具凸面体不确定性 NPV 系统的非线性鲁棒控制研究

一.成果完成人及所在单位： 汪育成，电气工程与自动化学院 指导教师：周燕茹

二.成果简介：

针对一类具凸面体不确定性的非线性变参数（NPV）系统，研究其非线性鲁棒 H_∞控制问题。基于 Lyapunov 稳定性理论和多项式平方和（SOS）方法，对该系统设计了非线性鲁棒状态反馈镇定控制器。在此基础上，进一步考虑外部干扰和输入受限情形，利用广义 S-procedure 得出了满足输入饱和约束的非线性鲁棒 H_∞控制可解性条件。该条件以状态和时变参数依赖的线性矩阵不等式（LMIS）给出，可借助凸优化工具进行有效检验。最后，通过数值仿真验证了所得方法的有效性和优势。

三. 主要研究内容及创新点：

在航空航天等领域，时变和非线性是被控对象普遍存在的动力学特征。本项目采用的 NPV 模型能更完整刻画被控对象的时变和非线性特性，为复杂运动体的高性能控制设计提供新途径。对此，主要研究如下内容：

1）NPV 系统的非线性鲁棒控制问题。将凸多面体不确定性的概念推广到 NPV 系统，基于 Lyapunov 稳定性理论和 SOS 凸优化，给出该类系统的鲁棒稳定性分析与镇定控制可解性条件；进一步，考虑 NPV 系统存在外部扰动情况，设计相应的非线性鲁棒 H_∞控制方法。

2）基于 NPV 的非线性鲁棒控制理论在倾转旋翼飞行器上的应用。结合工程实际，建立倾转旋翼飞行器具凸多面体不确定性的 NPV 数学模型，并在前述所得理论成果基础上，通过广义 S-procedure 将输入约束凸规划，使相应闭环系统满足从容许集合开始的任何状态的输入约束。所得控制器满足饱和约束，在实现无人机模态转换同时，较好地抑制了外部扰动和适应参数摄动。

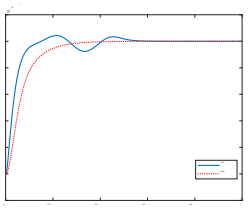


图 1 LPV 系统和 NPV 系统的 x_1 时间响应曲线

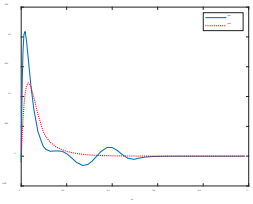


图 2 LPV 系统和 NPV 系统的 x_2 时间响应曲线

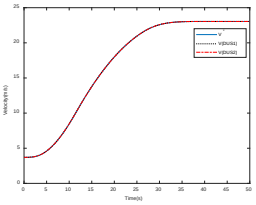


图 3 速度的跟踪轨迹

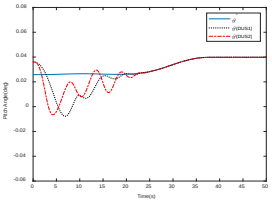


图 4 俯仰角的跟踪轨迹

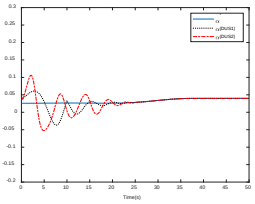


图 5 攻角的跟踪轨迹

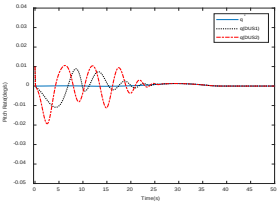


图 6 俯仰角速率的跟踪轨迹

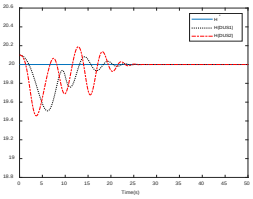


图 7 高度的跟踪轨迹

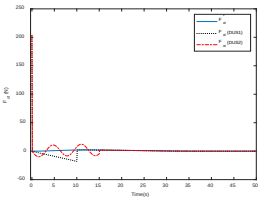


图 8 F_{xt} 的跟踪轨迹

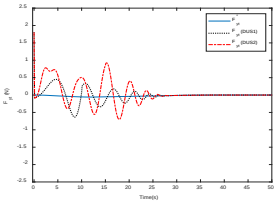


图 9 F_{yt} 的跟踪轨迹

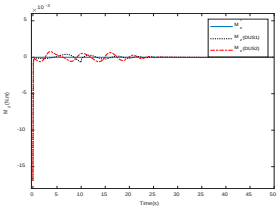


图 10 M_z 的跟踪轨迹

本项目的创新点在于，理论上将凸多面体不确定性的概念推广到 NPV 系统中，设计出新的非线性鲁棒控制理论和设计方法。相比 LPV 控制方案，可以更好刻画原系统动力学特征，实现更优的控制效果。工程上，所得方法可应用在倾转旋翼飞行器这样具非线性与时变特征的复杂对象控制研究中，为其高稳定性和高性能控制提供新途径。另外，所设计的控制器仅是关于系统状态和参数的有理函数或多项式，便于设计实现。

四. 主要研究成果及应用情况

EI 期刊论文《一类具凸多面体不确定性的非线性变参数鲁棒 H_∞控制》（已录用）；

EI 会议论文《Nonlinear Robust Control for Tilt Rotor UAV with Convex Polytopic Uncertainty》（已录用）；

申请发明专利《一种无人机模态转换非线性控制方法、设备、介质》（实审中）；

联系人：汪育成， 电 话：18855509112 Email:WangYucheng1996@126.com