

中兴通讯产学研合作论坛

基金项目（机器人专项）详细说明

2025 年

说明：本说明仅限中兴通讯产学研合作论坛成员单位及其他特定合作单位内部使用，未经中兴通讯书面同意，不得以任何方式传递给第三方。

目 录

机器人专项课题	3
2025H2ZTE10-01 课题名称：人形机器人全身运动控制研究	3
2025H2ZTE10-02 课题名称：基于数据驱动的人类全身交互动作生成技术	4
2025H2ZTE10-03 课题名称：关节执行器微型伺服驱动技术研究	4
2025H2ZTE10-04 课题名称：双足机器人传动非线性动力学补偿技术研究	6
2025H2ZTE10-05 课题名称：复杂场景下的混合 AI 系统研究	7
2025H2ZTE10-06 课题名称：支持灵巧手的具身仿真的轨迹自动化增广技术研究	9
2025H2ZTE10-07 课题名称：基于 4D 时空感知的高泛化技能模型新技术研究	10
2025H2ZTE10-08 课题名称：基于力触觉的精细化操作算法研究	11
2025H2ZTE10-09 课题名称：具身数据采集多构型适配系统和关键技术研究	12
2025H2ZTE10-10 课题名称：机器人高密度关节的设计、集成、测试技术研究	13
2025H2ZTE10-11 课题名称：高自由度自适应抓取控制技术研究	14
2025H2ZTE10-12 课题名称：灵巧手遥控控制技术研究	15
2025H2ZTE10-13 课题名称：多腱绳耦合运动建模与仿真技术研究	16

机器人专项课题

2025H2ZTE10-01 课题名称：人形机器人全身运动控制研究

合作内容：

关节模组是人形机器人的重要部件，它负责驱动和控制机器人各个关节和部件的运动。目前业界关节模组有旋转关节和直线关节两大类，随着人形机器人性能不断提升，直线关节模组受到越来越多的关注。

本课题研究基于直线关节的人形机器人全身运动控制技术，研究内容包括：
1) 直线关节建模。可靠有效的直线关节仿真建模可以帮助算法更好地缩小仿真与现实的差距；2) 强化学习与 Sim2Real 算法。强化学习并行训练算法可以为机器人提供极具鲁棒性的全身运动控制模型，Sim2Real 算法保障控制算法安全可靠的部署在机器人本体上。

预期目标：

本课题计划分三个阶段实施，第一阶段完成初版的人形机器人全身运控算法的仿真设计与实现，第二阶段完成初版算法的实机部署应用，第三阶段完成算法功能丰富性与场景泛化性的设计与实机部署。

指标要求：

1. 稳定性：人形机器人连续稳定执行任务至少 4 小时；
2. 灵巧性：人形机器人执行任务的速度提高 50%；
3. 丰富性：人形机器人运动技能数有 5 个以上；
4. 泛化性：至少在 4 种不同场景下稳定执行同一个运动任务。

交付物：

1. 人形机器人仿真场运动控制算法，包含仿真场场景建模与搭建、仿真场算法训练与推理的代码及说明文档；
2. 仿真向实机迁移方案，包含对齐仿真和实机的运动学与动力学参数的操作方案、仿真迁移至实机的算法方案、仿真与实机的数据分析；
3. 论文和专利等。

期望期限：

1 年。

2025H2ZTE10-02 课题名称：基于数据驱动的人类全身交互动作生成技术

合作内容：

人形机器人在商业和家庭场景中具有较多的人机交互需求，在人机交互过程中，机器人的动作是否拟人流畅、体现意图，会一定程度上影响机器人的表现力和交互效率。随着基于数据驱动的机器人控制技术不断成熟，机器人交互正从传统的示教方式转向数据驱动方式，这既能提升表现力和交付效率，还能大幅降低成本。

本课题主要研究生成式机器人的动作模型，通过使用大量带语义的人体交互数据训练生成式动作模型，配合语言交互产生交互性动作，再结合强化学习运动控制让机器人带来真正的仿真拟人的交互体验。

预期目标：

对生成式机器人动作模型开展行业发展和技术路线分析；提供满足需求的人体动作数据集，包括开源和商用的数据，以及人体全身动作数据的采集方法和评价标准；建立模型推理和训练框架，提供的生成式动作模型可以适配不同构型的机器人方案；在机器人上完成实机测试，性能满足指标要求。

指标要求：

1. 语义动作生成时间小于 1s；
2. 动作可以表达快乐、愤怒、悲伤、恐惧、厌恶和惊讶共 6 类情感，以及体现情感程度的不同；
3. 至少有 2 种性别、5 种人设，如讲解员、家庭伴侣、服务员、文艺表演者和小孩等，每种人设都有各自得体的表现动作；
4. 在讲解、家庭服务和表演场景下有常用动作；
5. 可以设置对应不同的人形机器人构型。

交付物：

动作数据库、动作生成模型、训练框架和代码和落地实机展示等。

期望期限：

1 年。

2025H2ZTE10-03 课题名称：关节执行器微型伺服驱动技术研究

合作内容：

关节执行器是人形机器人的核心部件之一，它对机器人运动的精确性和灵活性有很大影响，而伺服驱动器作为关节执行器的控制中枢，一定程度上决定了关节执行器的核心性能。高精度、智能化的关节驱动器和高效的伺服算法是业界研究人形机器人运动性能提升的一大方向。

本课题研究关节执行器的驱控器硬件及算法，包括微型伺服驱动技术、FOC三环矢量控制算法、一键式智能参数辨识系统、自适应参数自整定技术、多维度非线性补偿策略和动态性能优化技术等，通过硬件设计配合伺服驱动算法，提升伺服驱动器的性能。

预期目标：

提供驱控器的硬件设计和伺服驱动算法，方案能集成到业界主流人形机器人的关节中，满足控制参数自适应，精准完成关节伺服驱动工作。

1. 驱动硬件或硬件设计方案包括：高功率密度伺服驱动硬件、功率开关器件、MOS 及 GAN 工艺等；

2. 伺服控制算法包括：1) FOC 三环或力位混合控制算法，实现电机的精准位置和力矩控制；2) 一键参数辨识：电机相序/极对数辨识、电机本体参数、惯量/摩擦阻尼参数，可实现自动化的参数辨识，用于控制算法参数调节和非线性建模；3) 一键参数自整定：实现自适应控制参数整定，对不同的电机和负载，可快速实现自动化控制参数匹配；4) 非线性补偿：编码器校准、逆变器非线性、扰动观测器、前馈补偿和谐振抑制等。对关节模组的非线性特性，给出提升控制精度的方案；5) 动态响应提升：浪涌抑制、过象限凸起抑制，提升动态负载、运动切换下的跟踪精度；6) 电机设计及非理想特性仿真分析，对机器人关节的高扭矩密度低热损耗电机和电机非理想特性分析补偿。

指标要求：

1. 针对不同规格的电机、减速器等，伺服驱动算法具有一键参数自适应能力和各类非线性抑制能力，控制精度达到业内领先水平（重复定位精度好于 60 角秒，转矩波动降低 80%）；

2. 故障诊断能力和硬件辨识技术：对于机电传动系统预防性维护，可一键本体参数辨识（包含转子惯量等，精度好于 10%）；

3. 驱控器硬件设计: 提供可行的集成化方案, 可实现 500W/cm³ 的功率密度。

交付物:

伺服驱动硬件或硬件设计方案、伺服控制算法、论文或专利等。

期望期限:

1 年。

2025H2ZTE10-04 课题名称: 双足机器人传动非线性动力学补偿技术研究

合作内容:

以“行星滚柱丝杠+传动机构”为核心零部件的双足机器人, 具有高负载、高续航的优势。但丝杠会引入复杂的非线性摩擦, 同时传动机构也带来了额外的柔性和间隙, 给下肢运动的控制带来了挑战。本课题的研究内容包括: “行星滚柱丝杠+传动机构”的建模与动力学补偿、真机参数标定等。

预期目标:

完成带有复杂传动机构双足机器人参数辨识的研究综述, 打通从物理数据采集到参数辨识全流程, 实现 sim2real 的对齐与参数闭环。

对于双足机器人上常用的两套传动机构: “曲柄滑块+四连杆”、“双自由度并联机构”, 提出相应模型, 解决机构运动学、动力学、传动间隙、摩擦、死区和柔顺性等关键性问题, 提升对机构动力学的整体认知。

指标要求:

1. 稳态性能: 针对上述两种传动机构, 在电流环控制模式标准负载下, 位置稳态误差<5%, 超调量<5%, 响应时间<5ms;

2. 动态性能: 针对上述两种传动机构, 在电流环控制模式, 标准负载下, 输入与输出模型预测精度与实际输出的残差精度在 85%以上, 仿真模型对真实运动的轨迹预测误差减少>50%;

3. 力/矩透明度: 对于上面两种传动机构, 电流环控制模式下输出的转矩精度>85%, 末端负载感知精度>85%。

交付物:

1. 技术文档与报告。提供“曲柄滑块+四连杆”、“双自由度并联”传动机构的建模、参数辨识和控制方法等方面的研究报告; 对负载端配备力矩传感器的高减速比旋转电机, 提供力矩闭环的控制方案;

2. 软件和算法代码。对于“曲柄滑块+四连杆”、“双自由度并联”传动机构，提供算法仿真、算法代码、参数辨识方法、控制算法和配套的说明文档；对负载端配备力矩传感器的高减速比旋转电机，提供仿真代码和配套的说明文档；

3. 实验数据集。提供关键实验环节采集的数据集，如真实机器人执行动作的传感器数据、仿真和实测对比数据等，便于后续算法改进；

4. 专利和论文等。

期望期限：

1 年。

2025H2ZTE10-05 课题名称：复杂场景下的混合 AI 系统研究

合作内容：

当前 AI 系统正从单一计算向“前处理-计算-决策-后处理”一体化方式演变，这给 AI 系统在场景复杂度、硬件加速和闭环验证等方面提出了更高的要求。

本课题研究复杂场景下的 AI 系统，主要包括：

1. 复杂系统的任务分解和能力融合。如对感知、理解、学习、自我博弈和决策等进行任务分解，在车载或具身智能端到端系统上融合多模态感知、快慢系统思考、用户关联思考、CoT/ToT 和 OoO 等多种能力，具体来说：

- 多模态融合与理解：系统处理并融合来自不同传感器（视觉、听觉、触觉）的多模态数据，形成更全面的环境感知和理解；

- 长上下文与复杂推理：任务涉及多轮交互、历史信息记忆和复杂逻辑推理，模型需要具备强大的上下文理解和思 CoT/ToT 能力；

- 环境动态性与不确定性：系统需要在不断变化、充满不确定性的真实物理世界中做出决策和行动，这对模型的鲁棒性和适应性提出更高要求；

- 多任务、跨领域协同：复杂应用需要 AI 同时处理多个子任务，进行跨领域的协同。

2. 混合 AI 系统的硬件架构分析。根据任务复杂度、延迟要求和隐私敏感度等，智能的调整 Core/Cluster/Die/Edge-cloud 的负载，获取系统的最佳 TCO，具体来说：

- 异构计算与高效调度：前处理、计算、决策和后处理对算力类型和精度要求各不相同，需要采用更高效的异构计算平台和更智能的任务调度器，来保障数据在不同处理单元之间的高效流转；

- 极致能效比：边缘和端侧设备上，如何结合场景对低功耗、高算力密度的专用 AI 芯片做极致优化；

- 高速 I/O 与内存带宽：大模型推理带来带宽受限问题，如何从数据/传输/应用上进行优化，避免数据传输成为瓶颈。

3. 决策与闭环验证，选择 1-2 个场景进行闭环验证，验证内容包括：

- 端到端性能评估：评估链路端到端性能，包括延迟、吞吐量、资源消耗和在真实场景下的任务完成率；

- 可解释性与透明度：验证复杂系统理解决策的产生过程，提升系统的可信赖性；

- 安全与鲁棒性验证：系统抵抗对抗性攻击，处理意外故障和异常情况，结合仿真环境通过高强度测试和故障注入等进行全面验证；

- 持续学习与迭代：从真实环境收集数据，发现问题后优化模型并重新部署的闭环迭代机制，支持 AI 系统的持续进化。

预期目标：

本课题希望提出复杂环境下可闭环验证的高效的 AI 混合系统设计方法论，来解决多模态混合感知复杂系统的感知信息融合、深度理解、持续学习和博弈等问题。课题分三个阶段实施，第一阶段完成典型多模态感知方案分析，支持感知算法分解；第二阶段完成单一智能体构建，支持感知、规划、决策、学习等 VLA 模型的关键技术拆解；第三阶段完成多智能体解决混合系统的方案分析与架构设计，支持特定场景的闭环验证。

指标要求：

1. 完成复杂系统的任务分解和瓶颈分析，任务类型分解与场景分析完备度达到业界前列；

2. 完成 1-2 个场景的闭环能力验证，性能相比 SoTA 提升约 10%。

交付物：

1. 复杂系统的任务分解：提供行业调研报告、多模态技术特性分析报告；

2. 混合 AI 系统分析：提供算法调研报告，加速模型算法和单一 Agent 设计代码及仿真环境；

3. 决策与闭环验证：提供闭环验证报告、多 Agent 设计方案及代码和性能与混合 AI 系统设计报告。

期望期限：

18 个月。

2025H2ZTE10-06 课题名称：支持灵巧手的具身仿真的轨迹自动化增广技术研究

合作内容：

人形机器人面临数据匮乏的问题，解决方法之一是采用增广算法，通过少量样本对大量数据进行合成，从而实现高价值数据大批量、全自动生产。

本课题研究内容包括：1) 给定少量专家轨迹，研究对在仿真环境下的困难场景中（如双手协同、长程任务和人机协同）操作轨迹的自动化增广技术；2) 给定场景、数字资产和任务描述，通过算法自动规划并合成大量有效的轨迹数据，用于仿真平台的数据合成；3) 给定真机数据，基于仿真环境或生成类大模型轨迹合成，研究真机多视角下视频数据的物体替换、新轨迹合成。

预期目标：

1. 提供数据增广算法，实现研究内容的一个或多个方向；在给定原始数据、场景和任务要求情况下，基于仿真环境或大模型进行大量数据合成；

2. 提供数据评估算法，可以对合成、采集、重播和增广的数据进行评估；根据场景和任务，设计相应的自动化判定方法，可以完成轨迹数据标注和轨迹性成功评估，从而降低人工审核的成本；建立基于规则、大模型等方法的数据评价体系。

指标要求：

1. 仿真遥操数据合成。给定专家数据，能实现复杂场景下的轨迹多样性变化，生成 1 到 n 的轨迹泛化数据。轨迹增广数据重播，操作成功率达到业界领先水平；增广数据相较于仅使用原始数据，训练模型成功率提高 20%；

2. 零样本数据合成。给定仿真场景布局和任务要求，实现基于大模型、轨迹规划算法的操作轨迹自动化生成算法。设计末端执行器（灵巧手）技能库，探索基于“接近-执行”的快速轨迹规划算法（不依赖 VLA）。在仿真环境中对复

杂场景想的零样本合成数据进行重播，操作成功率达到业界领先水平；使用零样本合成数据进行模型训练，任务成功率达到业界领先水平；

3. 真机数据增广（基于仿真环境）。给定真机采集的轨迹数据、场景、资产和任务等，在仿真环境下自动生成有效抓取的环境布局，通过轨迹优化实现真机轨迹数据复用。对有效真机数据实现自动化重播和轨迹优化，真机轨迹数据利用率达到 80%；自动化抓取环境布局精度和人工布局精度差小于 1cm；

4. 真机数据增广（基于生成大模型轨迹合成）。给定真机视频数据，通过生成类大模型或仿真环境的渲染能力，实现对真机多视角视频数据的物体替换和新轨迹合成。使用增广数据相较于仅使用原始数据，训练模型成功率提高 20%，算法生成的视频真实性评估指标 FVD<60，单条数据（30s，720p）合成时间等指标业界领先。

交付物：

技术调研报告、算法原理说明书，模型代码（含训练、推理和评估代码）、模型权重文件、训练/测试数据集，数据评估算法和源代码，提供数据评估体系说明书，算法总结报，论文专利等。

期望期限：

1 年。

2025H2ZTE10-07 课题名称：基于 4D 时空感知的高泛化技能模型新技术研究

合作内容：

视觉-语言-动作模型（VLA）是多模态大模型在具身智能方向的延伸。随着人工智能技术的不断进步，如何提升 VLA 模型的泛化能力，使人形机器人能在未知环境中高效执行任务，成为业界关注的问题。

目前人形机器人技能模型泛化性较低，主要表现在：短程任务（2 个子任务以内）成功率较低，长程任务（3 个子任务以上）成功率极低，新场景任务成功率微乎其微，引发部署-测试时间过长等问题，延缓了人形机器人商用进程。

本课题研究方向包括：通过对多传感器数据进行 4D 时空特征建模，提升机器人对于环境的空间感知能力和理解能力，提高动作规划的准确性；探索技能模型架构优化或演进方案，如数据处理、训推范式、在线/离线强化学习等；研究动作轨迹连续性的优化算法以及相应的评估指标。

预期目标:

探索基于 4D 时空感知的高泛化技能模型新技术。新技术能提升人形机器人的任务成功率和动作稳定性；能解决新场景精调（增量学习）带来的灾难性遗忘问题，提升模型泛化性；能降低真实场景的部署-测试时间，加快机器人适应未知场景。

指标要求:

1. 成功率：短程任务（2 个子任务以内）、长程任务（3 个子任务以上）成功率达到业界领先；
2. 泛化性：加快机器人适应未见过的新场景、新物体和空间位置变化等，平均任务成功率达到业界领先；
3. 快速部署：新场景轨迹精调数据控制在 100 条以内，部署-测试时间小于 1 天，平均任务成功率达到业界领先；
4. 轨迹连续性：动作轨迹稳定、丝滑、无抖动。

交付物:

1. 算法原理说明书、源代码（含训练/推理/评估代码）、模型权重文件、训练/测试数据集；
2. 算法总结报告、论文和专利等。

期望期限:

1 年。

2025H2ZTE10-08 课题名称：基于力触觉的精细化操作算法研究

合作内容:

力触觉感知技术给机器人产业带来了重大变革，通过直接感受物体的压力、纹理和温度等物理特性，来获取更真实丰富的信息，帮助机器人实现更精确、更细腻的动作控制以适应复杂的或不确定的环境，从而提高机器人的工作效率和安全性。

本课题主要研究整合触觉感知（Tactile Sensing）和力觉感知（Force Sensing）技术，使机器人具备更接近人类的物理交互能力，实现更精细的操作和更好的适应环境，具体包括：1）研究触觉感知算法、触觉增强的力位控制算法模型和训练范式，可支持复杂物体自适应精细交互；2）通过典型任

务（柔性抓取、铰接物体带锁机制的多步操作、精细装配任务如插拔网线等）进行验证。

预期目标：

在灵巧手装备了力触觉传感器的情况下，人形机器人能完成柔性抓取任务（如拿鸡蛋、拿纸巾），以及对未知铰接物体进行 3 个步骤以上的开关操作和电源插拔操作。

指标要求：

1. 具备对未知铰接物体的自适应调整机制，通过多次尝试完成对铰接物体的复杂任务，如打开微波炉，对操作位置、力的方向和锁机制进行判断，能通过自适应机制实现功能的泛化性，试错次数小于 10 次，且保证安全操作；

2. 具备精细化的柔性抓取能力，如操作鸡蛋、纸张等易碎物体，成功率>95%，破损率小于 0.1%；

3. 具备精细化的装配能力，可以实现任意插拔功能，如光纤，电源等，操作成功率达到业界领先水平。

交付物：

算法训练数据、仿真训练环境和训练源代码、可复现结果；算法源代码、论文和专利等。

期望期限：

1 年。

2025H2ZTE10-09 课题名称：具身数据采集多构型适配系统和关键技术研究

合作内容：

数据驱动是人形机器人研究的新技术方向。目前机器人行业发展遇到数据困境，由于本体技术在快速迭代中，高成本采集的数据只能用于同构型数据，导致数据匮乏问题加剧。

本课题研究人形机器人跨本体的数据采集方式，通过一次采集多构型适配，解决现有数据采集和机器人紧耦合产生的重复采集问题。本课题研究方向包括：1) 不同构型机器人外部传感器（视觉、触觉和力觉等）采集数据的适配；2) 不同构型机器人内在状态（如关节位姿）数据的适配；3) 不同构型机器人外观差异的视觉适配。

预期目标:

设计一套硬件装置用于机器人数据采集,使用通用算法处理生成异构型机器人数据,生成的数据精度和训练得到的模型在推理效果上接近真机采集数据。

指标要求:

1. 4DGS (或更先进的方法) 的数据采集装置硬件设计关键指标: 采集频率 30HZ, 时钟同步时差小于 2ms, 采用白平衡和光学畸变控制; 交付硬件设计方案, 内外参标定和动态补偿软件包;

2. 动态新视点合成算法: PSNR>35dB;

3. 人形机器人关节构型适配方案: 允许基于少量数据在线强化学习后训练提升精度, 要求关节适配采集的数据量小于 100 条, 精度差异小于 1 度;

4. 基于可控视频生成的机器人外观适配算法: 使用适配后的数据和真实采集的数据进行训练, 同为 100 条数据, 成功率差异小于 5%。

交付物:

1. 数据采集装置, 包含硬件设计方案和配套软件 (如静态标定和动态补偿);

2. 异构机器人数据适配算法, 包含视点适配算法、关节重定向算法和外观适配算法等;

3. 提供和真实采集的数据的对比测试结果, 数据本身的精度满足要求, 训练后的模型性能差异满足要求;

4. 论文和专利等。

期望期限:

1 年。

2025H2ZTE10-10 课题名称: 机器人高密度关节的设计、集成、测试技术研究

合作内容:

人形机器人的快速发展对核心执行部件的性能提出了更高要求。关节模组作为动力输出的核心执行部件, 正向集成化、智能化和轻量化方向演进, 业界对其在高负载、低延迟和高可靠性等方面提出了更高的要求。

本课题主要从以下方向 (但不限于) 展开研究:

1. 谐波/RV 关节模组集成设计：对于旋转类关节，将传统分散的组件（如电机、减速器和传感器等）进行高度集成，进而对结构设计集成、驱动系统集成和材料制造工艺等开展整体性设计研究；

2. 直线关节集成设计：对于直线类关节，将主要直线关机零件（如电机、丝杠和传感器等）进行高度集成，进而开展整体性设计研究；

3. 关节模组轻量化集成：对于关节模组在系统性设计、新材料应用和散热系统性设计上，进行轻量化、微型化迭代，并提出相应方法；

4. 关节模组测试技术：根据关节模组的测试需求，开展对系统性测试方案的研究，包括迭代系列化测试标准与方案。

预期目标：

对于“高扭矩密度关节”，基于不同规格技术要求，开展行业现状和传动基础方案分析，给出关节模组综合性能评价指南；开展系统方案、仿真分析和误差分析等详细设计工作，输出关节测试领域的测试平台方案；完成各样品的制造、集成和回样，且相关测试满足指标要求。

指标要求：

1. 精度指标：对于旋转关节模组，重复定位精度小于 30arcsec，绝对定位精度小于 60arcsec；对于直线关节模组，行程内重复/绝对定位精度小于 0.02mm；

2. 性能指标：扭矩比重和推力比重业界领先。

交付物：

1. 原理/机理研究：关节模组性能原理分析、专利检索报告、传动基础方案分析、电机方案分析、高扭矩密度关节可行性分析、综合性能评价指南等；

2. 技术方案：关节模组测试方案、设计方案、集成方案等；

3. 样机：一共 6 套，其中线性关节 3 套、旋转关节 3 套；

4. 专利和论文等。

期望期限：

1 年。

2025H2ZTE10-11 课题名称：高自由度自适应抓取控制技术研究

合作内容：

自适应抓取控制是多指灵巧手灵活操作的基础能力，它将触觉和位姿融合，为灵巧手提供自适应、柔顺和精确的操作能力，可应用于通用人机交互和工业通用抓取装配等领域。

本课题研究基于腱绳驱动的高自由度灵巧手，用以实现自适应的柔顺的抓取装配等通用控制，主要包括：1) 通用的基础手势（GRASP 33 种手势）动作；2) 基于通用手势，具备抓取基础形状（如方形盒子、鸡蛋和圆柱等）和装配物件（线缆、光模块）的能力；3) 方案基于传统的力位控制算法和数据驱动的技能生成平台，支持技能的数采、仿真、验证、训练和部署。

预期目标：

提供技能库，丰富人机交互的基础手势（如握手、挥手等），以及呈现更自然的手势动作，从而提升交互体验；对工业场景无需重新定制开发，灵巧手能自适应 3C 模块抓取，如进行分拣、装配等工作。

指标要求：

1. 手势可达性：GRASP 33 种手势（硬件限制不支持除外）；
2. 力控精度：0.1N；
3. 重复定位精度：±0.2mm；
4. 抓握成功率>95%。

交付物：

设计文档和源码，包含基础手势算法（库），数据驱动的技能生成平台；研究报告、专利和论文等。

期望期限：

18 个月。

2025H2ZTE10-12 课题名称：灵巧手遥操控制技术研究

合作内容：

灵巧手作为人形机器人的重要部件，随着商用加速获得了业界越来越多的关注和投入，尤其在工业制造和家用服务等领域，但灵巧手受限于遥操控制能力，目前难以支撑一些高精度的作业。

本课题研究灵巧手遥操控制技术，通过人手实时遥控灵巧手，执行高精度的同步作业，解决人手到灵巧手的异构控制问题。在操作过程中，灵巧手的动作示

范、数据采集，能为灵巧手的操作技能训练提供数据源，实现人形机器人的远程高精度实时控制。

预期目标：

完成灵巧手高精度遥操作的硬件、软件和算法开发，并进行效果验证。

指标要求：

1. 控制频率 $>130\text{Hz}$ ；
2. 末端控制精度 $<1\text{mm}$ 。

交付物：

算法、硬件、软件、方案文档、专利和论文等。

期望期限：

1 年。

2025H2ZTE10-13 课题名称：多腱绳耦合运动建模与仿真技术研究

合作内容：

高自由度腱绳灵巧手一般采用多根腱绳驱动手指关节运动。腱绳路径与关节转动的映射关系较为复杂，而且多关节运动会导致路径变化相互耦合，即一个关节的运动会影响其他关节的腱绳有效长度，进而对灵巧手高可靠和高精度的控制操作产生影响。

本课题研究多腱绳传动灵巧手的高保真度运动学和动力学模型，主要包括：

1) 精确的 3D CAD 模型，用于定义腱绳路径、滑轮位置、关节轴、腱几何和质量属性；2) 运动学模型，内置张力约束检查机制，在反向运动学或路径规划中，算法能够处理可行工作空间，避免腱绳松弛或过度张紧，且需要考虑腱绳的非线性弹性和蠕变模型，以预测和补偿位置误差；3) 动力学模型，高效、实时的张力分配算法。

预期目标：

1. 提供高自由度灵巧手腱绳运动的建模与仿真方案，包括材料属性定义、腱绳建模、执行器建模和传感器建模等；
2. 完成仿真模型开发与仿真环境测试，包括节角度与末端位姿映射关系，执行器动力参数、负载动能、腱绳摩擦力、腱绳弹性形变、非线性迟滞与运动特

性的关系，静力学平衡方程计算多腱绳张力分配，驱动系统（电机转矩）与执行机构（关节角度）的输入/输出关系矩阵，完成模型测试；

3. 完成仿真到实物验证，包括正/逆运动学方程验证，位置控制、关节空间阻抗控制、笛卡尔空间阻抗控制、定点阻抗特性仿真等功能验证，基于阻抗控制模型结合PID实时调节腱绳张力，完成验证优化。

指标要求：

1. 运动模型：指尖空间位置精度/重复性（仿真） $\leq 0.05\text{mm}$ ；腱绳蠕变预测和补偿误差 $\leq 0.1\text{mm}$ ；
2. 动力模型：腱绳张力实时分配误差 $\leq 0.1\text{N}$ 。

交付物：

高精度绳驱灵巧手的运动学和动力学模型，高自由度（ ≥ 22 ）腱绳灵巧手运动学表达式和动力学方程，建模仿真测试优化全套工具和流程，专利和论文等。

期望期限：

1 年。