**EEG神经反馈系统开发方案**

1. **开发需求**

开发一个通过观看游戏刺激，实时采集脑电信号，并以动画或音乐形式将脑电信号识别结果在线反馈给被试的EEG神经反馈模块。

满足双盲实验需求。

1. **系统搭建及技术指标**

整套系统分被试信息界面、脑电信号采集、识别与特征提取和结果反馈四部分。

* 1. **被试信息界面**

输入被试姓名，性别，编号，生日（年份），利手

主试姓名，实验日期

* 1. **静息态脑电记录与阈值反馈**

反馈前，需要记录一段时间的睁眼静息态或闭眼静息态EEG，该记录时长可以根据用户需求自定义。

脑电记录结束后，对信号进行预处理得到干净信号并画出反馈位置的静息态EEG功率谱图。频率显示范围从4到30Hz，能显示反馈位置处在7.5到12.5Hz内的峰值alpha频率(peak alpha frequency, PAF)及其峰值大小，并显示出反馈特征在反馈位置处的静息态的平均值。

计算出静息态脑电阈值后，以UDP形式发送回反馈界面，待加载完反馈参数开始进行在线反馈特征的识别与提取。

* 1. **信号识别与特征提取**

随机频段反馈：需要每个trial随机选择带宽为4Hz的非真实训练组的频段以及反馈方向。并且一天的n个trial之间的随机频段或方向不重叠。真实反馈：所有trial都训练同一个频段及方向。

* + 1. 去噪，比如设置4到30Hz的带通滤波，50Hz陷波。
    2. 检测眼电和肌电伪迹。在干净信号的基础上再计算反馈特征，要求实时快速，延迟越少越好。需要注意的是，4-30Hz带宽基本滤除肌电，无需单独滤除肌电；中后部脑区受眼电影响不大也没必要单独滤除，但如果选用前额导联较多，可进一步商讨去眼电方法。
    3. 反馈特征计算方法1：某个固定EEG频段的absolute amplitude或relative amplitude特征，该固定频段的上线频率（upper）和下限频率（lower）可以是用户自定义的任何4到30Hz内的频率。

公式（1）是relative amplitude 计算公式，X(k) was the frequency spectrum amplitude calculated by fast Fourier transformation (FFT) with a 1-sec sliding window that shifted forward every 0.125 s, Δf was the frequency resolution of FFT and k was the spectrum index。

 （1）

公式（1）的分子部分是absolute amplitude计算公式

计算出的反馈特征以UDP形式发送至反馈界面。

* 1. **反馈结果的呈现与保存**
     1. **反馈界面呈现**

反馈特征通过动画或音乐形式实时呈现给被试，具体形式如下。

1. 柱状图反馈（见柱状图反馈视频），该反馈原理是：柱状图中间的黑线是在反馈前设定好的反馈阈值。反馈方向可以是增强反馈，即通过反馈训练使得反馈特征得到强化；也可以是抑制反馈，即通过就反馈训练使得反馈特征得到抑制，使之减少。柱状图的高低实时代表了反馈特征的高低。在增强反馈中，柱状图越高说明反馈特征越大。在抑制反馈中，柱状图越高说明反馈特征越小。也就是说，我们会告诉被试柱状图越高越好。
2. 拼图反馈（见拼图反馈视频）。该反馈原理是：一张完整的拼图由若干碎片组成。在增强（或抑制）反馈中，当反馈特征高于（或低于）预先设定的反馈阈值时，使其中一块拼图碎片朝着指定位置移动，并且反馈特征越高（或越低），拼图移动速度越快（相反，反馈特征在阈值之上（之下）但却不断减少（增加）的话，朝着预定位置移动就越慢）直到到达指定位置，如果一直保持反馈特征大于（或小于）阈值，那么上一块碎片移动完就接着移动下一块。如果拼图还没到预定位置时反馈特征就低于（或高于）预先设定的反馈阈值时，拼图碎片则向相反方向移动，直至移动到其初始位置。
3. 音乐反馈：在增强（抑制）反馈中，反馈特征越大，则音乐声音越大（越小）音质越清晰（不清晰）。当然，这里音量的应在可以听见但不伤听力的范围内变动。用户可以选择任意音乐进行反馈。
   * 1. **反馈参数设置**
4. day number, trial number/ trial duration/trial interval。一般每天训练一次，一次训练包括n个trial。Trial之间有固定的trial interval
5. 反馈界面选择：即使用哪种反馈界面进行反馈。
6. **为了满足双盲实验需求，实验主试和被试都无法看到被试的分组情况、接受的是哪种反馈训练。以下反馈参数可以通过实验设计者提前设置好一个脚本，导入反馈系统。**

* **在真实反馈和随机频段反馈中**

**a) threshold level:** 系统自动计算训练当天每个trial的反馈阈值。

在一次训练中，第一个trial的反馈阈值设置为反馈特征在静息态的平均值（见1）。从第二个trial开始到当天第n个trial，每个trial的阈值根据上一个trial自动调整。调整规则如下：

系统计算上一个trial的成功率（成功率计算见2.4.3），如果成功率大于70%，那么下一个trial的反馈阈值就自动在上一个trial阈值上增加（在增强反馈中）或减少（在抑制反馈中），相当于下一个trial增加反馈难度，让被试挑战更高难度。如果成功率小于40%，那么阈值就减少（在增强反馈中）或增加（在抑制反馈中），相当于减少难度，让被试觉得没有那么难。如果成功率在40%到70%之间，下一个trial阈值不变。调整的大小为：反馈特征为relative amplitude，则调整0.1；反馈特征为absolute amplitude，则调整0.5uV。

**b)反馈位置和方向**：选择反馈哪个电极的反馈特征，选择反馈relative amplitude还是absolute amplitude，选择反馈方向是增强反馈还是抑制反馈。

**c)反馈频段:**

* **选择**哪个固定频段或个体化频段的特征：theta (4-8Hz)， individual theta band (ITB, 4~0.8\*PAF), alpha (8-12 Hz), individual alpha band (IAB, 0.8\*PAF~1.2\*PAF), sigma (12-16Hz), SMR (12-15Hz), beta1(16-20Hz), individual beta1 band (IB1B, 1.2\*PAF ~ 20 Hz)，beta2 (20-24Hz), beta3 (24-28Hz)。
* 这里需要注意的是，如果反馈个体化频段并且是多天的训练，那么每天训练前计算的PAF可能会有不同。多天的训练的个体化频段都保持跟第一天一致。
* **在虚假反馈中，并不真实反馈被试的信号，让反馈界面随机动，但是保证每个trial有60%到70%的成功率**

**2.4.3 反馈结果存储**

（1）保存每个trial的反馈阈值，反馈位置，反馈频段，反馈方向，每个trial反馈成功的分数（即在增强反馈中反馈特征大于阈值的次数除以反馈总次数，或在抑制反馈中反馈特征小于反馈阈值次数除以反馈总次数）

（2）每个trial所记录的所有EEG通道的原始数据，以及各trial的起始marker。

（3）静息态EEG原始数据以及PAF。