

2020年河北省科学技术奖拟提名项目公示

一、项目名称：含力感腕混联操作手理论与关键技术研究

二、提名单位：秦皇岛市科学技术局

三、项目简介：

力感操作手一直是国内外机器人领域研究的核心内容，也成为高端装备制造、医疗、航天、航海、军事、冶金等领域重要的研究方向。我们提出的含力感腕混联操作手是由并联机构与力感腕传感器及多个柔性手指机构混联构成的新型力感操作手。依托国家自然科学基金、河北省自然科学基金和河北省应用基础研究项目，开展了该操作手理论与关键技术研究，在其构型综合、运动与动力学、刚度等方面均有突破和创新，形成这类新型操作手的创新理论。本项目获成果：发表SCI收录论文51篇，他引SCI论文132篇；完成国家自然科学基金项目被推荐参评优秀结题项目；培养的两位博士生获燕山大学优秀论文和国家奖金，1名硕士生获省优秀论文；获国家授权发明专利23项；依托的三个项目均获结题证书，成果得到国内外同行专家的高度评价和广泛认可。

主要创新点和科学价值如下：

(1) 研制出新型刚柔3SPR和3UPU-I型并联传感器。这种传感器与并联机构和3个刚柔手指构成含力感腕混联机器人操作手，测量混联操作手抓取的载荷。建立了操作载荷与该传感器的6个单力传感器力学映射模型、刚度模型、手指机构弹性变形模型，确定该操作手关键零部件优化尺寸。对该传感器进行了实验测量、标定和有限元模拟分析。实验标定结果验证了理论模型正确性。有限元模拟结果与理论计算结果吻合。形成该传感器理论建模与实验评估的创新理论。

(2) 揭示了机构的关联杆组、自由度、冗余约束 ν 、局部自由度 ζ 和复杂度之间关系。建立了解各关联杆组自由度、铰点数和可行连杆数量的数学模型。推导出构造各关联杆组需要的不同基本连杆数，构造相应机构拓扑图。由此综合出含 (ν, ζ) 的不同自由度机构。将拓扑图转化成数字拓扑图，修改含 (ν, ζ) 的数字拓扑图，综合出一些有价值的混联机构，形成含力感腕混联机器人操作手机构型综合的创新理论。

(3) 将多个不同并联机构混联，构成了工作空间大、灵活性好、刚度高的各种混联操作手机构。建立了各并联机构加速度正解模型、混联操作手机构的通用运动与动力学模型、多种含复合驱动串联分支的混联操作手机构的运动与动力学模型。形成了适合多种复杂含力感腕混联操作手机构的协调抓取运动与动力学创新理论。

(4) 考虑混联操作手各运动连杆的惯性力旋和重力、系统动态驱动力旋/约束力旋，建立了这类操作手机构的刚度模型和弹性变形方程。基于各种分支所受的惯性力旋和重力、系统

动态驱动和约束力旋，建立各分支在不同受力情况下的变形方程。进而建立了这类操作手机机构的精准总刚度模型，形成求解这类操作手机机构精准弹性变形创新理论。

(5) 提出将机构拓扑缩图与数组相结合，构造机构拓扑图的理论与方法。建立了拓扑缩图映射数组的模型，制定了数组同构和无效机构判定准则，编程自动识别了同构数组和判定无效机构。基于机构自由度的要求，用该方法综合手指、手腕和并联机构和分支机构，综合的一些平面并联机构具有高刚度、精确定位、高速和加速能力等显著优点，在精密外科手术中有着广泛的应用。用这种综合方法和理论，为综合混联机构、手指机构、并联传感器和混联操作手机机构等提供理论依据。

四、代表性论文专著目录（不超过 5 篇）

序号	论文（专著）名称	发表刊物 (出版社)	年卷页码 (XX 年 XX 卷 XX 页)	发表（出版） 时间 (年月日)	通讯 作者 (含共同)	第一 作者 (含共同)	全部 国内 作者	他引 总次 数	检索 数据 库
1	Development of a novel sensor for hybrid hand with three fingers and analysis of its measure performances	Mechanical Systems and Signal Processing (1 区 top, if 5.08)	2017, 82(1): 116-129	2017 年 2 月	路懿	路懿	王永立 叶妮佳 陈立伟	5	WOS -SCI/ SSCI
2	Analysis and determination of associated linkage, redundant constraint, and degree of freedom of closed mechanisms with redundant constraints and/ or passive degree of freedom	Journal of Mechanical Design (2 区, if 3.03)	2012, 134(6) 文 献号: 061002	2012 年 6 月	路懿	路懿	叶妮佳 路扬 毛秉毅 翟旭 胡波	5	WOS -SCI/ SSCI
3	Dynamics model of redundant hybrid manipulators connected in series by three or more different parallel manipulators with linear active legs	Mechanism and Machine Theory (1 区 top, if 3.63)	2016, 103(9): 222-235	2016 年 9 月	路懿	路懿	代卓宏	13	WOS -SCI/ SSCI
4	Stiffness analysis of parallel manipulators with linear limbs by considering inertial wrench of moving links and constrained wrench	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing (2 区, if 4.0)	2017, 46(8): 58-67	2017 年 8 月	路懿	路懿	代卓宏 叶妮佳	8	WOS -SCI/ SSCI

5	Autoderivation of topological graphs for type synthesis of planar 3dof parallel mechanisms	Journal of Mechanisms and Robotics - Transactions of the ASME (3 区, if 2.6)	2010, 2(1): 文献号: 011002	2010 年 1 月	路懿	路懿	丁玲 于建 平	20	WOS -SCI/ SSCI
合计		if 18.34							