SSVEP-BCI 刺激器测试报告

该 SSVEP-BCI 刺激器是脑-机接口系统中交互界面的重要部分,当下呈现如图 1 所示。本报告主要测试在不同条件下界面内刺激频率的精确度、稳定性。

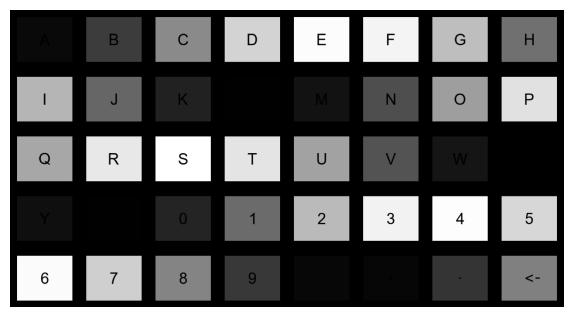


图 1. SSVEP-BCI 刺激器界面

1. 刺激器的频率精确度测试

(1) 基于光电池的计算结果

设置窗口为 2560×1440 ,通过光电池采集屏幕显示信号,应用 Neuroscan 记录数据,采样 5s 连续数据,对 40 目标 SSVEP-BCI 刺激器测试,部分结果如图 2 所示。

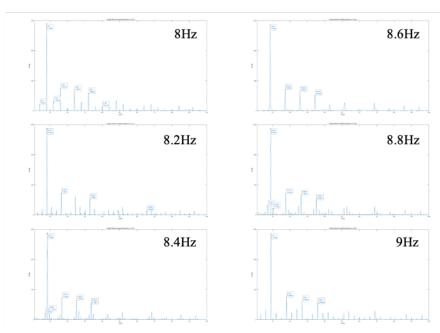


图 2. 频率精确度测试结果

(2) 基于视频采样的结果 截取连续的1秒数据,转换为图像帧,结果如图3所示。

既 人 人 大 山) I 1/2 3X 1/11 , 14 1/2		AH 区 0 //1/1/10	
A B C D E F G H I J K L M N O P	A B C D E F G H I J K L M N O P	ABCDEFGH IJKLMNOP	ABCDEFGH IJKLW	ABCDEFGH KLMNOP
Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ,	Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 , «	Q R S T U V W X Y Z 0 1 2 3 4 5	Q R S T U V W X Y Z 0 1 2 3 4 5	Q R S T U V W X Y Z 0 1 5 6 7 8 9 7 8 4
ABCDEBH	ABDEFGH	BCDEFGH	ABCDEF	ABCDEF
U J K L M N O P	I J K L M N O P Q R S T W X	I J K L M N O	I J K M N O P Q R S T U V W	I J K M N O P Q R S T U V W
6 7 8 9 , , . \$	Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 3 4 5	Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Y Z 0 1 3 4 5	Y Z 0 1 3 4 5 6 7 8 9 , . <
ABCDEFGH IJKLMNOP	A B C E F G H I J K L M N O	A B D E F G H J K L M V O P	A	A B C D E G H I J K M N O P
Q R S T U W X Y Z 1 1 2 3 4 5	Q R S T V W X Y 0 1 2 3 4 5	Q R S U V W X Z 0 1 2 3 5	Q R J T U V W Y Z 0 1 2 J 4 5	Q S T U V X Y Z 0 1 2 3 4 5
6 7 8 9 ,	6 7 8 9 · · «	6 7 8 9 , · « A B C D E F G H	6 7 8 9 , · « A B D E F G H	6 7 8 9 , . «
I J K L M N O F	I J K L M N O P	I K L M O P	I J K L N O P Q R S T U V X	J K L M N O P
Y Z 0 2 3 4 6 6 8 9 · · «	Y Z 1 2 3 5 7 8 9 7 6	Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ,	Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 , . «	Z 0 1 2 3 4 6 7 9 7 6
A CDEFGH	A B C D E F G H	B C E F H	ABCDEFGH	A B D E F G H
I J K L M N P Q S T U V W X Y Z 0 2 3 5	I J L M N O P Q R S T U V W Y Z 0 1 2 3 4 5	I J K L M N O P Q R S T U V X Y Z 0 1 2 3 4 5	I	I
6 7 8 9	6 8 9 , .	6 7 8 9 , . <	7 8 9 , . <	6 7 8 9
A B C D F G H I J K M N O P	A B C D E F H J K L M G O P	A B C D E F G H I J L M N O P	A B C D E G H I J K L N O P	A B C D E F G H I J K L M N O P
Q R S T U V W X Y Z 0	Q R S T U V W X Z 0 1 2 4 5	Q S T U V W X Y Z 1 1 2 3 4 5	Q R S T U W X Y Z 0 1 3 4 5	Q R S T U V W X Y Z 0 1 2 3 4 5
6 7 8 9 7 7 8 6 H	6 7 8 9 , · « A B C D E F G H	6 8 9 , « A B C D E F G H	6 7 8 F G H	6 7 8 9 , · < A B C D E F G H
I	I J K L M N O P Q R S T U V W X	I J K L M N O P Q R S T U V W X	Q S U W W X	J K L M N O P Q R S T U V W X
Y 0 1 2 3 4 5 7 9 7 . €	Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 √ , . <	Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 7 7 8	Z 1 1 2 3 4 5 6 8 8 7 7 8 • •	Y Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 √ , . «
ABCDEFGH IJKLMOP	A B D E F G H	B C D E F G H	ABCDEFGH IJKLWNOP	A B C D E F H
Q R S T V W X Y Z 0 1 2 4 5	Q R	R S T U W X Y Z 0 1 2 3 4 5	Q R S U V W X Y Z 0 1 2 3 4 5	Q R S T U V X Y Z 3 1 2 3 4 5
6 7 8 9 , . <	6 7 8 9 7 8	8 9	6 7 8	6 8 9 , . <
A	A B C D E F G H J K M N P Q R S T U V W X	A B D E G H I J K L M N O P Q R S T U V W X	A B C D E F G H I K L M N O P Q R S T U V X	A B C L E F G H I J K L M L O P R S T U V W
Q R S T V W X Z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 , .	Z 0 2 3 5 6 7 9 · <	Q R S T U V W X Y Z 0 1 Z 3 4 6 7 8 9	Q R S T U V X Y Z 0 1 2 3 4 5 5 7 8 ,	Y Z 1 2 3 4 5 6 7 8 9 7 .
BCDFFGH	ABCDEFGH	ABCDEFGH	A B D E F G H J K L M N O P	ABCUEFGH
Q R S T V W X Y Z 0 1 2 3 5	Q S T U W X Y Z 0 2 3 4	Q R S T U V X X Z 0 1 3 4 5	Q R S T U V W Y Z 0 1 2 4 5	Q R S T U V W X Y 0 1 2 3 5
6 8 9 «	6 7 8 9	6 7 9 ,	6 7 8	6 7 8 9 , . <

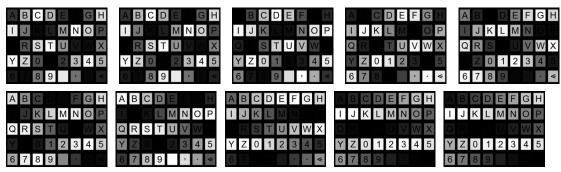


图 3. 录屏转图片 (连续截取 60 帧)

(3) 基于图像渲染时间的计算结果

在台式机 (RAM:32GB, GPU: NVIDIA Quadro RTX 4000, 刷新率: 60Hz) 上, GPU 的使用情况如图 4 所示,显示了 30.3 秒-32.7 秒的 GPU 工作情况,可见:每一次 GPU 的绘图持续时间都显著小于帧间隔 (16.67ms)。

REPUBLIC DISCOUNTS RISCOUNTS RISCOU

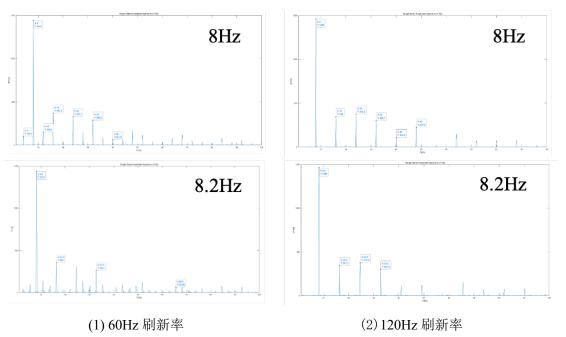
图 4. GPU 工作情况 (粉色块代表 GPU 处于工作状态)

2. 刺激器的频率稳定性测试

设置窗口为 2560×1440, 在台式机(RAM:32GB, GPU: NVIDIA Quadro RTX 4000, 刷新率: 60Hz)上, 刺激器工作 2 小时, 对不同时间区间的数据采样, 测试刺激器在时间维度的稳定性, 利用上述方法分析, 刺激稳定。

3. 不同刷新率下,刺激器的频率精确度测试

设置窗口为 2560×1440 ,在台式机(RAM:32GB, GPU: NVIDIA Quadro RTX 4000)上,分别设置屏幕刷新率为 60Hz 和 120Hz,以 8Hz 和 8.2Hz 刺激为例,实验结果如图 5 所示,刷新率的提升可以使频谱更加干净。



4. 不同窗口尺度下,刺激器的频率精确度测试

上述实验均在 2560×1440 的设置下进行,现设置窗口为 800×600,如图 6 所示。40 目标 SSVEP-BCI 刺激器测试结果如图 7 所示。

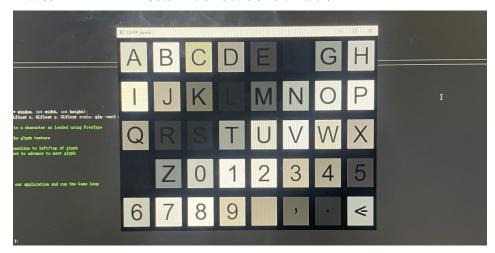


图 6. 小窗口 SSVEP-BCI 刺激器界面

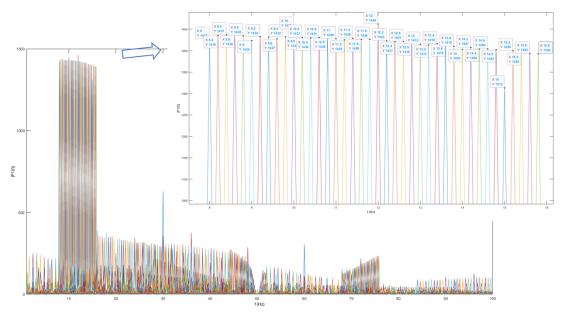


图 7. 小窗口测试结果

5. 多窗口模式下,刺激器的频率精确度测试

设置窗口为 2560×1440, 在台式机(RAM:32GB, GPU: NVIDIA Quadro RTX 4000, 刷新率: 60Hz)上,实验设置如图 8 所示。以 8Hz 刺激为例,测试结果如图 9 所示,在频谱上符合。

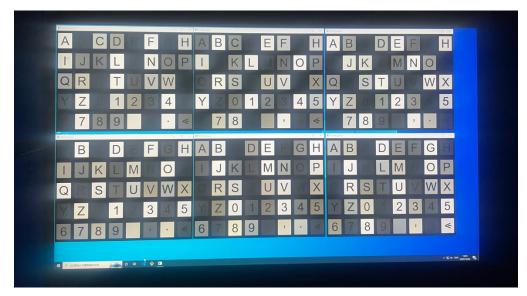
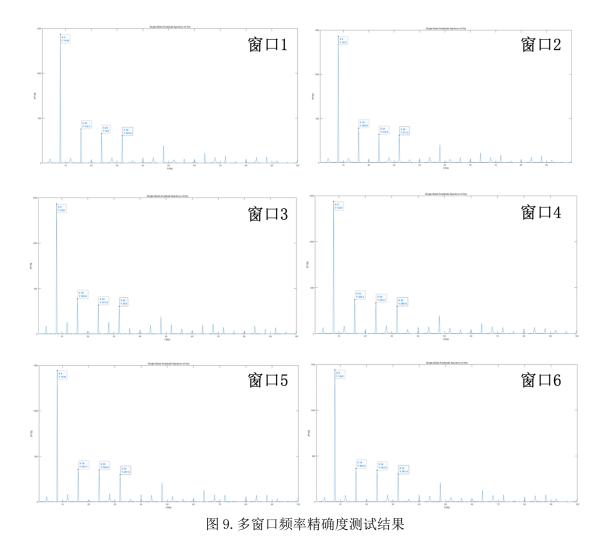


图 8. 多窗口模式



6. 刺激器在不同机器的频率精确度测试

实验在台式机(RAM:32GB, GPU: NVIDIA Quadro RTX 4000, 刷新率:60Hz),

笔记本电脑(RAM:16GB, GPU:NVIDIA Quadro P1000, 刷新率: 60.027Hz)。以 12Hz 为例,设置窗口为 800×600 ,采样 5s 数据,测试结果如图 10 所示,在频谱上符合。

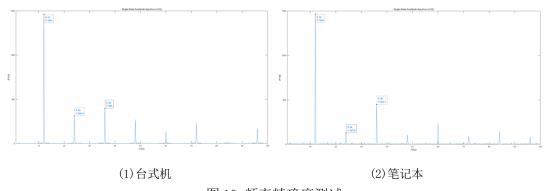


图 10. 频率精确度测试

* 7. 电路串扰

在测试过程中,光电池所在通道的频谱和其他通道频谱的对比如图 11 所示,发现:未采集信号的通道依然有采集信号通道的刺激频率成分,即使信号微弱,但放大后在频域上依然可分辨,存在电路间的串扰。

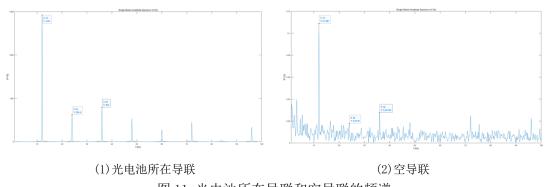


图 11. 光电池所在导联和空导联的频谱