

面向四足机器人协同控制的 SSVEP 自然交互算法赛项参赛说明

一、竞赛目的

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、脑控混合智能四足机器人平台介绍

1. 脑控混合智能四足机器人平台简介

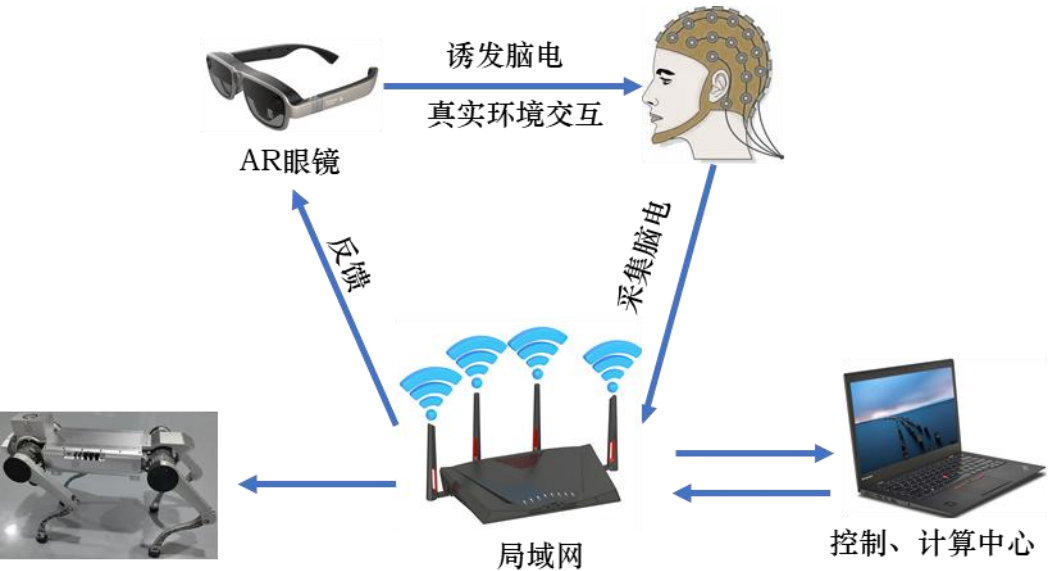


图 1 脑控混合智能四足机器人平台系统示意图

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，即在 IC 态中，同一刺激目标多试次诱发的 SSVEP 信号间不同步，具有显著的相位差。

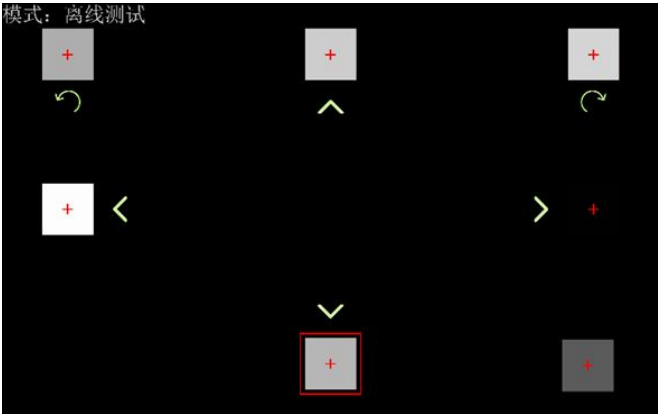


图 2 脑控移动界面 2 示意图



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 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 [通道，信号长度]。

表 2 导联信息表

导联编号	导联名称
1	Cpz
2	P5
3	P3
4	P1
5	Pz
6	P2
7	P4
8	P6
9	PO7
10	PO3
11	POz
12	PO4
13	PO8
14	O1
15	Oz
16	O2

三、竞赛内容和竞赛评分细则

1. 竞赛内容

在实际 SSVEP-BCI 应用过程中，被试可能大部分时间处于 NC 态，此外，相较于 IC 态，NC 态脑电信号更容易获取。因此，**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。为保证被试在 SSVEP-BCI 使用中具有完全自主权，本赛项中 SSVEP 刺激目标将持续闪烁，被试可以自由选择注视的时机。此外 NC 态脑电信号可能纪录于闭眼、注视屏幕非刺激区域、注视屏幕之外、娱乐、肢体活动等场景。本赛项分为线上赛和线下赛两个部分。线上赛通过模拟异步控制的方式进行，线下赛通过实时辨识被试的脑电信号并反馈结果的方式进行，附加赛以在真实环境中控制实物四足机器人的方式进行。

1.1 线上赛（初赛）

线上赛通过赛题系统模拟异步控制方式进行，数据中不包含任何任务标签，参赛者应参考表 3 中标签，进行结果反馈。

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，可获得一个新数据包，数据包中包含 0.2s 的 EEG 数据（最后一个数据包长度可能小于 0.2s），以及在该数据包记录过程中收到的 Block 开始/结束 trigger 信息（其他 trigger 信息不显示）。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，即可能出现连续两个注释不同目标的 IC 态试次。IC 态单试次时长为 5s，NC 态时长随机，但时长大于等于 5s。

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	—	—	—	—

表 3 系统 trigger 定义及算法结果反馈

1.2 线下赛（决赛）

线下赛将在北京举行，出题方将提供与线上赛一致的算法接口，实现实时读取脑电信号和反馈结果。在线上赛中，主办方拟提供 1~2 名被试，所有参赛队算

法同时辨识该名被试信号。本赛项提前提供被试的跨天 2 分钟 NC 态信号数据作为训练数据。

被试将根据有目标提示框的范式，随机注视 AR-SSVEP 刺激目标，比赛分数每一次实验完毕后计算出现，评分标准与线上赛一致。

1.3 附加赛（特等奖）

附加赛将考察线下赛决出的优秀队伍算法的实际应用能力，选取线上赛前 4 名参加。

在附加赛中，出题方将提供与线上赛基本一致算法接口，使得参赛队的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和反馈结果，附加赛系统框架示意图如图 4 所示。

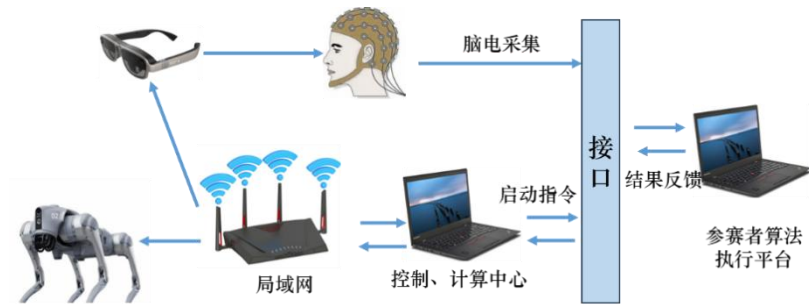


图 4 附加赛系统框架示意图

在附加赛中，被试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，到达特定区域进行休息，到达特定区域进行人机交互动作（挥手、作揖）等，最终回到起止点。

主办方拟提供多台系统与被试，并且各系统将随机为对应被试指定参赛队算法（被试不知道使用的哪一个算法），每名被试对每个参赛队算法执行两次。

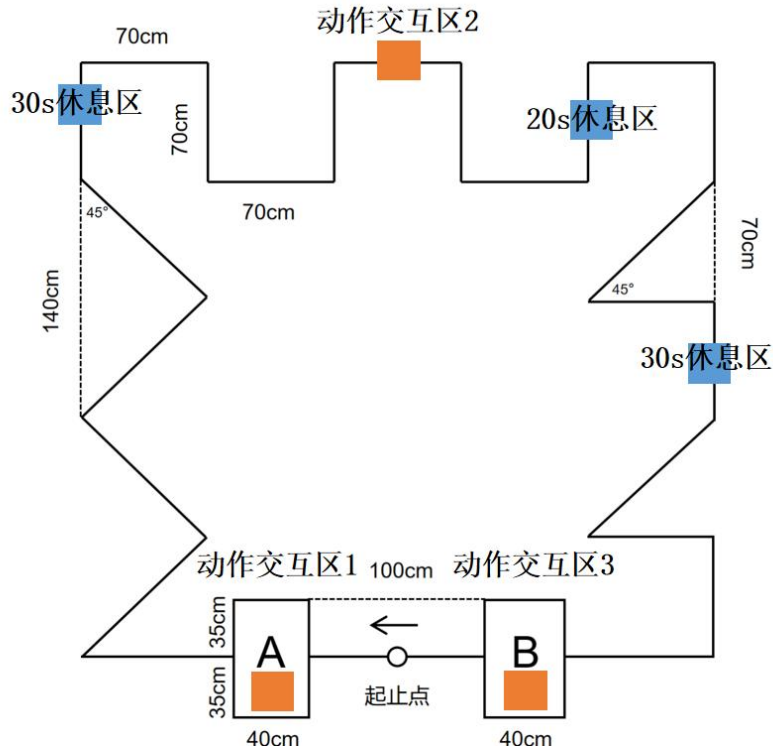


图 5 脑控任务示意图（暂定）

2. 评分细则

2.1 线上、线下赛

线上、线下赛以反馈结果正确率 Acc 作为核心评分指标，包含整体正确率、连续识别正确率和响应速度三个参数。

整体正确率计算方式如下：

$$Acc1 = \frac{\text{正确结果反馈数}}{\text{信号总长度/数据包长度}}$$

连续识别正确率计算方式如下：

$$Acc2 = \frac{\sum (t_{\text{trail}}/T_{\text{trail}})}{\text{all_num_trail}}$$

其中： t_{trail} ——单试次中最长连续正确识别时长； T_{trail} ——单试次时长； all_num_trial ——试次总数（NC+IC）。

响应速度计算方式如下：

$$Acc3 = \frac{\sum (1/e^{t_{\text{trail_min}}})}{\text{all_num_trial}}$$

其中： $t_{\text{trial_min}}$ ——单试次中第一次正确识别时长。

因此反馈结果正确率计算方式如下：

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

✧ 注意事项：

- A. 每获取一个新数据包，反馈一次识别结果（如果该数据包内含状态切换，则反馈最新状态或 NC 态都记为识别正确）；
- B. 算法执行超时（复杂度过高，暂定 0.4s），则该成绩将被视为无效；
- C. 结果未反馈，则记录为误判；
- D. 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。被试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控制态（运动），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. 布置的系统执行所有赛队算法、顺序随机。每个参赛队算法在每个系统上执行 2 次；
- C. 最终成绩为每个队伍所有系统轮次成绩平均。

四、奖金

本赛项设特等奖、一等奖、二等奖、三等奖获奖总赛队数量为 8 支队，即选取初赛（线上赛）前 8 支队伍在北京“2025 世界机器人大赛锦标赛（北京）”现场参加决赛（线下赛）。根据线下赛分数排名，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）。

1. 本赛题奖金总额共 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，获奖证书;

一等奖 2 名:奖金各 1 万元，获奖证书;

二等奖 5 名:奖金各 0.5 万元，获奖证书;

三等奖 10 名: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。

3. 时间安排

预计在 5 月开始报名，初赛预计 5 月 - 7 月比赛，决赛在八月份北京线下开展。具体时间以官方通知为主。

✧ 为促进 BCI 发展，要求决赛队伍赛后提交比赛源码，在签署保密协议的前提下，在决赛参赛队伍间共享。