

同行专家业内评价意见书编号: 20240854219

## 附件1

# 浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名: \_\_\_\_\_ 沈雨阳

学号: \_\_\_\_\_ 22160306

申报工程师职称专业类别（领域）: \_\_\_\_\_ 电子信息

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2024年03月26日

## 一、个人申报

**（一）基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】**

### 1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况

经过一年的专业实践，我对控制领域中的基础理论知识和专业技术知识有了更加深入的了解和认识，能够很好地结合实际经验来掌握理论知识。深入企业开展专业实践后，我更清晰地认知实际应用中存在的问题和攻坚“卡脖子”技术的实际需求，更好地将课堂上和论文中学到的理论知识应用于实际情境中。通过深入企业开展专业实践，我更好地掌握了专业技术知识，并且学习并运用实践技能，大大提升了我的技术应用创新及工程创新实践能力，如数据分析、实验操作、工程设计等。同时，我不断接触先进技术和实际工作流程，促使我们在实践中不断提升自己的知识和技能水平，我也养成了工程思维，对当前存在的无人机规划问题有了更加深入的了解，也能够养成较好的工程创新意识、技术成果转化意识等。最后，我也提升了我的团队协作能力，能够有效进行团队分工，完成自己擅长的部分，高效完成团队任务。

### 2. 工程实践的经历

经过这一年的专业实践训练，我能够更快地掌握实际应用知识，学校里主要学习的都是论文中的理论知识，深入企业开展专业实践后，才能更清晰地认知实际应用中存在的问题和攻坚“卡脖子”技术的实际需求，更好地将课堂上和论文中学到的理论知识应用于实际情境中。通过深入企业开展专业实践，我们更好地掌握专业知识，并且学习并运用实践技能，如数据分析、实验操作、工程设计等。企业实践还为学生提供了接触先进技术和实际工作流程的机会，促使我们在实践中不断提升自己的知识和技能水平。我在杭州兵智科技有限公司开展专业实践过程中，深感在自主无人机集群应用技术上的急迫需求，找到了科研的切入点，基于现有的论文进行算法创新。同时我动手实现算法落地，购买元器件来逐步组装四旋翼，熟悉各种工具、设备和技术，在实际飞行测试中学习到了很多实践知识和经验，这些都是理论学习中无法学到的部分。参与企业专业实践可以培养学生的实践能力，也有助于培养学生的创新思维和解决复杂问题的能力。在学校学习中，我们难以接触实际生产应用中存在的问题，这也是我们必须深入企业开展专业实践训练才能学习到的内容。在专业实践中，我们将学会应对实际问题与挑战，锻炼解决突发问题的能力和灵活性。在实际四旋翼飞行试验过程中，常常会出现较为危险的电机堵转甚至着火等情况，我在专业实践中学到了很多应对突发情况的能力。并且我们需要学会分析和解决实际项目中的困难，同时还要与团队成员合作，有效地组织和管理资源。这种实践能力的培养将使我们在未来的职业生涯中更具竞争力。参与企业专业实践还有助于学生培养职业素养和建立人际关系。在企业专业实践中，我们通常需要与团队成员合作完成项目或任务。这种合作锻炼了我们的团队合作和协作能力。我们需要学会有效地与团队成员沟通、协调工作进度和任务分配，并在团队中共同努力实现共同的目标。这些经验对于我们未来的职业发展和工程师培养至关重要。

### 3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例

在杭州兵智科技有限公司开展了一年的专业实践训练，我收获到了很多。首先，我调研了目前企业以及国家面临的无人机实际应用中的问题，更加清晰地认知了攻坚“卡脖子”技术的实际需求。轨迹规划与控制作为实现集群自主飞行的重要环节，吸引了众多学者的关注。在救援等紧急任务下，时间显得尤为重要，因而对无人机集群的高速大机动飞行提出了更为迫切的需求。然而，现有的无人机轨迹规划算法在处理复杂环境下的障碍物约束时，往往难以兼顾安全性和时间最优性，且面临有效权衡能量损耗的挑战。不仅如此，目前针对无人机集群的轨迹规划通常采用光滑的连续多项式拟合方法，无法有效规划出高速大机动下的时间最优飞行轨迹，且难以实现集群协同避碰。为此，在了解到自主无人机集群应用技术上的急迫需求，我找到了专业实践的切入点，主要负责研究实际应用中自主无人机集群的高速大机动



协同轨迹规划和控制算法，能够将其应用于企业研发的自主车辆控制技术和自主无人机控制中，解决一些实际生产设计中遇到的问题，也可以为军事应用提供技术支持。我对当今最先进的自主无人机集群相关论文进行了详细的阅读和理解，在现有算法的基础上进行了算法创新，引入航路点和障碍物进度变量，构建进度变量互补松弛约束，通过优化进度变量，有效实现无人机集群时间最优的高速大机动飞行。我跟团队一起制定了工程研究计划，并对实验分析和验证进行了详细的研究。一开始，我们在仿真平台中对改进的算法进行了分析验证，确保仿真结果理想的情况下，我开始在企业中学习真实四旋翼无人机的搭建工作。在实际四旋翼飞行试验过程中，常常会出现较为危险的电机堵转甚至着火等情况，我在专业实践中学到了很多应对突发情况的能力。并且我们需要学会分析和解决实际项目中的困难，同时还要与团队成员合作，有效地组织和管理资源。在团队协作下，我们在自主搭建的四旋翼无人机上进行了算法验证，并对四旋翼无人机进行了硬件结构上的调整，提升了集群飞行的稳定性，也大幅提升了无人机集群飞行的速度和效率，具有非常重要的实际应用价值。经过长时间的开发与验证测试，实验产品的稳定性大大提高，并能够也应用在实际的生产中。同时，我们的项目也与3217单位进行了合作，能够进一步应用在军事领域中。经过我们团队的开发与创新，企业能够更好地改进生产流程、优化资源利用和提高生产效率，进一步减少资源浪费和降低成本，提升企业的经济收益。通过无人机集群算法的应用创新，也能够改进企业产品质量、功能和性能，使其具备更高的竞争力，新技术新功能在企业产品上的研发应用，能够更好展现产品价值，满足客户的需求，因此企业也能够增加市场份额并拓展新的市场。同时，当今正处于国际形势日益严峻的重要时刻，我们所研究的无人机集群技术能够起到一些帮助和启示，能够更好推动工程技术在军事领域的应用。在企业的专业实验训练过程中，我也充分将技术创新转化为科研成果，目前已基于项目研究发表两项发明专利，并获得授权，并发表两篇高水平会议论文，包括一篇机器人顶级会议论文。我研究的无人机集群协同规划控制技术的应用创新可以解决自动驾驶领域的一些实际问题，也可以推动整个自动驾驶和无人系统行业的发展和技术进步。通过引入新技术、开展研发和创新，企业可以为行业带来新的发展方向 and 趋势，还可以促进技术的跨领域应用和交叉创新，推动相关行业的发展和进步。随着企业的发展和扩大，需要更多的技术人才和专业人员来支持和推动实践项目。此外，无人机集群技术的应用还可能带来新的产业链和价值链，促进相关产业的发展，从而推动经济的增长和就业的增加。深入开展专业实践训练能够解决企业的工程实际问题，也能为社会带来许多社会效益，我研究的多智能体协同规划控制技术能够改善交通运输状况，提升能源效率，可以对社会产生积极影响，提高人们的生活质量，改善社会环境。

<b>(二) 取得的业绩（代表作）【限填3项，须提交证明原件（包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等）供核实，并提供复印件一份】</b>					
<b>1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】</b>					
成果名称	成果类别 [含论文、授权专利（含发明专利申请）、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	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	备注
Aggressive Trajectory Generation for A Swarm of Autonomous Racing Drone	会议论文	2023年06月22日	IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems	1/7	EI会议收录
一种基于四旋翼动力学模型的时间最优轨迹规划方法及装置	授权发明专利	2023年09月29日	专利号：ZL 2022 1 1089274.3	1/6	
四旋翼集群高速通过动态航路点的规划控制方法及装置	授权发明专利	2024年09月29日	专利号：ZL 2023 1 0448139.1	1/5	

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 85 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1.2 年 (要求1年及以上) 考核成绩： 96 分 (要求80分及以上)
<b>本人承诺</b>	
<p>个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！</p> <p style="text-align: right;">申报人签名：沈雨阳</p>	

## 二、日常表现考核评价及申报材料审核公示结果

日常表现 考核评价	非定向生由德育导师考核评价、定向生由所在工作单位考核评价： <input checked="" type="checkbox"/> 优秀 <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格 德育导师/定向生所在工作单位分管领导签字（公章）   年3月28日 2024
申报材料 审核公示	根据评审条件，工程师学院已对申报人员进行材料审核（学位课程成绩、专业实践训练时间及考核、学位论文、代表作等情况），并将符合要求的申报材料在学院网站公示不少于5个工作日，具体公示结果如下： <input type="checkbox"/> 通过 <input type="checkbox"/> 不通过（具体原因： 工程师学院教学管理办公室审核签字（公章）：               年 月 日

## 浙江工业大学研究生院

## 攻读硕士学位研究生成绩表

学号: 22160306	姓名: 沈雨阳	性别: 男	学院: 工程师学院	专业: 控制工程	学制: 2.5年							
毕业时最低应获: 26.0学分	已获得: 27.0学分		入学年月: 2021-09	毕业年月: 2024-03								
学位证书号: 1033532024602237	毕业证书号: 103351202402600463		授予学位: 电子信息硕士									
学习时间	课程名称	课程性质	学分	成绩	备注	学习性质	课程名称	课程性质	学分	成绩	备注	学习性质
2021-2022学年秋季学期	电子信息工程中数学模型与方法	跨专业课	2.0	85		跨专业课	高速公路交通监控技术	跨专业课	2.0	71		专业学位课
2021-2022学年秋季学期	交通大数据分析	专业学位课	2.0	87		专业学位课	研究生英语	专业学位课	2.0	90		公共学位课
2021-2022学年秋季学期	运筹学	专业选修课	2.0	90		专业选修课	智能交通系统与实践应用	专业选修课	2.0	95		专业学位课
2021-2022学年冬季学期	最优化与最优控制	专业选修课	2.0	76		专业选修课	优化算法	专业选修课	3.0	93		专业选修课
2021-2022学年秋季学期	中国特色社会主义理论与实践研究	公共学位课	2.0	91		公共学位课	自然辩证法概论	公共学位课	1.0	82		公共学位课
2021-2022学年冬季学期	智慧交通仿真实践	专业选修课	1.0	89		专业选修课	工程伦理	公共学位课	2.0	92		公共学位课
2021-2022学年秋季学期	分布式控制和优化	跨专业课	2.0	良		跨专业课	研究生英语基础技能	公共学位课	1.0	78		公共学位课
2021-2022学年冬季学期	研究生论文写作指导	专业学位课	1.0	91		专业学位课						

说明: 1. 研究生课程按三种方法计分: 百分制, 两级制(通过、不通过), 五级制(优、良、中、及格、不及格)。

2. 备注中“\*”表示重修课程。

学院成绩校核章:

成绩校核人: 张梦依

打印日期: 2024-04-02



# Aggressive Trajectory Generation for A Swarm of Autonomous Racing Drones

Yuyang Shen<sup>1</sup>, Jin Zhou<sup>1</sup>, Danzhe Xu<sup>2</sup>, Fangguo Zhao<sup>3</sup>, Jinming Xu<sup>1</sup>, Jiming Chen<sup>1</sup>, and Shuo Li<sup>1</sup>

**Abstract**— Autonomous drone racing is becoming an excellent platform to challenge quadrotors' autonomy techniques including planning, navigation and control technologies. However, most research on this topic mainly focuses on single drone scenarios. In this paper, we describe a novel time-optimal trajectory generation method for generating time-optimal trajectories for a swarm of quadrotors to fly through pre-defined waypoints with their maximum maneuverability without collision. We verify the method in the Gazebo simulations where a swarm of 5 quadrotors can fly through a complex 6-waypoint racing track in a  $35m \times 35m$  space with a top speed of  $14m/s$ . Flight tests are performed on two quadrotors passing through 3 waypoints in a  $4m \times 2m$  flight arena to demonstrate the feasibility of the proposed method in the real world. Both simulations and real-world flight tests show that the proposed method can generate the optimal aggressive trajectories for a swarm of autonomous racing drones. The method can also be easily transferred to other types of robot swarms.

## I. INTRODUCTION

Autonomous drone racing is an excellent platform to challenge drones' autonomous aggressive flight techniques including environment perception, trajectory planning, state estimation and control, etc [1], [2]. The rules for this racing are quite simple that the drones have to fly fully autonomously and pass through the gates in a certain sequence and the fastest one wins the racing. It has to be admitted that although the speed of autonomous racing drones has increased significantly, there are still large gaps between professional human racing pilots and the best autonomous drone racing techniques. One of these challenges is the time-optimal trajectory generation for one single racing drone or a swarm of racing drones in complex racing tracks.

Before 2016, there was no research conducted on autonomous drone racing but aggressive trajectory generation and control techniques had been well developed, among which differential flatness theory-based methods have shown their strengths in generating agile trajectories for quadrotors passing through pre-defined waypoints [3], [4]. Until now, these methods are still one of the most commonly used quadrotor trajectory generation methods. Although these methods can generate agile trajectories, due to their polynomial character, the generated trajectories cannot be time optimal which makes the racing drones not able to fly at their

<sup>1</sup>Authors are with the College of Control Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China [shuo.li@zju.edu.cn](mailto:shuo.li@zju.edu.cn)

<sup>2</sup>Danzhe Xu is with the Department of Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China.

<sup>3</sup>Fangguo Zhao is with the School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

This work was supported in part by NSFC under Grants 62203385 and 62088101.



Fig. 1. The flying platforms used in the experiment fly through the waypoints.

extreme. One milestone for autonomous drone racing is the IROS 2016 autonomous drone racing which was designed to provide a chance for research teams and hobbyist teams to communicate and compete their newest techniques and finally beat human pilots [5]. From this point, the IROS autonomous drone racing became an annual event until 2019. At this early stage, the speed of the autonomous racing drone gradually increased year by year, but the speed was still far from human pilots. For example, the winners' speeds were around  $0.6m/s$  in 2016 [6] and  $0.7m/s$  in 2017 [7]. The MAVLab, TU Delft made a Bebop quadrotor fly through a five-gate racing track in a complex basement environment with a top speed of  $1.7m/s$  in 2018 [8]. And later, they developed a 72-gram autonomous racing drone that can fly a simple four-gate track with a top speed of  $2.6m/s$  [9]. The winner of IROS 2019 autonomous drone racing, the Robotics and Perception Group (RPG) from the University of Zurich, has pushed the flying speed to  $2.5m/s$  [10]. One important turning point was the 2019 Artificial Intelligence Robotic Racing Competition, also known as AlphaPilot Challenge, where the winner, the MAVLab from TU Delft, achieved the top speed of  $9.2m/s$  [11] while the second place, the RPG, achieved the top speed of  $8m/s$  [2]. Unfortunately, according to the report, the speed of the autonomous racing drone was very close to the human pilots but failed to surpass them. Another milestone of autonomous drone racing was achieved in [12], where the authors developed a novel trajectory generation method called Complementary Progress Constraint (CPC) that could generate truly time-optimal trajectories and guide the quadrotor to fly at the highest speed

经检索“Engineering Village”，下述论文被《Ei Compendex》收录。（检索时间：2023年12月25日）。

<RECORD 1>

Accession number:20230077616

Title:Aggressive Trajectory Generation for A Swarm of Autonomous Racing Drones

Authors:Shen, Yuyang (1); Xu, Jinming (1); Zhou, Jin (1); Xu, Danzhe (2); Zhao, Fangguo (3); Chen, Jiming (1); Li, Shuo (1)

Author affiliation:(1) The College of Control Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou; 310027, China; (2) The Department of Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou; 310023, China; (3) The School of Automation, Northwestern Poly-Technical University, Xi'An; 710072, China

Source title:arXiv

Abbreviated source title:arXiv

Issue date:March 1, 2023

Publication year:2023

Language:English

E-ISSN:23318422

Document type:Preprint (PP)

Repository:arXiv

Number of references:18

Main heading:Drones

Controlled terms:Flight simulators - Robots - Trajectories

Uncontrolled terms:Control technologies - Flight test - Navigation and control - Navigation technology - Optimal trajectory generation - Quad rotors - Real-world - Time optimal trajectory - Trajectory generation - Waypoints

Classification code:652.1 Aircraft, General - 731.5 Robotics

Numerical data indexing:Size 3.50E+01m, Velocity 1.40E+01m/s, Size 4.00E+00m, Size 2.00E+00m

DOI:10.48550/arXiv.2303.00851

Database:Compendex

Compilation and indexing terms, Copyright 2023 Elsevier Inc.Preprint ID:2303.00851v1

Preprint source website:https://arxiv.org

Preprint ID type:ARXIV

注:

1. 以上检索结果来自 CALIS 查收查引系统。
2. 以上检索结果均得到委托人及被检索作者的确认。





证书号第6365448号



# 发明专利证书

发明名称：一种基于四旋翼动力学模型的时间最优轨迹规划方法及装置

发明人：沈雨阳;刘泽民;赵一先;闫昌智;徐金明;孟文超

专利号：ZL 2022 1 1089274.3

专利申请日：2022年09月07日

专利权人：浙江大学

地址：310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

授权公告日：2023年09月29日

授权公告号：CN 116185051 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长  
申长雨

申长雨





证书号 第6365448号

专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年09月07日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

申请日时本专利记载的申请人、发明人信息如下：

申请人：

浙江大学

发明人：

沈雨阳;刘泽民;赵一先;闫昌智;徐金明;孟文超

证书号第6369079号



# 发明专利证书

发明名称：四旋翼集群高速通过动态航路点的规划控制方法及装置

发明人：沈雨阳;周靳;赵方国;徐金明;李硕

专利号：ZL 2023 1 0448139.1

专利申请日：2023年04月24日

专利权人：浙江大学

地址：310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

授权公告日：2023年09月29日

授权公告号：CN 116466746 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长  
申长雨

申长雨





证书号 第6369079号

专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年04月24日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

申请日时本专利记载的申请人、发明人信息如下：

申请人：

浙江大学

发明人：

沈雨阳;周靳;赵方国;徐金明;李硕