**2024年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖励推荐项目公示内容**

1. **成果名称：**

面向消防灭火的四旋翼无人机安全飞行关键技术研究

1. **完成单位排序及贡献：**

西安工业大学

1. **成果简介：**

本项目聚焦高层建筑消防灭火现状，以四旋翼无人机为载体，研究其在消防灭火领域的技术难题。四旋翼无人机作为一款典型的无人机，具有定点悬停、垂直起降、任意转弯等独特优点，这也奠定了其广阔的应用前景，且目前已成功应用于电路巡检、航拍摄影等多个领域。现今社会建筑群愈发密集，高空火灾时有发生，将四旋翼无人机应用到消防灭火救援任务中，不仅能够提高受困人员的获救率，更能避免消防人员置身未知的危险之中。因此，开展面向消防灭火的四旋翼无人机安全飞行关键技术研究，具有显著的理论和现实意义。

**成果的主要技术内容：**

1. 风干扰建模和风干扰下的四旋翼无人机抗扰控制
2. 风干扰和系统故障下的四旋翼无人机抗扰容错控制
3. 风干扰和系统故障下的四旋翼无人机吊挂减摆控制

**成果的主要创新点：**

1)基于变增益自抗扰技术提出一种风干扰下的四旋翼无人机抗扰控制方案，兼顾飞控系统的快速性和稳定性；

2)基于观测误差构造故障检测与辨识单元，对突发故障实时观测分析。同时，基于自适应故障估计方法提出一种四旋翼无人机安全飞行控制方案，保证其在复杂多变环境下的安全性能；

3)以吊挂负载减摆控制出发点，在同时考虑风干扰和系统故障的情况下，提出一种基于BLF算法和轨迹规划方法的自适应鲁棒容错减摆控制方案，保证无人机安全顺利将救援物资投放到指定位置。

1. **主要论文专著目录和主要知识产权证明目录：**

**论文目录：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **论文名称** | **刊名/出版社** | **发表时间** | **论文作者** |
| 1 | 具有噪声信息与状态模型不确定系统的IMM自适应滤波 | 控制与决策 | 2023年2月22日 | 马天力，张扬，高嵩，刘盼，陈超波 |
| 2 | Multi-approximator based fault tolerant tracking control for unmanned autonomous helicopter with input saturation | IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems | 2022年8月18日 | 陈谋，阎坤，吴庆宪 |
| 3 | Fault identification and fault-tolerant control for unmanned autonomous helicopter with global neural finite-time convergence | Neurocomputing | 2021年10月12日 | 阎坤，任海鹏 |
| 4 | Adaptive tracking flight control for unmanned autonomous helicopter with full state constraints and actuator faults | ISA Transactions | 2022年9月12日 | 阎坤，吴庆宪 |
| 5 | 无人机集群协同免疫自学习围捕策略研究. | 战术导弹技术 | 2023年1月6日 | 孙红燕，周洁，陈超波，高嵩，赵素平 |
| 6 | 带不确定混合噪声系统的变分贝叶斯期望最大滤波算法 | 中国惯性技术学报 | 2021年9月4日 | 马天力，张扬，陈超波 |
| 7 | Omni-Directional Capture for Multi-Drone Based on 3D-Voronoi Tessellation | Drones | 2023年7月10日 | 曹凯，陈阳泉，高嵩，阎坤，张嘉豪，安迪 |
| 8 | 基于注意力机制的无人机集群协同分群控制算法 | 电子学报 | 2023年7月12日 | 任双，周洁，高嵩，陈超波 |

**专著目录：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **出版时间** | **著作名称** | **作者** | **出版单位** |
|  |  |  |  |  |

**知识产权目录：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **授权项目名称** | **知识产权类别** | **国（区）别** | **授权号** |
| 1 | 一种无人直升机时变增益自抗扰优化控制方法 | 发明专利 | 中国 | ZL 2022 1 1510054.3 |
| 2 | 无人直升机多故障检测与辨识方法 | 发明专利 | 中国 | ZL 2022 1 0414186.X |

1. **客观评价：**

近几年，中国无人机市场正在快速发展。尤其是四旋翼无人机，目前已广泛应用于航拍、农业、植保、巡检等领域，未来还将在紧集救援、巡航测绘、消防灭火等场景发挥无限的潜力和巨大的作用。基于工业级无人机高效的作业与强大的功能，将进一步推进传统行业变革，以实现产业更新升级。通过实施“无人机”计划，与传统职业跨界融合，使四旋翼无人机消防工作得以用于垂直应用领域，或将开拓全新的无人机产业民用发展新局面。

本项目通过研究四旋翼无人机在消防灭火领域面临的关键技术难题，提出一系列有效的飞行控制方法，对推动消防灭火无人机的早日批量落地应用具有重要意义。

1. **推广应用情况（技术发明、技术开发、技术推广和社会公益类项目必写）：**

在国内，无人机市场保有量一路走高；在国外，无人机也备受青睐，在很多场合都在使用。和固定翼无人机相比，四旋翼无人机具有定点悬停、垂直起降、低空慢飞、结构简单等优点，还可吊挂负载进行物资运输。消防无人机与传统消防方式相比，机动更加灵活、视野更加全面、操作更加简单、飞行更加可靠。在消防救援过程中，四旋翼无人机的加入能够提高救援效率，减少受难人员的被困时间，大大增加受困人员的获救率。此外，随着电子信息技术的不断发展，无人机携带的设备如摄像头、传感器等可以不断提升优化，使无人机的使用更加全面化，人机交互更加便利。未来在众多公众场合，若发生安全事故，将能够协助救援人员更快的完成救援工作。因此，面向消防灭火的四旋翼无人机具有广阔的应用前景。

**七、科学意义和科学价值（基础研究类必写）：**

随着社会的不断发展和进步，各个城市的火灾发生率和扑救难度都在逐步增加。作为一种在诸多领域具有广阔应用空间的飞行器，四旋翼在消防灭火救援中具有显著优势，其所具有的航拍、通信、监测、吊挂等功能，可以大大提高消防灭火的工作效率，尤其是在较为复杂的大型火灾现场，更是可以为消防员和被困人员提供安全保障。然而，由于四旋翼无人机本身变量多、耦合强等固有特性和火灾救援现场环境的复杂多变，对其灭火环境下的安全飞行控制技术进行探索具有重要的科学意义和研究价值。

**八、主要完成人员情况：**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **排 名** | **职务/职称** | **工作单位** | **完成单位** | **对项目的主要学术和技术创造性贡献** |
| 阎坤 | 1 | 副教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 全面负责项目规划，协调项目的技术方案实施。 |
| 陈超波 | 2 | 教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 全程参与项目实施，重点指导无人机故障检测部分，对成果1,6,7,8有重要贡献。 |
| 高嵩 | 3 | 教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 对项目进行总体，重点指导无人机结构部分，对成果5,7,8有重要贡献。 |
| 曹凯 | 4 | 副教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 负责无人机抗扰控制设计部分，对成果7,10有重要贡献。 |
| 赵素平 | 5 | 讲师 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 对无人机吊挂减摆控制提出重要意见，对成果5,9有重要贡献。 |
| 马天力 | 6 | 副教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 对无人机容错控制进行指导，对成果1,6有重要贡献。 |

**九、完成人及完成单位合作关系说明：**

（简要叙述完成人（完成单位）在项目中的合作经历，包括合作时间、方式、产出及证明材料等。）

项目由西安工业大学电信学院自主智能无人系统科研团队成员合作完成。2021年以来，各完成人在项目执行过程中开展合作研究，取得了项目中列出的系列代表性论文和授权发明专利。

**十、知情同意证明：**

（申报奖励项目的支撑材料，其中论文、专著、专利等成果的第一作者（著者、发明人、设计人、专利权人）并非本奖励项目的主要完成人或完成单位，需征得第一完成人或完成单位同意，方可使用该成果。）

申报奖励项目的所有支撑材料，其中论文、专著、专利等成果的第一作者和通讯作者均为本奖励项目的主要完成人，所属单位为本奖励项目的完成单位。