

项目申请书

项目名称: EmbodiedAI-Ops

项目主导师: Neil Liu

申请人: 曹文韬

日期: 2025 年 6 月 14 日

邮箱: wentaoc@andrew.cmu.edu

1. 项目背景

本项目旨在开发一个名为 **EmbodiedAI-Ops** 的效率优化框架，专注于解决端到端的具身机器人操作任务。当前，尽管模仿学习在机器人领域取得了显著进展，但在数据效率（需要大量高质量演示）、响应延迟（模型推理与物理执行之间的时间差）和跨场景适应性（模型在新环境下的泛化能力）方面仍面临核心瓶颈。

本项目依托 **x-humanoid-training-toolchain** 这一强大的开源工具链，其目标是建立一个从数据处理、仿真验证、真实世界数据采集到模型部署的完整工作流。通过利用并扩展该框架，我们将探索并融合多模态感知、动态技能组合以及实时决策加速等前沿技术，旨在系统性地提升机器人操作策略的性能与效率。项目的最终产出将直接服务于工业装配、物流分拣等复杂场景，推动具身智能技术的产业化落地。

2. 技术方法及可行性

本项目的技术路线是建立在现有 **x-humanoid-training-toolchain** 仓库的坚实基础之上的，其可行性由以下几个方面保证：

- 标准化的数据处理流程**: 仓库提供了从原始 HDF5 数据到标准化 LeRobotDataset 格式的完整转换工具 (`scripts/convert_to_lerobot.py`)。这使得我们可以高效地处理和整合来自不同来源的数据（如 RoboMIND 和自行采集的仿真/真实数据），为混合数据训练等高级技术提供了数据层面的可行性。
- 成熟的算法库与训练框架**: 仓库集成了多种主流的模仿学习算法，如 ACT, Diffusion Policy, π_0 等，并提供了统一的训练入口 `lerobot/scripts/train.py`。这使得我们可以快速地在不同算法之间进行切换和比较，验证哪种技术路线最适合特定任务，而无需从零开始实现。
- 端到端的仿真与真实部署能力**: 框架同时支持在标准化仿真环境（如 PushT）中进行快速迭代 (`lerobot/scripts/eval.py`) 和在真实机器人（如天工机器人）上进行数据采集与部署 (`lerobot/scripts/control_robot.py`)。这种 Sim-to-Real 的闭环能力是项目成功的关键保障。

3. 项目实现细节梳理

为达成项目产出要求，我计划将项目分为三个循序渐进的阶段：

- **第一阶段：仿真环境基准验证**

1. **环境与数据准备**: 利用 LeRobot 框架内置的 PushT-v0 环境支持，加载 lerobot/pusht 数据集。
2. **模型训练**: 参考 examples/3_train_policy.py，使用 lerobot/scripts/train.py 脚本，配置并训练一个 Diffusion Policy 基线模型。
3. **评估与迭代**: 使用 lerobot/scripts/eval.py 脚本进行自动化评估，通过调参或更换模型，确保成功率达到 90% 以上。

- **第二阶段：真实机器人数据采集与部署**

1. **数据采集**: 使用 lerobot/scripts/control_robot.py 的遥操作功能，在真实机械臂上采集至少 50 条高质量的“抓取-放置”演示数据，并构建 LeRobotDataset。
2. **模型训练**: 使用采集到的真实数据，训练一个适合精细操作的 ACT 模型。
3. **真机部署与评估**: 将训练好的模型部署到真实机器人上，在不同初始条件下进行多次测试，统计成功率，目标是达到 80% 以上。

- **第三阶段：前沿技术融合与长程任务挑战**

1. **混合数据训练**: 探索 MultiLeRobotDataset 的使用，将仿真数据与小规模真实数据混合训练，验证其在提升数据效率方面的作用。我将重点研究 **动态采样策略**，以优化 Sim-to-Real 的迁移效果。
2. **利用预训练模型**: 在大规模数据集（如 RoboMIND）上训练一个通用模型，然后在我自己采集的任务数据上进行微调。量化对比从零训练和微调的性能差异。
3. **长程任务分解 (CoT 思想借鉴)**: 针对工业装配这类长程任务，我计划对现有策略（如 ACT）进行扩展，通过在数据中标注子任务文本并修改模型输入，使其能够理解和执行多步骤指令。

4. 规划

- **项目研发第一阶段:**

- 完成对 `x-humanoid-training-toolchain` 代码库的深入学习，并成功在 PushT 仿真环境中复现并优化基线模型，达成项目要求 1。
- 开始进行真实机器人（如天工）的数据采集流程设计与初步实验。

- **项目研发第二阶段:**

- 完成真实场景数据集的采集与处理。
- 基于真实数据和混合数据训练策略模型，完成在真实机械臂上的部署与测试，达成项目要求 2。
- 探索预训练、长程任务分解等前沿技术，完成项目要求 3，并撰写最终的项目报告和技术文档。

5. 期望

我期望通过本项目，不仅能系统性地完成所有产出要求，还能将在具身机器人领域的经验学以致用。我在人形机器人运动-操作协同控制（Humanoid Loco-Manipulation）方面的项目经验，特别是在 IsaacGym 仿真环境中对 PPO 算法的改进和对 Unitree G1 双足机器人的控制，为本项目提供了坚实的技术基础和深刻的理解。同时，我在底层系统软件（C++, ROS2）和多模态感知方面的积累，也将助力于解决项目在响应延迟和多模态感知融合方面的挑战。

我希望能将这些经验应用到 EmbodiedAI-Ops 框架中，为 `x-humanoid-training-toolchain` 贡献高效的混合训练策略和长程任务解决方案，并沉淀一套从仿真到真实部署的最佳实践，最终积极参与并回馈具身智能开源社区。