

## 信息科学与工程学院

### 关于 2020 级本科生学科专长转专业的公示

学生姓名：石宇芃

学号：20203942

原专业：材料类

总平均学分绩点：3.9402

专业排名：19

排名占专业人数比例：5.74%

拟转入专业：自动化

支撑材料：见附件。

附件 1：《控制工程》论文录用证明书以及在控制工程期刊待发表的论文首页

附件 2：《有色金属工程》稿件录用证明以及在有色工程期刊待发表的论文首页

对公示内容如有异议，请在 7 月 11 日 16:00 之前，实名制向学院教学办罗老师反映。

联系电话：024-83687758

邮箱：luo\_lirong@126.com

## 附件 1:《控制工程》论文录用证明书以及在控制工程期刊发表的论文

2021/4/30

[www.kzgc.com.cn/JournalX\\_kzgc\\_new/manuscript/ManuscriptView.action?id=4162609001&tgcthave=false#](http://www.kzgc.com.cn/JournalX_kzgc_new/manuscript/ManuscriptView.action?id=4162609001&tgcthave=false#)

### 《控制工程》论文录用证明书

石宇梵;马宏军;陈豹 同志：您好！

您撰写的论文《基于四元数的四旋翼无人机扩展卡尔曼滤波算法》，稿件编号：20200904，经专家评审和编委会审核，决定作为论文被我刊正式录用。

特此证明！



《控制工程》编辑部

2021-04-30



文章编号:

DOI:

## 基于四元数的四旋翼无人机扩展卡尔曼滤波算法

石宇芃<sup>1a</sup>, 马宏军<sup>1b</sup>, 陈豹<sup>1b</sup>

(1. 东北大学 a. 材料科学与工程学院 b. 信息科学与工程学院; 辽宁 沈阳 110819)



**摘 要:** 四旋翼无人机因体积小、灵活机动、成本低等诸多优势而得到广泛应用。但因其是一个欠驱动、强耦合的非线性系统, 执行任务时会受到加速度和磁场干扰, 对姿态解算产生严重影响。为了提高无人机姿态的控制精度, 提出一种适用于小型无人机姿态估计的四元数扩展 Kalman 滤波算法, 该算法通过建立四元数姿态运动模型和航姿传感器测量模型, 解决了微机电系统用于载体姿态测量时精度低、易被干扰的问题, 有效提高了姿态估计的精度; 最后, 采用仿真实验测试算法的性能。

**关键词:** 四旋翼无人机; 四元数; Kalman 滤波; 姿态控制

**中图分类号:** TP18

**文献标识码:** A

## Quaternion-Based Extended Kalman Filtering Algorithm for Quadrotor UAVs

SHI Yu-Peng<sup>1a</sup>, MA Hong-Jun<sup>1b</sup>, CHEN Bao<sup>2</sup>

(1. a. College of Materials Science and Engineering; b. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang, 265713, China)

**Abstract:** Quadrotor UAVs are widely used due to their small size, flexibility and low cost. But because it is an under-driven, strongly coupled nonlinear system, it will be disturbed by acceleration and magnetic field when performing tasks, which will have a serious impact on attitude calculation. In order to solve the problem of attitude control accuracy, a quaternion extended Kalman filtering algorithm for the attitude estimation of small UAVs is proposed. The algorithm solves the problem of the use of MEMS by establishing a quaternion attitude motion model and a heading and attitude sensor measurement model. Due to the problem of low accuracy and easy interference during carrier attitude measurement, the accuracy of attitude estimation is effectively improved; finally, simulation experiments are used to test the performance of the algorithm.

**Key words:** Quadrotor UAV; quaternion; Kalman filter; attitude control

### 1 引 言

无人机是一种可以自主导航和远程遥控的非载人飞行器<sup>[1]</sup>。它具有体积小、机动性强、灵活性高的特点, 所以在复杂的环境中任然能够正常作业<sup>[2]</sup>, 因此, 被广泛应用于军事和民事领域。在军事上, 因为具有零伤亡、战场生存能力强等特点, 非常适合执行高危险或人类无法参与的任务; 在民用上, 它也完全可以代替有人机完成一些任务, 例如救援搜索、灾情监测、气象探测等。因此, 无人机成为了专家学者研究的热点<sup>[3]</sup>

四旋翼无人机隶属于旋翼式无人机, 其控制方

式简单, 通过改变四个电机转速就可以实现对无人机的控制, 相对于其他类型的无人机而言, 其控制方式更加的灵活。另一方面, 四旋翼无人机产生的推力可以更好的实现垂直升降和静态悬停, 并且能够在悬停的状态下实现姿态的瞬间变换, 具有高度的机动性和有效的承载力<sup>[4]</sup>。

实时、稳定、准确的姿态信息是无人机实现自主飞行和执行各种任务的基础<sup>[5]</sup>。由于受到载荷和尺寸的限制, 四旋翼无人机不适合搭载体积大、价格昂贵的传统姿态测量系统。MEMS (微机电系统

收稿日期:

; 修回日期:

基金项目:

**作者简介:** 马宏军 (1979-), 男, 辽宁锦州, 博士, 教授, 主要从事无人系统导航、制导与控制等方面的教学与科研工作; (石宇芃: 主要研究方向为无人系统导航、制导与控制等; 陈豹: 主要研究方向为无人系统导航、制导与控制等)





北京矿冶科技集团有限公司

BGRIMM Technology Group

## 稿件录用证明

尊敬的 石宇芃, 马宏军 先生/女士:

您好!

《有色金属工程》决定录用您的稿件 (登记号: YSJSGC20210349)

《有色金属矿山智能协同作业系统的一致性控制技术研究》。

特此通知。

此致

敬礼

注: 文章在发表之前, 编辑部会对文章进行二次检测, 如检测到文章重复率超过规定 (重复率不得超过 10%, 目前硕博论文均已入库, 在检索范围内), 文章将不予发表, 并且版面费不作退回处理, 特此说明。





DOI:

## 有色金属矿山智能协同作业系统的一致性控制技术研究

石宇芃<sup>1</sup>, 马宏军<sup>2</sup>

(1. 东北大学材料科学与工程学院, 沈阳 110819; 2. 东北大学信息科学与工程学院, 沈阳 110819)

**摘要:**近些年来, 智能矿山已经成为国家及有色金属行业的研究和建设热点方向。然而, 为了实现最终的少人、无人化作业, 势必涉及到多个装备、系统进行协同作业问题, 这些装备与系统构成了典型的多智能体系统, 其在矿山恶劣条件下能够实现智能作业的重点, 就是系统的执行一致性问题。为解决具有时延问题的多网络节点多智能体构成的领导者-追随者模型的执行一致性问题, 本文针对该类系统设计了一种自适应事件触发的分布式系统控制器。在控制器的事件触发条件设计中, 设计了观测器来解决领导节点状态在实际应用中不能直接得到的情形, 并把网络传输中的时间延迟考虑在内。同时, 用事件触发的零阶保持器来保留和发送延迟的测量输出以进行控制更新。之后, 将在线性系统中得到的理论结果经修改拓展到了非线性系统, 最后通过仿真实验验证了所提出的理论结果的可行性, 为有色金属矿山智能协同作业提供技术支撑。

**关键词:** 智能矿山; 多智能体; 一致性; 事件触发; 时间延迟

**中图分类号:** TP1 **文献标识码:** A

## Research on Consistency Control Technology of Intelligent Collaborative Operation System in Non-ferrous Metal Mines

SHI Yupeng<sup>1</sup>, MA Hongjun<sup>2</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

**Abstract:** In recent years, smart mines have become a research and construction hotspot in the country, even the non-ferrous metal industry. However, in order to achieve the ultimate unmanned operation, it will inevitably involve multiple equipment and systems for collaborative operation. These equipment and systems constitute a typical multi-agent system, which can realize intelligent operation under harsh conditions, in which the key point is the consistency of system implementation. In order to solve the problem of the execution consistency of the leader-follower model composed of multiple network nodes and multiple agents with time delay, this paper designs an adaptive event-triggered distributed system controller for this type of system. In the design of the event trigger condition of the controller, an observer is designed to solve the situation that the state of the leader node cannot be directly obtained in practical applications, and the time delay in network transmission is taken into account. At the same time, an event-triggered zero-order holder is used to retain and send the delayed measurement output for control updates. After that, the theoretical results obtained in the linear system were modified and extended to the nonlinear system. Finally, the feasibility of the proposed theoretical results was verified through simulation experiments, which provided technical support for the intelligent collaborative operation of non-ferrous metal mines.

**Key words:** Smart mine; multi-agent; consistency; event trigger; time delay

我国是矿业大国, 但不是矿业强国, 总体上矿产资源呈现“矿贫物性复杂”的特点。随着我国浅部矿产资源的粗放性高强度开采, 目前优势资源逐渐枯竭, 逐步进入深部开采、区域合并开发、残矿回采等阶段, 矿产资源企业为了提高竞争力, 更是努力通过采取先进的技术、装备、系统, 提高作业效率, 减少工人数量及劳动强度, 降低成本和提高企业盈利能力。我国从十一五以来, 在国家层面开

收稿日期: ; 修回日期:

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61873306)

作者简介: 石宇芃 (2002-), 男, 山东淄博, 主要从事智能矿山多智能体优化控制研究工作。

通信作者: 马宏军 (1979-), 男, 辽宁锦州, 博士, 教授, 主要从事无人系统导航、制导与控制等方面的教学与科研工作。