



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106859641 B

(45)授权公告日 2019.08.20

(21)申请号 201710089297.7

(22)申请日 2017.02.20

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106859641 A

(43)申请公布日 2017.06.20

(73)专利权人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号

(72)发明人 孙岩丹 俞祝良 顾正晖

(74)专利代理机构 广州市华学知识产权代理有
限公司 44245

代理人 李斌

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 102835955 A,2012.12.26,

CN 104905786 A,2015.09.16,

CN 103258120 A,2013.08.21,

CN 102697493 A,2012.10.03,

US 2014/0316746 A1,2014.10.23,

US 2010/0324398 A1,2010.12.23,

审查员 陈雨羲

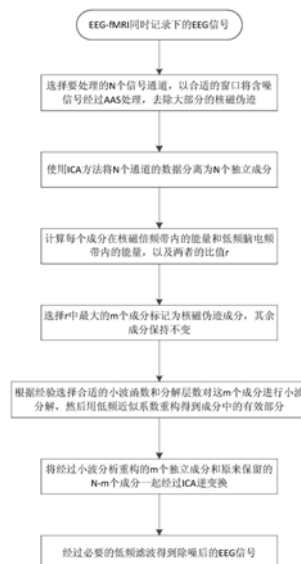
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法,所述方法包括以下步骤:1)对含有核磁伪迹的EEG信号进行基础去噪处理,得到去除了大部分核磁伪迹的EEG信号 $X'(t)$;2)对信号 $X'(t)$ 进行独立成分分离,并自动识别出其中的核磁伪迹残余成分,其余成分保持不变;3)提取步骤2)里核磁伪迹残余成分中的有效低频成分并将其保留;4)将步骤3)得到的核磁伪迹残余成分中的有效低频成分和步骤2)中保留的其余成分一起经过ICA逆变换重构,得到除噪后的EEG信号。所述在ICA的基础上根据核磁噪声的频率分布特性以及其与核磁扫描重复时间参数相关的周期特性自动选择核磁伪迹成分,并保留了其中的有用信息。



1. 一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

1) 对含有核磁伪迹的EEG信号进行基础去噪处理,得到去除了大部分核磁伪迹的EEG信号 $X'(t)$;

2) 对信号 $X'(t)$ 进行独立成分分离,并自动识别出其中的核磁伪迹残余成分,其余成分保持不变;具体过程为:将步骤1)得到的信号 $X'(t)$ 经过ICA算法进行分离得到N个独立成分 $IS(t) = [IS_1(t), IS_2(t), \dots, IS_N(t)]^T = W * X'(t)$,其中W为由ICA算法得到的解混矩阵,定义以核磁基波频率 f_b 及其各次谐波频率 $k * f_b$ 为中心频率的区间 $[k * f_b - \varepsilon, k * f_b + \varepsilon]$ 为核磁倍频带,其中 $k = 1, 2, 3 \dots K$, ε 为大于零的正数,根据要分析的相关脑电信号的特征确定低频脑电频带为 $[f_{l1}, f_{l2}]$,计算每个独立成分在核磁倍频带内的能量 A_p 和在低频脑电频带内的能量 E_p 及其比值 $r = \frac{A_p}{E_p} = [r_1, r_2, \dots, r_N]$,选择前M个最大的r值所对应的成分标记为核磁伪迹残余成分

分 $AS(t) = [AS_1(t), AS_2(t), \dots, AS_M(t)]^T$,其余成分保持不变;

3) 提取步骤2)里核磁伪迹残余成分中的有效低频成分并将其保留;

4) 将步骤3)得到的核磁伪迹残余成分中的有效低频成分和步骤2)中保留的其余成分一起经过ICA逆变换重构,得到除噪后的EEG信号。

2. 根据权利要求1所述的一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法,其特征在于:步骤1)中,所述基础去噪处理具体过程为:根据核磁扫描仪的重复时间TR和一次全脑扫描的层数确定核磁基波频率 f_b ,选择要处理的N个信号通道,将含有核磁伪迹的EEG信号 $X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T$ 经过AAS处理,得到去除了大部分核磁伪迹的EEG信号 $X'(t)$,其中N表示通道,t表示时间,T表示矩阵的转置。

3. 根据权利要求1所述的一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法,其特征在于:所述步骤3)的具体过程为:结合所要分析的EEG信号的特点和小波函数的特点确定用于提取低频EEG信号的小波函数 $\psi(t)$ 和分解层数n,对M个核磁伪迹残余成分 $AS(t)$ 分别进行小波分解得到低频近似系数 c_{An} ,其中n为分解层数,并由低频近似系数重构信号得到每个伪迹成分中所包含的低频成分 $AS'(t)$,即保存了核磁伪迹残余成分中的有效低频成分。

4. 根据权利要求3所述的一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法,其特征在于:所述步骤4)的具体过程为:将步骤3)中得到的 $AS'(t)$ 重新放回各自在N个独立成分 $IS(t)$ 中的位置,得到处理过的独立成分矩阵 $IS'(t)$,将独立成分矩阵 $IS'(t)$ 经过ICA逆变换,即 $S(t) = [S_1(t), S_2(t), \dots, S_N(t)] = W^{-1} * IS'(t)$,其中 W^{-1} 表示解混矩阵的逆矩阵,即混合矩阵,最终得到去除了核磁伪迹又保留了大部分有用信息的EEG信号 $S(t)$ 。

一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及EEG-fMRI混合脑电信号研究领域,具体涉及一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法。

背景技术

[0002] 脑电信号的研究一直是生物医学领域以及脑神经信息研究领域的重点,也是人类观察大脑工作机制探寻大脑奥秘的最基本的方式。EEG信号具有毫秒级的时间分辨率,以头皮电位的变化记录大脑的神经活动。而功能磁共振技术通过神经成像让人们更加直观的看到大脑内部的结构及其血氧活动。功能磁共振的高空间分辨率和EEG信号的高时间分辨率让他们的结合具有更重要的意义和优势。

[0003] 然而两种方法的结合也受到了很多限制,尤其是磁共振扫描给EEG记录带来的强烈干扰,主要是由于核磁扫描时梯度磁场切换引起的梯度伪迹,即本发明中所指的核磁伪迹。这种伪迹信号的典型波幅是EEG信号的100到1000倍,且它的频率通常会覆盖EEG信号的频率范围,因此用传统的去噪方法通常难以完全去除。最初由Allen等人在2000年提出的平均模板相减法(AAS),利用梯度伪迹的周期性生成平均伪迹模板,然后与当前获得的EEG信号匹配并从中减去这个模板。这个方法在大量的文献中被证实是可用的,但是它只能去除大部分的核磁伪迹,某些通道中仍然会有残留的伪迹并未去除。于是接下来Allen等人又提出了自适应去噪法(ANC)来去除残留的伪迹,但是这个方法仍然不能去除所有的残余伪迹。接下来梯度伪迹的去除引发了大量的思考和尝试,有人提出了基于PCA(主成分分析)的最优基组法来去除残余伪迹,PCA是建立在噪声信号与脑电信号不相关的假设之上的,于是有人提出了ICA(独立成分分析)的方法来去除梯度伪迹,ICA是假设信号之间不仅是不相关的,而且是互相独立的,这比PCA的假设对信号有着更强的约束。ICA在梯度伪迹,心电伪迹,眼电伪迹等的去除上都得到了比较广泛的应用,比单独的AAS能够更有效的去除核磁伪迹,但是ICA虽然能够在一定程度上分离开来脑电信号和核磁伪迹信号,但是如何自动有效的识别出伪迹成分却一直都没有一个能广泛使用的方法。现在大多数文献都是通过直观的观察信号的波形与核磁伪迹的相似程度,信号的频谱分布,脑电地形图等方法手动的选择伪迹成分,并将伪迹成分直接置零再进行ICA逆变换从而得到去噪后的信号。这样手工选择伪迹成分不仅影响处理速度,制约了ICA除噪的应用场合,比如说不能应用于在线实时去噪,而且将伪迹成分直接置零也是有风险的,很有可能会丢失对研究者有用的一些成分,导致后面需要提取的特征并不明显,从而影响实验的质量。

发明内容

[0004] 本发明的目的是针对上述现有技术的不足,提供了一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法,该方法在ICA的基础上根据核磁噪声的频率分布特性以及其与核磁扫描重复时间参数相关的周期特性自动选择核磁伪迹成分,并保留了其中的有用信息。

[0005] 本发明的目的可以通过如下技术方案实现:

[0006] 一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法,所述方法包括以下步骤:

[0007] 1) 对含有核磁伪迹的EEG信号进行基础去噪处理,得到去除了大部分核磁伪迹的EEG信号 $X'(t)$;

[0008] 2) 对信号 $X'(t)$ 进行独立成分分离,并自动识别出其中的核磁伪迹残余成分,其余成分保持不变;

[0009] 3) 提取步骤2) 里核磁伪迹残余成分中的有效低频成分并将其保留;

[0010] 4) 将步骤3) 得到的核磁伪迹残余成分中的有效低频成分和步骤2) 中保留的其余成分一起经过ICA逆变换重构,得到除噪后的EEG信号。

[0011] 其中,步骤1) 中,所述基础去噪处理具体过程为:根据核磁扫描仪的重复时间TR和一次全脑扫描的层数确定核磁基波频率 f_b ,选择要处理的N个信号通道,将含有核磁伪迹的EEG信号 $X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T$ 经过AAS处理,得到去除了大部分核磁伪迹的EEG信号 $X'(t)$,其中N表示通道,t表示时间,T表示矩阵的转置。

[0012] 其中,所述步骤2) 的具体过程为:将步骤1) 得到的信号 $X'(t)$ 经过ICA算法进行分离得到N个独立成分 $IS(t) = [IS_1(t), IS_2(t), \dots, IS_N(t)]^T = W * X'(t)$,其中W为由ICA算法得到的解混矩阵,定义以核磁基波频率 f_b 及其各次谐波频率 $k * f_b$ 为中心频率的区间 $[k * f_b - \varepsilon, k * f_b + \varepsilon]$ 为核磁倍频带,其中 $k = 1, 2, 3 \dots K$, ε 为大于零的正数,根据要分析的相关脑电信号的特征确定低频脑电频带为 $[f_{11}, f_{12}]$,计算每个独立成分在核磁倍频带内的能量 A_p 和在低频脑电频带内的能量 E_p 及其比值 $r = \frac{A_p}{E_p} = [r_1, r_2, \dots, r_N]$,选择前M个最大的r值所对应的成分

标记为核磁伪迹残余成分 $AS(t) = [AS_1(t), AS_2(t), \dots, AS_M(t)]^T$,其余成分保持不变。

[0013] 其中,所述步骤3) 的具体过程为:结合所要分析的EEG信号的特点和小波函数的特点确定用于提取低频EEG信号的小波函数 $\psi(t)$ 和分解层数n,对M个核磁伪迹残余成分 $AS(t)$ 分别进行小波分解得到低频近似系数 cA_n ,其中n为分解层数,并由低频近似系数重构信号得到每个伪迹成分中所包含的低频成分 $AS'(t)$,即保存了核磁伪迹残余成分中的有效低频成分。

[0014] 其中,所述步骤4) 的具体过程为:将步骤3) 中得到的 $AS'(t)$ 重新放回各自在N个独立成分 $IS(t)$ 中的位置,得到处理过的独立成分矩阵 $IS'(t)$,将独立成分矩阵 $IS'(t)$ 经过ICA逆变换,即 $S(t) = [S_1(t), S_2(t), \dots, S_N(t)] = W^{-1} * IS'(t)$,其中 W^{-1} 表示解混矩阵的逆矩阵,即混合矩阵,最终得到去除了核磁伪迹又保留了大部分有用信息的EEG信号 $S(t)$ 。

[0015] 本发明与现有技术相比,具有如下优点和有益效果:

[0016] 1、本发明通过利用核磁伪迹的频率分布特性和周期特性,从而实现了ICA处理后核磁伪迹成分的自动识别与分析,避免了手动选择的不便性。

[0017] 2、本发明在自动识别伪迹成分的基础上使用小波分析保留了核磁伪迹成分中的有效成分,通过与直观选取伪迹成分并将伪迹成分直接置零的单独ICA方法相比,进一步减小了信息的损失。

附图说明

[0018] 图1为本发明所述方法的流程图。

[0019] 图2为本发明实施例含有核磁噪声的脑电仿真信号经ICA分解后得到的7个独立成

分的波形图。

[0020] 图3为本发明实施例含有核磁噪声的脑电仿真信号经ICA分解后得到的7个独立成分在核磁倍频带内的能量和EEG低频带内的能量分布图。

[0021] 图4为本发明实施例脑电仿真信号采用本发明所述方法模拟去噪得到的P300波形与原始信号的P300波形对比图。

[0022] 图5为本发明实施例脑电仿真信号采用单独ICA方法模拟去噪得到的P300波形与原始信号的P300波形对比图。

[0023] 图6为本发明实施例真实脑电信号采用本发明所述方法模拟去噪得到的P300波形和采用单独ICA方法模拟去噪得到的P300波形对比图。

具体实施方式

[0024] 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。

[0025] 实施例:

[0026] 本实施例提供了一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法,所述方法的流程图如图1所示,包括以下步骤:

[0027] 1) 对含有核磁伪迹的EEG信号进行基础去噪处理,得到去除了大部分核磁伪迹的EEG信号 $X'(t)$;

[0028] 其中,所述基础去噪处理具体过程为:根据核磁扫描仪的重复时间 TR 和一次全脑扫描的层数确定核磁基波频率 f_b ,选择要处理的 N 个信号通道,将含有核磁伪迹的EEG信号 $X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)]^T$ 经过AAS处理,得到去除了大部分核磁伪迹的EEG信号 $X'(t)$,其中 N 表示通道, t 表示时间, T 表示矩阵的转置。

[0029] 2) 对信号 $X'(t)$ 进行独立成分分离,并自动识别出其中的核磁伪迹残余成分,其余成分保持不变;

[0030] 具体过程为:将步骤1)得到的信号 $X'(t)$ 经过ICA算法进行分离得到 N 个独立成分 $IS(t) = [IS_1(t), IS_2(t), \dots, IS_N(t)]^T = W * X'(t)$,其中 W 为由ICA算法得到的解混矩阵,定义以核磁基波频率 f_b 及其各次谐波频率 $k * f_b$ 为中心频率的区间 $[k * f_b - \epsilon, k * f_b + \epsilon]$ 为核磁倍频带,其中 $k = 1, 2, 3 \dots K$, ϵ 为大于零的正数,根据要分析的相关脑电信号的特征确定低频脑电频带为 $[f_{11}, f_{12}]$,计算每个独立成分在核磁倍频带内的能量 A_p 和在低频脑电频带内的能量

E_p 及其比值 $r = \frac{A_p}{E_p} = [r_1, r_2, \dots, r_N]$,选择前 M 个最大的 r 值所对应的成分标记为核磁伪迹残余

成分 $AS(t) = [AS_1(t), AS_2(t), \dots, AS_M(t)]^T$,其余成分保持不变。

[0031] 3) 提取步骤2)里核磁伪迹残余成分中的有效低频成分并将其保留;

[0032] 具体过程为:结合所要分析的EEG信号的特点和小波函数的特点确定用于提取低频EEG信号的小波函数 $\psi(t)$ 和分解层数 n ,对 M 个核磁伪迹残余成分 $AS(t)$ 分别进行小波分解得到低频近似系数 cA_n ,其中 n 为分解层数,并由低频近似系数重构信号得到每个伪迹成分中所包含的低频成分 $AS'(t)$,即保存了核磁伪迹残余成分中的有效低频成分。

[0033] 4) 将步骤3)得到的核磁伪迹残余成分中的有效低频成分和步骤2)中保留的其余成分一起经过ICA逆变换重构,得到除噪后的EEG信号。

[0034] 具体过程为:将步骤3)中得到的 $AS'(t)$ 重新放回各自在 N 个独立成分 $IS(t)$ 中的位置,得到处理过的独立成分矩阵 $IS'(t)$,将独立成分矩阵 $IS'(t)$ 经过ICA逆变换,即 $S(t) = [S_1(t), S_2(t), \dots, S_N(t)] = W^{-1} * IS'(t)$,其中 W^{-1} 表示解混矩阵的逆矩阵,即混合矩阵,最终得到去除了核磁伪迹又保留了大部分有用信息的EEG信号 $S(t)$ 。

[0035] 下面按照上述方法对仿真信号和真实脑电信号中的核磁伪迹进行去除,并与单独使用ICA并置零的方法进行对比。

[0036] 一、仿真信号中核磁伪迹的去除

[0037] 步骤一:构造仿真信号 $X(t) = EEG + T + n_0(t)$,其中EEG是在无核磁干扰环境下进行P300字符识别实验得到的纯净的脑电信号,采用32导联电极帽采集脑电数据,取后脑勺区域的7个通道(P3,P4,O1,O2,Pz,Oz,P0z)的数据做分析,即 $N=7$, T 表示在核磁环境下采集到的数据中提取出来的核磁伪迹模板,将模板叠加到EEG每个通道的信号上,并加入随机噪声 $n_0(t)$,便得到含有核磁噪声的脑电信号 $X(t)$,本实验中 $TR=2s$,所以基波频率 $f_b=14Hz$ 。将 $X(t)$ 经过 $W=20$ 的AAS处理得到 $X'(t)$;

[0038] 步骤二:将步骤一得到的 $X'(t)$ 经过ICA分解得到7个独立成分,得到的7个独立成分的波形图如图2所示,计算每个独立成分在核磁倍频带内的能量与低频脑电频带内的能量分布,结果如图3所示,计算其比值,将第一个比值最大的独立成分标记为伪迹成分;

[0039] 步骤三:选用db8小波函数,将第一个伪迹成分分解至第5层,用低频近似系数重构,保留包含在其中的有效低频成分;

[0040] 步骤四:将经过小波处理的第1个独立成分和其余6个独立成分一起经过ICA逆变换得到除噪后的信号,最后将得到的估计信号 EEG' 通过低通滤波以便提取P300信号特征。

[0041] 最终分别对比由原始EEG信号所提取的P300波形和仿真信号经过该发明所述方法去噪所得到的P300波形,对比图如图4所示,以及原始EEG信号的P300波形和仿真信号经过单独ICA方法去噪所得到的P300波形,对比图如图5所示,其中点画线代表原始信号的波形,虚线代表仿真信号经过去噪处理得到的P300波形,通过对比,显然使用本发明所述方法重构的信号与原始信号所提取的P300信号最为接近,而单独ICA方法显然损失了有用的信息。

[0042] 二、真实脑电信号中核磁伪迹的去除

[0043] 分别使用本发明所述方法和单独ICA方法来处理在核磁环境下进行P300字符识别实验所得到的实验数据,经过ICA分解后,根据经验将前3个成分标记为核磁伪迹残余,选择db8小波进行分解保留低频成分,将采用两种方法的处理结果所提取出来的P300信号进行对比,如图6所示,图中 S_0 表示由单独ICA方法得到的EEG信号, S_1 表示采用本发明所述方法得到的EEG信号。显然本发明所述方法得到的波形特征更为明显,尤其是在第8个通道中,将伪迹成分直接置零的方式会损失感兴趣的信息,使特征难以辨认。

[0044] 在MRI扫描下同步记录EEG信号,采集20个目标字符所对应的实验数据,使用两种验证方法对两种去噪方法的结果进行验证:1、将整个样本集作为训练集进行训练得到分类器,使用该分类器对整个样本集进行分类,即模拟在线分类;2、留一验证,每次轮流将20个样本集中的一个字符拿出来当做测试集,其余的作为训练集。验证结果如表1所示。

[0045]

方法	模拟在线分类正确率	留一验证正确率
----	-----------	---------

单独ICA方法	39%	5%
本发明提出的方法	53%	19%

[0046] 表1

[0047] 从表1中可以看出本发明所述方法所处理的EEG信号特征更加明显,分类正确率更高,以上充分表明本发明不仅能够有效去除核磁噪声,而且减小了信息损失。

[0048] 以上所述,仅为本发明专利较佳的实施例,但本发明专利的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明专利所公开的范围内,根据本发明专利的技术方案及其发明专利构思加以等同替换或改变,都属于本发明专利的保护范围。

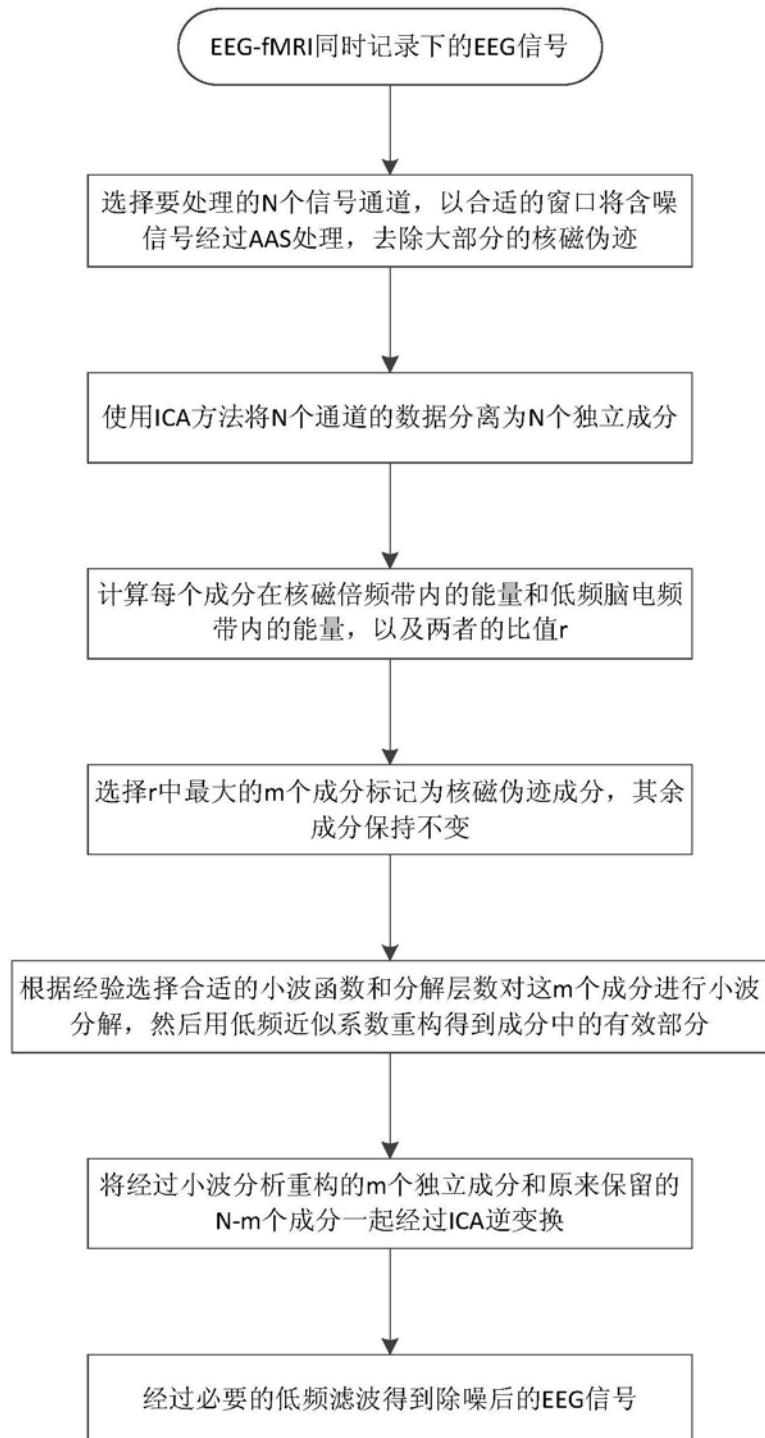


图1

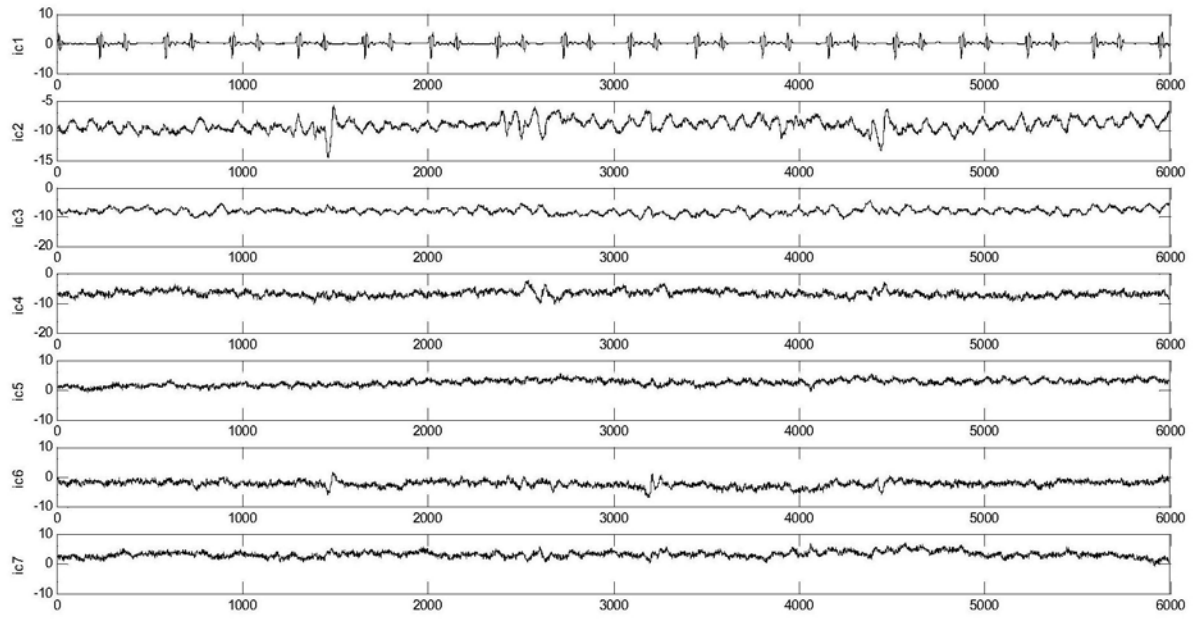


图2

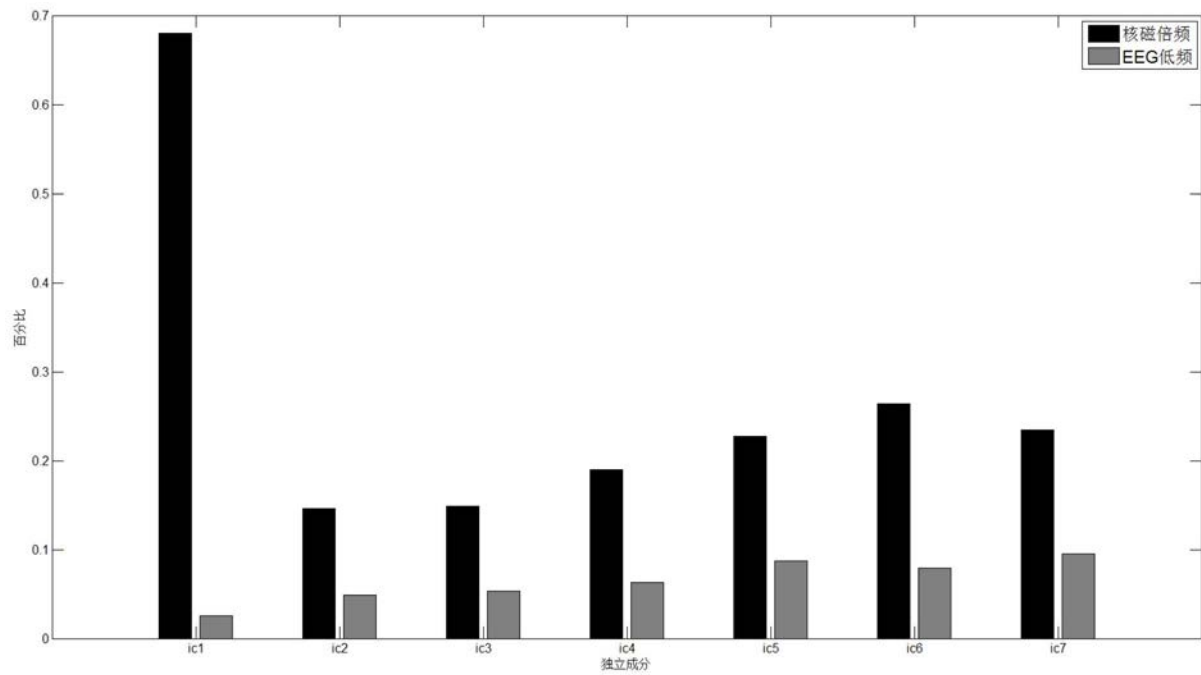


图3

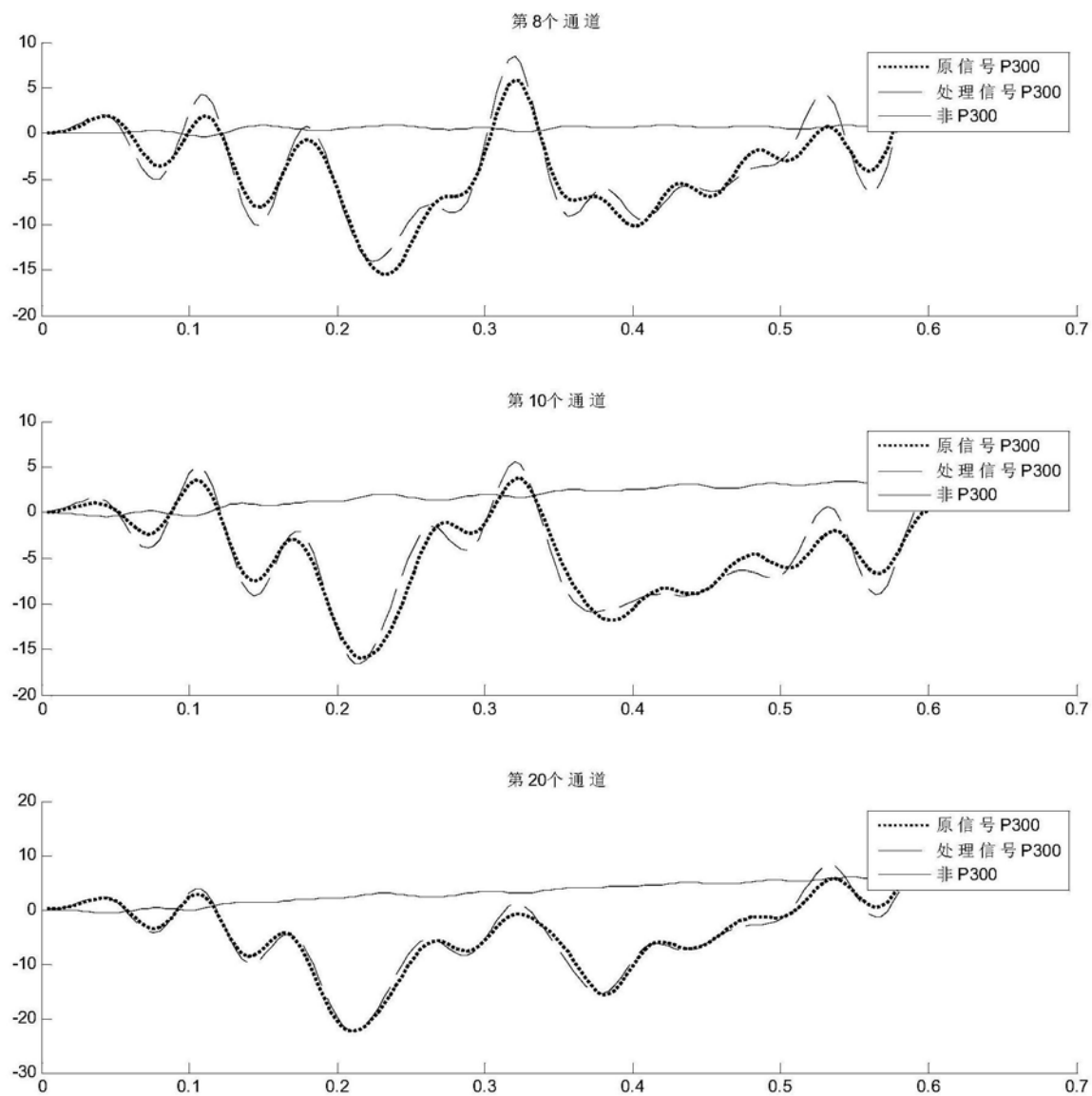


图4

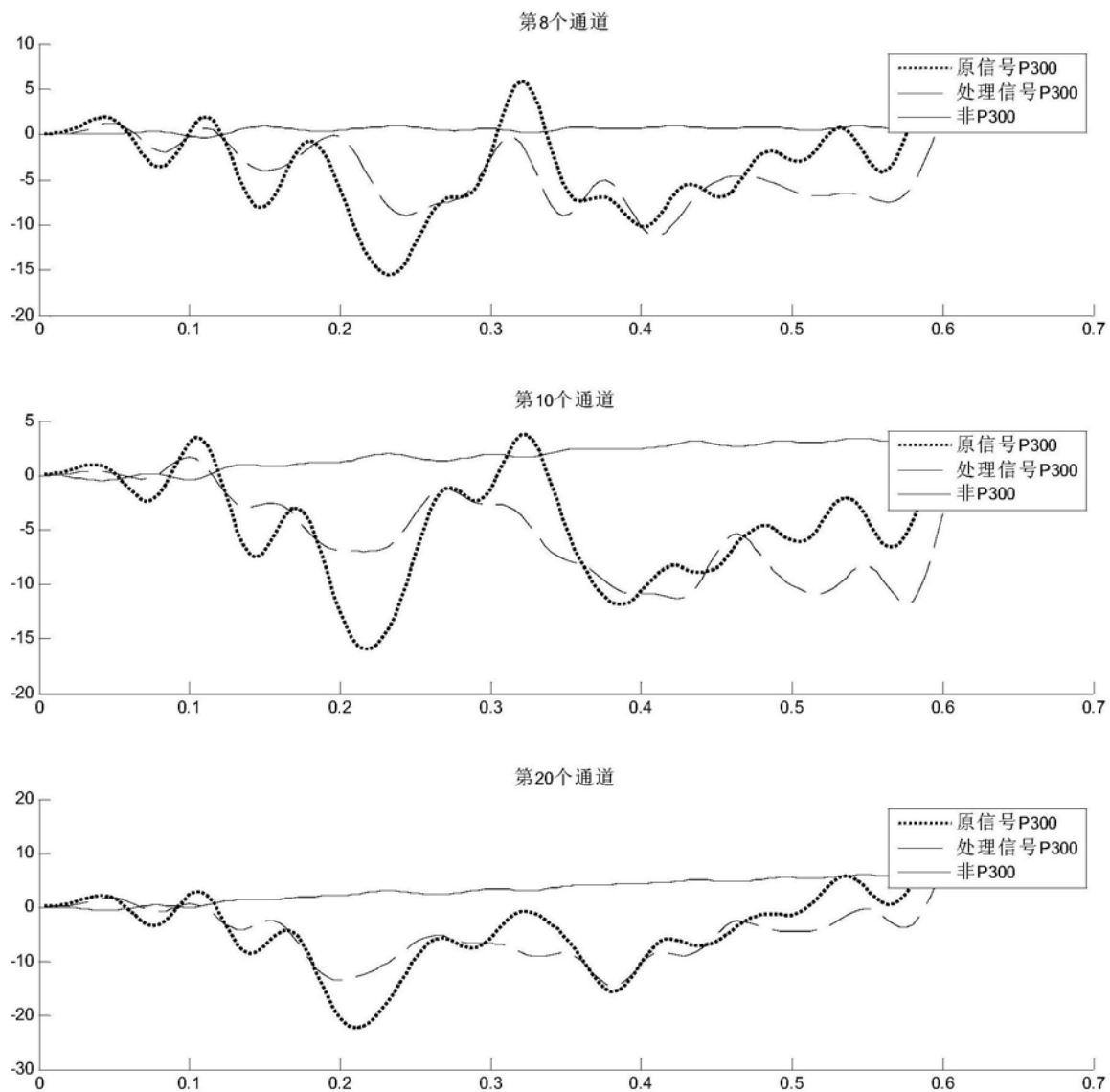


图5

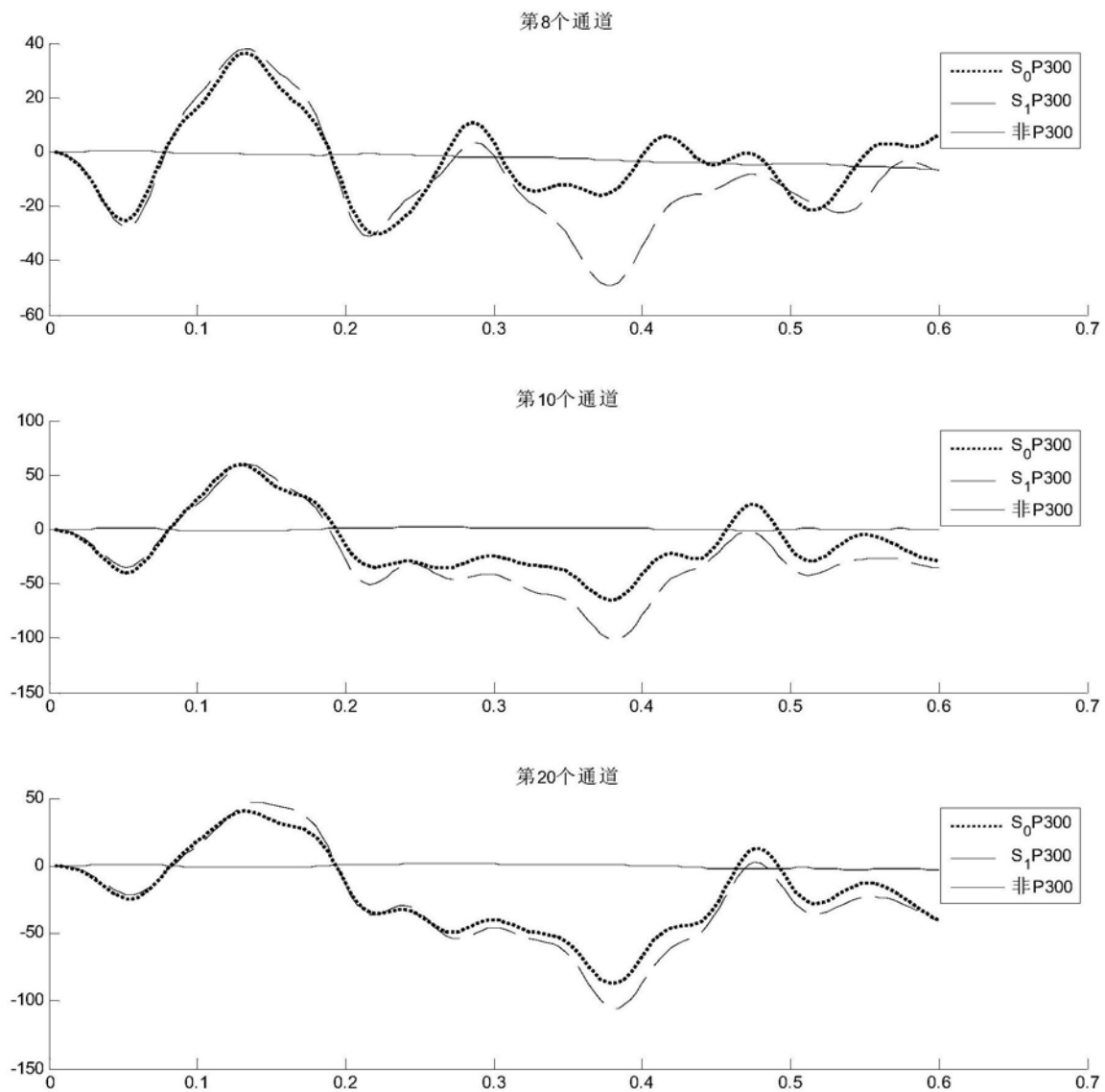


图6

专利名称(译)	一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法		
公开(公告)号	CN106859641B	公开(公告)日	2019-08-20
申请号	CN2017110089297.7	申请日	2017-02-20
[标]申请(专利权)人(译)	华南理工大学		
申请(专利权)人(译)	华南理工大学		
当前申请(专利权)人(译)	华南理工大学		
[标]发明人	孙岩丹 俞祝良 顾正晖		
发明人	孙岩丹 俞祝良 顾正晖		
IPC分类号	A61B5/0476 A61B5/00		
代理人(译)	李斌		
其他公开文献	CN106859641A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于自动ICA去除EEG信号中核磁伪迹的方法，所述方法包括以下步骤：1)对含有核磁伪迹的EEG信号进行基础去噪处理，得到去除了大部分核磁伪迹的EEG信号 $X\&\#39;(t)$ ；2)对信号 $X\&\#39;(t)$ 进行独立成分分离，并自动识别出其中的核磁伪迹残余成分，其余成分保持不变；3)提取步骤2)里核磁伪迹残余成分中的有效低频成分并将其保留；4)将步骤3)得到的核磁伪迹残余成分中的有效低频成分和步骤2)中保留的其余成分一起经过ICA逆变换重构，得到除噪后的EEG信号。所述在ICA的基础上根据核磁噪声的频率分布特性以及其与核磁扫描重复时间参数相关的周期特性自动选择核磁伪迹成分，并保留了其中的有用信息。

