



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108095722 A

(43)申请公布日 2018.06.01

(21)申请号 201810093526.7

(22)申请日 2018.01.31

(71)申请人 南京邮电大学

地址 210023 江苏省南京市亚东新城区文苑路9号

申请人 南京邮电大学南通研究院有限公司

(72)发明人 张学军 王龙强 何涛 成谢锋

(74)专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所
(普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

G06K 9/00(2006.01)

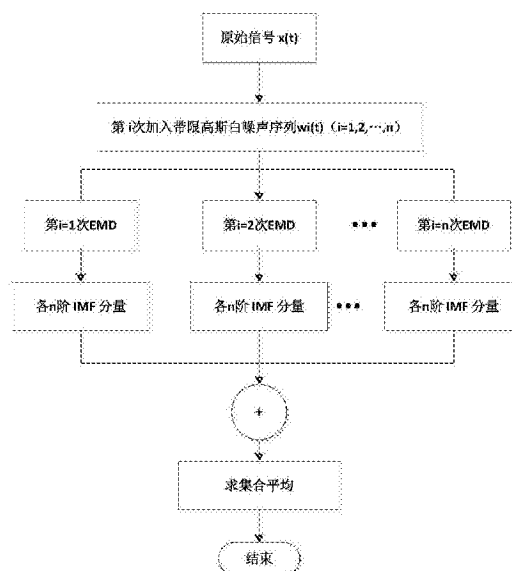
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

基于脑电信号的改进EEMD算法

(57)摘要

本发明公开了一种基于脑电信号的改进EEMD算法,该方法首先基于脑电信号的先验知识,选取 μ 节律频段(8-12Hz)和 β 节律频段(18-26Hz)分别设计两个带通滤波器;利用上述带通滤波器对全带高斯白噪声进行滤波处理,得到两个带限高斯白噪声;最后在原始脑电信号中加入上述带限高斯白噪声 $w(t)$,进行经验模式分解。应用本发明算法对脑电信号进行分解,得到了频率相对集中的固有模态函数信号,各个频段的固有模态函数得以区分,大大抑制了由于经验模式分解所带来的模态混叠问题。



1. 一种基于脑电信号的改进EEMD算法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1:针对脑电信号 $x(t)$ 的不同节律频段分别设计出一个带通滤波器;

步骤2:利用所述带通滤波器对全带高斯白噪声进行滤波处理,得到带限高斯白噪声序列 $w_i(t)$ ($i=1,2,\dots,N$);

步骤3:在所述脑电信号 $x(t)$ 中分别加入所述带限高斯白噪声序列 $w_i(t)$ ($i=1,2,\dots,N$)中的每一项,得到输入信号 $x_i(t)=x(t)+w_i(t)$, ($i=1,2,\dots,N$),对输入信号 $x_i(t)$ 进行经验模式分解, N 个输入信号 $x_i(t)$ 分别得到 n 阶固有模态函数和一个剩余函数 $r_{i,n}(t)$;

步骤4:对得到的 N 个输入信号 $x_i(t)$ 的 n 阶固有模态函数进行集合平均,即得到脑电信号 $x(t)$ 的第 j 阶固有模态函数 $c_j(t)$ 为:

$$c_j(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_{i,j}(t) \quad (1)$$

所述脑电信号 $x(t)$ 可表示为:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_{i,j}(t) + r_{i,n}(t) \quad (2)$$

其中, $c_{i,j}(t)$ 表示第 i 次对脑电信号加入带限高斯白噪声进行经验模式分解得到的第 j 阶固有模态函数。

2. 根据权利要求1所述的一种基于脑电信号的改进EEMD算法,其特征在于,所述脑电信号 $x(t)$ 的不同节律频段包括 μ 节律频段和 β 节律频段,频率范围分别为8-12Hz、18-26Hz。

3. 根据权利要求1所述的一种基于脑电信号的改进EEMD算法,其特征在于,步骤3中,所述经验模式分解的步骤包括:

步骤3.1:判断每个输入信号 $x_i(t)$ 的局部极值,用三次样条曲线进行曲线拟合,局部极大值形成上包络 $e_{\max}(t)$,局部极小值形成下包络 $e_{\min}(t)$;

步骤3.2:求 $e_{\max}(t)$ 和 $e_{\min}(t)$ 的均值:

$$m(t) = \frac{e_{\min}(t) + e_{\max}(t)}{2} \quad (3)$$

步骤3.3:计算输入信号 $x_i(t)$ 和 $m(t)$ 的差值:

$$c_{i,1}(t) = x_i(t) - m(t) \quad (4)$$

如果 $c_{i,1}(t)$ 不能满足IMF的定义截止条件,重复步骤3.1-3.3,否则,提取 $c_{i,1}(t)$ 作为第1阶固有模态函数,剩余函数 $r_{i,1}(t)$ 计算如下:

$$r_{i,1}(t) = x_i(t) - c_{i,1}(t) \quad (5)$$

步骤3.4:将剩余函数 $r_{i,1}(t)$ 作为新的输入信号重复步骤3.1-3.3;

步骤3.5:重复步骤3.1-3.4,直至剩余函数 $r_{i,n}(t)$ 为一个单调函数或者仅有一个极值时,分解过程停止,此时 N 个输入信号 $x_i(t)$ 分别得到 n 阶固有模态函数 $c_{i,1}(t), \dots, c_{i,n}(t)$ 和一个剩余函数 $r_{i,n}(t)$ 。

4. 根据权利要求3所述的一种基于脑电信号的改进EEMD算法,其特征在于,所述 $n=8$ 。

基于脑电信号的改进EEMD算法

技术领域

[0001] 本发明涉及基于脑电信号的改进EEMD算法,属于智能信息处理技术领域。

背景技术

[0002] 经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD)作为一种新型自适应信号时频处理方法,适用于分析处理非线性、非平稳信号。EMD算法以信号本身的局部特征为基础,通过反复筛选可以将复杂的原始信号分解成一系列有限的、数据量小的本征模态函数(Intrinsic Mode Functions, IMF)之和,然后对每个IMF进行Hilbert变换求解其瞬时频率,使得瞬时频率具有实际的物理意义,进而得到非线性、非平稳信号的时频分布。

[0003] EMD算法的主要缺陷是模态混叠问题。针对该问题,集合经验模态分解算法(Ensemble EMD, EEMD)引入了噪声辅助数据分析方法(Noise-Assisted Data Analysis, NA-DA)。当原始信号加上均匀分布的白噪声背景时,不同尺度的信号区域将自动映射到与背景白噪声相关的适当尺度,从而有效地克服了模态混叠问题。EEMD自提出以来,在机械故障诊断、语音信号处理、图像处理、海洋学、地质勘测等诸多领域得到了广泛的应用。

[0004] 运动想象指只进行肢体运动想象而没有实际的肢体运动。运动感知节律由 μ 和 β 节律组成,他们是大脑活动位于 μ 频带(7-13)和 β 频带(19-26Hz)的波动。当大脑的活动和运动任务相关时,感觉运动节律会发生改变,更为重要的是,仅仅进行运动想象也会反映在感觉运动节律的变化中。运动想象时,大脑感觉运动皮层会产生事件相关同步/去同步(ERS/ERD)现象,由此产生的脑电信号是一种非线性非平稳的信号。

发明内容

[0005] 针对上述现有技术的不足,本发明提供基于脑电信号的改进EEMD算法,对传统的EEMD算法进行了改进。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种基于脑电信号的改进EEMD算法,包括如下步骤:

[0008] 步骤1:针对脑电信号 $x(t)$ 的不同节律频段分别设计出一个带通滤波器;

[0009] 步骤2:利用所述带通滤波器对全带高斯白噪声进行滤波处理,得到带限高斯白噪声序列 $w_i(t)$ ($i=1, 2, \dots, N$);

[0010] 步骤3:在所述脑电信号 $x(t)$ 中分别加入所述带限高斯白噪声序列 $w_i(t)$ ($i=1, 2, \dots, N$)中的每一项,得到输入信号 $x_i(t)=x(t)+w_i(t)$, ($i=1, 2, \dots, N$),对 $x_i(t)$ 进行经验模式分解, N 个输入信号 $x_i(t)$ 分别得到 n 阶固有模态函数和一个剩余函数 $r_{i,n}(t)$;

[0011] 步骤4:对得到的 N 个输入信号的第 j 阶固有模态函数进行集合平均,即得到脑电信号 $x(t)$ 的第 j 阶固有模态函数 $c_j(t)$;

$$[0012] \quad c_j(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_{i,j}(t) \quad (1)$$

[0013] 所述脑电信号 $x(t)$ 可表示为:

$$[0014] \quad x(t) = \sum_{j=1}^n c_{i,j}(t) + r_{i,n}(t) \quad (2)$$

[0015] 其中, $c_{i,j}(t)$ 表示第 i 次对脑电信号加入带限高斯白噪声进行经验模式分解得到的第 j 阶固有模态函数。

[0016] 优选的, 所述脑电信号 $x(t)$ 的不同节律频段包括 μ 节律频段和 β 节律频段, 频率范围分别为 8-12Hz、18-26Hz。

[0017] 优选的, 步骤 3 中, 所述经验模式分解的步骤包括:

[0018] 步骤 3.1: 判断每个输入信号 $x_i(t)$ 的局部极值, 用三次样条曲线进行曲线拟合, 局部极大值形成上包络 $e_{\max}(t)$, 局部极小值形成下包络 $e_{\min}(t)$;

[0019] 步骤 3.2: 求 $e_{\max}(t)$ 和 $e_{\min}(t)$ 的均值:

$$[0020] \quad m(t) = \frac{e_{\min}(t) + e_{\max}(t)}{2} \quad (3)$$

[0021] 步骤 3.3: 计算输入信号 $x_i(t)$ 和 $m(t)$ 的差值:

$$[0022] \quad c_{i,1}(t) = x_i(t) - m(t) \quad (4)$$

[0023] 如果 $c_{i,1}(t)$ 不能满足 IMF 的定义截止条件, 重复步骤 3.1-3.3, 否则, 提取 $c_{i,1}(t)$ 作为第 1 阶固有模态函数, 剩余函数 $r_{i,1}(t)$ 计算如下:

$$[0024] \quad r_{i,1}(t) = x_i(t) - c_{i,1}(t) \quad (5)$$

[0025] 步骤 3.4: 将剩余函数 $r_{i,1}(t)$ 作为新的输入信号重复步骤 3.1-3.3;

[0026] 步骤 3.5: 重复步骤 3.1-3.4, 直至剩余函数 $r_{i,n}(t)$ 为一个单调函数或者仅有一个极值时, 分解过程停止, 此时 N 个输入信号 $x_i(t)$ 分别得到 n 阶固有模态函数 $c_{i,1}(t), \dots, c_{i,n}(t)$ 和一个剩余函数 $r_{i,n}(t)$ 。

[0027] 优选的, 所述 $n=8$ 。

[0028] 有益效果: 应用本发明算法对脑电信号进行分解, 得到了频率相对集中的固有模态函数信号, 各个频段的固有模态函数得以区分, 大大抑制了由于经验模式分解所带来的模态混叠问题。本发明中带限噪声的引入将单个 IMF 分量中多个混叠的模态有效地提取到不同的 IMF 中, 一定程度上实现了模态的有效分离, 证明该改进算法在脑电这一特殊领域中的使用是可行且有效的, 可以更好地解决脑电信号 EMD 分解的模态混叠问题。将本发明算法应用于想象左右手的分类识别中, 使用改进的 EEMD 算法可以将脑电信号各频率尽可能的区分开, 使其分解得到的各个分量都以单组频率为主, 有益于提取特征更加鲜明的特征向量, 因此可以大大提高分类识别的准确率。

附图说明

[0029] 图 1 为本发明方法流程图。

[0030] 图 2 为本发明方法中带限高斯白噪声生成图。

[0031] 图 3 为原始脑电信号时频图 (上为时域图, 下为频域图)。

[0032] 图 4 为经典 EMD 分解脑电信号的时频图 (左为时域图, 右为频域图)。

[0033] 图 5 为本发明算法分解脑电信号的时频图 (左为时域图, 右为频域图)。

具体实施方式

[0034] 下面结合说明书附图对本发明作进一步的详细说明。

[0035] 如图1所示,本发明所述方法包括如下步骤:

[0036] 步骤1:基于脑电信号的先验知识,选取 μ 节律频段(8-12Hz)和 β 节律频段(18-26Hz)分别设计两个带通滤波器;

[0037] 步骤2:利用上述带通滤波器对全带高斯白噪声进行滤波处理,得到两个带限高斯白噪声,如图2所示;

[0038] 步骤3:在原始脑电信号中加入上述带限高斯白噪声,进行经验模式分解;

[0039] 脑电信号进行经验模式分解的具体步骤如下:

[0040] (1) 在脑电信号 $x(t)$ 中分别加入所述带限高斯白噪声序列 $w_i(t)$ ($i=1,2,\dots,N$)中的每一项,得到输入信号 $x_i(t)=x(t)+w_i(t)$, $i=1,2,\dots,N$,判断每个 $x_i(t)$ 的局部极值,用三次样条曲线进行曲线拟合,局部极大值形成上包络 $e_{\max}(t)$,局部极小值形成下包络 $e_{\min}(t)$ 。

[0041] (2) 求 $e_{\max}(t)$ 和 $e_{\min}(t)$ 的均值:

$$[0042] \quad m(t) = \frac{e_{\min}(t) + e_{\max}(t)}{2} \quad (1)$$

[0043] (3) 计算输入信号 $x_i(t)$ 和 $m(t)$ 的差值:

$$[0044] \quad c_{i,1}(t) = x_i(t) - m(t) \quad (2)$$

[0045] 如果 $c_{i,1}(t)$ 不能满足IMF的定义截止条件,重复上述过程(1)-(3),否则,提取 $c_{i,1}(t)$ 作为第1固有模态函数,剩余量 $r_{i,1}(t)$ 计算如下:

$$[0046] \quad r_{i,1}(t) = x_i(t) - c_{i,1}(t) \quad (3)$$

[0047] (4) 剩余量作为一个新的数据经过相同的筛选过程以获得下一个更低频率的固有模态函数。直到剩余函数 $r_{i,n}(t)$ 为一个单调函数或者仅有一个极值时,分解过程停止。假设此时输入信号 $x_i(t)$ 被分解为 n 个固有模态函数和一个剩余函数量 $r_{i,n}(t)$ 。

[0048] 步骤4:对得到的各阶固有模态函数进行集合平均;

$$[0049] \quad c_j(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_{i,j}(t) \quad (4)$$

[0050] 其中, $c_{i,j}(t)$ 表示第 i 次对原始脑电信号加入带限高斯白噪声进行经验模式分解得到的第 j 阶固有模态函数, $c_j(t)$ 表示第 j 阶固有模态函数。

[0051] 原始输入信号 $x(t)$ 的重构信号为:

$$[0052] \quad x(t) = \sum_{j=1}^n c_{i,j}(t) + r_{i,n}(t) \quad (5)$$

[0053] 本实施例取前8阶固有模态函数进行算法比较。如图3所示,原始脑电信号中以12Hz和24Hz为主,并混叠有其他频率的分量;如图4所示,经典的EMD分解中,分量IMF1混叠了多个频率谐波,主要为12Hz,24Hz,分量IMF2中混叠了8Hz,12Hz;而本发明算法分解中,IMF1分量只包含24Hz的高频谐波分量,IMF2分量中只包含12Hz的低频谐波,如图5所示。本发明中带限噪声的引入将单个IMF分量中多个混叠的模态有效地提取到不同的IMF中,一定程度上实现了模态的有效分离,证明该改进算法在脑电这一特殊领域中的使用是可行且有效的,可以更好地解决脑电信号EMD分解的模态混叠问题。

[0054] 综上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此。

在发明所披露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明所揭露的技术范围之内。因此,本发明的保护范围应以权利要求书的保护范围为准。

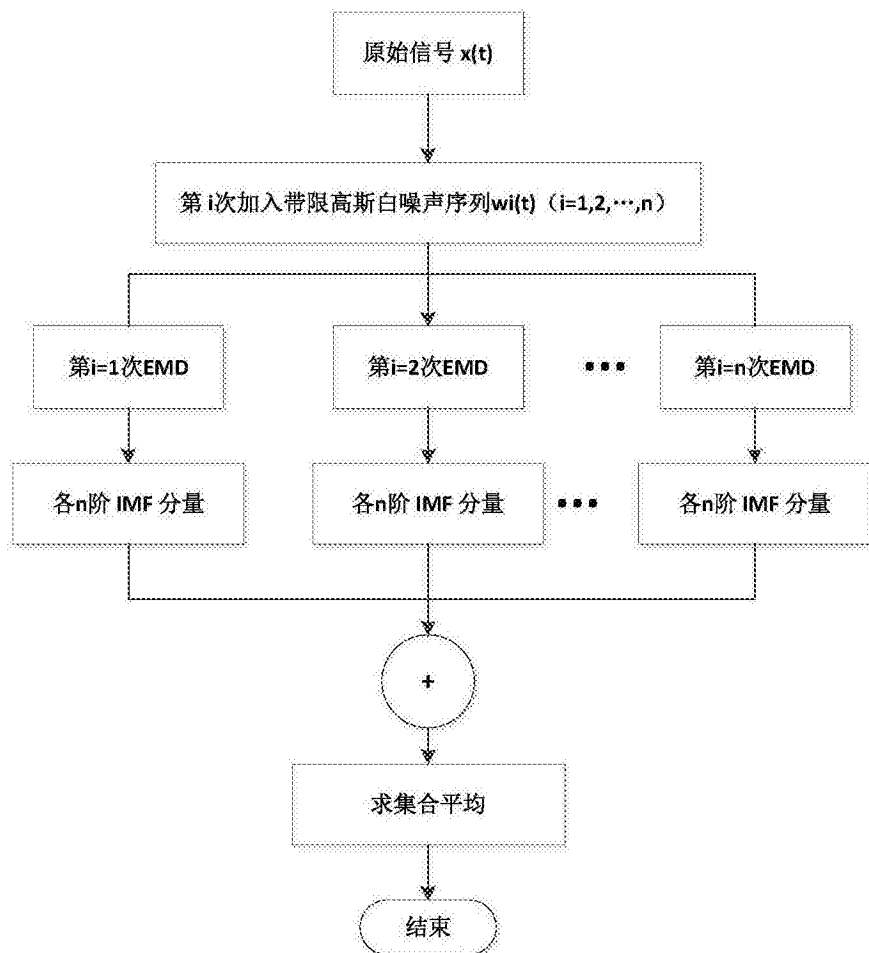


图1

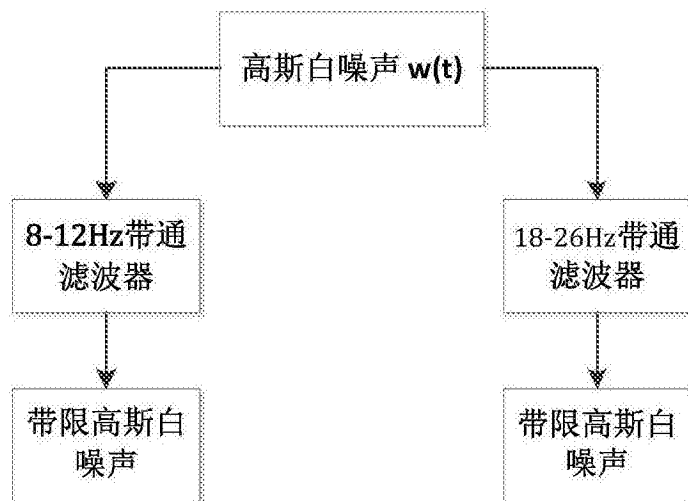


图2

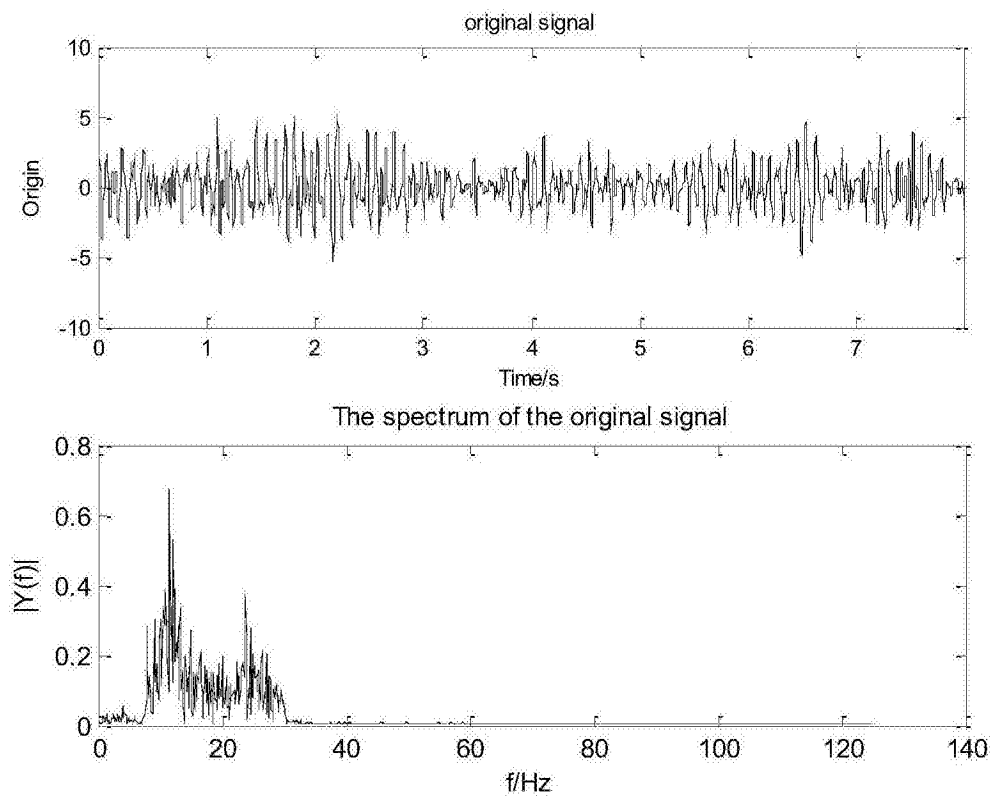


图3

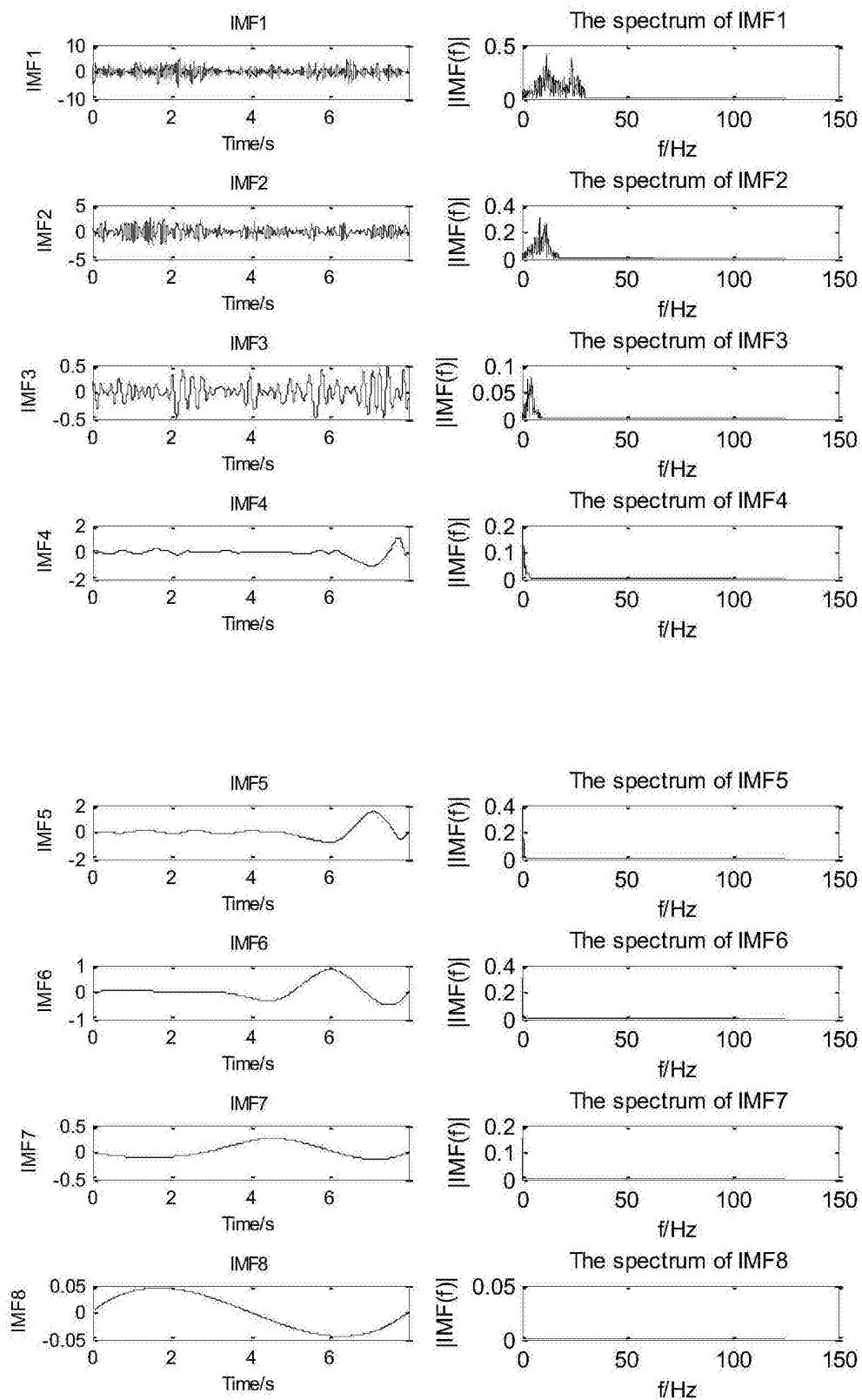


图4

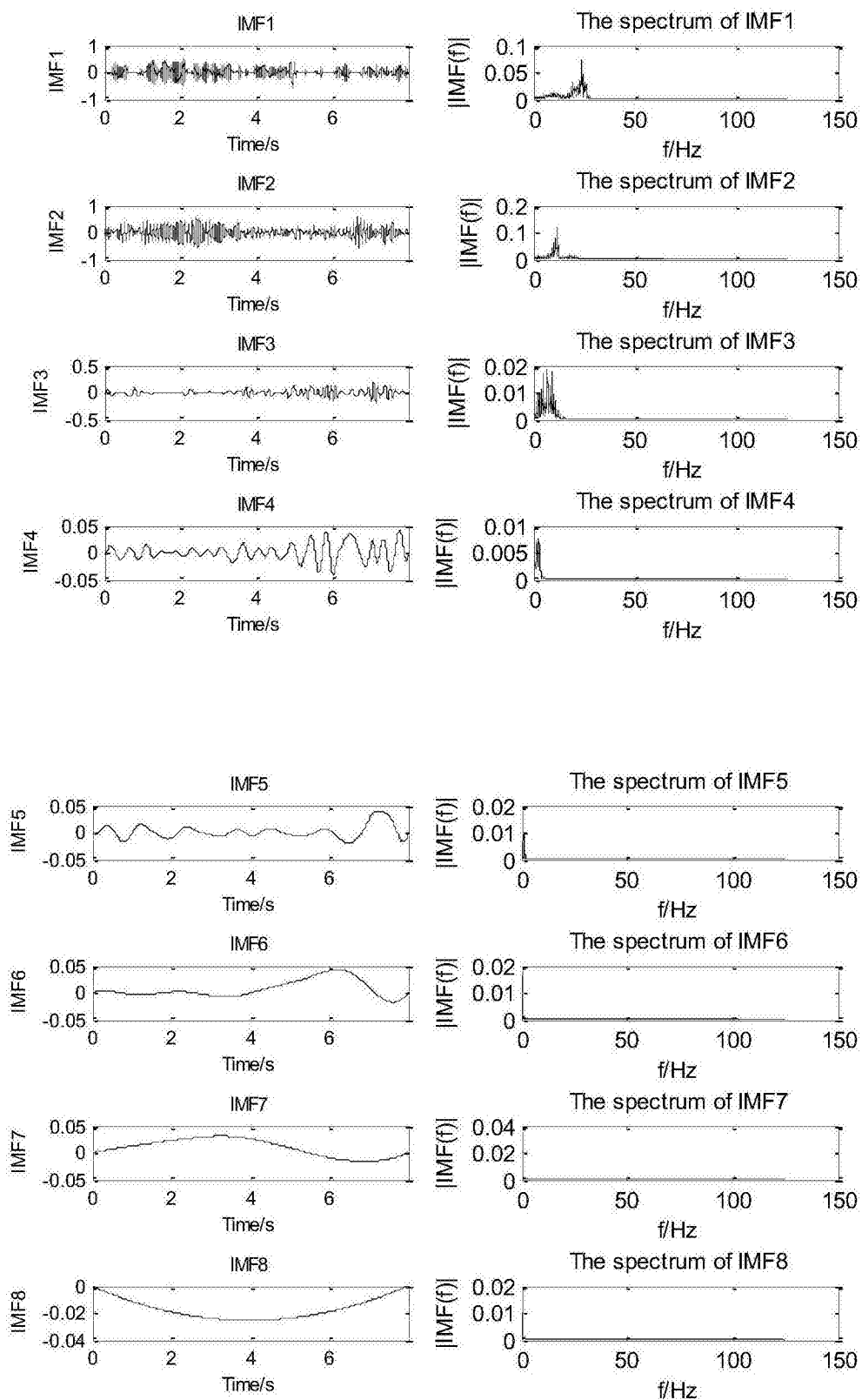


图5

专利名称(译)	基于脑电信号的改进EEMD算法		
公开(公告)号	CN108095722A	公开(公告)日	2018-06-01
申请号	CN201810093526.7	申请日	2018-01-31
[标]申请(专利权)人(译)	南京邮电大学		
申请(专利权)人(译)	南京邮电大学		
当前申请(专利权)人(译)	南京邮电大学		
[标]发明人	张学军 王龙强 何涛 成谢锋		
发明人	张学军 王龙强 何涛 成谢锋		
IPC分类号	A61B5/0476 A61B5/00 G06K9/00		
CPC分类号	A61B5/04012 A61B5/0476 A61B5/72 G06K9/0051 G06K9/0057		
代理人(译)	杨晓玲		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于脑电信号的改进EEMD算法，该方法首先基于脑电信号的先验知识，选取 μ 节律频段(8-12Hz)和 β 节律频段(18-26Hz)分别设计两个带通滤波器；利用上述带通滤波器对全带高斯白噪声进行滤波处理，得到两个带限高斯白噪声；最后在原始脑电信号中加入上述带限高斯白噪声 $w(t)$ ，进行经验模式分解。应用本发明算法对脑电信号进行分解，得到了频率相对集中的固有模态函数信号，各个频段的固有模态函数得以区分，大大抑制了由于经验模式分解所带来的模态混叠问题。

