# 中国电子学会-腾讯Robotics X犀牛鸟专项

研究计划[2023]申报指南

# 面向居家场景的大语言模型与机器人操作的融合应用研究

伴随着大模型技术的迭代和发展，大语言（LLM）、视觉-语言（VLM）等大模型逐渐拥有了对现实世界丰富准确的感知和理解能力，而以强化学习为代表的智能算法令机器人拥有与物理世界更直接紧密的交互能力。因此，如融合多模态大模型与先进机器人控制技术，从而进一步推进机器人从“自动化”向“智能化”演进，已成为新的亟待突破的研究热点。本课题聚焦于大语言等多模态大模型与机器人控制的深度融合，旨在利用多模态大模型与先进机器人控制算法的有机结合，进一步实现和增强机器人的具身智能。研究方向聚焦于居家场景中，多模态大模型结合智能控制算法在机器人自主操作和移动等过程中的主动感知、技能学习、任务规划、人机交互等多层次多维度的应用，研究课题包括但不限于：

1. 面向机器人场景的多模态大模型的开发、应用和高效prompt engineering等，以及多模态大模型与先进机器人控制算法融合的新型框架研究；
2. 利用大语言、视觉-语言等大模型，实现多模态感知（自然语言、文本、视觉、触觉等）驱动下的机器人自主操作和移动等具身技能的仿真与部署研究；
3. 多模态大模型增强下的深度人机交互和协作研究，包括但不限于人机交互上层指令及下游任务驱动下的意图识别、任务规划和决策等。

# 面向居家场景的机器人辅助交互算法研究

守护人类、辅助人类是机器人技术研究的核心愿景之一。因此，智能机器人不仅要具备与现实物理世界交互的能力，更需要具备与人类实现安全主动的感知、交互和协作的能力。本课题聚焦于居家生活场景中，机器人基于丰富的多模态感知（如触觉）和智能控制决策，通过深度的人机交互和协作，为人类提供日常生活辅助的能力。应用背景包括但不限于搀扶、喂食等强物理交互，以及递送、协同操作等弱物理交互，研究课题包括但不限于：

1. 居家场景中的人类交互行为建模与分析，包括但不限于生物力学仿真与建模、数据驱动行为建模与分析、人类动作生成研究等；
2. 人机交互中的安全性、舒适度等标准化分析判据的研究，以及面向场景的benchmark数据集、算法及仿真测试环境的开发和研究；
3. 基于多模态感知（提供触觉传感器）的人类意图与状态识别、行为预测等；
4. 人机交互与协作中的智能控制与决策算法的开发。

# 应用工具结合触觉感知的机器人灵巧操作关键技术研究

操作是机器人的核心能力之一，日常生活中的一些操作任务需要机器人使用末端执行器抓取工具来间接完成。而工具的使用给机器人操作能力带来了新的挑战，包括结合工具和被操作物体的动作生成、基于感知信息的工具和物体状态估计、对工具和物体位姿的实时控制等。本课题面向复杂非结构化密集环境，研究机器人使用多种常见工具（剪刀、刀、夹子、勺子等）操作非确定性物体，如运动物体、柔性可形变物体、液体、活体等，研究机器人应用工具主动探索、改造和利用环境以完成复杂操作任务的能力。本课题注重利用触觉及多模感知信息，并与机器人运动规划和控制相结合，以提升机器人的操作能力与可靠性。申请团队可借助Robotics X丰富硬件平台（多种机械臂、集成了高灵敏度触觉皮肤的灵巧手）完成相关研究。

# 高精度、高稳定性、高密度触觉传感阵列关键技术研究

触觉传感器在人机交互领域具有重要的价值。分布在手部及臂部的触觉传感器能够在非结构化场景中为机器人提供多维度的环境信息，这些信息对于机器人与环境与人的安全交互起到了至关重要的作用。目前应用于机器触觉领域的传感器阵列主要关注的是机器人表面的接触状态，每个接触单元的传感器提供的接触信息主要以振动及法向压力为主，对于切向力及扭转力等多维力信息的感知能力相对较弱，同时存在多维力难以解耦等问题。而这些信息例如切向力等往往对于稳定抓取和精细操作起到非常重要的作用。本课题拟支持以下几个方面的基础研究和工作，包括但不限于：

1. 研究新型微型具有多维力感知能力的触觉传感器，通过单个触觉传感单元能够提供三维乃至六维力信息；
2. 研究微型多维力触觉传感器的阵列，包括触觉传感器阵列的布置方式，外部包裹物对于触觉传感器稳定性和灵敏度的影响等；
3. 研究微型多维力触觉传感器的曲面安装工艺，使其能够适应不同的曲面，例如手指表面、关节弯曲处等。

希望能够通过上述研究，提出一款新型微型具有多维力感知能力的触觉传感器阵列，能够为机器人的操作及人机交互提供更多具有价值的传感信息。

# 基于大面积、多点接触的触感信息获取、表达、物体识别与属性判定关键技术研究

触觉传感阵列能够获取物体间的物体接触和交互状况并带给我们实时且精密的触觉感知。操作过程中，人类会与同一个物体发生多点、持续的接触，通过一序列的交互信息来进行接触状态（stable，slipping，rolling）、表面特征（roughness, pattern, curvature）、物理属性（shape，weight，stiffness）的识别与判定。要使机器人具备这些能力从而变得实际有用，需要具备大面积、多功能、高灵敏度、高分辨率、高响应、高重复性、高量程、高耐用性以及柔性可弯曲的触觉传感阵列，并研究如何基于这样的阵列来实时获取与表达触觉信息，并能够对物体进行识别和属性判定。本课题对于高智能的机器人灵巧操作、人机交互、人机安全协同等方向具有重要意义，主要涉及材料、微电子、电气、机械、计算机等学科，涵盖大面积传感器制备、多维信号处理与识别算法等相关技术研究。

# 多维度地图生成和导航关键技术研究

随着移动机器人技术的不断发展，我们拥有了更多的想象空间，未来的机器人能够帮助我们完成更多复杂或智能的任务。从感知的角度来说，简单的环境探索或基于固定地图的重复性任务已经无法满足移动机器人的未来发展。因此，我们需要构建包括辅助定位的几何信息（点、线、面等）、理解场景的语义信息（物体、标识等）等多维度信息地图，同时需支持灵活更新和拓展。基于这样的多维度地图，移动机器人除了可以完成基本的定位、避障、导航之外，通过对场景的理解，机器人在智能决策下可以完成多环节的复杂任务，更好地服务于人。本课题拟支持以下几个方面的基础或者应用研究工作，具体包括但不限于：

1. 搭建用于建图的（多）传感器硬件平台，实现硬件时钟同步等功能；
2. 研究构建大范围多维度地图的算法软件，地图维度包括但不限于几何、语义等信息；
3. 研究如何充分发挥多维度地图的特性，利用学习的方法来实现机器人对周围环境的感知和理解，能够做出高效决策和任务规划的算法和模型，并能在机器人平台上进行效果验证和应用展示。

# 面向机器人研发的虚实集成系统工具的关键技术研究

面向机器人研发的虚实集成系统工具的若干关键技术研究，以提高机器人的实用性，让机器人更快、更好地融入日常生活中，因此迫切需要实现一些超越现有机器人常规研发路径的系统工具和方法。其中，面向未来的虚实集成的系统工具是一个极具战略意义的课题。本课题期望对其中的若干关键技术进行研究，包括但不限于

（1） 碰撞与接触的力学建模，算法优化，虚实（sim-to-real）仿真精度的提升技术；硬件在环（hardware-in-theloop）的系统集成仿真技术，比如电子皮肤（e-skin）的接触仿真系统、人机接触交互任务的仿真系统或者高精度电机的透明模型及仿真系统；

（2） 仿真引擎的优化，比如耗时模块的算法优化及并行算法的开发；

（3） 跨平台的软硬件集成设计开发，比如软件中间件的设计开发，在虚拟仿真与实体机器人进行无缝迁移的技术，通用的工具或者面向机器人应用的模型语言设计等。

# 执行器及其传动的系统设计、制造与控制关键技术研究

执行器及其传动技术作为机器人本体的核心模块，很大程度上制约了机器人运动能力的发展。同时机器人的机械本体、执行器与算法的复杂性之间也存在内在联系。一些智能机构的设计或者执行器可以有效促进复杂算法问题的解决。因此，设计高性能的执行器可以在机器人的关键领域实现突破性创新。本课题方向期望研究面向快速敏捷运动、安全人机物理交互、高效率传动、高爆发力等方面的执行器及其传动的科学或者工程技术，具体包括但不限于：

1. 准直驱执行器模组的设计，高负载重量比（>=30Nm/kg）的扁平直驱电机本体的设计、测试或者特种制造技术；
2. 具备冲击吸附、能量储存与精准力控能力的柔顺执行器的研究；
3. 电机超负荷工作的散热研究；
4. 低惯量高效传动的减速器设计测试或者相关高等制造技术，比如低摩擦的差分绳传动减速器，变传动比的减速器，无间隙高强度的塑料齿轮减速器；
5. 相关的设计方法论及该执行器对应的控制技术等。

# 机器人机构的智能设计方法研究

机器人机构一直是机器研究领域的重要学科，基于传统的运动学和构型综合方法，该领域过去取得了很多进展。随着这几年新的工业、养老、零售等应用场景和机器学习技术的兴起，该领域也亟待创新和突破。本课题方向期望从机器人可用性的角度出发，研究新的设计方法和理论。包括但不限于：

1. 基于流形理论（特别是微分流形、黎曼流形）对机构构型的性能评价指标的研究，比如结合操作任务的灵巧手构型，多关节的机械臂构型等；
2. 基于机器学习方法应用在复杂机构的运动学、动力学无模型的参数求解与优化的研究；
3. 基于机器学习从给定机器人设计参数到机构自生成方面的研究，比如融合型综合，尺寸综合，运动综合，路径综合，约束综合等；
4. 基于机器学习对任务型的机器人形态的自生成研究。