

基于织物电极的 OpenBCI 脑电波疲劳状态监测

黄雪缘

武汉纺织大学机械工程与自动化学院

DOI:10.12238/acair.v2i4.10311

[摘要] 疲劳是一种常见的生理和心理状态,对个体的健康和工作效率产生显著影响。脑电波作为反映大脑活动的重要生理信号,与疲劳密切相关。研究表明,不同的脑电波频段,如 α 波、 β 波、 θ 波和 δ 波,在疲劳状态下会呈现出特定的变化模式。通过先进的脑电图(EEG)技术,可以精准地采集和分析脑电波数据,从而实现对疲劳程度的有效评估。本文通过织物电极采集脑电信号,并结合OpenBCI进行脑电信号处理和分析,实现了对疲劳状态的实时监测。经实验测试,监测到的脑电波在疲劳状态下呈现不同的状态,尤其是 θ 波和 δ 波在疲劳状态下显示最明显。观测 θ 波和 δ 波的状态有助于开发更准确、便捷的疲劳监测方法和干预策略,为提高工作安全、改善生活质量提供重要依据。

[关键词] 疲劳; OpenBCI; 脑电监测; 织物电极

中图分类号: TV547.5 **文献标识码:** A

OpenBCI EEG fatigue state monitoring based on fabric electrodes

Xueyuan Huang

College of Mechanical Engineering and Automation, Wuhan Textile University

[Abstract] Fatigue is a common physiological and psychological state that has a significant impact on an individual's health and work efficiency. As an important physiological signal reflecting brain activity, brainwaves are closely related to fatigue. Research has shown that different frequency bands of brainwaves, such as alpha waves, beta waves, theta waves, and delta waves, exhibit specific patterns of change under fatigue conditions. Through advanced electroencephalography (EEG) technology, precise collection and analysis of brainwave data can be achieved, enabling effective assessment of fatigue levels. This article collects EEG signals through fabric electrodes and combines OpenBCI for EEG signal processing and analysis, achieving real-time monitoring of fatigue status. Through experimental testing, the monitored brainwaves exhibit different states under fatigue conditions, especially the θ and δ waves show the most obvious display under fatigue conditions. Observing the states of θ and δ waves helps to develop more accurate and convenient fatigue monitoring methods and intervention strategies, providing important basis for improving work safety and quality of life.

[Key words] Fatigue; OpenBCI; EEG monitoring; Fabric electrode

引言

在当今快节奏的社会中,疲劳已成为一个普遍存在且不容忽视的问题。无论是长时间工作的职场人士、连续驾驶的司机,还是进行高强度训练的运动员,疲劳都可能导致工作效率下降、反应迟缓,甚至引发严重的安全事故。因此,准确、实时地监测疲劳状态具有极其重要的意义。脑电波(EEG)作为大脑活动的直接反映,为疲劳监测提供了潜在的有效途径。近年来,随着技术的不断进步,开源脑机接口(OpenBCI)的出现为脑电波的研究和应用带来了新的机遇。

OpenBCI是一种低成本、高灵活性的脑电波采集系统,它使得更多的研究人员和开发者能够深入探索脑电波与各种生理和

心理状态之间的关系。在疲劳状态监测方面,OpenBCI展现出了巨大的潜力。通过OpenBCI采集的脑电波数据,可以分析不同频段的能量分布、节律变化以及大脑区域之间的协同作用。这些特征与疲劳程度之间存在着紧密的关联。例如,随着疲劳的增加, α 波的功率可能会降低,而 θ 波和 δ 波的功率可能会升高。

当前脑电波监测研究中,林志强^[1]通过分析脑电波信号、构建神经网络结构,对脑电波进行数据采集和数据处理,探索脑电波与疲劳状态识别稳定性分析。建立了脑电波疲劳状态监测的稳定性监测体系。熊桑桑^[2]提出基于脑电波控制疲劳驾驶检测,该方法通过疲劳检测和疲劳消除两个方面对驾驶员在行车过程中出现的疲劳状态进行监控和干预。然而,脑电波疲劳状态

监测是未来发展趋势,但目前仍面临着一些挑战。例如,脑电波信号的复杂性和易受干扰性,使得数据的准确采集和分析并非易事。此外,个体之间的脑电波差异以及不同疲劳诱发因素的影响,也给建立通用的疲劳监测模型带来了困难。

本文主要探索织物电极采集脑电信号的准确性以及利用OpenBCI分析脑电波探索脑电波形与疲劳状态的关系;采用OpenBCI对织物电极采集的脑电波疲劳状态监测的研究提供了广阔的前景。未来,通过不断优化硬件设备、改进算法以及开展大规模的实验研究,我们有望实现更准确、可靠的疲劳监测,为人们的健康和安全提供更有力的保障。

1 OpenBCI与织物电极

1.1 OpenBCI算法。在脑机接口领域,OpenBCI算法以其开放性和创新性引起了广泛关注。OpenBCI不仅为科研人员和开发者提供了一个低成本、高灵活性的研究平台,其算法更是在脑电信号的采集、处理和分析方面发挥着关键作用。

OpenBCI算法的核心之一是信号采集。它通过精心设计的传感器和电路,能够准确地捕捉大脑产生的微弱电信号。这些电信号包含了丰富的神经活动信息,然而,原始信号往往受到各种噪声和干扰的影响。为了获得有价值的信息,OpenBCI算法采用了一系列先进的滤波和降噪技术。

在滤波方面,OpenBCI算法通常运用带通滤波,有针对性地选取特定频段的信号。例如,常见的脑电频段如阿尔法波(8-13Hz)和贝塔波(13-30Hz),通过精确的滤波设置,可以突出这些与大脑特定状态相关的频率成分,同时抑制其他无关的频率成分。

降噪技术则是确保信号质量的另一个重要环节。OpenBCI算法利用主成分分析(PCA)、独立成分分析(ICA)等方法,将混杂在脑电信号中的噪声成分分离出来并去除。这使得后续的分析能够基于更纯净、更能反映真实神经活动的信号。

信号处理完成后,特征提取成为OpenBCI算法的关键步骤。这一过程旨在从复杂的脑电信号中提取出能够有效表征大脑状态或特定任务的特征向量。例如,时域特征如均值、方差和峰度等,可以反映信号的幅度和波动特性;频域特征如功率谱密度和频谱重心,能够揭示不同频率成分的能量分布;时频域特征如小波变换系数,则能够同时捕捉信号在时间和频率上的变化。有了特征提取的结果,OpenBCI算法通过分类和模式识别算法来解读这些特征所代表的意义。常见的算法包括支持向量机(SVM)、决策树和人工神经网络(ANN)等。SVM擅长在高维特征空间中寻找最优分类超平面,从而对不同的脑电模式进行准确区分;决策树以其直观的决策规则和易于理解的结构,在一些简单的分类任务中表现出色;ANN则凭借其强大的学习能力和对复杂非线性关系的处理能力,能够适应各种复杂的脑电分类问题。

OpenBCI算法的应用领域十分广泛。在医疗领域,通过实时分析脑电信号的变化,为医生提供更客观、准确的诊断依据。因此,本文采用OpenBCI对脑电进行监测获得疲劳状态下的脑电波形,为我们提供更客观、准确的数据。

1.2 织物电极。在脑电波采集过程中,电极起着至关重要的

作用,它直接影响了采集脑电波数据的质量、脑电波数据的稳定性和脑电波数据的准确性;优质的电极能够有效地降低噪声、减少信号失真,从而提供更准确、清晰和可靠的脑电数据。同时有助于保持信号的稳定性,减少由于电极与头皮接触不良或电极自身特性变化导致的信号波动。并且对于被测试者来说,电极的舒适度很重要。如果电极引起不适或疼痛,可能会导致被测试者难以长时间配合实验,甚至影响其生理和心理状态,进而干扰脑电信号。同时耐用的电极可以多次使用,降低实验成本,并保证在多次使用中的性能一致性。因此,电极在脑电波采集过程中是一个关键因素,对采集到的数据质量、分析结果的准确性以及被测试者的体验都有着重要的影响。

本文主要利用带电特性织物的性能来制作电极,柔软的织物对于被测者有着很好的舒适性和耐用性^[3],能够更好的贴合头皮,与传统的金属电极相比,大大提高了佩戴的舒适性;同时织物电极可以很容易的集成到帽子、头带等可穿戴设备中,实现了脑电波的实时、连续监测,而不影响测试者的正常活动;织物材料具有良好的透气性,能够让头皮保持干爽,减少因长时间佩戴电极导致的出汗、瘙痒等不适症状^[4]。对于需要长时间进行脑电波采集的实验和应用非常重要;最后带电织物本身的特性使得它与OpenBCI具有很好的兼容性。

本文主要设计两种织物电极(如图1.1所示)——平绣电极和簇绒电极;平绣电极用于测量额前叶的大脑活动——F7和F8, Fp1作为参考电极,接地使用;簇绒电极用于测量枕部的大脑活动——O1和O2^[5]。

平绣电极的阵脚排列整齐、纹路光滑,与额前叶接触更亲密对脑电信号采集更准确;平绣也使电极更加结实,耐磨实用性更好,使用寿命更长;因此对于额前平整、光滑的部位选择平绣电极。

由于枕部处有大量的头发,我们在枕部处选用簇绒电极,因为簇绒电极柔软舒适、可以通过微小的绒毛插入头发间隙中,与头皮紧密结合,减少因头发阻碍脑电信号的采集差异。



(a) (b)

图1.1 (a)平绣电极; (b)簇绒电极

对制作的电极进行阻抗测试,合适的电极有助于实现与头皮之间良好的阻抗匹配,从而提高信号传输效率和准确性。测试主要为静态电阻,探讨电极的阻抗对脑电性能测试的影响^[6]。受测试者佩戴方式、皮肤状态以及松紧程度的影响,我们进行五次测试,取平均值;测试结果如表1所示:

表1 织物电极得阻抗值

电极编号 \ 阻抗值 (Ω)	1	2	3	4	5	平均
FP1--SRB2	48.3	58.5	73.1	81.7	44.6	61.24
F7--PIN1	65.7	82.9	132.6	19.6	20.3	64.22
F8--PIN2	147.3	112.30	94.6	93.9	56.5	100.92
O1--PIN7	53.6	64.1	119.1	73.7	38.1	69.72
O2--PIN8	96.0	100.9	122.4	66.9	30.1	83.26

脑电电极阻抗与头皮之间的阻抗 $<5K\Omega$, 所以制作的电极是符合要求的; 使得脑电数据的采集更加真实可靠。

2 实验研究与结果分析

表2 实验对象统计表

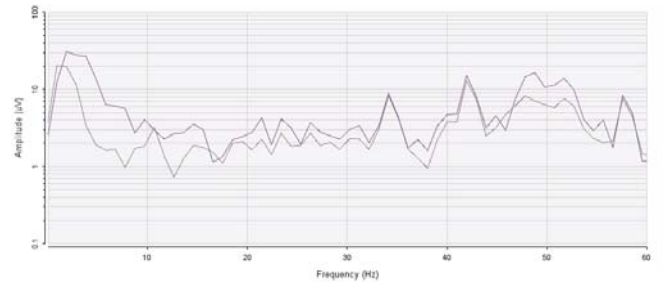
实验对象	性别	年龄	身高	状态
实验对象1	女	20	158	清醒
实验对象2	女	23	160	清醒
实验对象3	女	19	165	清醒
实验对象4	男	21	176	清醒
实验对象5	男	22	172	清醒
实验对象6	男	25	188	清醒

2.1 实验对象。首先为确保脑电测试的准确性, 选取了6名年龄在19-25岁之间的健康志愿者作为实验对象, 其中男性3名, 女性3名进行数据测试。所有实验对象均无神经系统疾病史, 且在实验前24小时内未服用任何神经系统功能的药物, 所有实验对象数据如表2所示。

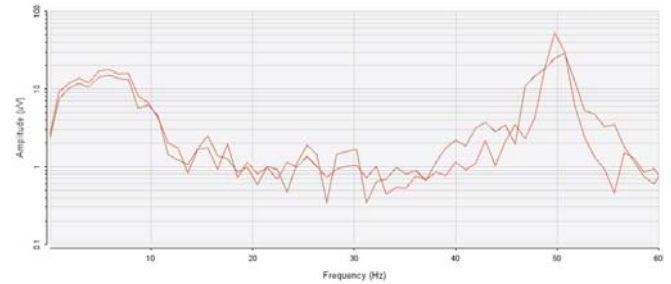
2.2 实验流程。在测试前, 所有实验对象都需要清洗头发, 保持干净干燥。防止头发油脂对测试结果的影响。将脑电监测发带置于测试者额头处, 并确保织物电极与头皮良好接触。将OpenBCI设备与计算机通过蓝牙连接, 并启动OpenBCI软件进行校准。在进行疲劳测试前, 会让测试者进行半小时的休息时间。

测试时, 对实验对象进行单独测试。将实验对象带入安静的房间中, 坐在舒适的椅子上, 保持放松状态, 记录此时实验对象清醒状态下的脑电波形; 然后让实验对象眼睛注视电脑屏幕, 反复播放枯燥乏味的视频, 诱发实验对象的疲劳状态。采用OpenBCI设备以50Hz的采样频率采集实验对象的脑电信号, 采集时间为60分钟。

2.3 实验及结果分析。本文针对织物电极在进行脑电监测准确性进行验证, 首先测试前, 实验对象处于清醒状态, 可以明显观察到测试者 α 波(8-13Hz)比较活跃。说明织物电极采集到的脑电信号比较准确。随着时间的增加, 实验对象逐渐出现疲劳状态, 通过对疲劳状态下的脑电信号进行分析, 发现随着疲劳程度的增加, 脑电信号在 δ 频段(1-4Hz)和 θ 频段(4-8Hz)的功率谱密度显著增加, α 频段(8-13Hz)和 β 频段(13-30Hz)的功率谱密度显著降低(如图2.1所示)。



(a)



(b)

图2.1 实验对象1疲劳状态脑电波形; (a) F7、F8疲劳频谱; (b) O1、O2疲劳频谱

3 总结

本研究针对织物电极在进行脑电监测准确性进行验证, 在进行反复的脑电信号采集; 使用织物电极采集脑电信号的准确率可以达到83.3%左右, 同时在电极采集率高的情况下使用OpenBCI对提取的脑电特征进行分析, 准确率非常高; 这表明基于织物电极的OpenBCI系统能够有效的识别疲劳状态下的脑电特征变化, 实现对疲劳状态的准确监测。为未来疲劳监测提供了一种便捷、舒适的新方法; 为人们的健康管理和工作生活提供更好的支持。

[参考文献]

- [1]林志强.基于深度学习和图神经网络的脑电波疲劳驾驶识别[D].南昌大学,2021.
- [2]熊桑桑,王庆兴.脑电波检测疲劳驾驶装置[J].电脑知识与技术,2021,17(22):171-172.
- [3]徐天源.基于柔性织物脑电电极的虚拟现实情绪分类系统[D].华南理工大学,2020.
- [4]张焕焕.面向穿戴式心电监测的织物电极研究[D].中原工学院,2021.
- [5]周明.基于织物电极的穿戴式标准十二导联动态心电检测系统[D].山东大学,2018.
- [6]胡瑶.用于生物电信号测量的柔性纺织电极的设计与应用[D].天津工业大学,2018.

作者简介:

黄雪缘(1999--),女,汉族,湖北荆州人,硕士,研究方向:机械电子。