

国家级大学生创新创业训练计划项目 结题报告

项 目 编 号： 2020-CXCY006

项 目 名 称： 基于深度级联卷积神经网络的
机器人控制目标位姿学习系统

项 目 负 责 人： 曾银雪

联 系 电 话： 13588218705

指 导 教 师： 周乐

联 系 电 话： 13656648682

结 题 日 期： 2021 年 5 月 10 日

项 目 类 别： 创新训练项目 ☒
创业训练项目 ☐
创业实践项目 ☐

一、项目情况

项目概况	项目名称	基于深度级联卷积神经网络机器人控制目标位姿学习系统						
	项目性质	() 基础研究 (√) 应用研究						
	项目来源	() 自主立题 (√) 教师指导选题						
	起止时间	自 2020 年 6 月 至 2021 年 5 月						
项目状况		1、√ 研发阶段 2、中试阶段 3、批量（规模）生产（选项打√）						
项目负责人	姓名	曾银雪	性别	女	出生年月	1999. 11	学历	本科
	所在学院	自动化与电气工程学院		联系电话	13588218705	电子信箱	zengyinxue_email@163.com	
项目组成员		姓名	性别	学历	专业	具体分工		
		曾银雪	女	本科	自动化	代码编写		
		夏王法	男	本科	自动化	硬件调试		
		余李新千	男	本科	自动化	采集并处理过程数据		
指导教师	姓名	周乐	性别	男	出生年月	1987. 11		
	职称	副教授	联系电话			13656648682		
	主要研究方向	工业过程数据建模、故障诊断的研究						

<p>项目主要内容</p>	<p>针对工业机器人的控制目标识别难、现有目标特征提取识别方法精度低、鲁棒性差并且无法满足工业应用要求等问题，研究基于机器视觉的工业机器人复杂工况下目标识别算法，利用先进的数据处理技术和深度学习技术，对机器人抓取目标的特征提取进行研究，结合双目视觉特征点定位方法的特点，从而提出基于级联卷积神经网络的机器人抓取目标的位姿估计方法。该项目深度学习网络模型通过硬件设备和基于 Anaconda 平台的 Python 软件编程两部分组成，主要将瓶体做为实验对象从而达到模拟机器人关键点识别和采集的功能。在此基础上，算法数据集双摄像机采集图像，包含倒置光面瓶体各旋转角度的样本图像，基于 labeling 平台手工标注瓶体目标检测框及关键点坐标标签。其中，该项目模型算法实现级联卷积神经网络位姿估计学习系统如图 1-1 所示。</p> <div data-bbox="446 1030 1324 1411"></div>
---------------	--

图 1-1 位姿估计学习系统的原理流程图

二、项目实施情况总结

一. 项目实施情况简介

从 2020 年 6 月到 2020 年 9 月，通过国内外文献检索，了解该项目的研究背景和确定研究方向。主要针对于国内外研究现状，以此明确该项目的可行性和可操作性。在此阶段当中，基本完成资料收集整理和理论学习并在此基础上搭建代码框架和进行软件调试。初步确定该项目的研究路线如图 1-1 所示：

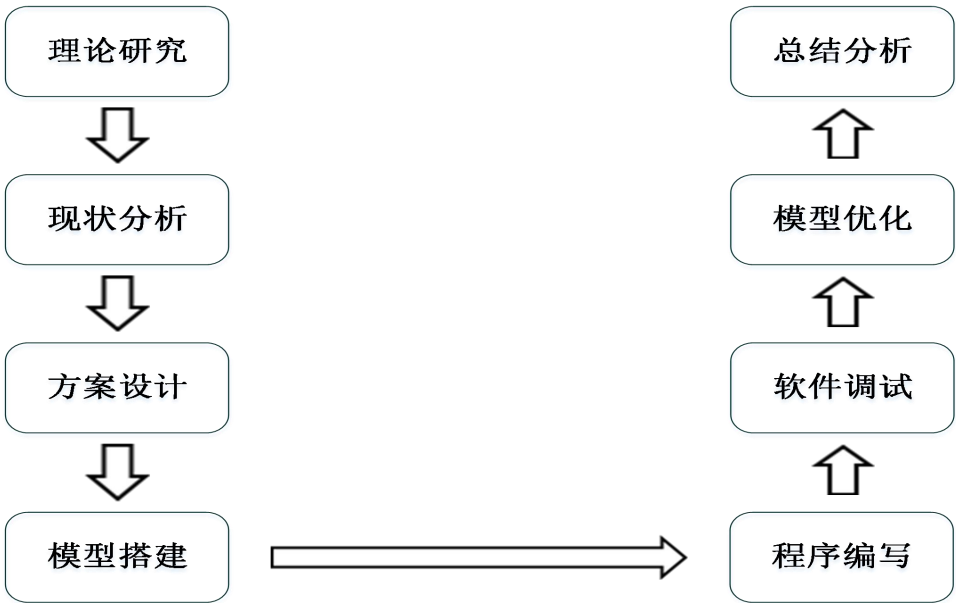


图 1-1 项目研发技术路线框图

该项目主要分为四个阶段：

- ◆项目初期(2020 年 6 月至 2020 年 7 月)，查阅文献，了解研究背景，级联卷积神经网络理论研究和深度学习 Python 编程；
- ◆项目前期(2020 年 7 月至 2020 年 9 月)：以瓶体为研究对象完成目标体的选取，编写代码进行调试，建立级联卷积神经网络模型进行模型训练；
- ◆项目中期(2020 年 9 月至 2021 年 2 月)：依照项目中的试验方案进行试验测试并在此过程当中调试不断进行优化，达到位姿估计关键点估计精度的提高；
- ◆项目后期(2020 年 3 月至 2021 年 5 月)：整理项目资料，完成测试，结题。

二. 项目研究内容及方法的创新

(1) 项目研究内容:

该项目采用软件仿真输出实验结果，算法数据集双摄像机采集左右各 134 张光面瓶体图像，其中 126 张为训练集，包含倒置光面瓶体各旋转角度的样本图像，基于 labeling 平台手工标注瓶体目标检测框及关键点坐标标签。左右各 8 张为测试集，旋转角度分别为 $0^{\circ} \sim 315^{\circ}$ ，每张间隔 45° 旋转角度。

基于级联卷积神经网络的关键点定位具体步骤如下：

- (a) 将原始图像输入 Faster-RCNN 获得瓶体所在区域的检测框；
- (b) 根据获得检测框确定裁剪范围，裁剪去除大部分无关背景，获得包含所有关键点的光面瓶体图像，同时更新关键点像素坐标，生成对应热图标签；
- (c) 将获得裁剪图像输入粗定位网络，独立训练 5 个粗定位子网络模型；
- (d) 将 5 个粗定位子网络结果取平均，得到粗定位结果；
- (e) 根据粗定位网络四个关键点的检测结果为中心，确定裁剪范围，获得四个关键点的光面瓶体局部图像，同时更新像素坐标标签；
- (f) 将获得裁剪图像输入精定位网络，独立训练 4 个精定位子网络模型；
- (g) 整合 4 个精定位子网络结果，得到最终关键点定位结果。

其中，级联卷积神经网络关键点定位流程如图 2-1 所示。

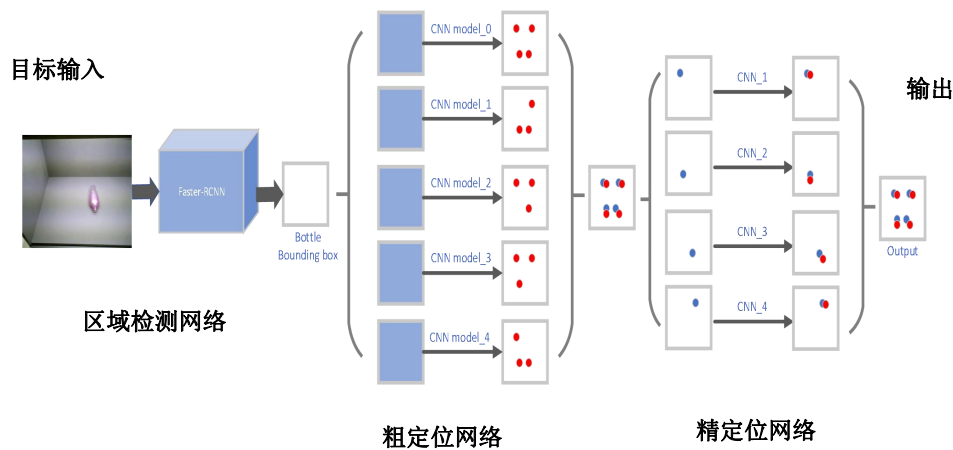


图 2-1 三级级联卷积神经网络

(2) 输出结果

级联卷积神经网络共由三级网络组合而成，因此对实验结果采用逐级分析的方法，对每一级网络的实验结果进行评价及分析。第一级第一级区域检测网络的作用是检测获取图像中瓶体所在区域。图 2-2 为不同姿态瓶体区域检测结果。从图上可以看出，Faster-RCNN 准确的检测出光面瓶体于图像中的所在感兴趣区域，且光面瓶体处于检测框的较中间位置，具有较高的检测精度，为后续中心裁剪与关键点定位提供了良好的条件。

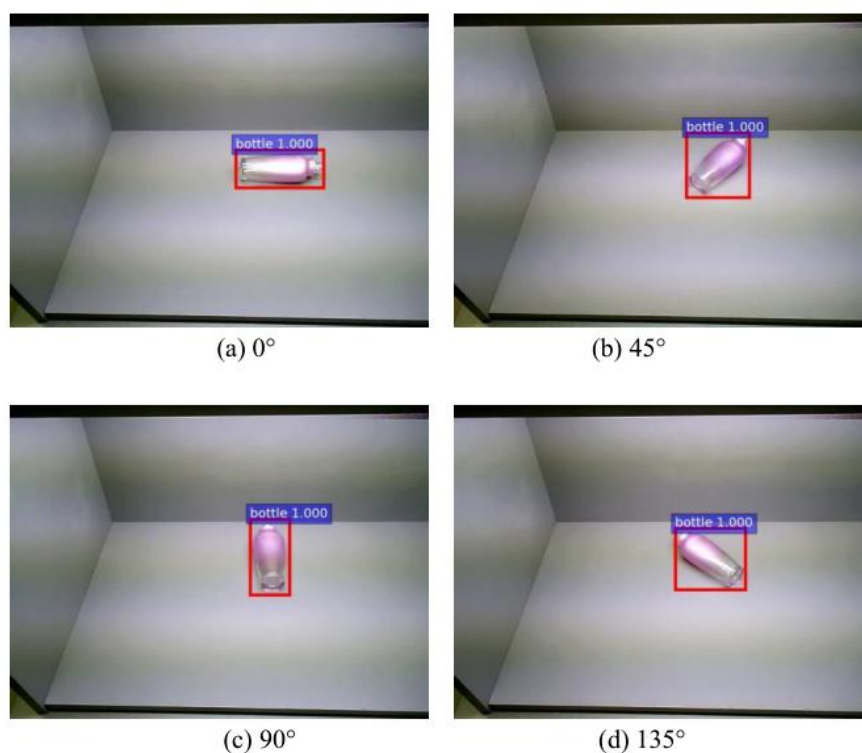


图 2-2 不同姿态瓶体区域检测结果

图 2-3 为不同姿态角度瓶体粗定位结果。图中红色点为模型预测关键点。蓝色点为真实标签。测试样本结果图像中蓝色点与红色点之间存在一定的误差。粗略定位各个关键点的位置，还需后续精定位提高精度。

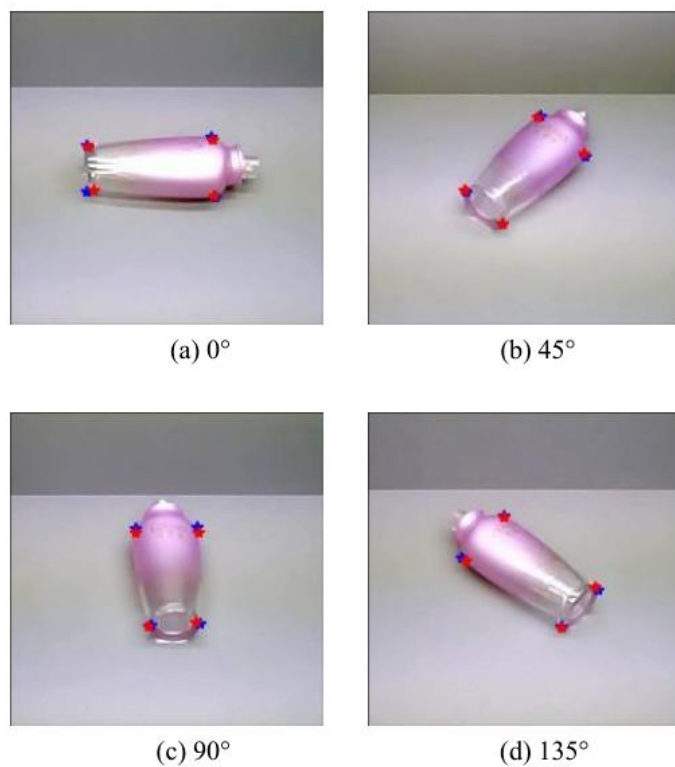


图 2-2 不同姿态瓶体粗定位检测结果

如图 2-3 为不同姿态角度瓶体的精定位结果。精定位网络输入为粗定位的四个关键点所对应的图片区域，通过裁剪去除无关区域干扰，减少了搜索范围，准确地定位关键点位置。

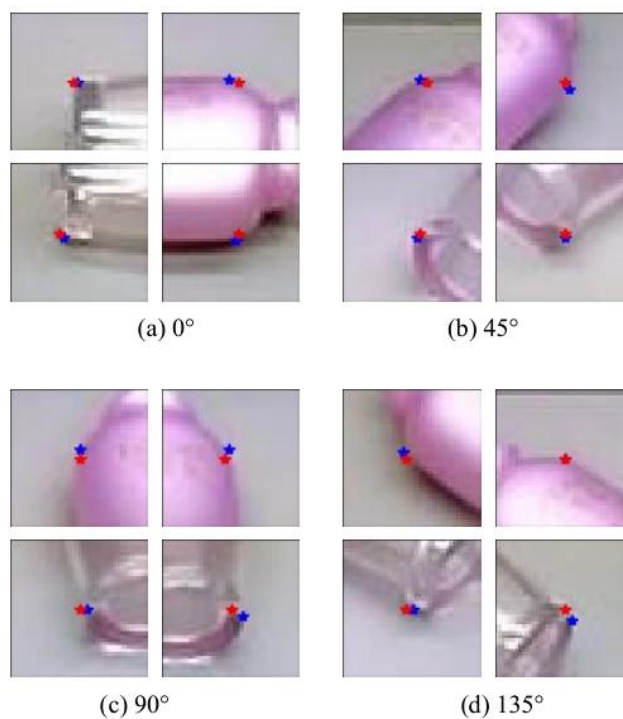


图 2-3 不同姿态瓶体精定位检测结果

表 2-1 级联卷积网络角度估计结果

光面瓶体 旋转角度	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
真实值(°)	0	45	90	135	180	225	270	315
预测值(°)	2.06	47.03	90.85	137.71	168.71	232.25	271.32	314.67
绝对误差(°)	2.06	2.03	0.85	2.71	11.29	7.25	1.32	0.33

表 2-2 级联卷积网络距离估计结果

光面瓶体 距离	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
真实值(mm)	252							
预测值(mm)	245.85	249.25	246.32	246.45	247.53	244.53	246.22	242.48
绝对误差(mm)	6.15	2.75	5.68	5.55	4.47	7.47	5.78	9.52
相对误差(%)	2.44	1.09	2.25	2.20	1.77	2.96	2.29	3.77

表 2-3 位姿估计均值误差

卷积网络 误差	角度	距离	
	平均绝对误差(°)	平均绝对误差(mm)	平均相对误差(%)
残差网络	15.01	6.21	2.46
三级级联网络	3.48	5.92	2.35

由表 2-1、2-2 可知，检测瓶体的距离绝对误差均小于 1cm，表征姿态的旋转角度绝对误差大都小于 3°，网络误差均值结果见表 2-3，通过对比残差网络在应对某些旋转角度的位姿时估计结果有很大的偏差造成平均误差过高，级联网络相较于残差网络在旋转角度的结果估计上，准确性有了显著的提升。同时，表征瓶体位置的距离误差也有所下降。

(3) 项目创新点

三级级联网络通过由粗到细的思想精确定位瓶体关键点的位置，通过对每一步的裁剪信息的记录，最后可反推确定原始图像中各个关键点的像素坐标位置，关键点预测结果如图 3-4 所示。

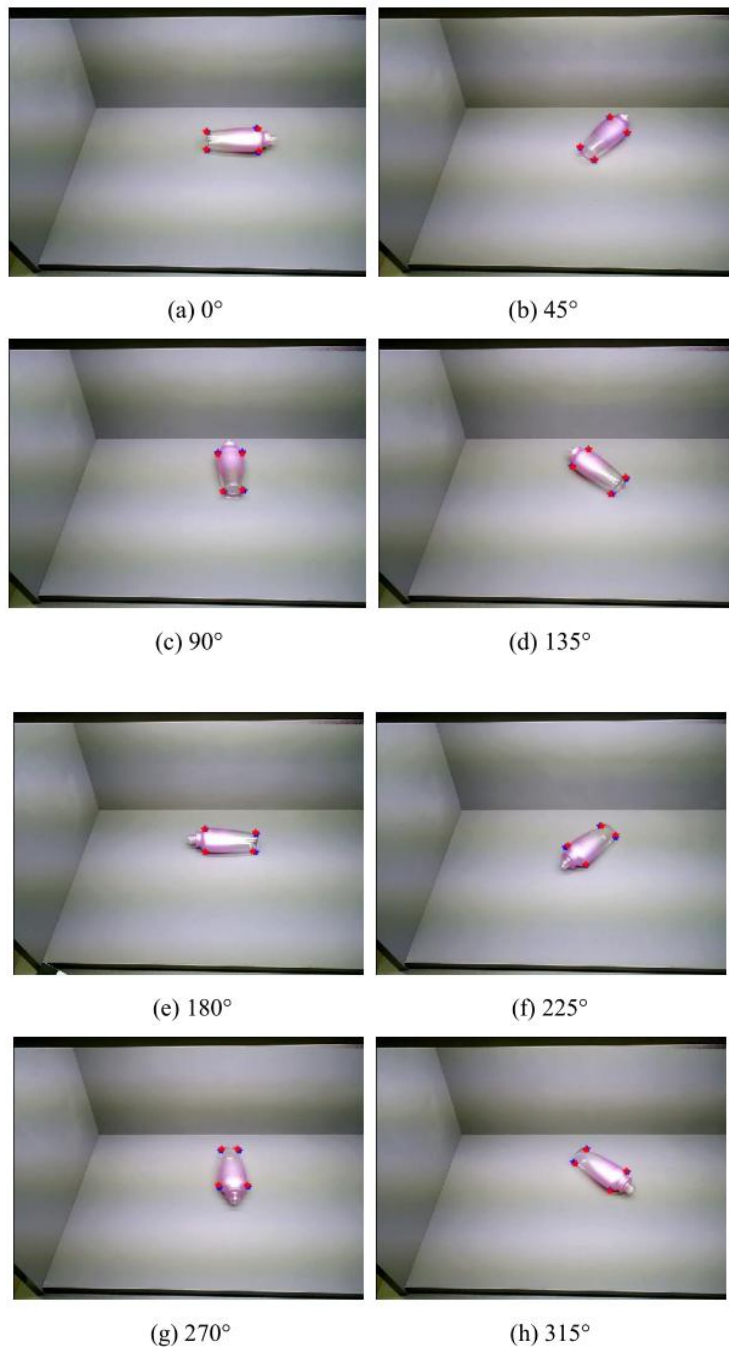


图 2-4 级联网路关键点定位预测结果

此外，基于传统工业机器人制造技术分析，本项目设计的基于级联卷积神经网络的机器人抓取目标位姿学习系统的优势和创新点在以下几个方面：

(a) 自学习性，强鲁棒性。通过应用深度学习方法，自学习、自适应的提取对应特征用于位姿估计，避免了人为设计特征的繁琐过程；特别是涉及到光照对瓶体的检测的影响，瓶体表面反光会造成部分特征信息的缺失时，与其他传统方法相比，其优

势更加明显。

(b) 本质特征，强适用性。通过特征点学习方法，根据学习到的特征点还原工业机器人抓取目标的位姿，所得到的是抓取目标的本质位姿特征，适用于不同作业类型的工业机器人，如吸盘、机械夹具等。而一些基于抓取框学习的目标检测方法仅适用于特定的机械抓取机器人。

(c) 深度学习，强迁移性。深度学习的机器人抓取目标位姿学习方法在应对不同的抓取对象时，不需要重新设计系统，可采用小样本数据，对级联卷积神经网络模型进行再训练，微调参数，就能应用于新的目标对象的位姿估计。

三. 项目成果的学术价值

本项目研究具有较高的学术价值，主要体现在以下几个方面：

(1) 级联卷积神经网络算法应用在机器人位姿估计的场合，相对于残差网络而言，在实验结果上对于提高检测精度和目标特征识别的准确性有较大改善；

(2) 该实验主要依靠软件平台对目标对象关键点识别和定位，再加上硬件平台对目标图像的捕捉，具有实验再现性，在学术研究上也更有价值和意义；

(3) 该项目区别于一般的机器人位姿估计，而是选用光面瓶体为目标对象，其瓶体具有反光性、不规则性、不光滑性等其他多复杂特征，在复杂对象上的研究最后迁移到相对简易的对象上，更具有适用性。

四. 项目成果的社会效益和经济效益

本项目当中的主要研究对象一瓶体，其大量出现在工业生产和日常生活中，常用做液体产品的包装。在各种相关的生产线中，对瓶体位姿的精确估计是保证瓶体抓取，液体灌装，瓶口封装等生产操作准确执行的前提。随着生产自动化要求提高，更复杂物体的姿态估计逐渐成为机器视觉领域的研究热点。复杂物体由于光照、旋转、纹理不显著等因素的多样性，边缘特征和纹理特征等基本视觉特征存在应用的局限性，因此需要研究基于机器视觉的精确目标识别分类、位姿估计方法，以实现工业机器人高效而精准的控制。该项目有利于提高传统检测方法的目标识别精度，在减少人为操作误差的情况下，更有利于提高生产效率。

五. 研究存在的不足或欠缺，尚需深入研究的问题

本项目仅适用于单个对象的位姿估计，在应对多个对象的检测时，区域检测网络在检测多个研究对象所在区域的过程中，可能会出现检测不准和重复检测等现象。因此，针对以上问题对模型训练本身提出了更高的要求。

注：本栏可加页。

三、项目实施经济效益和知识产权情况

经济效益	年产值（万元）		年利税（万元）	
知识产权	著作类			
	科技论文（篇）	1	科技著作（种）	
	专利类			
	专利申请受理（件）		发明专利数（件）	
	其他类（实物、模型等）			
获奖情况	国家级奖项	省级奖项	市级奖项	校级奖项
		6		3

四、项目成果统计

完成论文登记表（具体资料附页）

主要作者	论文名称	刊物名称、年、卷、期、页或论文集名称、出版社、页	论文被引用情况或三大索引收录情况	论文类别（打√）				
				国外重要刊物	国内重要刊物	学术会议论文		其他刊物
						国外	国内	
曾银雪、王尧欣、张淼、周乐	基于多采样因子分析回归的工业过程软测量建模	第31届中国过程控制会议(CPCC)					√	

完成论著及其它成果登记表（具体资料附页）

获奖成果名称	主要完成者	授奖单位	奖励名称	等级	日期
第十三届全国大学生“恩智浦”杯智能汽车竞赛	曾银雪	第十三届全国大学生“恩智浦”杯智能汽车竞赛组织委员	第十三届全国大学生“恩智浦”杯智能汽车竞赛浙江赛区	省级二等奖	2018.09
第十四届全国大学生“恩智浦”杯智能汽车竞赛	曾银雪	第十三届全国大学生“恩智浦”杯智能汽车竞赛组织委员	第十四届全国大学生“恩智浦”杯智能汽车竞赛浙江赛区	省级三等奖	2019.09
第五届浙江省大学生工程训练综合能力竞赛	曾银雪	浙江省大学生科技竞赛委员会	第五届浙江省大学生工程训练综合能力竞赛	省级三等奖	2018.12
浙江省大学生物理创新(理论)竞赛	曾银雪	浙江省高等教育物理类专业指导委员会	浙江省大学生物理创新(理论)竞赛	省级三等奖	2019.01
第五届浙江省大学生工程训练综合能力竞赛	曾银雪	浙江科技学院大学生科技活动于创新船业教育委员会	浙江科技学院第五届浙江省大学生工程训练综合能力竞赛	校级一等奖	2018.11
第四届新生电子设计大赛	曾银雪	浙江科技学院安吉教学事务中心	浙江科技学院第四届新生电子设计大赛	校级二等奖	2018.06
全国大学生移动通信应用创新大赛	夏王法	中国通信学会	第六届“大唐杯”全国大学生移动通信应用创新大赛大数据本科组浙江省省赛	省级一等奖	2019.07

浙江省第四届大学生机器人竞赛	夏王法	浙江省大学生科技委员会	浙江省第四届大学生机器人竞赛 旅游机器人探险比赛		省 级 三 等 奖	2019.05
第十六届“挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛	夏王法	共青团浙江科技学院委员会	浙江科技学院第十六届“挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛		校 级 三 等 奖	2019.05
专利名称	申请人或专利权人	发明人	申请号或	专利国别	申请日	授权日
论著名称	主要作者	出版时间	字数 (万)	出版社		
推广成果名称	应用单位		社会效益			
评议、鉴定成果名称	评议、鉴定单位		评议、鉴定日期			

五、项目经费使用情况

国家级大学生创新创业训练计划项目经费收入及支出明细表

项 目	金 额（元）	备 注
一、经费收入		
1、省财政经费		
2、学校配套经费	10000	
3、自筹经费		
4、其它		
二、经费支出		
1、设备费		
（1）购置设备费	2000	小型设备购买
（2）试制设备费		
（3）设备租赁费		
2、材料费	2000	实验耗材购买
3、测试化验加工费		
4、燃料动力费		
5、差旅费		
6、会议费		
7、合作、协作研究与交流费		
8、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	1000	论文版面费
9、人员劳务费		
10、专家咨询费		
11、其他开支		
三、经费结余	5000	

注：经费收入 = 经费支出 + 经费结余；

指导老师签名：

年 月 日

六、项目组承诺书

承 诺 书

- 1、本申请书中所填写的各栏目内容真实、准确。
- 2、提供验收的技术文件和资料真实、可靠，技术（或理论）成果事实存在。
- 3、提供验收的实物（样品）与所提供鉴定的技术文件和资料一致，并事实存在。
- 4、本项目的知识产权或商业秘密明晰完整，未剽窃他人成果、未侵犯他人的知识产权或商业秘密。

若发生与上述承诺相违背的事实，由本项目组承担全部法律责任。

项目组全体成员（签章）：

年 月 日

七、指导老师意见

指导老师签名：

年 月 日

八、专家组审核意见

专家组组长（签章）

年 月 日

九、学院验收意见

领导签字（盖章）：

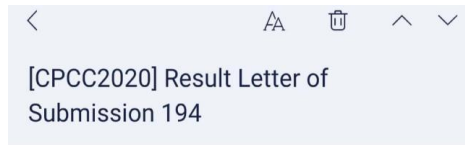
年 月 日

十、学校主管部门意见

领导签字（盖章）：

年 月 日

佐证材料



尊敬的作者：

首先感谢您对中国过程控制会议CPCC2020的大力支持！

第31届中国过程控制会议论文审稿工作已经全部结束。经过程序委员会的严格评审，我们高兴地通知您，您的以下论文已被录取。

论文编号: 194

题目: 基于多采样率因子分析回归的工业过程软测量建模

作者: 曾银雪, 王尧欣, 张淼, 周乐 (112332, 112337, 112338, 12851)

审稿意见详见附件，您也可以登录“学术会议论文管理系统”
(<http://cms.amss.ac.cn>)

图 1. 会议论文录用



图 2. 全国大学生智能汽车竞赛省级二等奖

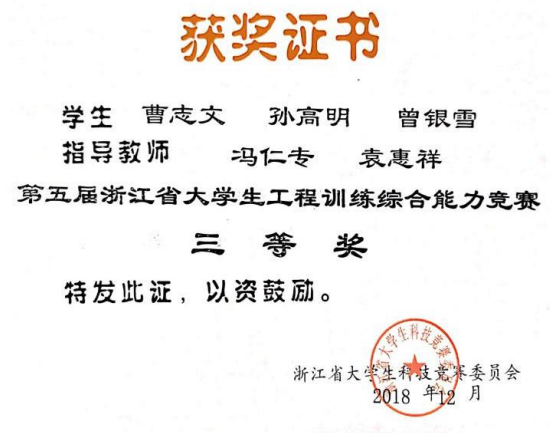


图 3. 全国大学生智能汽车竞赛省级三等奖 图 4. 浙江省大学生工程训练省三等奖



图 5.浙江省物理创新竞赛(理论)省三等奖

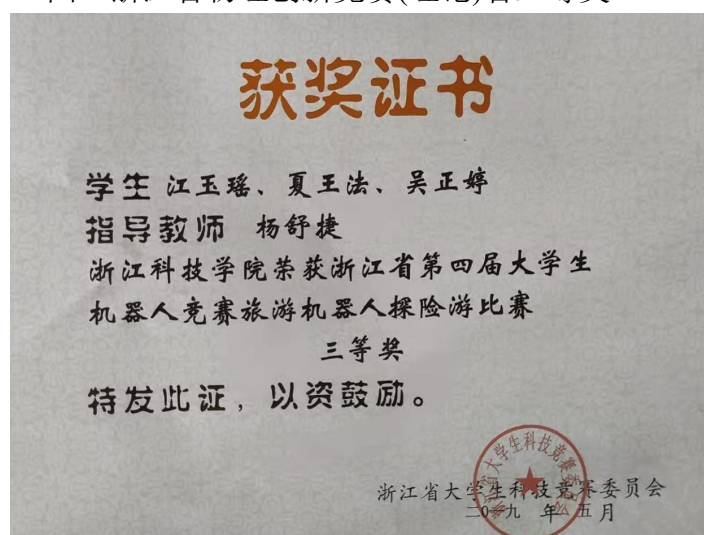


图 6.浙江省旅游机器人竞赛省三等奖



图 7.全国大学移动通信创新大赛浙江赛区省一等奖



图 8.工程训练竞赛校一等奖



图 8.新生电子设计大赛校二等奖



图 9.第十六届挑战杯校三等奖