附件：

**推荐江苏省教育科学研究成果奖（高校自然科学类）公示**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 自主系统的智能自适应控制方法 |
| 主要完成人 | 孙长银；穆朝絮；曹向辉；杨万扣；王庆领 |
| 主要完成单位 | 东南大学；天津大学 |
| 项目简介：自主系统涵盖了自主机器人系统、自主控制无人器等多种不同的对象，随着世界自主系统的发展，其智能自适应控制理论与方法研究迅速成为具有前瞻性的高新技术研究课题。目前，自主系统领域的智能自适应控制理论与方法问题在我国已发展成为具有国家重大需求的共性科学问题，极富有挑战性和研究意义。本研究依托国家自然科学基金项目，针对自主系统中的共性和挑战性基础问题，围绕智能系统控制方法、自适应控制方法等领域，系统深入地开展了基础理论和关键技术研究，并将基础研究与应用研究相结合。  实现自主系统的先进自适应控制需要解决的基础问题有：设计自适应鲁棒控制方法以使系统能够快速精确地跟踪期望轨迹，设计具有最优属性的自适应鲁棒控制方案提高系统的控制性能，以及多自主体系统的协调控制和通讯等。围绕上述问题，本项目紧密结合智能自主系统的先进自适应控制技术的研究发展及应用，对不确定条件下机器人控制问题，连续和离散非线性鲁棒最优跟踪控制方法，多自主体感知协调高效控制和无线传感网络等相关理论和关键技术进行了深入的研究和分析，获得重要科学发现如下：  1、对于柔性机器人的控制问题，提出基于集总弹簧质量建模方法，更好的描述柔性机器人的动力学行为，为解决柔性机器人的振动问题，提出了基于神经网络的全状态反馈控制和输出反馈控制，并通过李雅普诺夫稳定性理论证明闭环系统的一致最终有界性。柔性机器人的数值仿真和平台实验验证，证明了提出方法的优越性。  2、针对高超声速飞行器这类复杂系统的鲁棒控制问题，提出非线性控制和神经网络控制相结合的方法，设计包含自适应评判机制的鲁棒控制器，解决了干扰、参数不确定和交叉耦合问题。同时，考虑连续和离散非线性系统在不确定条件下的鲁棒最优跟踪控制问题，通过迭代求解非线性哈密顿-雅可比-贝尔曼（HJB）方程，获得近似最优的控制策略，使得基于评判机制的鲁棒控制器具有最优属性。  3、考虑多自主体系统的协同控制问题，提出一种具有积分作用的分布式通讯协议并设计新的鲁棒牵引控制策略，放松了对多自主体系统耦合强度的要求。考虑单个自主体计算能力有限，引入事件驱动控制策略，节约计算资源。在自主体的感知方面，提出了一种正则最小二乘稀疏投影的特征提取方法。对多自主体系统无线传感网络的通讯延迟和通讯安全进行研究，设计了无人车辆系统的最小端到端通讯延迟的资源优化分配算法，对ZigBee网络受到Ghost攻击的影响进行分析并给出了提高ZigBee网络安全性策略。  本项目10篇代表作论文SCI他引79篇次，3篇论文入选ESI高被引论文，单篇最高他引18次，研究成果在多篇论文中被高度评价，部分成果已成功用于智能自主系统的先进自适应控制方法研究。项目第一完成人是2011年国家杰青，江苏省“333”工程中青年科技领军人才，“智能机器人感知与控制”江苏省高校优秀科技创新团队带头人，科技部青年科技领军人才和中组部“万人计划”科技领军人才，10多个国内外学术期刊编委。长期从事智能系统控制与模式识别领域研究，承担国家杰出青年科学基金项目“智能系统与飞行器控制”、国家重大研究计划重点支持项目、国际合作重点项目等课题的研究工作。项目第二、第三完成人是《自动化学报》编委。 | |
| 客观评价和应用情况  本项目10篇代表作论文SCI他引79篇次，3篇论文入选ESI高被引论文，单篇SCI最高他引16次（2017年发表）。研究成果被30余位IEEE Fellow正面评价，部分成果已成功用于智能自主无人系统的先进控制理论与方法研究。  1. 对于重要发现1的评价  （1） 中国科学院院士、第三世界科学院院士、南京航空航天大学胡海岩教授等人在论文（ISA Transactions 69 (July 1, 2017): 214–21.）中引用我们的文章，他们认为针对刚柔耦合系统的控制系统设计具有很大的挑战。（The control design will be more challenging due to the inﬂuence of the rigid-ﬂexible dynamics [4–7].）文献[4]指代表性论文1。  （2） 东北大学杨光红教授在论文（IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems 29, no. 4 (April 2018): 1033–45.）中引用我们的论文，肯定了我们在神经网络自适应控制方面所做出的工作，他们认为我们的成果在近年的研究成果中具有代表性。（Meanwhile, applications of NN or fuzzy control in adaptive control are also studied in recent years, please refer to [13]–[20] and the references therein.）文献[15]指代表性论文9。    2. 对于重要发现2的评价  （3） IEEE Fellow、美国罗德岛大学何海波教授和IEEE Fellow、广东工业大学刘德荣教授等人在论文（IEEE Transactions on Cybernetics 47, no. 10 (October 2017): 3417–28.）中引用我们的文章，并说明我们提出的基于自适应动态规划的控制策略在吸气式高超声速飞行器轨迹控制中具有创新性。（Mu et al. [8] provided a novel air-breathing hypersonic vehicle tracking control scheme based on adaptive dynamic programming.）文献[8]指代表性论文2。  （4） IEEE Fellow、广东工业大学刘德荣教授等人在论文（International Journal of Systems Science 48, no. 9 (July 4, 2017): 1978–89.）中引用我们的工作，认为我们在利用自适应动态规划方法解决轨迹跟踪问题中所做工作在自适应动态规划算法研究方面具有代表性。(In recent few years, ADP algorithms were developed further to solve control problems of continuous-time systems (Liu, Li, Li, Wang, & Ma, 2015; Liu, Wang, & Li, 2014), discrete-time systems (Mehraeen & Jagannathan, 2011; Qin, Zhang, Luo, & Wang, 2014), external disturbances and uncertainties (Gao, Jiang, Jiang, & Chai, 2016; Wang, Liu, Mu, & Ma, 2016; Wang, Liu, Zhang, & Zhao, 2016), trajectory tracking (Enns & Si, 2003; Lin, Wei, & Liu, 2016; Mu, Sun, Song, & Yu, 2016; Wei & Liu, 2014; Zhang, Song, Wei, & Zhang, 2011; Zhang, Wei, & Luo, 2008), …)其中（Mu, Sun, Song, & Yu, 2016）指代表作4。  （5） 中国工程院院士、IEEE Fellow、东北大学柴天佑教授和IEEE Fellow、美国德州大学阿灵顿分校Frank L. Lewis教授等人在论文（IEEE Transactions on Cybernetics 47, no. 12 (December 2017): 4547–58.）中引用我们的成果与其文章中的研究做了对比，认为我们的成果在策略强化学习问题中具有代表性。（This is in contrast to on-policy RL [25], [26] that requires the learning data be generated by the same set-point and the same disturbance policy as the ones under evaluation.）文献[26]指代表性论文5。  （6） IEEE Fellow、长江学者特聘教授、东北大学张化光教授等人在论文（Neurocomputing 275 (January 31, 2018): 2009–18.）中引用我们的论文，他们在提到前向时间问题时认为我们的成果在该领域内具有代表性。（Incorporating with reinforcement learning (RL) and NNs, adaptive dynamic programming (ADP) approach proposed in [27] has gained great attentions because it transferred the optimal control problem into solving the Hamilton-Jacobi-Bellman or HJI equation in forward-in-time [28–43].）文献[34]指代表性论文5。  （7） IEEE Fellow、美国罗德岛大学何海波教授和IEEE Fellow、广东工业大学刘德荣教授等人在论文（IEEE Transactions on Cybernetics 47, no. 10 (October 2017): 3429–51.）中三次提到了我们的工作。（a. Among them, the iterative ADP algorithm based on value iteration is important to the self-learning optimal control design of discrete-time systems [27], [47], [52], [55], [59], while the policy iteration is signiﬁcant to the adaptive optimal control design of continuous-time systems [28], [66], [69], [77], [82]. b. The convergence of these iterative algorithms is a basic issue so that it has been sufﬁciently studied [27], [28], [47], [52], [54], [55], [57], [59], [62], [64], [66], [69], [73], [76], [77], [79], [82], [83]. c. Among them, the critic network is regarded as the most fundamental element, even though there may be other elements involved, such as model network [52], [55] and action network [55], [66].）文献[52]指代表性论文5。  3. 对于重要发现3的评价  （8） 欧洲科学院院士、发展中国家科学院院士、IEEE Fellow、香港城市大学陈关荣教授和上海交通大学汪小帆教授等人在论文（International Journal of Robust and Nonlinear Control 28, no. 5 (March 25, 2018): 1566–82.）中，引用我们的成果，他们指出我们的研究内容正是该领域现在的研究热点问题（Today, there is a large volume of literature on the cooperation of multiagent systems[7-11] and on coupled harmonic oscillators[12-17].）文献[11]指代表性论文6。  （9） IEEE Fellow、美国德州大学阿灵顿分校Frank L. Lewis教授等人在论文（IEEE Transactions on Industrial Electronics 64, no. 12 (December 2017): 9527–37.）引用我们的论文，并肯定了我们针对解决负载频率控制所提出的事件触发自适应动态规划学习算法。（In [20], an event-triggered approach for load frequency control with supplementary ADP learning algorithm was presented.）文献[20]指代表性论文8。  （10） 青年千人计划学者、西北工业大学聂飞平教授等人在文章（Neurocomputing 216 (December 5, 2016): 200–207.）中以我们的文章为例，说明最小二乘回归非常适用于降维时引用我们的结论：带l1范数和l2范数正则项的最小二乘公式，可以提高模型的稀疏性和控制模型的复杂度。（For example, the ℓ1-norm and the ℓ2-norm regularization joint with the least squares formulation that can improve the model sparsity and control the model complexity [21–23].）文献[23]指代表性论文7。 | |
| 论文、论著目录和（或）主要知识产权证明目录  （按照推荐书表格列出主要内容，不需再做表格）   1. Sun, C., W. He, and J. Hong. “Neural Network Control of a Flexible Robotic Manipulator Using the Lumped Spring-Mass Model.” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems 47, no. 8 (August 2017): 1863–74. 2. Mu, C., Z. Ni, C. Sun, and H. He. “Air-Breathing Hypersonic Vehicle Tracking Control Based on Adaptive Dynamic Programming.” IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems 28, no. 3 (March 2017): 584–98. 3. Cao, X., L. Liu, Y. Cheng, L. X. Cai, and C. Sun. “On Optimal Device-to-Device Resource Allocation for Minimizing End-to-End Delay in VANETs.” IEEE Transactions on Vehicular Technology 65, no. 10 (October 2016): 7905–16. 4. Mu, Chaoxu, Changyin Sun, Aiguo Song, and Hualong Yu. “Iterative GDHP-Based Approximate Optimal Tracking Control for a Class of Discrete-Time Nonlinear Systems.” Neurocomputing 214 (November 19, 2016): 775–84. 5. Mu, C., Z. Ni, C. Sun, and H. He. “Data-Driven Tracking Control With Adaptive Dynamic Programming for a Class of Continuous-Time Nonlinear Systems.” IEEE Transactions on Cybernetics 47, no. 6 (June 2017): 1460–70. 6. Wang, Qingling, Xianghui Cao, and Changyin Sun. “Robust Output Synchronization of Linear Multi-Agent Systems with Constant Disturbances via Integral Control.” International Journal of Robust and Nonlinear Control 27, no. 9 (June 1, 2017): 1628–39. 7. Yang, Wankou, Changyin Sun, and Wenming Zheng. “A Regularized Least Square Based Discriminative Projections for Feature Extraction.” Neurocomputing 175 (January 29, 2016): 198–205. 8. Dong, L., Y. Tang, H. He, and C. Sun. “An Event-Triggered Approach for Load Frequency Control With Supplementary ADP.” IEEE Transactions on Power Systems 32, no. 1 (January 2017): 581–89. 9. Sun, C., W. He, W. Ge, and C. Chang. “Adaptive Neural Network Control of Biped Robots.” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems 47, no. 2 (February 2017): 315–26. 10. Cao, X., D. M. Shila, Y. Cheng, Z. Yang, Y. Zhou, and J. Chen. “Ghost-in-ZigBee: Energy Depletion Attack on ZigBee-Based Wireless Networks.” IEEE Internet of Things Journal 3, no. 5 (October 2016): 816–29. | |
| 完成人情况：  （摘自“完成人情况表”中的部分内容，公示姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目技术创造性贡献）样式如下：  1. 姓名，排名1，主任，教授，工作单位：清华大学，完成单位：北京大学，是该项目主要负责人，对发现点1、2、3均有重要贡献，具体\*\*\*\*  1.孙长银，排名1，副院长，教授，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，是该项目主要负责人，组织攻关技术难题，推进项目进度，项目总体把关。对该项目重要科学发现1作出创造性贡献，并指导完成了重要科学发现2和3中的部分结果，发表SCI论文47篇。投入本项目研发的工作量占本人工作总量的60%。部分成果见代表性论文1、4、6、7、8、9。  2.穆朝絮，排名2，副教授，工作单位：天津大学，完成单位：天津大学，项目的主要参与人，主要完成了重要发现2.1和2.2的研究工作，对高超声速飞行器、连续不确定非线性系统和离散时间不确定系统的鲁棒最优跟踪控制，做了大量具体的工作和贡献，见代表性论文2、4、5。  3.曹向辉，排名3，副教授，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，项目的主要参与人,参与本项目的总体研究思路设计，协助负责人完成项目进度推进，相关技术难题公关等工作。对该项目重要科学发现3作出创造性贡献，发表SCI论文11篇。投入本项目研发的工作量占本人工作总量的60%。部分成果见代表性论文3、10。  4.杨万扣，排名4，副研究员，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，参与了重要科学发现3的研究，对视觉感知部分做出了巨大贡献。投入本项目研发的工作量占本人工作总量的50%。部分成果见代表性论文7。  5.王庆领，排名5，讲师，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，参与了重要科学发现3的研究，对多自主体协同控制部分做出了巨大贡献。投入本项目研发的工作量占本人工作总量的50%。部分成果见代表性论文6。 | |
| 合作关系证明（如有就提供） | |

|  |
| --- |
| 知情同意证明（如有就提供）：  （指未列入项目主要完成人的代表性论文（专著）第一作者及通讯作者出具的知情同意证明，扫描图片即可） |