

项目名称	复杂非线性动态系统的有限时间自适应学习与协同方法
提名单位	青岛科技大学
提名意见	<p>我单位认真审阅了该项目提名书及其附件材料，确认全部材料真实有效，完成人排序无异议，推荐书的相关栏目均符合填写要求。</p> <p>自适应学习是人工智能赋予控制系统的重要能力，有限时间自适应学习控制则可保证工业过程快速达到生产性能要求，节约生产成本。然而，针对单体系统及互联多体系统在时间演化、批次运行和通讯拓扑等方面不同动态特性的有限时间自适应学习和协同方法的设计和框架尚未形成。项目团队历经多年努力，建立了系统运行时间动态、系统批次操作间迭代动态、多体互联系统通讯间拓扑动态的有限时间自适应学习与协同方法，具有重要意义。</p> <p>成果提出了被控系统不确定时间动态的有限时间自适应学习与协同方法，克服了有限收敛时间受初始条件和设计参数影响的难题，在任意初始状态和设计参数下，仍可实现快速跟踪和协同性能；建立了被控系统批次操作间的等价迭代动态数据关系及其自适应迭代学习模式，是处理强非线性不确定系统的有效方法，突破了现代控制理论模型依赖的根本局限性；建立了互联多体系统通讯个体之间的等价拓扑动态数据关系及其自适应迭代学习模式，不仅突破了分布式控制理论的模型依赖性，而且赋予了复杂互联系统从多维动态信息中学习的能力。</p> <p>在 IEEE TAC、Automatica、IEEE TFS、IEEE TNLS、IEEE TSMC-S 等国内外顶级学术期刊发表论文 50 余篇，部分成果写入高校本科和研究生教材，并应用于高速列车运行控制、智能建筑暖通空调系统、气动人工肌肉控制等实际问题。5 篇代表性论文 SCI 他引 310 次，得到了来自美国、英国、加拿大、墨西哥、澳大利亚等 20 余个国家和地区，包括柴天佑、Okyay Kaynak、Hak Keung Lam、Imre J. Rudas 等 30 余位国内外院士、IEEE/IFAC Fellow 在内的著名学者的积极引用和正面评价，对推动自动化系统理论发展具有重要理论意义和应用价值。</p> <p>提名该项目为 2023 年度青岛市自然科学奖 二 等奖。</p>
提名奖种	自然科学奖
提名等级	二等奖
项目简介	自适应学习与多系统协作是人工智能时代控制理论研究的重要科学问题，以更有效地处理越来越复杂的非线性

动态过程。实现有限时间内的稳定性，提高收敛速度、节约生产成本，以及多系统有机协作完成越来越复杂的生产任务，已成为控制理论研究的核心目标，具有重要的实际意义。本项目在国家自然科学基金等纵向课题的支持下，针对复杂非线性动态系统的有限时间自适应学习及协同方法展开了深入系统的研究，取得了系列原创成果。主要科学发现如下：

(1) 复杂非线性系统的时间动态有限时间自适应学习与协同。针对具有强非线性的非严格反馈非线性系统，基于微分方程解的结构和预设性能函数，设计了两类新颖的有限时间性能函数，克服了传统有限时间控制中收敛时间受初始条件和设计参数影响的难题。利用模糊逻辑系统和神经网络的性质和学习能力，提出了有限时间自适应学习控制方案，解决了强非线性对系统性能的影响，突破了传统自适应控制仅能处理严格反馈系统的局限性。相关理论和方法可拓展应用于多无人车系统的时间动态有限时间自适应学习与协同问题。

(2) 复杂非线性系统的批次/时间动态有限时间自适应学习与协同。针对不确定非线性重复系统，设计了迭代扩张状态观测器，解决了传统扩张状态观测器沿批次估计误差不变的难题。利用当前和之前多个批次的跟踪误差输入信号的信息，并融合非提升迭代动态线性化技术，突破了传统方法仅能利用当前批次信息的局限，避免了矩阵维数随批次长度和系统变量维数而爆炸性增长的问题，有效降低了计算复杂性。相关理论和方法可拓展应用于多智能体系统的批次/时间动态有限时间自适应学习与协同问题。

(3) 复杂非线性互联系统的空间/批次/时间动态有限时间自适应学习与协同。针对非线性互联系统，利用系统之间的输入输出行为，建立了等价的邻接动态线性数据模型，提出了邻接系统动态线性化迭代学习编队控制方法。在系统的批次和时间动态基础上，设计了三维分布式自适应学习协同控制机制，实现了系统在时间、批次、空间三个维度上的学习能力。相关理论和方法可拓展应用于多工业机器人的空间/批次/时间动态有限时间自适应学习与协同问题。

本项目在 IEEE TAC、Automatica、IEEE TFS、IEEE TNLS、IEEE TSMC-S 等国内外顶级学术期刊发表论文 50 余篇，部分成果写入高校本科和研究生教材，并应用于高速列车运行控制、智能建筑暖通空调系统、气动人工肌肉控制等实际问题。5 篇代表性论文 SCI 他引 310 次，得到了来自美国、英国、新加坡、加拿大、墨西哥、澳大利亚等 20 余个国家和地区，包括柴天佑、Okyay Kaynak、Hak Keung Lam、Imre J. Rudas 等 30 余位国内外院士、

	IEEE/IFAC Fellow 以及国家杰青在内的著名学者的积极引用和正面评价，建立并引领了自适应学习控制的理论体系与发展方向。项目组成员获评泰山学者青年计划专家、青创引育团队负责人等。						
代表性论文专著目录/主要知识产权和标准规范等目录	<p>1. Yang Liu, Xiaoping Liu, Yuanwei Jing, Ziyue Zhang, A novel finite-time adaptive fuzzy tracking control scheme for nonstrict-feedback systems, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2019, 27(4): 646-658.</p> <p>2. Yang Liu, Xiaoping Liu, Yuanwei Jing, Adaptive neural networks finite-time tracking control for non-strict feedback systems via prescribed performance, Information Sciences, 2018, 468, 29-46.</p> <p>3. Ronghu Chi, Zhongsheng Hou, Shangtai Jin, Biao Huang, Computationally efficient data-driven higher order optimal iterative learning control, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2018, 29(12): 5971-5980.</p> <p>4. Yu Hui, Ronghu Chi, Biao Huang, Zhongsheng Hou, Extended state observer-based data-driven iterative learning control for permanent magnet linear motor with initial shifts and disturbances, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2021, 51 (3): 1881-1891.</p> <p>5. Ronghu Chi, Yu Hui, Biao Huang, Zhongsheng Hou, Adjacent-agent dynamic linearization-based iterative learning formation control, IEEE Transactions on Cybernetics, 2020, 50(10): 4358-4369.</p>						
主要完成人情况	排名	姓名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
	1	池荣虎	无	教授	青岛科技大学	青岛科技大学	科学发现 2 和 3 的主要完成人
	2	刘洋	无	教授（特聘）	青岛科技大学	东北大学	科学发现 1 的主要完成人
	3	惠宇	无	副教授（特聘）	青岛科技大学	青岛科技大学	科学发现 3 的主要完成人
主要完成单位情况	排名	单位名称			对本项目贡献		
	1	青岛科技大学			科学发现 2 和 3 的主要完成单位		
	2	东北大学			科学发现 1 的主要完成单位		