MERITPOINT ACADEMY · PHYSICAL AI EDUCATION PROGRAM

恒点学术

具身智能人才培养体系

从亲手搭建一台机器人，到开发自主智能系统，再到提出问题、完成可复现的 Physical AI 研究。

Three progressive programs. Build a robot, develop autonomy, investigate how robots learn.

BUILD → DEVELOP → RESEARCH

三个阶段，逐步走向独立研究。

每阶段 15 次课，每次建议 120 分钟；共 45 次、约 90 课堂小时。建议每周一次，每阶段约 15 周，课外练习另计。可连续学习，也可在完成能力评估后进入相应阶段。

PROGRAM 01 · 15 SESSIONS

Robotics Explorer

具身智能基础与机器人开发

搭建与控制

掌握机器人基础、编程和硬件开发，能独立解释、组装、调试一个感知—决策—执行闭环。

查看 15 次课与阶段成果 →

PROGRAM 02 · 15 SESSIONS

AI Robotics Developer

AI机器人与自主智能系统

感知与自主决策

掌握 AI 模型、计算机视觉、AI Agent 和自主机器人开发的基本流程，把感知、规划、工具调用和执行反馈连接成可测试的系统。

查看 15 次课与阶段成果 →

PROGRAM 03 · 15 SESSIONS

Physical AI Researcher

高级具身智能与Physical AI创新研究

学习与研究验证

理解 VLA、机器人学习与仿真的核心方法；完成一个问题明确、对照公平、结果可复现的研究型项目，并能判断结论的适用范围。

查看 15 次课与阶段成果 →

提出任务 → 搭建系统 → 记录实验 → 解释证据 → 复现与改进

> 这是按学习进阶重新设计的课程方案（2026 年 11 月 3 日版）。每阶段独立验收，进阶看作品与实际能力；开班日期、学费、器材购买与高级算力安排在开班前确认。课程成果为工程作品和研究报告，后续投稿取决于工作质量与评审。

HOW TO USE THE SYLLABUS · 教学安排

每课有目标、有操作、有可检查的成果。

点击课次展开教学目标、材料、教师准备、5 步实验、检查点、课堂验收与作业。建议两人一组，轮换操作与记录；课次可直接分享，打印会自动显示全部 45 课。

15 分钟	15 分钟	65 分钟	15 分钟	10 分钟
概念与上次反馈	教师演示	分组实验与调试	证据整理与验收	回顾与作业

以下课次是教师试教与备课的依据。程序模板、场景、数据和固件要按各阶段“开课准备”提前跑通；课堂参数与重复次数为教学起点，实机、仿真和示例数据分别记录。未观察到错误时如实记录 0，不为报告凑失败案例。

01

PROGRAM 1 · 15 次课 · 30 课堂小时

Robotics Explorer

具身智能基础与机器人开发

掌握机器人基础、编程和硬件开发，能独立解释、组装、调试一个感知—决策—执行闭环。

适合谁 · 入门要求

能熟练使用电脑、理解基础算术与简单坐标；无需机器人或 AI 开发经验。首次接触编程者先完成课前环境检查。

每周课外练习约 1–2 小时

结课作品

循线与遇障停车挑战车：自行组装的机器人、版本与接线记录、测试视频、工程日志和项目说明。

01–04 · 认识系统、学习程序、完成装配

05–10 · 标定传感器，实现循线与遇障停车

11–15 · 记录数据、调试项目、演示复核

开课准备与实验条件

每两人一套 ELEGOO V4 带摄像头版；电脑、匹配 USB 线、尺子、胶带、浅色赛道、障碍物和记录工具。建议第 1 课前到货；延迟时前三课使用教师借用的套件／控制板，第 4 课前每组齐备。

教师先验收一套实收硬件，匹配扩展板与官方固件，准备分课程序和可回退版本；完成断电接线、架空车轮、低速落地的试教。原实验库可复用，但须按新课次重新编排。

01

认识机器人：从零件到完整系统

From Parts to a Robot System

拆解观察 · 建立工程记录

认识感知、控制、执行与供电，建立本组实收套件档案。

Program 1 · 第 1 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

说明小车如何从传感器读数产生动作。

核对套件零件、板卡版本与匹配教程。

建立可追溯的照片、程序和实验记录目录。

所需材料

ELEGOO UNO R3 Smart Robot Car V4.0 With Camera、配套清单与工具。

电脑、拍照设备、材料包中的 kit-inventory.csv；暂不接通电源。

> ### 教师课前准备
>
> 教师先识别实收驱动板和摄像头版本，保存匹配手册与程序。
>
> 每组两人，安排操作员与记录员；准备分类盒和断电检查位置。

实验与操作步骤

01 先观察任务

观看教师演示或教程中的循线与停车，列出小车必须知道的信息和能够执行的动作。给每项功能标出输入、判断、输出。

检查点 能用自己的话解释一个感知到动作的过程。

---

02 清点并识别版本

逐项核对零件数量，拍摄控制板、驱动板及模块标识，填写清单。以实收版本匹配资料，不凭商品名直接套用接线图。

检查点 缺件、损伤和不确定版本单独列出。

---

03 画出系统图

将超声测距、循线传感器、UNO、驱动板、电机和电池连成信息与供电示意图。摄像头单列，说明后续图像分析在电脑上进行。

检查点 信息连接与供电连接使用不同标记。

---

04 建立工程目录

创建 docs、code、data、media 四个目录，将清单、匹配手册名称与照片归档。用日期和版本号命名文件，不覆盖原始记录。

检查点 同伴能在一分钟内找到清单和对应照片。

---

05 练习安全检查

在断电状态指出电源开关、充电接口及运动部件；演练停止口令和角色分工。将首次通电前必须复查的项目写成小卡片。

检查点 两人均能说明如何停止实验与安全断电。

课堂验收

清单含实物版本、数量、照片及资料对应关系。

系统图区分感知、控制、执行、供电与摄像头。

课后作业

补齐本组套件档案，标注尚未确认的零件或版本。

观察一个生活中的自动装置，画出它的输入—判断—输出。

本课交付物

套件档案、系统图与首次通电检查卡。

延伸资料： ELEGOO V4.0 官方教程入口 ↗

---

02 让程序亮起来：Arduino 与基本语句

电脑编程 · 控制板实验

First Arduino Program

在不连接电机的条件下，用板载指示灯理解程序、变量与时间。

Program 1 · 第 2 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

区分电脑上的开发工具与控制板上运行的程序。

完成编译、上传与观察的基本循环。

用变量改变闪烁周期并记录结果。

所需材料

本组 UNO 控制板、兼容的数据 USB 线、电脑。

教师验证过的 Arduino IDE、Blink 示例及计时工具。

> ### 教师课前准备
>
> 教师确认端口、板型与上传方法；按手册断电拆离电机驱动连接。
>
> 本课仅用 USB 给独立控制板供电，电池与电机不参与实验。

实验与操作步骤

01 找到程序入口

打开 Blink，标出 setup 只在启动时执行一次、loop 持续重复的部分。用箭头画出一次亮、等待、灭、等待的顺序。

检查点 能指出哪两条等待语句决定一个完整周期。

---

02 编译与上传

按本机实际情况选择板型和端口，编译后上传。观察板载指示灯，并记录上传结果；不将电源灯误认为可编程指示灯。

检查点 程序成功上传，观察到与示例对应的闪烁。

---

03 用变量表达时间

将两处等待时间改为同一个命名变量，分别试用 1000 与 500 毫秒。先预测十个完整周期用时，再用计时结果检查预测。

检查点 能解释完整周期包含亮与灭两段时间。

---

04 读懂一次错误

在副本中故意删除一个分号，读取编译提示并定位语句；修复后重新上传。保留原来能运行的版本，区分编译失败与上传失败。

检查点 记录错误现象、原因与修复方法。

---

05 写清程序意图

给变量和主要步骤加简短注释，用文件名区分两个版本。与同伴交换程序，要求对方只读代码就预测闪烁节奏，再实际核对。

检查点 预测与观察一致，注释说明用途而非重复代码。

课堂验收

能独立上传一个修改后的 Blink 程序。

比较表包含参数、预测、实测与计时方法。

课后作业

设计一种有规律的板载灯节奏，写出完整周期的计算。

提交带注释的程序与一条自己解决的编译或上传问题记录。

本课交付物

首个 Arduino 程序及参数—现象对照表。

延伸资料： Arduino 官方 Blink 示例 ↗

---

03 让程序做判断：条件、函数与串口

编程练习 · 输入回放

Conditions, Functions and Serial Output

先用人工输入学习控制逻辑，再将同一思路迁移到真实传感器。

Program 1 · 第 3 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

使用变量、条件分支与函数表达规则。

把有效读数与无效输入分开处理。

通过串口输出检查预期与实际结果。

所需材料

独立 UNO、USB 线、Arduino IDE 与串口监视器。

教师提供的整数距离与有效标志练习程序、纸面测试表。

> ### 教师课前准备
>
> 保持电机与电池断开，练习程序只输出文字和板载灯状态。
>
> 教师准备远、近、阈值相等及无效四类人工输入，并标注这些不是实测数据。

实验与操作步骤

01 把语言写成规则

用纸面距离例子讨论“近则停、远则可继续”。先约定等于阈值属于停车，再加入“读数无效也停车”，为四类输入写预期输出。

检查点 表中没有遗漏相等和无效情形。

---

02 实现条件分支

先判断有效标志，再比较距离；只打印 STOP 或 CLEAR。每次改变一项人工输入，观察程序选择了哪个分支。

检查点 无效距离不会被误判为前方畅通。

---

03 封装判断函数

把规则放入独立函数，使用有意义的参数和返回值。主循环只负责提供输入与显示结果，避免在多处复制同一判断。

检查点 改变一个阈值即可一致地改变所有判断。

---

04 输出可读日志

统一串口速率，逐行打印输入值、有效标志及判断结果。补上固定列头，保留单位，让同伴能够从日志反查测试表。

检查点 四类测试各有一条可核对的输出。

---

05 解释程序边界

互换测试表进行复测，保存代码和日志。说明这次只是人工输入的逻辑验证，尚未证明传感器准确或小车能够及时停止。

检查点 报告明确区分逻辑正确与实机表现。

课堂验收

四类人工输入均得到事先约定的判断。

函数参数、日志单位与无效输入规则清楚。

课后作业

增加两个边界测试，写出预期再执行并保留日志。

画出判断流程图，标明今后接入传感器的位置。

本课交付物

带输入回放的判断程序、测试表与串口日志。

---

04 亲手组装：底盘、布线与首次通电

硬件组装 · 分阶段验收

Assembly and First Power Check

按实收版本手册完成组装，建立机械、电气与程序三层检查习惯。

Program 1 · 第 4 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

按匹配手册完成底盘和模块组装。

检查线缆、极性、固定件及运动间隙。

在教师复核后完成受控通电并保存组装记录。

所需材料

已清点的 ELEGOO 套件、对应组装手册、随附工具。

绝缘车轮支架、扎带或配套理线件、组装检查表与拍照设备。

教师课前准备

教师预装一套同版本设备，核对固件、板卡和供电说明；备好无电机动作的检查程序。

按手册准备电池与充电条件；所有插拔和紧固均在断电状态进行。

实验与操作步骤

01 分步组装底盘

按手册顺序安装电机、轮子、支撑与底板，每完成一个子组件由同伴复核。只使用对应长度的固定件，不强行拧紧或改动孔位。

检查点 车轮可自由转动，底盘无松动和明显干涉。

---

02 安装控制与传感模块

固定控制板、驱动板、循线与测距模块，按实收版本安装摄像头和支架。对照本组手册逐条连接，不套用其他版本的引脚表。

检查点 每条线缆两端均可在手册中找到对应位置。

---

03 完成断电复查

检查电源极性、连接器方向、裸露导体和线缆走向。整理线缆，确保不会碰到车轮或活动支架；拍摄接线全景与关键接口。

检查点 操作员与记录员双签，教师完成通电前复核。

---

04 首次受控通电

车轮架空，按对应手册的供电和上传顺序运行无电机动作的检查程序。观察指示状态；出现异味、异常温升或意外转动立即停机检查。

检查点 上电稳定，无意外动作，电源开关可正常断开。

---

05 归档组装版本

保存照片、板卡标识、手册名称及检查结果，列出尚未测试的功能。本课不以成功通电代替运动验收，下课前按手册关机收纳。

检查点 另一组可根据档案复查本组接线。

课堂验收

机械、电气与首次通电检查分别完成并留有记录。

尚未验证的运动、传感和摄像功能有明确清单。

课后作业

制作一页组装记录，说明一个容易装错的位置及检查办法。

更新零件清单和布线照片，记录任何与手册不同的实物情况。

本课交付物

完成组装的小车与可复查的组装档案。

延伸资料： 保留的组装详细教案 ↗

---

05 控制运动：方向、功率指令与定时停车

架空验证 · 低速短程实验

Motor Commands and Timed Stops

建立左右电机动作与车体运动的对应关系，认识重复运行的差异。

Program 1 · 第 5 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

通过实测确认左右电机和前后方向。

使用受限指令完成短时运动与停车。

区分 PWM 指令、实际速度和外部测量的距离。

所需材料

完成检查的小车、匹配驱动程序、车轮支架。

平整试验区、起点标线、尺、秒表或外部录像设备。

教师课前准备

教师从匹配固件提取电机接口，限定较低指令和短时长，默认输出为停止。

安排观察员负责试验区与停机；自由行驶时拔掉 USB，不拖线运行。

实验与操作步骤

01 确认动作对应

将车轮架空，分别短时运行左侧和右侧电机，观察方向。填写指令—轮子—方向表，发现不符先停机检查映射与接线。

检查点 前进、后退及左右差动的方向均已核对。

---

02 验证自动停止

用较低指令运行固定短时长，随后明确输出停止；重复三次，检查启动前和结束后电机都为零。再演练人工停机。

检查点 不依赖操作者及时拔线来结束正常动作。

---

03 做短程直行

断电移至地面，拔掉 USB，在清空区域重复三次同参数直行。每次从同一起点开始，停稳后测量同一车体参考点的位移与侧偏。

检查点 三次记录均有参数、地面和电池状态说明。

---

04 观察受限转弯

先架空验证一组短时差动指令，再低速测试转弯。用地面标线或视频估计朝向变化，不将固定时间直接命名为精确九十度。

检查点 记录的是外部观察到的角度，而非程序假设。

---

05 解释运行差异

比较三次直行结果，列出起点、电池和地面等可能影响。说明原装配置未确认轮编码器，本课不能从 PWM 直接得到实测轮速。

检查点 结论包含重复性范围与测量方法。

课堂验收

架空与地面测试分开，短时结束与人工停止均可执行。

至少三次直行记录，未把指令值当作实际速度。

课后作业

提交方向表、运动参数和三次位移的最小值与最大值。

说明一次偏移可能有哪些原因，提出只改变一个因素的检查办法。

本课交付物

已验证的低速动作表与运动重复性记录。

---

06 测量前方：超声距离与无效读数

静止测量 · 标定记录

Distance Sensing and Invalid Readings

用尺测距离检验传感器输出，为后续停车规则准备依据。

Program 1 · 第 6 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

使用匹配程序读取距离并注明单位。

比较参考距离与重复读数的差别。

正确保存超时或无效读数，不把它当作远处无障碍。

所需材料

静止小车、USB、匹配超声测距示例与串口监视器。

平整纸板、尺、固定支架、传感记录表。

> ### 教师课前准备
>
> 关闭电机输出，教师确认距离接口的单位、超时与无效表示，准备含 millis 时间戳的采集输出。
>
> 根据本组手册选择三个有效范围内的参考距离，并统一测量起点。

实验与操作步骤

01 约定测量方法

固定小车和目标板，以明确的传感器参考位置量距。记录目标大小、方向与实际距离，保证每次只改变目标位置。

检查点 两人按同一方法读取参考距离。

---

02 采集重复数据

在三个参考位置各采集十次读数，保留原始日志。把单位、有效标志和记录来源写清，无效距离留空并单独计数。

检查点 共有三十条可追溯记录，失败未被删除。

---

03 计算误差与范围

对有效读数计算平均值、最小值和最大值，与尺测参考比较。区分平均偏差与重复波动，不根据单次相近读数宣布传感器完全准确。

检查点 表中同时展示参考值、有效数量和波动范围。

---

04 检查异常输入

电机保持关闭，用软件回放模拟超时标志，确认第三课的判断程序输出停车；再改变目标角度观察实读结果，异常也保留。

检查点 不通过通电拔插传感器制造故障。

---

05 提出停车候选规则

根据测量波动提出候选距离阈值，并说明还需用第五课的低速运动验证停车余量。保存标定表，静止数据不用于宣称实际制动距离。

检查点 候选参数与已验证的运动表现明确分开。

课堂验收

三十条记录及统计包含无效次数和距离单位。

无效输入始终走停车分支，候选阈值尚需实机验收。

课后作业

提交距离标定表与一幅参考值—平均读数图。

列出目标倾斜或材质变化时可能需要重新验证的条件。

本课交付物

距离标定表、异常输入检查及候选停车规则。

---

07 辨认地面：三路循线传感器标定

静止采样 · 阈值判断

Calibrating Line Sensors

把原始读数转换为明确的左右位置状态，先理解数据再让车行动。

Program 1 · 第 7 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

识别三路循线通道与实际左右位置。

通过黑白表面采样确定各通道阈值和极性。

为丢线与歧义输入定义保守处理规则。

所需材料

小车、匹配循线读取程序、USB 与原始读数记录表。

浅色底板、黑胶带、尺；可固定的照明与传感器高度。

教师课前准备

教师确认本组 API 输出的原始值及通道顺序，电机保持关闭。

准备宽度合适的黑线和五种静止摆放位置，记录底材与传感高度。

实验与操作步骤

01 核对通道位置

分别只遮盖或对准一个传感器，观察变化并标出左、中、右。记录实际 API 名称，避免按数组顺序猜测物理位置。

检查点 三个通道都能与实物一一对应。

---

02 采集黑白分布

将各通道置于黑面和白面，各记录十次读数。固定高度和光照，保存原始值，观察每个通道的范围是否有重叠。

检查点 六组记录完整，黑白极性来自观察而非预设。

---

03 选择并验证阈值

对范围可分离的通道选择中间阈值，统一转换为“检测到黑线为 1”。若范围重叠，先改善布置再采样，不强行让小车试跑。

检查点 三路均有阈值、极性及适用条件。

---

04 建立状态表

测试左线、中线、右线、完全离线和多路同时在线五种摆放。记录原始读数、二值状态及预期动作；离线与歧义暂定停车。

检查点 五种状态的判断可由另一位同学复现。

---

05 检查光照影响

保持其他条件不变，改变一种照明条件，重新检查五种状态。记录哪些仍可识别，哪些需要重新标定，并恢复下节课采用的条件。

检查点 标定表注明光照、底材和高度。

课堂验收

每路都有黑白读数范围、极性与阈值依据。

状态表覆盖离线与歧义，不能识别的条件没有被隐藏。

课后作业

整理三路标定表，说明为什么不能给所有小车照抄一个阈值。

画出五种地面状态及其建议动作。

本课交付物

三路标定档案与地面状态—动作表。

---

08 遇障停车：把测量接入运动控制

逻辑集成 · 受控实机验证

Obstacle Detection and Safe Stopping

完成低速直行遇障停车，并明确人工解除与自主恢复的区别。

Program 1 · 第 8 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

将有效性判断和距离阈值接入电机控制。

实现停车锁定及明确的人工重新启动流程。

通过重复运行检查停止余量和失败情形。

所需材料

小车、第五课低速动作接口、第六课距离标定与候选阈值。

平整试验区、固定纸板障碍、尺、外部视频与运行记录表。

教师课前准备

教师先验证低速、短程与阈值组合，准备足够停车余量和观察员。

本课默认遇障或无效即锁定停止，只能由明确的人工操作重新启动。

实验与操作步骤

01 写出两种状态

画 RUN 与 STOP 两个状态；近障碍、无效读数和人工停止都进入 STOP。写明解除步骤，不因读数偶尔变远就自行前进。

检查点 每条停车原因和启动条件都能被口头复述。

---

02 先回放再架空

关闭电机，用远、近、相等、无效输入检查状态转移。通过后架空验证：STOP 输出为零，解除前任何新距离都不使车轮继续转动。

检查点 边界输入和锁定行为均符合预期。

---

03 验证首次接近

拔掉 USB，在清空区域低速朝固定障碍前进。观察员随时可停机；若接触障碍或余量不足，立即停止，调整后重新从静止检查开始。

检查点 未发生接触，停止点可用尺或视频测量。

---

04 重复五次运行

固定起点、速度指令与障碍，记录五次停止距离、是否接触、是否介入及程序版本。失败保留，人工重新摆放不算自主绕障。

检查点 五条记录均能找到相应观察证据。

---

05 归纳适用条件

报告最小停止余量和失败次数，写清速度、场地与目标条件。说明本课实现遇障停车，不代表识别所有障碍或自主绕行。

检查点 结论不超出已经测试的条件。

课堂验收

回放与架空测试证明无效、近障碍及人工停止均锁定 STOP。

完成五次低速实机记录；有失败时给出原因检查与复测结果。

课后作业

提交状态图、完整运行表及一次停车视频。

提出一种尚未验证的障碍情形，写出安全测试方案。

本课交付物

遇障停车程序、停车余量记录与适用条件说明。

---

09 沿线前进：从状态表到循线机器人

Building a Line-Following Robot

状态控制 · 直线与缓弯试验

将标定后的左右状态转为受限差动动作，完成可解释的循线基线。

Program 1 · 第 9 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

解释偏线状态与左右电机修正的关系。

实现清晰状态下的低速循线和不确定状态停车。

用统一标准记录完成、失败和人工介入。

所需材料

小车、第七课阈值表、第五课已验证动作接口。

黑胶带直线与缓弯赛道、起终点、外部视频和运行表。

> ### 教师课前准备
>
> 教师先验证线路宽度、传感高度及转向幅度，选择无交叉口的短路线。
>
> 固定运行时限与终点判定；电机参数限于已验证范围，备好停机观察员。

实验与操作步骤

01 连接状态与动作

中心单路在线时直行；左路单独在线时向左修正，右路对应向右修正；离线或多路歧义停车。先用纸面例子预测轮子动作。

检查点 修正方向与想回到线上的方向一致。

---

02 静止与架空核对

依次摆出第七课五种位置，检查判断输出；再架空查看左右电机是否按规则动作。方向错误先修复映射，不靠加大转向强度补救。

检查点 五种位置均得到预期动作或停车。

---

03 完成短直线

拔掉 USB，从固定起点低速运行短直线。调试时一次只改一个参数，保存修改原因；未通过直线不进入缓弯实验。

检查点 一次完整直线运行不需要人工纠正。

---

04 加入缓弯并记录

固定参数后，沿同一含缓弯路线正式运行三次。记录完成、超时、离线停车及人工介入，用外部视频核查，未完成的圈速留空。

检查点 三次均有结果，成功与失败使用相同规则。

---

05 解释一次动作

选择一段视频和对应状态表，解释为什么向某侧修正。视频看不到的原始传感值不补写，说明只能确认可见行为。

检查点 能指出一项已实现能力和一项当前限制。

课堂验收

循线程序覆盖清晰、离线和歧义输入，并有停车路径。

完成三次固定条件记录，人工介入与自主完成分开。

课后作业

提交状态—动作表、程序版本和三次运行结果。

选择一个困难弯道，提出一次只改变一个因素的改进方案。

本课交付物

可解释的循线基线与固定路线运行记录。

10

组合行为：循线与遇障停车状态机

系统集成 · 边界场景检查

Integrating Behaviors with a State Machine

让不同模块按明确优先级协作，形成可复用的机器人基础程序。

Program 1 · 第 10 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

用状态机组织循线、停车与人工解除。

规定冲突输入和计时超时的处理优先级。

设计场景表验证组合行为，而非只测试单个模块。

所需材料

小车、第八课停车程序、第九课循线基线。

路线、纸板障碍、场景测试表、外部视频；USB 仅用于静止调试。

教师课前准备

教师准备状态机骨架和基于 millis 的计时示例，避免长时间等待阻塞检测。

确定人工启动方式与最大运行时限，不假定套件已有无线遥测或自动恢复功能。

实验与操作步骤

01 画清优先级

设置 READY、FOLLOW、STOP 状态。人工停止、近障碍、无效距离、丢线和超时均优先于运动；STOP 需人工确认条件清楚后重新启动。

检查点 每个状态有动作、转移条件和停止路径。

---

02 整合主循环

按读取、检查、判断、输出的顺序组合程序，以经过时间检查替代长时间阻塞等待。控制和打印分开，不让大量日志拖慢判断。

检查点 关键规则只有一个明确入口，默认输出为停止。

---

03 回放冲突输入

关闭电机，测试中线加近障碍、偏线加无效距离、丢线及运行超时。逐项填写预期和实际状态，确保运动规则不会覆盖停车规则。

检查点 四类冲突或边界均得到 STOP。

---

04 执行实机场景

架空通过后，拔掉 USB，分别运行正常线路、线路中放障碍、离线起点三类场景，各重复两次。保留失败、停止位置及人工介入。

检查点 六条记录均与固定程序版本对应。

---

05 冻结工程基线

归档状态图、阈值、程序和场景表；把人工解除与自主能力分别列出。检查最后一次修改是否重测相关场景，再建立可恢复的版本副本。

检查点 其他组可依据说明启动并停止本组小车。

课堂验收

输入冲突遵循停车优先，默认状态与超时行为明确。

六次场景记录完整，实际完成范围与待做功能分开。

课后作业

提交状态图与一条输入冲突的逐步解释。

选择一个未覆盖场景，补写预期结果和验证步骤。

本课交付物

循线与停车集成基线、状态图及场景验收表。

11

让数据说话：Python 与实验表格入门

Python and Experiment Records

电脑分析 · 真实与示例数据对照

学习用少量 Python 读取和检查 CSV，为第二阶段的视觉与 AI 做准备。

Program 1 · 第 11 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

运行 Python 程序并读懂列表、循环和简单函数。

读取带列名与单位的 CSV，区分有效和无效数据。

用统计结果回答一个来自实机实验的小问题。

所需材料

电脑、教师验证的 Python 3、课程原创材料包。

sample-sensors.csv、analyze.py、第六课原始静止测距记录。

教师课前准备

教师预先验证材料包命令；新建独立课程目录，保存原始文件副本。

准备 CSV 列名对照，真实数据与 synthetic 示例分别放置；本课不在 UNO 上运行 Python。

实验与操作步骤

01 读懂一小段程序

在电脑上运行变量、列表和 for 循环示例，对三项距离求和并计数。先写纸面预测，再观察输出，区分数字与文字。

检查点 能说明循环执行次数和结果单位。

---

02 检查 CSV 结构

打开材料包 sample-sensors.csv，识别时间、距离、有效标志和来源。数出十二行示例及其中十行有效值，明确它们是合成数据。

检查点 无效距离为空，不替换成零参与平均。

---

03 运行分析工具

从材料包根目录执行 python tools/analyze.py templates/sample-sensors.csv --out results/p1-sample，检查摘要中的有效数量与平均距离 28.8 厘米。

检查点 程序输出与手工核对一致，输出目录为新建。

---

04 整理真实测距

按材料包列头转换第六课日志，保留原文件；t_ms 沿用采集时间戳，source 写 physical，未采集循线状态则留空。按参考位置分别保存并分析。

检查点 真实与合成结果未混算，转换方法和单位有记录。

---

05 解释与复查

比较各位置的有效数、平均值和范围，与第六课手算核对。选择一个结果写两句解释，并说明样本数和无效读数带来的限制。

检查点 同伴可从原始记录重做一项统计。

课堂验收

合成示例校验通过，真实文件有来源、单位和原始记录对应。

至少一个真实参考位置的程序结果与手算相符。

课后作业

提交一份数据字典、真实 CSV 和统计解释。

修改练习循环以计算有效数据数量，说明为什么先检查有效性。

本课交付物

首份可复核的 Python 数据分析记录。

延伸资料： 原创实验脚本与记录模板 ↗

---

12 有依据地调参：一次公平的 A/B 比较

受控实验 · 参数改进

A Fair A/B Engineering Comparison

比较两种已通过安全检查的循线转向设置，建立工程证据意识。

Program 1 · 第 12 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

明确待比较参数、固定条件和成功指标。

按交替顺序记录重复运行并保留失败。

根据全部结果提出有限度的改进结论。

所需材料

集成基线小车、两个教师预验收的低速转向参数 A/B。

同一条短路线、外部视频、trials.csv、计算器或 Python。

教师课前准备

教师确认两个设置均保留停车规则，仅一项转向强度不同。

提前约定终点、最长运行时间和人工介入规则，调试记录与正式记录分开。

实验与操作步骤

01 写出比较问题

提出“在这条路线中，哪种设置更容易完成”。固定速度、阈值、路线和起点；先写完成判据，再写预计差别，不预设一定有提升。

检查点 A 与 B 只有一个主动改变的参数。

---

02 冻结试验版本

完成必要试跑后保存 A/B 程序与参数表，停止边测边调。按 A、B、A、B、A、B 排顺序，记录电池和地面条件。

检查点 六次正式运行均能对应确定版本。

---

03 采集全部运行

拔掉 USB，按顺序运行并录制。记录完成、超时、人工介入与完成用时；未完成的用时留空，失败不从总次数中删去。

检查点 每个设置各三次，记录顺序与实际一致。

---

04 先算完成再比时间

分别统计完成次数与总次数，再比较已完成运行的用时范围。若完成数很少，就如实报告，不只用最快一次宣布胜出。

检查点 成功比例与完成用时分开展示。

---

05 写下有限结论

用一张比较表说明观察到的差别或暂时没有差别。列出样本量、路线与电池变化限制，提出下一轮只改变一项的检查。

检查点 结论可以逐项追溯到六次运行。

课堂验收

A/B 各三次完整记录，规则在正式运行前确定。

比较保留失败并说明适用条件，不夸大少量试验结果。

课后作业

提交一页比较报告，包含参数、完整结果和一项限制。

提出后续改进方案，说明还需哪些证据才能支持它。

本课交付物

一次公平的参数比较与有依据的工程选择。

---

13 设计自己的任务：需求、分工与第一版作品

小组项目 · 需求与原型

Define and Prototype a Robot Mission

把已学能力组合为可验收的课程作品，而不是不断追加功能。

Program 1 · 第 13 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

将一个具体任务转为可观察的验收条件。

选择已验证模块并规划两人协作。

完成最小可运行原型和首轮检查。

所需材料

本组小车、冻结的循线停车基线与标定档案。

项目任务单、路线材料、障碍物、记录表与版本目录。

> ### 教师课前准备
>
> 教师提供循线运输、遇障停车巡线等范围清楚的主题，任务无需额外机械臂或 AI。
>
> 准备统一项目模板，要求停止方式、时限、成功与介入规则先写清。

实验与操作步骤

01 定义一个任务

选择一条固定路线和一种已验证行为组合，例如沿线到站、途中遇障停车。写清起点、终点、最长时限和本版不具备的能力。

检查点 任务能用一句话与一幅场地图表达。

---

02 写可验收标准

把“表现好”改为可观察条目：无人工纠正到达终点、出现障碍时不接触、按要求停机。提前规定重复次数及失败记录方法。

检查点 另一组能据此判定一次运行是否成功。

---

03 划分模块与分工

列出感知、状态机、动作和记录四部分，标明复用哪个已验收版本。两人分别负责一项修改与交叉复核，优先保留可运行基线。

检查点 每项修改有负责人、输入输出与完成条件。

---

04 制作第一版

先在静止输入和架空条件检查修改，再拔掉 USB 低速试跑。每次只调整一个问题，记录原现象、修改点与复测结果。

检查点 能完整执行一次任务流程或明确定位首个阻碍。

---

05 评审原型

向同伴展示当前作品，对照标准列出已通过、未通过和未测试项。冻结第一版，给下一课安排最多三个优先修复点。

检查点 清单基于证据，未完成项目不标为通过。

课堂验收

任务、场地与验收标准先于最终演示确定。

第一版有程序、状态图、运行证据和明确待办。

课后作业

提交项目任务书、模块图与第一版记录。

准备最重要问题的复现步骤，说明怎样判断修复成功。

本课交付物

个人化机器人任务书与第一版可检查作品。

14 让别人也能跑通：调试、复测与交接

项目完善 · 同伴复现

Debug, Retest and Hand Over

用清楚说明和完整记录提高作品的可靠性，避免只在作者手中成功。

Program 1 · 第 14 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

用复现步骤区分接线、参数、逻辑与场地问题。

修复后重测相关功能和停止行为。

编写足以让同伴运行的使用与验收说明。

所需材料

项目第一版、问题清单、匹配手册与备份程序。

同一试验场地、交接说明模板、运行记录和外部视频。

教师课前准备

教师安排组间交换说明与角色，接线变更必须断电并复核。

每组保留可恢复的基线，限定本课修复范围，不临时增加未经验证功能。

实验与操作步骤

01 稳定复现问题

选择最影响验收的一项问题，固定输入、场地和版本，记录预期、实际与最短复现步骤。没有失败时检查一个此前未覆盖的边界。

检查点 同伴能按说明观察到同一现象。

---

02 一次验证一个原因

依次检查匹配接线、原始读数、状态判断和动作输出，先静止后架空。每次只改变一个因素，保留修改前后的证据。

检查点 修复说明有验证依据，不只写“重新上传就好了”。

---

03 执行回归检查

重测正常任务、遇障停车与人工停止，确认修复没有破坏原有行为。按任务书做规定的重复运行，保存全部结果。

检查点 关键功能与停止方式均在最终版本上复查。

---

04 让同伴接手

另一组仅根据说明完成版本识别、场地布置、启动和停止。作者观察并记录说明缺口，遇不清楚处先停下，不让对方猜接线或阈值。

检查点 把口头补充转成明确的书面步骤。

---

05 冻结展示版本

整理程序、参数、照片、记录与操作说明，标明最终版本及恢复方法。为下一课准备演示顺序、失败备用说明与三分钟讲解。

检查点 材料包内文件互相对应，未把草稿当作展示版本。

课堂验收

最终版本有修复或边界检查证据及关键功能复测。

同伴可依书面步骤运行，说明中的缺口已经补齐。

课后作业

完善项目操作说明与问题修复记录。

准备三分钟展示：任务、设计、证据、限制及下一步。

本课交付物

经过同伴复现的最终工程版本与交接说明。

15

机器人作品展示与基础能力验收

Robot Showcase and Foundation Review

作品演示 · 同伴评价 · 阶段验收

展示真实可运行的作品，以工程档案证明已经具备进入 AI 机器人阶段的基础。

Program 1 · 第 15 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

解释本组机器人的感知、判断与执行链路。

按既定条件演示作品并如实报告结果。

整理可继续迭代的作品集和个人学习计划。

所需材料

最终小车、经复测的程序、完整工程档案和操作说明。

标准试验区域、任务验收表、同伴评价表与外部录像设备。

教师课前准备

教师按各组已冻结任务书安排展示，留足停机、复位与提问时间。

准备基础能力检查：识别接线资料、解释一段条件程序、读取一份实验表。

实验与操作步骤

01 做展示前检查

核对版本、供电、紧固、阈值与场地，先检查停止方式。确认录像和观察员就位，再拔掉 USB 进入自由行驶展示。

检查点 所有组沿用相同的通电与运行检查习惯。

---

02 说明设计选择

用三分钟介绍任务、系统图、状态机和一次数据支持的选择。指出复用的厂商程序与本组修改，区分人工解除和自主行为。

检查点 听众能理解为什么这样设计，而不只看见车在动。

---

03 按规则展示

按任务书执行约定的运行，记录成功、失败与介入。出现问题先停机，再展示已有记录说明限制；不剪掉失败后宣称全程成功。

检查点 展示结果与完整历史试验记录分别列明。

---

04 完成个人验收

每位学生解释一个传感状态、一个判断分支和一项统计结果，并指出匹配手册的位置。同伴给出一条有证据的优点和一条改进建议。

检查点 两位组员都能解释关键环节，不只由一人操作。

---

05 整理下一阶段入口

归档代码、清单、标定、试验表和操作说明，写个人仍需练习的内容。将摄像头与电脑 Python 列为下一阶段入口，不宣称本阶段已完成 AI 识别。

检查点 作品集可被再次打开、理解并运行。

课堂验收

作品演示、完整证据及限制说明齐备，失败如实记录。

每位学生可解释基本程序与数据，并完成可复用工程档案。

课后作业

根据同伴反馈提交一次作品集修订，注明修改内容。

写一页下一阶段计划：希望机器人识别什么、需要哪些图像和评价方法。

本课交付物

可运行机器人、工程作品集与进入 Program 2 的个人准备清单。

进阶验收

能说明接线与供电、修改条件和函数、标定一类传感器；在固定路线完成测试，并用实际记录解释一次参数选择。未通过的项目先补练再进阶。

建议评价方式

操作与工程记录 40% · 功能与测试 30% · 项目展示 20% · 同伴复核 10%

02

PROGRAM 2 · 15 次课 · 30 课堂小时

AI Robotics Developer

AI机器人与自主智能系统

掌握 AI 模型、计算机视觉、AI Agent 和自主机器人开发的基本流程，把感知、规划、工具调用和执行反馈连接成可测试的系统。

适合谁 · 入门要求

完成 Program 1 或通过等效演示：会读写简单程序，能调试小车状态逻辑并提交实验记录；课前补齐 Python 函数、列表和文件操作。
每周课外练习约 2–3 小时

结课作品

视觉导航任务助手：电脑端感知模型、带约束的任务 Agent、本地仿真闭环、测试集与数据 / 模型说明卡；条件具备时迁移到小车。

01–07 · 数据、视觉规则与小型学习模型

08–12 · 消息接口、规划与 Agent 工具调用

13–15 · 闭环测试、稳健性、项目交付

开课准备与实验条件

沿用小车；电脑运行 Python、NumPy、OpenCV 和 CPU 版 PyTorch；使用保存图像或经验证的摄像头采集。必修闭环先在本地仿真完成，不要求付费模型服务。
教师准备固定版本 Python 环境、采集与标签模板、本地消息协议、网格环境和受约束 Agent 脚手架，并先跑通 CPU 路线。实机桥接须另行实现并验证；现有下载包不包含该桥接或完整 Agent。

01

从小车程序到 AI 系统工程

电脑实践

Python Engineering for Robotics

把第一阶段的传感与控制经验转成可测试的电脑端模块，建立本阶段的项目与复现习惯。

Program 2 · 第 1 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

用函数、模块和命令行参数组织 Python 程序

区分电脑推理、通信接口与 UNO 控制职责

从原始记录复现一次结果并解释错误输入

所需材料

电脑与独立 Python 环境、代码编辑器

基础实验资料库中的传感器 CSV 与 analyze.py

ELEGOO 第一阶段接线记录与项目笔记

> ### 教师课前准备
>
> 学生应已能上传 Arduino 程序、解释传感器阈值并读取 CSV；未通过者先补基础实验。
>
> 教师课前试运行资料库示例，准备一份缺列、一份含无效值的副本；保留原件。

实验与操作步骤

01 画系统分工图

标出相机、电脑、通信、UNO、电机五部分；注明 AI 在电脑运行，套件默认并不提供本课程所需的双向遥测协议。

检查点 每条箭头写明数据或命令，未实现的连接用虚线。

---

02 建立项目结构

分开原始数据、代码、配置和结果，记录 Python 版本；运行原有分析示例，确认合成数据的来源标记。

检查点 新结果目录可生成，原始 CSV 不变。

---

03 拆分处理函数

写读取、校验、汇总三个函数，用参数传递路径和阈值；使有效记录数成为可独立检查的返回值。

检查点 同一输入重复运行得到相同有效记录数。

---

04 处理坏输入

分别输入缺列、空文件和无效距离，捕获可预期错误并给出说明；无效测量不得补成零距离。

检查点 三类输入均有明确结果，程序不悄悄吞掉错误。

---

05 同伴复现

交换只含代码、示例数据与运行说明的项目，按说明从新目录运行；把修订写进版本记录。

检查点 同伴能解释结果来源与一项程序限制。

课堂验收

- 独立完成一次 CSV 分析和一次错误输入检查
- 能说明 UNO 不承担图像模型推理，且 PWM 不是实测速度

课后作业

- 补齐项目 README 的环境、输入、命令、输出四部分
- 为下一课准备一个可手算的六行数据表

本课交付物

可复现 Python 小项目、系统分工图与入门能力检查记录

---

02 数组、坐标与数据质量

电脑实践

Arrays, Coordinates and Data Quality

用 NumPy 理解图像与传感记录的形状、单位和有效值，为视觉与模型输入打好基础。

Program 2 · 第 2 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 解释数组 shape、索引与逐元素运算
- 用有效值掩码统计数据并保留缺测信息
- 区分像素坐标、归一化坐标和真实距离

所需材料

- 安装 NumPy 的电脑
- 六行手算数据与带缺测的传感器 CSV
- 一张黑线图片与网格纸

> ### 教师课前准备
>
> 教师课前验证 NumPy 环境，准备包含 NaN、异常值和单位说明的小表。
>
> 学生带来上节项目；本课只处理本地文件，不连接电机。

实验与操作步骤

01 手算与数组对照

先手算六个数的均值，再以数组计算；写出一维、二维数组的形状，判断行列索引意义。

检查点 手算与程序结果一致，能找出指定行列元素。

---

02 表达缺测

将有效标记变成布尔掩码，分别报告总数、有效数和有效值均值；比较错误补零带来的偏差。

检查点 全无效输入输出缺失统计，而非误报均值为零。

---

03 理解图像数组

查看图像高、宽、通道数，截取底部区域；从若干像素位置计算横向归一化坐标。

检查点 在图上标出裁剪位置，归一化范围与约定一致。

---

04 建立数据检查

检查非有限值、长度不匹配、时间倒退和不合理单位；把原始列与派生列分开保存。

检查点 四种教师注入的问题均被标注，不修改原始文件。

---

05 解释尺度限制

比较两种分辨率下同一归一化位置，说明像素位移为何不能直接当厘米；整理输入约定。

检查点 报告同时写形状、单位、缺测处理三项。

课堂验收

- 有效值统计通过手算核对与全缺测检查
- 能解释图像坐标需要标定才能转为物理距离

课后作业

- 为自己的数据新增三条校验规则
- 画出图像坐标到归一化坐标的示意图

本课交付物

数组练习、数据质量报告与坐标约定表

延伸资料： NumPy 官方入门 ↗

---

03 相机采集与可追溯数据集

桌面采集

Camera Capture and Dataset Design

建立带采集批次的数据集，让模型评价面对新的拍摄条件，而不是相邻帧的重复记忆。

Program 2 · 第 3 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 用 OpenCV 读取本地相机或录像并处理读帧失败
- 按采集批次划分训练、验证与最终测试集
- 记录标签、来源与采集条件，避免跨集合泄漏

所需材料

电脑、USB 或内置相机；亦可使用教师准备的图像

纸面赛道、固定相机支架与照明

图片清单模板、独立存储目录

> ### 教师课前准备
>
> 教师课前验证相机读取和备用录像；ELEGOO 相机仅在厂商采集流程已验证时使用，不假定其视频可直接被 OpenCV 打开。
>
> 制定 left/center/right 的图像标注规则，先列六个采集批次及其分组；拍摄画面避开个人信息。

实验与操作步骤

01 确认采集通道

打开相机或录像，检查尺寸、读帧返回值和资源释放；失败时切换已准备的离线图片。

检查点 能识别无法打开和录像结束两种情况。

---

02 固定标签规则

用纸面赛道位置标注三类图像，另列无可见线等无效情况；两人独立标十张再讨论分歧。

检查点 形成规则与分歧记录，不按模型预测反改标签。

---

03 采集六个批次

改变摆位或照明后重新采集，每批三类各至少五张；整批分为训练三批、验证一批、测试两批。

检查点 至少九十张有批次标识的图片，最终测试批次封存。

---

04 建立清单

保存相对路径、标签、批次、分组、来源、光照和拍摄日期；检查重复路径与图片哈希。

检查点 同一录像或采集批次不跨集合，发现重复则回到原划分修正。

---

05 检查数据覆盖

按分组统计类别数量与无效样本，说明这种小样本仅用于教学；约定第十五课才开启最终测试。

检查点 数据卡列出来源、覆盖条件与缺口。

课堂验收

- 清单、图片及三组划分一致，跨组批次和重复图片为零
- 提供采集失败时的离线替代流程，明确数据是真实还是合成

课后作业

- 补齐数据卡与标签分歧处理记录
- 在训练集里找三种可能让视觉方法失效的情况

本课交付物

按批次划分的教学数据集、采集脚本与数据卡

延伸资料： OpenCV 官方视频读取教程 ↗

04 可解释视觉：颜色、区域与质心

电脑视觉

Interpretable Vision Baselines

先建立能看懂的图像规则，再讨论学习模型是否带来改善；保留无检测结果。

Program 2 · 第 4 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 完成灰度或 HSV 转换、区域裁剪与二值分割
- 用面积比例和质心描述可见线条
- 用可视化解释规则失败，而不把缺测当作居中

所需材料

电脑与 OpenCV、NumPy

第三课训练与验证图片；最终测试保持封存

基础资料库 vision.py 作为 Pillow 实现对照

教师课前准备

教师准备可逐步显示原图、区域、掩码的 OpenCV 教学骨架；现有资料库不包含这一实现。

学生复查坐标和标签约定；阈值初选只查看训练集。

实验与操作步骤

01 检查颜色与区域

读取图像，确认 OpenCV 的颜色通道约定；框选赛道区域并显示灰度结果。

检查点 裁剪位置与原图一致，能解释通道混用的影响。

---

02 生成掩码

比较两组候选阈值对训练图像的效果；彩色标记可用 HSV 范围，黑线先用灰度。

检查点 每个候选都保存参数，阈值并非由测试图片挑选。

---

03 提取可解释特征

计算前景比例及横向质心；无前景或面积不足时输出 missing，叠加标记用于核对。

检查点 至少检查三张正常与两张无效图片，缺测不输出假质心。

---

04 建立规则基线

按固定左右边界把有效质心转为三类；在验证集报告类别混淆、漏检数与总样本数。

检查点 有效样本准确率和全样本覆盖率同时出现。

---

05 冻结版本

保存区域、阈值、边界与程序版本；整理已观察到的成功、缺测和错误。可另设阴影、反光或断线的挑战检查，结果单列。

检查点 别人能依据图片理解输出；未观察到错误则如实记录 0。

课堂验收

规则视觉对空白图像输出缺测状态

验证报告包含混淆矩阵、覆盖率和固定参数

课后作业

整理五个带注释的视觉检查案例，实际失败单独标注；无失败如实记录 0。新增挑战图的结果另列，不改动冻结数据。

提出一项只在训练或验证数据上检验的改进

本课交付物

可视化视觉流水线、规则基线与案例检查页

延伸资料： OpenCV 官方颜色空间教程 ↗

05 从特征到小型分类模型

机器学习

Features and Small Classifiers

训练一个轻量分类器，与规则基线公平比较，并严格区分训练、调参与最终评价。

Program 2 · 第 5 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

说明特征、标签、拟合与预测的区别

仅用训练数据估计标准化参数与类别中心

用验证集评价模型，保留最终测试用于结课

所需材料

第四课特征表、电脑与 NumPy

基础资料库 classify.py 的最近类别中心实现

混淆矩阵与数据划分记录表

教师课前准备

教师准备三集合训练骨架；旧工具只有 train/test 两组，演示时须把原验证批次写入单独副本的 test，并注明它仍是开发验证集。

最终测试图片保持封存；不修改原始清单来绕过分组检查。

实验与操作步骤

01 手算一次分类

用两项特征在纸上画三类中心，计算新点到各中心的距离，讨论量纲不同的影响。

检查点 能解释为何标准化参数必须来自训练集。

---

02 实现拟合与预测

分开训练和推理函数，仅在训练部分计算均值、标准差与类别中心，并保存参数。

检查点 预测函数不访问验证标签。

---

03 开展公平比较

在同一验证图片上运行固定规则与分类器；逐类统计混淆、支持数、漏检和覆盖率。

检查点 两种方法使用相同评价样本，排除项单列。

---

04 检查泄漏

故意将重复图片放入另一分组，检查路径、哈希与批次；修复原始划分后重新运行。

检查点 三种跨组重复均能识别，未用改名掩盖重复。

---

05 解释模型取舍

对照分数、覆盖率和可解释性，写出采用或保留规则方法的理由；模型未胜出也如实报告。

检查点 结论不把较复杂模型等同于较好模型。

课堂验收

- 保存训练参数并独立重载预测，输出一致
- 报告清楚标注验证结果，未宣称最终测试成绩

课后作业

- 完成规则与分类器比较表及三项限制
- 用训练数据设计一个附加特征，记录理由后再试验

本课交付物

轻量分类器、泄漏检查记录与验证比较表

06 PyTorch：张量与梯度的第一步

CPU 模型练习

Tensors and Gradients with PyTorch

用很小的合成问题理解张量、损失和梯度，为第三阶段的机器人学习建立必要基础。

Program 2 · 第 6 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 识别批次、特征与类别维度
- 通过自动微分检查一个可手算的梯度
- 解释一次参数更新如何影响损失

所需材料

已验证 CPU 版 PyTorch 的电脑

六点合成回归表与纸笔

教师准备的张量与梯度练习文件

> ### 教师课前准备
>
> 教师课前依据设备安装并验证兼容的 CPU 环境，记录版本；本课程不要求 GPU 或付费云服务。
>
> 学生复习一次函数、平方误差与 NumPy 形状；合成练习单独标为 synthetic。

实验与操作步骤

01 核对张量形状

将六点表转为张量，分别标注样本数和输入维度；预测矩阵相乘的输出形状后验证。

检查点 三道形状检查正确，能解释一次维度不匹配。

---

02 手算损失与梯度

对单参数线性模型计算一个样本的平方损失和导数，再用自动微分核对。

检查点 手算与程序梯度在所定数值容差内一致。

---

03 执行参数更新

完成清梯度、前向、损失、反向和更新的短循环，记录每轮损失与参数。

检查点 能指出遗漏清梯度会累加梯度的位置。

---

04 比较学习率

从相同初值运行两种学习率，画损失变化；出现震荡或发散时保留记录，不删除坏结果。

检查点 比较只改变学习率，所有运行都有来源和配置。

---

05 联系机器人模型

说明损失下降只表明拟合练习改善，并不证明小车更安全或更准确；整理训练与推理区别。

检查点 能够把六点练习和真实机器人评价分开。

课堂验收

- 张量形状和手算梯度检查通过
- 能解释训练循环五步与学习率比较结果

课后作业

- 补写各张量形状及梯度流向图
- 固定数据改变初值，记录合成结果而不作实机结论

本课交付物

CPU 张量练习、手算核对与两组训练曲线

延伸资料： PyTorch 官方张量教程 ↗ PyTorch 官方优化循环教程 ↗

07 训练、保存与评价一个小网络

CPU 模型训练

Train, Save and Evaluate a Small Network

在已有视觉特征上训练小网络，走通数据加载、验证选择、模型保存和重载推理。

Program 2 · 第 7 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 用小型 MLP 完成三分类训练
- 在训练与评价模式下正确运行模型
- 用验证结果选择版本并保存可复现配置

所需材料

CPU PyTorch 环境与训练、验证特征表

第五课规则和类别中心基线

教师准备的 Dataset、训练与评价骨架

> ### 教师课前准备
>
> 教师课前验证两特征输入、一个小隐藏层、三类输出的 CPU 示例，限定训练轮数以适合课堂。
>
> 既有下载包不含 PyTorch 模型；本课代码由教师准备并由学生完成，最终测试集仍封存。

实验与操作步骤

01 检查输入与标签

核对批次张量维度、标签编码和类别数量；沿用只在训练集拟合的预处理。

检查点 验证图片未参与标准化参数估计。

---

02 构建小网络

标注每层输入输出形状与参数数目，解释网络输出分数与交叉熵的对应关系。

检查点 一个样本通过模型后得到三类分数。

---

03 训练并记录

固定数据、随机种子和训练预算，分别记录训练损失与验证指标；比较两个预先约定的版本。

检查点 日志可对应到模型配置，未不断查看最终测试调参。

---

04 保存与重载

保存权重、标签顺序、预处理和版本；在新进程加载同一结构，切换评价模式并关闭梯度记录。

检查点 重载后的验证预测与保存前一致。

---

05 与基线对照

比较三种方法的验证混淆、覆盖率与 CPU 推理时间；注明计时是否包含图像处理。

检查点 不因模型名称更先进而省略失败或运行成本。

课堂验收

- 小网络完成训练、保存、独立重载和预测一致性检查
- 模型卡记录输入限制、验证分组和基线对照

课后作业

- 补齐模型卡并选定用于系统集成的版本
- 列出进入第三阶段前仍需补强的张量或训练概念

本课交付物

可重载的小模型、模型卡与基线比较记录

延伸资料： PyTorch 官方保存与加载教程 ↗

---

08 **模块通信与可回放日志** 软件系统

Message Interfaces and Replayable Logs

把视觉、决策与执行拆成可替换模块，用本地消息和日志回放连接，建立进入 ROS 2 的概念桥梁。

Program 2 · 第 8 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 定义带序号、时间和有效状态的消息
- 区分持续观测、请求回应与带反馈任务
- 回放同一输入定位模块故障

所需材料

- 电脑与 Python 标准库
- 第七课推理模块、录制图像或观测序列
- 教师准备的内存消息队列与日志骨架

> ### 教师课前准备
>
> 教师准备纯 Python 进程内模拟接口及丢帧、延迟样例；必修不依赖安装 ROS 2。
>
> 使用课程专用单调时间约定；跨设备时钟同步另属扩展，不把不同设备时间直接相减。

实验与操作步骤

01 定义模块边界

画视觉、状态估计、规划、执行四个模块，逐条写出需要交换的信息与更新条件。

检查点 模块不直接读取其他模块的私有变量。

---

02 写消息约定

观测加入序号、时间、类别和 valid；命令加入任务编号、动作、期限；结果包含接受、完成或失败原因。

检查点 单位、缺测与重复消息的处理均明确。

---

03 连接本地模块

用内存队列传递观测，写入逐行 JSON 日志；执行器先只打印将执行的动作。

检查点 日志可串联一条观测、一次决策和一次回执。

---

04 回放与故障注入

回放同一序列，分别加入重复、乱序与迟到消息；接收方按约定拒绝或标记。

检查点 三种故障有记录，不被当作新鲜观测。

---

05 对照 ROS 2 概念

把连续观测、查询、持续任务对应到 topic、service、action；注明当前练习只是本地接口，不声称已部署 ROS 2。

检查点 能为三个例子选择接口并解释原因。

课堂验收

同一日志回放可重现模块输出

重复、乱序、迟到消息各有一次可检查的处理记录

课后作业

补全消息字段说明和一条完整任务日志

说明换成相机或仿真器时哪些模块可以保持不变

本课交付物

本地消息接口、回放日志与模块图

延伸资料： ROS 2 Jazzy 官方接口说明源文档 ↗

09 让感知结果成为可靠状态

离线回放

Perception State and Uncertainty

将单帧分类变成有时间语义的状态，同时保留未知、过期与冲突，避免模型输出直接变成电机动作。

Program 2 · 第 9 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

区分观测、估计状态与机器人真实状态

实现带超时和滞回的短时状态更新

评价漏检、切换延迟与误动作请求

所需材料

- 第八课回放接口与视觉输出
- 教师标注事件时间的离线序列
- 纸面状态转换图

> ### 教师课前准备
>
> 教师准备稳定、抖动、遮挡、丢帧四类序列并标明真值事件时间；模拟数据注明 simulation。
>
> 本课阈值只在开发序列选取；模型分数不能直接当成已校准的正确概率。

实验与操作步骤

01 定义四类状态

将左、中、右和未知写成状态，明确缺测、过期或矛盾观测何时进入未知。

检查点 未知状态不会被自动补成上次正常结果。

---

02 实现时间约束

加入观测最大年龄与连续确认条件，使用记录的时间推进，避免依赖电脑真实等待。

检查点 同一回放速度变化后状态序列仍一致。

---

03 比较平滑代价

对相同序列比较单帧决策与短窗口规则，统计错误切换及相对标注事件的响应延迟。

检查点 使用动态事件序列测延迟，不从静止图像方差推断响应速度。

---

04 注入异常

加入遮挡、持续无帧与冲突观测，让决策层输出等待或停止请求，并保存原因。

检查点 三类异常都能到达未知或停止分支。

---

05 冻结状态模块

保存时间窗口、阈值和失败序列；说明平滑可能减少抖动，也可能增加反应延迟。

检查点 报告同时呈现错误切换和延迟指标。

课堂验收

- 遮挡、超时与冲突均有确定的处理结果
- 两种方法的延迟和错误切换在同一序列上比较

课后作业

- 绘制状态随时间变化图并标出未知区间
- 提出一项会使当前状态规则失效的场景

本课交付物

带未知状态的感知模块及异常回放报告

---

10 已知地图上的自主导航

电脑仿真

Planning in a Known Map

在位置已知的网格世界完成路径规划与重新规划，分清规划、定位、建图三项能力。

Program 2 · 第 10 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 用 BFS 搜索等代价网格的可行路径
- 校验路径并处理无路或新障碍
- 明确理想仿真位置与实机定位的区别

所需材料

电脑、基础资料库 maze.py

教师准备的逐步网格执行与障碍注入骨架

地图、起终点和试验清单

教师课前准备

教师课前检查可达、不可达和中途封路三种地图；既有 maze.py 仅完成已知地图搜索。

网格位置由仿真器直接提供；ELEGOO 标配无已证实的轮编码器，不能据此声称实机 SLAM。

实验与操作步骤

01 读懂任务假设

写清地图已知、四邻接、单步等代价及精确位置假设，画起点到终点的候选路径。

检查点 不把网格步数写成实机厘米数。

---

02 执行并解释 BFS

用队列展开节点，记录父节点并回溯路径；对照 DFS 的结果与展开数。

检查点 能解释 BFS 的最短路结论依赖等代价条件。

---

03 校验与逐步执行

检查路径首尾、相邻性和无墙条件，逐格推进模拟位置，每步产生结果回执。

检查点 非法跳格或穿墙路径被拒绝。

---

04 障碍与无路处理

运行中加入一个障碍，从当前模拟位置重新规划；无路时停止并报告，不反复无限尝试。

检查点 可达、封路改道、完全无路三种案例都有日志。

---

05 区分三种能力

说明真实小车还需怎样得到位置和地图；列出本课没有验证的硬件能力。

检查点 报告标题明确写已知地图仿真。

课堂验收

- 三类地图均返回正确类型的结果，路径校验通过
- 能说明路径规划成功不等于实机建图定位成功

课后作业

- 设计一张需要中途改道的地图并保存预期结果
- 为下一课的目标规划器列出可调用的查询与导航工具

本课交付物

导航仿真、路径校验与三类场景日志

11

AI Agent：目标、工具与反馈

电脑 Agent

Goal-Directed Agents and Tool Feedback

构建会根据目标和反馈选择工具、更新计划的教学 Agent，语言模型作为可替换的选修规划器。

Program 2 · 第 11 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 将任务目标拆成有前置条件和结果的工具调用
- 根据执行失败更新状态并重新规划
- 区分有限状态执行器、目标规划器与可选语言模型

所需材料

第八至十课的消息、状态与导航仿真模块

教师准备的目标搜索与工具注册骨架

目标卡、事件序列和计划回放模板

> ### 教师课前准备
>
> 教师准备 observe、plan_route、move_one_cell、stop 四类模拟工具及其结果约定；全部运行在电脑，不连接实机。
>
> 必修用显式目标搜索完成规划，不需 API 密钥；选修可比较已准备的本地语言模型或标明来源的计划回放。

实验与操作步骤

01 写目标与工具契约

把到达指定检查点写成可检查目标；列各工具输入、前置条件、结果与失败原因。

检查点 每个工具结果可供下一次决策读取。

---

02 实现目标规划

用当前网格状态和目标搜索动作序列；规划器返回工具调用列表，执行器只负责逐项请求和回执。

检查点 同一执行器可接收两个不同目标生成的计划。

---

03 闭合反馈循环

工具每执行一步便更新状态；注入路径封闭，Agent 接收失败原因、重新观察并重新规划。

检查点 日志显示失败导致计划改变，而非盲目重复原动作。

---

04 处理无法完成

设置调用预算、最大重规划次数与任务超时；目标不可达时给出未完成原因和停止结果。

检查点 无路场景在预算内结束，不靠无限重试成功。

---

05 比较规划方式

对照固定脚本、目标搜索和可选语言计划；若用回放，明确未进行实时模型推理，所有计划都进入同一校验器。

检查点 能指出目标、状态记忆、工具结果和重规划各在哪里。

课堂验收

- 两个目标与一次工具失败均产生可追溯的计划和反馈链
- 不可达目标在有限预算内停止并说明原因

课后作业

- 补一条因失败而重新规划的完整轨迹
- 设计三个非法或含糊工具调用供下节校验

本课交付物

目标驱动的教学 Agent、工具契约与反馈轨迹

12 受约束的动作执行与硬件接口

必修仿真 · 实机接口选修

Bounded Actions and Hardware Interfaces

把 Agent 的提议变成可拒绝、可超时、可停止的命令；实机扩展必须先通过匹配板卡的接口测试。

Program 2 · 第 12 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 验证工具白名单、参数范围与持续时间
- 实现执行期限、重复命令处理和障碍优先停止
- 说明软件仿真通过与实机接口通过是两种证据

所需材料

Agent、模拟执行器与故障注入清单

选修：已核对版本的 ELEGOO、架空支撑、USB 线

教师课前验证的协议与固件；未具备时仅做仿真

> ### 教师课前准备
>
> 教师须先准备并验证主机到控制板的协议、回执和超时停止固件；原厂程序及现有下载包不等于已具备该桥接。
>
> 选修先断电核对板卡与线路、架空车轮，在固定工位用 USB 测试；移动无线桥接须另行验证，不拖线行驶。

实验与操作步骤

01 写执行边界

列允许工具、数值范围、最大持续时间、任务期限和障碍停止优先级；PWM 字段注明为驱动指令而非速度。

检查点 所有边界在执行前可机械检查。

---

02 实现预执行校验

检查未知工具、缺字段、越界值、非有限数、过期与重复命令；拒绝原因写入日志，默认只预演动作。

检查点 六类非法命令都不进入模拟执行器。

---

03 测试超时与障碍

注入失联、过期观测和障碍信号，确认执行器主动停止；恢复通信也不能自动恢复旧移动命令。

检查点 停止在约定模拟期限内发生，旧命令不重放。

---

04 开展接口对照

必修检查模拟回执；具备预验条件的小组才在架空实机测试短时、低输出动作与停止，并记录板卡、固件、实测停止时间。

检查点 清楚标注 simulation 或 physical，未通过者不进入地面移动。

---

05 汇总证据

列出已通过和未验证项，标明实机传感、遥测、无线桥接和场地停止机制各由谁提供。

检查点 报告不以模拟通过代替实机运行结论。

课堂验收

非法命令、失联、障碍三类测试均有可检查的拒绝或停止记录

选修实机另附板卡固件匹配与架空测试证据；无此证据则维持仿真

课后作业

完成命令约束表与至少十项故障检查表

写出地面实机展示尚需完成的接口和场地条件

本课交付物

命令校验器、超时停止记录与接口验收表

13

视觉 Agent 的系统闭环

必修仿真 · 已验实机可选

Vision-Agent System Integration

串起图像、状态、目标规划、受约束动作和执行反馈，先在可重复的模拟任务中验证整条链。

Program 2 · 第 13 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

将已训练的视觉模块接入 Agent 观察工具

从日志定位感知、规划和执行层的失败

记录任务成功、停止行为和计算延迟

所需材料

视觉模块、状态估计、Agent 和命令校验器

教师准备的图像观测网格模拟器与开发场景

选修：另行验收的移动无线桥接与隔离场地

教师课前准备

教师课前准备模拟器：按当前位置产生或选择标注为 synthetic 的线条/标记图，动作回执推进网格；精确位置由模拟器提供，不宣称视觉定位。

实机选择仅限第十二课接口及无线失联停止均通过的队伍；没有合适桥接时完整完成电脑仿真即可。

实验与操作步骤

01 约定系统任务

设置可见标记决定检查点、到达目标并停止的任务，写清模拟位置真值与视觉标签分别来自哪里。

检查点 视觉输出确实影响检查点选择，未被真值标签替代。

---

02 连接观察与计划

让 Agent 调用图像观察工具，接收类别、有效状态和时间，再生成受限导航工具调用。

检查点 任务日志包含图像编号、模型版本、目标和动作。

---

03 运行完整闭环

从固定种子或场景编号运行正常任务，检查每次动作反馈能更新状态；记录计划次数和完成步数。

检查点 从初始图像到最终停止有完整可回放轨迹。

---

04 插入系统故障

分别插入遮挡、路径阻塞、执行失败或超时，定位首次异常发生的模块；选修实机按已批准的低输出短程方案执行。

检查点 每个失败有来源与停止记录，不靠人工悄悄修正状态。

---

05 整理系统指标

报告完成率、失败类型、停止响应与每模块耗时，区分模拟时间、电脑耗时和实机时间。

检查点 无法完成的任务保留在分母中。

课堂验收

- 至少一个正常任务和三个异常任务有完整轨迹
- 视觉结果影响任务决策，系统按约定处理不确定或失败

课后作业

- 提交一页系统图与完整任务录屏
- 为结课项目提出一个可用固定基线比较的改进问题

本课交付物

视觉 Agent 集成原型、任务轨迹和系统问题清单

14 项目改进与冻结评价方案

项目工作坊

Project Improvement and Evaluation Freeze

选一个可验证的改进，固定版本、场景和指标，为下一课的独立评价做好准备。

Program 2 · 第 14 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 提出一个范围有限的系统改进问题
- 用开发场景比较基线与改进方案
- 冻结模型、代码和最终评价协议

所需材料

第十三课系统与失败日志

开发场景清单、实验记录模板

教师保管的最终图像批次与新任务场景

> ### 教师课前准备
>
> 教师准备不与开发场景重复的最终场景，在测试前写明成功和停止标准。
>
> 每组只选一个主要变量，例如视觉模型、状态窗口或重规划规则，避免同时改变全部模块。

实验与操作步骤

01 提出改进假设

从失败日志选择一个问题，写出预计改善的指标与可能付出的延迟或复杂度代价。

检查点 问题能用基线和一个改进版本回答。

---

02 设计比较协议

固定场景、初值、预算与成功判据；仿真用配对场景，实机需预先安排独立重复和试验顺序。

检查点 失败、超时和人工干预如何计数已事先写定。

---

03 实现并开发验证

只在训练和验证材料上调试，比较两版本的完成数、停止表现和耗时；保留全部运行。

检查点 两版本除主要变量外使用相同条件。

---

04 冻结提交包

固定代码、模型、阈值、依赖版本、种子及运行入口；记录文件校验值和修改截止点。

检查点 另一个小组能从说明启动，不依赖作者电脑中的隐藏路径。

---

05 检查评价准备

同伴检查数据泄漏、指标分母和仿真实机标签；最终测试前只修影响运行的缺陷并记录版本变化。

检查点 最终评价方案与模型卡均签入项目版本。

课堂验收

- 一个主要变量、固定基线和评价协议齐全
- 提交包可独立启动，最终测试尚未用于模型选择

课后作业

- 准备五分钟项目展示及失败案例解释
- 完成最终评价空表，不预填预期成绩

本课交付物

冻结的项目版本、对照协议与最终评价计划

15 自主系统展示、复现与进阶评估

项目答辩

Autonomous System Demo and Reproduction

用此前未参与调参的材料评价项目，交付可复现的 AI 机器人系统档案，确认第三阶段的学习准备。

Program 2 · 第 15 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 在冻结版本上完成独立图像与任务评价
- 解释成功、失败和仿真实机差异
- 交付数据卡、模型卡与可复现系统，并说明下一步研究问题

所需材料

第十四课冻结项目、模型与配置

封存图像批次、教师新任务场景及评价表

电脑；符合验收条件的实机展示为选修

教师课前准备

教师提前检查展示环境，最终任务至少包含正常、遮挡、阻塞、失联或超时四类；按组数安排分站轮转。

图像测试与自主任务分别评价；测试后若修改模型，本轮成绩即不能作为新版本的独立成绩。

实验与操作步骤

01 核对冻结版本

检查代码、权重与配置记录，说明图像和任务的来源；公布预先写好的判据。

检查点 每份结果能对应唯一版本及数据划分。

---

02 开展独立评价

开启封存图像，运行固定基线和选定模型；同样报告覆盖率、混淆矩阵与各批次结果。

检查点 不据测试成绩重新挑模型或阈值。

---

03 完成自主任务展示

在至少四类新场景运行系统，记录完成、拒绝、停止、超时与人工干预；失败保持原样记录。

检查点 每一任务有日志及结果，零失败也如实报告。

---

04 同伴复现与答辩

同伴按说明回放一个任务；学生解释视觉判断、计划改变、约束拒绝和停止机制，指出尚未验证的硬件能力。

检查点 同伴能重现一个结果，并找到一条完整决策轨迹。

---

05 建立研究入口

提交代码说明、数据卡、模型卡、评价表与限制；检查张量、训练验证划分、模块接口和对照实验四项基础，提出第三阶段研究问题。

检查点 能区分观察到的结果、解释与待验证假设。

课堂验收

完成图像和任务两类独立评价、异常处理及同伴复现，不以高分作为唯一通过条件

能说明张量形状、训练验证边界、工具反馈与系统限制；欠缺项安排补习后进入研究阶段

课后作业

按反馈修改项目报告，修改后的版本与原测试结果分开保存

提交一页第三阶段研究意向：问题、基线、数据、计算条件与评价指标

本课交付物

AI Robotics Developer 项目档案、最终评价与第三阶段准备清单

进阶验收

能按采集批次划分数据、比较规则与学习基线、运行小型 PyTorch 训练；能追踪一次目标—工具—反馈过程，并通过无效动作与超时停车测试。

建议评价方式

数据与模型实验 30% · 系统集成与测试 35% · 项目和文档 25% · 同伴复现 10%

03

PROGRAM 3 · 15 次课 · 30 课堂小时

Physical AI Researcher

高级具身智能与Physical AI创新研究

理解 VLA、机器人学习与仿真的核心方法；完成一个问题明确、对照公平、结果可复现的研究型项目，并能判断结论的适用范围。

适合谁 · 入门要求

完成 Program 2 或通过等效项目审查：熟练 Python／数组、会训练小模型、理解数据划分；补齐向量、坐标变换、导数与概率基础。
每周课外练习约 3–5 小时

结课作品

小型机器人学习研究：规则控制与学习策略的受控比较、完整回合数据、实验配置、结果图、4–6 页报告、海报和复现包。

01–05 · 场景、示范、行为克隆与闭环

06–10 · 强化学习、泛化、多模态与 VLA

11–15 · 预注册、消融、留出评价与复现

开课准备与实验条件

电脑运行 MuJoCo 与小型 CPU 学习实验；必修使用统一的双关节机械臂仿真任务。预训练 VLA 实际推理／微调为选修，先核实模型、算力、许可与任务适配；实物机械臂另配。
教师须先交付并试跑统一场景、专家控制器、回合记录器、小型 BC／强化学习模板、冻结评估配置和有来源的 VLA 输出记录。普通电脑完成小型策略研究；阅读或回放 VLA 记录不计为实际模型推理。

01

搭建一个可研究的仿真任务

A Reproducible Simulation Task

电脑仿真

以 CPU 上的双关节平面机械臂到点任务贯穿本阶段；先建立可复位、可记录的实验环境。教师须提前制作并试跑场景与配套模板，现有 ELEGOO 入门下载包不含这些高级实验。

Program 3 · 第 1 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 辨认状态、动作、观测与任务目标
- 理解物理步长和控制周期的区别
- 用固定配置复位并记录完整回合

所需材料

电脑及教师验证的 Python、MuJoCo、NumPy、PyTorch 环境

教师预制的双关节 MJCF 场景、记录器与环境锁文件

> ### 教师课前准备
>
> 复习 NumPy 数组、张量和训练/验证/测试分工
>
> 教师在学生配置上实测 CPU 耗时与渲染；提供无窗口运行方案

实验与操作步骤

01 建立副本

保存场景版本、依赖版本和设备信息；运行教师示例，在独立目录保存输出。

检查点 能重新打开场景，原始模板未被覆盖。

---

02 定义接口

列出两关节角/角速度、末端与目标平面坐标共 8 维状态；动作是两个关节目标角增量。

检查点 每个量标出单位、坐标系与取值范围。

---

03 限定控制

按模板把动作限幅后累加到位置执行器目标；登记控制周期、物理子步和关节限制。

检查点 零动作与小幅单关节动作的结果可解释。

---

04 约定结束

先用教师试跑后的到点半径、连续保持步数、回合时限定义成功和超时。

检查点 日志分别记录成功、超时及异常终止。

---

05 复位核对

相同种子、配置、动作运行两次，逐步比较状态；保留偏差并说明浮点与环境影响。

检查点 两次记录可定位到同一回合和时间步。

课堂验收

- 提交接口字典与可执行环境记录
- 能复位并保存一条完整仿真轨迹

课后作业

- 课后 3–5 小时：完成环境复装与零动作检查
- 绘制观测→策略→限幅→仿真→观测的闭环图

本课交付物

环境复现记录、任务接口表和首条仿真轨迹

延伸资料： MuJoCo Python 官方说明 ↗ MuJoCo 模型构建 ↗

02 建立规则控制器与评价基线

电脑仿真

Controllers and Evaluation Baselines

先知道“不学习也能怎样完成任务”，再评价学习算法；规则控制器与学习策略共享动作限制和测试条件。

Program 3 · 第 2 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 说明位置控制与策略决策的分工
- 实现可测量的成功判据
- 建立逐回合指标而非只看演示视频

所需材料

第 1 课场景与记录器

教师预制的逆运动学目标控制器、限幅模块和评价模板

> ### 教师课前准备
>
> 教师验证目标采样均在指定可达区域
>
> 学生阅读控制器输入输出，不要求从零推导完整控制理论

实验与操作步骤

01 检查可达性

用固定初始姿态运行近、中、远三个开发目标，观察关节限制和末端轨迹。

检查点 不可达目标被明确标记，不误算成策略失败。

---

02 建立参照

分别运行零动作与教师规则控制器；两者采用同样复位、时限和限幅。

检查点 每次日志包含控制器名称与场景编号。

---

03 定义指标

记录到点成功、终点误差、步数与动作限幅次数；未成功回合保留超时标志。

检查点 失败完成时间不填为零。

---

04 批量评价

在 20 个开发场景上按配对条件测试，核对日志总数与终止原因。

检查点 每个场景都有两种控制器的记录。

---

05 解释基线

作成功计数与误差图，说明规则控制器使用精确仿真状态这一条件。

检查点 没有把仿真精确状态当作实机免费可得信息。

课堂验收

- 评价器的分母与日志回合数相符
- 能用至少两个指标解释基线表现

课后作业

- 课后 3–5 小时：检查一个边界目标并保存全过程
- 整理规则控制器需要的状态和标定条件

本课交付物

规则基线、指标定义和配对开发集记录

---

03 采集示范并守住数据边界

电脑仿真与数据

Demonstrations and Episode Splits

用规则控制器生成可追溯示范，按场景和完整回合划分数据，避免相邻帧泄漏。

Program 3 · 第 3 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 记录观测到动作的正确时间对应
- 按独立场景划分数据
- 区分示范质量与数据数量

所需材料

- 教师预制的示范采集、回放与校验模板
- 场景种子清单、数据字典与独立存储空间

教师课前准备

教师预先划定互不重叠的训练、验证和最终测试场景编号

确定示范采样预算；建议 80 个训练、20 个验证回合，按预检耗时调整后冻结

实验与操作步骤

01 定义记录

逐步保存回合号、场景号、时间、8 维状态、实际发送的 2 维动作及终止原因。

检查点 动作与执行前观测对应，末步没有跨回合拼接。

---

02 采集示范

规则控制器覆盖约定的初始姿态与目标位置，保存失败与异常记录。

检查点 每个回合有来源、控制器版本及种子。

---

03 回放抽查

抽取五个回合，对齐状态曲线、动作和画面，检查空值、单位与限幅。

检查点 检查意见能定位到具体回合和时间步。

---

04 划分数据

同一场景的重复运行始终留在同一集合；最终测试编号由教师保管。

检查点 训练与验证场景交集为空。

---

05 制作数据卡

说明采样范围、失败示范处理规则、数量及哈希；删改只发生在派生副本。

检查点 原始记录保留，筛选过程可以重做。

课堂验收

- 示范数据能回放且通过时间与范围检查
- 数据卡明确仿真来源和场景级划分

课后作业

- 课后 3–5 小时：补齐覆盖不足的训练场景
- 说明逐帧随机拆分为什么会高估泛化

本课交付物

示范集、划分清单和数据卡

04 在 CPU 上训练小型行为克隆

电脑训练

Small-Scale Behavior Cloning

用小型状态网络学习示范动作，完成一次真正的机器人策略训练；该模型是行为克隆策略，不是 VLA。

Program 3 · 第 4 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 解释行为克隆的监督信号
- 只用训练集拟合预处理参数
- 保存可复现的训练配置和模型

所需材料

- 教师预制并试跑的 PyTorch 小型多层感知机模板
- 第 3 课训练/验证集、CPU 计时与模型保存模板

教师课前准备

- 复习前向计算、损失、反向传播和优化器
- 教师预检小网络训练时间，确定轮次、批量和三个随机种子

实验与操作步骤

01 校验张量

读取状态和动作，检查输入 8 维、输出 2 维；从训练集计算归一化参数。

检查点 验证数据未参与均值或尺度估计。

02 跑通小样本

先用少量训练回合检查损失与梯度，确认输出能还原到动作单位。

检查点 损失和动作都无非有限值。

03 正式训练

按冻结配置运行，记录每轮训练/验证误差、耗时与种子。

检查点 日志完整，不只保留最佳一轮。

04 选择模型

仅按预先约定的验证误差选择检查点，保存网络、归一化与动作限幅配置。

检查点 重新加载的预测与保存前相符。

05 解释结果

比较常量动作预测与网络的验证误差，指出动作误差低不等于闭环成功。

检查点 报告未使用最终测试数据选参数。

课堂验收

- 可从锁定配置重训并加载模型
- 能明确区分训练、验证和闭环评价

课后作业

课后 3–5 小时：完成三个种子的训练记录

分析一个验证动作误差较大的样本；如无异常则如实记录

本课交付物

小型 BC 模型、训练曲线和配置记录

05 让策略闭环运行

电脑仿真

Closed-Loop Policy Evaluation

把预测动作送回环境，观察连续决策误差如何积累；开发集调试与最终测试严格分开。

Program 3 · 第 5 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

区分离线误差与闭环任务成功

实现每回合状态与控制器复位

比较同场景下的规则和学习策略

所需材料

第 2 课评价器与第 4 课模型

教师预制的策略适配器、回放与配对汇总模板

教师课前准备

确认载入训练时的归一化参数和动作单位

教师提供与示范训练场景分开的开发场景，保留最终测试封存

实验与操作步骤

01 接上闭环

每步读状态、归一化、推理、还原动作并限幅，再推进固定物理子步。

检查点 推理使用当前观测，未偷偷调用专家动作。

02 核对复位

在每回合开始重置关节状态、目标、执行器目标和记录缓存。

检查点 相同初始配置不会继承上一回合控制量。

03 配对试验

在同一批开发场景比较规则控制器与三个种子的 BC，记录全部终止结果。

检查点 各策略的时限和成功定义完全相同。

04 追踪偏差

选择真实观察到的偏离回合回放，分析示范覆盖或误差积累；没有失败也如实说明。

检查点 诊断引用具体时间步，未编造失败案例。

05 区分证据

并列展示验证动作误差和闭环成功数，记录后续调试决定。

检查点 所有调试仍限于训练和开发/验证数据。

课堂验收

规则与 BC 的闭环结果可逐场景对照

每个结果可追溯到模型、配置和原始日志

课后作业

课后 3–5 小时：复查一个完整闭环回合

写出离线误差不能替代任务成功率的原因

本课交付物

闭环评价表、回放和误差分析

06 用强化学习理解另一条学习路径

电脑仿真与训练

Reinforcement Learning as a Contrast

在同一小任务上对照“模仿示范”与“按奖励探索”。CPU 训练受预算限制，课堂不以必须学会任务为验收条件。

Program 3 · 第 6 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

区分奖励、终止与成功判据

理解探索数据与示范数据的成本

进行预算明确的算法比较

所需材料

教师预制且预检的 Gymnasium 接口和 Stable Baselines3 PPO 模板

固定奖励定义、CPU 预算表及可核验的教师运行记录

教师课前准备

教师提前试跑短训练并确定可完成的交互步数上限

学生复习回报与折扣，不要求从零实现 PPO

实验与操作步骤

01 定义奖励

阅读到目标距离与动作惩罚项，另列成功判据；检查超时与任务终止标签。

检查点 奖励较高不会自动被统计为成功。

02 验证环境

用固定动作检查接口、复位、动作范围和时间限制，保存一次完整轨迹。

检查点 训练和评价使用同一任务语义。

03 受限训练

用小型状态策略在 CPU 运行约定交互步数，记录真实步数、耗时和种子。

检查点 到预算即停止，不为好成绩无限追加。

04 同条件评价

在同一开发场景评价 PPO、BC 和规则基线；不同 PPO 变体使用相同交互预算。

检查点 BC 的示范生成、梯度更新及耗时另列，未冒称计算量完全等价。

05 解释差异

对照学习曲线与闭环结果；训练不足或未改善也是有效观察。

检查点 教师预存结果与学生本次运行明确区分。

课堂验收

有一份真实运行的短程 RL 日志或明确的环境故障记录

比较表同时报告评价条件和学习资源成本

课后作业

课后 3–5 小时：在既定预算内补齐种子或复核教师轨迹

分析奖励设计可能偏离任务目标的一个情况

本课交付物

RL 与 BC 的方法对照及资源账本

延伸资料： Stable Baselines3 PPO 官方说明 ↗

07 扰动、域随机化与泛化

电脑仿真

Perturbations and Domain Randomization

研究策略能否适应训练条件之外的小变化。状态策略与图像策略受扰动的方式不同，结论须对应实际输入。

Program 3 · 第 7 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

区分训练扰动与留出扰动

控制单一变化并配对评价

解释仿真鲁棒性与实机迁移的距离

所需材料

教师预制的动力学参数配置器与场景校验器

BC 训练模板、开发场景和扰动记录表

教师课前准备

选择一个已验证稳定的因素，如关节阻尼；确定合理范围

教师检查扰动不会改变任务可达性或造成数值不稳定

实验与操作步骤

01 建立对照

保存标称参数配置，再生成一个单因素改变的开发配置。

检查点 差异清单只有所研究因素。

02 测试扰动

让同一冻结策略在配对初始状态下运行两种配置。

检查点 每条记录含实际物理参数和终止原因。

03 增加训练变化

在训练场景内按约定范围采样阻尼，重新采集示范并训练同规模 BC。

检查点 两组使用相同示范回合数、更新次数和种子表。

04 比较效果

在共同开发配置上比较标称训练与随机化训练，呈现每种子的结果。

检查点 未用最终测试范围挑选随机化范围。

05 界定迁移

列出仍缺失的摩擦、延迟和测量噪声；纯状态 BC 不声称获得视觉鲁棒性。

检查点 ELEGOO 测量只能辅助讨论，不能证明机械臂策略已迁移。

课堂验收

- 扰动对照和随机化训练的变量清楚
- 结论限定在已运行的仿真条件内

课后作业

- 课后 3–5 小时：补齐配对运行和成本记录
- 提出一个需要独立实机测量才能回答的问题

本课交付物

域随机化开发实验及迁移边界说明

08 把图像、语言与动作对齐

多模态数据实验

Vision, Language and Action Interfaces

从已有仿真回合构建多模态样本，理解图像、指令与动作如何对齐；数据接口练习不等于训练出 VLA。

Program 3 · 第 8 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 对齐相机帧、指令、状态和动作
- 辨认动作坐标系与归一化规则
- 检查同一回合的时序完整性

所需材料

- 教师预制的固定相机渲染、时间同步和数据检查模板
- 自有仿真轨迹、指令字段表与 LeRobot 数据格式说明

教师课前准备

- 教师先验证相机渲染；无渲染设备使用注明来源的预渲染副本
- 确定目标描述如何对应场景参数，不引入未标注的自然语言歧义

实验与操作步骤

01 增加视角

为已有到点任务保存固定相机图像，标注相机配置和每帧对应的控制步。

检查点 图像能追溯到同一回合的状态。

---

02 填写指令

用明确模板描述目标，核对指令、目标坐标与画面一致。

检查点 无法从画面辨认的描述被标记。

---

03 检查动作

列出关节增量的单位、顺序和限幅，并做编码—解码小练习。

检查点 重构误差已量化，不把离散示例冒称具体 VLA 实现。

---

04 制作样本

抽查十组图像/指令/状态/动作，按回合检查缺帧与时间偏移。

检查点 同回合样本仍只属于一个数据集合。

---

05 比较格式

对照官方 LeRobot 的数据、视频和元信息分工，写课程样本到标准字段的映射。

检查点 未完成格式转换时明确称字段映射草案。

课堂验收

- 多模态样本的时间与任务含义一致
- 动作与数据来源的说明足以供他人解读

课后作业

课后 3–5 小时：完成样本检查和数据卡补充

说明一个帧错位如何影响动作监督

本课交付物

多模态样本卡与字段映射草案

延伸资料： LeRobot 数据格式官方说明 ↗

09

读懂 VLA 的证据与推理轨迹

论文研读与轨迹分析

Reading VLA Evidence and Traces

以 OpenVLA 为案例理解视觉、语言到动作的模型路径；区分论文结果、教师预运行轨迹和学生亲自运行。

Program 3 · 第 9 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

解释 VLA 的输入输出与动作表示

辨别模型能力结论依赖的实验条件

阅读有来源的推理与闭环轨迹

所需材料

OpenVLA 论文、官方代码和模型说明

教师提前取得且标注许可、版本、平台与运行来源的示例轨迹

教师课前准备

教师核对代码、模型、数据各自许可并保存可公开获取的引用副本

学生先读摘要、方法图和一张实验表，标出不懂的术语

实验与操作步骤

01 追踪计算路径

按官方图示标注图像编码、语言输入、动作输出与反归一化环节。

检查点 能够指出输出不是聊天回复。

02 检查动作语义

阅读案例的机器人动作维度、坐标系和控制频率，与课程双关节动作表对照。

检查点 没有把机械臂输出直接解释成小车 PWM。

03 核对证据

从一项论文结果找出任务、平台、评价指标和比较基线。

检查点 每个转述结论有对应出处及适用条件。

04 分析轨迹

对教师提供的真实来源轨迹逐步核对图像、指令、动作和执行反馈；缺字段如实记录。

检查点 仅看演示视频时不声称获取了未公开内部输出。

05 记录边界

分别列出论文报告、轨迹可观察事实和待验证猜想；无失败样本时不虚构。

检查点 轨迹阅读未被登记为学生运行或训练 VLA。

课堂验收

- 完成一张含出处和边界的论文证据卡
- 能解释 VLA 与本课程状态 BC 的差异

课后作业

课后 3–5 小时：完成第二项结果的证据追踪

为一个未经证实的能力主张设计可检验问题

本课交付物

VLA 方法图、证据卡和轨迹分析

延伸资料： OpenVLA 研究项目与论文 ↗ OpenVLA 官方代码与运行说明 ↗

10 模型适配与可选 VLA 实验

必修分析／可选 GPU

Adaptation and an Optional VLA Lab

必修完成适配方案与已有轨迹审查；具备预先核验的算力、模型许可和兼容环境的小组，可另做预训练模型推理。

Program 3 · 第 10 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

识别模型、数据与机器人接口的适配条件

区分推理、微调和从零训练

提出可执行的资源与评价计划

所需材料

教师备好的模型卡、兼容环境说明和可核验轨迹

必修电脑；可选教师管理的 GPU、模型副本及匹配仿真任务

教师课前准备

教师逐项核对权重/数据许可、访问条件、显存、下载量、时间和费用上限

可选支线先小样本试跑；不满足条件按必修轨迹分析完成同等考核

实验与操作步骤

01 比较适配

对照 OpenVLA 或 SmolVLA 官方说明，填写观测键、相机、状态和动作接口。

检查点 所选模型与环境匹配依据可查。

02 检查归一化

核验预处理及动作还原统计的来源，指出更换机器人后不能直接沿用的部分。

检查点 没有把 UNO 或双关节场景宣称为已支持平台。

03 完成必修审查

检查教师轨迹的模型版本、输入、输出、限制和执行记录，列出待补证据。

检查点 能分别注明实跑、预存和推测。

04 执行可选推理

已满足准备条件的小组在兼容仿真环境运行少量固定案例，记录资源和实际结果。

检查点 未运行者不填成功率；所有输出先经仿真接口检查。

05 提出微调方案

说明示范范围、训练/验证/测试、预算和停止条件；微调需另排课外资源与教师审核。

检查点 方案未冒称已完成训练或实机迁移。

课堂验收

必修适配清单与证据审查完整

可选结果标明实际执行范围和资源使用

课后作业

课后 3–5 小时：完成适配或微调研究方案

写明现有 ELEGOO 套件与新机械臂/GPU 支线各自用途和额外条件

本课交付物

模型适配方案及可选推理记录

延伸资料： SmolVLA 官方说明 ↗ OpenVLA 安装与适配说明 ↗

11 把兴趣变成预注册研究问题

研究设计

Preregistering a Research Question

回到可在普通电脑完成的核心项目：针对小型 BC 提出一个可检验的问题，在最终测试前冻结比较方法。

Program 3 · 第 11 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

将宽泛兴趣变成单一可检验问题

确定基线、处理变量和主要指标

写出数据与资源预算和停止规则

所需材料

前十课开发记录、研究计划模板

教师封存的最终场景清单及哈希、预算工作表

教师课前准备

教师确认最终场景未用于训练、调参或挑选研究问题

每组提出两个候选问题，优先选示范覆盖或训练随机化的单因素研究

实验与操作步骤

01 收窄问题

例如比较同样 80 个示范回合下集中目标与分散目标覆盖的 BC 泛化。

检查点 问题明确处理变量、对象和范围。

02 设置对照

固定网络、优化器、更新步数、种子与评价器；将规则控制器作为参考。

检查点 改变项与固定项逐项列出。

03 冻结指标

选闭环成功数为主要指标，并登记终点误差、限幅次数与运行成本。

检查点 成功、失败、异常和排除规则均提前说明。

04 预算设计

建议每组三个训练种子、每种子同样 30 个配对测试场景；按预检资源调整后冻结。

检查点 计划明确重复单位，帧数不当作独立样本数。

05 同行审查

交换方案，记录漏洞与修订；给最终方案留时间戳和版本，之后改动另记。

检查点 研究计划早于最终测试解封。

课堂验收

- 预注册方案可以直接生成运行清单
- 教师确认预算内可完成且最终集未泄漏

课后作业

课后 3–5 小时：完成训练准备和版本封存

逐项回答同学对公平比较的质疑

本课交付物

预注册方案、预算与冻结运行清单

12 执行主实验与消融

电脑训练与研究

Controlled Experiments and Ablations

依照预注册执行训练和开发检查，完整保存各组结果。一次消融只去掉或改变一个已声明因素。

Program 3 · 第 12 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

按冻结方案执行多种子训练

区分主比较与探索性补充

保存足以复查的实验来源链

所需材料

冻结的训练数据、配置和运行清单

教师预制的批量运行器、日志汇总和哈希工具

教师课前准备

确认训练与验证场景清单相互独立

教师检查磁盘与耗时预算，避免并发过多造成资源比较失真

实验与操作步骤

01 核对输入

对照数据与配置哈希，逐项检查两组唯一差异和共同预算。

检查点 代码版本、数据版本、种子均有记录。

02 按表训练

交替执行两组各随机种子，保存所有日志、检查点和实际训练耗时。

检查点 失败运行保留原因，重跑不覆盖原记录。

03 执行消融

按预注册移除一种训练因素，保持网络和更新预算一致；不临时挑最有利条件。

检查点 消融因素与主假设有明确关系。

04 开发验收

仅用开发/验证场景检查接口与选择规则，冻结用于最终测试的模型。

检查点 最终测试仍未打开。

05 整理台账

汇总已完成、异常和缺失运行；若时间不足，按预定停止规则如实缩小结论。

检查点 研究日志能解释每个预定运行的去向。

课堂验收

- 所有计划运行有模型或明确状态记录
- 进入最终评价的模型与选择规则已冻结

课后作业

课后 3–5 小时：完成剩余预算内训练和归档

将探索性发现另列为下一轮研究假设

本课交付物

主实验与消融日志、冻结模型和运行台账

13 一次性留出评价与不确定性

电脑仿真与统计

Held-Out Evaluation and Uncertainty

模型冻结后才解封最终场景。比较配对结果和种子差异，避免只报一个漂亮平均数。

Program 3 · 第 13 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

执行不再调参的最终留出评价

以回合和训练种子为单位总结差异

区分观察结果与泛化范围

所需材料

冻结模型、评价器和预注册方案

教师解封的独立场景清单、配对统计模板

教师课前准备

教师核对代码、模型和评价规则的冻结记录

预先定义硬件故障等无效运行的重试规则，不能以表现差作为排除原因

实验与操作步骤

01 解封检查

核对场景清单哈希和与训练/开发集的交集，再开始评价。

检查点 测试场景无重复泄漏。

02 配对运行

每种子两组模型在相同初始状态、目标与扰动下运行，记录真实次数与终止。

检查点 配对缺失被列明，未偷偷补挑容易场景。

03 计算结果

列每个种子的成功数/总数、配对差值、误差分布和成本；区分回合变化与种子变化。

检查点 不把逐帧记录当独立重复扩大样本量。

04 核查不确定性

按教师模板讨论小样本限制；若做区间估计，注明配对/分组抽样单位与方法。

检查点 三个种子不被夸大成稳定总体结论。

05 解释证据

只分析观察到的失败或边界案例；如未见失败，记录样本规模和未覆盖条件。

检查点 结果未用于回头改参数后仍声称首次测试。

课堂验收

- 完整留出结果与原始回合一一对应
- 结论同时报告样本规模、差异和限制

课后作业

- 课后 3–5 小时：完成图表与结果段落
- 提出未来确认性实验，明确需要新的留出集

本课交付物

最终评价表、结果图和限制说明

14 让另一个小组复现

复现与研究写作

Independent Reproduction

通过他人独立运行检验材料是否完整，把方法、结果和局限写成可审核的研究报告。

Program 3 · 第 14 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

- 交付可独立运行的研究包
- 区分复现分析、重做评价与重新训练
- 根据复核结果修订报告

所需材料

- 本组代码、配置、数据清单、模型和环境锁文件
- 教师提供的报告骨架、复现记录表和独立运行目录

教师课前准备

- 教师确认共享内容不含个人资料，第三方材料遵循各自许可
- 两组提前约定复现范围、设备和时间预算

实验与操作步骤

01 打包材料

说明环境、数据来源、命令、随机种子和输出位置；对所需文件生成哈希。

检查点 同学无需依赖原作者电脑的隐藏路径。

02 独立执行

交换材料，在新目录复算主要图表并重跑约定的评价子集；记录实际覆盖范围。

检查点 复现者保存自己运行的命令和日志。

03 比较偏差

逐项比较回合结果与汇总数字，区分版本、数值差异和流程错误。

检查点 没有只凭截图判定复现成功。

04 修订报告

按问题、方法、结果、讨论写作，引用原始来源并注明 AI 辅助内容经人工核对。

检查点 每个主要数字可追溯到结果文件。

05 保留审计

记录发现、修复和复跑证据；仅修复流程错误，不借机为测试结果重新调参。

检查点 报告明确本次复现未覆盖的训练或平台。

课堂验收

另一组完成约定范围的独立复核

报告如实包含偏差、失败或未完成项

课后作业

课后 3–5 小时：完成修订报告和展示海报

准备五分钟研究汇报与证据索引

本课交付物

研究报告、复现包和同伴复核记录

15

研究答辩与下一步路线

成果展示与评审

Research Defense and Next Steps

完成一项有基线、对照、留出评价和独立复核的小型研究。研究报告和海报是课程成果，论文投稿可另行评估，不承诺发表。

Program 3 · 第 15 次课 · 建议 120 分钟 ·

教学目标

用证据回答研究问题

解释研究价值与结论边界

制定资源明确的后续研究路线

所需材料

报告、海报、复现包和来源清单

教师评价量表、现场演示配置与已标注的备用录像

教师课前准备

教师确认演示只运行冻结模型，现场与预录结果清楚标记

学生检查链接、文件校验和、贡献说明与引用

实验与操作步骤

01 陈述问题

五分钟说明研究问题、基线、唯一主要变化和为何采用这些指标。

检查点 听众能复述比较的具体对象。

02 展示证据

展示同条件运行、原始回合和主要图表；现场演示与统计样本分开介绍。

检查点 单次成功演示未被当作总体成功率。

03 回答质疑

解释场景划分、种子、资源公平性、异常处理及独立复现范围。

检查点 每个主要回答能指向具体记录。

04 说明边界

区分状态 BC、VLA 轨迹阅读和真正执行的可选推理；说明仿真到实机的额外工作。

检查点 没有声称在 ELEGOO 上运行机械臂 VLA 或完成未经执行的微调。

05 形成路线

依据反馈选择补实验、深化视觉策略或另备机械臂/GPU；列条件、预算和新留出评价计划。

检查点 课程最终材料保存并能被下届复查。

课堂验收

- 完成可追溯研究答辩和最终材料归档
- 能说明结论支持什么、尚未验证什么

课后作业

完成同伴反馈回应及个人贡献反思

写一页下一阶段研究计划；投稿须先评估贡献、证据和相应要求

本课交付物

最终研究报告、海报、复现包和后续研究计划

结业验收

能区分离线误差和闭环成功率，控制预算与随机种子，使用未参与调参的场景；能解释 VLA 的图像 / 语言 / 动作接口及与小型状态策略的区别，完成同伴复现与局限分析。

建议评价方式

问题与实验设计 25% · 实现与证据 35% · 可复现性 20% · 报告与答辩 20%

HARDWARE + SOFTWARE · 平台分工

一套小车起步，按研究任务扩展平台。

01 · 实物机器人

ELEGOO V4 with Camera

沿用已选的 UNO R3 Smart Robot Car V4.0 带摄像头版（ASIN B07KPZ8RSZ），由学生自行组装。小车运行 Arduino C/C++；接线、供电、驱动与 IMU 型号均按实收版本核对。

查看对应套件 ↗ · 官方教程 ↗

02 · 电脑上的智能

Python · Vision · Agent

电脑负责图像、模型、规划和 Agent；UNO 负责有限的底层动作。摄像头采集和无线控制桥接须先验证，没有桥接时用仿真完成闭环。固定机位、架空测试可用 USB；自由行驶先移除有线牵连。

03 · 学习与研究

MuJoCo · Robot Learning · VLA

以 CPU 小型仿真任务完成必修研究。VLA 的输入和动作空间须匹配具体机器人；机械臂策略不能直接烧录到小车。GPU 实际推理、微调或实物机械臂另设选修条件与预算。

> 原套件没有已确认的标配车轮编码器；PWM 是控制指令，不是速度测量。实机距离与轨迹使用尺子或独立视频测量，地图中的精确定位先在仿真内学习。增加传感器或更换机器人后，应重新验证接口与性能。

TEACHING LIBRARY · 教案与资料

保留已有实验，补齐新的学习路径。

原实验库（2026 年 10 月版）继续保存组装、标定、日志、视觉与研究实验的详细步骤；它与新版三个阶段分别编排，不按课次一一对应。下载 ZIP 含原来的 Python 工具、样例数据和记录模板，可在新课中选用；新增的 Agent、MuJoCo 和学习算法课程仍需按开课准备配置教学模板。

官方文档与研究来源

- ELEGOO V4 · 官方组装、版本与固件资料 ↗
- Mayflower ASTEM 2025 · 原始机器人参考课件 ↗
- NumPy · 数组与数据计算 ↗
- OpenCV · Python 视觉教程 ↗
- PyTorch · 完整机器学习入门流程 ↗
- MuJoCo · 物理仿真官方说明 ↗
- OpenVLA · 视觉—语言—动作模型研究 ↗
- LeRobot · SmolVLA 模型与实践说明 ↗

> 三阶段课程及作业为恒点学术的原创教学设计，参考 Mayflower 资料与各项目官方文档，并非这些项目作者的官方课程或认证。引用材料保留来源；已有资料备份继续保存，新引用的公开页面另存日期快照。页面快照不等于完整离线软件、模型权重或数据集。

← 返回全部课程