

## 一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	杭州士兰集成电路有限公司	
实践单位地点	杭州下沙经济开发区 10 号大街 308 号	
实践岗位名称	设备工程师	
专业实践训练时间	集中进行	2019 年 01 月 01 日开始 至 2019 年 06 月 30 日结束
		专业实践训练累计 180 天（单位考核前），其中项目研究天数 120 天（单位考核前）
<p>(1) 基本概况（含实践单位简介、实习实践内容等）</p> <p>实践单位：浙江大学控制学院机器人与机器智能实验室            实践内容：多自由度康复外骨骼柔顺控制与示教</p>		
<p>(2) 项目研究概述（含项目名称、项目来源、项目经费、主要研究目标和技术难点等）</p> <p>项目名称：多自由度康复外骨骼柔顺控制与示教研究；            项目来源：导师项目；            项目经费：无；            主要研究目标：实现四自由度康复外骨骼柔顺控制与示教；</p>		

(3) 项目开展情况 (含项目研究内容、研究方案及技术路线, 研究团队分工、本人承担任务及完成情况, 存在问题与改进建议等)

四自由度康复外骨骼连接后示教实验, 柔顺控制实验。

多自由度康复外骨骼研究团队包括朱秋国导师, 研究生: 石拓, 张思涵, 张胜利, 张永平。

本人负责四自由度康复外骨骼连接组装, 组装后的柔顺控制算法研究和实验, 示教控制算法研究和实验。

现已完成了柔顺控制, 以及示教控制的部分功能。

## 二、专业实践训练收获

### (一) 围绕考核评价指标体系, 举例说明以下收获 (不少于 800 字)

1, 在第一代肘部康复外骨骼和第二代肩部康复外骨骼的基础上, 搭建上肢康复外骨骼。上肢康复外骨骼包括肩部 3 个自由度, 肘部一个自由度。整个外骨骼系统安装在一个可以移动的平台, 并且可以调节肩部的位置, 上臂的长度, 来适应不同的使用者的情况。整个康复外骨骼系统通过上臂的绑缚装置和前臂的绑缚装置与使用者的上肢进行连接。在前臂的末端包含有一个握杆, 为使用者提供抓握, 可以在康复训练中让使用者与上肢外骨骼进行交互, 提高使用者康复训练的强度, 并可以在此握杆上增加力传感器, 通过特定的算法来辨识使用者的运动意图, 进而可以为控制系统根据使用者的运动意图实时调整上肢康复运动规划提供可能。

2, 外骨骼机器人可以分类成三个主要类别, 全身型, 模块化, 部分型外骨骼机器人。一套全身型外骨骼机器人包含了全部或大部分上肢和下肢, 部分型外骨骼包含了部分或某个人体关节, 而模块化的外骨骼是可以根据使用者的需求定制成全身型或部分型外骨骼。轨迹规划的难度一定是随着自由度的增加而加大的。不同的机器人配置需要不同的设置来实现辅助的运动。如果一个机器人在实现某个任务时, 它的运动自由度超过所必需的自由度, 这种机器人被称为运动学冗余。由于需要考虑奇异点的影响, 非冗余机器人的轨迹规划更具挑战。相较于不同类型的机器人, 不同的应用场景也会使得轨迹规划有所不同, 比如康复训练、运动辅助和体力增强。在康复训练应用中, 机器人需要被设计用来建立肌肉强度或者恢复损失的肢体功能。康复外骨骼机器人的作用是帮助患者恢复到患病前的状态和行为能力。外骨骼机器人可以设计成实现这样一种功能, 通过智能人机接口, 适当抵抗患者的运动, 激发患者的运动意愿, 增强患者的康复信心。辅助外骨骼机器人是用来辅助使用者完成诸如散步、跑步、上下楼梯和站立坐下等日常活动 (ADLs: activity of daily livings) 的。一般来说, 轨迹生成领域需要处理如下问题: 1, 如果通过简单的描述定义一个轨迹。2, 轨迹如何复现。3, 如何实时生成轨迹。如果在笛卡尔坐标系下进行规划, 有如下问题: 1, 中间点无法到达。2, 奇异点附近高关节率。3, 到达开始位置和目标位置可以由不同的解。3, 在实践中, 使用 MATLAB 对多自由度康复外骨骼的运动空间进行模拟, 对多自由度康复外骨骼的运动学控制进行模拟, 提升对多自由度康复外骨骼的控制认识与理解。

### (二) 取得成效

1, 通过对不同关节角度下, 各个关节所反馈的力矩值, 采用最小二乘法对 4 自由度康复外骨骼机器人各连杆的质量参数进行辨识, 根据辨识结果计算出在不同关节角度是的前臂和上臂的重力力矩, 将这个重力力矩加入到动力学控制中, 作为重力补偿, 对速度、力矩输出进行限制, 实现使用者与机器人之间的软件安全控制。实验结果表明, 在保证获得理想的位置跟随复现的同时兼顾了良好的使用者与机器人之间的交互柔顺性。

2, 运动学建模。建立 DH 参数的经典方法是系统性的为每一个连杆建立坐标系, 但对每个坐标系都有一些重要的限制, 同样的对于基坐标系和末端执行器坐

标系也有限制。经常与 DH 表示法一同使用的是零角度配置，零角度配置就是指所有的关节角度均在零度时的状态。对于本康复外骨骼来说，是一种常见的 L 型的姿态，上臂呈垂直状态，下臂在水平的状态。建立本论文中的四自由度康复外骨骼机器人的 DH 表，Matlab 建模程序如下：

```

%4-DOF Rehabilitation Exoskeleton %改进 DH
%Link(DH, option):DH = [Theta-i Di Ai-1 ALPHAi-1 SIGMA] clear; clc; d1=20;%肩部与支座之间 Offset d2=20;%上臂长度 d3=20;%前臂长度 L(1) = Link([0 d1 0 -pi/2 0], 'modified');%肩部左右摆动 L(2) = Link([0 0 0 pi/2 0], 'modified');%肩部翻转 L(3) = Link([0 0 0 -pi/2 0], 'modified');%肩部前后摆动 L(4) = Link([0 0 d2 0 0], 'modified');%肘部 Exo_robot = SerialLink(L, 'name', 'RehExo'); %建立连杆机器人 Exo_robot.plot([0 -pi/2 pi/2 0]) %显示并赋 4 个关节变量 theta 的初始值 3,
外骨骼实验平台 Maxon 无刷直流电机建模分析 本论文中使用到的无刷直流电机是 Maxon 的 EC45 无框盘式电机，直径 43.4mm，无刷，输出功率 70W，此款电机的产品编号为 548270。对此电机进行建模的参数来自于电机的规格说明书，Maxon 直流无刷电机数学模型 直流无刷电机的数学模型可以根据电机规格说明书中的参数使用如下等式建立： $G(s)=(1/K_e)/(\tau_m \cdot \tau_e \cdot s^2 + \tau_m \cdot s + 1)$  为了建立电机模型，需要计算  $K_e$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_e$ 。  $\tau_e=L/(3 \cdot R)$   $\tau_e=(0.463 \times [10]^{(-3)})/(3 \times 0.7)$   $\tau_e=220.47 \times [10]^{(-6)}$  根据  $\tau_m$  是  $R$ ,  $J$ ,  $K_e$  和  $K_t$  的函数。其中  $R=R_\phi=0.7 \Omega$ ;  

 $J_{Rotor}=240gcm^2=24 \times [10]^{(-6)} Kgm^2$ ;  $K_t=36.9 \times [10]^{(-3)} Nm/A$ ;  

 $\tau_m=0.0123 secs$ ; 根据如下公式  $\tau_m=(3 \cdot R \cdot J)/(K_e \cdot K_t)=0.0123$   $K_e=(3 \cdot R \cdot J)/(\tau_m \cdot K_t)=(3 \times 0.7 \times 24 \times [10]^{(-6)})/(0.0123 \times 36.9 \times [10]^{(-3)})=0.1110 (V \cdot s)/rad$  得到这些参数后， $G(s)$  变为如下形式： $G(s)=9.01/(0.0123 \times 220.47 \times [10]^{(-6)} \times s^2 + 0.0123 \times s + 1)$   $G(s)=9.01/(2.712 \times [10]^{(-6)} \times s^2 + 0.0123 \times s + 1)$  这个  $G(s)$  就是利用 Maxon 直流无刷电机的基本电机参数推导出来的电机开环传递函数。

```

**3. 在校期间主要研究成果【含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等】**

成果名称	类别 [含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数
------	---	---------------	----------------	----------

本人承诺

在专业实践训练及考核报告撰写过程中，如实提供材料，严守

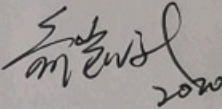
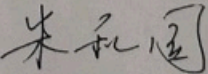
学术道德、遵循学术规范。

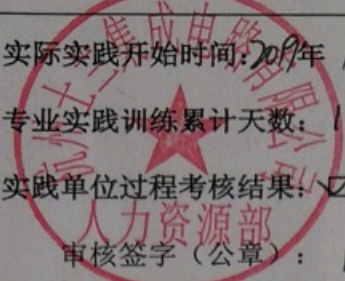
签字：

张川东

2020年4月16日

### 三、考核评价

<p>校外合作 导师(或现 场导师)  评价</p>	<p>重点对研究生项目研究开展情况、职业素养、行业知识掌握、环境和岗位适应能力、工程实践能力、团队协作能力，以及通过技术创新、成果转化、解决工程实际问题等取得的经济和社会效益等方面的评价：</p> <p>同意。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字： 2020年5月9日</p>
<p>校内导师  评价</p>	<p>重点对研究生科学素质、基础及专业知识掌握、技术应用创新能力、取得的研究成果、项目研究与学位论文撰写的相关程度等方面的评价：</p> <p>同意。</p> <p>校内导师签字： 2020年4月19日</p>

实践单位 过程考核 意见	实际实践开始时间: 2019年1月1日    实际实践结束时间: 2019年6月30日 专业实践训练累计天数: 180天    其中项目研究天数: 120天 实践单位过程考核结果: <input checked="" type="checkbox"/> 优秀 <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 审核签字(公章): 陈心云    2020年5月11日 
最终考核 结果审核 备案	考核总成绩(由现场答辩考核成绩90%+单位过程考核成绩10%组成): 是否重修: <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 教学管理部(或相关分院)审核签字(公章): _____ 年 月 日 日

#### 四、相关支撑材料

在校期间主要研究成果【含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等】证明材料原件扫描件，具体提交要求如下：

1. 产品与样机扫描件包含企业证明材料（含产品与样机功能及创新性介绍、社会经济效益、个人贡献说明及相关照片等）。
2. 授权专利扫描件包含专利证书授权页；未授权专利扫描件包含专利受理书扫描件和专利请求书扫描件。
3. 著作扫描件包含封面、封底和版权页。
4. 软件著作权扫描件包含著作权证书和登记申请表。
5. 论文扫描件包含封面、封底、目录和论文全文（含收录证明）。
6. 标准扫描件包含封面、版权页、发布公告、前言和目次。
7. 获奖扫描件包含显示单位和个人排名的获奖证书。
8. 成果转化扫描件包含企业证明材料（含成果技术说明、社会经济效益、个人贡献说明及相关照片等）。