

面向四足机器人协同控制的 SSVEP 自然交互赛项参赛说明

一、赛项介绍

随着人工智能、机器人技术的发展，具身智能日趋成为现实，脑机接口作为颠覆性人机交互技术将为具身智能注入“灵魂”，实现从“被动工具”到“主动伙伴”的跨越。SSVEP 因其独特的优势而成为最常用的脑机接口范式。随着基于 SSVEP 的脑机接口技术的发展，SSVEP 范式和解码算法不断迭代进化，使得基于 SSVEP 的脑机交互开启了实际应用化进程。具有高解码准确率、快响应速度、连续控制、被试完全自主权的自然脑机交互是 SSVEP-BCI 走向实际应用的必然趋势。

本赛项以探索面向具身智能的脑机接口人-机交互技术为目的，考察 SSVEP 解码算法在实际应用中实现自然脑机交互的能力。具体以设计高性能 SSVEP 异步算法为任务，考验算法在应用环境中辨别脑状态（IC/NC 任务态/非任务态）和快速准确响应能力。最后以附加赛形式，选取优胜队伍参与脑控混合智能四足机器人控制任务，决出特等奖，以促进 SSVEP-BCI 的实用化进程。

二、赛项规则

1. 脑控混合智能四足机器人平台简介

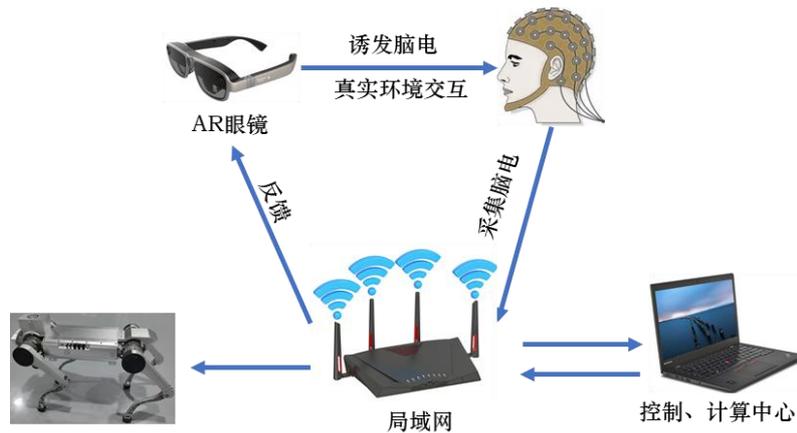


图 1 脑控混合智能四足机器人平台系统示意图

脑控混合智能四足机器人平台系统示意图如图 1 所示，分为无线 AR 眼镜、无线脑电采集设备、控制计算中心、四足机器人和局域网五个部分。该平台以无线 AR 眼镜为 SSVEP 刺激范式显示器，通过注视对应的刺激诱发脑电信号，同时可通过 AR 眼镜与真实环境进行交互，观察四足机器人姿态，制定相应的控制策略；无线脑电采集设备采集脑电信号；控制计算中心控制 SSVEP 范式呈现、进行脑电信号解码以及通过脑电解码结果对四足机器人下发控制命令；局域网连接各子系统，进行数据交换。

2. SSVEP 范式设计

本赛项采用基于 JFPM 的正弦光闪烁刺激法设计 SSVEP 刺激范式，具有 7 个刺激目标，相邻刺激目标间的相位差为 0.5π ，其标签、刺激频率、相位、动作对照表如表 1 所示。通过 7 个指令利用分级页面实现对四足机器人移动、简单交互动作和页面切换操作，如图 2，3 所示。为了在控制任务中，实现相对连续的脑机控制，本赛项的刺激目标自系统启动后将持续不间断闪烁（多次注视同一目标诱发的脑电信号相位不相同）。

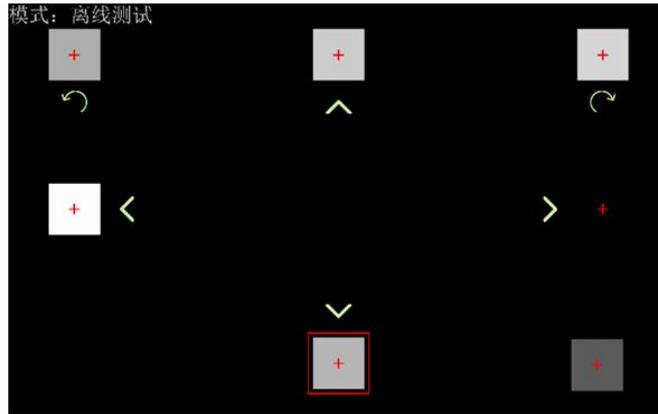


图 2 脑控移动界面 2 示意图



图 3 脑控交互界面 3 示意图

表 1 标签、刺激频率、相位、动作对照表

| 频率/Hz | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
|-------|------|----------|-------|----------|----|----------|-------|--------|
| 相位 | 0 | 0.5π | π | 1.5π | 0 | 0.5π | π | |
| 标签 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 动作 | 移动界面 | 左转 | 前进 | 右转 | 左移 | 进入二级界面 | 右移 | 后退 |
| | 交互界面 | 握手 | — | 蹲下 | — | 作揖 | — | 返回一级界面 |

3. 脑电信号采集

实验数据使用 gtec 无线脑电采集设备采集，只提供视觉枕区的脑电信号，最后一个导联为 trigger 信息，导联信息如表 2 所示。数据原始采样率为 250 Hz，未做其他处理。工频噪声频率为 50 Hz。脑电数据格式为 [17 个通道，信号长度]。

表 2 导联信息表

| 导联编号 | 导联名称 |
|------|------|
| 1 | Cpz |
| 2 | P3 |
| 3 | P1 |
| 4 | P6 |
| 5 | P2 |
| 6 | P4 |
| 7 | P5 |

| | |
|----|-----|
| 8 | PO3 |
| 9 | POZ |
| 10 | PO4 |
| 11 | Pz |
| 12 | PO7 |
| 13 | O1 |
| 14 | Oz |
| 15 | O2 |
| 16 | PO8 |

4. 竞赛内容

本赛项提供被试的跨天 2 分钟 NC 态信号数据作为训练数据，参赛队设计异步算法，实现自然脑机交互。本赛项分为线上赛（初赛）、线下赛（决赛）和附加赛三个部分。线上赛（初赛）和线下赛（决赛）以赛题系统模拟实际控制方式进行，附加赛以在真实环境中控制实物四足机器人的方式进行。为模拟真实应用场景，本赛项的脑电信号采集过程中全程佩戴 AR 眼镜，NC 态脑电信号可能记录于闭眼、注视屏幕非刺激区域、注视屏幕之外、娱乐、肢体活动等场景；IC 态脑电信号记录于被试静止和移动等场景。

4.1 线上赛（初赛）

赛题系统采用模拟在线方式提供数据流。每调用一次数据读取方法 `source_eeg.get_data()`，可获得一个 40ms 的 EEG 新数据包（最后一个数据包长度可能小于 40ms）。其中，trigger 通道只显示 Block 开始/结束 trigger 信息，其他 trigger 信息将被隐藏。参赛队需要在收到 Block 开始信息后，对脑电信号进行解码并对照表 3 中的任务标签信息（IC/NC 态）进行结果汇报（调用 `self.proxy.report()` 汇报结果）。在同一 block 中，数据包按照时间顺序依次发送。若测试数据中包含多组 block 数据，则一组 block 数据发送完毕后，数据读取方法被再次调用时，将会开始下一组 block 数据的 EEG。而当所有实验数据发送完毕后，程序终止标记 `finishedFlag` 将被置为 1。参赛算法检测到 `finishedFlag` 为 1 后，需要结束执行。

每个 block 中，IC 态和 NC 态出现的试次数随机，出现的顺序随机，每个试次时长为 5s。

表 3 系统 trigger 定义及算法结果反馈

| 定义 | NC 态 | IC 态 | Trial 开始 | Trial 结束 | Block 开始 | Block 结束 |
|----------|------|------|----------|----------|----------|----------|
| Trigger号 | 0 | 1-7 | 0-7 | 241 | 242 | 243 |
| 算法结果反馈 | 0 | 1-7 | — | — | — | — |

4.2 线下赛（决赛）

线下赛将在北京举行，出题方将现场采集决赛数据集，其余内容与初赛一致。

4.3 附加赛（特等奖）

附加赛将考察决赛决出的优秀队伍算法的实际应用能力，选取决赛前 4 名参加。在附加赛中，出题方将提供与决赛一致算法接口，使得参赛队的决赛算法能接入到脑控混合智能四足机器人平台，实现实时读取脑电信号、反馈结果和控制四足机器人，附加赛系统框架示意图如图 4 所示。

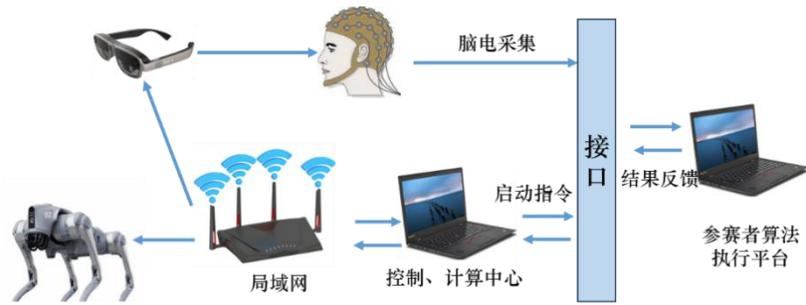


图4 附加赛系统框架示意图

在附加赛中，操作者基于脑控混合智能四足机器人平台，利用参赛队的算法控制四足机器人完成相应的任务，如图5所示。重点考察在实际应用中，算法辨别脑状态、快速精准识别被试大脑意图和连续控制能力。具体而言，被试将控制四足机器人从起点开始，沿着轨迹移动，到达休息区停留足够时长（考察NC态检测），到达动作交互区域进行人机交互动作（挥手、作揖）等，最终回到起止点。

主办方提供多台系统和操作者，并且各系统将随机为对应操作者指定参赛队算法（操作者不知道执行的算法所属赛队），每名操作者对每个参赛队算法执行两次。

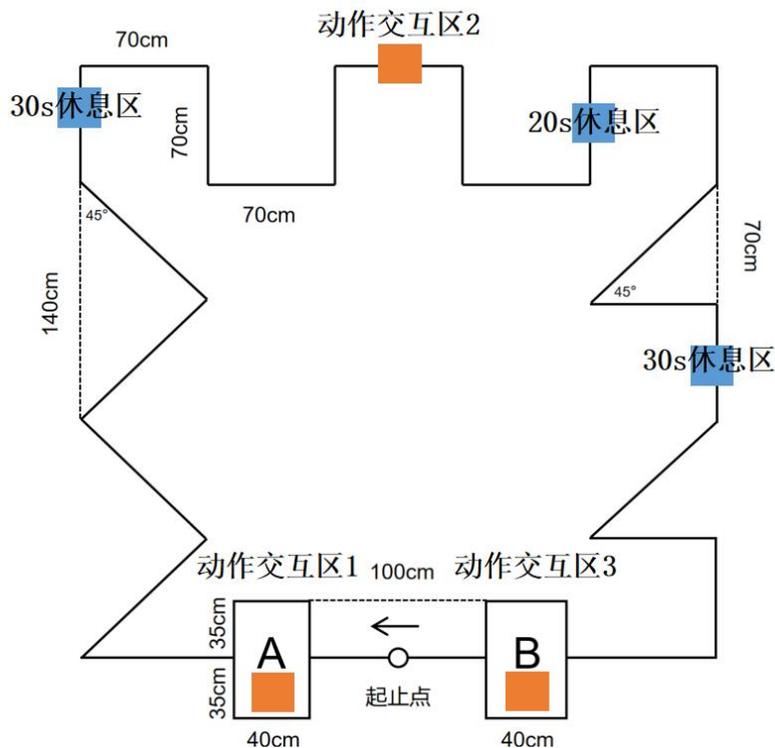


图5 附加赛脑控任务示意图

5 评分细则

5.1 初赛和决赛

初赛和决赛以反馈结果正确率 Acc 作为核心评分指标，包含整体 IC 态识别正确率、IC 态响应速度、NC 态虚警率三部分。对于每个 trial，鼓励多次汇报结果（相同时间内多次正确执行任务），在计算 IC 态识别正确率时，以 0.2s 的长度对每个 trial 分割为 n 个区间（其中 $n = \text{floor}(\text{trial 时长}/0.2)$ ， $\text{floor}()$ 为向下取整）进行计算，IC 态识别正确率计算公式如下：

$$\text{Acc1} = \frac{\sum_{i=1}^{N1} (a(i)/n(i))}{N_{\text{IC}}}$$

式中：a (i) ——IC 态成绩有效 trial 中，第 i 个 trial 汇报结果正确的区间数；n (i) ——第 i 个 trial 的区间总数；N1——IC 态成绩有效的 trial 总数；N_IC——IC 态 trial 总数。
IC 态响应速度计算方式如下：

$$\text{Acc2} = \frac{\sum_{i=1}^{N1} (1/2^{b(i)})}{N_IC}$$

式中：b (i) ——IC 态成绩有效 trial 中，第 i 个 trial 第一次汇报结果时所用的信号时间长度，单位为秒 (s)； N1——成绩有效的 IC 态 trial 总数； N_IC——IC 态 trial 总数。

NC 态虚警率计算方式如下：

$$\text{Acc3} = 1 - \frac{\text{NC 态正确识别 trial 次数}}{\text{NC 态 trial 总数}}$$

因此最终成绩计算方式如下：

$$\text{Acc} = (\text{Acc1} + \text{Acc2} - \text{Acc3}) \times 100$$

◇ 注意事项：

- A. 在算法端没有汇报结果时，默认为 NC 态。
- B. 在 IC 态 trial 中，只要出现汇报结果为其他 IC 态，该 trial 成绩记为 0，即该 trial 判为识别错误，成绩无效；汇报结果为 NC 态或不汇报，该 trial 成绩有效。在 NC 态 trial 中，只要出现汇报结果为 IC 态，则该 trial 判为识别错误；正确汇报或者不汇报，则该 trial 判为识别正确。
- C. 在 trial 分割的小区间中，如果出现多次正确汇报结果，在计算 Acc1 时该区间只统计一次。
- D. 每获取一个新数据包时，如果该数据包包含状态切换，即具有两种标签数据，则正确标签以最新标签为准。
- E. 算法执行超时（复杂度过高，单次计算时间超过 0.4s），则成绩无效。
- F. 最终成绩为多被试平均正确率。

2.2 附加赛

附加赛以完赛时间作为核心评分指标。操作者按照预先设置的任务流程脑控四足机器人完成任务，计算从起止点出发到返回起止点的时间，单论成绩计算公式为：

$$\text{单轮次有效成绩} = \text{完成规定任务时长} + \text{罚时}$$

◇ 罚时规则如下：

- A. 抢跑或在休息区错误切换为 IC 态，一次 30s；
- B. 机器人超出规定边界（3 足界外），一次 5+t s, t 为本次超界时长（需回到出界点继续比赛），操作者应沿赛道前进；
- C. 需要人为干预，包括主动干预（无法回到出界点）、被动干预（将发生危险，紧急避险），一次 60s；
- D. 脑控操作时，在交互区执行错误任务，一次 30s（需再次操作直至完成指定交互动作）。

◇ 注意事项：

- A. 超时未完赛，成绩按设定最大时长计，并记录成功执行的任务数量（如前进距离等）；
- B. 系统执行所有赛队算法、顺序随机，操作者未知执行的算法所属参赛队，每名操作者执行每个参赛队算法 2 次；

- C. 最终成绩为每个队伍所有系统轮次成绩平均;
- D. 附加赛将直接使用决赛代码, 代码不可再修改。

三、竞赛流程

本赛项预计在 5 月开始报名, 每个赛队不超过 5 名队员, 初赛预计 5 月 -7 月比赛, 决赛和附加赛于 8 月份在北京线下开展。具体时间以官方通知为主。

初赛期间, 参赛队可以每日提交算法, 每日提交次数不超过赛题系统设置的上限; 每提交一次代码后系统将会给出本次代码的成绩; 最终以参赛队历史最高成绩进行排名, 选拔前 8 支队伍进入决赛。决赛中, 参赛队伍只有一次提交代码的机会, 基于该代码的成绩, 选拔前 4 支队伍进入附加赛。附加赛将直接使用决赛代码, 参赛队不再更新代码, 通过操作员使用各参赛队的代码执行实际四足机器人脑控任务, 确定附加赛排名。

四、奖项设置

本赛项设特等奖、一等奖、二等奖、三等奖获奖总赛队数量为 18 支队, 即选取初赛前 8 支队伍在 “2025 世界机器人大赛锦标赛 (北京) -BCI 脑控机器人大赛” 现场参加决赛和附加赛。根据决赛和附加赛分数排名, 设特等奖 1 个、一等奖 2 个、二等奖 5 个, 三等奖 10 个 (其中三等奖由初赛排名决定, 部分二等奖由决赛排名决定)。

1. 本赛题奖金共 8 万。

2. 奖金设置

其中特等奖、一等奖、二等奖设奖金奖励。

特等奖 1 名: 奖金 1.5 万元、比赛获奖证书;

一等奖 2 名: 奖金 1 万元、比赛获奖证书;

二等奖 5 名: 奖金 0.5 万元、比赛获奖证书;

三等奖 10 名: 比赛获奖证书;

优秀组织奖 2 名, 各 1 万元。

其中奖金金额为税前金额。

五、赛项联系人

韩丞丞, 电话: 13892808197, 邮箱: hanchengcheng@xjtu.edu.cn

李 辉, 电话: 15924974027, 邮箱: hueylee@stu.xjtu.edu.cn

- ◇ 为促进 BCI 发展, 要求所有决赛队伍的比赛源码, 在签署保密协议的前提下, 在决赛队伍间共享。
- ◇ 上述赛题内容如有冲突, 出题方有最终解释权。