

编号：

# 哈尔滨工业大学

## 大一年度项目立项报告

项目名称： 交叉式四指柔性机械爪

项目负责人： 彭睿 学号： 1190300520

联系电话：                      电子邮箱                     

专业集群： 工科试验班（智能装备） 辅导员： 丛丹赋

指导教师： 崔丽娟 职称： 高工

联系电话：                      电子邮箱                     

院系及专业：                     机电学院

哈尔滨工业大学基础学部制表  
填表日期： 2019 年 11 月 8 日

## 一、项目团队成员

姓名	性别	所在专业集群	学号	联系电话	本人签字
彭睿	男	工科试验班（智能装备）	1190300520		
范政霖	男	工科试验班（智能装备）	1190300523		
李成森	男	工科试验班（智能装备）	1190300521		

## 二、指导教师意见

<div>签 名：_____</div> <div>年    月    日</div>
---

## 三、项目专家组意见

<div>批准经费：_____元</div> <div>组长签名：_____（学部盖章）</div> <div>年    月    日</div>
---

## 四、立项报告

### （一）立项背景

#### 1、研究意义

我国工业规模和服务业规模在世界中占有较大比重,但是与西方发达国家相比,我国工业生产和机器人的自动化水平较低,很多生产线上的作业依旧需要通过手工来完成,其中很大程度上是因为缺乏可靠的柔性机械手来完成零部件的抓取<sup>【1】</sup>。就机械手抓取来讲,对易变形破坏的软性物体(如瓜果)、易碎的脆性物体(如禽蛋)、及形状不规则的、大小差别大的或异形的物体(如异形的包装容器)的抓取,采用机电结合的机械手,需要感知和精确控制运动和抓持力,否则会损坏这些类物品或不能有效抓持<sup>【2】</sup>【6】。而柔性机械手是由柔韧性材质制造而成,高柔韧性,可以大范围地改变自身的形态并且利用自身的柔韧性实现对目标物的保护<sup>【3】</sup>。柔性机械手也是服务机器人和智能制造机器人的关键部件之一,由于其极其重要和研发难度大,近年来成为机器人应用的一大瓶颈。

通过查阅资料发现,目前市面上使用的机械手多为由部件和刚性接头构成,有限的自由度,使它的使用范围大大缩小,且缺乏环境适应性。另外,由于刚性机械手与被抓物体是刚性接触,缺乏必要的柔顺性,人机交互是不安全的<sup>【4】</sup>【5】。虽然国外的研发机构在多年前就已经研制出了外观非常像人手的机械手爪,但其售价高达几十万元甚至上百万元,令许多消费者望而却步,而且其灵活度并不能很好地满足实践的要求,与人们的期望还有较大的差距,因此一直未能普及应用。因此,一种经济的、具有适应性的柔性机械手便有极大的市场潜力。

本课题小组成员在设计柔性机械手的过程中,充分考虑到目前市场上的机械手的不足,在吸收其部分成熟设计的同时,提出针对其不足之处的具体解决方案,使其既可以实现较准位置的控制又具备很好的柔顺性,很好地吸收仿生关节的优点。通过柔性接触和夹持力度的精确控制,从而很好地保证了被夹持物的安全性。

#### 2、研究现状

据了解,2017年10月12日,在智能机器人与系统国际大会(IROS)上,美国加州大学圣迭戈分校的工程师们展示了一款他们利用3D打印等技术开发的柔性机械爪(如图1)。它最大的特点在于没有采用常规的光学摄像方法,转而采用了3D扫描技术来“观察”要抓取的对象。因此,它不但能在黑暗环境中顺利抓到物体,而且可以准确把握住抓到物体的形状。这款机械爪有3根“手指”,每根都是由3节柔软的气室组成的。当气室中的气压发生变化时,手指便可以做出弯曲等动作,抓住物体。所以,与多数采用硬质材料的机械爪相比,这款机械手的灵活性要高很多。手指的促动器是通过硅胶翻模法制做的,而所用到的模具就是通过3D打印技术制成的,设备采用的是Stratasys公司的多材料3D打印机Objet350 Connex3,材料则是光敏树脂Veroclear。



图1 2017年IROS上美国加州大学展示的一款柔性机械爪

早在 2017 年 11 月 7 日，第 19 届中国国际工业博览会（CIIF2017）上，北京软体机器人科技有限公司（SRT）携全系列柔性夹爪产品亮相机器人展馆（如图 2）。SRT 夹爪是世界首款双通道结构柔性夹爪（已取得发明专利），其柔性动作单元的设计和制造的基础技术原理是在压强作用下超弹性材料各向异性变形原理。此外，其一大突出亮点是其柔性夹爪快换系统，通过机器人自动更换末端柔性夹爪或其它末端执行器，从而使机器人更具柔性的装置，可在数秒内完成柔性夹爪的更换，能有效降低流水线转产时间。同时，可以安置备份夹爪来快速响应流水线替换夹爪，有效降低停工时间。



图 2 2017 年 11 月 7 日 CIIF2017 上 SRT 全系列柔性夹爪

在 2018 年 12 月 11 日，中国科学技术大学发布了一款自主研发的新一代“机器人柔性机械爪”（如图 3），并现场成功演示了抓取从纸张、瓷碗到豆腐、蛋糕等物品的动作。不同于传统的“精确控制”“精确感知”思路，该机械手以独创的“容差性”为指导思想，采用“刚柔合一”的新技术，使其仅凭借对物体大概的感知即可完成对物体的抓取。而且同一个手爪不需要通过调整程序、结构和参数，就可以实现对不同对象的抓取。

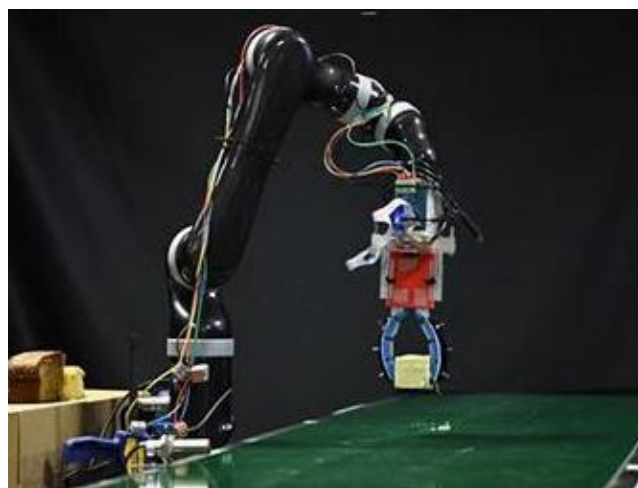


图 3 2018 年 12 月 11 日中国科学技术大学发布的  
一款自主研发的新一代“机器人柔性机械爪”

2019 年 3 月，德国自动化技术商 Festo（费斯托）公布了他们的新作：一只模仿人手制造的柔性机械手（如图 4）。该机械手没有骨骼，完全依靠手指上的气动波纹管结构来控制动作。当气室充满空气时，手指弯曲；气室排空时，手指呈伸展状态。拇指和食指中还装有旋转模型，使这两个手指可横向移动。通过这一设计，仿生机械手总共可实现 12 个自由度。还搭载了强化学习模块，这意味着这款机械手可以通过自我学习，来不断的优化自己的行动能力，最终成功完成布置给它的任务。当机械手拿到一件物体时，它会首先利用 3D 相机和深度传感器建立物体的虚拟模型，并通过 AI 进行模拟学习，在一次次的虚拟试错练习中掌握不会把物体弄掉的正确抓握方法，这样能更快地学会操作各种物体。

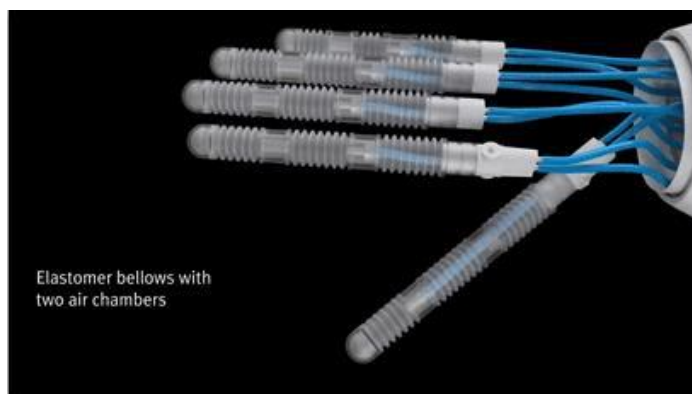


图 4 2019 年 3 月，德国自动化技术商 Festo 仿人手制造的柔性机械手

## （二）项目研究内容

本项目拟设计一种柔性机器手，机器手上装有四指，每指有三个关节三个指节，类似于人的手指（如图 5）。手指以金属为主体，指内侧接触物体实现抓取动作部分采用柔性材料，手指两两之间可交错，减小了由物体形状大小造成的限制，增加了对不规则物体抓取的自适应性。抓取方式上，可通过手指交叉形成一个较小的三棱柱型包围面实现对细小或细长物体的抓取；同时对于较大物体（手指无法交叉夹取），仍可采用两侧夹取的方式进行夹持。抓取过程由机器识别，尽可能实现对物体的包络，抓住物体后，依靠机器手指的夹力固定物体，并由内侧静摩擦力实现对物体的抓离动作。

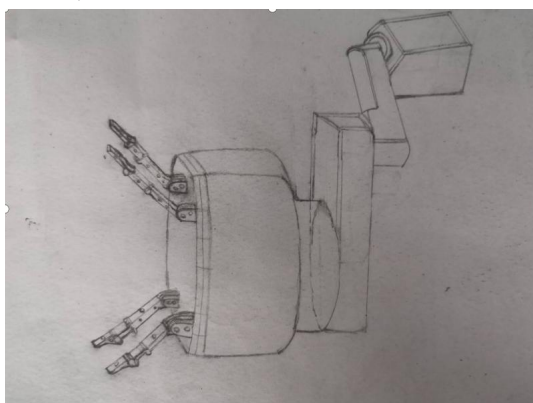


图 5 本项目产品机械手示意

### （三）实施方案

#### 1、了解国内外相关领域进展

小组成员大量查阅资料，通过对中外文专业论文，发明专利，新闻报道的深度调查研究，总结出当前机械手制造领域，尤其是柔性机械手在实际应用上的价值与优势，同时还要发现目前柔性机械手在设计生产过程中的困难与不足，了解解决具体问题的对策，为本项目中机械手的设计提供思路，绘制出大致框架，确立基本研究方向与要攻克的技术难点。

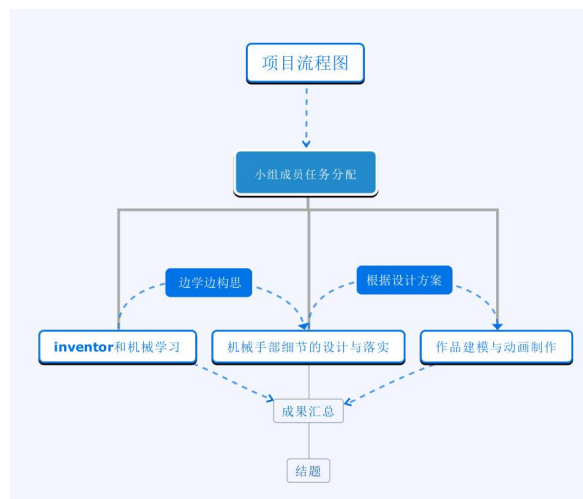


图 6 项目流程图

#### 2、相关知识的学习

了解机械手制造涉及的具体学科，如机械技术，力学分析，电子技术，传感技术，仿生控制技术。小组通过慕课，查阅书籍等方式完成对基本理论知识的学习，并在之后的设计优化过程中针对具体问题如对手指的控制、通过力的传感区别抓取力度的大小等，有目的的，深入的了解相关知识，以实践促进学习。

#### 3、设计手爪

了解机械手的具体构成后，针对手爪的各个部分进行探讨与设计。查阅相关资料，参考借鉴已有的成熟的机械手模型，了解设计生产中常用的传动驱动装置，结合实际情况在欠驱动<sup>[6]</sup>、全驱动、电动、气动等诸多解决方案中进行选择以达到可控制手指灵活抓取的目的。接着通过对各种柔性材料的平行对比实验，测定其成本、受力范围、是否易变形、是否易老化、是否可提供充足摩擦力、是否具有较好适应性、是否能与金属较好结合等特质，最终比较出一款符合项目要求的材料。通过对力的传感器的实验，对比研究传感器适宜的安裝位置、传感器灵敏度的影响因素等问题。结合抓取物体的大小、材质、形状以及现有以零部件生产机器人的难易程度确定机器人参数。最终将各部分研究成果进行汇总，形成一份成熟的，可执行的设计方案。

#### 4、三维建模

学习 inventor 建模软件。根据设计方案制作出机器人的三维模型，完成其不同抓取情况下的应力分析，针对出现的问题进行结构调整。完成演示动画，对机器人的构造及具体功能等进行直观展示。

#### 5、可能出现的困难

项目的关键问题是柔性机械手的抓取模式、抓取力度、操作方法的研究与实现以及刚柔性材料的结合等问题。而项目进行过程中，我们可能遇到的困难有：

- ①小组成员由于理论知识稍加欠缺而导致项目进行不顺；
- ②小组成员由于课程、学业任务的限制，各成员的时间可能较为紧张；
- ③对各种软件、理论知识的学习过程中，我们可能会遇到各种不理解的问题；
- ④小组讨论相关问题时意见可能不一致。



## 6、解决方案

针对以上困难，我们计划采用以下方式解决：

①海量搜索文献获取知识。一方面，对于项目中涉及到的具体知识，小组成员将通过慕课，查阅相关文献等方式学习掌握；另一方面，对于已有技术的学习借鉴将参考中国科技项目创新成果鉴定意见数据库，中国专利数据库及知网上的一些专利以及研究报告。

②列出小组成员空余时间表。通过对小组各成员的时间安排进行统筹分析，尽可能整理出小组成员可同时进行项目交流和实施的时间，在学习和项目实践间合理分配时间；

③积极向有关专业的同学、学长、指导老师等请教。将一个合理时间范围内出现的理解性问题汇总，再向上述人员一一请教；

④综合考量不同意见的正确性、可行性。由组长组织通过罗列优缺点，合理预估结果，最后达成共识的方式，让小组内部意见统一。必要时，采取投票制，由未提出意见的第三人作为判决者。如果无法达成共识，有必要向指导老师提出，请老师分析决断。

## （四）进度安排

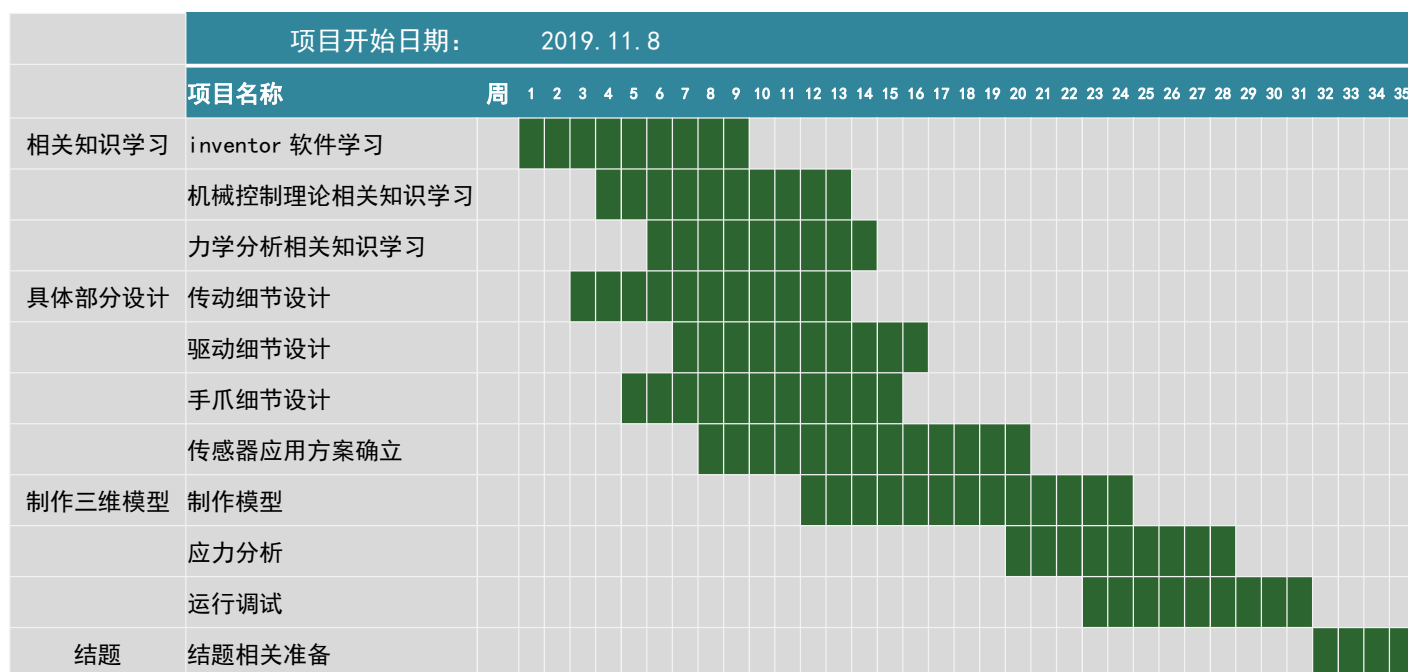


图 7 进度安排甘特图

## （五）中期及结题预期目标

**中期目标：**完成相关知识储备，对机器手的工作原理及涉及到的必要技术充分学习，掌握 inventor 软件的基本操作，完成对机器手的初步设计。

**结题目标：**完善机器手细节部分，在 inventor 软件上完成三维建模及应力分析，在调整过程中深入学习相关知识，制作演示动画。

## （六）主要参考文献

- [1]刘凡. 面向棚室果蔬采摘软体机械手研究[D]. 湖北工业大学, 2019.
- [2]崔志军, 贾江鸣, 鲁玉军, 陈宏程. 一种刚性与柔性联合驱动的农产品采摘机械手设计[J]. 机械工程师, 2019(01):57-59+63.
- [3]张进华, 王韬, 洪军, 王煜. 软体机械手研究综述[J]. 机械工程学报, 2017, 53(13):19-28.
- [4]李雪, 房善想, 陈爽, 张勤俭. 软体机械手研究现状及其应用[J]. 制造业自动化, 2019, 41(05):85-92.
- [5]董红兵. 一种充气式软体全向弯曲模块关键技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2016.
- [6]章军. 六关节三指苹果抓取机械手的自适应柔性分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(01):140-144