所述光电容积脉搏波信号中的运动噪声具有强相关性,即所述加速度信号能够在三轴方向上描述运动噪声的“足迹”;故所述主成分分析法对所述加速度信号进行处理,选取出包含“信息”最多的第一主成分,并作为运动噪声相关的参考信号。

3. 根据权利要求1所述的基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法,其特征在于:

所述最小均方自适应滤波器选用上述运动噪声相关的参考信号,根据均方误差最小化的准则,不断更新滤波权重,消除所述光电容积脉搏波信号中的部分运动噪声。

4. 根据权利要求1所述的基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法,其特征在于:

所述频谱矩阵由上述消除部分运动噪声的多个光电容积脉搏波信号和所述加速度信号构成;依据所述频谱矩阵行稀疏的结构特征构造所述稀疏信号重构模型,其目标函数如下:

$$\min_X \frac{1}{2} \|Y - \Phi X\|_F^2 + \lambda \|X\|_{1,2}$$

$$\text{s. t. } Y = \Phi X + V$$

其中,

$$\|X\|_{1,2} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^R x_{i,j}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

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, λ 是

用来权衡 $\|X\|_{1,2}$ 重要性的权值;约束条件中 $Y \in \mathbb{R}^{M \times H}$ 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 $\Phi_{m,n} = e^{j \frac{2\pi}{N} mn} \in \mathbb{C}^{M \times N}$ ($M < N$) 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。

一种基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及生理信号处理领域,尤其涉及一种基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法。

背景技术

[0002] 心率测量作为人体运动生理负荷的客观评定指标,已被广泛应用于健身运动、竞技体育训练的各个方面。传统的心率测量技术虽能达到较高的测量精度,但是测量条件限制较多。为了满足未来电子健康监测要求,基于光电容积脉搏波信号的心率测量方法引起了学术界和工业界的高度关注。

[0003] 然而,光电容积脉搏波是一种信号强度弱、易受噪声干扰的生物信号。在运动状态下,由于组织干扰、静脉血容量以及光程变化,极易产生与心率频率十分接近的运动噪声,进而使得心率测量精度下降。

[0004] 近年来,研究人员已对光电容积脉搏波信号中运动噪声的检测工作进行了相关研究。例如,发明专利“一种适用于心率信号的运动噪声检测方法”(申请号:2015108739783,申请公布号:CN105286846A)中提出了联合稀疏谱重构模型,该模型中对整个频谱矩阵进行了行稀疏和全局稀疏的限制,并通过不精确增广拉格朗日乘子法求解该模型的最优解,进而检测出运动噪声的位置。而本发明采用快速去噪算法和信号重构算法相结合的技术进行光电容积脉搏波信号中的运动噪声的检测。即首先利用主成分分析法和最小均方自适应滤波器的结合消除光电容积脉搏波中的部分运动噪声;其次提取频谱矩阵行稀疏的结构特征构建稀疏信号重构模型,并通过正则化M-FOCUSS算法优化重构模型。本发明大大地提高了运动噪声的检测精确度,降低了计算复杂度。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是如何有效检测出光电容积脉搏波信号中强烈运动噪声的谱峰位置,从而实现心率的高精度测量。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明提供了一种基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法,其特征在于:

[0007] 所述主成分分析法对所述加速度信号进行处理,并结合所述自适应滤波器消除所述多个光电容积脉搏波信号中的部分运动噪声;然后,将处理后的多个光电容积脉搏波信号和所述加速度信号构成频谱矩阵,依据上述频谱矩阵的结构特征构建所述稀疏信号重构模型,并优化所述稀疏信号重构模型;

[0008] 该方法包括如下步骤:

[0009] 所述主成分分析法对预处理后的所述加速度信号进行分析,产生运动噪声相关的参考信号,并结合最小均方自适应滤波器对所述光电容积脉搏波信号中的部分运动噪声进行消除;

[0010] 同时,将去除部分运动噪声的多个光电容积脉搏波信号和所述加速度信号构成频

谱矩阵,依据上述频谱矩阵行稀疏的结构特征建立所述稀疏信号重构模型,并通过正则化M-FOCUSS算法优化所述重构模型,获得多个光电容积脉搏波信号频谱中运动噪声的谱峰位置;

[0011] 优选地,所述加速度信号与所述光电容积脉搏波信号中的运动噪声具有强相关性,即所述加速度信号能够在三轴方向上描述运动噪声的“足迹”;故所述主成分分析法对所述加速度信号进行处理,选取出包含“信息”最多的第一主成分,并作为运动噪声相关的参考信号;

[0012] 优选地,所述最小均方自适应滤波器选用上述运动噪声相关的参考信号,根据均方误差最小化的准则,不断更新滤波权重,消除所述光电容积脉搏波信号中的部分运动噪声;

[0013] 优选地,所述频谱矩阵由上述消除部分运动噪声的多个光电容积脉搏波信号和所述加速度信号构成;依据所述频谱矩阵行稀疏的结构特征构造所述稀疏信号重构模型,其目标函数如下:

$$[0014] \quad \min_X \frac{1}{2} \|Y - \Phi X\|_F^2 + \lambda \|X\|_{1,2}$$

$$[0015] \quad \text{s. t. } Y = \Phi X + V$$

[0016] 其中,

$$[0017] \quad \|X\|_{1,2} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^R x_{i,j}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

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, λ 是用来权衡 $\|X\|_{1,2}$ 重要性的权值;约束条件中 $Y \in \mathbb{R}^{M \times H}$ 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 $\Phi_{m,n} = e^{j \frac{2\pi}{N} mn} \in \mathbb{C}^{M \times N} (M < N)$ 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。

[0018] 与现有技术相比,本发明提供的技术方案采用快速去噪算法和信号重构算法相结合的技术准确检测光电容积脉搏波信号中的运动噪声,大大地提高了运动噪声的检测精度,并降低了计算复杂度。

[0018] 与现有技术相比,本发明提供的技术方案采用快速去噪算法和信号重构算法相结合的技术准确检测光电容积脉搏波信号中的运动噪声,大大地提高了运动噪声的检测精度,并降低了计算复杂度。

附图说明

[0019] 图1为本发明实施例的基于光电容积脉搏波信号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] 本发明的技术方案包括两部分,第一利用主成分分析法对加速度信号进行分析,产生自适应滤波需要的运动噪声相关的参考信号,进而利用最小均方自适应滤波器消除光电容积脉搏波中的部分运动噪声;第二依据加速度信号和运动噪声信号的强相关性在频域表现为光电容积脉搏波信号频谱中运动噪声的谱峰位置和加速度信号频谱的谱峰位置相对齐的特征构建稀疏信号重构模型。此技术方案能精确地检测出光电容积脉搏波信号中的

运动噪声,为后续去除运动噪声工作奠定基础。

[0022] 实施例一、基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法

[0023] 图1为本实施例的基于光电容积脉搏波信号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,是基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法的整体流程,主要包括如下步骤:

[0025] 步骤S210,利用分布在不同位置的两个反射式光电传感器采集两个通道的光电容积脉搏波信号,再利用运动传感器采集同步的三个运动方向的加速度信号;

[0026] 步骤S220,预处理包括将上述原始信号进行下采样至采样频率为25Hz的操作以及通过通带为0.4Hz-4Hz的二阶巴特沃斯滤波器的滤波操作;

[0027] 步骤S230,利用主成分分析法对经预处理后的加速度信号进行分析,选取包含“信息”最多的第一主成分,即运动噪声相关的参考信号 $X(n)$;

[0028] 步骤S240,最小均方自适应滤波器选用步骤S220产生的运动噪声相关的参考信号 $X(n)$,通过不断更新滤波权重 $W(n)$ 对光电容积脉搏波信号中部分运动噪声进行消除;

[0029] 本步骤中,典型地,差值 $e(n)$ 以及滤波权重 $W(n)$ 更新的数学表达如下:

$$e(n) = S(n) + M(n) - M'(n)$$

$$[0030] \quad M'(N) = W(n) * X(n) \quad (1)$$

$$W(n+1) = W(n) - \mu * e(n) * X(n)$$

[0031] 其中, $S(n)$ 表示干净的光电容积脉搏波信号, $M(n)$ 表示运动噪声信号, $M'(n)$ 表示最大程度的近似运动干扰信号;

[0032] 步骤S250,利用经步骤S240处理后的两个光电容积脉搏波信号和三个加速度信号构成频谱矩阵;

[0033] 步骤S260,依据上述频谱矩阵行稀疏的结构特征,构造稀疏信号重构模型;

[0034] 本步骤中,典型地,公式(2)为稀疏信号重构模型的目标函数:

$$[0035] \quad \min_X \frac{1}{2} \|Y - \Phi X\|_F^2 + \lambda \|X\|_{1,2} \quad (2)$$

$$st: Y = \Phi X + V$$

[0036] 其中, $\|X\|_{1,2} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^R x_{i,j}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ 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, λ 是用来权衡 $\|X\|_{1,2}$ 重要性的权值;约束条件中 $Y \in \mathbb{R}^{M \times H}$ 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, $\Phi_{m,n} = e^{j \frac{2\pi}{N} mn} \in \mathbb{C}^{M \times N} (M < N)$ 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,本实施例中 $H=5$;

[0037] 步骤S270,通过正则化M-FOCUSS算法可求解上述稀疏信号重构模型的目标函数的最优解;

[0038] 本步骤中,典型地,上述M-FOCUSS算法的数学表达式如下所示:

$$[0039] \quad W_{k+1} = \text{diag}(c_k[i]^{1-\frac{p}{2}}), \quad \text{where } c_k[i] = \left(\sum (x_k^{(l)}[i])^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

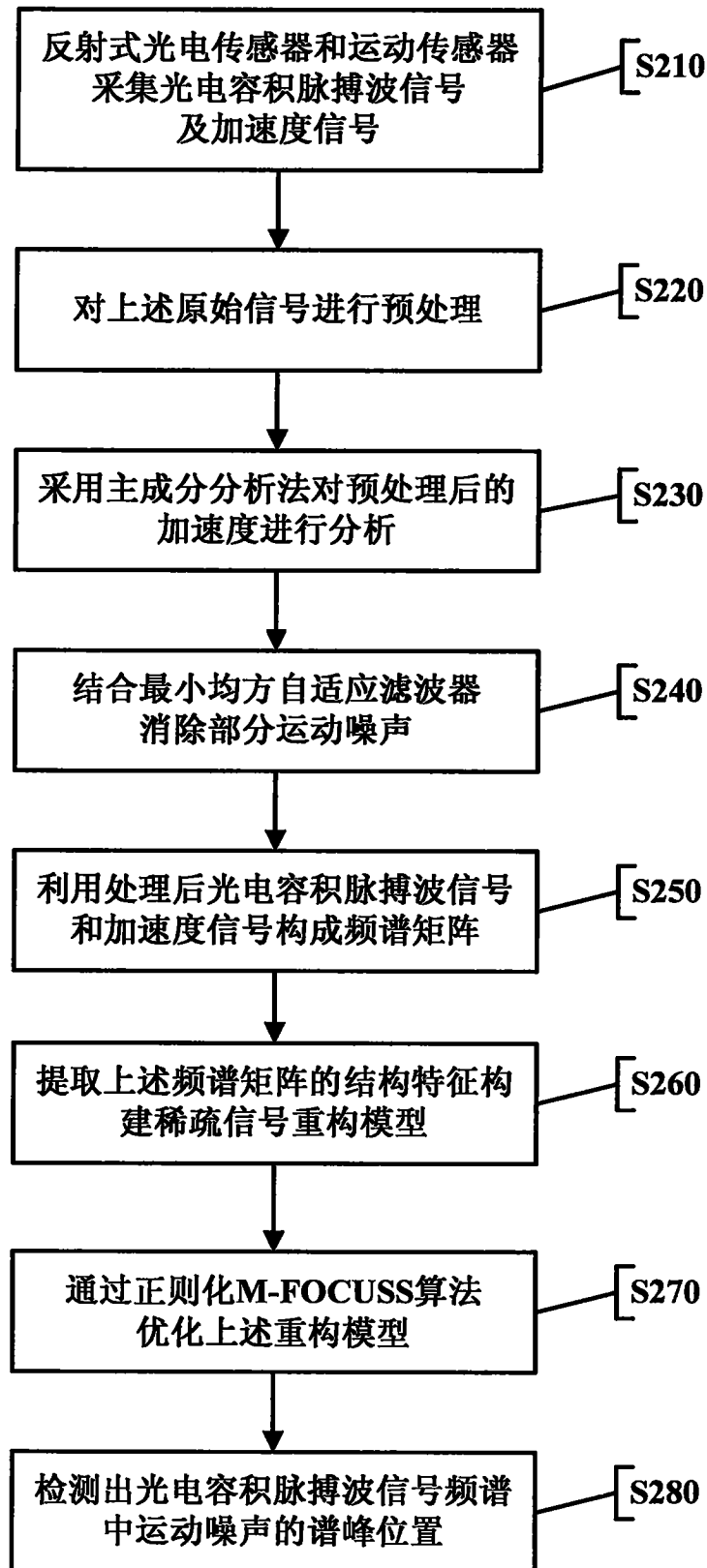
$$Q_{k+1} = A_{k+1}^+ B, \quad \text{where } A_{k+1} = A W_{k+1} \quad (3)$$

$$X_{k+1} = W_{k+1} Q_{k+1}$$

[0040] 步骤S280,经上述步骤处理后,可获得光电容积脉搏波信号频谱中运动噪声的谱峰位置,从而完成检测运动噪声的工作。

[0041] 本实施例中,同时间段内的两个光电容积脉搏波信号和加速度信号是利用两个反射式光电传感器和一个运动传感器从用户手腕处采集的;利用主成分分析法对加速度信号进行处理,获得运动噪声相关的参考信号,结合最小均方自适应滤波器消除两个光电容积脉搏波信号中的部分运动噪声;然后利用去除部分运动噪声的两个光电容积脉搏波信号和加速度信号构成频谱矩阵,提取上述频谱矩阵的行稀疏的结构特征建立稀疏信号重构模型,通过正则化M-FOCUSS算法求解上述重构模型中的稀疏频谱矩阵;最后获得两个光电容积脉搏波信号频谱中运动噪声的谱峰位置。此方法大大地提高了运动噪声的检测性能,降低了计算复杂度,为实现心率的高精度测量奠定理论基础。

[0042] 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。



专利名称(译)	一种基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法		
公开(公告)号	CN106137167A	公开(公告)日	2016-11-23
申请号	CN201610604505.8	申请日	2016-07-21
[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		
发明人	熊继平 蔡丽桑 王妃		
IPC分类号	A61B5/024 A61B5/02 A61B5/11 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/02416 A61B5/02 A61B5/02438 A61B5/1118 A61B5/681 A61B5/6824 A61B5/7207 A61B5/7235 A61B5/725		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于光电容积脉搏波信号的运动噪声检测方法，为心率测量的后续工作奠定基础。该方法中，由反射式光电传感器和运动传感器采集同时间段内的多个光电容积脉搏波信号及加速度信号；采用主成分分析法对加速度信号进行处理，产生运动噪声相关的参考信号，并结合最小均方自适应滤波器消除部分运动噪声；然后将处理后多个光电容积脉搏波信号和加速度信号构成频谱矩阵，提取频谱矩阵行稀疏的结构特征构建稀疏信号重构模型；最后通过正则化算法优化稀疏信号重构模型，获得多个光电容积脉搏波信号频谱中运动噪声的谱峰位置。本发明能精确地检测出光电容积脉搏波信号中的运动噪声，实现心率的高精度测量。

