

Aerospace Power, 2000,15(1):93-95(in Chinese)

- [4] Annaswamy A M and Aziz A. An adaptive controller for aerospace vehicles [A]. AIAA Guidance, Navigation and Control Conference [C], New York, USA, 1992, 555-562
- [5] Bakker R and Annaswamy A M. Stability and robustness properties of a simple adaptive control with application controller [J]. Automatica, 1996, 41(9):1352-1356

附录 A 定理 1 的证明

(Appendix A Proof for Theorem 1)

首先引入一个误差模型.

误差模型 A^[4] 在自适应控制系统中存在两种偏差, 输出偏差 e 和参数偏差 φ. e(t) 可以在任何时刻测量, φ(t) 未知却可以调节, 那么这两个偏差满足下面的关系:

e(t) = W(s)[φ^T(t)w(t) + v(t)], (A1)

w(t) = [y_p(t), w_1(t), y_m(t)]^T, w_1(t) 是系统中的矢量信号, v(t) 是干扰引起的标量信号, W(s) 是一个严格正实 (SPR) 的传递函数, 记 (A1) 式为误差模型 A.

引理 A 由 (A1) 式的误差模型, 按以下规律进行自适应调整:

φ̇(t) = -Γe(t)w(t), Γ = Γ^T > 0, (A2)

假设干扰为有限能量, v ∈ L² ⇒ e(t) 和 φ(t) 都是有界的, ∀ t ≥ t_0, e ∈ L² (L² 是平方积分有界空间). 如果 w(t) 和 v(t) 有界, 那么 lim_{t→∞} e(t) = 0.

由 (7) 式, 控制输入可简单描述为:

u(t) = θ(t)^Tw(t) + θ̄(t)^Tw̄(t), (A3)

定义参数误差矢量为

φ(t) = [θ_p(t) - θ_p*, θ_1(t) - θ_1*, θ_m(t) - θ_m*]^T,

那么闭环系统方程为^[4]:

y_p(t) = W_m(s)sgn(k_p)θ_m* y_m(t) +

φ^T(t)w(t) + φ̄^T(t)w̄(t),

参考模型可表达为 y_m(t) = W_m(s)k_pθ_m* x_m(t). 当参数误差 φ = 0, 系统输出能够理想跟随模型的输出, 对象和模型间的误差 e(t) 可写为:

e(t) = W_m(s)sgn(k_p)[φ^T(t)w(t) + φ̄^T(t)w̄(t)]. (A4)

由于

φ̄^T(t)w(t) + φ^T(t)w̄(t) = (s + a)φ̄^T(t)w̄(t),

误差方程可简化为:

e(t) = W_m(s)sgn(k_p)[φ^T(t)w̄(t)], (A5)

通过选择 a, 使 W_m(s) = W_m(s)(s + a) 为严格正实的 (SPR).

式 (A5) 与误差模型 A 有同样的形式. 由引理 A, 如果参数误差 φ 是可调的, 它满足:

φ̇ = -Γe w̄, Γ = Γ^T > 0,

则 e(t) 和 φ(t) 是有界的, ∀ t ≥ t_0, e ∈ L².

这表明了系统输出 y_p(t) 的有界性. 由于与式 (A5) 中的 W_m(s) 相对应的状态变量是有界的, 参考模型中相对于 w_1 的信号也是有界的, 属于有界序列空间, 同时参考模型输出是用稳定的传递函数产生的, y_m(t) 有界, 这样 w(t) 是有界的. 所以 lim_{t→∞} e(t) = 0.

这样就完成了对控制器稳定性的证明.

本文作者简介

梁善燕 1974 年生. 上海交通大学自动化研究所博士生. 研究领域为自适应控制, 过程控制, 运动控制, 时滞控制等.

谢剑英 见本刊 2001 年第 1 期第 44 页.

下期要目

非完整向量幕式系统的光滑时变指数镇定	李世华	田玉平
一类非线性系统的分步变换伪线性化方法	葛友	李春文
悬索驱动的新型柔性并联机器人	王文利	段宝岩 彭勃 南仁东
基于 Modular 网络和 EM-SFM 算法的模糊 Sugeno 模型	王士同	J.F. Baldwin T.P. Martin
周期黎卡提微分方程正定解的存在性	陈阳舟	陈善本
转炉炼钢智能动态终点控制	谢书明	孙廷玉 柴天佑 陶钧
具有耗散边界反馈的 Timoshenko 梁的镇定	阎庆旭	冯德兴
一种不需要严正实条件的模型参考自适应控制	解学军	续敏 禹梅
一类混杂系统的鲁棒性分析与控制	王泽宁	费树岷 冯纯伯
多变量非线性动态系统的全局稳定化控制器	武玉强	余星火 冯纯伯
基于模糊推理系统的非线性组合建模与预测方法研究	董景荣	
D 型迭代学习控制及其在 FNS 肢体运动控制系统中的应用	吴怀宇	周兆英 熊沈蜀