



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109998524 A

(43)申请公布日 2019. 07. 12

(21)申请号 201910249396.6

(22)申请日 2019.03.29

(71)申请人 山东理工大学

地址 255086 山东省淄博市高新技术开发
区高创园A座313室

(72)发明人 隋文涛 梁钊 张丹

(51)Int.Cl.

A61B 5/0402(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

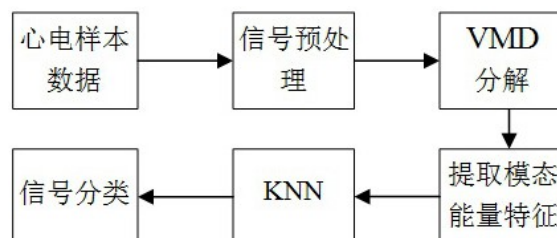
权利要求书2页 说明书4页 附图5页

(54)发明名称

一种基于变分模态分解理论和K最近邻算法
的心电信号分类方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于变分模态分解理论和K最近邻算法的心电信号分类方法,包括以下步骤:截取已有心电信号作为样本数据;对心电信号进行预处理;对心电信号进行8层的变分模态分解,提取各模态的能量特征作为分类特征;将模态1、2、4、5、6、7的能量特征做为输入,运用K最近邻算法对信号进行分类识别。实验结果表明,该方法可实现对心电信号的快速准确分类,有助于心脏病情诊断。



1. 一种基于变分模态分解理论和K最近邻算法的心电信号分类方法,其特征在于包括以下步骤:

- (1) 截取已有的心电信号作为样本数据;
- (2) 对所有心电样本进行去除基线漂移和工频干扰的预处理;
- (3) 确定8层分解层数,对待分类信号进行变分模态分解,即VMD,得到8个模态分量;
- (4) 分别计算各模态能量,求解模态分量能量比例特征;
- (5) 筛选表现良好的特征,然后利用K最近邻算法,即KNN,实现心电信号分类。

2. 根据权利要求1所述一种基于变分模态分解理论和K最近邻算法的心电信号分类方法,其特征在于:步骤(3)中,在心电信号分类中运用了变分模态分解以及确定了最优分解层数为8层;变分模态分解方法如下:X为心电信号,经过K层变分模态分解得到K个模态分量 $\{\mu_k\} = \{\mu_1 \dots \mu_K\}$;每个模态分量的频率中心表示为 $\{\omega_k\} = \{\omega_1 \dots \omega_K\}$;在迭代求解过程中不断更新模态分量及其频率中心,更新步骤(a)、(b)、(c)、(d)如下:

(a) 初始化 $\hat{\mu}_k^1$ 、 $\hat{\omega}_k^1$ 、 $\hat{\lambda}_k^1$ 和n为0;

(b) 根据下面两式更新 μ_k 和 ω_k , α 为惩罚因子(取值2000), λ 为拉格朗日乘法算子;

$$\mu_k^{n+1}(\omega) = \frac{\hat{X}(\omega) - \sum_{i=k} \hat{\mu}_i^n(\omega) + \hat{\lambda}(\omega)}{1 + 2\alpha(\omega - \omega_k)^2}$$

$$\omega_k^{n+1}(\omega) = \frac{\int_0^\infty \omega |\hat{\mu}_k(\omega)|^2 d\omega}{\int_0^\infty |\hat{\mu}_k(\omega)|^2 d\omega}$$

(c) 更新 λ , 其中 τ 为噪声因子, $\tau=0$;

$$\hat{\lambda}^{n+1}(\omega) = \hat{\lambda}^n(\omega) + \tau \{ \hat{X}(\omega) - \sum_k \mu_k^{n+1}(\omega) \}$$

(d) 如果 $\sum_k (\|\mu_k^{n+1} - \mu_k^n\|_2^2 / \|\mu_k^n\|_2^2) < \epsilon$, 则停止迭代, 否则换回执行步骤

(b), ϵ 表示判断约束条件, $\epsilon=0.01$ 。

3. 根据权利要求1所述一种基于变分模态分解理论和K最近邻算法的心电信号分类方法,其特征在于:步骤(4)中,分别计算各模态的能量用于分类:

$$E_i = \sum_{n=1}^N |u_i|^2 \quad (i=1, 2, 3 \dots K), N \text{ 为采样点数}$$

总能量为:

$$E = \sum_{i=1}^K E_i;$$

能量特征为:

$$P_i = \frac{E_i}{E} (i = 1, 2, 3 \dots K)。$$

4. 根据权利要求1所述一种基于变分模态分解理论和K最近邻算法的心电信号分类方法,其特征在於:步骤(5)中,从8个能量特征里面进一步筛选更有效特征以降低特征维数,最终特征确定为模态1、2、4、5、6、7的能量特征,将样本依次赋予数字标签,输入KNN中进行分类识别,最近邻数目设定为2,距离公式使用曼哈顿距离。

一种基于变分模态分解理论和K最近邻算法的心电信号分类方法

技术领域

[0001] 本发明涉及心电信号识别领域,通过对心电信号进行能量特征提取,从而实现心电信号分类,具体涉及一种基于变分模态分解理论(VMD)和K最近邻算法(KNN)的心电信号分类方法。

背景技术

[0002] 心律失常是心血管疾病方面的重要疾病,往往与其他心血管疾病伴发,被认为是重大疾病发生的征兆。心律失常的诊断主要通过分析心电信号,它客观反映了心脏的活动状态,在帮助医生判断病情上起到至关重要的作用,所以,研究心电信号的分类方法、提高分类准确率有重要意义。

[0003] 目前关于心电信号分类的主要研究有:韩君泽提出了一种基于小波变化和K均值聚类的QRS波群检测算法;Jeen-Shing Wang等人提取R波附近点作为特征,通过概率神经网络(PNN)对心电信号进行分类;R Benali等人利用小波神经网络(WNN)的方法对五类心电信号实现了分类;颜昊霖等人提出一种基于深度信念网(DBN)和心电波形采样的心电分类算法等。以上大多数机器分类方法均需在定位波形位置或提取QRS波上投入大量研究,而忽略心电信号能量方面的应用。

[0004] 所以针对以上问题,设计了一种基于变分模态分解和K最近邻相结合的心电信号分类算法,不需要进行复杂的提取波形的过程,直接截取样本数据,将样本分别进行VMD分解,以各模态的能量作为分类特征,最后运用KNN算法对信号进行分类识别,实现对心电信号的分类。

发明内容

[0005] 为提高心电信号的分类准确率,降低识别难度,本发明提出了一种基于变分模态分解理论和K最近邻算法的心电信号分类方法,可以实现对心电信号的快速准确分类,具体步骤如下:

(1) 截取已有的心电信号作为样本数据。

[0006] (2) 对所有心电样本进行关于基线漂移和工频干扰的预处理,去除含有基线漂移模态分量,并删除明显的带有50~60Hz工频干扰的模态分量。

[0007] (3) 因为心电信号的主要频率范围为0.5~100Hz,且90%的频谱能量集中在0.5~45Hz之间,将VMD分解的层数定为8层,对待分类信号进行VMD分解,得到8个模态分量,其中变分模态分解方法如下: X 为心电信号,经过 K 层变分模态分解得到 K 个模态分量 $\{\mu_k\} = \{\mu_1 \dots \mu_k\}$;每个模态分量的频率中心表示为 $\{\omega_k\} = \{\omega_1 \dots \omega_k\}$;在迭代求解过程中不断更新模态分量及其频率中心,更新步骤(a)、(b)、(c)、(d)如下:

(a) 初始化 $\{\hat{\mu}_k^1\}$ 、 $\{\hat{\omega}_k^1\}$ 、 $\{\hat{\lambda}_k^1\}$ 和 n 为0;

(b) 根据下面两式更新 μ_k 和 ω_k , α 为惩罚因子(取值2000), λ 为拉格朗日乘法算子;

$$\mu_k^{n+1}(\omega) = \frac{\hat{X}(\omega) - \sum_{i=k} \hat{\mu}_i^n(\omega) + \hat{\lambda}(\omega)/2}{1 + 2\alpha(\omega - \omega_k)^2}$$

$$\omega_k^{n+1}(\omega) = \frac{\int_0^\infty \omega |\hat{\mu}_k(\omega)|^2 d\omega}{\int_0^\infty |\hat{\mu}_k(\omega)|^2 d\omega}$$

(c) 更新 λ , 其中 τ 为噪声因子, $\tau=0$;

$$\hat{\lambda}^{n+1}(\omega) = \hat{\lambda}^n(\omega) + \tau \{ \hat{X}(\omega) - \sum_k \mu_k^{n+1}(\omega) \}$$

(d) 如果 $\sum_k (\|\mu_k^{n+1} - \mu_k^n\|_2^2 / \|\mu_k^n\|_2^2) < \epsilon$, 则停止迭代, 否则换回执行步骤

(b), ϵ 表示判断约束条件, $\epsilon=0.01$ 。

[0008] (4) 分别计算各模态能量, 求解模态分量能量比例特征:

$$E_i = \sum_{n=1}^N |u_i|^2 \quad (i=1, 2, 3 \dots K), N \text{ 为采样点数}$$

总能量为:

$$E = \sum_{i=1}^K E_i ;$$

获取能量特征:

$$P_i = \frac{E_i}{E} \quad (i=1, 2, 3 \dots K)。$$

[0009] (5) 将样本依次赋予数字标签, 输入KNN中进行分类识别, 为提高分类准确率并提高分类器的性能和降低运算的难度, 从8个能量特征里面筛选有效性较好的特征以降低特征维数, 因为此维度相对而言较低, 直接使用遍历法测试8个能量特征的所有组合方式, 实验表明采用模态1、2、4、5、6、7的能量特征, 分类准确率最高; KNN算法中最近邻数值设定为2, 距离公式使用曼哈顿距离。

[0010] 本发明通过对心电信号进行能量特征提取, 实现心电信号分类, 与现有检测方式相比有以下特点:

1. 本发明采用直接对心电信号进行分析的方法, 减少人为因素干扰, 排除人工误读的影响, 通过机器直接实现对心电信号的判读;

2. 本发明跳过普遍采用的读取波形特征的方法, 不需要进行复杂的提取波形的步骤, 通过分析能量特征实现心电信号的分类;

3. 本发明采用的KNN分类算法, 是一种简单成熟的分类方法, 在心电分类方法表现显

著。

附图说明

[0011] 图1为本发明的方法流程图；

图2为提取的特征汇总；

图3为典型的心电波形图；

图4为基线漂移处理图；

图5为工频干扰处理图；

图6为VMD分解后的模态分量图；

图7为典型能量比例图；

图8为VMD-KNN分类结果图。

具体实施方式

[0012] 下面结合附图以及具体实施方式对本发明进一步说明。

[0013] 用于实施的硬件环境是不同的计算机,软件环境是:Win7和Matlab R2014a。我们使用Matlab软件实现了本发明提出的方法。被用来分类的心电数据来自于MIT-BIH心律失常数据库,是目前国际上公认的标准心电数据库之一,共有48个双导联记录,本文所有样本均来自使用MLII导联,每个记录时间约为30分钟,采样频率为360Hz。在本实验中,针对5类心电波形进行分析,分别是:正常搏动(N)、右束支传导阻滞(RBBB)、左束支传导阻滞(LBBB)、室性早搏(PVC)、房性早搏(APB),每类心拍所使用的记录和数量如图2所示,共提取了300组心电样本。

[0014] 图1为本发明的方法流程图,具体实施见以下步骤:

(1) 确定要提取的心电类型,如正常搏动,以112号记录为例,首先读取112号记录的完整心电记录;查找注释代码中对应的数字,正常心拍对应数字为1,查找此记录中所有注释为1的心拍,以注释点为中心,前后共截取1000点作为采样数据,保证在此数据长度中全部都是同一心拍类型,此范围内的心拍不再截取,做到不重复取样,将满足条件的所有样本保存;为保证实验的可靠性,同一心电类型从多个记录中选取,所以在112记录中随机选择20组样本作为实验样本,最终完成对112记录中样本的提取,图3为5类心电典型的样本数据图。

[0015] (2) 我们对心电信号的预处理主要集中在基线漂移、工频干扰上,基线漂移是由呼吸和其他身体活动引起的,频率很低,不大于1Hz;工频干扰的频率范围50~60Hz,经测试,在使用的记录105、214、228中存在。利用VMD将心电信号分解多个模态分量,去除含有基线漂移模态分量,并删除3条记录中带有工频干扰的模态分量,最后将剩余模态重构得到去噪的心电信号完成对心电信号的预处理,图4和图5分别为基线漂移处理图和工频干扰处理图。

[0016] (3) 确定8层分解层数,对所有待分类信号进行VMD分解,得到8个模态分量,图6为VMD分解后的模态分量图。

[0017] (4) 分别计算各模态能量,求解模态分量能量比例特征:

$$E_i = \sum_{n=1}^N |u_i|^2 \quad (i = 1, 2, 3 \dots K), N \text{ 为采样点数}$$

总能量为：

$$E = \sum_{i=1}^K E_i ;$$

获取能量特征：

$$P_i = \frac{E_i}{E} \quad (i = 1, 2, 3 \dots K);$$

图7为5类心电信号的典型能量比例。

[0018] (5) 将5类样本依次赋予数字标签0~4, 在KNN中的测试和训练中分别代表5类心电类型, 正常搏动为标签0, 右束支传导阻滞为标签1, 左束支传导阻滞为标签2, 室性早搏为标签3, 房性早搏为标签4, 在每类心电样本中随机选取20组作为测试集, 剩余部分作为训练集, 则共有100组样本测试, 200组样本训练。将模态1、2、4、5、6、7的能量特征做为输入, 利用KNN算法实现分类, KNN算法中最近邻数值设定为2, 距离公式使用曼哈顿距离, 图8为VMD-KNN分类结果图。

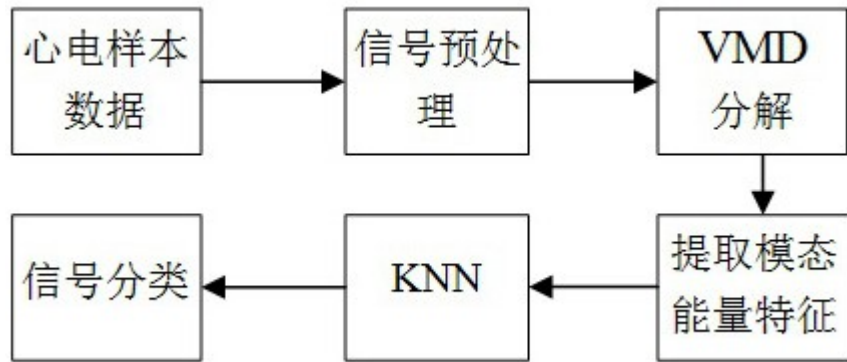
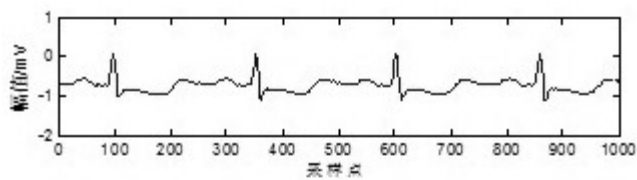


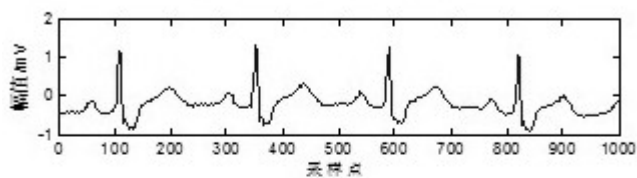
图1

心电类型	MIT-BIH记录	样本数量
N	105 112 117	60
RBBB	118 124 212	60
LBBB	109 111 214	60
PVC	119 200 223 228	60
APB	209 232	60

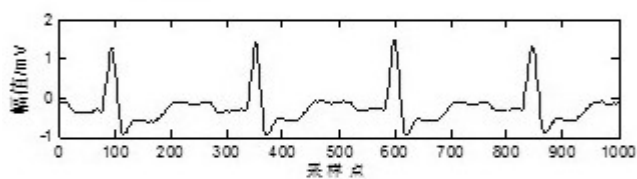
图2



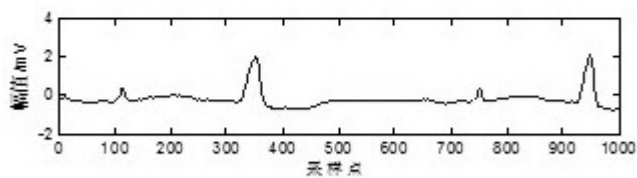
(a) 112 记录 正常搏动



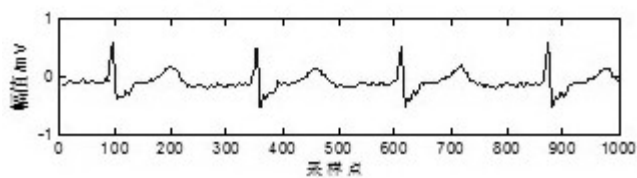
(b) 212 记录 右束支传导阻滞



(c) 109 记录 左束支传导阻滞



(d) 228 记录 室性早搏



(e) 232 记录 房性早搏

图3

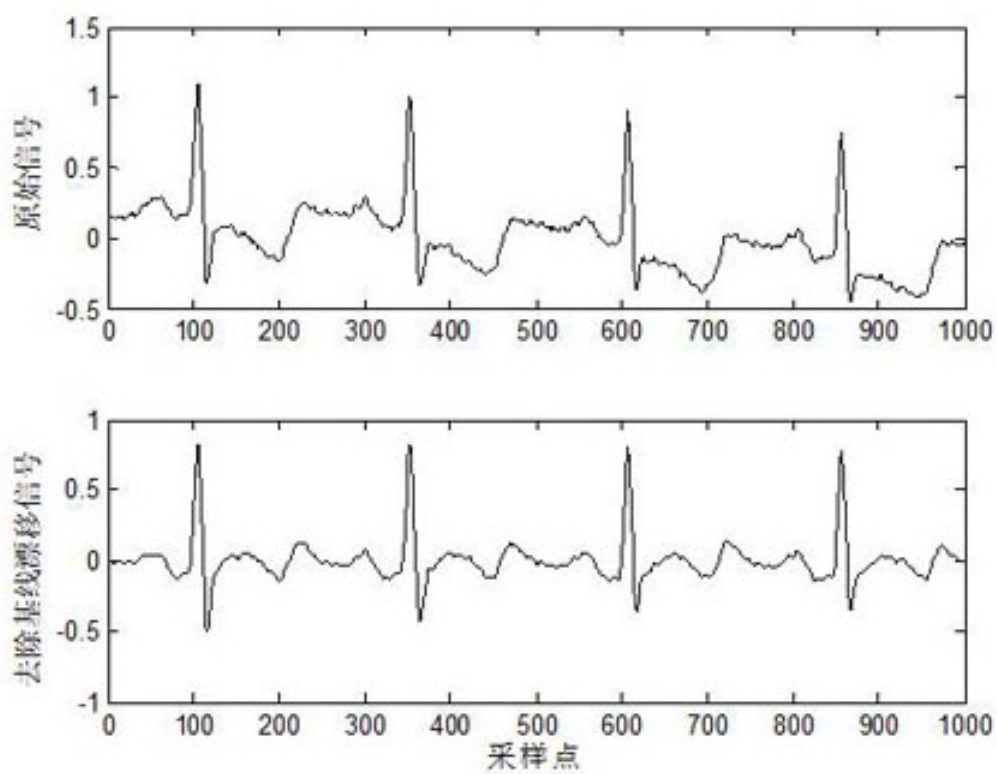


图4

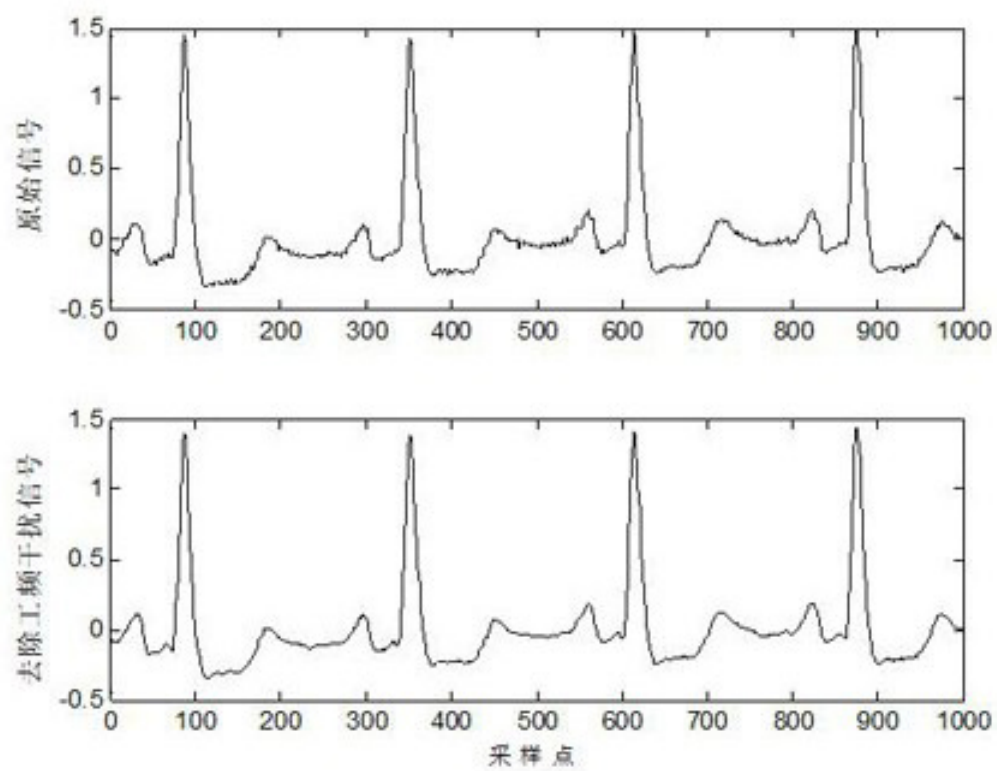


图5

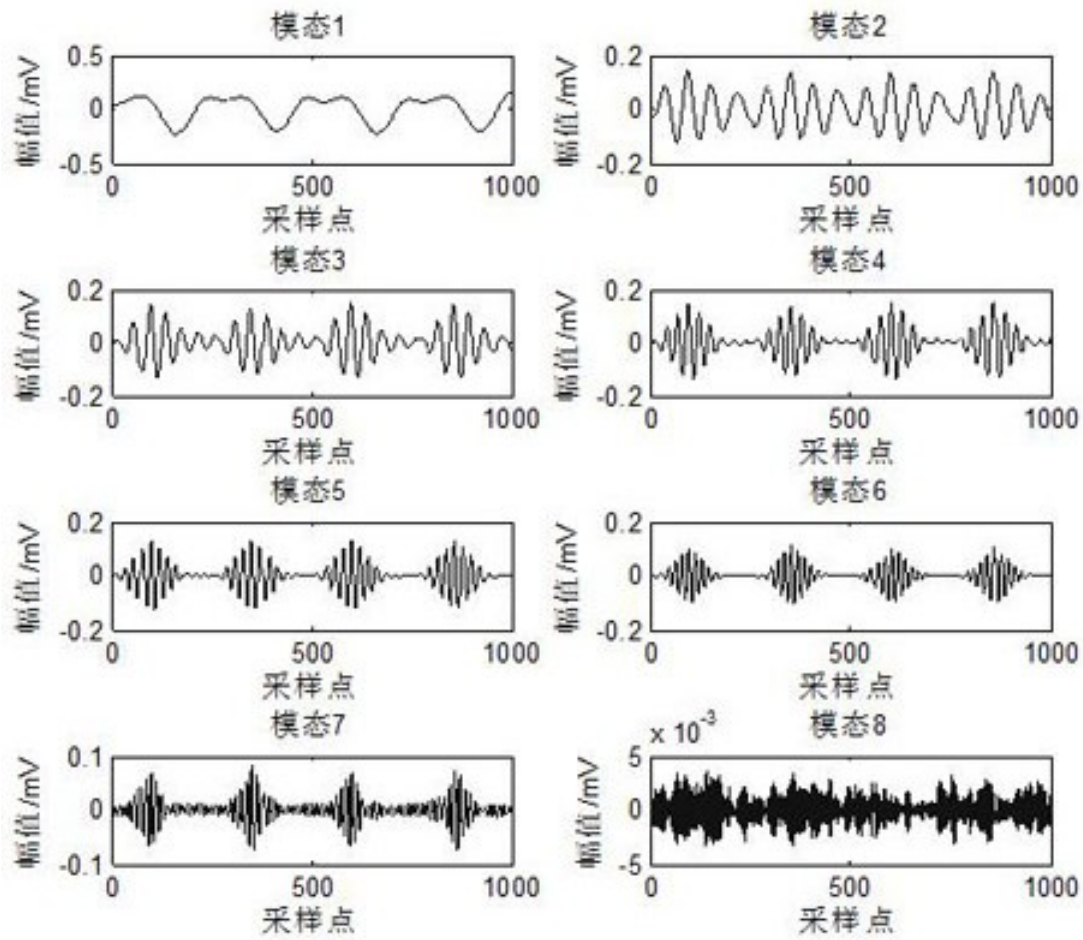


图6

心电类型 能量比例	正常波动	右束支传导阻 滞	左束支传导阻 滞	室性早搏	房性早搏
P ₁	0.3680	0.5270	0.2320	0.4425	0.2361
P ₂	0.2132	0.1195	0.2983	0.1561	0.1831
P ₃	0.1895	0.0943	0.2420	0.0974	0.1172
P ₄	0.0088	0.1115	0.2041	0.1286	0.1198
P ₅	0.1188	0.0667	0.0078	0.0779	0.1063
P ₆	0.0967	0.0309	0.0131	0.0598	0.0941
P ₇	0.0035	0.0288	0.0014	0.0367	0.0818
P ₈	0.0014	0.0213	0.0014	0.0010	0.0616

图7

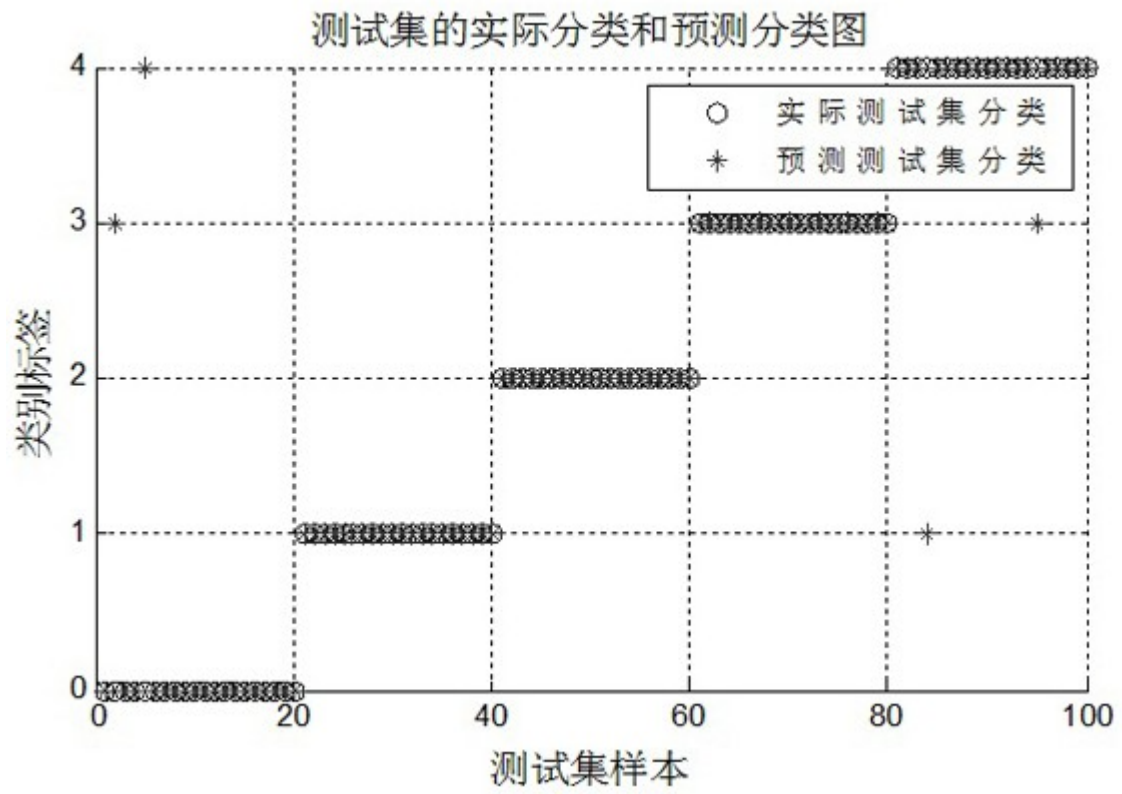


图8

专利名称(译)	一种基于变分模态分解理论和K最近邻算法的心电信号分类方法		
公开(公告)号	CN109998524A	公开(公告)日	2019-07-12
申请号	CN201910249396.6	申请日	2019-03-29
[标]申请(专利权)人(译)	山东理工大学		
申请(专利权)人(译)	山东理工大学		
当前申请(专利权)人(译)	山东理工大学		
[标]发明人	隋文涛 梁钊 张丹		
发明人	隋文涛 梁钊 张丹		
IPC分类号	A61B5/0402 A61B5/00		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于变分模态分解理论和K最近邻算法的心电信号分类方法，包括以下步骤：截取已有心电信号作为样本数据；对心电信号进行预处理；对心电信号进行8层的变分模态分解，提取各模态的能量特征作为分类特征；将模态1、2、4、5、6、7的能量特征做为输入，运用K最近邻算法对信号进行分类识别。实验结果表明，该方法可实现对心电信号的快速准确分类，有助于心脏病情诊断。

