



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106096544 B

(45)授权公告日 2019.04.23

(21)申请号 201610404549.6

CN 104138254 A,2014.11.12,

(22)申请日 2016.06.02

CN 102499664 A,2012.06.20,

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106096544 A

CN 104173051 A,2014.12.03,

(43)申请公布日 2016.11.09

Jon Erickson et al.Noninvasive Detection of Small Bowel Electrical Activity from SQUID Magnetometer Measurements using SOBI.《2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society》.2008,1871-1874页.

(73)专利权人 安徽大学
地址 230601 安徽省合肥市经济技术开发区九龙路111号

Rifai Chai et al.Classification of Driver Fatigue in an Electroencephalography-based Countermeasure System with Source Separation Module.《2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society》.2015,514-517页.

(72)发明人 张超 吴小培 何璇 吕钊
郭晓静 张磊 高湘萍

审查员 张玲

(74)专利代理机构 合肥市上嘉专利代理事务所
(普通合伙) 34125
代理人 郭华俊

(51)Int.Cl.
G06K 9/00(2006.01)
A61B 5/024(2006.01)
A61B 5/00(2006.01)

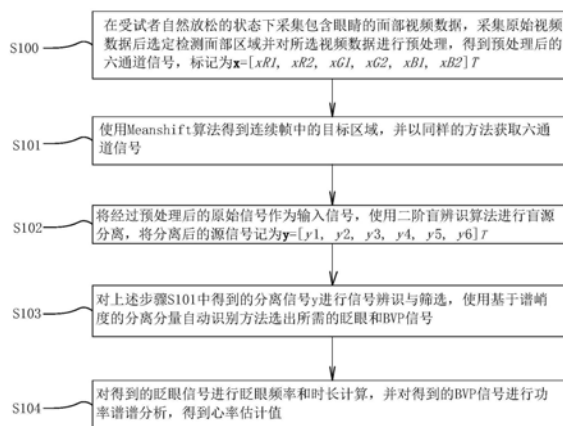
(56)对比文件
CN 101558997 A,2009.10.21,

权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称
基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统及方法

号;对得到的眨眼信号进行眨眼频率和时长计算,并对得到的BVP信号进行功率谱谱分析,得到心率估计值,本发明具有准确度高、抗干扰能力强、算法效率高等优点。

(57)摘要
本发明涉及一种基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统及方法,在受试者自然放松的状态下采集包含眼睛的面部视频数据,采集原始视频数据后选定检测面部区域并对所选视频数据进行预处理,得到预处理后的六通道信号,标记为 $x=[xR1, xR2, xG1, xG2, xB1, xB2]^T$;使用Meanshift算法得到连续帧中的目标区域,并以同样的方法获取六通道信号;将经过预处理后的原始信号作为输入信号,使用二阶盲辨识算法进行盲源分离,将分离后的源信号记为 $y=[y1, y2, y3, y4, y5, y6]^T$;对上述步骤S101中得到的分离信号y进行信号辨识与筛选,使用基于谱峭度的分离分量自动识别方法选出所需的眨眼和BVP信



CN 106096544 B

1. 基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测方法, 其特征在于: 该联合检测方法包括如下步骤:

S100、在受试者自然放松的状态下采集包含眼睛的面部视频数据, 采集原始视频数据后选定检测面部区域并对所选视频数据进行预处理, 得到预处理后的六通道信号, 标记为 $x = [x_{R1}, x_{R2}, x_{G1}, x_{G2}, x_{B1}, x_{B2}]^T$;

S101、使用Meanshift算法得到连续帧中的目标区域, 并以同样的方法获取六通道信号;

S102、将经过预处理后的原始信号作为输入信号, 使用二阶盲辨识算法进行盲源分离, 将分离后的源信号记为 $y = [y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6]^T$;

S103、对上述步骤S102中得到的分离信号 y 进行信号辨识与筛选, 使用基于谱峭度的分离分量自动识别方法选出所需的眨眼和BVP信号;

S104、对得到的眨眼信号进行眨眼频率和时长计算, 并对得到的BVP信号进行功率谱分析, 得到心率估计值。

2. 根据权利要求1所述的基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测方法, 其特征在于: 所述S100步骤中的视频数据进行预处理的方法包括帧内空间平均的步骤及高通滤波、标准化的步骤。

3. 根据权利要求2所述的基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测方法, 其特征在于: 用于进行帧内空间平均步骤的人脸区域是眼睛及眼周的小块面部区域, 帧内空间平均的步骤为:

设选取的人脸区域图像为 $x_{i,j}(t)$; $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M$, $\{x_R, x_G, x_B\}$ 为图像的R、G、B三基色分量, 对人脸视频序列先进行逐帧空间平均得到三通道信号, 即

$$x = \begin{cases} \frac{1}{MN} \sum_{x \in R} x_{i,j}(t) & i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \\ \frac{1}{MN} \sum_{x \in G} x_{i,j}(t) & i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \\ \frac{1}{MN} \sum_{x \in B} x_{i,j}(t) & i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \end{cases} = \begin{bmatrix} x_R(t) \\ x_G(t) \\ x_B(t) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} x_R(1) & x_R(2) & \dots & x_R(T) \\ x_G(1) & x_G(2) & \dots & x_G(T) \\ x_B(1) & x_B(2) & \dots & x_B(T) \end{bmatrix}$$

式中 N, M 为选定面部图像区域的高和宽, t 为每帧图像对应的时间;

对每帧图像按照视频图像宽度中线切分为两部分, 再分别按照上述方法对R、G、B三分量进行总体平均, 得到六通道数据:

$$\begin{bmatrix} x_{R,1}(t) \\ x_{R,2}(t) \\ x_{G,1}(t) \\ x_{G,2}(t) \\ x_{B,1}(t) \\ x_{B,2}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(T) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(T) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_6(1) & x_6(2) & \dots & x_6(T) \end{bmatrix}。$$

4. 根据权利要求2所述的基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测方法, 其特

征在于:用于进行高通滤波步骤的高通滤波器的截止频率为0.8Hz。

5.根据权利要求2所述的基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测方法,其特征在于:用于进行标准化步骤的计算过程为:

$$x = \frac{x - E[x]}{\sigma}$$

式中 x 为原始信号, $E[x]$ 为求均值运算, σ 为 x 中各分量的标准差。

6.根据权利要求2所述的基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测方法,其特征在于:所述步骤S100中,将 $x = [x_{R,1}, x_{R,2}, x_{G,1}, x_{G,2}, x_{B,1}, x_{B,2}]^T$ 重新定义为 $x = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]^T$,则可将混合信号生成方式表达为:

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{26} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{61} & a_{62} & \cdots & a_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_6 \end{bmatrix} = As$$

式中 A 为标量混合矩阵, $s = [s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6]^T$ 代表隐含的多个源信号,其中包含了眨眼信号分量和心跳BVP分量以及其他成分,式中的混合矩阵 A 和源 s 均未知,通过使用基于二阶盲辨识的盲分离算法可以得到对真实源 s 的估计,即满足如下关系的 y :

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{16} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{26} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{61} & w_{62} & \cdots & w_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_6 \end{bmatrix} = Wx$$

式中分离矩阵 W 为对 A^{-1} 的近似估计。

7.基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统,其特征在于:该系统包括视频信号采集与预处理模块(10)、目标跟踪模块(20)、多通道盲分离模块(30)、眨眼及BVP信号筛选模块(40)、眨眼频率计算及时长计算模块(50)与心率估计模块(60);

所述视频信号采集与预处理模块(10),用于获取人脸部图像并使用相干平均法将采集到的包含眼部区域的人脸视频数据按照R,G,B三基色通道进行空间平均,并采用图像宽度中值切分的方法得到六通道原始信号 $x = [x_{R1}, x_{G1}, x_{B1}, x_{R2}, x_{G2}, x_{B2}]^T$,同时对原始信号 x 进行高通滤波以去除信号中各分量的低频趋势并对信号进行去均值与方差归一化;

所述目标跟踪模块(20)使用Meanshift目标跟踪算法实现对选定面部区域的连续定位;

所述多通道盲分离模块(30)用于通过基于二阶盲辨识的多通道盲分离算法对原始信号 x 进行分离以得到对不同源信号的估计;

所述眨眼及BVP信号筛选模块(40)用于从分离得到的多通道数据中辨识出眨眼和BVP信号;

眨眼频率计算及时长计算模块(50)与心率估计模块(60)用于从分离得到的眨眼和BVP信号中计算得到眨眼时长、眨眼频率与心率。

8.根据权利要求7所述的基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统,其特征在于:所述视频信号采集与预处理模块(10)包括帧内空间平均单元(11)、高通滤波单元(12)及标准化单元(13)。

9. 根据权利要求8所述的基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统,其特征
在于:高通滤波单元(12)中的高通滤波器的截止频率为0.8Hz。

10. 根据权利要求8所述的基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统,其特
征在于:所述目标跟踪模块(20)使用Meanshift目标跟踪算法进行连续帧间的眼部区域定
位,所述眨眼频率计算及时长计算模块(50)与心率估计模块(60)使用计数器计算单位时
间内的眨眼次数得到眨眼频率,使用幅度门限得到眨眼脉冲的时长,使用BVP信号的功率谱峰
值 $\times 60$ 得到心率。

基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及人体体征研究应用技术领域,具体涉及一种基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统及方法。

背景技术

[0002] 眨眼和心跳作为人体的正常生理现象,两者都与个体生理状态和心理状态密切相关。心率是个体生理活动的重要指标而眨眼则能有效反映个体的心理与精神状态。随着技术的不断发展,眨眼和心率检测早已超越早期监测个体身心状态的基本目的,成为了新一代人体传感和人机交互技术的研究热点。相关的研究和工程应用在健康管理、疾病预防、特定场景下的个体状态检测、人机交互等方面具有广泛的应用前景。当前市面上已有智能手环等产品可以实现对个体的心率等指标进行接触式监测;三星、华为等知名IT厂商也将利用眨眼进行手机功能控制作为特色创新加入新的通信产品之中。由此可见,研究眨眼和心电信号的非接触式采集与分析具有巨大的实际意义。

[0003] 随着信息技术的发展,现今已有多种心率及眼动监测方法及相关的商业产品,如常用的心电图和眼动仪等。但传统检测方法需要专门的设备和人员,不仅价格昂贵,人力成本高昂,且监测过程中给用户带来明显的不适感。近年来新起的非接触式检测方法因其不适感较少的优点已被普遍应用于医学领域。目前,眨眼多以视频图像的方式进行非接触式检测而心率非接触检测方法大致可分为电磁式检测方法、基于激光的检测方法、基于图像的检测方法、电阻法和超声波法等。由于图像处理方法的不断和高性能图像采集终端的日益普及,基于图像的检测方法已经日益成为主要的非接触式生理参数检测方法。尽管基于图像的非接触式检测方法使得检测过程大为便捷,检测成本也大为降低,但要检测眨眼和心率,目前仍需要两套独立的系统,眨眼和心率两者至今没有能够合理地融入一个统一的检测框架。

[0004] PPG (PhotoPlethysmoGraphy) 技术是一种用来检测微血管中血容量变化的光学测量技术。心脏的(准)周期性搏动会引起血管的周期性收缩与舒张,由此会产生与心脏跳动同步的血液容量变化脉冲(blood volume pulse, BVP) 信号。通过对BVP信号的消噪和增强处理,可进一步获取心率、血氧饱和度和呼吸率等重要生命体征信息。在目前已提出的各种基于PPG技术的BVP信号获取方法中,基于视频图像序列的BVP获取方法因其简便的使用方法和良好的用户体验受到了广泛关注。现有基于视频图像的PPG方法总体上可归结为两类,其一,将视频图像的G通道数据提取后直接进行滤波等简单后续处理后直接得到相应指标。其优点在于算法复杂度小,但G分量数据容易受到面部整体或局部(眼睛和嘴部)运动的影响。其二,利用其他分析处理算法对R、G、B三分量进行处理,以期获得更好的BVP检测效果。但现有分析处理方法仅着眼于检测由心脏搏动产生的BVP相关信号,检测对象的类型较为单一,若能在统一的框架下进行眨眼和心跳的同步检测将大大提高系统应用范围和实际效能。

发明内容

[0005] 本发明的目的是：提供一种基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统及方法，能够同时针对眨眼与心率进行检测，提高检测的效率。

[0006] 为实现上述目的，本发明采用的技术方案是：基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测方法，该联合检测方法包括如下步骤：

[0007] S100、在受试者自然放松的状态下采集包含眼睛的面部视频数据，采集原始视频数据后选定检测面部区域并对所选视频数据进行预处理，得到预处理后的六通道信号，标记为 $x = [x_{R1}, x_{R2}, x_{G1}, x_{G2}, x_{B1}, x_{B2}]^T$ ；

[0008] S101、使用Meanshift算法得到连续帧中的目标区域，并以同样的方法获取六通道信号；

[0009] S102、将经过预处理后的原始信号作为输入信号，使用二阶盲辨识算法进行盲源分离，将分离后的源信号记为 $y = [y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6]^T$ ；

[0010] S103、对上述步骤S102中得到的分离信号 y 进行信号辨识与筛选，使用基于谱峭度的分离分量自动识别方法选出所需的眨眼和BVP信号；

[0011] S104、对得到的眨眼信号进行眨眼频率和时长计算，并对得到的BVP信号进行功率谱谱分析，得到心率估计值。

[0012] 本发明还存在以下特征：

[0013] 所述S100步骤中的视频数据进行预处理的方法包括帧内空间平均的步骤及高通滤波、标准化的步骤。

[0014] 用于进行帧内空间平均步骤的人脸区域是眼睛及眼周的小块面部区域，帧内空间平均的步骤为：

[0015] 设选取的人脸区域图像为 $x_{i,j}(t)$ ； $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M$ ， $\{x_R, x_G, x_B\}$ 为图像的R、G、B三基色分量，对人脸视频序列先进行逐帧空间平均得到三通道信号，即

$$\begin{aligned}
 [0016] \quad x &= \begin{cases} \frac{1}{MN} \sum_{x \in R} x_{i,j}(t) & i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \\ \frac{1}{MN} \sum_{x \in G} x_{i,j}(t) & i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \\ \frac{1}{MN} \sum_{x \in B} x_{i,j}(t) & i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \end{cases} = \begin{bmatrix} x_R(t) \\ x_G(t) \\ x_B(t) \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} x_R(1) & x_R(2) & \dots & x_R(T) \\ x_G(1) & x_G(2) & \dots & x_G(T) \\ x_B(1) & x_B(2) & \dots & x_B(T) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

[0017] 式(1)中 N, M 为选定面部图像区域的高和宽， t 为每帧图像对应的时间；

[0018] 对每帧图像按照视频图像宽度中线切分为两部分，再分别按照上述方法对R、G、B三分量进行总体平均，得到六通道数据：

$$[0019] \begin{bmatrix} x_{R,1}(t) \\ x_{R,2}(t) \\ x_{G,1}(t) \\ x_{G,2}(t) \\ x_{B,1}(t) \\ x_{B,2}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \cdots & x_1(T) \\ x_2(1) & x_2(2) & \cdots & x_2(T) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_6(1) & x_6(2) & \cdots & x_6(T) \end{bmatrix}$$

[0020] 用于进行高通滤波步骤的高通滤波器的截止频率为0.8Hz。

[0021] 用于进行标准化步骤的计算过程为：

$$[0022] x = \frac{x - E[x]}{\sigma}$$

[0023] 式中x为原始信号，E[x]为求均值运算， σ 为x中各分量的标准差。

[0024] 所述步骤S100中，将 $x = [x_{R,1}, x_{R,2}, x_{G,1}, x_{G,2}, x_{B,1}, x_{B,2}]^T$ 重新定义为 $x = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]^T$ ，则可将混合信号生成方式表达为：

$$[0025] x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{26} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{61} & a_{62} & \cdots & a_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_6 \end{bmatrix} = Ax$$

[0026] 式中A为标量混合矩阵， $s = [s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6]^T$ 代表隐含的多个源信号，其中包含了眨眼信号分量和心跳BVP分量以及其他成分，式中的混合矩阵A和源s均未知，通过使用基于二阶盲辨识的盲分离算法可以得到对真实源s的估计，即满足如下关系的y：

$$[0027] y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{16} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{26} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{61} & w_{62} & \cdots & w_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_6 \end{bmatrix} = Wx$$

[0028] 式中分离矩阵W为对 A^{-1} 的近似估计。

[0029] 为实现上述目的，本系统发明采用的技术方案是：基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统，该系统包括视频信号采集与预处理模块、目标跟踪模块、多通道盲分离模块、眨眼及BVP信号筛选模块、眨眼频率计算及时长计算模块与心率估计模块；

[0030] 所述视频信号采集与预处理模块，用于获取人脸部图像并使用相干平均法将采集到的包含眼部区域的人脸视频数据按照R,G,B三基色通道进行空间平均，并采用图像宽度中值切分的方法得到六通道原始信号 $x = [x_{R1}, x_{G1}, x_{B1}, x_{R2}, x_{G2}, x_{B2}]^T$ ，同时对原始信号x进行高通滤波以去除信号中各分量的低频趋势并对信号进行去均值与方差归一化；

[0031] 所述目标跟踪模块使用Meanshift目标跟踪算法实现对选定面部区域的连续定位；

[0032] 所述多通道盲分离模块用于通过基于二阶盲辨识的多通道盲分离算法对原始信号x进行分离以得到对不同源信号的估计；

[0033] 所述眨眼及BVP信号筛选模块用于从分离得到的多通道数据中辨识出眨眼和BVP信号。

[0034] 眨眼频率计算及时长计算模块与心率估计模块用于从分离得到的眨眼和BVP信号

中计算得到眨眼时长、眨眼频率与心率。

[0035] 该系统还存在以下特征：

[0036] 所述视频信号采集与预处理模块包括帧内空间平均单元、高通滤波单元及标准化单元。

[0037] 高通滤波单元中的高通滤波器的截止频率为0.8Hz。

[0038] 所述目标跟踪模块使用Meanshift目标跟踪算法进行连续帧间的眼部区域定位，所述眨眼频率计算及时长计算模块与心率估计模块使用计数器计算单位时间内的眨眼次数得到眨眼频率，使用幅度门限得到眨眼脉冲的时长，使用BVP信号的功率谱峰值 $\times 60$ 得到心率。

[0039] 与现有技术相比，本发明具备的技术效果为：本发明中借助于多通道盲分离算法实现了对眨眼和BVP信号在内的多源信号的检测。在不增加算法复杂度的情况下实现了对眨眼和BVP信号的同时提取；使用多通道盲分离算法其分离精度更高，因而可以使用仅包含单一眼部的小块面部区域视频即可实现对心率和眨眼的联合检测，使得算法的计算量进一步降低；而且使用基于谱峭度的眨眼与BVP分量自动识别方法，能够从盲分离算法的输出信号中准确的筛选出眨眼与BVP信号，解决盲分离算法排序模糊问题；另外，使用Meanshift目标跟踪算法进行连续帧间的目标区域定位，允许使用者在采集视频图像时存在一定的自然肢体动作，具有更强的抗运动干扰性能；采用二阶盲辨识算法对信号进行盲源分离，能起到较明显的眨眼与BVP信号增强作用，在很大程度上消除光照以及外界环境变化带来的一些干扰。

[0040] 除了上面所描述的目的、特征和优点之外，本发明还有其它的目的、特征和优点。下面将参照图，对本发明作进一步详细的说明。

附图说明

[0041] 构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解，本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明，并不构成对本发明的不当限定。在附图中：

[0042] 图1是基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测方法的逻辑框图；

[0043] 图2是基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统逻辑框图；

[0044] 图3是基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测方法的基本流程图；

[0045] 图4是本发明中选取的人脸眼部区域示意图；

[0046] 图5是本发明中经过预处理模块得到的观测信号波形图；

[0047] 图6是本发明中经过二阶盲辨识算法盲源分离后的输出信号波形图；

[0048] 图7是本发明中自动筛选出的眨眼和BVP信号波形图；

[0049] 图8是基于检测出的眨眼波形计算眨眼时长和频率的示意图；

[0050] 图9是基于检测出的BVP信号计算的功率谱幅频特性图。

具体实施方式

[0051] 结合图1至图9本发明作进一步地说明：

[0052] 基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测方法，该联合检测方法包括如下步骤：

[0053] S100、在受试者自然放松的状态下采集包含眼睛的面部视频数据,采集原始视频数据后选定检测面部区域并对所选视频数据进行预处理,得到预处理后的六通道信号,标记为 $x = [x_{R1}, x_{R2}, x_{G1}, x_{G2}, x_{B1}, x_{B2}]^T$;

[0054] S101、使用Meanshift算法得到连续帧中的目标区域,并以同样的方法获取六通道信号;

[0055] S102、将经过预处理后的原始信号作为输入信号,使用二阶盲辨识算法进行盲源分离,将分离后的源信号记为 $y = [y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6]^T$;

[0056] S103、对上述步骤S102中得到的分离信号 y 进行信号辨识与筛选,使用基于谱峭度的分离分量自动识别方法选出所需的眨眼和BVP信号;

[0057] S104、对得到的眨眼信号进行眨眼频率和时长计算,并对得到的BVP信号进行功率谱谱分析,得到心率估计值。

[0058] 本发明实现了从面部有限区域视频中同步提取出眨眼和心率信号;本发明中借助于多通道盲分离算法实现了对眨眼和BVP信号在内的多源信号的检测;眨眼作为和个体心理状态密切相关的生理活动,一直以来缺乏简便高效的检测途径;本发明将传统三通道二阶盲辨识方法扩展到六通道,显著提升了传统PPG方法的多目标检测能力;在不增加算法复杂度的情况下实现了对眨眼和BVP信号的同时提取;通过判读视频统计眨眼信息发现该方法的眨眼检测正确率达到95%以上,与专用脉搏传感器的实际对比表明算法的心率检测正确率达到93%以上;表1给出了本申请书所提眨眼检测方法与传统基于EOG信号的眨眼检测方法的检测结果正确率对比。表2给出了不同使用条件下本申请书所提心率检测方法与标准脉搏血氧仪获取的心率结果对比。

[0059] 表1

[0060]

组别	第一组	第二组	第三组	第四组	平均检出率
基于 EOG 的眨眼检测	93.3%	93.4%	92.1%	94.2%	93.3%
所提方法	95.2%	95.3%	93.7%	95.8%	95.0%

[0061] 表2

[0062]

组别	第一组	第二组	第三组	第四组	平均检测正确率
标准脉搏血氧仪	75	78	72	79	
所提方法(使用者完全静止)	73	76	71	78	98%
所提方法(使用者姿态随意)	71	74	70	75	95.4%

[0063] 本发明实现了基于单一眼部区域的生理参数检测,传统方法检测眨眼和BVP信号要基于整个面部区域或者双眼区域,而本发明使用多通道盲分离算法其分离精度更高,因而可以使用仅包含单一眼部的小块面部区域视频即可实现对心率和眨眼的联合检测,使得算法的计算量进一步降低;

[0064] 本发明具有准确选择BVP信号的能力,使用基于谱峭度的眨眼与BVP分量自动识别方法,能够从盲分离算法的输出信号中准确的筛选出眨眼与BVP信号,解决盲分离算法排序

模糊问题。

[0065] 本发明具有较强的抗干扰能力,本发明使用Meanshift目标跟踪算法进行连续帧间的目标区域定位,允许使用者在采集视频图像时存在一定的自然肢体动作,具有更强的抗运动干扰性能;本发明采用二阶盲辨识算法对信号进行盲源分离,能起到较明显的眨眼与BVP信号增强作用,在很大程度上消除光照以及外界环境变化带来的一些干扰;

[0066] 眨眼与心率除了与身体的健康状态有关之外,还与个体行为动作,情绪变化等因素直接相关。此外,从非传统生理监护领域看,眨眼与心率可作为全新的人机交互的信息接口,在游戏、虚拟视觉、安全监控、测谎等方面都有广泛的应用前景。

[0067] 总之,本发明具有准确度高、抗干扰能力强、算法效率高等优点,具有较为广阔的应用前景。

[0068] 所述S100步骤中的视频数据进行预处理的方法包括帧内空间平均的步骤及高通滤波、标准化的步骤。

[0069] 用于进行帧内空间平均步骤的人脸区域是眼睛及眼周的小块面部区域,帧内空间平均的步骤为:

[0070] 设选取的人脸区域图像为 $x_{i,j}(t)$; $1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M$, $\{x_R, x_G, x_B\}$ 为图像的R、G、B三基色分量,对人脸视频序列先进行逐帧空间平均得到三通道信号,即

$$[0071] \quad x = \begin{cases} \frac{1}{MN} \sum_{x \in R} x_{i,j}(t) & i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \\ \frac{1}{MN} \sum_{x \in G} x_{i,j}(t) & i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \\ \frac{1}{MN} \sum_{x \in B} x_{i,j}(t) & i=1, \dots, N; j=1, \dots, M \end{cases} = \begin{bmatrix} x_R(t) \\ x_G(t) \\ x_B(t) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} x_R(1) & x_R(2) & \dots & x_R(T) \\ x_G(1) & x_G(2) & \dots & x_G(T) \\ x_B(1) & x_B(2) & \dots & x_B(T) \end{bmatrix}$$

[0072] 式(1)中N,M为选定面部图像区域的高和宽,t为每帧图像对应的时间;

[0073] 对每帧图像按照视频图像宽度中线切分为两部分,再分别按照上述方法对R,G,B三分量进行进总体平均,得到六通道数据:

$$[0074] \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{16} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{26} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{61} & w_{62} & \dots & w_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_6 \end{bmatrix} = Wx$$

[0075] 用于进行高通滤波步骤的高通滤波器的截止频率为0.8Hz。

[0076] 用于进行标准化步骤的计算过程为:

$$[0077] \quad x = \frac{x - E[x]}{\sigma}$$

[0078] 式中x为原始信号,E[x]为求均值运算, σ 为x中各分量的标准差。

[0079] 所述步骤S100中,将 $x = [x_{R,1}, x_{R,2}, x_{G,1}, x_{G,2}, x_{B,1}, x_{B,2}]^T$ 重新定义为 $x = [x_1, x_2, x_3,$

$x_4, x_5, x_6]^T$, 则可将混合信号生成方式表达为:

$$[0080] \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{26} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{61} & a_{62} & \cdots & a_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_6 \end{bmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{s}$$

[0081] 式中A为标量混合矩阵, $\mathbf{s} = [s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6]^T$ 代表隐含的多个源信号, 其中包含了眨眼信号分量和心跳BVP分量以及其他成分, 式中的混合矩阵A和源s均未知, 通过使用基于二阶盲辨识的盲分离算法可以得到对真实源s的估计, 即满足如下关系的y:

$$[0082] \quad \begin{bmatrix} x_{R,1}(t) \\ x_{R,2}(t) \\ x_{G,1}(t) \\ x_{G,2}(t) \\ x_{B,1}(t) \\ x_{B,2}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \cdots & x_1(T) \\ x_2(1) & x_2(2) & \cdots & x_2(T) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_6(1) & x_6(2) & \cdots & x_6(T) \end{bmatrix}$$

[0083] 式中分离矩阵W为对 \mathbf{A}^{-1} 的近似估计。

[0084] 所述眨眼及BVP信号筛选模块使用一种基于谱峭度的信号自动识别的方法从盲分离算法的多通道输出信号中自动筛选出眨眼和BVP信号。峭度常用于信号高斯性的度量。通过对各通道输出信号计算自相关函数再求傅立叶变换得到各路信号的功率谱, BVP信号具有明显的周期性因而其功率谱谱峰明显, 眨眼信号具有一定的准周期性也具有潜在的谱峰, 进行峭度计算后其他各路信号与上述两者差异明显, 通过简单的门限即可筛选出不同的信号。

[0085] 下面针对基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统进行介绍:

[0086] 基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统, 该系统包括视频信号采集与预处理模块10、目标跟踪模块20、多通道盲分离模块30、眨眼及BVP信号筛选模块40、眨眼频率计算及时长计算模块50与心率估计模块60;

[0087] 所述视频信号采集与预处理模块10, 手机摄像头等设备用于获取人脸面部图像并使用相干平均法将采集到的包含眼部区域的人脸视频数据按照R, G, B三基色通道进行空间平均, 并采用图像宽度中值切分的方法得到六通道原始信号 $\mathbf{x} = [x_{R1}, x_{G1}, x_{B1}, x_{R2}, x_{G2}, x_{B2}]^T$, 同时对原始信号x进行高通滤波以去除信号中各分量的低频趋势并对信号进行去均值与方差归一化;

[0088] 所述目标跟踪模块20使用Meanshift目标跟踪算法实现对选定面部区域的连续定位;

[0089] 所述多通道盲分离模块30用于通过基于二阶盲辨识的多通道盲分离算法对原始信号x进行分离以得到对不同源信号的估计;

[0090] 所述眨眼及BVP信号筛选模块40用于从分离得到的多通道数据中辨识出眨眼和BVP信号。

[0091] 眨眼频率计算及时长计算模块50与心率估计模块60用于从分离得到的眨眼和BVP信号中计算得到眨眼时长、眨眼频率与心率。

[0092] 采用上述的各模块之间的协调配合,能够从面部有限区域视频中同步提取出眨眼和心率信号,同样地,本发明具有准确度高、抗干扰能力强、算法效率高等优点,具有较为广阔的应用前景。

[0093] 所述视频图像序列采集与预处理模块10包括帧内空间平均单元11、高通滤波单元12及标准化单元13。

[0094] 上述的高通滤波单元12中的高通滤波器的截止频率为0.8Hz。

[0095] 所述目标跟踪模块20使用Meanshift目标跟踪算法进行连续帧间的眼部区域定位,所述眨眼频率计算及时长计算模块50与心率估计模块60使用计数器计算单位时间内的眨眼次数得到眨眼频率,使用幅度门限得到眨眼脉冲的时长,使用BVP信号的功率谱峰值 $\times 60$ 得到心率。

[0096] 下面针对附图,对本发明的方法及系统进行简要的说明:

[0097] 参见图3,说明了本实施例中采用系统中的视频信号采集与预处理模块10、目标跟踪模块20、盲源分离模块30、眨眼与BVP信号筛选模块40、眨眼时长/频率估计模块50与心率估计模块60。采用二阶盲辨识算法进行盲源分离后,利用基于谱峭度的眨眼与BVP信号自动筛选方法分别得到眨眼与BVP信号,进而求得眨眼时长、频率与心率估计值。方法主要包括以下几个步骤:1)采集人脸眼部视频数据并进行预处理;2)进行目标区域跟踪在连续视频帧中确定目标区域位置;3)将预处理后的六通道数据用二阶盲辨识算法进行盲源分离;4)使用基于谱峭度的眨眼/BVP分量自动识别方法从算法的六通道输出信号中自动筛选出眨眼与BVP信号;5)对眨眼信号进行眨眼时长计算与频率统计;6)对BVP信号进行功率谱分析,最后将最大谱峰频率 $\times 60$,得到心率估算值。

[0098] 参见图4,说明了本实施例中选取的人脸眼部区域示意图,该区域在算法运行时手动从视频第一帧中选取。

[0099] 参见图5,说明了本实施例中经过预处理模块10后得到的观测信号波形图,此六通道信号即为盲分离算法的处理对象。

[0100] 参见图6,说明了本实施例中使用二阶盲辨识算法对输入信号进行盲源分离后的输出信号波形图,从图中可以看到,六通道输出信号的第一个分量就是眨眼信号,第二个分量是BVP信号,说明了二阶盲辨识算法对眨眼与BVP信号有良好的分离效果。

[0101] 参见图7,说明了本实施例中基于谱峭度的眨眼与BVP分量自动识别得到的眨眼与BVP信号波形图;图中两通道上一通道是自动识别的眨眼信号,下一通道的是自动识别的BVP信号。

[0102] 参见图8,说明了对得到的眨眼信号进行眨眼频率与时长计算的示意图。使用计数器计算单位时间内的眨眼次数得到眨眼频率,使用幅度门限得到眨眼脉冲的时长。

[0103] 参见图9,说明了由得到的BVP信号进行功率谱分析的结果,其最大谱峰频率 $\times 60$,就得到心率估算值。

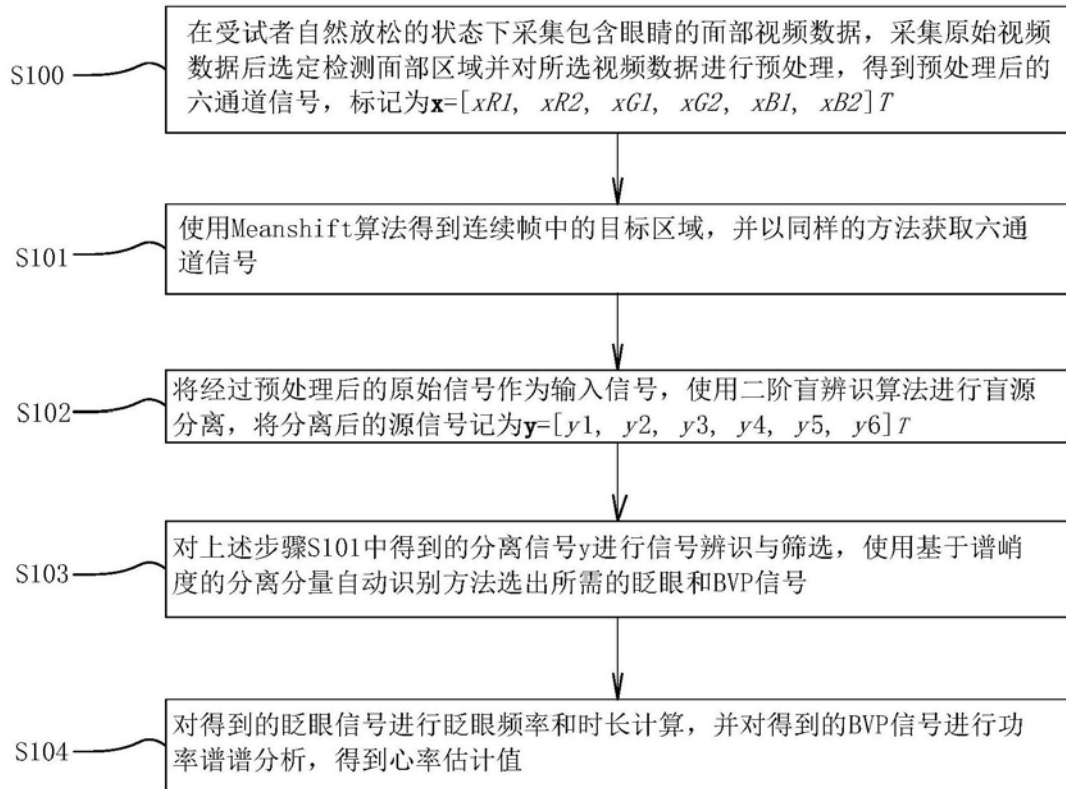


图1

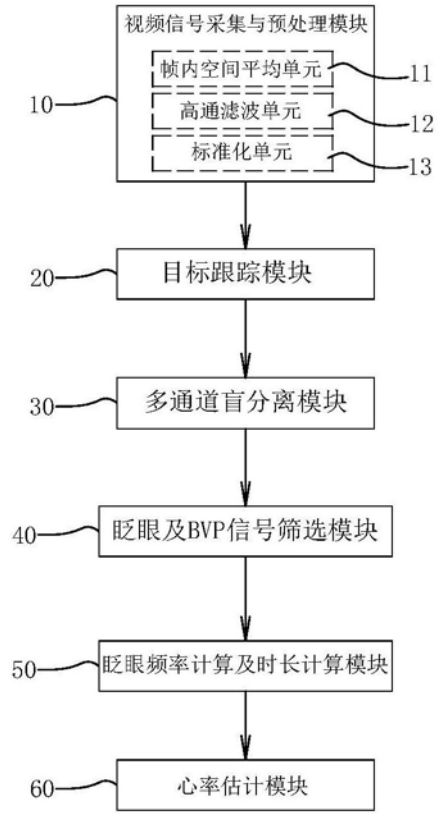


图2

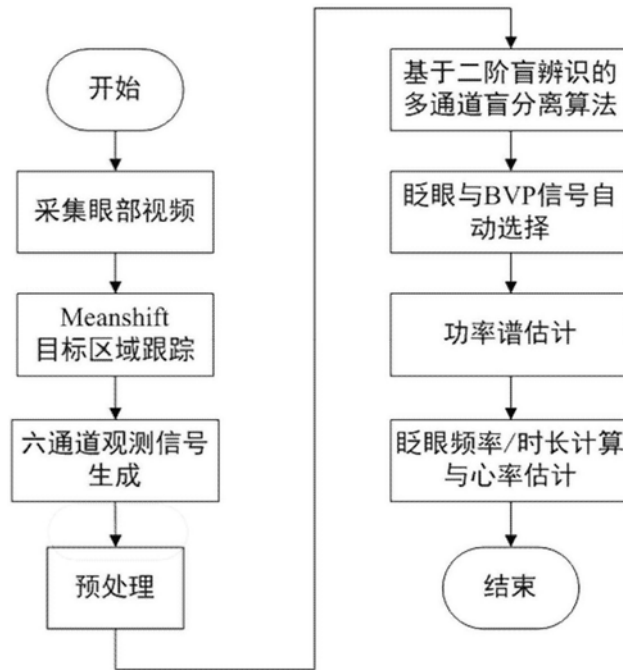


图3

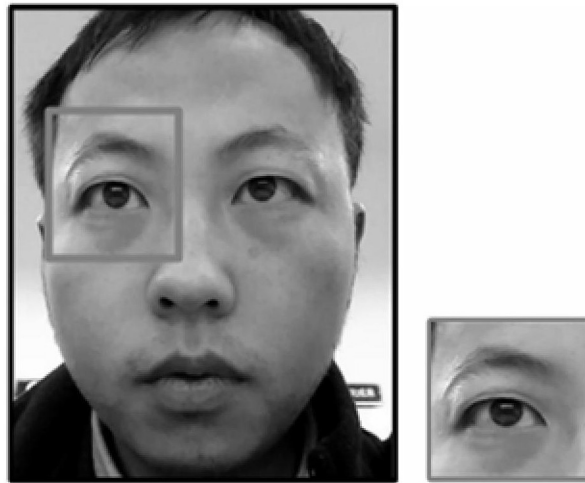


图4

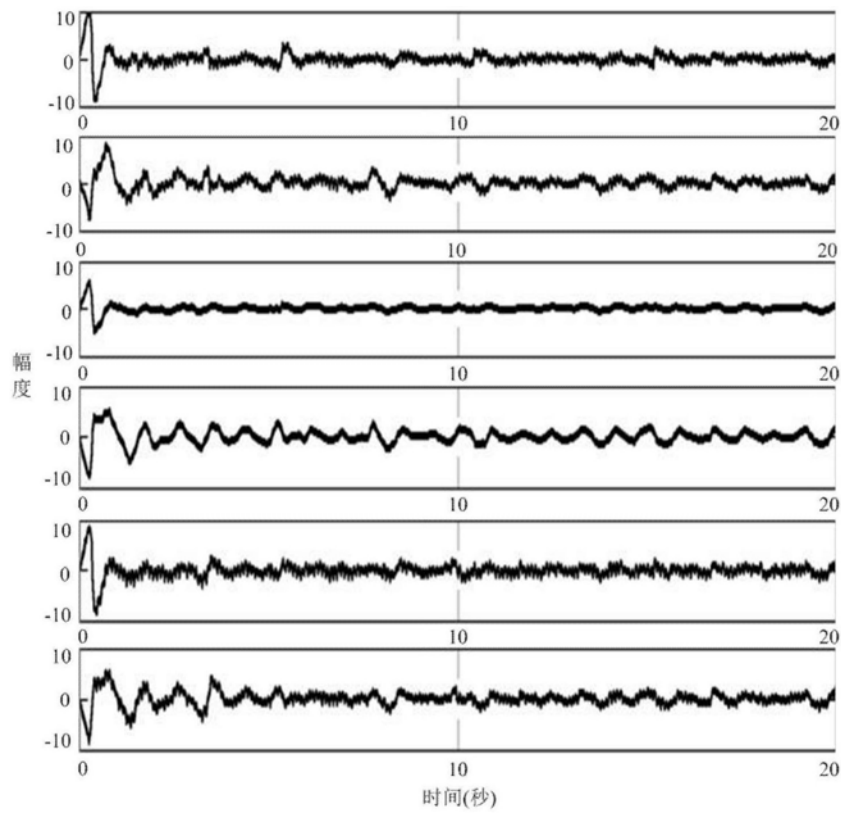


图5

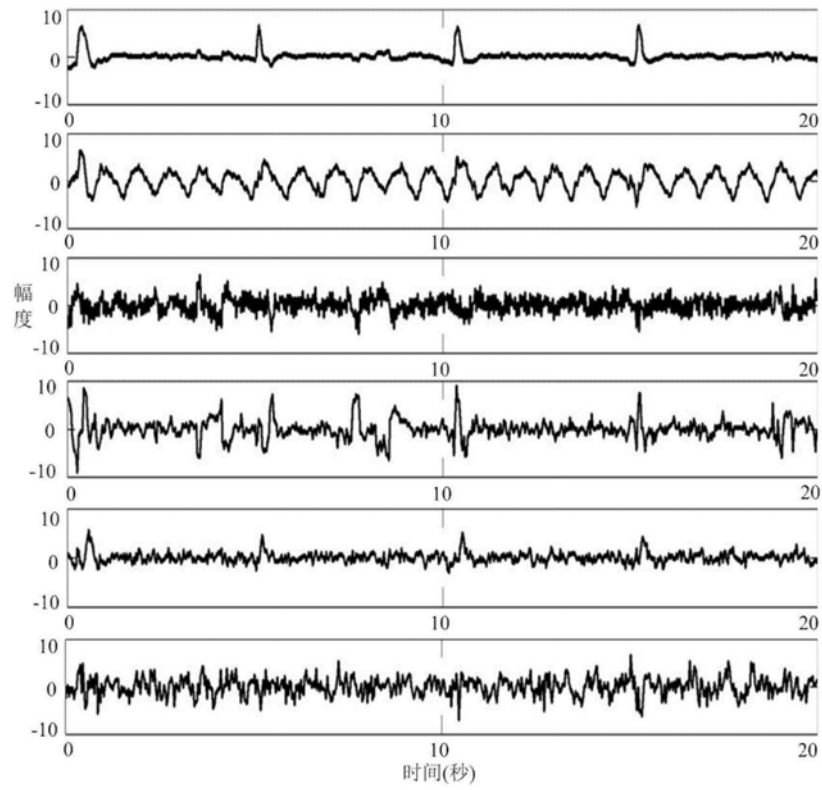


图6

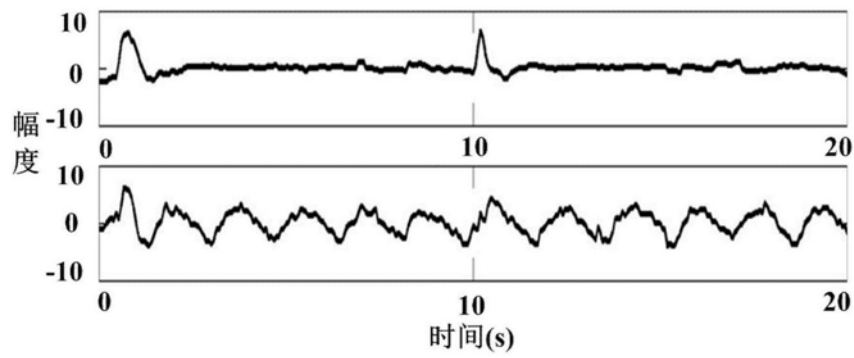


图7

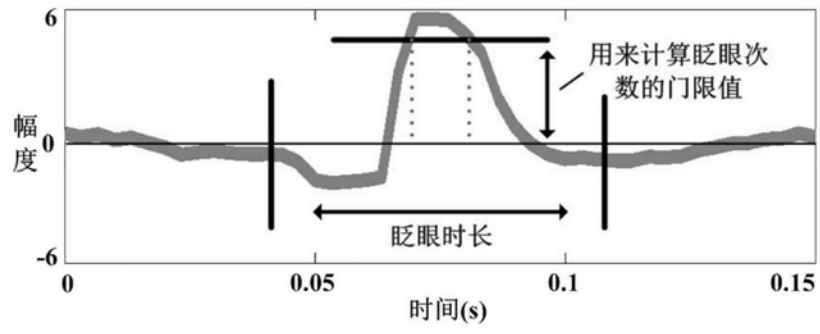


图8

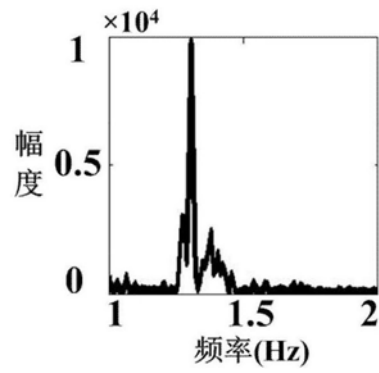


图9

专利名称(译)	基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统及方法		
公开(公告)号	CN106096544B	公开(公告)日	2019-04-23
申请号	CN201610404549.6	申请日	2016-06-02
[标]申请(专利权)人(译)	安徽大学		
申请(专利权)人(译)	安徽大学		
当前申请(专利权)人(译)	安徽大学		
[标]发明人	张超 吴小培 何璇 吕钊 郭晓静 张磊 高湘萍		
发明人	张超 吴小培 何璇 吕钊 郭晓静 张磊 高湘萍		
IPC分类号	G06K9/00 A61B5/024 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/024 A61B5/72 G06K9/00496		
代理人(译)	郭华俊		
审查员(译)	张玲		
其他公开文献	CN106096544A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及一种基于二阶盲辨识的非接触式眨眼与心率联合检测系统及方法，在受试者自然放松的状态下采集包含眼睛的面部视频数据，采集原始视频数据后选定检测面部区域并对所选视频数据进行预处理，得到预处理后的六通道信号，标记为 $x = [xR1, xR2, xG1, xG2, xB1, xB2]T$ ；使用 Meanshift 算法得到连续帧中的目标区域，并以同样的方法获取六通道信号；将经过预处理后的原始信号作为输入信号，使用二阶盲辨识算法进行盲源分离，将分离后的源信号记为 $y = [y1, y2, y3, y4, y5, y6]T$ ；对上述步骤 S101 中得到的分离信号 y 进行信号辨识与筛选，使用基于谱峭度的分离分量自动识别方法选出所需的眨眼和 BVP 信号；对得到的眨眼信号进行眨眼频率和时长计算，并对得到的 BVP 信号进行功率谱分析，得到心率估计值，本发明具有准确度高、抗干扰能力强、算法效率高等优点。

