

HiCOOL × 摩尔线程 | Track B 产业应用 | MTZ260054

基于 MT Lambda 的 画廊布展机器人具身行业任务与数据构建方案

申报方向：Track B · 产业应用

成果路径：行业任务／场景与数据构建

申报要素	项目口径
项目编号	MTZ260054
项目名称	ArtHandler：高价值艺术品安全操作任务集
核心任务	标准画框托举、中心对位、水平校正与稳态保持
主要底座	MT Lambda、USD 场景、S5000/MUSA 适配环境
第一阶段	任务定义、技术方案、数据方案、评测协议与资源预算
第二阶段	可运行场景、数据生成脚本、评测脚本、示例数据与复现文档

申报主体：项目团队 | 版本：2026 年 8 月申报稿 | 产品数字样机核心闭环已完成

项目编号 / Project ID：MTZ260054 | 参与者 / Team：[张海燕（Hedy）](#) · [尤佳欣（Brian）](#) · [刘华林（Harry）](#)

目录与阅读导航

- 01 项目摘要与赛题选择
- 02 行业问题与任务价值
- 03 任务定义与边界
- 04 场景／本体／对象资产
- 05 技术架构与 MT Lambda 组件
- 06 专家轨迹与合成数据方案
- 07 模型与完整闭环扩展
- 08 评测协议
- 09 MuJoCo 产品数字样机与核心闭环
- 10 资源预估
- 11 IP 与数据合规
- 12 商业化路径
- 13 两阶段提交物
- 14 风险与备选方案
- 15 复现与验收清单

1. 项目摘要与赛题选择

申报结论 选择 Track B “产业应用”，采用“行业任务／场景与数据构建”成果路径；主任务为标准画框托举、中心对位、水平校正与稳态保持。

赛题要求	本项目响应	状态
行业问题与任务价值	高价值艺术品安全操作和可审计布展	已定义
场景／本体／资产范围	画廊、展墙、画框、包装与轮式操作本体	已定义
成功／失败条件	位置、角度、稳定、安全和授权约束	已定义
数据生成方案	脚本专家、遥操作、域随机化和失败样本	已设计
评测协议	成功率、有效数据率、误差、安全和复现	已设计
产品数字样机	MuJoCo 3.3.6 画廊场景与对位闭环	已完成
MT Lambda 适配	按赛方镜像完成组件映射与封装	实施就绪

2. 行业问题与任务价值

画廊布展需要在短时间内对高价值、易损且尺寸不一的艺术品完成开箱、搬运、托举、对位、安装和巡检。现有流程高度依赖熟练技师，经验难标准化，且同时面临作品损坏、人员工伤、延期和责任追溯风险。

参与方	当前损失	项目价值
画廊/博物馆	布展延误、作品风险、人员协调	标准任务、稳定托举、审计日志
艺术物流商	熟练工稀缺、任务集中、设备闲置	共享机器人和跨客户调度
艺博会运营方	布撤展窗口短、场地拥挤	统一场景和安全协议

参与方	当前损失	项目价值
保险机构	事故过程证据不足	动作、力矩、影像和授权留痕

2025 年艺博会销售占经销商营业额 35%，线下布展仍承载重要交易活动。[1] 本项目的行业代表性来自“高价值、低容错、非标准物体、人机协作、强审计”五个约束的同时存在。

3. 任务定义与边界

主任务 T3-ArtAlign：机器人托举一幅标准有框作品，从随机初始偏移位姿移动到墙面目标位姿，完成中心对位、水平校正，并在低速和安全约束下保持稳定 1 秒。

字段	定义
初始状态	画框中心相对目标 x/z 偏移 $\leq 0.35\text{m}$ ，倾角 $\leq 8^\circ$ ；机器人位于可达区域
目标状态	中心误差 $\leq 20\text{mm}$ ；倾斜 $\leq 1^\circ$ ；连续保持 ≥ 1 秒
状态空间	机器人/画框/目标位姿、关节、速度、力矩、净空、授权状态
动作空间	底盘速度、举升高度、关节目标、夹具、暂停、请求确认
安全约束	无非预期碰撞、无人员区域侵入、无力控超限、无越权动作
成功	目标状态和全部安全约束同时满足
失败	超时、碰撞、掉落/失稳、误差超限、日志缺失或越权

任务族扩展

- T1-GalleryScan：展厅扫描与可通行区域生成。
- T2-CrateMove：标准包装箱低冲击搬运。
- T4-HangAssist：人工确认下的挂装辅助。

- T5-ExhibitionInspect：展前位移、倾斜与遮挡巡检。

4. 场景／本体／对象资产

资产类	首期数量/范围	主要属性
画廊场景	3 种布局	直墙、转角、窄通道；灯光和地面材质可变
展墙	3 种	尺寸、厚度、摩擦、挂轨和目标位姿
画框	小/中/大各 3 种	宽高、质量、重心、框材和抓取禁区
包装箱	2 种	尺寸、把手、摩擦和标签位置
本体	1 个轮式托举基线	底盘、举升、水平关节和独立安全限位
人员代理	2 类	技师站位与非专业人员侵入
专业 3D 资产	3 组 CC0 模型	精细画框、挂画和画廊家具；来源与哈希可追溯

USD 资产按 Scene、Robot、Object、Material、Task 和 Annotation 分层，真实作品身份信息与仿真纹理分离。公共提交只使用公共领域、自有或合成纹理。

5. 技术架构与 MT Lambda 组件

流程	MT Lambda/相关组件	交付
场景组装	USD、Lambda Render	版本化画廊与对象资产
物理仿真	Lambda Sim 刚体/多物理场参考	关节、接触、力控和碰撞
随机化	USD workflow、材质/灯光调整	视觉与动力学域随机化
路径规划	cuRobo MUSA、PathFlow 参考	约束轨迹和专家动作
数据生成	合成数据 pipeline	轨迹、状态、动作和失败标签
训练评测	S5000/MUSA、RoboTwin 式协议	基线策略和客观指标

流程	MT Lambda/相关组件	交付
回放	赛方可视化工具	轨迹复盘与问题定位

工程基线：产品数字样机（Product Digital Twin Prototype）已在 MuJoCo 3.3.6 稳定运行；任务、资产、控制、日志与评测采用模块化接口，可按赛方 MT Lambda 镜像、S5000 和 MUSA 版本快速封装迁移。

6. 专家轨迹与合成数据方案

轨迹类型	生成方法	目标占比	检查
成功专家	约束规划/脚本控制	45%	终态、安全、时间和完整性
随机扰动成功	质量/摩擦/延迟/视觉随机化	25%	随机种子和参数完整
可恢复失败	偏位、轻微滑移、遮挡	20%	恢复动作和失败原因
安全停止	人员侵入、越界、力超限	10%	安全层先于策略停止

首期示例集目标 2 万条轨迹，有效数据率目标≥70%。数据字段至少包括 episode_id、seed、asset_version、状态、动作、力/力矩、安全事件、成功标志、失败码和资源消耗。

评测时分别报告有效数据率和模型任务成功率，避免以大量无效轨迹夸大数据规模。

7. 模型与完整闭环扩展

ArtHandler 采用完整产品演进链路：专家轨迹→行为克隆基线→安全约束 RL／离线 RL→VLA 指令理解→仿真评测→硬件在环（Hardware-in-the-loop / HIL）→复制品真机演示。当前数字样机和评测底座已为各阶段提供统一任务接口。

模块	首期	扩展期
感知	仿真真值/标记位姿	RGB-D 目标位姿与遮挡估计
策略	脚本与轨迹优化基线	模仿学习、RL 或 VLA
安全	硬约束、限位和急停	风险预测与动态速度限制
人机协作	人工确认关键动作	一人远程监督多机
真机	接口、载荷与安全协议同步设计	复制品和低风险作品分级验证

8. 评测协议

指标	计算	门槛/目标
任务成功率	成功回合/总回合	仿真 $\geq 90\%$
有效数据率	有效轨迹/总生成轨迹	$\geq 70\%$
中心误差	终态中心欧氏距离	$\leq 20\text{mm}$
水平误差	终态相对倾角	$\leq 1^\circ$
稳态误差	最后 1 秒误差 P95	位置 $\leq 20\text{mm}$ 、角度 $\leq 1^\circ$
安全事件	严重碰撞/掉落/越权	0
资源效率	有效轨迹数/S5000 卡时	逐版本提高
复现率	独立镜像成功运行次数/总次数	$\geq 95\%$

测试集按画框尺寸、重量、材质、遮挡和初始偏移分层；开发集、验证集和隐藏测试集的场景种子隔离。所有失败均输出唯一失败码并保存回放。

9. MuJoCo 产品数字样机与核心闭环

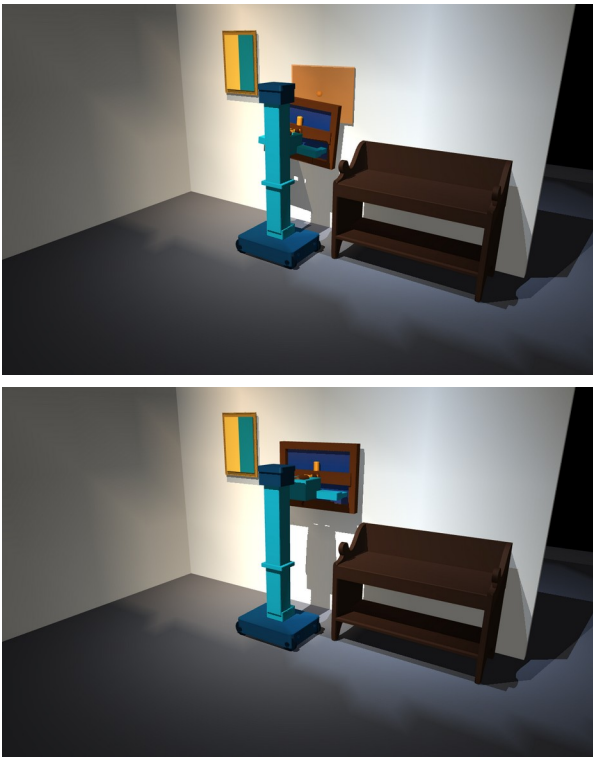


图 1 ArtHandler 画廊产品数字样机：初始偏移（左）与自主对位完成（右）。场景采用 CC0 高质量 3D 资产。

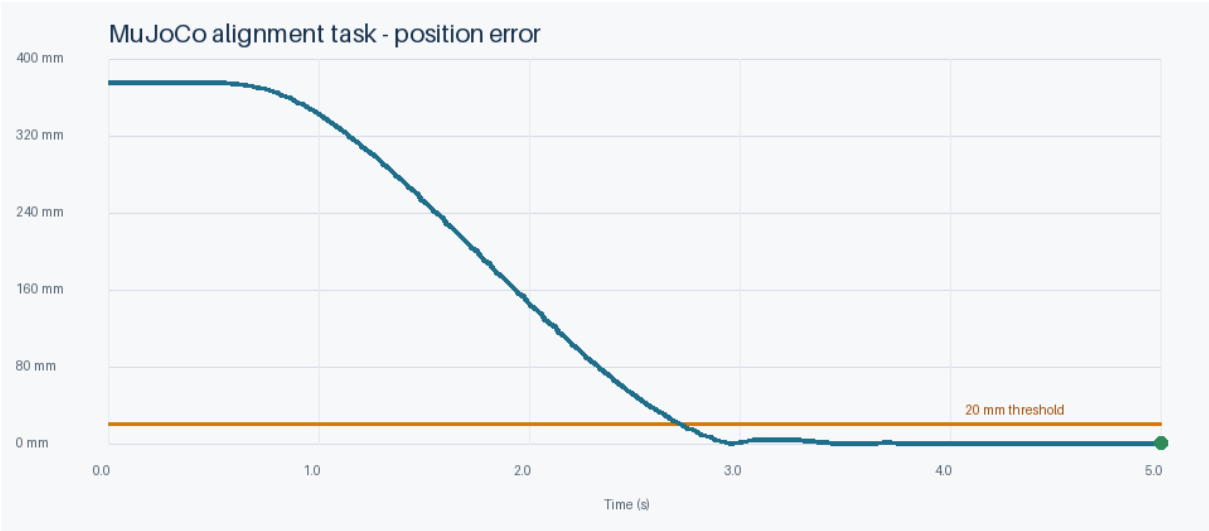


图 2 对位中心误差；20 毫米为任务成功阈值。

指标	实测	门槛	判定
最终中心误差	0.058mm	≤20mm	通过

指标	实测	门槛	判定
稳态位置 P95	0.340mm	≤20mm	通过
最终倾斜	0.00002°	≤1°	通过
稳态倾斜 P95	0.00155°	≤1°	通过
最大滑台驱动力	4.086N	≤220N	通过
运行结果	SUCCESS	全部约束同时满足	通过

工程迭代记录：团队已完成重力补偿、基座—世界坐标转换和稳态控制标定，并保留全过程日志形成可复现的工程知识库。

已形成的产品能力 画廊数字场景、专业 3D 资产、对位控制、稳态保持、力矩监控、运行日志、自动评测与回放已经形成完整闭环；MT Lambda 封装、RGB-D 感知和复制品真机验收作为下一阶段并行交付。

10. 资源预估

工作包	资源	输出
基础镜像/场景验证	S5000 1 卡×7 天=168 卡时	环境、资产和任务跑通
数据生成	2 卡×14 天=672 卡时	2 万条候选轨迹
基线与评测	1 卡×7 天=168 卡时	指标、失败集与报告
机动	约 252 卡时	重跑、算子和故障缓冲
合计	约 1,260 卡时；3-6TB	以赛方实际资源为准

人员建议：任务/仿真 1 人、机器人控制 1 人、数据/模型 1 人、行业与产品 1 人；安全和艺术品操作由外部专家评审。第一阶段主要消耗场景和任务设计工时，第二阶段才集中使用 S5000。

11. IP 与数据合规

检查项	措施
代码 IP	依赖许可证清单、版本锁定、第三方代码归属审查
场景资产	自建、公共领域或书面授权；禁止来源不明资产
作品图像	默认合成/公共领域纹理；真实作品按客户授权使用
客户数据	资产 ID 脱敏，不收集不必要的估值和藏家信息
运行日志	分级权限、不可抵赖时间戳、事故日志保留
公开数据	删除品牌、地点和个人信息，进行许可复核
安全责任	人机权限矩阵、保险、急停和事件响应流程

12. 商业化路径

首批客户不以单体小画廊为主，而以艺术物流商、展陈服务商、艺博会运营方和博物馆技术部门为主。商业模式采用机器人租赁、项目服务、软件订阅和专用工具。

阶段	客户	产品	验证指标
0-12 个月	物流/展陈合作方	托举、对位、扫描和日志	付费试点、任务密度
12-24 个月	艺博会/机构场馆	多任务、共享设备池	利用率、续约、接管率
24-36 个月	博物馆/奢侈品/精密搬运	高价值物品操作平台	非画廊收入 ≥ 30%

13. 两阶段提交物

阶段	必交付	本项目文件
第一阶段（线上）	产业应用方案设计书	本方案书
	行业问题、任务价值、资产范围、成功/失败条件	第 2-4 章
	数据方案、评测、资源和 IP 合规	第 6、8、10、11 章
第二阶段（线下）	可运行任务/场景与资产清单	MT Lambda 工程+资产 manifest
	数据生成脚本、评测脚本、示例数据/日志	pipeline 与 evaluator
	复现文档	镜像、命令、种子和验收结果

项目已预留“完整行业解决方案”交付路径，可在现有数字样机上继续贯通数据合成→训练→推理→演示 demo，并形成行业价值报告和现场演示。

14. 风险与备选方案

风险	触发条件	备选方案
MT Lambda 适配延迟	算子或资产不兼容	保持 MuJoCo 基线，缩小任务后逐层移植
数据有效率低	有效率<70%	简化场景、分层随机化、增加失败码
任务过易	不同策略均接近满分	扩大材质、遮挡、重量和初始偏移
任务过难	基础专家也难成功	拆分托举、对位、保持三个子任务
安全不可接受	冲击或越权事件	降低速度/载荷，强制人工确认
IP 不清	资产无许可链	移除并替换为程序化/公共领域资产
真机资源排期	排期或本体暂不可用	先完成硬件在环与复制品分级验收，保持交付节奏

15. 复现与验收清单

- 在赛方统一镜像中按 README 一次安装成功。
- 使用固定随机种子运行 10 回合并生成完整日志。
- 场景、对象、本体和依赖资产均可通过 manifest 定位。
- 评测脚本独立于策略运行，输出成功率和失败码。
- 有效数据率与模型成功率分别计算。
- 随机化参数、S5000 卡时和存储消耗可追踪。
- 公开数据不包含未经授权的作品纹理、品牌或个人信息。
- 安全停止优先于策略动作，人工可随时接管。
- 所有图表和指标可回溯到 CSV/JSON 或运行日志。

参考资料

[1] Art Basel & UBS, The Art Market Report 2026: 2025 年全球艺术市场销售额 596 亿美元；经销商销售额 348 亿美元；艺博会销售占经销商营业额 35%。 [查看原文](#)

[2] International Federation of Robotics, World Robotics 2024: 样本统计显示 2023 年专业服务机器人销量超过 20.5 万台，同比增长 30%。 [查看原文](#)

[3] 2025 年政府工作报告: 提出建立未来产业投入增长机制，培育具身智能等未来产业。 [查看原文](#)

[4] RoboTwin 2.0 Official Documentation: 公开 50 个双臂操作任务，并支持多本体数据采集与评测。 [查看原文](#)

[5] MuJoCo Documentation: 通用多体动力学与接触仿真引擎，使用 MJCF 描述模型。 [查看原文](#)

[6] OpenUSD Documentation: 支持层次化场景、资产组合、几何、材质、灯光和物理等数据表达。 [查看原文](#)

[7] ISO 31101:2023: 非结构化人类空间中服务机器人应用服务的安全管理体系要求。 [查看原文](#)

[8] ISO/FDIS 13482：面向个人及专业/商业用途服务机器人的安全要求，当前为最终国际标准草案。 [查看原文](#)

[9] ISO 12100:2010：机械安全风险评估与风险降低通用原则。 [查看原文](#)

[10] OpenVLA Project：基于 Open X-Embodiment 轨迹训练的开源视觉-语言-动作模型。 [查看原文](#)

[11] 《HiCOOL 大赛-具身赛道赛题说明 0710》；[12] 《具身赛道-培训内容-技术说明文档 0710》；[13] 《具身赛道-培训内容-运控训练文档 0710》。

核心术语中英对照 / Bilingual Terminology

中文术语	English Term	中文术语	English Term
具身智能	Embodied Intelligence	产品数字样机	Product Digital Twin Prototype
核心闭环	Core Closed Loop	自主对位	Autonomous Alignment
稳态保持	Steady-state Hold	力／力矩监控	Force/Torque Monitoring
合成数据	Synthetic Data	域随机化	Domain Randomization
仿真到现实	Simulation-to-Reality / Sim-to-Real	人类接管	Human-in-the-loop Takeover
硬件在环	Hardware-in-the-loop / HIL	网页物理引擎	WebAssembly Physics Runtime

3D 资产：Poly Haven 画框、挂画与画廊家具采用 CC0 许可；设计团队 ArtHandler 可打印 STL 样机已进入 MuJoCo 场景与网页 GLB，来源与哈希均纳入工程 manifest。 [CC0](#)