

# 用于飞行员状态监控的视觉空间选择性注意研究

谢松云, 王立楠, 张斌, 吴悠, 张筠鹏

(西北工业大学 电子信息学院, 陕西 西安 710072)

**摘要:**如何在大量的、杂乱的、纷呈的信息中对特定的目标保持警觉,对专门的态势保持专注,是战争中无人机操控员和飞行员需要面临的重要问题,为确保其高度的警觉度,对他们的精神状态进行科学监控的研究显得尤为重要。当被试选择注意一侧空间视场,而忽略另外一侧视场的闪烁视觉刺激时,会诱发稳态视觉诱发电位。采用双视场视觉刺激范式诱发视觉稳态诱发电位,用以研究人的视觉空间选择注意模式。视觉刺激序列为左右两列叠加在闪烁色块背景上的字符流序列。左侧闪烁背景的闪烁频率为 12 Hz,右侧的为 8 Hz。通过实测实验、特征提取及数据分析可知,当被试注意一侧的视觉闪烁刺激时,会在对后侧的顶枕区引发与闪烁同频率的 SSVEP 震荡,且其幅值在注意时比非注意模式有显著增强。研究结果表明,该方法可以实时监控提醒飞行员精神状态,有效地辅助飞行员的驾驶操作。

**关键词:**空间选择注意,脑电,脑功能状态监测,稳态视觉诱发电位,警觉度

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-2758(2014)02-0268-05

在战争中,无人机操控员和飞行员处于极为紧张的精神状况下,包括战场态势在内的大量信息呈现在面前,如何对这些特殊人员的脑功能状态进行科学监控,使他们能够在杂乱纷呈的信息中对特定的目标保持警觉,是当前研究的热点和难点。视觉空间选择注意机制的研究日趋成为当今社会的重要研究课题,在国防领域都有广泛应用。了解人在选择注意不同视觉空间注意时的特征对于驾驶员状态监测、飞行员和无人机操控员注意模式及警觉度监测识别、视场目标定位追踪等军事研究等都具有重要意义。

近年来,研究人员关于飞行员的警觉度状态研究,大致发展为以下 2 个方向:①在机器视觉领域中,文献[1]以图像处理手段对飞行员的眨眼频率、眨眼周期、眼睛闭合时间相对百分比为主要研究对象的警觉度监控,该方法可以有效地判断飞行员的疲劳程度,但是对于佩戴墨镜或者战斗机面罩的飞行员将不适用。同时,考虑到不同驾驶环境下获取

的图像特征不同,单一的图像处理方法将在鲁棒性上有其局限性。②在脑电信号研究领域中,文献[2]以 EEG 中的 alpha 波、beta 波、theta 波为主要研究对象的精神状态监控,通过实时获取 EEG 中的各种波段成分的幅值变化来评价驾驶员的警觉度状态,能够使得地面监控人员对驾驶员做适当的提醒辅助工作,但该方法无法对驾驶员的视觉空间注意进行监控判断。

本文针对以上研究背景提出了一种基于稳态视觉诱发电位(steady-state visual evoked potential, SSVEP)的视觉空间选择性注意研究方法。该方法设计一套针对空间视觉注意力的实验范式,通过对实验数据的处理结果分析出驾驶员在不同视觉选择性注意模式间的脑响应差异,在实时获取了驾驶员的警觉度状态的同时还能够获悉驾驶员当前的视觉空间注意力状态。以期在后续研究的特征分类中提供理论和实验基础,旨在探究完善人脑注意力功能状态。为了更好地实现实时监控提醒飞行员精神状

收稿日期: 2013-10-12

基金项目: 国家自然科学基金(30470459)、国家重点实验室基金(9140C530303110C5304)、西北工业大学基础研究基金(0800-W018102)及西北工业大学研究生创业种子基金(Z2013084)资助

作者简介: 谢松云(1968—),女,西北工业大学教授、博士生导师,主要从事神经信息处理与脑认知、红外图像处理及动态目标识别与跟踪的研究。

态,有效辅助飞行员的驾驶操作。

### 1 SSVEP 在注意力研究中的应用方案

相比头动、眼动、心跳等传统生理信号,脑电信号由于其较高的时间分辨率,直接反映出神经意识反应特征,响应迅速,不易伪装等特点,成为了近年来人类心理、感知方面的研究热点<sup>[3]</sup>。利用脑电信号研究视觉注意模式,比传统生理信号更加直接准确地反映了人在特定刺激下的注意模式。通过脑电信号研究人的视觉感知特征,通常是通过呈现特定的视觉刺激,诱发相关的瞬态视觉事件相关电位。通过对瞬态视觉相关电位的分析,来研究人在不同刺激模式下的视觉响应模式。然而以瞬态视觉事件相关电位研究视觉空间选择注意模式,存在 2 个问题:①瞬态视觉事件相关电位的诱发刺激时间往往持续较短(0.3~1.5 s),被试对象很难集中注意,容易错过设定好的注意空间区域;②难以记录到长时间连续的稳定响应特征,给后期特征提取造成困难。为了克服这 2 个问题,记录到连续稳定注意模式下更加稳定的数据特征,研究者提出了用稳态视觉诱发电位来对空间选择性注意模式进行研究<sup>[4]</sup>。

当被试者注意显示器中显示的特定频率(3.5~75 Hz)闪烁的视觉刺激时,将在脑中产生相应的电位响应变化,在不同空间位置的刺激,会在刺激对侧纹外视觉皮层诱发最强的近似正弦的震荡反应,震荡的频率与闪烁基频一致,此时测得的脑电位变化即为稳态视觉诱发电位。该诱发机制类似于物理上的"谐振效应"。通过比较注意和不注意状态模式下的 SSVEP,发现注意态下诱发的 SSVEP 要比非注意状态模式下,幅值强度更大。一个典型的左 12 Hz 右 8 Hz 双视场闪烁刺激选择注意下诱发的锁定在 12 Hz 的 SSVEP 的成分如图 1 所示。

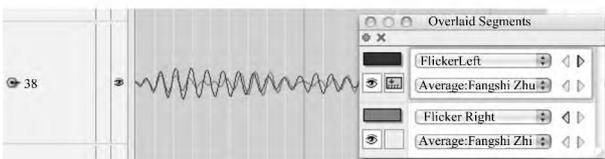


图 1 锁定在 12 Hz 的第 38 导联 SSVEP 波形图

由图可见,波形呈现近似 12 Hz 正弦的震荡。在被试者注意左侧 12 Hz 刺激时,所诱发的 SSVEP (黑色) 的幅值,要比不注意该刺激时的诱发响应 (灰色) 更强。由于 SSVEP 的频率锁定特性,我们可以将之快速量化到频率,作为一个连续、稳定的测量指标,便于处理分析。其次,稳态视觉诱发电位由于不同注意模式下的 SSVEP 对侧分布特性及幅值强度的差异明显,SSVEP 可以作为理想的研究视觉空间选择注意模式的特征指标<sup>[5]</sup>。

本文基于 SSVEP 的诱发机理和应用需求,设计如下试验方案进行试验验证,总体方案示意图如图 2 所示:

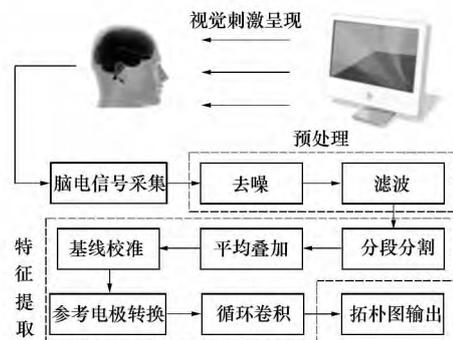


图 2 总体方案示意图

#### 1) 设计试验范式

采用心理学范式设计软件 E-Prime 编程实现视觉刺激界面。

#### 2) 脑电数据采集

采用 EGI 公司脑电采集放大器采集脑电数据,输出至 Mac Pro 工作站进行实时脑电数据流监控。

#### 3) 数据预处理

在 Mac Pro 工作站对源数据做去噪滤波等预处理。

#### 4) 数据特征提取

对含有 SSVEP 的 EEG 数据做进一步处理,提出 SSVEP 特征成分。

#### 5) 试验结果分析

通过最后获得的拓朴图验证理论的正确性,同时获取被试者当前视觉空间注意状态。

## 2 基于 SSVEP 的选择性注意研究方法实现

### 2.1 被试者选择

8 名健康成年人(7 名男性,1 名女性)均签署了协议,志愿参加了试验。所有对象均为右利手,视力或矫正视力都达到了 1.5。最终 3 人的脑电数据由于引入过多伪迹噪声而被弃用,剩余 5 人的数据被用于本研究。

### 2.2 试验范式设计

试验中,要求被试者在屏蔽室舒适地坐下,注视 LCD 视觉刺激呈现,记录各种不同空间选择注意模式下的脑电信号。视觉刺激范式示意如图 3 所示。

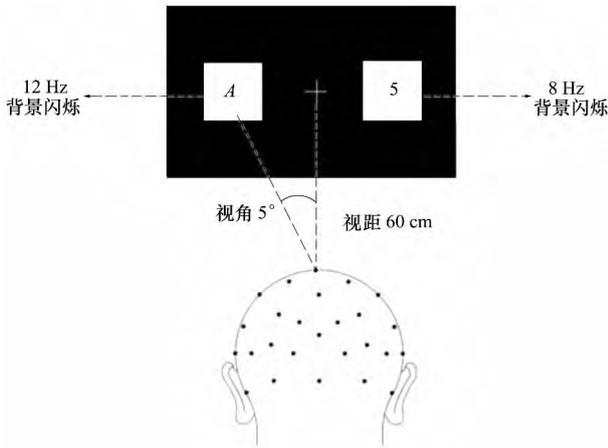


图 3 试验范式示意图

试验过程中,要求被试目光始终注视屏幕中央的十字。在每个试次开始前,在十字附近或左或右侧,出现指向一侧的箭头,表示试验中被试需要注意的空间区域。试验开始后,在左右 2 个视场同时出现 2 个叠加在白色闪烁色块上的字母流序列。左侧序列的背景色块闪烁频率为 12 Hz,右侧序列的背景色块闪烁频率为 8 Hz,亮-暗占空比均为 50/50。分别用于诱发不同频率的 SSVEP。色块上的字母序列为认知任务,包含从 A~K 的字母和阿拉伯数字 5,以 5 Hz 的频率等概率伪随机出现,每种字符在左右 2 个序列中的概率也相等。其中 A~K 为标准刺激,5 为反应目标任务。被试距离 LCD 距离 60 cm,平视,到任务字符的视角为 5.0°,白色色块为 2.0°×2.0°,字符为 1.0°×1.0°。当被试发现到被箭头指示的注意侧的目标 5,要求尽快做出按键反应。每个

试次闪烁持续 12 s,整个试验单元共包含左、右两侧的注意模式试次各 30 次,按照伪随机顺序呈现。

### 2.3 试验数据记录

本试验采用心理学范式设计软件 E-Prime 来编程实现视觉刺激,EGI 公司脑电采集放大器采集脑电数据,NetStation 平台进行数据分析。试验采集 64 导联的脑电数据,采用全脑平均作为记录参考。采样率为 250 Hz,记录时设定 0.3~40 Hz 的带通滤波器。试验在柔和灯光,温度适宜的屏蔽室进行,共记录 8 人的脑电数据,后进行离线处理。

## 3 试验数据处理及结果分析

### 3.1 预处理

记录数据采用 NetStation 进行预处理,对选择注意左侧和选择注意右侧的 2 种空间选择注意模式的试次进行分段分割并分类。舍去幅度大于眨眼和眼动伪迹阈值的噪声片段。

### 3.2 特征提取

将预处理后的全部 64 导联的数据,进行 3 dB,24 Hz 的低通滤波,以去除高频噪声。将每个导联内,注意左侧视觉刺激模式的试次和注意右侧视觉刺激模式的试次数据,分别在时域平均叠加。平均区段长度为 13 s,在闪烁开始前 1 s 为起点。再以该 1 s 为标准进行基线校准。然后将平均后的数据,进行参考电极转换,以乳突作为转换后的参考电极。得到所有导联在选择注意左侧闪烁和选择注意右侧闪烁 2 种不同空间选择注意模式下的平均脑电特征信号。

然后,对所有的导联的平均信号进行进一步频域抽取处理,增强 SSVEP 相关成分。对于 2 种空间注意模式下所有导联的平均信号,都分别循环卷积  $f_1 = 12 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 8 \text{ Hz}$  的正弦信号。时域卷积等于频域相乘。而正弦的频谱即为谐振频率上的单点频谱。因此与之卷积,等于频谱与单点相乘,相当于抽取出来了 SSVEP 震荡诱发刺激相关的成分。得到所有导联在两种空间选择注意模式下的  $f_1, f_2$  相关的 2 种 SSVEP 成分。作为后续分析的特征指标。

### 3.3 结果分析

提取结果如图 4 和图 5 所示。图 4 所示为左视场 12 Hz 闪烁刺激诱发的 SSVEP 的脑分布拓扑图。图中实线表示被试注意左侧(12 Hz)忽略右侧(8 Hz)时的 12 Hz 的 SSVEP,虚线波形则为左侧视场

的 12Hz 稳态闪烁,诱发了稳定的同频的类正弦 SS-VEP 特征,最明显的分布在刺激对侧脑后顶枕区域。并且在被试注意该左侧刺激时诱发的 SSVEP,比不注意时的波形幅度更大,达到 1.5~2 倍。差异在右后侧的 38,39,40 导联(图中下侧偏右位置)尤为明显。

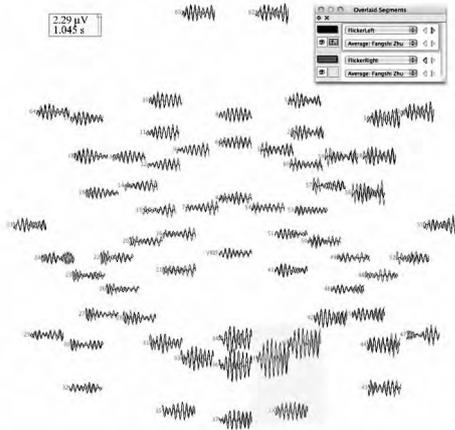


图 4 抽取出的  $f_1 = 12$  Hz 闪烁诱发的 SSVEP

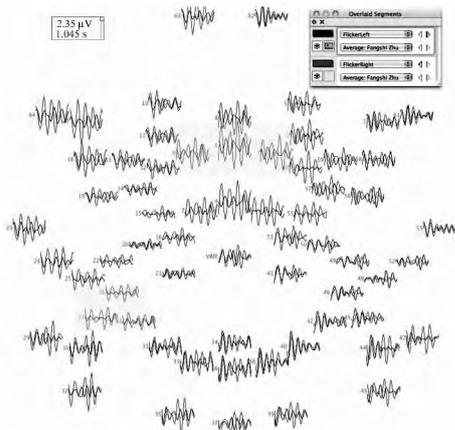


图 5 抽取出的  $f_2 = 8$  Hz 闪烁诱发的 SSVEP

图 5 所示为右视场 8 Hz 闪烁刺激诱发的 SS-VEP。图中实线表示被试注意左侧(12 Hz)忽略右侧(8 Hz)时的 8 Hz 的 SSVEP,虚线波形则为被试注意右侧(12 Hz)忽略左侧(8 Hz)时的 8 Hz 相关 SS-VEP。通过对比不难发现,右侧视场的 8 Hz 稳态闪烁,同样也诱发了稳定的同频的类正弦 SSVEP 特征。这里与之前不同,右侧 8 Hz 的刺激诱发 SSVEP 的最明显的分布除了在刺激对侧脑后顶枕区域外,在中央前额区域也较明显,而且表现出左右对称性。并且在被试注意该右侧刺激时诱发的 SSVEP,比不注意时的波形幅度更大,达到 1.5~3 倍。差异在左

后侧的 26,27,28 导联,前区的 3,6,9 导联尤为明显。

通过以上对比发现,稳态的闪烁视觉刺激,会诱发同频率类正弦的 SSVEP 响应。响应具有对后侧的分布特性。且被试在注意态时比非注意态时,诱发的 SSVEP 幅度有明显增强。

因此,如果在不同的视觉空间位置,以不同频率的闪烁刺激作为空间位置的标定,可以用来研究人的视觉空间选择注意认知模式。通过提取被试与特定空间视场刺激频率相关的 SSVEP,我们可以确定当前被试选择的注意视场空间区域。由此试验的理论结果可以预见,在未来的实际应用中,地面指挥控制中心可以通过对飞行员的脑电实时监控,确定其视觉空间注意力状态,达到辅助作业的目的。

同时,我们发现由于被试者间存在个体生理上差异,并非所有被试的视觉相关反应区域都位于理论上最应该出现的枕骨区域。例如图 5 所示,其中差异较为明显的区域位于前额位置。通过对数据和试验的分析讨论发现,这是因为各导联传感器接收到的信号并非直接由脑功能区线性传出至头皮表面,而是通过复杂的耦合关系,每个导联传感器接收到的信号为全脑信号在该位置点的综合叠加结果。基于此试验数据给我们以启发,即在选择所需研究导联时,针对不同被试者的注意力状态研究应基于实际数据出发,而不是经验性的结论,才能在后期的特征提取分类等数据处理中获得较好的结果。

## 4 结 论

本文以 SSVEP 为对象,研究了人的视觉空间选择注意模式机制。本文设计实现的左、右双视场闪烁刺激选择性注意范式良好的抽象代表了空间选择性注意模型,能够诱发被试者较强的 SSVEP 反应。本文所提出算法中的特征提取模块,能够良好地从原始 EEG 信号中提取出明显稳定的 SSVEP 波形。通过提取不同空间选择注意模式下的 SSVEP,对比其脑侧分布和幅值差异特性,我们得以分析判定被试的视觉空间选择注意的区域,为进一步的视觉空间注意模式识别打下基础。相比于传统的基于 alpha 波等疲劳度评定,本文方法在获取疲劳度状态的同时能够更进一步地获取被试者的空间视觉注意状态。由于视觉系统在军事国防及民生日常的广泛运用及视觉图像视频处理技术的飞速发展,这一研

究为更加深入的人-武器应用发展如驾驶员飞行员的状态监测、注意模式识别、警觉度监测开启了可能,具有良好的研究前景。

## 参考文献:

- [1] Xiang Shulan ,Saber Alireza. A Fast Algorithm for Fatigue Detection of Pilot [C]. Proceedings of International Conference on Image and Video Processing and Computer Vision ,2010
- [2] Zhao Chunlin ,Zhao Min ,Liu Jianpin ,Zheng Chongxun. Electroencephalogram and Electrocardiograph Assessment of Mental Fatigue in a Driving Simulator [J]. Accident Analysis and Prevention ,2012 ,45: 83-90
- [3] 闫铮 宾光宇 高小榕. 基于左右视野双频率刺激的 SSVEP 脑-机接口 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2009 ,49( 12) : 2013-2016  
Yan Zheng ,Bin Guangyu ,Gao Xiaorong. Right-and-Left Field Stimulation with Two Frequencies for a SSVEP-Based Brain-Computer Interface [J]. J Tsinghua University: Sci & Tech ,2009 ,49( 12) 2013-2016 ( in Chinese)
- [4] Francois-Benoit Vialatte ,Monique Maurice ,Justin Dauwels ,et al. Steady-State Visually Evoked Potentials: Focus on Essential Paradigms and Future Perspectives [J]. Progress in Neurobiology ,2010 ,90: 418-438
- [5] Xie Songyun ,Zhu Fangshi ,Obermayer Klaus ,Ritter Petra ,Wang Linan. A Spatial Selective Visual Attention Pattern Recognition Method Based on Joint Short SSVEP [C]. International Joint Conference on Neural Networks ,2013

## On Spatial Selective Attention Pattern and Its Application to Monitoring of Pilot's Brain Function State

Xie Songyun ,Wang Linan ,Zhang Bin ,Wu You ,Zhang Yunpeng

( Department of Electronics Engineering ,Northwestern Polytechnical University ,Xi'an 710072 ,China)

**Abstract:** One of the vital problems confronted by pilots or manipulators of Unmanned Aircraft now is how to remain vigilant towards certain targets among vast amount of information. In order to improve their vigilances ,it is essential to monitor their mental states. Steady-state visual evoked potentials ( SSVEP) can be induced when paying attention to only a portion of the visual fields but ignoring the rest. In order to study the spatial selective attention pattern ,we design the experiment paradigm that SSVEP is evoked by a dual-field visual stimulation. Two different stimulation sequences are distributed to the visual fields separately ,which are a series of alphabets or numbers displayed at 12Hz on the left square and at 8Hz on the right square. Then we detect the Electroencephalogram ( EEG) signals and extract the features of SSVEP from the EEG signals. After data analysis we find that SSVEP signal oscillates at the exact same frequency toward the attended stimulation but locates at the parietal-occipital area opposite to it. The amplitude increases significantly compared with that extracted under unfocused condition. So we could conclude that our method is efficient for monitoring the pilots' metal states ,thus assisting them efficiently to operate correctly.

**Key words:** bioelectric potentials , brain , data reduction , efficiency , electroencephalography , experiments , feature extraction , monitoring , neurophysiology; spatial selective attention , steady-state visual evoked potential ( SSVEP) , vigilance