变载荷无人机的时变动力学建模与轨迹跟踪控制

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41529.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

变载荷无人机的时变动力学建模与轨迹跟踪控制。可变载荷无人机是智能农业的关键工具，尤其在农作物病虫害防治中发挥重要作用。这类四旋翼无人机配备农药喷洒设备，具有操作速度快、化学漂移风险低、作物覆盖度高等优势，已广泛应用于农业植保。然而，在喷洒过程中，农药液体随时间逐渐减少，导致无人机整体质量、重心位置和转动惯量发生持续变化。这些时变特性增加了无人机系统的动态复杂性，对精准轨迹跟踪控制和姿态响应提出了更高要求。当前研究多基于恒定质量假设建模，或聚焦固体悬挂系统及突然质量变化，却往往忽略了农业喷洒中液体载荷缓慢流失带来的持续动态变化。那么，如何有效应对这种液体缓慢流失导致的无人机动态参数变化，确保植保作业中的精准轨迹跟踪和稳定飞行呢？

针对这一问题，北京林业大学工学院许舒婷博士等提出了一套完整的解决方案。研究首先建立了可变载荷无人机的时变多体动力学模型，将系统分为质量恒定的机身模块和质量随时间变化的药箱模块。为准确描述药箱内液体流失对无人机重心、惯性分布的影响，采用计算流体动力学(CFD)方法，使用ANSYS Fluent软件对药箱内气液两相流进行三维瞬态模拟，考虑了液体流失过程中的质量、重心和转动惯量变化，并通过曲线拟合得到这些参数的时变函数。在此基础上，整合机身和药箱模型，形成了完整的时变多体动力学模型，为后续控制设计提供了精准的动态基础。

基于该模型，研究设计了一种基于PD滑模控制的抗干扰轨迹跟踪控制系统。该系统采用内外环结构，内环为姿态控制器，外环为轨迹控制器。为提高系统鲁棒性并减少抖振，研究改进了滑模控制的到达律，用连续的双曲正切函数替代不连续的符号函数，确保快速响应控制误差的同时保持稳定性。通过Lyapunov稳定性分析验证，该控制器能使闭环系统渐近稳定。

仿真实验显示，该控制器实现了精准轨迹跟踪，水平、侧向、垂直方向的位置跟踪标准差分别为0.0507米、0.161米和0.0002米；姿态控制方面，滚转、俯仰和偏航轴的瞬态误差小且收敛迅速。与传统PID控制和常规滑模控制相比，该方法在轨迹跟踪精度、动态响应和鲁棒性上均表现更优。飞行实验在河北省麦田开展，无人机携带满药箱以4米高度稳定飞行，按预定路径完成喷洒任务。结果表明，直线段轨迹跟踪精度高，转弯段偏差约0.2－0.3米，但能在5－8秒内恢复到预定轨迹，满足农业植保作业精度要求。

本研究为解决可变载荷无人机在农业植保中的动态控制问题提供了理论和技术支持，有助于提升智能植保的精准性和稳定性。未来团队将进一步研究容错控制、抗液体晃动、风场干扰下的鲁棒算法等方向，推动可变载荷无人机在农业中的更广泛应用。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：https://journal.hep.com.cn/fase/EN/10.15302/J-FASE-2025662

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。
作者：许舒婷等 来源：《工程·农业》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发