自动化学报
ACTA AUTOMATICA SINICA

具身群体智能理论与技术专刊序言

温广辉 付俊杰 张辉 温世平

Guest Editorial of Special Issue on Theory and Technologies of Embodied Swarm Intelligence

Wen Guang-Hui, Fu Jun-Jie, Zhang Hui, Wen Shi-Ping

在线阅读 View online: https://doi.org/10.16383/j.aas.c202610

您可能感兴趣的其他文章

具身智能自主无人系统技术

Embodied Intelligence Autonomous Unmanned Systems Technology

自动化学报. 2025, 51(4): 762−777 https://doi.org/10.16383/j.aas.c240456

机器人仿生智能专刊序言

Guest editorial of Special Issue on Biomimetic Intelligence in Robotics

自动化学报. 2026, 52(5): 879−881 https://doi.org/10.16383/j.aas.c202605

具身智能研究的关键问题: 自主感知、行动与进化

Key Problems of Embodied Intelligence Research: Autonomous Perception, Action, and Evolution

自动化学报. 2025, 51(1): 43−71 https://doi.org/10.16383/j.aas.c240364

基于形态的具身智能研究: 历史回顾与前沿进展

Morphology-based Embodied Intelligence: Historical Retrospect and Research Progress

自动化学报. 2023, 49(6): 1131−1154 https://doi.org/10.16383/j.aas.c220564

基于大模型的具身智能系统综述

Embodied Intelligence Systems Based on Large Models: A Survey

自动化学报. 2025, 51(1): 1−19 https://doi.org/10.16383/j.aas.c240542

人工智能驱动的自动化专刊序言

Guest editorial of special issue on artificial intelligence-driven automation

自动化学报. 2026, 52(6): 1141−1144 https://doi.org/10.16383/j.aas.c202606

具身群体智能理论与技术专刊序言

温广辉[1] 付俊杰[2] 张 辉[3] 温世平[4]

具身群体智能是具身智能与群体系统理论深度融合的前沿交叉领域, 研究具有物理载体的多个智能体如何通过与环境的持续交互及个体间的自主协作, 形成超越单个智能体能力的集体智能. 其核心在于将个体的"感知–决策–行动"闭环与群体的信息交互和行为协同有机结合, 使物理具身性、环境反馈与交互关系共同参与群体认知和协同行为的形成. 近年来, 大模型、多智能体强化学习和分布式协同控制等技术的发展, 为群体系统理解复杂任务、共享交互经验和适应环境变化提供了新的方法, 也进一步拓展了智能学习与物理运动控制融合的研究空间. 面向智能制造、低空经济、应急救援等领域的复杂任务需求, 具身群体智能有望充分发挥异构个体的能力互补与协同优势, 提升无人系统在开放环境中的自主作业能力, 为人工智能在物理世界中的规模化协同应用提供重要支撑.

然而, 具身群体智能的深入发展仍面临个体智能、物理环境与群体交互相互耦合所带来的基础理论与技术挑战. 智能体通常只能依据局部观测和有限通信进行决策, 而群体任务的完成又高度依赖全局协调与持续协作; 学习算法需要适应未知环境, 其生成的策略还必须满足个体动力学约束、资源限制与安全要求. 随着群体规模扩大和异构程度增加, 环境不确定性、通信网络变化以及故障与攻击的影响可能沿交互关系传播, 使群体行为的分析与性能保障更加困难. 如何刻画个体具身行为与群体交互的耦合关系, 揭示局部协作形成全局有序行为的机制, 是理解群体智能涌现的重要科学问题. 同时, 如何将学习的适应能力与控制理论提供的稳定性和安全性保障相结合, 在有限信息与资源条件下实现可执行、可验证的协同决策, 则是推动相关理论方法应用于真实系统的关键.

为交流相关研究成果, 促进具身智能与群体系统理论的融合,《自动化学报》组织了"具身群体智能理论与技术"专刊. 经同行评议, 本专刊共录用 14 篇论文, 其中综述论文 1 篇、研究论文 13 篇, 内容涉及具身认知与协同学习、任务分配与分布式优化、编队跟踪以及安全协同控制等方向.

安徽大学孙长银教授团队围绕大模型时代端到端自动驾驶的认知架构展开综述. 文章回顾了自动驾驶由模块化架构向端到端范式演进的过程, 梳理大语言模型、视觉–语言模型、视觉–语言–动作模型及世界模型在环境理解、推理决策和环境推演中的作用, 并讨论数据体系与闭环验证方法的变化, 为驾驶智能体的认知能力构建提供参考.

清华大学刘华平教授团队研究了大模型驱动的云边协同多智能体具身学习. 针对单智能体数据采集与训练效率受限的问题, 利用视觉–语言模型构建融合语义和空间信息的好奇心地图, 协调短期目标选择与长期探索规划; 在协同采集数据的基础上, 通过边缘端本地训练和云端知识聚合更新感知模型. 该研究将自主探索、数据获取与模型改进联系起来, 探索多机器人共享交互经验的学习方式.

沈阳航空航天大学王传云副教授与北京航空航天大学王田教授等针对多约束条件下的多无人机协同任务分配问题, 构建综合考虑时间、能耗、负载均衡和任务时序的优化模型, 提出一种多策略融合海鸥优化算法. 通过混沌映射、精英进化、自适应迁徙及攻击策略, 改善种群多样性和搜索过程, 在全局探索与局部开发之间进行协调, 为复杂任务条件下的无人机群任务组织提供求解方法.

华中科技大学刘智伟教授等面向大规模变频空调集群参与需求响应的功率调度, 研究了兼顾用户舒适需求与动态响应性能的分布式优化方法. 文章建立了统一的舒适指标, 设计了预定义时间最优调度策略, 在满足用户舒适约束的前提下, 使集群总功率在预定义时间内跟踪需求功率, 并实现用户满意度最优. 文章还将该策略扩展至阶跃需求情形,

1. 东南大学自动化学院 南京 210096 2. 东南大学数学学院 南京 211189 3. 湖南大学人工智能与机器人学院 长沙 410012 4. 深圳理工大学计算机科学与人工智能学院 深圳 518107
1. School of Automation, Southeast University, Nanjing 210096 2. School of Mathematics, Southeast University, Nanjing 211189 3. School of Artificial Intelligence and Robotics, Hunan University, Changsha 410012 4. Faculty of Computer Science and Artificial Intelligence, Shenzhen University of Advanced Technology, Shenzhen 518107

引用格式 温广辉, 付俊杰, 张辉, 温世平. 具身群体智能理论与技术专刊序言. 自动化学报, 2026, **52**(10): 2149−2151
Citation Wen Guang-Hui, Fu Jun-Jie, Zhang Hui, Wen Shi-Ping. Guest editorial of special issue on theory and technologies of embodied swarm intelligence. *Acta Automatica Sinica*, 2026, **52**(10): 2149−2151
DOI 10.16383/j.aas.c202610 **CSTR** 32138.14.j.aas.c202610

体现了群体协同优化在能源系统中的应用.

南京信息工程大学朱亚楠副教授、李涛教授等研究了强连通有向非平衡图下二阶多智能体系统的广义纳什均衡搜索问题. 针对具有全局耦合等式约束的非合作博弈, 设计了两阶段预设时间分布式算法: 首先估计拉普拉斯矩阵的左特征向量, 以补偿拓扑权重不平衡引起的偏差; 随后结合阻尼项、拉格朗日乘子和决策估计器进行分布式寻优. 在博弈映射满足强单调性等条件下, 证明了所提算法的预设时间收敛性, 为考虑智能体动力学的群体博弈决策提供了求解方法.

西北工业大学黄兵教授、张立川教授等将时变博弈与边分组通信机制相结合, 研究了通信资源受限的无人艇编队控制. 文章通过具有时变纳什均衡点的代价函数描述成员收益与编队目标, 并利用分布式状态估计器获取博弈所需的信息; 将通信边划分为若干组, 生成交错的通信时序, 以缓解多边并发通信带来的资源竞争, 实现通信调度与博弈编队控制的协同设计.

南京信息工程大学刘金良教授等针对无人机集群在突发环境变化下的性能退化问题, 提出了一种基于动态性能均衡的元学习协同避障控制方法. 在兼顾轨迹跟踪、集群协同和动态避障的自适应控制设计中, 引入元学习优化控制增益, 通过离线训练获得初始化参数, 利用少量历史数据和单步梯度更新完成在线调整. 该方法着重协调瞬态响应与稳态精度, 为动态环境下的集群控制提供快速适应途径.

安徽师范大学王佩君教授、南京大学史桀绮副教授与深圳理工大学黄廷文教授等研究了有向拓扑下含非自治领导者的多智能体系统时变编队跟踪. 利用相对输出信息构造未知输入观测器, 估计智能体间的相对状态, 并设计分布式动态事件触发控制协议, 使跟随者在降低控制更新频率的同时实现编队跟踪. 文章给出了跟踪误差渐近收敛及芝诺行为排除的理论分析, 拓展了有限测量信息下的协同控制方法.

西北工业大学赵宇教授团队面向低空反制中的协同跟踪需求, 研究了集群无人机的动态事件触发分布式平均跟踪问题. 提出了无需相对速度测量和变量初始化的动态事件触发算法, 分析了平均跟踪性能及闭环系统的芝诺行为排除条件, 并以无人机集群跟踪非合作无人机集群为例进行了验证, 为相关协同任务中的目标信息估计提供了理论支撑.

天津科技大学李博茜与深圳理工大学温世平教授等研究了基于控制障碍函数的多智能体避碰安全控制问题. 针对二阶系统的高相对度安全约束, 构造高阶控制障碍函数, 将避碰要求转化为最小侵入的二次规划问题, 并利用约束的对称性进行分布式解耦. 进一步引入鲁棒补偿处理系统不确定项, 证明了安全集的前向不变性, 为协调群体运动性能与安全要求提供了方法.

湖北珞珈实验室黄頔副教授与瑞典皇家理工学院张斯伦助理教授研究了基于相对阶解耦的多智能体安全强化学习. 通过相对阶理论将高阶状态约束转化为显式输入约束, 在给定不确定性与扰动条件下构造可认证的安全动作集, 并利用带终端集的滚动安全滤波器保障递归可行性. 结合标称控制与学习补偿的策略分解, 在卫星编队姿态控制仿真中验证了安全约束处理与学习性能改进的效果.

大连理工大学陈向勇教授、赵旭东教授等研究了不确定马尔科夫切换拓扑下多智能体系统的隐私保护与安全协同控制. 考虑拓扑转移率不确定或部分未知、执行器故障以及随机虚假数据注入攻击, 设计了保护时长可调的隐私机制, 并融合估计状态与历史触发信息, 构建了基于动态记忆事件触发的神经网络自适应控制策略, 讨论了多种不利因素共同作用下的协同控制问题.

成都大学操延燚副研究员等针对欺骗攻击和切换拓扑下具有空间动态特性的神经网络控制问题, 提出了一种分布式事件触发跟踪同步控制协议. 以多反应扩散神经网络为对象, 分析空间动态、网络切换与攻击对同步过程的影响, 给出跟踪同步条件及控制器参数设计依据, 并证明相邻触发事件之间存在正的时间间隔, 补充了网络化神经动力系统的安全协同分析.

上海理工大学田恩刚教授等从通信结构与任务性能的关联出发, 研究了复杂无人机群的关键节点脆弱性. 构建了融合拓扑先验与任务状态信息的 TPT-Former 评估模型, 以连通性和任务性能变化形成任务退化导向的标注, 并在攻击数量与成本约束下设计了基于学习评分的选点策略. 该研究将结构关键性与任务退化联系起来, 为无人机群抗毁性评估和拓扑加固提供了参考.

本专刊从具身学习到分布式优化、从编队控制到安全与韧性分析, 展示了相关研究的不同切入点. 面向更大规模的异构群体, 语义层面的任务理解如何转化为可执行、可验证的协同行动, 个体学习与群体稳定性如何协调, 仍有许多问题值得深入探索. 也期待更多研究将理论分析与真实平台验证结合起来, 在长期运行和复杂环境中检验方法的有效性. 本专刊所收录的工作尚不能覆盖这一领域的全部进展, 但希望能为后续研究提供有益参考, 促进相关

学科之间的交流.

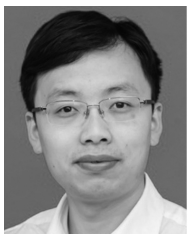
衷心感谢各位作者对本专刊的支持与贡献, 感谢评审专家的认真审阅和专业建议, 感谢《自动化学报》编委会及编辑部在专刊组织、评审和出版过程中的指导与辛勤付出.



温广辉 东南大学自动化学院教授. 2012 年获得北京大学博士学位. 主要研究方向为分布式控制理论与控制工程, 网络群体智能理论与技术, 具身智能体控制与决策.
E-mail: ghwen@seu.edu.cn
(**WEN Guang-Hui** Professor at the School of Automation, Southeast University. He received his Ph.D. degree from Peking University in 2012. His research interests include distributed control theory and control engineering, the theory and technology of networked swarm intelligence, and control and decision-making for embodied agents.)



付俊杰 东南大学数学学院教授. 2017 年获得北京大学博士学位. 主要研究方向为多智能体系统协同控制, 分布式模型预测控制, 数据驱动协同控制.
E-mail: 101012232@seu.edu.cn
(**FU Jun-Jie** Professor at the School of Mathematics, Southeast University. He received his Ph.D. degree from Peking University in 2017. His research interests include cooperative control of multi-agent systems, distributed model predictive control, and data-driven cooperative control.)



张 辉 湖南大学人工智能与机器人学院教授. 2007 年获得湖南大学博士学位. 主要研究方向为数据分析, 图像处理和机器人控制.
E-mail: zhanghui1983@hnu.edu.cn
(**ZHANG Hui** Professor at the School of Artificial Intelligence and Robotics, Hunan University. He received his Ph.D. degree from Hunan University in 2007. His research interests include data analysis, image processing, and robot control.)



温世平 深圳理工大学计算机科学与人工智能学院教授. 2013 年获得华中科技大学自动化学院博士学位. 主要研究方向为神经网络, 深度学习.
E-mail: wenshiping226@126.com
(**WEN Shi-Ping** Professor at the Faculty of Computer Science and Artificial Intelligence, Shenzhen University of Advanced Technology. He received his Ph.D. degree from the School of Automation, Huazhong University of Science and Technology in 2013. His research interests include neural networks and deep learning.)