



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108992062 A

(43)申请公布日 2018.12.14

(21)申请号 201810682068.0

(22)申请日 2018.06.27

(71)申请人 广东工业大学

地址 510062 广东省广州市大学城外环西路100号

(72)发明人 杨志景 邝伟潮 凌永权 蔡念

(74)专利代理机构 广东广信君达律师事务所
44329

代理人 杜鹏飞 杨晓松

(51)Int.Cl.

A61B 5/0402(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

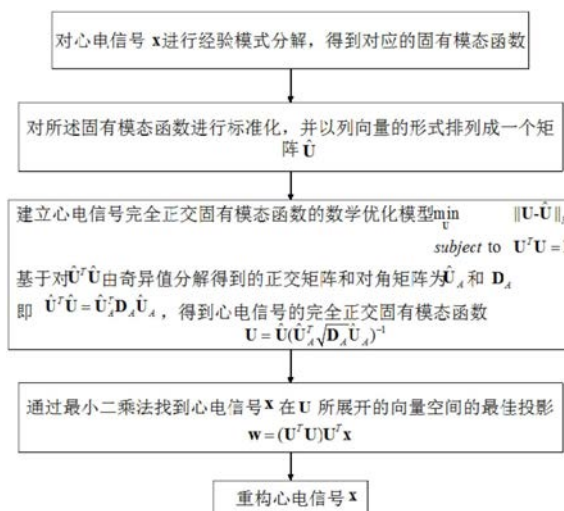
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种心电信号的正交分析与重构方法

(57)摘要

本发明公开了一种心电信号的正交分析与重构方法,包括下述步骤:对心电信号进行经验模式分解,得到对应的固有模态函数;对固有模态函数进行标准化操作,即将每一个固有模态函数除以其对应的向量二范数,并以列向量的形式排列成一个矩阵;通过奇异值分解的方法得到完全正交的固有模态函数;使用最小二乘法找到心电信号在完全正交固有模态函数上的最佳投影;通过最佳投影还原心电信号。本发明是基于经验模式分解来对心电信号进行正交分析与精确重构,从而继承了经验模式分解的自适应性;与传统的经验模式分解技术相比,本发明所得到的固有模态函数是完全正交的,因此克服了传统经验模式分解存在的能量泄露问题。



1. 一种心电信号的正交分析与重构方法,其特征在于,包括下述步骤:

S1,对心电信号进行经验模式分解,从而得到对应的固有模态函数,具体步骤如下:

S1.1,初始化残余信号为心电信号;

S1.2,初始化细节信号为残余信号;

S1.3,查找细节信号的极大值点和极小值点;

S1.4,分别对S1.3中的极大值点和极小值点进行三次样条插值从而得到上下包络线;

S1.5,求S1.4中得到的上下包络线的均值;

S1.6,用S1.3中的细节信号减去S1.5中的上下包络线均值后得到的信号作为新的细节信号,该新的细节信号用于判断以下情况:若该新的细节信号满足预设的固有模态函数的条件,则将该新的细节信号作为一个固有模态函数,并进行S1.7;否则将该新的细节信号作为S1.3中的细节信号并重复进行S1.3-S1.6;

S1.7,将S1.2中的残余信号减去S1.6中得到的固有模态函数作为新的残差信号,若该残差信号满足固有模态函数条件,则结束;否则将该新的残差信号作为S1.2中的残余信号重复进行S1.2-S1.6;

S2,对S1中得到的固有模态函数进行标准化操作,即将每一个固有模态函数除以其对应的向量二范数,并以列向量的形式排列成一个矩阵;

S3,建立心电信号完全正交固有模态函数的优化模型,通过奇异值分解的方法得到心电信号的完全正交固有模态函数,并进行正交误差分析,具体步骤如下:

S3.1,心电信号完全正交固有模态函数的优化模型采用下式表示:

$$\min_{\mathbf{U}} \quad \|\mathbf{U} - \hat{\mathbf{U}}\|_F$$

subject to $\mathbf{U}^T \mathbf{U} = \mathbf{I}$,

其中, $\mathbf{U}$ 为需要求解的心电信号完全正交固有模态函数, $\hat{\mathbf{U}}$ 为S2中的标准化固有模态函数排列成的矩阵, $\|\cdot\|_F$ 为矩阵的Frobenius范数, $\mathbf{U}^T \mathbf{U}$ 为矩阵 $\mathbf{U}$ 的转置乘以矩阵 $\mathbf{U}$, $\mathbf{I}$ 为单位矩阵;

S3.2,对 $\hat{\mathbf{U}}^T \hat{\mathbf{U}}$ 进行奇异值分解,得到其正交矩阵 $\hat{\mathbf{U}}_A$ 和对角矩阵 $\mathbf{D}_A$,则所求完全正交固有模态函数 $\mathbf{U}$ 为:

$$\mathbf{U} = \hat{\mathbf{U}} (\hat{\mathbf{U}}_A^T \sqrt{\mathbf{D}_A} \hat{\mathbf{U}}_A)^{-1};$$

S3.3,采用下述公式分析完全正交固有模态函数的正交误差 ε_1 :

$$\varepsilon_1 = \|\mathbf{U}^T \mathbf{U} - \mathbf{I}\|_F;$$

S4,通过最小二乘法找到心电信号在完全正交固有模态函数上的最佳投影,具体步骤如下:

心电信号在完全正交固有模态函数上的最佳投影 $\mathbf{w}$ 用下述公式表示:

$$\mathbf{w} = (\mathbf{U}^T \mathbf{U})^{-1} \mathbf{U}^T \mathbf{x},$$

其中 $\mathbf{x}$ 为原心电信号;

S5,重构心电信号,并进行重构误差的分析,具体步骤如下:

S5.1,根据S4中求得的最佳投影 $\mathbf{w}$,并通过下述公式求得重构信号 $\hat{\mathbf{x}}$:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{U}\mathbf{w};$$

S5.2, 采用下述公式分析完全正交固有模态函数的重构误差 ε_2 :

$$\varepsilon_2 = \|\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}\|_2。$$

一种心电信号的正交分析与重构方法

技术领域

[0001] 本发明涉及心电信号处理技术领域,具体涉及一种心电信号的正交分析与重构方法。

背景技术

[0002] 心电信号是将测量电极放置在人体表面的某一部位,从宏观上记录了心脏不断进行的有节奏的收缩和舒张运动的电信号变化曲线,心电信号在一定程度上客观反映了心脏各部位的生理状况,因此在临床医学中有重要意义;但是,目前已有的心电信号正交分析与重构的方法主要有以下缺点:(1)傅里叶变换:该方法通过相互正交的正弦与余弦函数对心电信号进行分解,得到心电信号中所包含的频率成分,经过傅里叶反变换,心电信号就能精确重构,但是该方法是在信号具有平稳特性的假设条件下进行的,而心电信号是一种非平稳的信号;(2)小波变换:该方法通过相互正交的小波基对心电信号进行分解,该方法具有良好的时频局部化特性,适用于非平稳信号,经过小波反变换,心电信号能精确重构,但是,该方法也存在着不足,例如如何选取合适的小波基,如何设置合适的参数等等,此外,由于小波基一旦选择,在心电信号的分析中就不能改变,所以小波变换也缺乏自适应性;(3)经验模式分解:该方法是一种新型自适应信号时频处理方法,依据数据自身的时间尺度特征来进行信号分解,非常适合对非线性、非平稳的心电信号进行分析处理,通过将所有固有模态函数相加,使心电信号能精确重构,但是该方法分解所得到的固有模态函数只是近似正交,而并非完全正交,因此会导致严重的能量泄露问题。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服现有技术的缺点与不足,提供一种心电信号的正交分析与重构方法,该方法通过奇异值分解来获取完全正交固有模态函数,防止能量泄露同时能够精确重构心电信号。

[0004] 本发明的目的通过下述技术方案实现:

[0005] 一种心电信号的正交分析与重构方法,包括下述步骤:

[0006] S1,对心电信号进行经验模式分解,从而得到对应的固有模态函数,具体步骤如下:

[0007] S1.1,初始化残余信号为心电信号;

[0008] S1.2,初始化细节信号为残余信号;

[0009] S1.3,查找细节信号的极大值点和极小值点;

[0010] S1.4,分别对S1.3中的极大值点和极小值点进行三次样条插值从而得到上下包络线;

[0011] S1.5,求S1.4中得到的上下包络线的均值;

[0012] S1.6,用S1.3中的细节信号减去S1.5中的上下包络线均值后得到的信号作为新的细节信号,该新的细节信号用于判断以下情况:若该新的细节信号满足预设的固有模态函

数的条件,则将该新的细节信号作为一个固有模态函数,并进行S1.7;否则将该新的细节信号作为S1.3中的细节信号并重复进行S1.3-S1.6;

[0013] S1.7,将S1.2中的残余信号减去S1.6中得到的固有模态函数作为新的残差信号,若该残差信号满足固有模态函数条件,则结束;否则将该新的残差信号作为S1.2中的残余信号重复进行S1.2-S1.6;

[0014] S2,对S1中得到的固有模态函数进行标准化操作,即将每一个固有模态函数除以其对应的向量二范数,并以列向量的形式排列成一个矩阵;

[0015] S3,建立心电信号完全正交固有模态函数的优化模型,通过奇异值分解的方法得到心电信号的完全正交固有模态函数,并进行正交误差分析,具体步骤如下:

[0016] S3.1,心电信号完全正交固有模态函数的优化模型采用下式表示:

$$[0017] \min_U \|\mathbf{U} - \hat{\mathbf{U}}\|_F$$

[0018] subject to $\mathbf{U}^T \mathbf{U} = \mathbf{I}$,

[0019] 其中, $\mathbf{U}$ 为需要求解的心电信号完全正交固有模态函数, $\hat{\mathbf{U}}$ 为S2中的标准化固有模态函数排列成的矩阵, $\|\cdot\|_F$ 为矩阵的Frobenius范数, $\mathbf{U}^T \mathbf{U}$ 为矩阵 $\mathbf{U}$ 的转置乘以矩阵 $\mathbf{U}$, $\mathbf{I}$ 为单位矩阵;

[0020] S3.2,对 $\hat{\mathbf{U}}^T \hat{\mathbf{U}}$ 进行奇异值分解,得到其正交矩阵 $\hat{\mathbf{U}}_A$ 和对角矩阵 $\mathbf{D}_A$,则所求完全正交固有模态函数 $\mathbf{U}$ 为:

$$[0021] \mathbf{U} = \hat{\mathbf{U}} (\hat{\mathbf{U}}_A^T \sqrt{\mathbf{D}_A} \hat{\mathbf{U}}_A)^{-1};$$

[0022] S3.3,采用下述公式分析完全正交固有模态函数的正交误差 ε_1 :

$$[0023] \varepsilon_1 = \|\mathbf{U}^T \mathbf{U} - \mathbf{I}\|_F;$$

[0024] S4,通过最小二乘法找到心电信号在完全正交固有模态函数上的最佳投影,具体步骤如下:

[0025] 心电信号在完全正交固有模态函数上的最佳投影 $\mathbf{w}$ 用下述公式表示:

$$[0026] \mathbf{w} = (\mathbf{U}^T \mathbf{U})^{-1} \mathbf{U}^T \mathbf{x},$$

[0027] 其中 $\mathbf{x}$ 为原心电信号;

[0028] S5,重构心电信号,并进行重构误差的分析,具体步骤如下:

[0029] S5.1,根据S4中求得的最佳投影 $\mathbf{w}$,并通过下述公式求得重构信号 $\hat{\mathbf{x}}$:

$$[0030] \hat{\mathbf{x}} = \mathbf{U} \mathbf{w};$$

[0031] S5.2,采用下述公式分析完全正交固有模态函数的重构误差 ε_2 :

$$[0032] \varepsilon_2 = \|\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}\|_2.$$

[0033] 本发明与现有技术相比具有以下的有益效果:

[0034] 与现有的傅里叶和小波技术相比,本发明是基于经验模式分解来对心电信号进行正交分析与精确重构,从而继承了经验模式分解的自适应性,适合于分析非平稳信号;与传统的经验模式分解技术相比,本发明所得到的固有模态函数和三角函数基和小波基一样,是完全正交的,因此可以防止能量泄露,并且本发明同样可以精确重构心电信号;实验数据

表明,本发明的正交误差达到数量级 10^{-15} ,重构误差达到数量级 10^{-14} ,因此误差可视为0,所以由本发明得到的固有模态函数完全正交并且能精确重构心电信号。通过分析心电信号的完全正交的固有模态函数,防止固有模态函数的能量泄露问题,更彻底分离信号内在模式,凸显信号特征。让本发明可以得到心电信号的信息例如心电信号的QRS波群的位置,心电信号T波的信息,心电信号的基线漂移状况等。

附图说明

[0035] 图1为本发明的流程图;

[0036] 图2为本发明的心电信号和所得的前三个完全正交的固有模态函数的波形图,其中第二个正交固有模态函数有效地反映了心电信号的QRS波群的位置;

[0037] 图3为本发明的心电信号和所得的后三个完全正交的固有模态函数的波形图,其中第四个正交固有模态函数包含了心电信号T波的信息,第六个正交固有模态函数反映了心电信号的基线漂移状况。

具体实施方式

[0038] 下面结合实施例及附图对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0039] 如图1~3所示,一种心电信号的正交分析与重构方法,包括下述步骤:

[0040] S1,对心电信号进行经验模式分解,从而得到对应的固有模态函数,具体步骤如下:

[0041] S1.1,初始化残余信号为心电信号;

[0042] S1.2,初始化细节信号为残余信号;

[0043] S1.3,查找细节信号的极大值点和极小值点;

[0044] S1.4,分别对S1.3中的极大值点和极小值点进行三次样条插值从而得到上下包络线;

[0045] S1.5,求S1.4中得到的上下包络线的均值;

[0046] S1.6,用S1.3中的细节信号减去S1.5中的上下包络线均值后得到的信号作为新的细节信号,该新的细节信号用于判断以下情况:若该新的细节信号满足预设的固有模态函数的条件,则将该新的细节信号作为一个固有模态函数,并进行S1.7;否则将该新的细节信号作为S1.3中的细节信号并重复进行S1.3-S1.6;

[0047] S1.7,将S1.2中的残余信号减去S1.6中得到的固有模态函数作为新的残差信号,若该残差信号满足固有模态函数条件,则结束;否则将该新的残差信号作为S1.2中的残余信号重复进行S1.2-S1.6;

[0048] S2,对S1中得到的固有模态函数进行标准化操作,即将每一个固有模态函数除以其对应的向量二范数,并以列向量的形式排列成一个矩阵;

[0049] S3,建立心电信号完全正交固有模态函数的优化模型,通过奇异值分解的方法得到心电信号的完全正交固有模态函数,并进行正交误差分析,具体步骤如下:

[0050] S3.1,心电信号完全正交固有模态函数的优化模型采用下式表示:

[0051]
$$\min_U \|\mathbf{U} - \hat{\mathbf{U}}\|_F$$

[0052] subject to $\mathbf{U}^T \mathbf{U} = \mathbf{I}$,

[0053] 其中, $\mathbf{U}$ 为需要求解的心电信号完全正交固有模态函数, $\hat{\mathbf{U}}$ 为 S2 中的标准化固有模态函数排列成的矩阵, $\|\cdot\|_F$ 为矩阵的 Frobenius 范数, $\mathbf{U}^T \mathbf{U}$ 为矩阵 $\mathbf{U}$ 的转置乘以矩阵 $\mathbf{U}$, $\mathbf{I}$ 为单位矩阵;

[0054] S3.2, 对 $\hat{\mathbf{U}}^T \hat{\mathbf{U}}$ ($\hat{\mathbf{U}}^T \hat{\mathbf{U}}$ 为矩阵 $\hat{\mathbf{U}}$ 的转置乘以矩阵 $\hat{\mathbf{U}}$) 进行奇异值分解, 得到其正交矩阵 $\hat{\mathbf{U}}_A$ 和对角矩阵 $\mathbf{D}_A$, 则所求完全正交固有模态函数 $\mathbf{U}$ 为:

[0055]
$$\mathbf{U} = \hat{\mathbf{U}} (\hat{\mathbf{U}}_A^T \sqrt{\mathbf{D}_A} \hat{\mathbf{U}}_A)^{-1};$$

[0056] S3.3, 采用下述公式分析完全正交固有模态函数的正交误差 ε_1 :

[0057]
$$\varepsilon_1 = \|\mathbf{U}^T \mathbf{U} - \mathbf{I}\|_F;$$

[0058] S4, 通过最小二乘法找到心电信号在完全正交固有模态函数上的最佳投影, 具体步骤如下:

[0059] 心电信号在完全正交固有模态函数上的最佳投影 $\mathbf{w}$ 用下述公式表示:

[0060]
$$\mathbf{w} = (\mathbf{U}^T \mathbf{U})^{-1} \mathbf{U}^T \mathbf{x},$$

[0061] 其中 $\mathbf{x}$ 为原心电信号;

[0062] S5, 重构心电信号, 并进行重构误差的分析, 具体步骤如下:

[0063] S5.1, 根据 S4 中求得的最佳投影 $\mathbf{w}$, 并通过下述公式求得重构信号 $\hat{\mathbf{x}}$:

[0064]
$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{U} \mathbf{w};$$

[0065] S5.2, 采用下述公式分析完全正交固有模态函数的重构误差 ε_2 :

[0066]
$$\varepsilon_2 = \|\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}\|_2.$$

[0067] 与现有的傅里叶和小波技术相比, 本发明是基于经验模式分解来对心电信号进行正交分析与精确重构, 从而继承了经验模式分解的自适应性, 适合于分析非平稳信号; 与传统的经验模式分解技术相比, 本发明所得到的固有模态函数和三角函数基和小波基一样, 是完全正交的, 因此可以防止能量泄露, 并且本发明同样可以精确重构心电信号; 实验数据表明, 本发明的正交误差达到数量级 10^{-15} , 重构误差达到数量级 10^{-14} , 因此误差可视为 0, 所以由本发明得到的固有模态函数完全正交并且能精确重构心电信号。通过分析心电信号的完全正交的固有模态函数, 防止固有模态函数的能量泄露问题, 更彻底分离信号内在模式, 凸显信号特征。让本发明可以得到心电信号的信息例如心电信号的 QRS 波群的位置, 心电信号 T 波的信息, 心电信号的基线漂移状况等。

[0068] 上述为本发明较佳的实施方式, 但本发明的实施方式并不受上述内容的限制, 其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化, 均应为等效的置换方式, 都包含在本发明的保护范围之内。

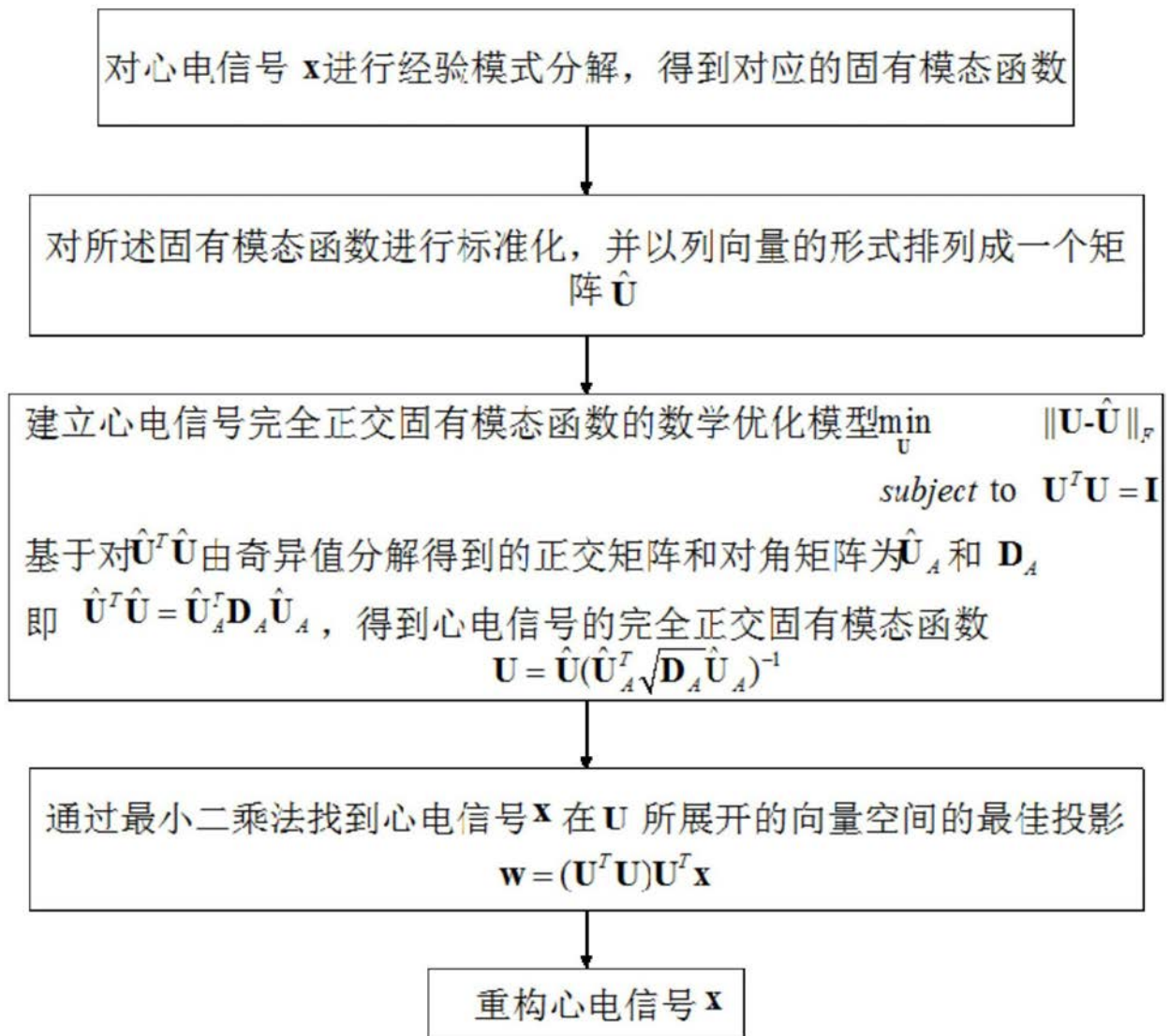


图1

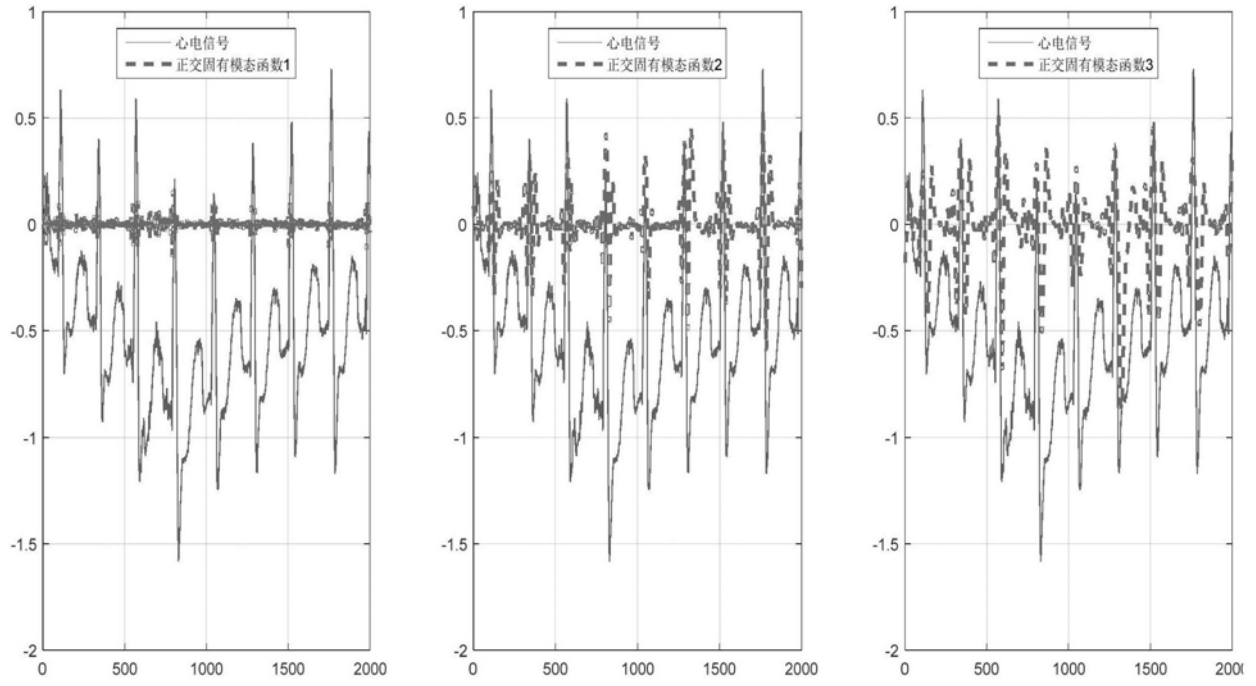


图2

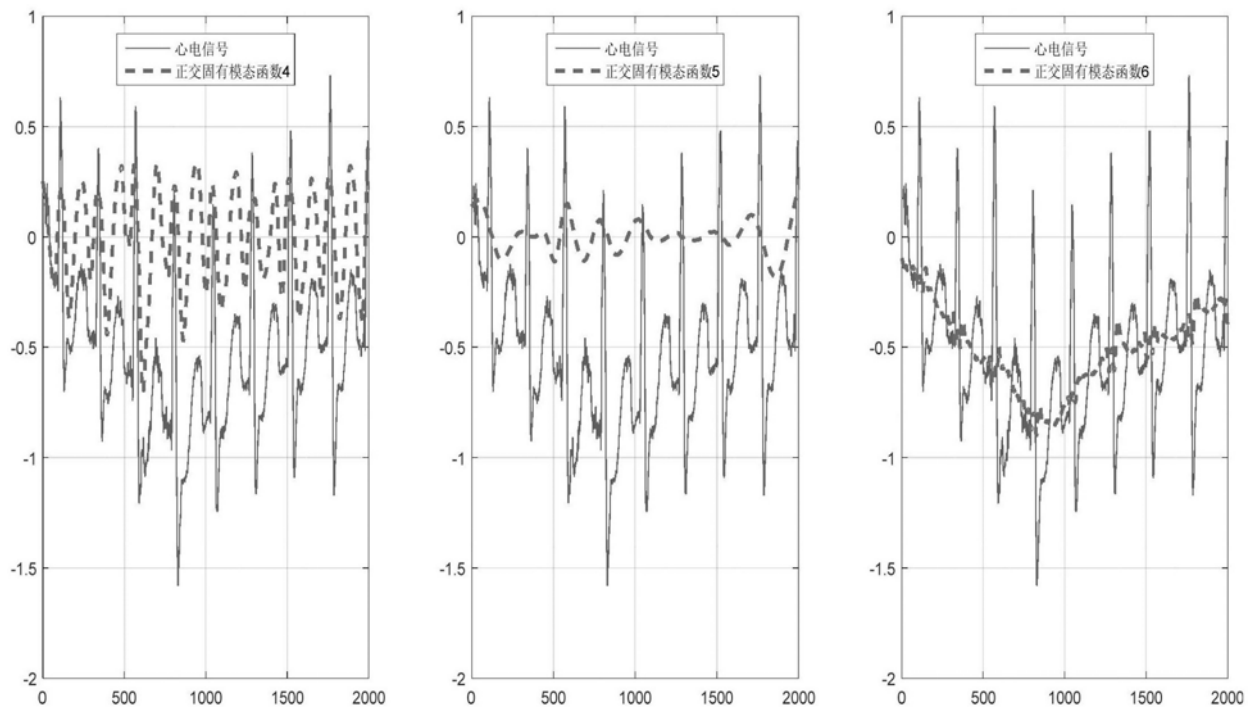


图3

专利名称(译)	一种心电信号的正交分析与重构方法		
公开(公告)号	CN108992062A	公开(公告)日	2018-12-14
申请号	CN201810682068.0	申请日	2018-06-27
[标]申请(专利权)人(译)	广东工业大学		
申请(专利权)人(译)	广东工业大学		
当前申请(专利权)人(译)	广东工业大学		
[标]发明人	杨志景 邝伟潮 凌永权 蔡念		
发明人	杨志景 邝伟潮 凌永权 蔡念		
IPC分类号	A61B5/0402 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/0402 A61B5/04012 A61B5/7235		
代理人(译)	杜鹏飞 杨晓松		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种心电信号的正交分析与重构方法，包括下述步骤：对心电信号进行经验模式分解，得到对应的固有模态函数；对固有模态函数进行标准化操作，即将每一个固有模态函数除以其对应的向量二范数，并以列向量的形式排列成一个矩阵；通过奇异值分解的方法得到完全正交的固有模态函数；使用最小二乘法找到心电信号在完全正交固有模态函数上的最佳投影；通过最佳投影还原心电信号。本发明是基于经验模式分解来对心电信号进行正交分析与精确重构，从而继承了经验模式分解的自适应性；与传统的经验模式分解技术相比，本发明所得到的固有模态函数是完全正交的，因此克服了传统经验模式分解存在的能量泄露问题。

