# 采购需求

## 一、需求一览表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **采购产品名称** | **产品数量(台/套)** | **具体标的物名称** | **数量**  **(台/套)** |
| 1 | 工业互联网资源协同试验系统-智能机器人模仿学习系统 | 1 | 双臂模仿学习与遥操作套件（含1套双臂遥操作控制器，1套双臂遥操作执行器，1套末端扩展配件套装） | 1 |
| 2 | 视觉装置（含2套深度相机和1套定制视觉系统固定框架） | 1 |
| 3 | 灵巧手 | 5 |
| 4 | 模仿学习数据采集与验证系统 | 1 |
| 5 | 模仿学习算力平台 | 1 |
| 6 | 工业互联网资源协同试验系统-智能机器人自主智能操作系统 | 1 | 3D立体视觉相机 | 2 |
| 7 | 工业机器人场景识别系统 | 1 |
| 8 | 智能机器人自主规划与控制系统 | 1 |
| 9 | 自主作业机器人 | 2 |
| 10 | 迷你立体相机 | 2 |
| 11 | 机器人图像轨迹采集系统 | 1 |
| 12 | 机器人学习训练硬件平台 | 1 |
| 13 | 工业互联网创新技术及应用测试系统-2-智能机器人自主操作应用验证系统 | 1 | 工具柜架 | 1 |
| 14 | 装配工装套件 | 1 |
| 15 | 装配操作平台 | 1 |
| 16 | 动态装配操作平台 | 1 |
| 17 | 工业互联网创新技术及应用测试系统-2-智能机器人自主操作展示系统 | 6 | 专用展示单元 | 6 |

## 二、硬件采购需求

**1.工业互联网资源协同试验系统-智能机器人模仿学习系统**

1.3.1 双臂模仿学习与遥操作套件：1套

1.3.1.1 双臂模仿学习与遥操作套件主要由1套双臂遥操作控制器、1套双臂遥操作执行器和1套末端扩展配件套装组成，双臂模仿学习与遥操作套件应可实现高效便捷的重新部署，以适应不同的场景和任务。

1.3.1.2 双臂遥操作控制器：1套

| 序号 | 指标项 | | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 机械臂操作自由度 | | **#** | 至少为6自由度，可拟人类手臂的灵活性，可进行多角度、多方位遥控。 | 否 |
| 2 | 基本要求 | 通用型数据采集 | △ | 可适用于广泛的数据采集需求，如运动信息和环境参数。 | 否 |
| 模块化机身设计 | 主要部件可进行快速更换，便于升级和维护，支持定制化需求。 |
| 连接方式 | 支持USB、无线网络、蓝牙等多种连接方式 |
| 编程与开发支持 | 兼容Python和ROS |
| 高速数据采样 | 高于50Hz采样帧率 |
| 高精度磁编码器 | 全关节电机配备高精度编码器 |
| 负载能力 | ≥1kg |
| 水平伸展范围 | ≥500mm |
| 总跨度 | ≥1000mm |
| 自重 | ≤20kg |
| 重复定位精度 | ±5mm |
| 舵机类型 | 高精度数字伺服电机 |
| 末端执行器 | 双指遥控+双按钮控制 |
| I/O | 支持多路数字信号实时传输 |
| 3 | 重力补偿 | | **#** | 具备重力补偿装置提升人类操作灵活性 | 否 |

1.3.1.3 双臂遥操作执行器：1套

| 序号 | 指标项 | | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 机械臂操作自由度 | | **#** | 至少为6自由度，可拟人类手臂的灵活性，可进行多角度、多方位遥控。 | 否 |
| 2 | 基本要求 | 通用型数据采集 | △ | 可适用于广泛的数据采集需求，如运动信息和环境参数。 | 否 |
| 模块化机身设计 | 主要部件可进行快速更换，便于升级和维护，支持定制化需求。 |
| 连接方式 | 支持USB、无线网络、蓝牙等多种连接方式 |
| 编程与开发支持 | 兼容Python和ROS |
| 高速数据采样 | 高于50Hz采样帧率 |
| 高精度磁编码器 | 全关节电机配备高精度编码器 |
| 负载能力 | ≥1kg |
| 水平伸展范围 | ≥500mm |
| 总跨度 | ≥1000mm |
| 自重 | ≤20kg |
| 重复定位精度 | ±5mm |
| 舵机类型 | 高精度数字伺服电机 |
| I/O | 支持多路数字信号实时传输 |
|  |  | 末端执行器 | **#** | 平行夹爪，具备摄像头，可拆装多种模块 | 否 |

1.3.1.4 末端扩展配件套装：1套

末端扩展配件套装应包括自适应夹爪、平行夹爪、和垂直吸泵至少三种套装以满足不同操作需求。相关末端套装应能实现抓取常见形状（长方体、球体、圆柱体、圆锥体，线束，门把手），并能够稳定进行抓取、分类、转移和装配多种场景的操作。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 功能要求 | △ | 1.可通过更换套装抓取常见形状长方体、球体、圆柱体、圆锥体，线束，门把手；  2.可实现夹爪握力与吸盘吸力可控、可监测 | 否 |
| 2 | 安装方式 | △ | 可进行快速更换安装不同末端配件 | 否 |

1.3.2 视觉装置：1套

视觉装置包含2套深度相机和1套定制视觉系统固定框架，为模仿学习系统的相关控制器和执行器提供相关的视觉感知信息。

1.3.2.1 深度相机：2套

需安装在不同位置，摄像头系应具备深度感知能力和全局快门功能，具体指标要求如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 基本要求 | 曝光方式 | △ | 全局快门 | 否 |
| 深度测量方式 | 双目立体 |
| 深度视场 | 优于80°(水平)×50°(竖直) |
| 最小深度距离 | ≥7cm @ 480p |
| 深度输出分辨率 | 支持1280×720 |
| 深度测量精度 | ≥±2% （50cm） |
| RGB影像分辨率 | 支持1280×720 |
| RGB影像帧率 | 支持30fps |
| 连接方式 | USB3.1 |

1.3.2.2 定制视觉系统固定框架：1套

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 功能要求 | △ | 1. 可实现摄像头的稳定安装和多位置布局，为模仿学习提供大视场角 2. 应能够覆盖机械臂的全部操作空间和范围，保证对机械臂操作空间内的所有物体的精准识别。 | 否 |

1.3.2.3 调整与迁移：视觉系统应提供简单易用的工具或机械装置，以便实现快速调整的位置，以适应不同的场景和任务。

1.3.3 灵巧手：5套

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 自由度 | △ | 至少5自由度 | 否 |
| 2 | 运动关节数 | △ | 至少10个运动关节 | 否 |
| 3 | 控制方式 | △ | 支持力控制、位置控制和速度控制 | 否 |
| 4 | 材质 | △ | 轻质耐用材料，仿皮肤覆盖，提供更好抓握和触感 | 否 |
| 5 | 传感器 | △ | 集成力传感器、位置传感器和触觉传感器 | 否 |
| 6 | 安装方式 | # | 能兼容多种机器人手臂 | 否 |
| 7 | 软件兼容性 | △ | 兼容 ROS | 否 |
| 8 | 抓握力 | △ | 握力速度适中，能够适用于多种抓取操作场景 | 否 |
| 9 | 触觉感知 | # | 具备高灵敏度的触觉感知功能 | 否 |

1.3.5 模仿学习算力平台：1套

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 基本参数 | △ | 1.具有高速无线网络；  2.处理器核心数≥16，线程数≥24，最大睿频频率≥5.5GHz，缓存≥30MB；  4.具有满足深度学习框架部署能力的图像处理器，显存≥24GB，核心频率≥2200MHz；  5.内存≥32GB；  6.硬盘容量≥2TB。 | 否 |

**2.工业互联网资源协同试验系统-智能机器人自主操作系统**

2.3.1 3D立体视觉相机：2套

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 基本要求 | 视觉相机像素支持 | △ | 1080p | 否 |
| 数据接口 | Gigabit Ethernet(1000Mbit/s)及以上 |
| 信噪比 | ≥25dB |
| 最大帧率 | ≥20fps |

2.3.4 自主作业机器人：2套

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 自由度 | **#** | 6自由度 | 否 |
| 2 | 有效负载 | △ | ≥3kg | 否 |
| 3 | 最大工作半径 | △ | ≥600mm | 否 |
| 4 | 重复定位精度 | △ | ≤±0.1mm | 否 |
| 5 | 视觉模块 | △ | 可选2D/3D视觉模块 | 否 |
| 6 | 编程支持 | △ | 可在C++和Python环境中进行高级编程 | 否 |
| 7 | API 兼容性 | △ | 至少应支持Windows, Linux, ROS | 否 |

2.3.5 迷你立体相机：2套

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 视觉相机像素支持 | **#** | 1080p | 否 |
| 2 | 数据接口 | △ | Gigabit Ethernet(1000Mbit/s)及以上 | 否 |
| 3 | 信噪比 | △ | ≥25dB | 否 |
| 4 | 最大帧率 | △ | ≥20fps | 否 |
| 5 | 安装方式 | △ | 可安装在2.3.2.3.4中的6自由度机械臂端采集机械臂的运动数据。 | 否 |

2.3.7 机器人学习训练硬件平台：1套

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 单图形处理单元显存容量 | **#** | ≥40 GB GDDR6 ECC | 否 |
| 2 | 总显存容量 | **#** | ≥320 GB GDDR6 ECC | 否 |
| 3 | 主板 | **#** | 支持至少8个PCIe 4.0\*16插槽，具备足够的总线带宽支持多图形处理单元工作 | 否 |
| 4 | 固态存储容量 | **#** | ≥10 TB | 否 |
| 5 | 处理器核心与线程数 | △ | 核心数≥28，线程数≥56 | 否 |
| 6 | 处理器基础频率 | △ | ≥2GHz | 否 |
| 7 | 处理器缓存 | △ | ≥30MB | 否 |
| 8 | 内存容量 | **#** | ≥64 GB | 否 |
| 9 | 供电系统功率 | △ | ≥3000W | 否 |

**3.工业互联网创新技术及应用测试系统-2-智能机器人自主智能操作应用验证系统**

3.3.2 工具柜架：1套

工具柜架主要由工具柜和货架两部分组成，其中工具柜应能为工业领域常用的多层架构，把手设计应可通过常用机械臂抓手进行开关柜门操作。相关柜门至少应有两组，包括抽拉开门与旋转开门两种方式，且高度和开关角度应实现机械臂的自由流畅抓取目标物体。货架高度不超过2.5m，材质采用工业常用的合金材质。货架应为开放式的货架，应至少具备3层架构，可满足机械臂的自由流畅抓取目标物体。柜架高度不超过2.5m，材质采用工业常用的合金材质。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 基本要求 | 尺寸 | △ | L≥1800mm;W≥500mm;2500mm≥H≥1800mm | 否 |
| 货架层高 | ≥200mm |
| 货架层数 | ≥3层 |
| 货架材质 | 铝合金/碳钢 |
| 功能要求 | 工具柜至少包含抽拉开门与旋转开门两种方式 |

3.3.3 装配工装套件：1套

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 基本要求 | △ | 应至少包含汽车与电子信息产业的制造与测试场景中常见的元器件、工装、导线、操作工具、以及测试与装配器件工装等 | 否 |
| 2 | 功能要求 | # | 1.应满足集成USB、网口、电源、HDMI、type C等至少五个常用接口的插拔测试操作单元，应配套对应的各类导线（软线）；  2.智能装配套件应至少模拟对孔装配和电子消费品的元器件插拔两个典型场景中的精密操作，并配备相应的模拟或真实元器件 | 否 |
| 3 | 虚拟模型 | △ | 应有相对应的3D模型可导入NVIDIA Isaac仿真环境中 | 否 |

3.3.4装配操作平台：1套

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 基本要求 | 结构尺寸 | △ | 定制，需能够承受6自由度双机械臂与模仿学习相关套件同时操作的空间要求 | 否 |
| 材料 | 应使用高强度钢或其他适合的耐用材料制造平台和基座，以保证在重复使用和长期负载下仍能保持性能和稳定性 |
| 负载 | 在最大负载下，平台和基座的形变应控制在允许范围内，以确保装配精度和操作安全。 |
| 台面高度 | ≥300mm |

3.3.5动态装配操作平台：1套

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 基本要求 | 输送方式 | △ | 传送带 | 否 |
| 驱动方式 | 电机＋减速机 |
| 适应输送产品宽度 | 100mm |
| 结构尺寸 | 定制 |
| 刚性强度 | 满足产品输送 |

**4.工业互联网创新技术及应用测试系统-2-智能机器人自主操作展示系统**

专用展示单元：6套

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 指标项 | | 重要性 | 指标要求 | 证明材料要求 |
| 1 | 基本参数 | 尺寸 | △ | ≥32寸 | 否 |
| 2 | 刷新率 | ≥60Hz |
| 3 | 分辨率 | ≥2560\*1440 |
| 4 | 接口 | HDMI/DP |
| 5 | 面板 | IPS技术/VA/TN/OLED等 |

## 实现功能需求

**1.工业互联网资源协同试验系统-智能机器人模仿学习系统**

系统基于模仿学习和遥操作，实现机器人在复杂环境中的高效精准操作和学习，并为机器人在虚拟仿真平台的训练提供高质量的训练样本和数据集，主要功能要求包括：

1. 双臂模仿学习与遥操作套件：
2. 应能够精确地执行复杂的双机械臂（单机械臂）协调精细操作；
3. 通过模仿人类的动作，机械臂能够通过模仿学习方法高效学习并自主执行如抓取、搬运和装配等任务；
4. 末端扩展配件套装应提供多种机械臂末端套件，实现不同执行对象的抓取、搬运和装配等操作。

（2）视觉相机：能够为机器人提供机械臂动作和工作环境实时的视觉反馈，使机械臂能够进行物体识别、定位和追踪，以及空间建模等操作。

（3）灵巧手装置：五指灵巧手具备了触觉感知功能，能够进行灵巧操作和使用抓取简单的工具，能够适配机械臂。

（4）模仿学习数据采集与验证系统：

1. 能够实时的采集和处理遥操作相关的数据与图像信息，并可实时展示机械臂的运动信息；
2. 能够将机械臂模仿学习的数据导入到虚拟仿真平台中进行训练；
3. 能够将已有的控制算法和仿真平台中的训练结果快速的导出和部署在模仿学习系统中，验证机器人的运动控制算法。

（5）模仿学习工作站：需为模仿学习数据和算法提供学习和训练的基础算力支撑。

（6）用户手册和文档：系统应提供详细的用户手册和开发文档，以帮助开发者了解系统架构和开发流程。用户手册和相关文档应提供详细清晰的指导，确保用户和开发者能够复现操作过程。

**详细技术要求**

1.3.4.1 实现模仿学习系统中机械臂控制器、执行器、末端和移动底盘实时运行数据和动作数据的采集和稳定传输，针对机械臂运动的关键数据可以进行实时监控和展示。

△ 1.3.4.2 应具备模仿学习机械臂（遥操作执行器）的相似urdf模型可导入虚拟仿真平台用于训练。

# 1.3.4.3 系统应支持从机械臂执行器端摄像头和视觉系统实时采集图像与视频，并基于图像处理和视觉算法对图像进行优化和处理，形成可应用于机器人模仿学习、强化学习训练的相关训练集。

#1.3.4.4 系统应可以实现验证机器人的多种常用基础运动控制算法和基于模仿学习与强化学习的机器人自主路径规划（操作）算法。

△1.3.4.5 系统应可将模仿学习和机器人运动数据导入常见机器人虚拟仿真平台中，进行训练和相关操作。

#1.3.4.6 系统应实现从虚拟仿真平台中导出的多种通用的模仿学习与强化学习算法与训练结果能够进行本地化部署、验证和演示，并确保用户和开发者能够复现过程。

#1.3.4.7 系统应包含一套可扩展的机器人训练-算法-动作-技能集，包含多个场景、多个任务的多条轨迹数据，能够支持对模仿学习和强化学习的训练结果的高效查看管理和实时调用，至少应支撑20TB以上的机器人训练相关内容的安全存储和流畅调用。

**2.工业互联网资源协同试验系统-智能机器人自主操作系统**

智能机器人自主智能操作系统用于智能机器人的配套，辅助机器人实现3D环境感知、推理和自主控制路径规划等功能。系统包括该系统包括3D视觉辅助系统、机器人工业场景识别系统以及智能机器人自主规划与控制系统，各组件系统分别需要实现的功能如下：

（1）3D立体视觉装置：用于采集、识别和存储机器人工作场景下的图像和视频数据，可以支持相关实时数据能够的直接反馈到智能机器人自主规划与控制系统中。

1. 工业机器人场景识别：
2. 可以实时接收由3D视觉相机传输来的环境感知数据，用于生成3D环境地图；提供针对工业工件的目标检测功能；
3. 通过识别机器人在工业领域的精密装配和相关操作场景下的目标工件、操作动作及障碍物等环境信息；
4. 利用视觉数据能够构建机器人真实工作环境的高保真3D模型（地图），并支持3D模型（地图）信息的实时预处理和优化操作。
5. 智能机器人自主规划与控制：
6. 结合自然语言大模型和视觉-语言模型，能够对3D环境地图的不同区域和物理实体进行推理和分析；
7. 通过赋值等方式可以自动标记目标区域和运动约束区域；利用大语言模型能够准确进行任务的分解和规划；
8. 基于机器人控制模块和多种机器人运动规划算法在3D环境地图输出能够完成任务的最优运动路径，实现机器人根据最优运动轨迹的自主运动。

（4）智能机器人自主规划与控制系统验证示例，能够实现在2.3.3应用验证系统中针对一系列自主操作和装配场景的应用验证。

（5）用户手册和文档：系统应提供详细的用户手册和开发文档，以帮助开发者了解系统架构和开发流程。用户手册和相关文档应提供详细清晰的指导，保证用户和开发者能够复现操作和开发过程。

**详细技术要求**

**2.3.6 机器人图像轨迹采集系统：1套**

（1）机器人图像轨迹采集系统通过各类3D视觉相机和2.3.2.3.5 的迷你立体相机对机械臂的运动进行实时采集。

（2）所采集的场景、任务和轨迹数据应能够存储在2.3.1.3.3 模仿学习数据采集与验证系统中的数据集内，在单自由度机械臂和模仿学习平台上收集至少4种场景下6类任务的200条高质量轨迹数据，用来支撑机器人模仿学习和强化学习训练。

**2.3.2 机器人工业场景识别系统：1套**

该系统用于处理从3D视觉相机采集的环境数据，包括环境感知和目标识别，生成3D地图用于支持后续机器人自主控制路径的规划和输出。同时，该系统还需要与虚拟仿真平台实现通信，以支持在虚拟仿真系统中可以通过相关数据重现现实场景。该系统主要应满足以下详细技术要求：

△2.3.2.1针对工业场景工件的准确识别。应以成熟的预训练视觉-语言大模型作为基座模型，利用针对常用工业工件和装配等场景构建的数据集进行微调，识别超过10种以上通用工件，以及本项目2.3.3场景中的导线、工件、工具柜、电路板、把手等工件。要求对2.3.3场景中的目标识别准确率为80%以上。

# 2.3.2.2 3D环境地图生成。通过接收3D视觉系统获取的环境数据，生成RGB-D环境图像。基于视觉-语言大模型获取2.3.3场景中包含的各项目标数据，构建精确3D环境地图，作为机器人行动策略的初始状态空间。

△2.3.2.3 系统应包含本项目2.3.3场景中的关键设备和部件的3D模型和相关标注数据，可以支持后续基于视觉-语言模型的图像（场景）识别和理解功能。此外，相关3D模型应可以直接导入NVIDIA Isaac仿真环境中。

△2.3.2.4 系统应实现自然语言大模型和视觉-语言模型的交互，可通过大语言模型实现对3D场景生成代码的优化与调整。

**2.3.3智能机器人自主规划与控制系统：1套**

该系统以工业机器人场景识别系统生成的3D环境地图作为机器人接收的环境状态，自主输出可完成任务的控制路径。该系统还应提供全流程演示DEMO以验证系统的可行性和扩展性。

2.3.3.1 智能机器人自主规划与控制系统总体设计

（1）可基于大语言模型与视觉语言模型的推理能力，进行场景理解和上层任务分解。

（2）可基于3D场景的重构，自主开展机器人的运动规划和轨迹生成。

（3）可自主调取机器人的技能库中的相关技能和算法并进行序列组合。

（4）可基于虚拟仿真平台进行虚拟的训练和仿真模拟。

（5）可基于实时反馈的信息实时调整机器人的运动和操作。

# 2.3.3.2 系统应与2.3.1.3.3.7 的机器人训练-算法-动作-技能集实现高效联通，实现对相应机器人技能集（原子技能库）的便捷调用和部署使用。

△2.3.3.3 系统需要支持对主流自然语言大模型和视觉-语言模型的调用等相关操作。

# 2.3.3.4 大语言模型决策。用户通过以意图为导向的自然语言描述需要机器人执行的操作。系统应至少使用一种自然语言大模型实现对用户的输入本文的意图理解，将语言文本指令解析为一系列可供机械臂执行的具体的子任务指令。

△2.3.3.5 自然语言大模型与视觉-语言模型规划。基于用户输入，并结合视觉-语言模型的识别数据，可通过生成代码的形式在3D环境地图中更新区域价值，并可通过大语言模型对生成代码进行优化调整。所生成的代码可与python语言进行良好兼容。

△2.3.3.6 在工业场景识别系统生成的3D环境地图基础上，根据任务需求，对3D环境地图的区域进行自动的分割等图像优化处理。

△2.3.3.7 应具备利用自然语言模型生成代码的能力，结合视觉-语言大模型对环境的观察和理解，对“感兴趣的实体”、“具有约束的实体”和“障碍物”进行理解，并在3D环境地图中进行区分表示，支持前端的3D效果呈现。

#2.3.3.8 机器人控制模块。根据3D环境地图不同区域的价值自主输出能够满足任务需求的行动路径策略，搭载至少两种基于强化学习的控制算法，以及贪心算法和最短路算法等至少三种经典控制算法

2.3.3.9 控制算法支持端到端控制策略的输出和逐跳控制策略输出两种方式：

△（1）端到端控制策略指在明确了初始位置和目标位置后，输出完整的控制轨迹，在遇到突发有障碍物阻挡控制路径时，基于当前视觉反馈输出更新后的端到端控制路径；

△（2）逐跳控制策略每次输出一个时间步的控制动作，可根据视觉反馈实时调整后续控制轨迹。

△2.3.3.10 系统支持自定义算法扩展，支持主流编程语言，如：python，C++，Matlab等，以及主流机器学习框架，如：tensorflow和pytorch等。

2.3.3.11 智能机器人自主规划与控制系统应能够实现与虚拟仿真平台中的训练结果和动作库（技能库）进行无缝链接，机器人针对复杂动作和实际操作时，可实现自动从动作库中获取相关动作和技能，实现机器人的自主操作和轨迹规划。

△2.3.3.12 系统应能够调用常用机器人算法库，如OMPL库中的算法，以满足机器人的相关任务要求。

△2.3.3.13 系统应能够调用2.3.1.3.3 模仿学习数据采集与验证系统中的机器人知识库和操作技能库应用于机器人抓取和装配等操作。

2.3.3.14 系统应能够通过对任务场景进行视觉感知，机械臂可根据不同的装配对象和感知情况，动态拓扑调整装配操作序列，并对动作参数进行调整以完成制造装配任务。

△2.3.3.15 系统中的机械臂可根据实时感知情况对动作参数进行动态实时调整。

2.3.3.16 示例DEMO。该系统应该包含一套长流程的机械臂自主规划与控制DEMO。其中，主要需实现以下详细技术要求：

#（1）第一展现系统接收人类指令进行任务分解和规划，例如：“进行目标的装配”或“进行接口的插拔功能测试”。系统识别人类意图，在感知周围环境后以及获取目标位置信息后，基于人类指令进行任务的分解和规划。

#（2）基于任务规划顺序机器人可自主进行复杂轨迹的运动规划，包括动态规避障碍物等操作。

#（3）机器人可自主识别环境中的柜门等物体，并进行柜门的打开-物体识别-抓取-放置-柜门关闭一系列的操作。

#（4）基于大模型技术、强化学习和模仿学习的机器人训练结果（动作库、技能库），机器人可自主输出插拔装配控制任务。

#（5）基于大模型技术、强化学习和模仿学习的机器人训练结果（动作库、技能库），机器人可自主输出精密对孔装配控制任务。

#（6）基于大模型技术、强化学习和模仿学习的机器人训练结果（动作库、技能库），机器人可自主在遮挡视线和狭窄操作空间内完成机在狭窄空间内进行自主路径规划。

#（7）基于大模型技术、强化学习和模仿学习的机器人训练结果（动作库、技能库），通过安装相关末端夹爪或灵巧手等，机器人可自主使用人类工具实现螺丝的拧动和脆弱柔软物体的抓取操作。

**3.工业互联网创新技术及应用测试系统-2-智能机器人自主智能操作应用验证系统**

智能机器人自主智能操作应用验证系统主要由电子信息产业目标识别与任务规划、电路板装配、动态场景精密装配、柔软导线插拔测试、狭窄场景精细感知操作和自主使用工具六部分场景组成。各场景分别需实现的功能如下：

（1）工具柜架：负责存放相应的执行对象、元器件和操作工具。满足汽车和电子产品装配相关零部件和操作工具等装置的定位存放要求，结构合理，定位精度满足试验验证环境使用。

（2）装配工装套件：智能装配工装套件主要包括非标异构的汽车或电子元器、软导线、集成了各类接口的测试单元和各类固定工装，为适应不同任务场景需求，应采用模块化设计。

（3）装配操作平台：装配操作平台和固定基座结构合理，刚性强度和稳定性足够支撑机器人的装配操作，应允许机器人进行多角度和多方向的操作，满足智能机器人的作业需求。

（4）动态装配操作平台：装配操作平台和固定基座结构合理，刚性强度和稳定性足够支撑机器人的动态操作，应允许机器人进行多角度和多方向的操作，满足智能机器人的作业需求。

**详细技术要求**

3.3.1 智能机器人自主智能操作应用验证系统场景设计

（1）决策场景——目标识别与任务规划：基于人类指令开关柜门，将在零部件框中无序摆放的零件抓取与摆放到工架上。主要验证大语言模型和视觉语言模型针对指令可进行场景理解和上层任务分解的能力，实现机器人对柜门的自主开关操作和对实体（障碍物）的识别。

（2）复杂视觉场景——狭窄场景精准感知：在存在遮挡视线和狭窄操作空间内完成机械臂主动感知和识别，在狭窄空间内进行自主路径规划，实现插头插入、阀门旋拧和开关操作。主要验证机器人在复杂环境下基于视觉的精准三维建模与运动轨迹规划。

（3）协同装配场景——电路板双臂协同装配：将工架上的零件（电子元器件）抓取并安装到电路板上，主要体现基于模仿学习的机器人双臂协同的精密操作能力。主要验证基于模仿学习的双臂协同自主精细操作技术。

（4）柔性插拔场景——导线精准插拔：针对柔软不规则导线的准确抓取，识别不同导线接口并进行导线的柔性插拔，实现相关接口的连通。主要验证基于技能库（强化学习与模仿学习）自主调用的高效抓取与精密操作能力。

（5）动态场景——动态精密装配：动态流水线环境实现各类电机轴承的精密安装。通过机械臂在动态传送带上抓取、放置、柔性安装轴承器件。主要验证针对动态环境的机器人高效轨迹预测与控制反馈能力。

（6）机器人使用工具场景：机器人应可以使用人类工具实现螺丝的拧动。

**4.工业互联网创新技术及应用测试系统-2-智能机器人自主操作展示系统**

为机器人自主智能作业研发和模拟试验环境的展示系统，对机器人大规模虚拟训练、3D场景生成、机器人轨迹规划和机器人实际运动轨迹等进行可视化展示与交互互动。获取机器人训练和运动的实时情况，提供必要信息给管控人员，并为机器人与工作环境的相关运行数据信息实时展示提供硬件。

**详细技术要求**

智能机器人自主操作展示系统是展示机器人感知、训练、规划、决策和运动的硬件，设备性能及配置需满足机器人训练、场景搭建和轨迹规划等关键数据、模型和动作的实时显示，满足相应系统运行实时数据信息的展示所需的配置要求，配备多台展示集成系统以满足不同的展示需求。