南京航空航天大学韩艳铧副教授团队——欠驱动双无人直升机吊挂系统动力学建模与非线性最优控制 MDPI Aerospace

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/40556.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！

南京航空航天大学韩艳铧副教授团队——欠驱动双无人直升机吊挂系统动力学建模与非线性最优控制 MDPI Aerospace。论文标题：Dynamics Modeling and Nonlinear Optimal Control of an Underactuated Dual-Unmanned Aerial Helicopters Slung Load System

论文链接：https://www.mdpi.com/2226-4310/13/4/329

期刊名：Aerospace

期刊主页：https://www.mdpi.com/journal/aerospace

研究背景：

直升机吊挂技术广泛应用于抢险救灾、空中补给、重装投送等领域。目前直升机吊挂技术已从单机吊挂发展到多机协同吊挂。多机吊挂承载能力更强、机动性更优、系统配置灵活性更高。但随着系统规模扩大，运动自由度增加，给系统动力学建模和控制器设计提出了严峻挑战。南京航空航天大学韩艳铧副教授及其团队成员黎若帆、张勇在Aerospace期刊发表了文章，介绍了双无人直升机吊挂多体耦合系统动力学建模和飞行/吊挂物摆振抑制一体化最优控制器的设计，为该领域工程研究和应用提供了理论依据和技术支撑。

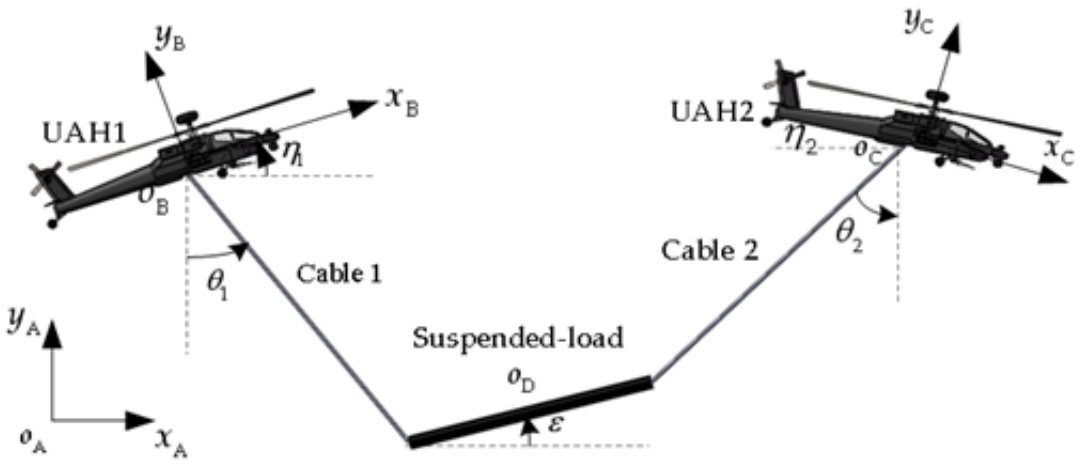


图1. 双直升机吊挂多体系统示意图

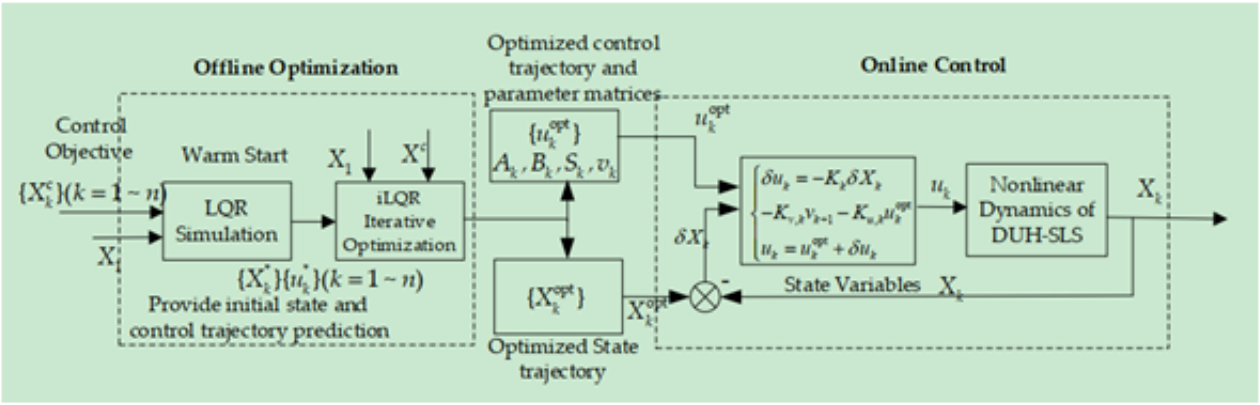


图2. 离线优化设计和在线控制原理框图

研究过程和主要结果：

本文以欠驱动双无人直升机吊挂系统为研究对象，开展系统动力学建模与控制方法研究。该系统由两架无人直升机通过两根吊索连接悬吊载荷构成，属于含内部理想约束力的多体耦合系统，其纵向平面内有7个运动自由度。

本文选取一组独立完备的广义坐标描述系统运动，运用拉格朗日分析力学建立系统动力学解析模型。借助多体动力学仿真软件ADAMS搭建系统虚拟样机，通过与解析模型的对比仿真，验证了解析模型的正确性。

双无人直升机吊挂系统为复杂非线性欠驱动被控对象，本文引入迭代线性二次型调节器（iLQR）设计一体化最优控制器，实现载荷轨迹跟踪与摆振抑制。该方法通过函数空间内的迭代优化，将非线性系统二次型指标最优控制问题转化为一系列线性二次型最优控制（LQR）子问题来求解。iLQR
最优控制器虽需离线迭代运算，但所得控制律为状态反馈闭环形式，可保证在线控制的鲁棒性。

数值仿真结果表明，所设计iLQR最优控制器在复杂多任务工况下控制性能优异。在轨迹跟踪任

务中，该控制器位置平均最大跟踪误差仅为 0.14 米，而传统 LQR 控制器与李雅普诺夫方法控制器（LMC）对应误差分别为 3.57 米、3.11 米。同时该控制器对系统内部参数摄动与外部复杂风扰均具备强抗扰能力，充分验证了本文所提方法的有效性与优越性。

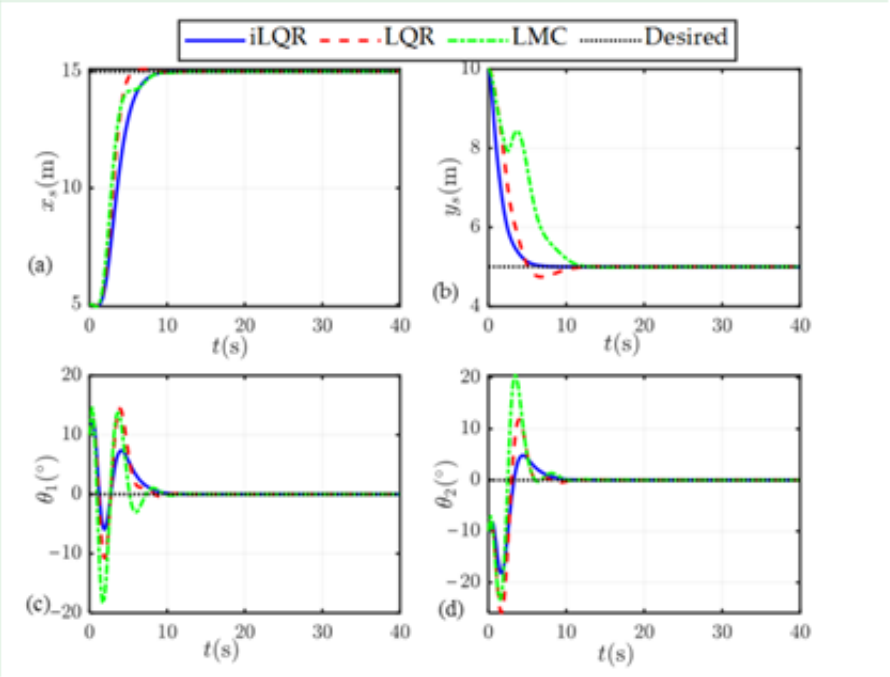


图3. 不同控制器下双机吊挂系统的状态响应曲线（位置与摆角）

(a)悬吊载荷质心x坐标变化曲线；(b)悬吊载荷质心y坐标变化曲线；

(c)吊索1的摆角变化曲线；(d)吊索2的摆角变化曲线。

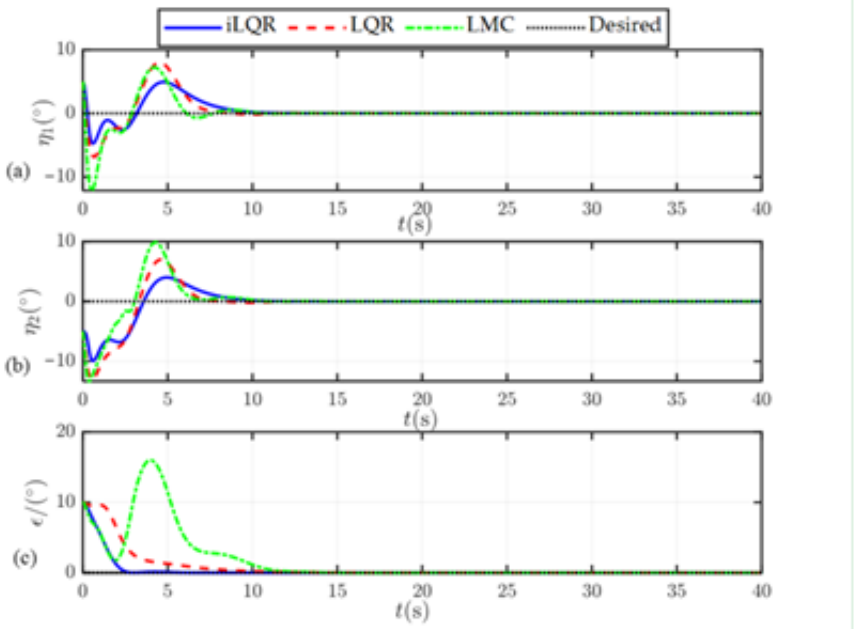


图4. 不同控制器下双机吊挂系统的状态响应曲线（俯仰角）

(a)无人直升机 1的姿态俯仰角变化曲线；(b)无人直升机2的姿态俯仰角变化曲线；

(c)悬吊载荷的姿态俯仰角变化曲线

研究总结：

本文基于拉格朗日分析力学，建立双直升机吊挂系统七自由度动力学解析模型，并与Adams虚拟样机模型进行了仿真对比，验证了解析模型的正确性。针对悬吊载荷摆动引发的安全隐患，本文采用迭代线性二次型调节器（iLQR）算法设计一体化非线性最优控制器，实现吊挂物迹跟踪与摆振协同抑制。通过数值仿真验证了本文所提方法的有效性与优越性。

Aerospace期刊介绍

主编：Konstantinos Kontis, University of Glasgow, Scotland, UK

Aerospace期刊致力于发表航空航天科学、工程和技术相关的创新研究，涵盖飞行器设计、推进系统、飞行控制、先进材料、空间科学、航空电子、无人机系统（UAS）、城市空中交通（UAM）、可持续航空、航空安全以及前沿技术等。鼓励跨学科研究，推动航空航天科技发展，欢迎实验、仿真与理论研究的原创成果及综述。

2025 Impact Factor：2.5

2025 CiteScore：4.8

Time to First Decision：22.9 Days

Acceptance to Publication：2.4 Days

来源：Aerospace

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