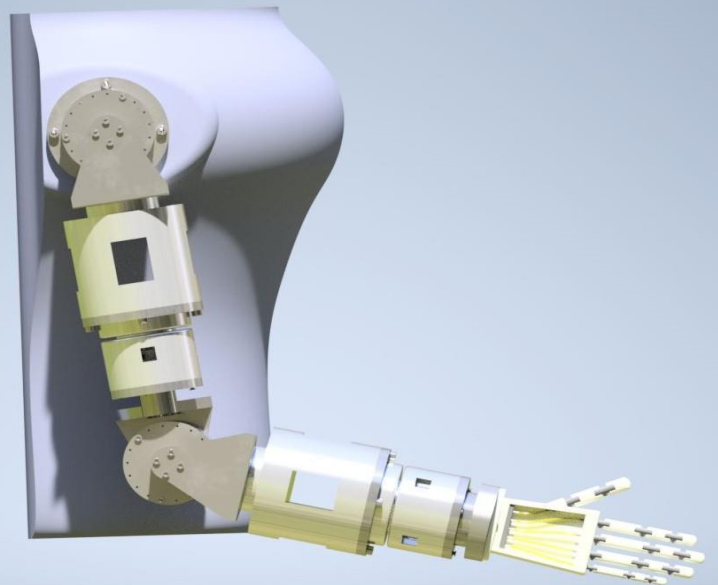


基于多腔室气动型柔性驱动器与机械传动驱动的仿人机械手臂

设计说明书



设计者：王立鑫、叶星志、于璇

指导教师：苑佳宇

基于多腔室气动型柔性驱动器与机械传动驱动的仿人机械手臂

摘要

本文首先根据调研给出了机械手（包括柔性和刚性）的国内外发展水平，总结现今机械手的设计的先进性与局限性，针对局限性本设计提出了一种多腔室气动型柔性驱动器与机械传动的仿人机械手臂，并对其进行了设计说明，结构上柔性手指结合机械传动驱动的仿人机械手臂，刚柔并济，手掌部分可实现对物品自适应性柔性抓取，抓取柔和，同时机械臂提供了足够多的自由度，具有较好的柔顺性、适应性、灵巧性^[1-3]和较高的自由度，能适应工业生产和生活服务中各种复杂的工作环境。

关键词：多腔室气动型柔性驱动器、机械传动的仿人机械手臂、柔顺性、适应性、灵巧性

Abstract

This paper first gives the development level of manipulator (including flexibility and rigidity) at home and abroad according to the research, summarizes the advanced and limitations of the design of the present manipulator, aiming at the limitations of this design proposed a multi-chamber pneumatic flexible driver and mechanical transmission of humanoid mechanical arm, and its design description, Structure of flexible fingers combined with mechanical drive humanoid robotic arm, rigid-flexible economic, palm part which can realize flexible adaptability to grab, grab a soft, at the same time provides enough degrees of freedom mechanical arm, has good flexibility, adaptability, dexterity^[1-3] and a high degree of freedom, can adapt to all kinds of complicated work in the industrial production and life service environment.

Keywords: multi-chamber pneumatic flexible actuator, mechanical drive humanoid robot arm, flexibility, adaptability, dexterity

目录

摘要	I
Abstract	II
一、绪论	1
1.1 产品设计背景.....	1
1.2 国内外研究现状.....	1
1.3 产品设计目的及意义.....	2
二、设计理念及方案	2
2.1 整体设计及原理.....	2
2.2 手掌设计.....	3
2.2.1 手掌外形设计.....	3
2.2.2 柔性指体设计.....	3
2.2.3 手指关节设计.....	4
2.3 机械臂设计.....	5
2.3.1 机械臂关节设计.....	5
2.3.2 变向器及其他连接件设计.....	6
2.4 材料选择及成本分析.....	6
三、结构及功能特点	7
3.1 手掌结构及功能特点.....	7
3.2 机械臂结构及功能特点.....	7
四、特色与创新.....	8
五、参考文献.....	8
六、附录	10

一、绪论

1.1 产品设计背景

近年来，在全球机械自动化的带动下，掀起了智能机器人发展的热潮。随着机器视觉、机器感知技术的发展、形形色色、功能各异的机器人产品开始出现在人们的生活中。其中机械手是机器人的最重要组成部分之一，作为绝大多数机器人的直接执行机构，其属性直接影响机器人用途的广泛性与实用性。机械手在生活中发挥的重要作用越来越为人所关注，未来市场需求会与日俱增。

如今，各种机械手蓬勃发展，应用广泛。现有机械手具有多种结构形式，如夹持型、托持型、吸附型，能够实现部分夹持运动，但多为刚性结构，刚性机械手已被广泛应用于各类机械中，其设计、应用与功能相对已经十分成熟。刚性连接的机械手在分析控制上有一定优势，但其自由度少，在功能性、灵巧性、稳定性和适应性上无法兼顾，只能运用在特定场合、难以适应不同的抓取物及环境。因此，柔性机械手是未来主要发展的方向。在这种背景下，柔性机械手的概念开始被逐渐提出。通过柔性材料及柔性机构的使用，相较于传统的刚性机械手，柔性机械手有着更好的适应性、安全性以及人机互动能力，并可保护被抓取物品、以此在先进制造业以及人类日常生活中可以发挥出更大的价值。然而目前的柔性机械手抓取对象大多局限于形状较为规则的物体，对于不同场合，不同功能缺少合适的解决方案。

1.2 国内外研究现状

国内机械手的研究主要集中在耦合驱动、智能感知和生机电控制方面，大部分的研究还处在实验室阶段，真正用于服务的仿生机械手较少。国内比较具有代表性的仿生手有哈尔滨工业大学和上海交通大学的假肢手。哈尔滨工业大学研究的第五代假肢手，采用了五个模块化的手指，每个手指上集成了位置传感器和力传感器，完整的驱动器、传动机构、传感系统和控制系统，让每个手指可以独立完成感知和控制，该手可以实现很多模式的抓取，但不是同肌电信号控制，而是

根据给定的模式进行抓取控制。上海交通大学研究的假肢手 STU-5^[4]，通过采集表面肌电信号，利用协同作用的控制策略，实现了对水杯、笔记本等物体的抓取。

国外有很多灵巧假肢手，Cyber 手, Smart 手, RTRII 手和 UBN 手^[5]等等。这些手的设计主要考虑了外观、自由度、传感、控制和生物反馈等因素。它们具有多个自由度以提高手的灵巧度,并集成了多种传感器如位置传感器、力传感器等,来提高手的控制性能。然而,这些手由于过大的尺寸、重量或控制性能不足,很少真正被应用到生活服务中去。

1.3 产品设计目的及意义

综合以上的背景及国内外研究现状可以得出：机械手如今蓬勃发展，具有良好的市场前景，需求较大。但是机械手的发展却无法满足不同人的各种需求，刚性机械手发展相对成熟但也无法满足需求，存在许多局限性，一些工作要求较高的工作环境下机械手发展逐渐从刚性向柔性过渡，而国内一些高端学府及机构的研究设计更多偏向于机械手的算法控制。结构设计和算法控制是机械手必不可少的组成成分。除了优化算法，优化结构设计也尤为重要，毕竟一个好的结构是产品取得较大成功的前提。本次设计旨在对机械手的结构设计优化创新，设计一种柔顺性、适应性、灵活性、自由度较高的腔室气动型柔性驱动器与机械传动的仿人机械手臂。

意义：该产品完美继承了现有机械手的柔性抓取的优点，同时结合**传统机械臂刚性结构**，通过**外骨骼指节、多腔室型柔性驱动器、机械关节电机**等实现了对人机械手臂的仿生功能，具有良好的市场前景，可以解决许多工作难题，满足更多的市场需求，带动相关产业发展，更为重要的是解决和优化了现有机械手的一些局限性，使机械手发展更进一步，应用更为广泛。

二、设计理念及方案

2.1 整体设计及原理

该产品分为手掌和机械臂两部分，机械臂采用刚性结构，手掌部分采用柔性

结构，结合了刚性和柔性的功能特点，加大了该机械手的适应性。整体设计采用模块化设计，先对整体提出功能要求，模拟人的手臂结构及功能特点对整体进行分化，首先将整体分为手掌和机械臂两大模块，根据人体结构特点又将每个大模块细分为几个小模块，对每个小模块采取针对性设计，最终将几个子模块有机联合为一个整体，层层递进，使得整体能够实现功能。

2.2 手掌设计

2.2.1 手掌外形设计

手掌设计模拟人的手掌，结构如图 1 所示，包括掌面，指节外形等，指节的外形仿照人手指的椭圆柱形而建，区别于一些传统的三爪、四爪等机械手，形如人手的机械手无疑具有更高的抓取度及灵活性。

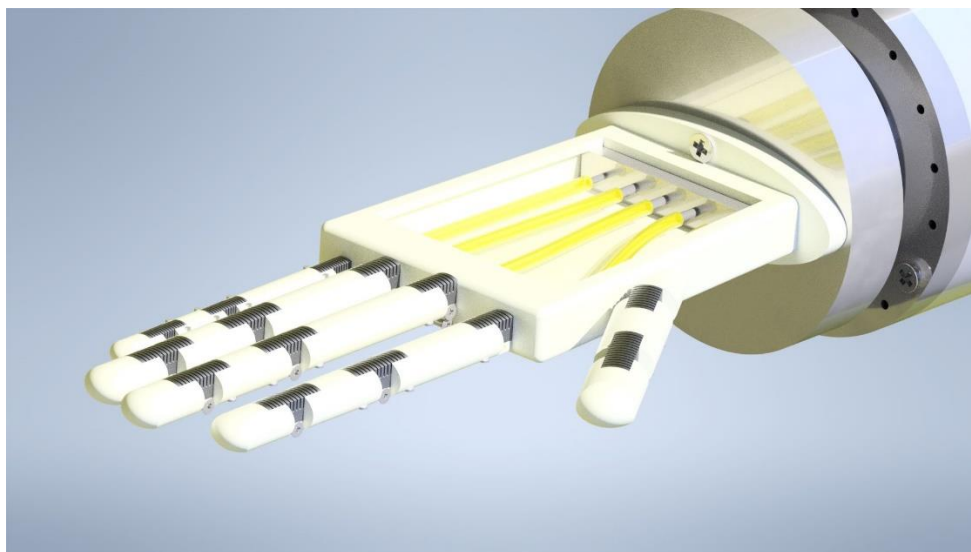


图 1 手掌外形结构图

2.2.2 柔性指体设计

传统机械手一般采用铰接关节，这种刚性连接只有一个旋转自由度，自由度少，很难适应环境和物体的形状。为了解决优化刚性机械手的问题，设计了一种多腔室气动柔性型指体，简称柔性指体。该指体采用欠驱动气动控制，利用柔性材料气动膨胀变形的原理。如图 2，结构上其腔体各有多个个腔室，且腔体都是

单向分布，此结构能够实现指体的单向弯曲。每个柔性指体连接不同的输气管，由气泵输入气流，实现气动膨胀变形。

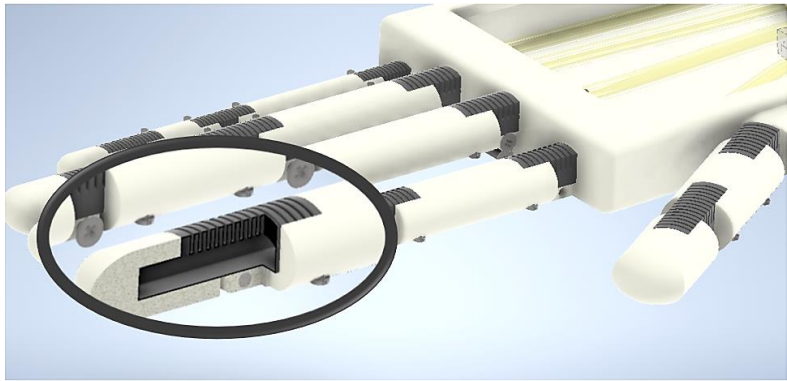


图 2 柔性指体内部结构图

柔性指体弯曲原理：柔性指体为多腔结构，当对其腔体充气时，腔体气压升高而膨胀变形，从而导致柔性指体发生偏转，实现关节的转动。因此，可以通过调节通入到关节内的压缩气体的气压、充气速度来控制关节弯曲角度的大小及快慢。充气前后的柔性指体如图 3 所示。

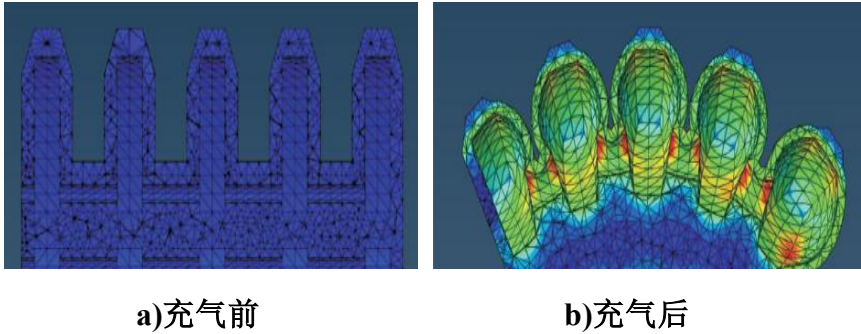


图 3 充气前后的柔性指结构图

2.2.3 手指关节设计

为了规避传统刚性手的局限性，引入了多腔室柔性指体的设计理念，此设计的核心在于柔性指体的柔顺性，但是单采用柔性指体作为手指无疑会将优势变为劣势，拥有足够的柔顺性而缺乏一定的刚度，在抓取物体时会因刚度不够而产生问题，对此，柔性指体外骨骼采用刚性体，结构如图 4 所示，外骨骼的外形特点也是根据柔性指体而建，每个手指拟人指体划分为三节，每节的外骨骼相对独立又有一定联系，在指体关节处外骨骼采用刚性铰接，此铰接处与门合页的作用机

理相同，提供足够刚性的同时又不限制柔性指体在指体关节处的柔性，外骨骼与柔性指体嵌套式连接，刚柔并济。刚性外骨骼起到连接、支撑和保护作用。

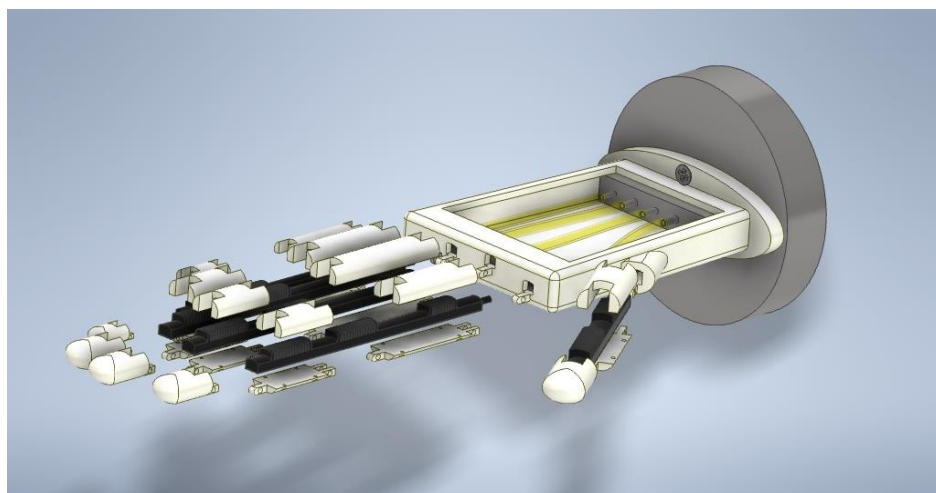


图 4 手指关节结构图

2.3 机械臂设计

2.3.1 机械臂关节设计

机械臂外形依旧模拟人手臂的结构特点，其中最为关键的无疑是关节设计。为了实现手臂关节处的自由度，设计了一种机械关节。如图 5，该关节由电机提供动力，由减速系统——行星齿轮系控制电机输出转速，配合电路控制输出不同转速，行星轮系外布置一圈转子，可以有效降低转动时的摩擦，减小阻力。该关节主要用于连接，输出绕轴向的旋转力矩。

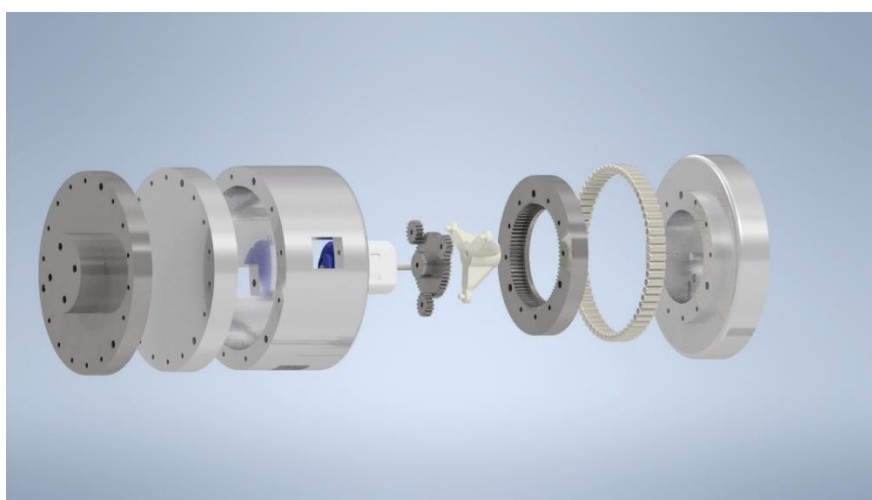


图 5 机械关节结构图

2.3.2 变向器及其他连接件设计

根据人手的结构特点，关节处需要输出不同方向的转矩，而机械关节只能输出绕轴向的转矩，需设计一个力矩方向转变的器件简称变向器。其结构如图 6 所示。该变向器与机械关节连接后与舵机的作用机理相同。

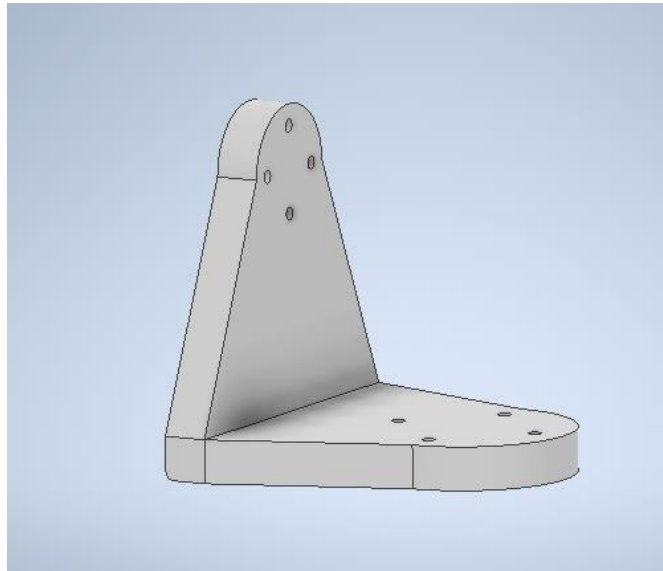


图 6 变向器结构图

此外，为了起到连接和加大工作范围的作用，加入了连接臂，其外形特点也是拟人手臂而建。

2.4 材料选择及成本分析。

此机械手的指体可运用橡胶 [6]、形状记忆合金 (Shape Memory Alloys, SMA) [7] 和智能材料 [8] 等柔性材料，既要有足够的柔顺性，又要有足够的结构强度。考虑到经济效益，柔性材料选用橡胶。机械臂及其他连接件由于需要起到连接和承力的作用，需要足够的刚度，可选用一些经济的合金，如铝合金。具体的材料需根据机械手的工作环境和要求由实验得出。总的来说，该机械手的结构简单，材料经济实惠，成本较低，具有较好的经济效益。

三. 结构及功能特点

3.1 手掌结构及功能特点

手掌外形结构、柔性指体、指体关节、气动输气管等共同构成手掌。手指采用柔性材料仿生人指体，可贴合不同物体表面，增大摩擦，紧密贴合抓取物体。同时柔性材料与被抓物体接触面积大，压强小，不易损害物体。多指结构对不同形状的物体具有较强的适应性，抓取时能完整的包裹物体轮廓。由于待抓取物品硬度各异，气腔及柔性贴合设计可以在柔性机械手抓取的过程中使机械手抓取更加柔和。更加突出柔性材料在柔性机械手中的作用。同一根手指上，各关节公用一根气动管进行驱动，通过调节通入到关节内的压缩气体的气压，充气速度来控制关节弯曲角度大小及快慢。通过对不同手指的气动管进行控制，机械手可以实现抓、握、弹、捏等不同姿态，以适用于不同领域不同功能通过气动系统控制各个手指都可以分别进行运动，以便调整出不同形态，适应不同形状的被抓取物体。

3.2 机械臂结构及功能特点

机械臂部分主要由机械关节、变向器、连接臂和一些连接件构成，如图 7 所示，变向器两端连接机械关节和连接臂后，就能实现力矩的方向转变。而连接臂则起到连接作用，同时也起到加长手臂，增大工作范围的作用。通过将机械关节、变向器、连接臂的有机组合实现了机械臂的多自由度运动。从结构上可看出该机械臂的连接包括手臂与手掌的连接都是旋转副，多个旋转副的共同作用下，该机械臂拥有足够多的空间自由度。与人手臂相比，自由度上有过之而无不及，关节处机械手都可以实现周角旋转，而人手的关节是做不到的，这也是机械手的一点优势；当然灵活性无法与之相比，但输入足够精确的控制后，该机械臂的灵活性做够完成作业需求。

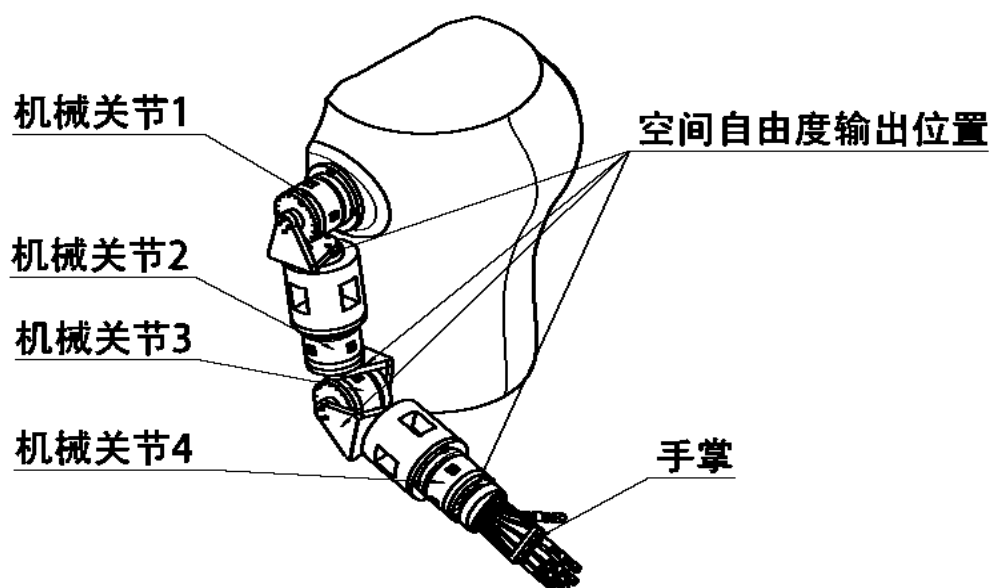


图 7 机械臂整体结构图

四. 特色与创新

1、指体关节方面采用欠驱动多腔气动柔性关节，由于其柔性特质，具有减震、缓冲压力的作用，避免了传统刚性机械爪运动时难以避免的震动等问题，使机械爪工作更加稳定可靠。欠驱动控制的应用也避免了多气动控制电机带来的复杂控制问题，优化了控制问题。此柔性手将传统的铰连接与柔性关节相结合，相比于传统机械手，有足够的柔顺性、适应性和自由度。

2、机械臂上引入了机械关节，该机械关节结合减速与控制于一体输出不同大小的转矩，除去控制该机械关节结构简单，输出稳定，该关节的作用机理与舵机相同，但比之舵机无论从结构还是功能上都更加贴合拟人手臂。机械关节接入的多个旋转副提高了空间自由度。

3、整体上该机械手采用刚性与柔性相结合，刚柔结合，即保证了其结构的强度、又保证了运动的安全性与稳定性，是传动刚性机械手无法比较的。

五. 参考文献

- [1] 张进华, 王韬, 洪军, 等. 软体机械手研究综述 [J]. 机械工程学报, 2017, 53 (13): 19-28. doi: 10.3901/JME.2017.13.019 ZHANG Jin-hua, WANG Tao, HONG Jun, et al. Review of soft-bodied manipulator [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53 (13): 19-28.
- [2] 李雪, 房善想, 陈爽, 等. 软体机械手研究现状及其应用 [J]. 制造业自动化, 2019, 41 (5): 85-92. doi: 10.3969/j.issn.1009-0134.2019.05.021 LI Xue, FANG Shan-xiang, CHEN Shuang, et al. The development status and its applications of soft manipulators [J]. Manufacturing Automation, 2019, 41 (5): 85-92.
- [3] 曹玉君, 尚建忠, 梁科山, 等. 软体机器人研究现状综述 [J]. 机械工程学报, 2012, 48 (3): 25-33. doi: 10.3901/JME.2012.03.025 CAO Yu-jun, SHANG Jian-zhong, LIANG Ke-shan, et al. Review of soft-bodied robots [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48 (3): 25-33.
- [4] 熊有伦, 熊蔡华. 机器人多指抓取的研究进展与展望[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2004, 5-10.
- [5] Cipriani C, Controzzi M. Objectives, criteria and methods for the design of the SmartHand transradial prosthesis[J]. Robotica, 2010, 28(06): 919-927.
- [6] 权利军. 纤维增强 3D 打印复合材料的制备及力学性能[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2016.
- [7] 王田苗, 郝雨飞, 杨兴帮, 等. 软体机器人: 结构、驱动、传感与控制[J]. 机械工程学报, 2017, 53 (13): 1-13.
- [8] 魏琼, 张永梁, 游颖, 汪泉, 基于多腔软体驱动器的柔性手指设计[J]. 机械工程学报, 2020.

六. 附录

6.1 产品装配体渲染图

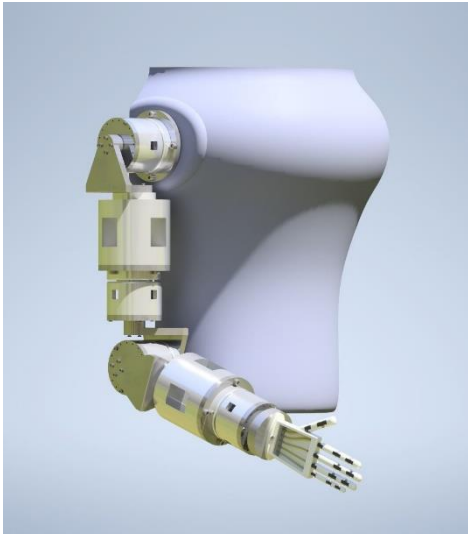


图 8 装配体直观图

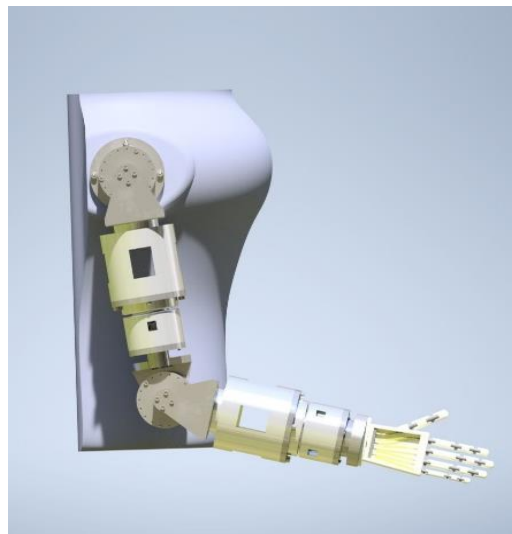


图 9 装配体左视图

6.2 产品二维工程图(见附件)

6.3 产品三维工程图（见附件）

6.4 运动仿真与结构分析视频（见附件）