



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110169768 A

(43)申请公布日 2019.08.27

(21)申请号 201910611774.0

(22)申请日 2019.07.08

(71)申请人 河北大学

地址 071002 河北省保定市五四东路180号
河北大学

(72)发明人 刘秀玲 李鑫 熊鹏 刘明
杜海曼 杨建利 张杰烁

(74)专利代理机构 石家庄国域专利商标事务所
有限公司 13112

代理人 苏艳肃

(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4页

(54)发明名称

一种心电信号的自动降噪方法

(57)摘要

本发明涉及一种心电信号的自动降噪方法，其方法包括以下步骤：a、获取人体的心电信号，确定网络输入样本的长度，人为破坏样本数据，得到破坏后的心电信号样本并构建训练集和测试集；b、利用训练集中无标签的含噪心电信号样本对降噪自动编码器进行预训练得到初始化的网络参数；c、预训练完成后，使用训练集中有标签的含噪心电信号样本对网络参数整体调优，并且使其满足重构误差要求；d、将测试集输入训练好的无损约束降噪自动编码器的堆叠网络结构中，得到干净的心电信号。经本发明方法的处理，去噪后的干净心电信号不但有效地滤除了噪声，且恢复了心电信号低频特征波，保留了心电信号的有效信息。

1. 一种心电信号的自动降噪方法,其特征是,包括以下步骤:

a、获取人体的心电信号,确定网络输入样本的长度,人为破坏样本数据,得到破坏后的心电信号样本并构建训练集和测试集;

b、利用训练集中无标签的含噪心电信号样本对降噪自动编码器进行预训练得到初始化的网络参数;

c、预训练完成后,使用训练集中有标签的含噪心电信号样本对网络参数整体调优,并且使其满足重构误差要求;

d、将测试集输入训练好的无损约束降噪自动编码器的堆叠网络结构中,得到干净的心电信号。

2. 根据权利要求1所述的心电信号的自动降噪方法,其特征是,步骤a的具体过程为:

a-1、采集人体的心电信号,确定网络输入样本的长度为81;

a-2、人为破坏原始信号数据,得到破坏后的心电信号样本并构建训练集和测试集;

a-3、以破坏后的心电信号样本作为网络的最终输入信号,采用sigmoid函数归一化构建81-60-40-60的网络。

3. 根据权利要求2所述的心电信号的自动降噪算法,其特征是,步骤b的具体过程为:

b-1、将输入层数据映射到隐藏层得到信号的深层特征 $h = f(W\tilde{X}_n + b)$, 经过网络训练重构出输出信号z; 其中, X_n 为原始含噪信号, \tilde{X}_n 为破坏后的心电信号, W 为编码部分的权值矩阵, b 为偏置向量, W 和 b 共同构成编码部分的网络参数 $\{W, b\}$;

b-2、在降噪自动编码器DAE的误差函数基础上增加含有 X_c 的约束项, 因此重构误差函数为 $J_{LDAE} = \gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2 + \frac{1}{2m} \|h_{w,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2 + \frac{\lambda}{2} \sum W^2$, 其中, X_c 表示去噪后的干净信号, γ 为约束项参数, m 为均方根误差的个数, λ 为权重值; 式中包含了两个约束项, 一个无损约束项为 $\gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2$, 另一个约束项为 $\frac{1}{2m} \|h_{w,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2$ 。

4. 根据权利要求3所述的心电信号的自动降噪算法,其特征是,步骤c的具体过程为:

c-1、初始化 X_c 为 X_n , 此时LDAE变为简单的DAE; 随即初始化 $\{W, b\}$, 采用梯度下降算法优化 W 和 b , $W(t+1) = W(t) + \Delta W(t)$, $b(t+1) = b(t) + \Delta b(t)$;

c-2、将优化完成的 $\{W, b\}$ 看做常数来优化 X_c , 此时的重构误差函数表达式为

$$J_{LDAE} = \gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2 + \frac{1}{2m} \|h_{w,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2;$$

c-3、对 X_c 求偏导来最小化重构误差函数 J_{LDAE} , 即 J_{LDAE} 在 X_c 的偏导数为0,

$$\frac{d(\gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2 + \frac{1}{2m} \|h_{w,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2)}{dX_c} = 0, \text{ 经变换可得 } X_c = \frac{\gamma X_n + h_{w,b}(\tilde{X}_n)}{1 + \gamma};$$

c-4、将 X_c 视作常量再对 W 和 b 进行优化, 得到更新后的 X_c , 再用梯度下降算法对 W 和 b 进行优化, 如此重复直到重构误差函数收敛或者达到最大迭代次数。

5. 根据权利要求4所述的心电信号的自动降噪算法,其特征是,步骤d的具体过程为: 输出端重构出的是去噪后的信号 X_c , 通过映射函数计算重构向量 $z = g(h) = s(W'h + b')$, 解码

部分的网络参数为 $\{W', b'\}$, 其中权值矩阵 $W' = W^T$; 然后将测试集输入无损约束自动降噪编码器网络输出干净信号。

一种心电信号的自动降噪方法

技术领域

[0001] 本发明涉及心电信号的自动检测与分析技术,具体地说是一种心电信号的自动降噪方法。

背景技术

[0002] 近年来,我国的心脑血管疾病的发病率和死亡率位居各类疾病的首位,已经成为人类健康的头号杀手,全球十大致死原因中缺血性心脏病人数位居第一。针对于心电信号的检测,心电图无疑是目前心血管疾病诊断最为有效的手段。然而在医院短短几分钟可能会漏掉连续信息从而造成误诊,所以长期的动态心电图更能够全面反映患者的心电信号变化。

[0003] 不同于医院的静态采集数据,长期的动态心电图往往是在患者进行各种生活日程中进行采集的,在此之中就产生了很大的干扰信号,例如常见的电极接触噪声,肌肉颤动引起的肌电干扰,人体呼吸移动引起的基线漂移,这些在很大的程度上影响了心电信号的正常形态,对医生的诊断带来很大的误差,因此恢复心电信号的固有形态对疾病的诊断有着十分重要的意义。

发明内容

[0004] 本发明的目的就是提供一种心电信号的自动降噪方法,以解决现有方法出现重叠噪声难以去除、训练样本中绝对干净的信号难以获取和心电信号的有用信息的丢失问题。

[0005] 本发明是这样实现的:一种心电信号的自动降噪方法,包括以下步骤:

[0006] a、获取人体的心电信号,确定网络输入样本的长度,人为破坏样本数据,得到破坏后的心电信号样本并构建训练集和测试集;训练集由有标签的心电信号和无标签的心电信号组成;

[0007] b、利用训练集中无标签的含噪心电信号样本对降噪自动编码器进行预训练得到初始化的网络参数;

[0008] c、预训练完成后,使用训练集中有标签的含噪心电信号样本对网络参数整体调优,并且使其满足重构误差要求;

[0009] d、将测试集输入训练好的无损约束降噪自动编码器的堆叠网络结构中,得到干净的心电信号。

[0010] 步骤a的具体过程为:

[0011] a-1、采集人体的心电信号,选择采样点的邻域,对于采样点 S_i 来讲,网络输入样本的大小为采样点的邻域 $v = \{S | S_i - \delta < S < S_i + \delta\}$,经过多次实验测试选择 $\delta = 40$,即确定网络输入样本的长度为81;

[0012] a-2、人为破坏原始信号数据,得到破坏后的心电信号样本并构建训练集和测试集;

[0013] a-3、 X_n 为原始含噪信号,进行随机映射,按照一定的摧毁率,随机选择节点进行置

零得到被破坏的心电信号 \tilde{X}_n ，之后将破坏的心电信号 \tilde{X}_n 作为网络的最终输入信号，采用sigmoid函数归一化构建81-60-40-60的网络。

[0014] 步骤b的具体过程为：

[0015] b-1、将输入层数据映射到隐藏层得到信号的深层特征 $h = f(\tilde{X}_n) = s(W\tilde{X}_n + b)$ ，经过网络训练重构出输出信号 z ；其中， X_n 为原始含噪信号， \tilde{X}_n 为破坏后的心电信号， W 为编码部分的权值矩阵， b 为偏置向量， W 和 b 共同构成编码部分的网络参数 $\{W, b\}$ ；

[0016] b-2、在降噪自动编码器DAE的误差函数基础上增加含有 X_c 的约束项，因此重构误差函数为 $J_{LDAE} = \gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2 + \frac{1}{2m} \|h_{W,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2 + \frac{\lambda}{2} \sum W^2$ ，其中， X_c 表示去噪后的干净信号，式中包含了两个约束项，一个无损约束项为 $\gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2$ ，另一个约束项为

$$\frac{1}{2m} \|h_{W,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2。$$

[0017] 步骤c的具体过程为：

[0018] c-1、初始化 X_c 为 X_n ，此时LDAE变为简单的DAE；随即初始化 $\{W, b\}$ ，采用梯度下降算法优化 W 和 b ， $W(t+1) = W(t) + \Delta W(t)$ ， $b(t+1) = b(t) + \Delta b(t)$ ；

[0019] c-2、将优化完成的 $\{W, b\}$ 看做常数来优化 X_c ，此时的重构误差函数表达式为

$$J_{LDAE} = \gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2 + \frac{1}{2m} \|h_{W,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2；$$

[0020] c-3、对 X_c 求偏导来最小化重构误差函数 J_{LDAE} ，即 J_{LDAE} 在 X_c 的偏导数为0，

$$\frac{d(\gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2 + \frac{1}{2m} \|h_{W,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2)}{dX_c} = 0，经变换可得 $X_c = \frac{\gamma X_n + h_{W,b}(\tilde{X}_n)}{1 + \gamma}$ ；$$

[0021] c-4、将 X_c 视作常量再对 W 和 b 进行优化，得到更新后的 X_c ，再用梯度下降算法对 W 和 b 进行优化，如此重复直到重构误差函数收敛或者达到最大迭代次数。

[0022] 步骤d的具体过程为：输出端重构出的是去噪后的信号 X_c ，通过映射函数计算重构向量 $z = g(h) = s(W'h + b')$ ，解码部分的网络参数为 $\{W', b'\}$ ，其中权值矩阵 $W' = W^T$ ；然后将测试集输入无损约束自动降噪编码器网络输出干净信号。

[0023] 经本发明方法的处理，去噪后的干净心电信号不但有效地滤除了噪声，且恢复了心电信号低频特征波，保留了心电信号的有效信息。

附图说明

[0024] 图1是本发明方法实施过程流程图。

[0025] 图2是本发明无损约束自动降噪编码器结构示意图。

[0026] 图3是人体信号波形结构示意图。

[0027] 图4是滤波前含噪心电信号图。

[0028] 图5是滤波后干净心电信号图。

具体实施方式

[0029] 以下结合附图对本发明作进一步详细描述,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容实现本发明。

[0030] 如图1所示,本发明的实施过程如下:

[0031] A) 建立无损约束自动编码器

[0032] ①输入信号 X_n 为原始含噪信号,经过随机映射后,按照一定的摧毁率,随机选择节点进行置零得到被人为破坏后的信号 \tilde{X}_n ,破坏后的信号作为网络的最终输入信号。输入层到隐含层采用Sigmoid函数,则隐含层的输出特征向量为 $h = f(\tilde{X}_n) = s(W\tilde{X}_n + b)$,其中 W 为编码部分的权值矩阵, b 为偏置向量,两者共同构成编码部分的网络参数 $\{W, b\}$ 。

[0033] ②解码部分原理与降噪自动编码器一致,但在输出端重构出的不是原始信号 X_n ,而是去噪后的信号 X_c 。通过映射函数计算重构向量 $z = g(h) = s(W'h + b')$ 。解码部分的网络参数为 $\{W', b'\}$,其中权值矩阵 $W' = W^T$ 。

[0034] B) 以250HZ的采集频率采集人体心电的原始信号,其波形结构如图3所示,然后用MATLAB软件进行数据的读取如图4所示,构建训练集;

[0035] 网络输入选择合适长度的心电向量数据,对于采样点 S_i 来讲,网络输入样本的大小为采样点的邻域 $v = \{S | S_i - \delta < S < S_i + \delta\}$ 。经过多次实验测试选择 $\delta = 40$,此时的样本既可以包含信号的大部分信息,又不同于DAE需要事先判别R波位置再进行心拍数据的截取,本文中LDAE输入的为长度为81的心电数据,每隔3个采样点采取下一段信号,不依赖于心拍数据的获得,更加符合实际应用。样本数据经过归一化输入本文构建的81-60-40-60的网络,采用 $\gamma = 0.6$ 的约束项参数进行去噪,通过LDAE构建的降噪网络进行心电信号的去噪。

[0036] C) 优化无损约束自动降噪编码器网络参数

[0037] 由无损约束降噪编码器的基本工作原理可知,输入的 X_n 首先被摧毁成为 $X \sim_n$,再映射到隐含层得到输入的特征向量 h ,经过重构得到输出向量 z 。无损约束降噪自动编码器与降噪自动编码器最大的区别在于误差函数的构建以及网络参数的求取方法。在降噪自动编码器误差函数的基础上增加了含有 X_c 的约束项,如

$$J_{LDAE} = \gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2 + \frac{1}{2m} \|h_{w,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2 + \frac{\lambda}{2} \sum W^2。$$

[0038] 式中,第一个无损约束项为 $\gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2$,其是为了限制 X_n 和 X_c 以确保 X_c 不丢失原始数据 X_n 中所含信息。同时第二个约束项 $\frac{1}{2m} \|h_{w,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2$ 限制了输出端重构信号和 X_c 以保证信噪比。为了提高 X_c 的信噪比,第一个约束项保证了 X_c 无损,而第二项约束项确保了信号的去噪效果。

[0039] 由于在重构误差函数中引入了未知量 X_c ,梯度下降算法不适合用来对 X_c 进行优化。需要优化的参数由降噪自动编码器中的两项 $\{W, b\}$ 变为三项 $\{X_c, W, b\}$ 。具体的参数优化过程如下:

[0040] 初始化 X_c 为 X_n ,此时LDAE变为简单的DAE;随即初始化 $\{W, b\}$,采用梯度下降算法优化 W 和 b ,其迭代表达式 $W(t+1) = W(t) + \Delta W(t)$, $b(t+1) = b(t) + \Delta b(t)$ 。

[0041] 将优化完成的 $\{W, b\}$ 看做常数来优化 X_c ,此时的重构误差函数表达式为

$$J_{LDAE} = \gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2 + \frac{1}{2m} \|h_{w,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2。$$

[0042] 对 X_c 求偏导来最小化重构误差函数 J_{LDAE} ，即 J_{LDAE} 在 X_c 的偏导数为 0，

$$\frac{d(\gamma \frac{1}{2m} \|X_n - X_c\|^2 + \frac{1}{2m} \|h_{w,b}(\tilde{X}_n) - X_c\|^2)}{dX_c} = 0，$$

经过简化后得到 X_c 的表达式如式

$$X_c = \frac{\gamma X_n + h_{w,b}(\tilde{X}_n)}{1 + \gamma}。$$

[0043] 将 X_c 视作常量再对 W 和 b 进行优化。

[0044] 得到更新后的 X_c ，再用梯度下降算法对 W 和 b 进行优化，如此重复直到重构误差函数收敛或者达到最大迭代次数。

[0045] D) 验证

[0046] 本文采用信噪比 (Signal noise ratio, SNR) 和均方根误差 (Root mean square error, RMSE) 来评价所提出算法的降噪性能。定义 $X_n(n)$ 为网络输入的心电信号， $X_m(n)$ 表示降噪后的心电信号，则降噪后信号和残留噪声的 SNR 表达式

$$SNR = 10 * \log \frac{\sum_{n=0}^{N-1} [X_n(n)]^2}{\sum_{n=0}^{N-1} [X_m(n) - X_n(n)]^2}，$$

另一个，均方根误差 RMSE 的表达式

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [X_n(n) - X_m(n)]^2}。$$

[0047] 经以上处理后结果如图 5 所示，经本发明方法处理，两个验证参数都达到较好的效果，心电信号不断有效的滤除了噪声，而且还保留了心电信号的有效信息。

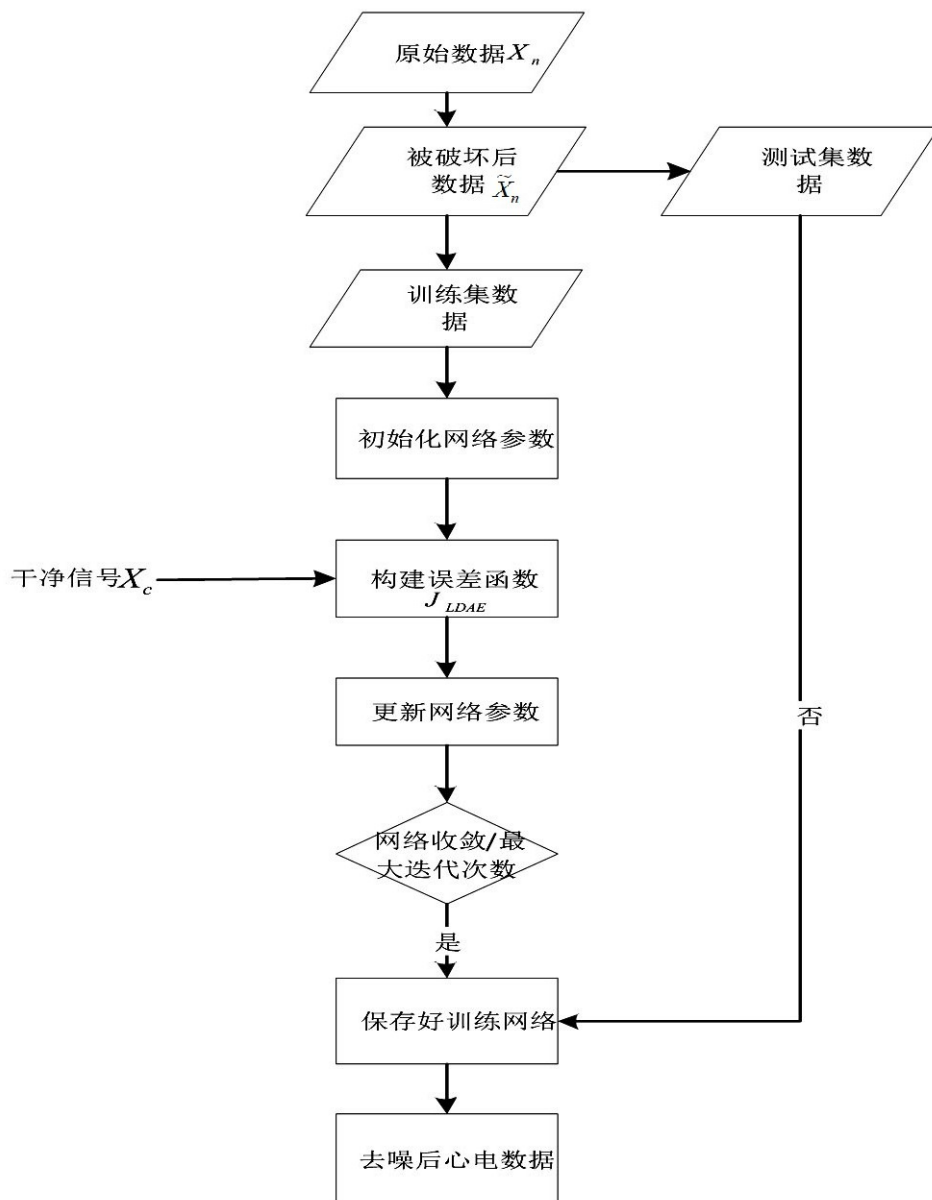


图1

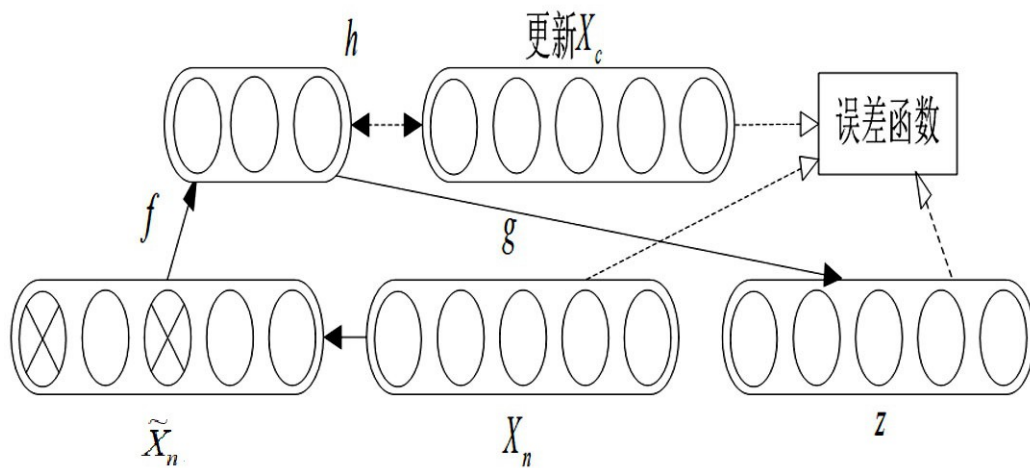


图2

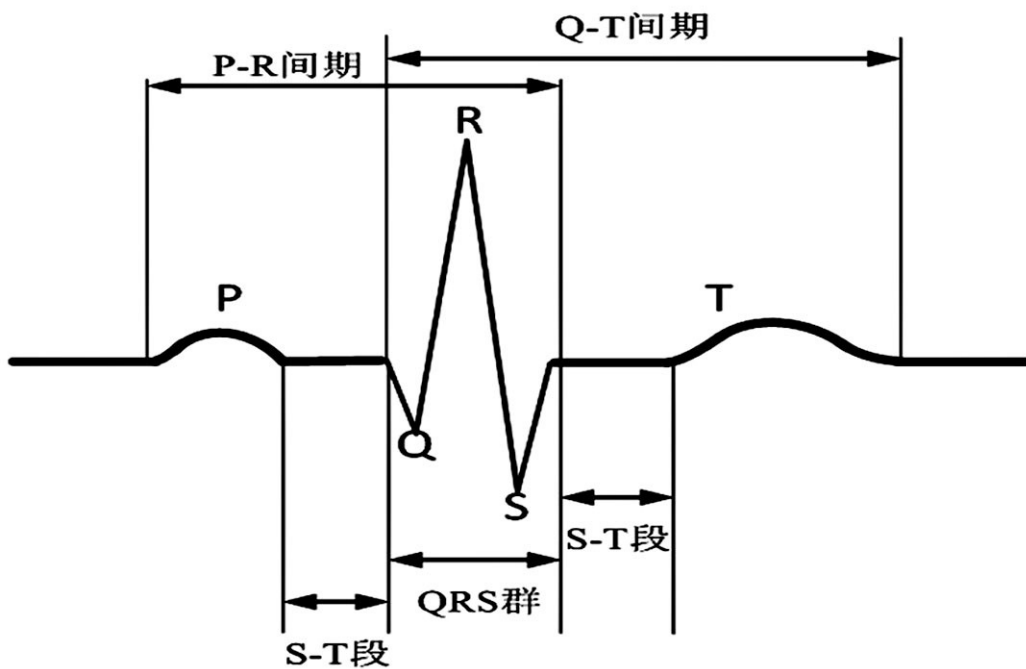


图3

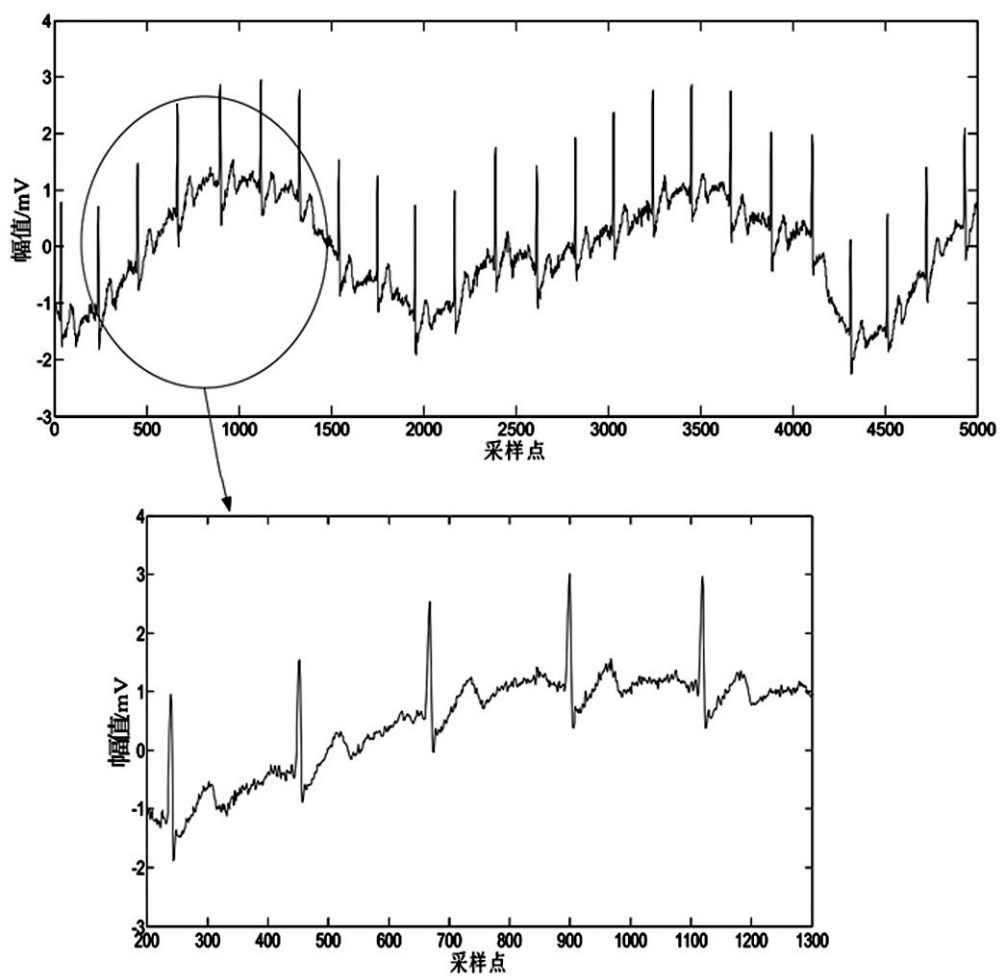


图4

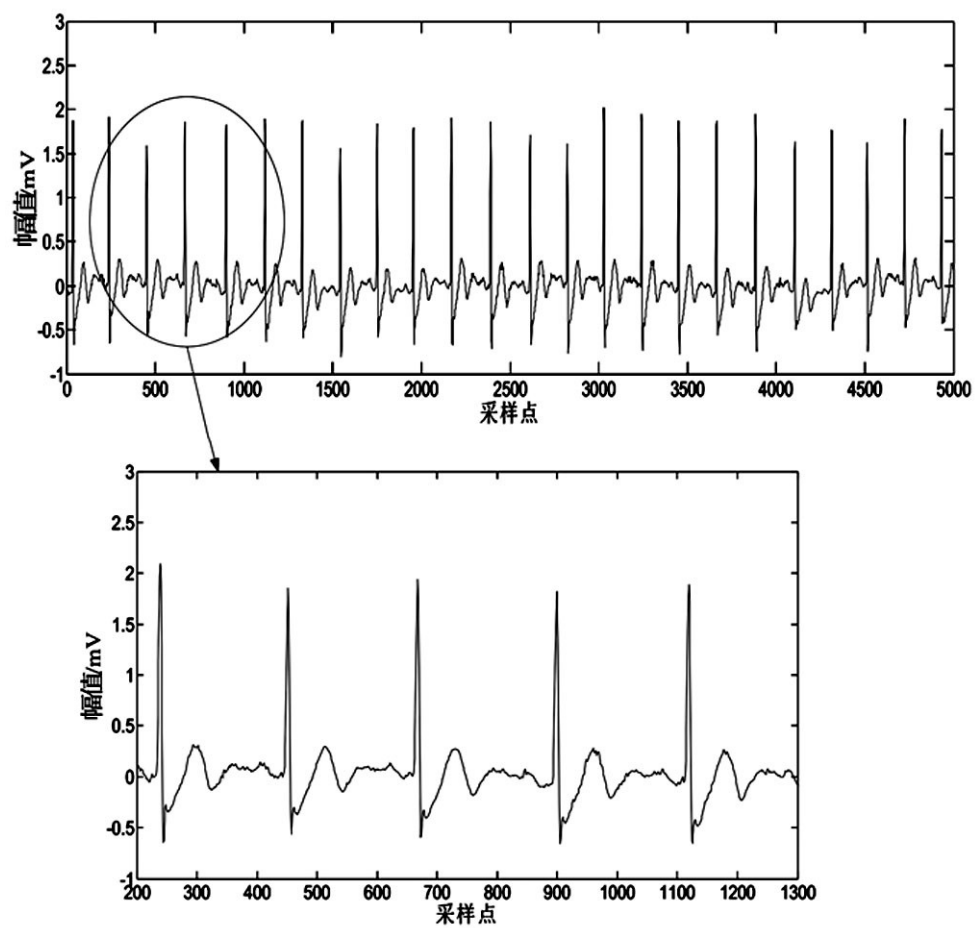


图5

| | | | |
|----------------|--|---------|------------|
| 专利名称(译) | 一种心电信号的自动降噪方法 | | |
| 公开(公告)号 | CN110169768A | 公开(公告)日 | 2019-08-27 |
| 申请号 | CN201910611774.0 | 申请日 | 2019-07-08 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 河北大学 | | |
| 申请(专利权)人(译) | 河北大学 | | |
| 当前申请(专利权)人(译) | 河北大学 | | |
| [标]发明人 | 刘秀玲 李鑫 熊鹏 刘明 杜海曼 杨建利 张杰烁 | | |
| 发明人 | 刘秀玲 李鑫 熊鹏 刘明 杜海曼 杨建利 张杰烁 | | |
| IPC分类号 | A61B5/0402 A61B5/00 | | |
| CPC分类号 | A61B5/0402 A61B5/7203 A61B5/7267 | | |
| 外部链接 | Espacenet SIPO | | |

摘要(译)

本发明涉及一种心电信号的自动降噪方法，其方法包括以下步骤：a、获取人体的心电信号，确定网络输入样本的长度，人为破坏样本数据，得到破坏后的心电信号样本并构建训练集和测试集；b、利用训练集中无标签的含噪心电信号样本对降噪自动编码器进行预训练得到初始化的网络参数；c、预训练完成后，使用训练集中有标签的含噪心电信号样本对网络参数整体调优，并且使其满足重构误差要求；d、将测试集输入训练好的无损约束降噪自动编码器的堆叠网络结构中，得到干净的心电信号。经本发明方法的处理，去噪后的干净心电信号不但有效地滤除了噪声，且恢复了心电信号低频特征波，保留了心电信号的有效信息。

