

六、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1. 博士论文研究方向： 具有大范围变形能力和大幅度变刚度能力的软体机械臂

选题类别：

☐基础性研究

☐应用性研究

☐工程技术攻关研究

☐新开辟的研究方向

☒已有研究方向的继续

☐其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

选题背景及意义。软体机械臂在介入式外科手术、复杂装配体内部检修、狭小障碍空间作业、人机共融等方面具有优势，这些场合往往要求机械臂具有大范围连续变形能力以适应腔道、管道、狭窄空间、障碍交错等复杂环境；同时，为了使机械臂具有一定的负载能力，往往要求机械臂在一定范围内可变刚度。因此，具有大范围变形能力和大幅度变刚度能力的软体机械臂在上述场合具有优势，可以胜任刚性机器人无法完成的任务。

主要研究内容：

总体方案：机械臂是一个薄壳结构体，采用介电弹性体（Dielectric Elastomer，DE）驱动，实现机械臂的大范围变形；采用形状记忆聚合物（Shape Memory Polymer，SMP）实现机械臂的大范围变刚度。具体研究内容如下：

1) 电场作用下软体机械臂结构体及等效机构的力学特性分析

力学特性分析是软体机械臂变形致动机理分析的基础工作。电场作用下，DE薄膜在切向延展，使结构体平衡破坏，使框架的变形量发生变化，进而驱动机械臂工作。因此软体机械臂的大变形致动根源于电场作用，分析其大变形致动机理，需要首先分析其在电场作用下结构体的力学特性：包括DE在电场作用下的应力场、框架在DE作用下的变形场以及结构体的刚度特性。此外，软体机械臂虽然是一个结构体，但大变形使其具有明显的机构学特征，应对其等效后的机构的力学特性进行研究，从而全面地描述系统的运动规律和力作用规律。

2) 软体机械臂的机电耦合特性分析及系统动力学模型构建

DE在变形过程中，其自身电容和柔性电极的电阻也将发生变化，从而影响DE薄膜的充放电速度，进而影响薄膜内部电致应力的响应曲线；因此在研究软体机械臂大变形致动的机理时需要分析电场参数与框架运动参数之间的相互耦合特性，建立系统动力学模型，描述DE薄膜和框架的动力学行为。利用模型分析框架的转动惯量、弯曲刚度、DE加载电压等参数对框架暂态响应的影响；建立框架输出位移和输出力矩与加载电压之间的暂态定量对应关系，以此优化其动态性能，为系统设计和控制提供指导。

3) 多场耦合作用下软体机械臂的变刚度模型及刚度调控策略研究

温度场变化是SMP框架实现变刚度的前提，因此在研究软体机械臂变刚度机理时需要分析温度场对SMP和DE的影响。研究温度场在SMP框架中的传导过程及温度对SMP模量的影响，研究温度场对DE性能参数的影响，在此基础上结合电场作用下结构体的力学分析结果建立软体机械臂在电场和温度场耦合作用下的变刚度模型，即刚度时变模型。面向机械臂的变形要求和承载要求，给出框架各部位的刚度分配及调控方案，再结合软体机械臂的变刚度模型给出热电流的加载控制策略。

4) 软体机械臂的制备工艺及相关实验研究

硅橡胶DE的粘弹性小，较丙烯酸更加稳定；因此本项目在丙烯酸DE结构体的基础上，进一步研究基于硅橡胶、硅橡胶-碳粉混合电极、SMP框架的结构体制备工艺，进而制成基于DE和SMP的软体机械臂。研究软体机械臂的分阶段固化工艺，将SMP、硅橡胶连接层、硅橡胶薄膜、硅碳混合电极等分阶段固化，使之成为一个结构体，实现各部分之间的可靠联结。研究SMP内部的热电阻丝铺丝固化工艺，探索基于SMP纤维和热超导材料的新型框架。制备超轻质软体机械臂样机，完成相关实验，验证并改进上述各模型。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

基于多元智能材料的超轻质软体机械臂大变形致动及变刚度机理研究，91648106，国家自然科学基金重大研究计划培育项目。

2019年招生计划

六、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1. 博士论文研究方向： 基于硅橡胶软传感器的穿戴式人体上肢运动检测技术

选题类别：☐基础性研究 ☐应用性研究 ☐工程技术攻关研究
☐新开辟的研究方向 ☒已有研究方向的继续 ☐其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

选题背景及意义。现有的穿戴式人体运动感知技术多是基于刚性感知器件完成的，比如编码器、IMU等。由于其刚度大导致贴身性差，不易在穿戴系统进行安装；此外，易抖动等原因导致精度不高、稳定性也不能保证，其作为反馈控制信号难以实现闭环控制。如果利用柔软贴身的传感器件来检测人体运动姿态信息将克服上述不足。

主要研究内容：

（1）针对实验室目前开发的软传感器的工艺缺陷，对柔性电极、硅橡胶薄膜、等离子处理工艺参数、引脚封装工艺进行优化。在深入分析材料界面特性的基础上，面向超薄超软高粘性目标完成硅橡胶及硅碳电极相关参数及制备工艺参数的优化。

（2）根据腕关节、肩关节、髋关节等多自由度关节运动测量的要求，设计可用于多通道信号采集处理的硬件系统，能够同时对多路传感器信号快速采样处理，满足外骨骼系统及康复训练对运动检测的实时性要求。搭建了上位机与传感器的通信模块，完成电路的小型化及抗干扰设计。

（3）在多自由度关节运动分析的基础上，对传感器贴装位置、运动测量标定方法、系统集成工艺进行研究。针对腕关节、肩关节、髋关节等多自由度关节的各分运动的特点，对各传感器进行贴装位置设计。设计各关节运动测量和标定器具，研究标定方法。

（4）研究腕关节、肩关节等多自由度关节的解耦算法。针对腕关节和肩关节的肌群分布特征及皮肤表面变形与关节转角的关系特征，建立分运动与合成运动之间的关系矩阵，进而利用分运动测量传感器信息得到多自由度关节的合成运动信息，即全方位姿态信息。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

基于硅橡胶传感的低成本软韧数据手套研发, 2017GGX10128, 山东省重点研发计划