

# 基于多模态脑机接口的机械臂异步控制系统

## 统赛项参赛说明

### 一、竞赛简介

面向混合脑机接口与机器人控制应用场景开展竞赛。传统运动想象脑机接口多聚焦于左手、右手、脚、舌等大类运动意图识别，虽可完成基础分类任务，但难以直接支持机械臂在真实环境中的抓取、搬运与定点放置。与此同时，单一 EEG 方案在异步触发、误触发抑制和在线实时稳定性方面仍面临挑战。随着多模态信号融合与实时控制技术的发展，结合 EEG 与其他模态的混合脑机接口，为实现更稳定、更高效的机械臂控制提供了新的技术路径。

本赛项重点考察参赛队伍设计并实现端到端混合脑机接口系统的能力。系统需完成从 EEG 与其他模态数据的采集、实时伪迹抑制、特征提取、融合解码、指令映射到机械臂控制的完整闭环流程，实现对手部运动意图的实时解析，并驱动机械臂将物体移动至指定位置。

本赛项的核心目标不仅在于考察算法分类准确率，还要求系统具备异步触发能力、低延迟响应能力、较强的在线稳定性以及可完成真实任务的闭环控制能力。赛题要求以 EEG 为主要解码信号，以头面部其余模态信号作为辅助控制信息，用于触发确认、状态切换或误触发抑制等功能，禁止采用纯 EMG 方案替代脑机接口意图解码。

### 二、参赛资格

1. 参赛对象为按规定完成报名并通过资格审核的参赛队伍。
2. 参赛队伍应具备脑电、肌电采集与信号处理、实时控制系统开发或机器人控制相关技术基础。
3. 参赛队伍须能够在规定时间内完成设备搭建、模型校准、算法部署及现场联调。
4. 涉及受试者参与的，受试者应具备良好的配合能力，能够完成规定训练与在线控制任务。
5. 其他报名要求、人员组成要求及资格审核条件，以赛方正式通知为准。

### 三、规则规程

#### （一）赛项任务说明

本赛项任务为基于 EEG 与头面部多模态信号的手部运动实时解码与机械臂控制。参赛队伍需构建一套软硬件协同的闭环控制系统，通过解析受试者的手部运动意图，实时驱动机械臂完成目标物体的接近、抓取、搬运和释放，并将物体准确移动到指定位置。

本赛项要求参赛系统具备以下能力：

1. 完成 EEG 与其他模态信号的同步采集；
2. 实现实时伪迹抑制与特征提取；
3. 有效区分至少 4 类关键运动状态，并识别空闲态；
4. 在异步控制场景下实现稳定、低误触发的实时输出；
5. 驱动机械臂完成真实场景中的抓取与搬运任务。
6. 不可使用被动式、外部刺激诱发式脑机接口

系统必须始终处于待命状态，不允许依赖固定时刻触发动作。仅当检测到明确、有效的控制意图时，机械臂方可执行动作。在受试者未产生控制意图时，机械臂应保持静止。系统从被试开始产生控制意图到机械臂开始执行动作的端到端延迟应控制在 3100ms 以内

#### （二）任务定义与动作类别

为兼顾技术难度与可实施性，本赛项将任务定义为离散运动状态识别 + 闭环机械臂搬运控制。主要动作类别包括：

1. 静息：受试者处于放松状态，无主动控制意图，机械臂保持待机静止。
2. 接近/前伸：模拟手部向目标物体接近或前伸的运动意图，对应控制机械臂从待机位移动至目标物体附近或预抓取位。
3. 抓取/夹持：模拟手部握持动作，对应控制机械臂末端执行器闭合并完成目标物体夹持。
4. 搬运/保持：模拟持物移动或持续保持的运动意图，对应控制机械臂沿规划路径将物体由起始位置移动至指定区域，并保持夹持稳定。
5. 释放/放置：模拟手部张开或松开的运动意图，对应控制机械臂末端执行器张开，在目标点完成物体释放与放置。

### （三）技术要求与系统要求

#### 1. 硬件要求

（1）采集设备需采用 32 导至 64 导 EEG 设备，并配置不少于 1 种的头面部其余模态信号采集模块。

（2）EEG 必须覆盖 C3、Cz、C4 及其周边感觉运动皮层区域，可包括 FC3、FC4、CP3、CP4 等通道。

（3）EMG 采集位置仅限头面部区域，如额肌、颞肌、咬肌、眼周肌群等，禁止在前臂、上臂、肩部、手部等上部部位布置 EMG 电极。

（4）系统需具备可靠的时间同步与控制通信机制，能够对 EEG、EMG、刺激事件及机械臂动作进行统一打标与对时。

（5）机械臂及末端执行器由赛方现场提供，参赛队伍需完成解码系统与机械臂控制接口之间的联调，实现稳定闭环控制。

#### 2. 系统要求

（1）系统应采用 EEG 为主、其余头面部模态信号为辅的融合控制架构。

（2）系统应具备空闲态检测能力和误触发抑制能力。

（3）系统须支持在线实时运行，并能够在现场完成模型训练、部署与调试。

（4）系统根据任务指令输出控制命令，驱动机械臂完成抓取、搬运与放置。

### （四）采集范式与测试方式

本赛项采用同步离线训练 + 异步在线控制的测试模式。

#### 1. 训练阶段

训练阶段采用视觉引导方式，屏幕显示动作文字提示、动画或示意图，如“接近”“抓取”“搬运”“释放”等。参赛队伍可参照一般运动想象 EEG 采集范式开展训练，其中单次运动意图保持阶段建议为 4 秒。训练阶段应同步采集静息态、运动意图态以及辅助模态信号，用于建立 EEG 多模态融合解码模型。

#### 2. 在线测试阶段

在线测试阶段不提供固定节拍 Cue。受试者根据现场任务要求自主发起控制意图，系统需实时输出控制指令，驱动机械臂完成目标物体的接近、抓取、搬运与释放，并将其移动至指定位置。该阶段重点考察系统在真实异步控制环境中的响应速度、任务完成能力和稳定性。

## （五）比赛执行流程

### 1. 模型校准阶段（初赛阶段）

（1）选手协助受试者佩戴 EEG 设备其他模态信号采集设备，并进行阻抗与接触质量调节。EEG 阻抗建议控制在 15k $\Omega$ 以下。

（2）运行校准范式，采集约 50—80 个 Trial 训练数据，覆盖静息、接近、抓取、搬运、释放等状态。

（3）现场训练模型，训练时间限制在 5 分钟内。

### 2. 离线准确率测试（初赛阶段）

系统自动运行测试集，计算含静息态在内的多分类准确率及相关一致性指标。该环节作为资格赛，综合准确率低于 70% 的队伍直接淘汰。**同时需要仅使用 EEG 模态的相关指标，其中准确率指标必须高于 60%，且高于其他模态单独使用情况下的准确率。**

### 3. 实时机械臂操作（决赛阶段）

（1）比赛场景为基于在线模拟系统，桌面放置多个待搬运物体及若干目标区域，物体类型可包括水瓶、积木块、海绵块等，目标区域由赛方统一标记。

（2）受试者根据任务要求产生“接近/前伸”运动意图，机械臂由待机位移动至目标物体附近。

（3）受试者产生“抓取/夹持”运动意图，机械臂末端执行器闭合并抓取目标物体。

（4）受试者产生“搬运/保持”运动意图，机械臂将物体平稳移动至指定目标区域。

（5）受试者产生“释放/放置”运动意图，机械臂在目标位置释放物体。

（6）单轮任务完成后，机械臂返回待机位或进入下一轮任务准备状态。

### 4. 演示阶段

通过决赛确定的前三名，将进入最终真实机械臂演示环节，通过异步多模态算法现场演示机械臂平稳抓取物体的完整流程。

## （六）评分办法

总分（120%）= 算法性能（40%）+ 任务完成度（40%）+ 系统稳定性（20%）+ 其他模态数量（20%）

### 1. 算法性能（40%）

（1）Kappa 系数：离线测试集多分类一致性系数，主要考察模型在含静息态条件下的分类稳定性，占 20 分。

（2）ITR（信息传输速率）：在线阶段算法的有效解码速率与控制效率，占 20 分。

### 2. 任务完成度（40%）

（1）成功搬运数：成功将物体从起始点移动至指定目标点，且过程中不掉落，占 20 分。

（2）定点放置精度：考察物体在目标区域内的放置准确性，偏差越小得分越高，占 10 分。

（3）任务完成时间：考察机械臂全程搬运时间，时间越短得分越高，占 10 分。

### 3. 系统稳定性（20%）

（1）误触发率：在静息或非控制阶段机械臂发生误动作的次数，要求误触发次数低于 5 次，占 10 分。

（2）响应延迟：从有效指令产生到机械臂开始动作的平均时间，要求控制在 1 秒以内，占 10 分。

### 4. 其他模态数量（20%）

如有其他模态信号数据参与系统，每个模态额外加 10 分

### 5. 评分补充说明

（1）任务执行过程中如出现物体掉落、错误抓取、明显碰撞或未按指定区域放置等情况，将在任务完成度中酌情扣分。

（2）若系统在静息阶段频繁发生误动作，将在系统稳定性中扣分。

（3）若系统主要依赖其他模态信号完成控制、未体现 EEG 的核心解码作用，赛方有权取消成绩或按违规处理。

（4）具体评分细则、分档办法与现场裁判判定标准，以赛方正式公布规则为准。

（5）禁止采用被动脑机接口，通过外部刺激触发运动范式

（七）提交说明

初赛阶段，参赛队伍需提交完整演示视频及项目说明报告。演示内容应包括数据采集、离线训练、在线模拟验证或机械臂控制过程。

项目说明报告应包含数据采集方案、预处理流程、特征提取方法、融合解码策略、指令映射机制、机械臂控制逻辑及系统延迟分析。

决赛阶段，参赛队伍需提交完整且可运行的项目代码、模型文件及部署说明。

初赛阶段所使用的离线验证数据需同步保留，以便后续核验离线准确率。

报告中应明确说明 EEG 与其他模态信号在系统中的功能分工及融合方式。且需要证明 EEG 模态占主导地位。

## 四、奖项设置

本赛项设特等奖、一等奖、二等奖、三等奖，获奖赛队将获得奖金及获奖证书，具体奖项设置如下：

奖项	数量	奖金及证书
特等奖	1 名	2 万元人民币，获奖证书
一等奖	2 名	1 万元人民币，获奖证书
二等奖	3 名	0.3 万元人民币，获奖证书
三等奖	6 名	获奖证书

以上奖金金额均为税前金额。

## 五、赛程安排

1. 报名与资格审核阶段：参赛队伍按赛方要求完成报名、材料提交及资格审核。
2. 初赛阶段：完成模型校准、离线训练及离线准确率测试，并按要求提交演示视频与项目说明报告。
3. 决赛阶段：入围队伍进行现场系统部署、模型联调与实时机械臂操作测试。  
(决赛具体形式会在初赛结束后公布)
4. 结果公布阶段：根据初赛与决赛成绩确定最终获奖名单。

具体比赛时间、地点、设备安排及现场流程，以赛方正式通知为准。

## 六、联系方式

联系人：马素凡 电话：18238546966 邮箱：712347415@qq.com

联系人：季洲宇 电话：13145984177 邮箱：1501092929@qq.com