



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109820503 A
(43)申请公布日 2019.05.31

(21)申请号 201910283246.7

(22)申请日 2019.04.10

(71)申请人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市包河区屯溪路
193号

(72)发明人 陈勋 李路畅 成娟 刘爱萍
李畅 刘羽 宋仁成

(74)专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有
限责任公司 34101

代理人 陆丽莉 何梅生

(51)Int.Cl.

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

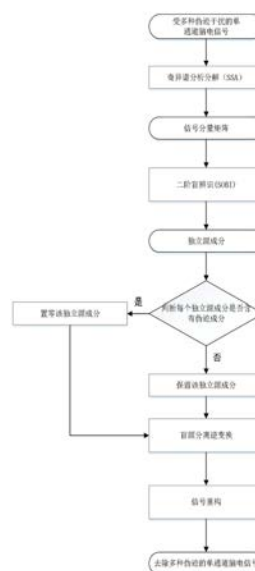
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

单通道脑电信号中多种伪迹同步去除方法

(57)摘要

本发明公开了一种单通道脑电信号中多种伪迹同步去除方法,其步骤包括:1,首先用奇异谱分析对单通道脑电信号进行分解,得到多维的信号分量矩阵;2,使用二阶盲辨识方法对信号分量矩阵进行盲源分离,得到多个独立源成分;3,挑选含有伪迹的独立源成分并将其置零;4,将置零后的独立源成分进行盲源分离逆变换,重建得到干净的单通道脑电信号。本发明实现了单通道脑电信号中多种伪迹(肌电、眼电、心电伪迹)的同时去除,并有效保留了信号中的脑电成分。



1. 一种单通道脑电信号中多种伪迹同步去除方法,所述多种伪迹包括:肌电伪迹、眼电伪迹和心电伪迹,其特征是,所述方法按如下步骤进行:

步骤一:获取C个采样点的单通道的脑电信号 $x = (x_1, x_2, \dots, x_C)$, x_C 表示第C个采样点的单通道的脑电信号;

步骤二:使用奇异谱分析法对所述单通道脑电信号 x 进行分解,得到由P个信号分量所组合的信号分量矩阵,记为: $Z = [Z_1, Z_2, \dots, Z_p, \dots, Z_P]^T$,其中, Z_p 表示单通道脑电信号 x 中第p个信号分量,T为矩阵转置,且 $1 < p < P$;

步骤三:使用二阶盲辨识方法对所述信号分量矩阵 Z 进行盲源分离,得到混合矩阵 A 、解混矩阵 W 和源信号矩阵 $S = [S_1, S_2, \dots, S_p, \dots, S_P]^T$,其中, S_p 表示第p个独立源信号,并有 $Z = AS$, $S = WZ$;

步骤四:识别所述源信号矩阵 S 中任何含有伪迹的第n个通道的源信号 S_n 并置零,从而得到不含伪迹的源信号矩阵 \tilde{S} ;

步骤五:利用式(1)对所述不含伪迹的源信号矩阵 \tilde{S} 进行盲源分离逆变换,得到去除多种伪迹后重建的信号分量矩阵 $\tilde{Z} = [\tilde{Z}_1, \tilde{Z}_2, \dots, \tilde{Z}_p, \dots, \tilde{Z}_P]^T$,其中, \tilde{Z}_p 表示第p个去除伪迹后重建的信号分量:

$$\tilde{Z} = A\tilde{S} \quad (1)$$

步骤六:利用式(2)对将所述重建的信号分量矩阵 \tilde{Z} 中的信号分量进行求和,得到去除多种伪迹后的单通道脑电信号 \tilde{x} :

$$\tilde{x} = \sum_{p=1}^P \tilde{Z}_p \quad (2)$$

2. 根据权利要求1所述的单通道脑电信号中多种伪迹同步去除方法,其特征在于,所述步骤二中是按如下过程进行:

步骤2.1: 嵌入

利用式(3)将C个采样点的单通道的脑电信号 x 转化为 $L \times K$ 的轨迹矩阵 X :

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_K) = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_K \\ x_2 & x_3 & \dots & x_{K+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_L & x_{L+1} & \dots & x_C \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)中, L 为窗口长度, K 为所述轨迹矩阵 X 的列宽,且 $K = C - L + 1$, $1 < L < C$; X_i 是第 i 个延时向量,并有 $X_i = [x_i, x_{i+1}, \dots, x_{L+i-1}]^T$, $1 \leq i \leq K$;

步骤2.2: 奇异值分解

计算协方差矩阵 $Q = XX^T$,并计算出所述协方差矩阵 Q 的特征值和特征向量,并对所述特征值进行降序排列后记为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_L$,相应的特征向量记为 $U_1, U_2, \dots, U_j, \dots, U_L$;其中, λ_j 为排列后的第 j 特征值; U_j 为排列后的第 j 特征值 λ_j 所对应的特征向量; $1 \leq j \leq L$;

利用式(4)得到第 r 个初等矩阵 E_r :

$$E_r = \sqrt{\lambda_r} U_r V_r^T \quad (4)$$

式(4)中, $r=1, 2, \dots, d$, d 是非零特征值的个数, 且 $d < L$, V_r 为第 r 个主成分, 且 $V_r = X^T U_r / \sqrt{\lambda_r}$; 从而利用式(5)得到轨迹矩阵 X 的表达式:

$$X = E_1 + E_2 + \dots + E_r + \dots + E_d \quad (5)$$

步骤2.3: 分组

将第 r 个初等矩阵 E_r 分为 M 个互不相交的组, 从而利用式(6)得到轨迹矩阵 X 的表达式:

$$X = \sum_{m=1}^M \hat{X}_m \quad (6)$$

式(6)中, \hat{X}_m 表示第 m 组初等矩阵; $1 \leq m \leq M$;

步骤2.4: 重构

利用对角平均公式将所述第 m 组初等矩阵 \hat{X}_m 转换为长度为 C 的时间序列 x_m , 从而利用式(7)得到 C 个采样点的单通道的脑电信号 x 的表达式:

$$x = \sum_{m=1}^M x_m \quad (7)。$$

单通道脑电信号中多种伪迹同步去除方法

技术领域

[0001] 本发明属于脑电信号处理技术领域,具体涉及一种基于奇异谱分析和二阶盲辨识方法相联合,从单通道脑电信号中同时去除多种伪迹(肌电、眼电、心电伪迹)的新方法,主要应用于脑电信号的预处理。

背景技术

[0002] 脑电信号(Electroencephalogram, EEG)是大脑神经细胞的电生理活动在大脑皮层或头皮表面的总体反应,蕴含着丰富的生理信息。随着技术的发展,EEG信号的应用也越来越广泛。通常情况下,采用脑电图机采集EEG信号时,EEG信号极易受到各种伪迹的干扰。伪迹的种类典型的有肌电(Electromyography, EMG)、眼电(Electrooculogram, EOG)和心电(Electrocardiography, ECG)。这些伪迹的存在使得后续脑电信号分析变得困难,有时甚至只能完全舍弃这些数据。因此,EEG信号中伪迹去除对神经科学研究有着重要的现实意义。

[0003] 传统的脑电采集设备一般会同时采集多个通道的脑电信号。然而,随着便携式脑电采集设备的发展,如今很多设备都只能采集一个通道的脑电信号。对于多通道的脑电信号来说,目前比较认可的伪迹去除方法是盲源分离方法。盲源分离的目的是从观测信号中分离出不同的信号源并得到混合矩阵。其中最常用的盲源分离方法是独立成分分析(independent component analysis, ICA)、典型相关分析(canonical correlation analysis, CCA)及独立向量分析(independent vector analysis, IVA)。盲源分离方法应用于脑电信号中伪迹去除的原理是,该方法从多通道的观测信号中提取出一系列独立源成分。然后通过将这些源成分中代表伪迹的部分去除,最后通过逆盲源分离得到去除伪迹后的多通道观测信号。由于盲源分离方法要求观测信号的通道数是大于分离出来的源成分个数的,因此盲源分离方法不能直接应用于单通道脑电信号中的伪迹去除。为了解决该问题,有学者提出将信号分解方法与盲源分离方法结合,来对单通道脑电进行伪迹去除。例如,有学者提出将集合经验模态分解(ensemble empirical mode decomposition, EEMD)与ICA结合进行单通道脑电信号中EOG和EMG伪迹的去除(B. Mijovic, M. De Vos, I. Gligorijevic, J. Taelman, and S. Van Huffel, "Source separation from single-channel recordings by combining empirical-mode decomposition and independent component analysis," IEEE transactions on biomedical engineering, vol. 57, no. 9, pp. 2188-2196, 2010.)。还有学者提出结合EEMD与CCA或IVA结合进行单通道脑电信号中EMG伪迹的去除(X. Chen, A. Liu, H. Peng, and R. K. Ward, "A preliminary study of muscular artifact cancellation in single-channel eeg," Sensors, vol. 14, no. 10, pp. 18370-18389, 2014.)。

[0004] 目前学者们所提出的单通道脑电信号中伪迹去除方法,大多只是针对某种特定的伪迹种类。然而实际情况中,脑电信号很容易被多种伪迹同时干扰。由于每种伪迹所拥有的特性差异较大,之前所提出的单通道脑电中伪迹去除算法可能并不适用于脑电信号被多种伪迹同时干扰的情况。此外,目前最被广泛接受的EEMD与盲源分离结合的单通道脑电伪迹

去除算法中,所使用的EEMD方法也具有一定局限性。如EEMD会将单通道脑电信号分解在不同频带内,然而伪迹信号的频率很可能是与脑电信号有大部分重叠的。另有研究指出,基于EEMD的方法会受到边缘效应的影响(Y.Guo,S.Huang,Y.Li,and G.R.Naik,“Edge effect elimination in single-mixture blind source separation,”Circuits,Systems,and Signal Processing,vol.32,no.5,pp.2317-2334,2013.)。

发明内容

[0005] 本发明为了克服上述现有技术所存在的不足,提出了一种单通道脑电信号中多种伪迹同步去除方法,以期能在大多数情况下尽可能去除各种伪迹对脑电信号的影响,同时保留有用的脑电信息,为后续脑电信号的分析提供帮助。

[0006] 本发明为解决技术问题,采用如下技术方案:

[0007] 本发明一种单通道脑电信号中多种伪迹同步去除方法,所述多种伪迹包括:肌电伪迹、眼电伪迹和心电伪迹,其特点是,所述方法按如下步骤进行:

[0008] 步骤一:获取C个采样点的单通道的脑电信号 $x = (x_1, x_2, \dots, x_C)$, x_C 表示第C个采样点的单通道的脑电信号;

[0009] 步骤二:使用奇异谱分析法对所述单通道脑电信号 x 进行分解,得到由P个信号分量所组合的信号分量矩阵,记为: $Z = [Z_1, Z_2, \dots, Z_p, \dots, Z_P]^T$,其中, Z_p 表示单通道脑电信号 x 中第p个信号分量,T为矩阵转置,且 $1 < p < P$;

[0010] 步骤三:使用二阶盲辨识方法对所述信号分量矩阵 Z 进行盲源分离,得到混合矩阵 A 、解混矩阵 W 和源信号矩阵 $S = [S_1, S_2, \dots, S_p, \dots, S_P]^T$,其中, S_p 表示第p个独立源信号,并有 $Z = AS, S = WZ$;

[0011] 步骤四:识别所述源信号矩阵 S 中任何含有伪迹的第n个通道的源信号 S_n 并置零,从而得到不含伪迹的源信号矩阵 \tilde{S} ;

[0012] 步骤五:利用式(1)对所述不含伪迹的源信号矩阵 \tilde{S} 进行盲源分离逆变换,得到去除多种伪迹后重建的信号分量矩阵 $\tilde{Z} = [\tilde{Z}_1, \tilde{Z}_2, \dots, \tilde{Z}_p, \dots, \tilde{Z}_P]^T$,其中, \tilde{Z}_p 表示第p个去除伪迹后重建的信号分量:

$$[0013] \quad \tilde{Z} = A\tilde{S} \quad (1)$$

[0014] 步骤六:利用式(2)对将所述重建的信号分量矩阵 \tilde{Z} 中的信号分量进行求和,得到去除多种伪迹后的单通道脑电信号 \tilde{x} :

$$[0015] \quad \tilde{x} = \sum_{p=1}^P \tilde{Z}_p \quad (2)。$$

[0016] 本发明所述的单通道脑电信号中多种伪迹同步去除方法的特点也在于,所述步骤二是按如下过程进行:

[0017] 步骤2.1:嵌入

[0018] 利用式(3)将C个采样点的单通道的脑电信号 x 转化为 $L \times K$ 的轨迹矩阵 X :

$$[0019] \quad X = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_K) = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_K \\ x_2 & x_3 & \dots & x_{K+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_L & x_{L+1} & \dots & x_C \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0020] 式(3)中, L 为窗口长度, K 为所述轨迹矩阵 X 的列宽, 且 $K=C-L+1, 1 < L < C$; X_i 是第 i 个延时向量, 并有 $X_i = [x_i, x_{i+1}, \dots, x_{L+i-1}]^T, 1 \leq i \leq K$;

[0021] 步骤2.2: 奇异值分解

[0022] 计算协方差矩阵 $Q=XX^T$, 并计算出所述协方差矩阵 Q 的特征值和特征向量, 并对所述特征值进行降序排列后记为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_L$, 相应的特征向量记为 $U_1, U_2, \dots, U_j, \dots, U_L$; 其中, λ_j 为排列后的第 j 特征值; U_j 为排列后的第 j 特征值 λ_j 所对应的特征向量; $1 \leq j \leq L$;

[0023] 利用式(4)得到第 r 个初等矩阵 E_r :

$$[0024] \quad E_r = \sqrt{\lambda_r} U_r V_r^T \quad (4)$$

[0025] 式(4)中, $r=1, 2, \dots, d, d$ 是非零特征值的个数, 且 $d < L, V_r$ 为第 r 个主成分, 且 $V_r = X^T U_r / \sqrt{\lambda_r}$; 从而利用式(5)得到轨迹矩阵 X 的表达式:

$$[0026] \quad X = E_1 + E_2 + \dots + E_r + \dots + E_d \quad (5)$$

[0027] 步骤2.3: 分组

[0028] 将第 r 个初等矩阵 E_r 分为 M 个互不相交的组, 从而利用式(6)得到轨迹矩阵 X 的表达式:

$$[0029] \quad X = \sum_{m=1}^M \hat{X}_m \quad (6)$$

[0030] 式(6)中, \hat{X}_m 表示第 m 组初等矩阵; $1 \leq m \leq M$;

[0031] 步骤2.4: 重构

[0032] 利用对角平均公式将所述第 m 组初等矩阵 \hat{X}_m 转换为长度为 C 的时间序列 x_m , 从而利用式(7)得到 C 个采样点的单通道的脑电信号 x 的表达式:

$$[0033] \quad x = \sum_{m=1}^M x_m \quad (7)$$

[0034] 与已有技术相比, 本发明的有益效果体现在:

[0035] 1. 本发明的步骤二在针对单通道脑电信号肌电伪迹去除的问题中, 使用奇异谱分析(Singular spectrum analysis, SSA)对单通道脑电信号进行分解。奇异谱分析是一种研究非线性时间序列数据的强大的方法, 它根据所观测到的时间序列构造出轨迹矩阵, 并对轨迹矩阵进行分解、重构, 从而提取出代表原时间序列不同成分的信号, 如长期趋势信号、周期信号、噪声信号等。该方法不需要先验知识, 不会出现模态混叠问题。SSA能够从单通道脑电信号中有效分离出各种伪迹信号, 甚至对于频谱与脑电信号混叠的伪迹成分, 也能有较好的分离效果。SSA对这些伪迹信号更准确地提取有助于后续盲源分离的实现。

[0036] 2. 本发明的步骤三至步骤五, 使用二阶盲辨识(second-order blind identification, SOBI)进行盲源分离。SOBI算法利用对一批协方差矩阵进行联合近似对角

化来实现信号的盲源分离的目的,是一种稳健的盲源分离方法。SOBI应用于多种伪迹的同时去除有如下优势:

[0037] 1) 通过最小化多个延迟的互相关,时间结构信息可以被SOBI所利用。而时间结构信息对于EMG或者EOG伪迹的提取是非常重要的,但该信息并没有被其他ICA算法所利用;

[0038] 2) SOBI是基于二阶统计量的,而其他ICA算法大多基于高阶统计量。二阶统计量相比高阶统计量的优势是使得SOBI提取的源成分对于随机噪声引起的误差敏感度低于其他ICA算法。这一点对于常被各种伪迹干扰的EEG信号来说很重要;

[0039] 3) 由于SOBI基于二阶统计量,相比其他基于高阶统计量的ICA算法,只需要使用较少的数据点便可以得到可靠的盲源分离结果。

[0040] 本发明将SSA与SOBI算法结合,相比原有的单通道脑电伪迹去除算法,能更好地实现单通道脑电信号中多种伪迹(肌电、眼电、心电伪迹)的同时去除,并且有效地保留有用的脑电信息。

附图说明

[0041] 图1为本发明方法流程图;

[0042] 图2a为干净半模拟脑电信号示意图;

[0043] 图2b为肌电、眼电、心电伪迹干扰源示意图;

[0044] 图2c为被多种伪迹(肌电、眼电、心电伪迹)干扰的单通道的模拟脑电信号示意图($\lambda=0.6$);

[0045] 图3a为通过本发明方法得到的信号分量示意图;

[0046] 图3b为通过本发明方法得到的源信号示意图;

[0047] 图3c为通过本发明方法得到的去除多种伪迹(肌电、眼电、心电伪迹)后的单通道脑电信号示意图;

[0048] 图4a为本发明方法与EEMD-SOBI方法处理十一个受试者的半模拟单通道脑电,其相对均方根误差取平均的比较图;

[0049] 图4b为本发明方法与EEMD-SOBI方法处理十一个受试者的半模拟单通道脑电,其相关系数取平均的比较图。

具体实施方式

[0050] 如图1所示,一种单通道脑电信号中多种伪迹(肌电、眼电、心电伪迹)的去除方法是:先用奇异谱分析对单通道脑电信号进行分解,得到多维的信号分量矩阵。再使用二阶盲辨识对信号分量矩阵进行盲源分离处理,并去除含有伪迹的源成分。最后重建数据得到去除多种伪迹后的单通道脑电信号。

[0051] 为了通过实验方式验证本发明的多种伪迹同时去除效果,下面将通过半模拟单通道脑电信号为例,并结合附图来说明单通道脑电信号中多种伪迹去除的具体实施方式。

[0052] 步骤一:获取C个采样点的单通道的脑电信号 $x_{EEG} = (x_1, x_2, \dots, x_C)$, x_C 表示第C个采样点的单通道的脑电信号;采集过程中采样率为500Hz,采样时间为10s。使用肌电采集设备采集肌电信号,记为 x_{EMG} 。通过BCI大赛IV数据库下载获取EOG信号,记为 x_{EOG} 。通过MIT-BIH数据库下载获取ECG信号,记为 x_{ECG} 。以上三个伪迹源信号都进行重新采样使其采样频率也

为500Hz,并截取采样时间为10s。如图2a所示为 x_{EEG} ,代表单通道干净脑电信号,图2b所示为三个伪迹源。通过公式 $x = x_{EEG} + \lambda \times x_{artifacts}$,人为混合干净脑电源与多种伪迹源,得到被污染的单通道脑电信号,其中 $x_{artifacts} = x_{EMG} + x_{EOG} + 0.5 \times x_{ECG}$, (由于心电伪迹一般在脑电信号中产生的干扰幅值低于肌电与眼电,因此在心电信号前面乘以系数0.5)。混合过程中信噪

比SNR设为0.5,信噪比计算公式: $SNR = \frac{RMS(x_{EEG})}{RMS(\lambda \times x_{artifacts})}$,其中RMS定义为: $RMS = \sqrt{\frac{1}{C} XX^T}$,

C为采样点个数,图2c展示了被多种伪迹污染的单通道脑电示意图。

[0053] 步骤二:使用奇异谱分析法对混合了三种伪迹的单通道脑电信号 x 进行分解,得到由 $P=13$ 个信号分量所组合的信号分量矩阵,记为: $Z = [Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_p, \dots, Z_{13}]^T$,其中, Z_p 表示单通道脑电信号 x 中第 p 个信号分量, T 为矩阵转置,且 $1 < p < P$;奇异谱分析的具体步骤为:

[0054] 步骤2.1:嵌入

[0055] 利用式(3)将 C 个采样点的单通道的脑电信号 x 转化为 $L \times K$ 的轨迹矩阵 X :

$$[0056] \quad X = (X_1, X_2, \dots, X_K) = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_K \\ x_2 & x_3 & \dots & x_{K+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_L & x_{L+1} & \dots & x_C \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0057] 式(3)中, L 为窗口长度, K 为轨迹矩阵 X 的列宽,且 $K = C - L + 1, 1 < L < C$; X_i 是第 i 个延时向量,并有 $X_i = [x_i, x_{i+1}, \dots, x_{L+i-1}]^T, 1 \leq i \leq K$;

[0058] 步骤2.2:奇异值分解

[0059] 计算协方差矩阵 $Q = XX^T$,并计算出协方差矩阵 Q 的特征值和特征向量,并对特征值进行降序排列后记为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_L$,相应的特征向量记为 $U_1, U_2, \dots, U_j, \dots, U_L$;其中, λ_j 为排列后的第 j 特征值; U_j 为排列后的第 j 特征值 λ_j 所对应的特征向量; $1 \leq j \leq L$;

[0060] 利用式(4)得到第 r 个初等矩阵 E_r :

$$[0061] \quad E_r = \sqrt{\lambda_r} U_r V_r^T \quad (4)$$

[0062] 式(4)中, $r = 1, 2, \dots, d, d$ 是非零特征值的个数,且 $d < L, V_r$ 为第 r 个主成分,且 $V_r = X^T U_r / \sqrt{\lambda_r}$;从而利用式(5)得到轨迹矩阵 X 的表达式:

$$[0063] \quad X = E_1 + E_2 + \dots + E_r + \dots + E_d \quad (5)$$

[0064] 步骤2.3:分组

[0065] 将第 r 个初等矩阵 E_r 分为 M 个互不相交的组,从而利用式(6)得到轨迹矩阵 X 的表达式:

$$[0066] \quad X = \sum_{m=1}^M \hat{X}_m \quad (6)$$

[0067] 式(6)中, \hat{X}_m 表示第 m 组初等矩阵; $1 \leq m \leq M$;

[0068] 步骤2.4:重构

[0069] 利用对角平均公式将第 m 组初等矩阵 \hat{X}_m 转换为长度为 C 的时间序列 x_m ,从而利用式(7)得到 C 个采样点的单通道的脑电信号 x 的表达式:

$$[0070] \quad x = \sum_{m=1}^M x_m \quad (7)。$$

[0071] 本步骤中,设置窗口长度 $L=130$,分组过程中前12个初等矩阵各自单独为一组,剩余的初等矩阵为一组,则共有13组。图3a展示了由奇异谱分析方法分解得到的信号分量示意图,可以看出,EKG伪迹被有效集中在了第一个信号分量中,第四和第五个信号分量中也有部分EKG伪迹。EMG伪迹被集中在了第13个信号分量中。ECG伪迹分布在第9~13个信号分量中。

[0072] 步骤三:使用二阶盲辨识方法对信号分量矩阵 Z 进行盲源分离,得到混合矩阵 A 、解混矩阵 W 和源信号矩阵 $S = [S_1, S_2, \dots, S_p, \dots, S_P]^T$,其中, S_p 表示第 p 个独立源信号,并有 $Z = AS, S = WZ$,如图3b展示了部分独立源成分,可以观察到前两个源成分中含有眼电伪迹,最后一个源中包含肌电伪迹,第7~9和第12、13个源中含有心电伪迹;

[0073] 步骤四:识别源信号矩阵 S 中任何含有伪迹的第 n 个通道的源信号 S_n 并置零,从而得到不含伪迹的源信号矩阵 \tilde{S} ;

[0074] 步骤五:利用式(1)对不含伪迹的源信号矩阵 \tilde{S} 进行盲源分离逆变换,得到去除多种伪迹后重建的信号分量矩阵 $\tilde{Z} = [\tilde{Z}_1, \tilde{Z}_2, \dots, \tilde{Z}_p, \dots, \tilde{Z}_P]^T$,其中, \tilde{Z}_p 表示第 p 个去除伪迹后重建的信号分量:

$$[0075] \quad \tilde{Z} = A\tilde{S} \quad (1)$$

[0076] 步骤六:利用式(2)对重建的信号分量矩阵 \tilde{Z} 中的信号分量进行求和,得到去除多种伪迹后的单通道脑电信号 \tilde{x} :

$$[0077] \quad \tilde{x} = \sum_{p=1}^P \tilde{Z}_p \quad (2)。$$

[0078] 如图3c为通过SSA-SOBI方法得到的去除多种伪迹(肌电、眼电、心电伪迹)后的单通道脑电信号示意图,将图3c与图2a中干净单通道脑电与图2c中混合有肌电、眼电、心电伪迹的单通道脑电信号对比,可以看出SSA-SOBI方法可以成功去除肌电、眼电、心电伪迹,并保留了原始脑电信号中的有用信息。

[0079] 为了进一步分析SSA-SOBI的伪迹去除效果,将SSA-SOBI算法与传统的EEMD-SOBI算法进行了对比,并选择了两个性能指标来评价伪迹去除效果。第一个性能指标为相对均方根误差(RRMSE),RRMSE计算了伪迹去除后的脑电与原始干净脑电的相对均方误差,RRMSE值越小,表明伪迹去除效果越好。第二个性能指标为相关系数(CC),CC计算了伪迹去除后的脑电与原始干净脑电的相似度,CC值越高,表明脑电信号恢复得越好。我们重复步骤一到步骤六,采集了11个受试者的脑电信号,进行了11次实验,并对两个性能指标取平均,画出了两种伪迹去除方法误差棒图。如图4a和图4b所示,可以看出SSA-SOBI方法的伪迹去除效果是优于EEMD-SOBI的。

[0080] 综上,本发明作为一种单通道脑电信号中多种伪迹(肌电、眼电和心电伪迹)同时去除的新方法,通过半模拟脑电信号实验证明了本方法所对于多种伪迹同时去除的有效性。本发明适用于受到多种伪迹同时干扰的单通道脑电信号,对脑电信号的进一步研究以

及单通道便携式脑电设备的发展有着重要意义。

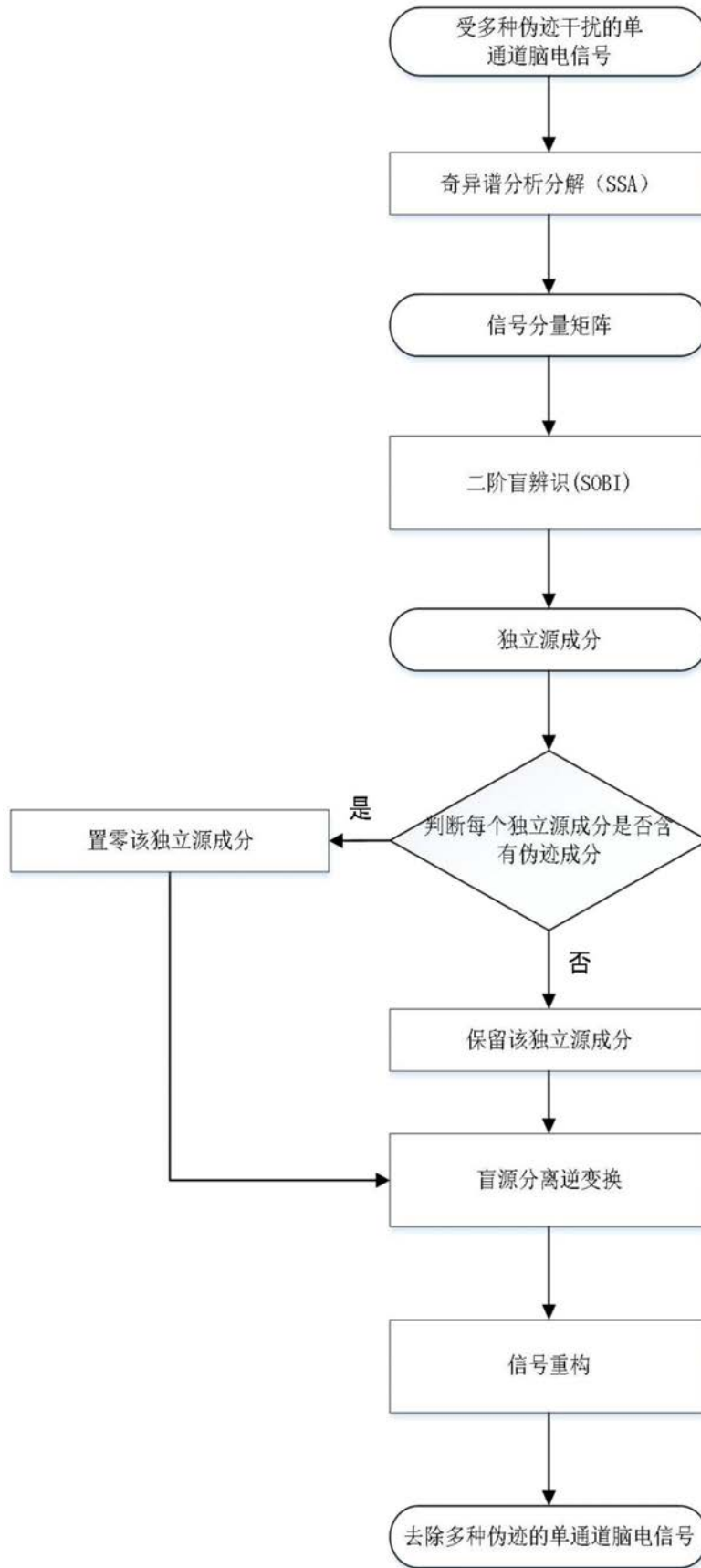


图1

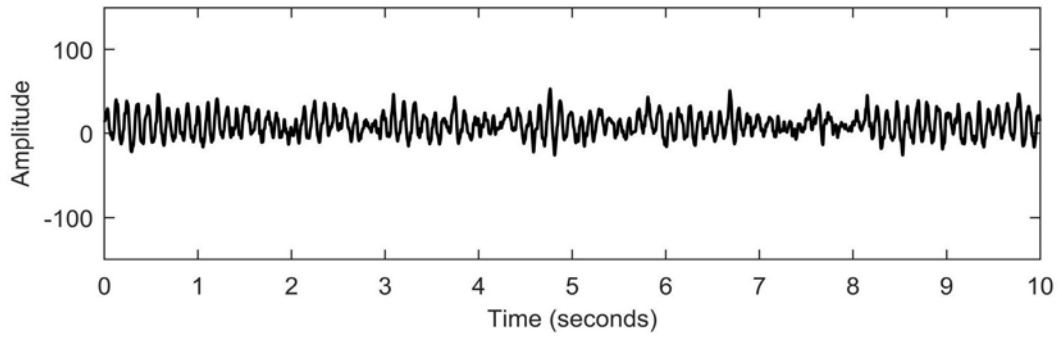


图2a

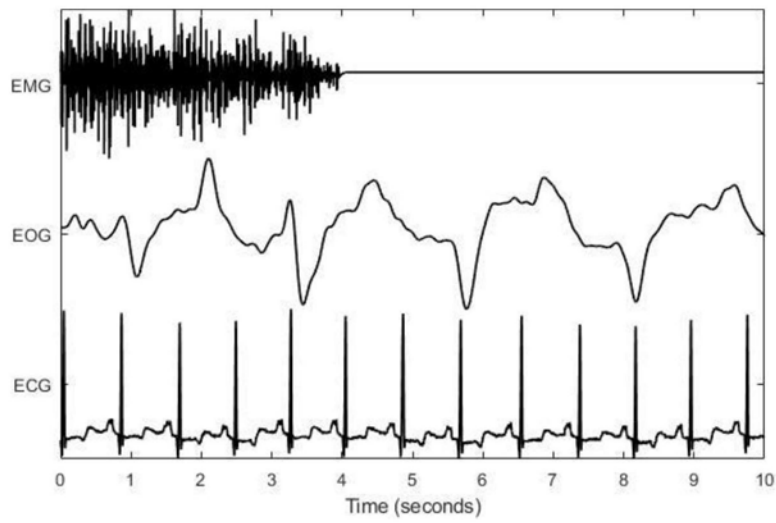


图2b

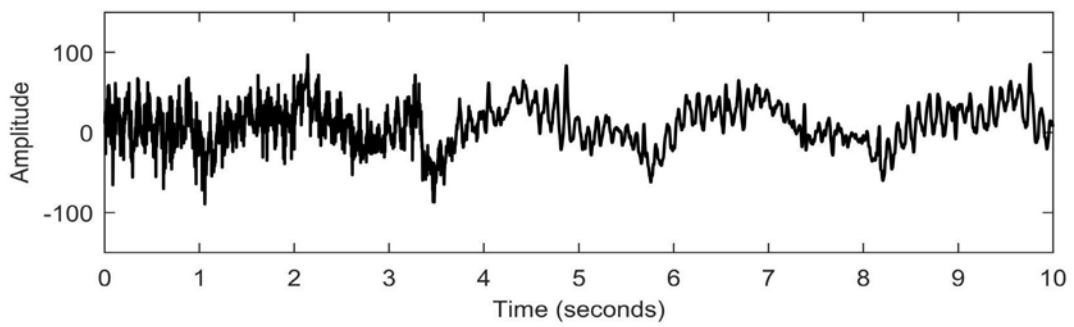


图2c

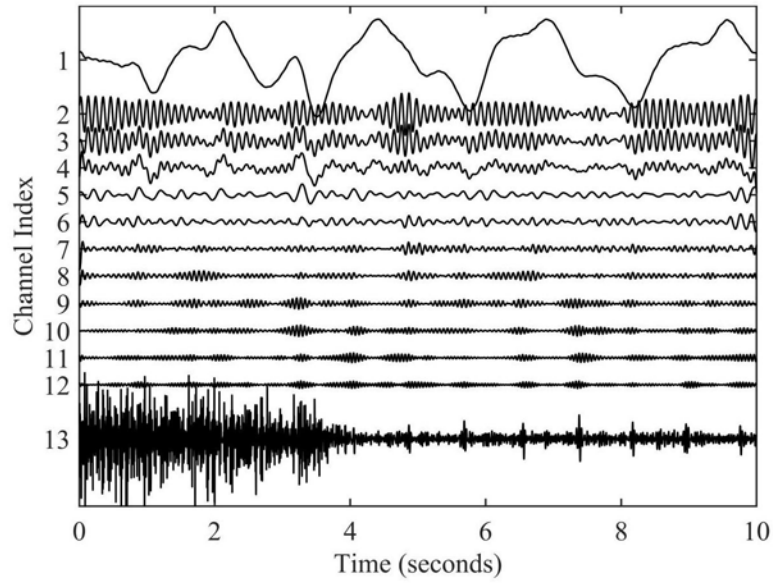


图3a

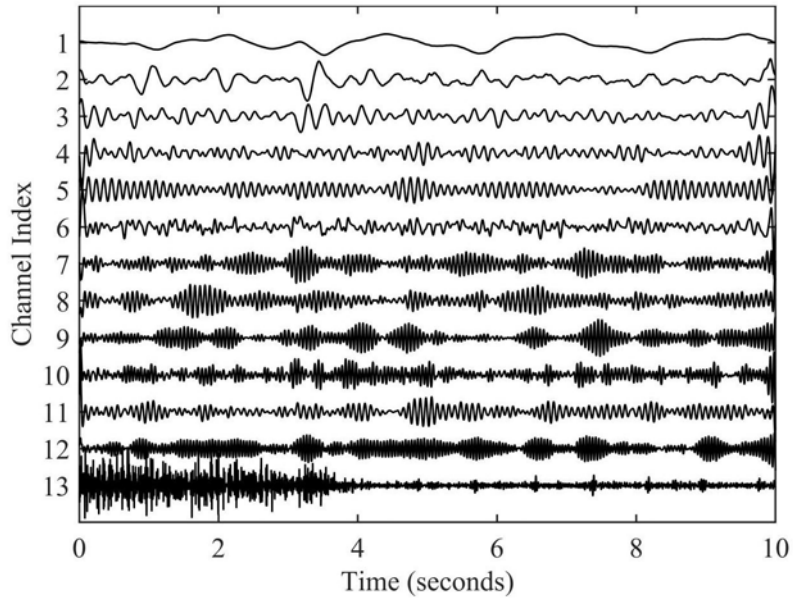


图3b

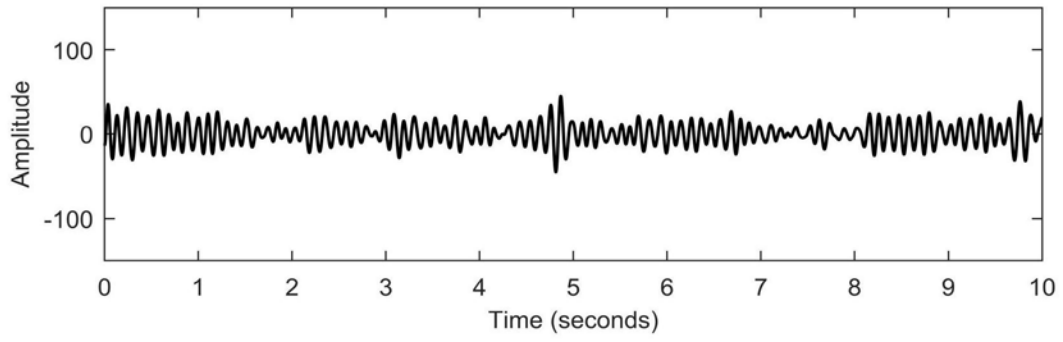


图3c

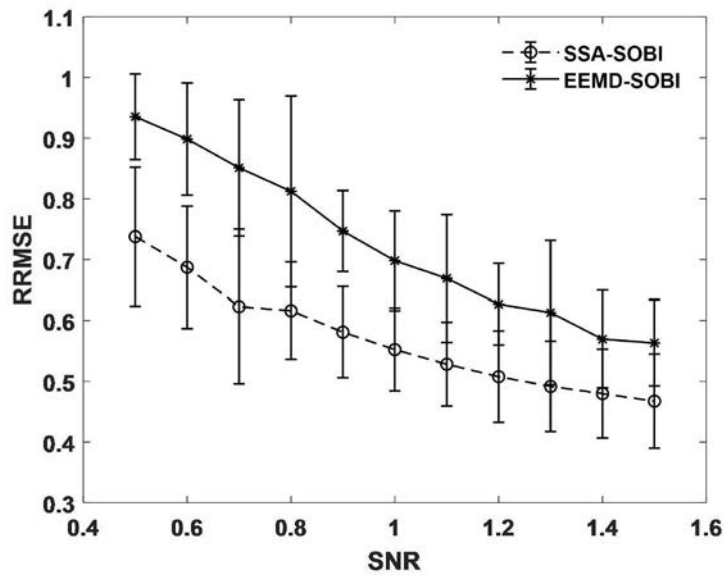


图4a

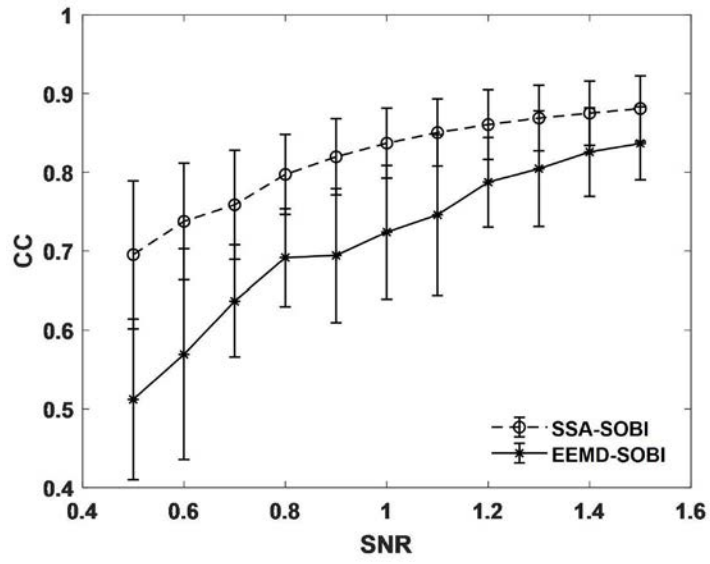


图4b

专利名称(译)	单通道脑电信号中多种伪迹同步去除方法		
公开(公告)号	CN109820503A	公开(公告)日	2019-05-31
申请号	CN201910283246.7	申请日	2019-04-10
[标]申请(专利权)人(译)	合肥工业大学		
申请(专利权)人(译)	合肥工业大学		
当前申请(专利权)人(译)	合肥工业大学		
[标]发明人	陈勋 李路畅 成娟 刘爱萍 李畅 刘羽 宋仁成		
发明人	陈勋 李路畅 成娟 刘爱萍 李畅 刘羽 宋仁成		
IPC分类号	A61B5/0476 A61B5/00		
代理人(译)	何梅生		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种单通道脑电信号中多种伪迹同步去除方法，其步骤包括：1、首先用奇异谱分析对单通道脑电信号进行分解，得到多维的信号分量矩阵；2、使用二阶盲辨识方法对信号分量矩阵进行盲源分离，得到多个独立源成分；3、挑选含有伪迹的独立源成分并将其置零；4、将置零后的独立源成分进行盲源分离逆变换，重建得到干净的单通道脑电信号。本发明实现了单通道脑电信号中多种伪迹(肌电、眼电、心电伪迹)的同时去除，并有效保留了信号中的脑电成分。

