柔性航天器的高精度姿态控制

一.成果完成人及所在单位：解振宝，电气工程与自动化学院　　指导教师：付荣

二.成果简介：

利用基于高阶非线性扰动观测器（HONDO）的复合控制方案，解决了柔性航天器的高精度姿态稳定问题。采用基于李雅普诺夫的非线性变参数（NPV）框架来处理柔性航天器模型，其中空间环境扰动、模型的不确定性和由柔性附件引起的不良振动以及其他快速时变扰动被认为是对航天器刚体的集总扰动。提出了一种将 HONDO 与状态反馈控制相结合的柔性航天器姿态镇定的复合控制技术。一方面，采用所提出的 HONDO 对集总扰动进行前馈补偿。另一方面，利用多项式平方和(SOS)技术构造一个反馈控制器，使航天器的刚体呈指数稳定。仿真结果验证了该复合控制方法的有效性。

三. 主要研究内容及创新点：

主要研究内容：

- 挠性航天器具有明显的非线性和不确定性特征，传统近似线性化手段由于其自身的保守性，已经不能满足挠性航天器的高精度姿态控制，因此对挠性航天器这一非线性系统，设计出使系统达到指数镇定的控制方案，仍是一个备受关注和极富挑战的研究课题。
- 随着航天器精度的不断提高，挠性附件的弹性振动、模型不确定性以及未知的快时变扰动极大降低航天器姿态系统的性能。基于低阶扰动观测器的控制(NDOBC)方案，由于传统低阶扰动观测器的保守性，无法对挠性航天器飞行中存在的快时变扰动以及其它扰动进行精准估计，因此，抑制这些复杂的干扰是实现挠性航天器高精度控制的一项重要任务。

创新点：

- 采用 NPV 框架来刻画挠性航天器的非线性特征，并对于其刚体部分，借助 SOS 理论，提出使航天器刚体达到指数镇定的非线性控制器，并通过理论和仿真验证该控制器的有效性。
- 本文率先针对于挠性航天器存在模型不确定性、柔性模态引起的弹性震动和快时变扰动的问题，给出一种基于 HONDO 和 SOS 理论的非线性复合控制器的设计方法，通过与传统控制方法（见图 2）的仿真对比，验证了本文提出方法的有效性（见图 3）。该复合控制方案的优势在于，在 SOS 框架下，将具有多项式约束的非线性控制问题转化为相应的凸规划问题，有效地解决了非线性控制研究中普遍存在的计算困难；针对于快速时变扰动，引入 HONDO 来进行估计和补偿，提高了系统的抗扰动性能与鲁棒性。



图 1 柔性航天器

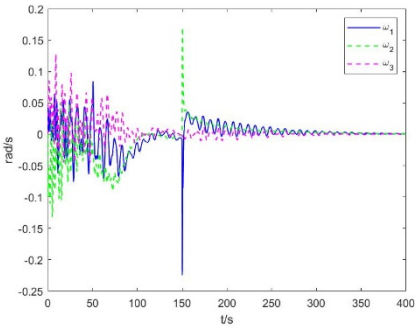


图 2 基于 NDO 控制方法

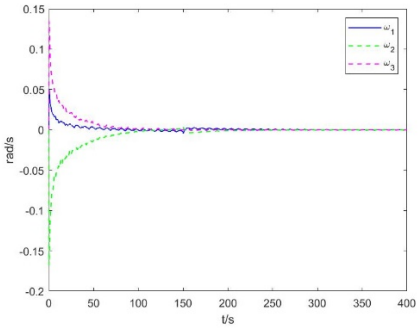


图 3 基于 HONDO 复合控制方案

四. 主要研究成果及应用情况

（1）Zhenbao Xie, Rong Fu, Yanmei Lin, Attitude Stabilization Control of Flexible Spacecraft Based on High-Order Disturbance Observer Using Nonlinear Parameter-Varying Perspective，2022 10th China Automation Congress (CAC) (已录用).

联系人：解振宝，　　电　话：18730220877　　Email:a15532209367@163.com