



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109009173 A

(43)申请公布日 2018.12.18

(21)申请号 201811005069.8

A61B 5/00(2006.01)

(22)申请日 2018.08.30

A61N 1/20(2006.01)

A61B 5/0496(2006.01)

(71)申请人 北京机械设备研究所

地址 100854 北京市海淀区永定路50号(北京市142信箱208分箱)

(72)发明人 奕伟波 范新安 陈远方 张利剑

(74)专利代理机构 北京天达知识产权代理事务所(普通合伙) 11386

代理人 马东伟 庞许倩

(51)Int.Cl.

A61B 5/18(2006.01)

A61B 5/0476(2006.01)

A61B 5/11(2006.01)

A61B 3/113(2006.01)

A61B 3/11(2006.01)

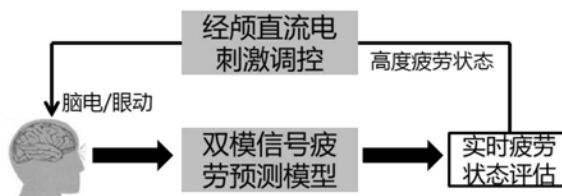
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于脑电-眼动双模态信号的疲劳检测与调控方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于脑电-眼动双模态信号的疲劳检测与调控方法,属于疲劳检测与调控技术领域,解决了现有技术中无法持续监测高负荷作业人员疲劳程度并适时进行神经调控的问题。本发明公开的基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型采用机器学习方法分析双模态融合特征,即脑电特征和眼动特征的融合结果,识别作业人员脑疲劳状态,并根据检测结果,判断是否需要神经调控。不需要,作业人员可以继续工作,保持较高的工作绩效。如果需要,则采用经颅直流电刺激施加大脑反向干预。通过双向闭环疲劳监测与自适应调控,调整大脑皮层功能区兴奋性,进而改善作业人员的生理状态,保证其作业绩效的高效和稳定性。



1. 一种基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,其特征在于,包括如下步骤:
 - 采集作业人员的脑电监测数据和眼动监测数据;
 - 对上述采集的脑电监测数据和眼动监测数据分别进行特征提取,获得对应的脑电特征和眼动特征;
 - 将上述获得的脑电特征和眼动特征进行特征融合,将融合结果输入训练好的基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型中,判断是否需要神经调控;
 - 如果需要进行神经调控,对作业人员实施经颅直流电刺激;
 - 如果不需要进行神经调控,判定作业人员疲劳状态不影响工作绩效。
2. 根据权利要求1所述的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,其特征在于,建立所述基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型的方法,包括如下步骤:
 - 获取包括N组脑电监测数据、眼动监测数据以及对应疲劳程度的训练集;所述疲劳程度包括未疲劳、轻度疲劳、重度疲劳;
 - 对上述训练集中每组所述脑电监测数据和眼动监测数据分别进行特征提取,获得每组对应的脑电特征和眼动特征;
 - 对每组所述脑电特征和眼动特征进行特征融合,将融合结果和对应的疲劳程度输入支持向量机,建立基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型。
3. 根据权利要求1或2所述的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,其特征在于,所述获取作业人员的脑电监测数据和眼动监测数据,包括如下步骤:
 - 通过脑电采集系统,采集作业人员的脑电监测数据;
 - 通过眼动跟踪系统,采集作业人员的脑电眼动监测数据。
4. 根据权利要求1或2所述的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,其特征在于,所述对上述获得的脑电监测数据和眼动监测数据进行双模信号特征提取获得对应的脑电特征和眼动特征,包括如下步骤:
 - 对作业人员的脑电监测数据,进行预处理,获得预处理结果;
 - 根据所述预处理结果,计算在预设时间、不重叠窗宽内的功率谱密度,将所述功率谱密度作为对应的脑电特征;
 - 对作业人员的眼动检测数据,计算在预设时间、不重叠窗宽内的注视持续时间、眨眼频率、眼跳速度、眼跳幅度、瞳孔直径,将所述注视持续时间、眨眼频率、眼跳速度、眼跳幅度、瞳孔直径作为对应的眼动特征。
5. 根据权利要求4所述的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,其特征在于,所述对作业人员的脑电监测数据进行预处理获得预处理结果,包括如下步骤:
 - 对作业人员的脑电监测数据进行变参考处理,获得变参考处理结果;所述变参考处理包括转化为双侧乳突参考;
 - 对所述变参考处理结果进行带通滤波,获得带通滤波处理结果;
 - 对所述带通滤波处理结果进行降采样,获得降采样处理结果。
6. 根据权利要求4所述的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,其特征在于,所述根据预处理结果计算在预设时间、不重叠窗宽内的功率谱密度,包括如下步骤:
 - 采用基于AR模型的频谱估计方法,计算降采样处理结果在预设时间、不重叠窗宽内Delta、Theta、Alpha、Beta、Gamma频段内各自的功率谱密度;

将上述获得的Delta、Theta、Alpha、Beta、Gamma频段内的功率谱密度进行求和运算,将获得的求和运算结果作为对应的脑电特征。

7. 根据权利要求1-2、5-6之一所述的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,其特征在于,所述将获得的脑电特征和眼动特征进行特征融合,包括如下步骤:

建立特征融合向量,设置功率谱密度、注视持续时间、眨眼频率、眼跳速度、眼跳幅度、瞳孔直径为所述特征融合向量中的元素;

将上述建立的特征融合向量作为融合结果,用于基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型。

8. 根据权利要求1-2、5-6之一所述的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,其特征在于,所述如果需要进行神经调控对作业人员实施经颅直流电刺激,包括如下步骤:

将经颅直流电刺激器的阳极电极置于左背侧前额叶,阴极置于肩部;

如果检测结果显示作业人员处于重度疲劳,触发经颅直流电刺激器通过上述阳极电极和阴极电极对作业人员大脑认知功能区施加电刺激。

9. 根据权利要求8所述的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,其特征在于,所述电刺激的刺激强度为1~2mA,刺激时长为10~15min。

10. 根据权利要求3所述的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,其特征在于,所述脑电采集系统为Neuroscan 64导联脑电采集系统;

所述眼动跟踪系统为Eyelink 1000plus眼动跟踪系统。

一种基于脑电-眼动双模态信号的疲劳检测与调控方法

技术领域

[0001] 本发明涉及疲劳检测与调控技术领域,尤其涉及一种基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法。

背景技术

[0002] 复杂作业环境中,高负荷任务作业人员,例如航天员、飞行员,需要时刻保持较高的专注度,从而保证工作绩效稳定、高效。随着任务和信息加载量的增大,作业人员的脑力认知资源占用率将大大提高,极易引发脑力疲劳。

[0003] 作业人员生理状态的改变,可能引起中枢神经系统反应迟缓,导致注意力不集中、警觉水平和工作能力下降,出现信息的误判、漏判,甚至操作失误引发安全隐患。

[0004] 为了有效改善长时间、高负荷任务作业人员的脑疲劳状态,维持其处于较高的工作绩效,需建立一种自动化的用户状态监测和干预体系。现有技术一般只能依靠作业人员自身对疲劳状态进行检测调节,针对高负荷任务疲劳状态并不能够快速做出评估并及时进行状态调节,无法克服生理状态变化对作业绩效的影响,也不能维持高强度作业过程中工作绩效一直高效稳定。

发明内容

[0005] 鉴于上述的分析,本发明实施例旨在提供一种基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,用以解决现有技术无法持续监测高负荷作业人员疲劳程度并适时提供神经调控的问题。

[0006] 一方面,本发明实施例提供了一种基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法,包括如下步骤:

[0007] 采集作业人员的脑电监测数据和眼动监测数据;

[0008] 对上述采集的脑电监测数据和眼动监测数据分别进行特征提取,获得对应的脑电特征和眼动特征;

[0009] 将上述获得的脑电特征和眼动特征进行特征融合,将融合结果输入训练好的基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型中,判断是否需要神经调控;

[0010] 如果需要进行神经调控,对作业人员实施经颅直流电刺激;

[0011] 如果不需要进行神经调控,判定作业人员疲劳状态不影响工作绩效。

[0012] 上述技术方案的有益效果如下:基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型采用机器学习方法分析双模态融合特征,即上述的脑电特征和眼动特征的融合结果,识别作业人员脑疲劳状态,并根据检测结果,判断是否需要神经调控。如果不需要,作业人员可以继续工作,保持较高的工作绩效。如果需要,则采用经颅直流电刺激施加大脑反向干预,形成双向闭环疲劳监测与自适应调控系统,通过调整大脑皮层兴奋性,改善作业人员生理状态,保证作业绩效的高效和稳定性。

[0013] 基于上述方法的另一个实施例中,建立所述基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模

型的方法,包括如下步骤:

[0014] 获取包括N组脑电监测数据、眼动监测数据以及对应疲劳程度的训练集;所述疲劳程度包括未疲劳、轻度疲劳、重度疲劳;

[0015] 对上述训练集中每组所述脑电监测数据和眼动监测数据分别进行特征提取,获得每组对应的脑电特征和眼动特征;

[0016] 对每组所述脑电特征和眼动特征进行特征融合,将融合结果和对应的疲劳程度输入支持向量机,建立基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型。

[0017] 上述技术方案的有益效果是:创建基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型,可基于脑电和眼动双模信号有效识别作业人员的疲劳状态。

[0018] 进一步,所述获取作业人员的脑电监测数据和眼动监测数据,包括如下步骤:

[0019] 通过脑电采集系统,采集作业人员的脑电监测数据;

[0020] 通过眼动跟踪系统,采集作业人员的眼动监测数据。

[0021] 上述进一步方案的有益效果是:通过现有的脑电采集系统和眼动跟踪系统采集集作业人员的脑电监测数据和眼动监测数据。

[0022] 进一步,所述对上述获得的脑电监测数据和眼动监测数据进行特征提取获得对应的脑电特征和眼动特征,包括如下步骤:

[0023] 对作业人员的脑电监测数据,进行预处理,获得预处理结果;

[0024] 根据所述预处理结果,计算在预设时间、不重叠窗宽内的功率谱密度,将所述功率谱密度作为对应的脑电特征;

[0025] 对作业人员的眼动检测数据,计算在预设时间、不重叠窗宽内的注视持续时间、眨眼频率、眼跳速度、眼跳幅度、瞳孔直径,将所述注视持续时间、眨眼频率、眼跳速度、眼跳幅度、瞳孔直径作为对应的眼动特征。

[0026] 上述进一步方案的有益效果是:提取多种表征作业人员疲劳状态的眼动特征,提高预测模型的鲁棒性。

[0027] 进一步,所述对作业人员的脑电监测数据进行预处理获得预处理结果,包括如下步骤:

[0028] 对作业人员的脑电监测数据进行变参考处理,获得变参考处理结果;所述变参考处理包括转化为双侧乳突参考;

[0029] 对所述变参考处理结果进行带通滤波,获得带通滤波处理结果;

[0030] 对所述带通滤波处理结果进行降采样,获得降采样处理结果。

[0031] 上述进一步方案的有益效果是:通过预处理,可以突显脑电信号的主要成分,有效去除杂波。

[0032] 进一步,所述根据预处理结果计算在预设时间、不重叠窗宽内的功率谱密度,包括如下步骤:

[0033] 采用基于AR模型的频谱估计方法,计算降采样处理结果在预设时间、不重叠窗宽内Delta、Theta、Alpha、Beta、Gamma频段内各自的功率谱密度;

[0034] 将上述获得的Delta、Theta、Alpha、Beta、Gamma频段内的功率谱密度进行求和运算,将获得的求和运算结果作为对应的脑电特征。

[0035] 上述进一步方案的有益效果是:获取各个频段的脑电频域特征,保证提取脑电特

征的充分性。

[0036] 进一步,所述将获得的脑电特征和眼动特征进行特征融合,包括如下步骤:

[0037] 建立特征融合向量,设置功率谱密度、注视持续时间、眨眼频率、眼跳速度、眼跳幅度、瞳孔直径为所述特征融合向量中的元素;

[0038] 将上述建立的特征融合向量作为融合结果,用于基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型。

[0039] 上述进一步方案的有益效果是:融合方式简单、有效。融合双模生理信号特征,提高疲劳预测模型的鲁棒性。

[0040] 进一步,所述对作业人员实施经颅直流电刺激,包括如下步骤:

[0041] 将经颅直流电刺激器的阳极电极置于左背侧前额叶,阴极置于肩部;

[0042] 如果检测结果显示作业人员处于重度疲劳,触发经颅直流电刺激器通过上述阳极电极和阴极电极对作业人员大脑认知功能区施加电刺激。

[0043] 上述进一步方案的有益效果是:通过经颅直流电刺激器刺激大脑认知功能区,调节大脑皮层兴奋性,从而改善人员生理状态,抑制疲劳。

[0044] 进一步,所述电刺激的刺激强度为1~2mA,刺激时长为10~15min。

[0045] 上述进一步方案的有益效果是:通过大量的试验研究表明,刺激参数设置在上述区域内时,其强度能够保证处于人体安全范围之内,长时程刺激能够增强刺激效果,不会对人体造成伤害。

[0046] 进一步,所述脑电采集系统为Neuroscan 64导联脑电采集系统;

[0047] 所述眼动跟踪系统为Eyelink 1000plus眼动跟踪系统。

[0048] 上述进一步方案的有益效果是:上述两种系统可用于脑电和眼动双模信号的采集。

[0049] 本发明中,上述各技术方案之间还可以相互组合,以实现更多的优选组合方案。本发明的其他特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分优点可从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点可通过说明书、权利要求书以及附图中所特别指出的内容中来实现和获得。

附图说明

[0050] 附图仅用于示出具体实施例的目的,而并不认为是对本发明的限制,在整个附图中,相同的参考符号表示相同的部件。

[0051] 图1为本发明实施例1基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法的步骤示意图;

[0052] 图2为本发明实施例1疲劳检测与调控技术流程;

[0053] 图3为本发明实施例2对作业人员进行疲劳检测与调控过程示意图;

[0054] 图4为本发明实施例2建立脑电-眼动双模态的疲劳预测模型的步骤示意图;

[0055] 图5为本发明实施例2对所述脑电监测数据和眼动监测数据进行双模信号特征提取的步骤示意图。

具体实施方式

[0056] 下面结合附图来具体描述本发明的优选实施例,其中,附图构成本申请一部分,并与本发明的实施例一起用于阐释本发明的原理,并非用于限定本发明的范围。

[0057] 实施例1

[0058] 本发明的一个具体实施例,公开了一种,如图1所示,包括如下步骤:

[0059] S1. 获取作业人员的脑电监测数据和眼动监测数据;

[0060] S2. 对所述脑电监测数据和眼动监测数据进行特征提取(双模信号特征提取),获得对应的脑电特征和眼动特征;

[0061] S3. 将所述脑电特征和眼动特征进行特征融合(双模信号特征融合),将融合结果输入预先构建的基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型(双模信号疲劳预测模型),判断是否需要神经调控;如果需要进行神经调控,对作业人员实施经颅直流电刺激调控;如果不需要进行神经调控,判定作业人员疲劳状态不影响工作绩效。

[0062] 实施时,如图2所示,基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型采用机器学习方法分析双模态融合特征,即上述的脑电特征和眼动特征的融合结果,识别作业人员脑疲劳状态,并根据检测结果,判断是否需要神经调控。如果不需要,作业人员可以继续工作,保持较高的工作绩效。如果需要,则采用经颅直流电刺激施加大脑反向干预,形成双向闭环疲劳监测与自适应调控系统,通过调整皮层兴奋性,改善作业人员生理状态,保证作业绩效的稳定性和高效性。

[0063] 与现有技术相比,本实施例提供的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法能够有效改善长时间、强负荷任务作业人员的脑疲劳状态,使其大脑始终工作在较高的工作绩效,能够实现高负荷任务的实时疲劳状态评估和快速状态调节的功能,从而克服作业人员生理状态变化对作业绩效的影响,维持其高强度任务工作绩效的高效、稳定。

[0064] 实施例2

[0065] 在上述实施例的基础上进行优化,脑电-眼动双模态的疲劳预测模型需要进行预先建立。对作业人员进行疲劳检测与调控过程如图3所示。关于其建立方法,如图4所示,包括如下步骤:

[0066] S01. 获取包括N组脑电监测数据、眼动监测数据以及对应疲劳程度的测试集。具体地,采用Neuroscan 64导联脑电采集系统采集作业人员的脑电监测数据,所用电极均为Ag/AgCl电极,以前额为地,左耳乳突为参考。使用时,设置Neuroscan 64导联脑电采集系统的脑电采样频率为1000Hz,带通滤波范围为0.1~100Hz,并采用50Hz陷波器去除工频干扰。采用Eyelink 1000plus眼动跟踪系统采集作业人员的眼动检测数据,使用双眼模式采集眼动数据,采样频率为1000Hz。作业人员的疲劳程度包括未疲劳、轻度疲劳、重度疲劳,可分别标记为1、2、3。为了保证试验条件的单一性,可先获取同一人同一时间段的数据进行分析。

[0067] S02. 对上述训练集中每组所述脑电监测数据和眼动监测数据进行特征提取,获得每组所述脑电监测数据和眼动监测数据对应的脑电特征和眼动特征。具体地,采用脑电监测数据在一定时间、不重叠窗宽内的功率谱密度作为疲劳检测参数之一,并采用眼动监测数据在一定时间、不重叠窗宽内的注视持续时间、眨眼频率、眼跳速度、眼跳幅度、瞳孔直径作为疲劳检测参数。

[0068] S03. 对每组脑电特征和眼动特征进行双模信号特征融合,将融合结果和对应的疲劳程度建立映射关系,输入支持向量机,获得基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型。至此,

基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型得到了建立。

[0069] 优选地,可采用最大相关最小冗余特征选择方法对双模态融合特征进行特征筛选,选取具有最优正确率的特征组合,从而优化疲劳预测模型。

[0070] 优选地,利用十折交叉验证方法,通过训练集数据的融合特征训练分类器,然后预测来自测试集的特征,从而验证疲劳检测模型的有效性。表征十折交叉验证后得到的平均正确率的最终分类结果为

$$[0071] \quad acc_{cv} = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} acc^{(k)} \quad (1)$$

[0072] 式中, $acc^{(k)}$ 为第k折计算得到的正确率结果。

[0073] 通过上述训练好的基于脑电-眼动双模态模型,可预测作业过程中作业人员的疲劳程度,判断其具体处于哪种疲劳程度。若处于重度疲劳(高度疲劳),则对大脑功能区实施经颅直流电刺激,缓解疲劳。未疲劳、轻度疲劳,则不需要进行电刺激,作业人员可以继续进行高负荷工作。实际上,本实施例提供的是一种模式识别方法。

[0074] 优选地,如图5所示,步骤S2可进一步细化为如下步骤:

[0075] S21.对所述作业人员的脑电监测数据进行预处理,获得预处理结果。具体地,对作业人员的脑电监测数据进行变参考处理,转化为双侧乳突参考,再对所述变参考处理结果进行带通滤波,对所述带通滤波处理结果进行降采样,获得预处理结果。

[0076] S22.根据所述预处理结果,计算在预设时间、不重叠窗宽内的功率谱密度,将所述功率谱密度作为对应的脑电特征。具体地,首先采用基于AR模型的频谱估计方法,分解62导联(除了HEO和VEO)EEG信号,计算降采样处理结果在预设时间、不重叠窗宽内Delta频段(0.5~4Hz)、Theta频段(4~7Hz)、Alpha频段(8~13Hz)、Beta频段(14~30Hz)、Gamma频段(30~50Hz)内各自的功率谱密度。需说明的是,Neuroscan 64导联脑电刺激系统包括62个脑电采集通道和2个眼电采集通道,本实施例仅用其中62个脑电采集通道,即上面的62导联(除了HEO和VEO)EEG信号,对每个脑电通道的信号都进行预处理获得降采样处理结果。基于AR模型的功率谱密度估计如下:

$$[0077] \quad P(\omega) = \frac{\sigma^2}{\left| \sum_{k=0}^p a_k e^{-j\omega k} \right|^2} \quad (2)$$

[0078] 式中, σ^2 为白噪声方差, a_k 为AR模型系数, p 为模型阶数, k 是阶数的取值,范围为0~ p , ω 代表频率, $P(\omega)$ 为功率谱密度。

[0079] 优选地,可采用Burg算法估计AR模型。此技术为一种现有成熟方法,非本实施例发明点,在此不赘述。

[0080] 然后,将上述获得的Delta、Theta、Alpha、Beta、Gamma频段内的功率谱密度进行求和运算,将获得的求和运算结果作为对应的脑电特征。

[0081] S23.根据眼动检测数据,计算在预设时间、不重叠窗宽内的注视持续时间、眨眼频率、眼跳速度、眼跳幅度、瞳孔直径等,将所述注视持续时间、眨眼频率、眼跳速度、眼跳幅度、瞳孔直径等作为对应的眼动特征。

[0082] 步骤S3可以进一步细化为如下步骤:

[0083] S31. 建立特征融合向量, 设置功率谱密度、注视持续时间、眨眼频率、眼跳速度、眼跳幅度、瞳孔直径为所述特征融合向量中的元素。将上述建立的特征融合向量作为融合结果, 用于基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型的构建、训练和使用。

[0084] S32. 将融合结果作为自变量, 输入训练好的基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型中, 获得疲劳程度预测结果。具体地, 如果输出为1, 判定作业人员未疲劳, 如果输出为2, 判定作业人员轻度疲劳, 未疲劳和轻度疲劳不需要进行调控, 如果输出为3, 判定作业人员重度疲劳, 需要进行经颅直流电刺激。

[0085] S33. 当检测结果显示作业人员处于重度疲劳, 需要进行需要神经调控时, 触发经颅直流电刺激器通过上述阳极电极和阴极电极对作业人员大脑认知功能区施加电刺激。经颅直流电刺激器的阳极电极置于左背侧前额叶, 阴极置于肩部。刺激强度为1~2mA, 刺激时长为10~15min。

[0086] 经颅直流电刺激是一种利用直流电对中枢神经系统施加刺激, 改变神经元的静息膜电位进而影响大脑皮层的兴奋性的非侵入式大脑活动调节技术。经大量试验研究发现, 利用经颅直流电刺激对相关脑区刺激, 可调节皮层的兴奋性, 改善脑机交互过程中的人员生理状态, 从而抑制疲劳对工作绩效的影响。

[0087] 与实施例1相比, 本实施例提供的基于脑电-眼动双模态的疲劳检测与调控方法更加具体, 基于现有支持向量机建立了一种简单的疲劳预测模型。通过对左背侧前额叶、肩部加电, 可以有效改变高负荷作业人员的疲劳状态。

[0088] 本领域技术人员可以理解, 实现上述实施例方法的全部或部分流程, 可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成, 所述的程序可存储于计算机可读存储介质中。其中, 所述计算机可读存储介质为磁盘、光盘、只读存储记忆体或随机存储记忆体等。

[0089] 以上所述, 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, 任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内, 可轻易想到的变化或替换, 都应涵盖在本发明的保护范围之内。

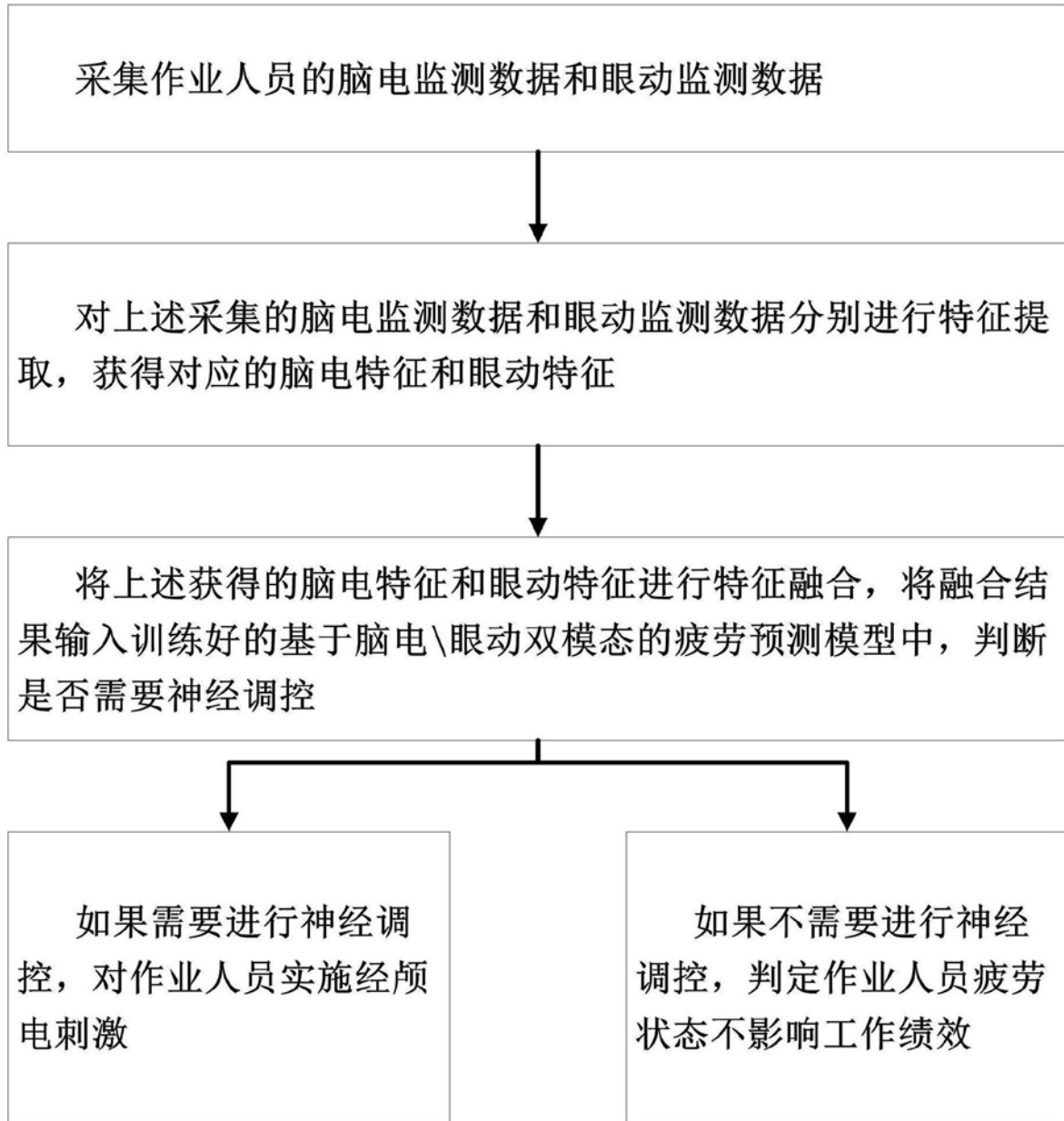


图1

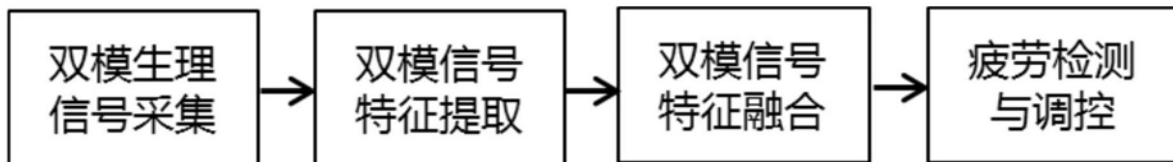


图2

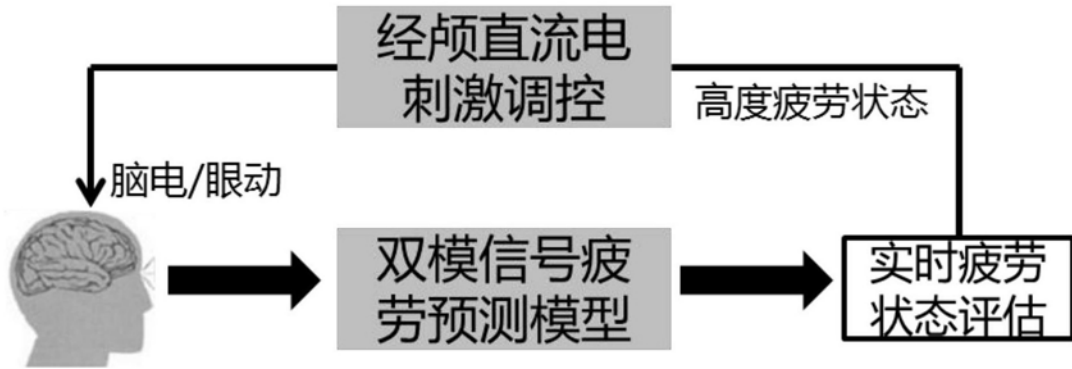


图3

获取包括 N 组脑电监测数据、眼动监测数据以及对应疲劳程度的训练集；所述疲劳程度包括未疲劳、轻度疲劳、重度疲劳

对上述训练集中每组所述脑电监测数据和眼动监测数据分别进行特征提取，获得每组对应的脑电特征和眼动特征

对每组所述脑电特征和眼动特征进行特征融合，将融合结果和对应的疲劳程度输入支持向量机，建立基于脑电/眼动双模态的疲劳预测模型

图4

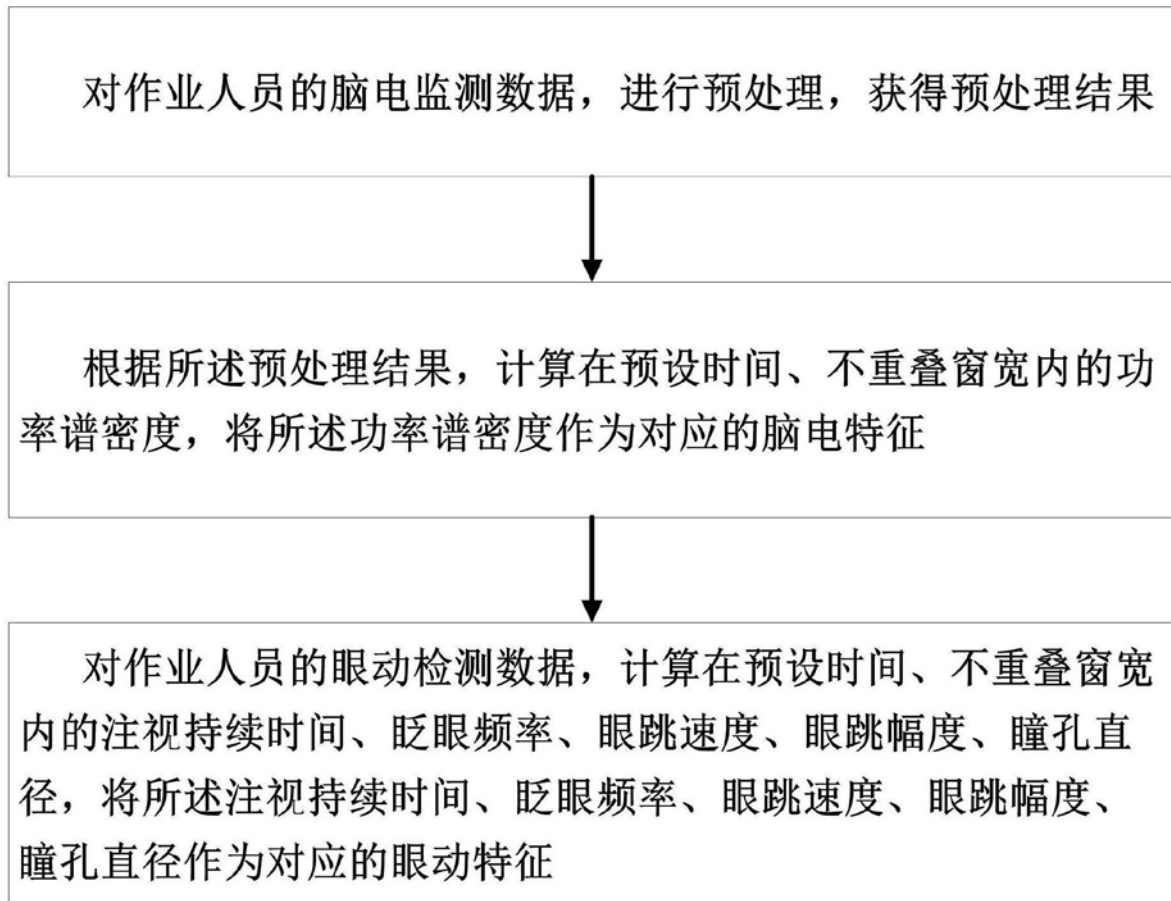


图5

专利名称(译)	一种基于脑电-眼动双模态信号的疲劳检测与调控方法		
公开(公告)号	CN109009173A	公开(公告)日	2018-12-18
申请号	CN201811005069.8	申请日	2018-08-30
[标]申请(专利权)人(译)	北京机械设备研究所		
申请(专利权)人(译)	北京机械设备研究所		
当前申请(专利权)人(译)	北京机械设备研究所		
[标]发明人	奕伟波 范新安 陈远方 张利剑		
发明人	奕伟波 范新安 陈远方 张利剑		
IPC分类号	A61B5/18 A61B5/0476 A61B5/11 A61B3/113 A61B3/11 A61B5/00 A61N1/20 A61B5/0496		
CPC分类号	A61B3/112 A61B3/113 A61B5/0476 A61B5/0496 A61B5/1103 A61B5/168 A61B5/18 A61B5/7203 A61B5/725 A61B2503/22 A61N1/20		
代理人(译)	马东伟		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及一种基于脑电-眼动双模态信号的疲劳检测与调控方法，属于疲劳检测与调控技术领域，解决了现有技术中无法持续监测高负荷作业人员疲劳程度并适时进行神经调控的问题。本发明公开的基于脑电-眼动双模态的疲劳预测模型采用机器学习方法分析双模态融合特征，即脑电特征和眼动特征的融合结果，识别作业人员脑疲劳状态，并根据检测结果，判断是否需要神经调控。如果不需要，作业人员可以继续工作，保持较高的工作绩效。如果需要，则采用经颅直流电刺激施加大脑反向干预。通过双向闭环疲劳监测与自适应调控，调整大脑皮层功能区兴奋性，进而改善作业人员的生理状态，保证其作业绩效的高效和稳定性。

