

## “复杂CPS的分布式优化及其应用”专刊

### 前言

信息物理系统(Cyber-physical system, CPS)是集成计算、通信和控制于一体的新一代智能系统,包含了环境感知、网络通信、嵌入式计算、网络控制等系统工程,强调计算资源和物理资源的综合协调,赋予物理系统计算、通信、远程协作、精准控制和自治的能力.近年来,CPS及其相关技术的快速发展,推动了自主无人系统、工业互联网、智能交通系统、智能电网、智慧医疗等领域关键技术的跨越发展.

然而,在诸多实际应用中,CPS通常特别复杂,呈现出物理系统的异构性、物理系统规模的巨大性、物理环境的复杂性、通信方式的多样性、通信数据的海量性和实时性、设备的计算复杂性等.分布式优化考虑通过一组多智能体对一个全局优化决策问题进行分布式求解,其中每个智能体(如机器人、计算机、具有计算能力的网络节点等)只能获知全局优化问题的部分私有信息,而没有任何智能体可获得全局优化的信息.对于分布式优化问题,每个智能体需要和邻居进行信息分享进而协同合作求解全局优化问题.此外,如果考虑环境是实时变化的,甚至具有敌意的,此时目标函数或代价函数具有时变性,甚至不服从任何经验分布,这时如何进行实时的最优决策具有很大挑战性,这种情况下的优化在多智能体网络下称为分布式在线优化或学习.

本专刊在相关领域方向共征收23篇论文,致力于报道复杂CPS分布式优化的最新理论、研究、方法及其应用,文章研究内容简介如下:

曹嘉馨等人针对纳网中随机的可再生能源发电和电力需求以及用户舒适度偏好和环境因素等对纳网能源盈余和运行成本的影响,提出了一种基于斯坦伯格博弈的需求响应和双向定价算法,实现纳网和公共管理中心中电能的合理配置,并保证用户的热舒适度.李修贤等研究了含有 $m$ -生成森林有向图拉普拉斯矩阵的零特征值重数问题,证明了拉普拉斯矩阵的零特征值重数等于这个图中的生成森林个数,推广了带有生成树的有向图的相关结论,并结合分布式优化方法,探讨了在单积分器多智能体系统编队控制中的应用.颜罡等考虑自动列车在路况变化下的定速控制问题,提出了一种无模型控制器,其只需要很少的列车运行数据即可适应新的路况.付瑛博等研究了离散时间多机器人系统对静态目标的同步定位与围陷问题,提出了基于虚拟系统法的路径规划方案,并设计了基于方位角观测的离散时间估计器与控制器的联合设计方法.项雷军等针对多区域互联电力系统提出了一种计及温控负荷响应的二维云模型分布式频率控制方法,设计了基于福克普朗克方程的温控负荷分布式控制策略,并在不同运行场景下验证了所提出综合控制方法的动稳态性能.

王小文等人针对线性和非线性多智能体系统的一致性跟踪问题,提出了基于P和PD类型的迭代学习控制方法,严格证明了该方法在有向图下的渐近收敛,并通过仿真实例进一步证明了该方法的有效性.王山丹等针对欠驱动无人艇的路径跟踪问题,首次提出了一种新的固定时间预测器,用来预测位置误差,实现对干扰的估计和补偿.孙辉辉等人针对复杂环境下目标跟踪机器人高效路径规划需求,提出了基于多智能体强化学习专家型深度确定性策略梯度的机器人主动清障路径规划算法,提高了收敛速度和清障成功率,降低了跟踪误差.张斌等通过基于频域的二元随机过程方法研究了具有丢包、时延、编解码和双通道噪声的多输入多输出离散时间网络控制系统(NCSs)的最优跟踪性能.叶欣茹等为了解决现有智能交通通信网络脆弱性检测方法复杂度高、实时性差的问题,提出引入深度学习技术对网络脆弱性检测方法进行设计.

郭方洪等人针对微电网系统中存在的参数空间规模大,能源供给不确定等挑战,提出了一种基于分布式深度强化学习方法的微电网能量在线优化策略,可有效在线搜寻发电成本、交易电价和电源寿命等的最优决策值,解决传统方法计算量过大的问题.王悦等研究了一类线性多智能体系统在DoS攻击下的安全一致性控制问题,通过引入匹配机制来同步由多率采样引起的智能体不同状态分量的采样数据,提出了基于多率采样的安全一致性控制器,获得了包含DoS攻击持续时间以及攻击频率的安全一致性充分条件.陈剑飞等考虑了

多园区综合能源系统与配电网之间的接入影响,提出了一种计及配电网灵活性的分布式协同优化调度方案,通过改进自适应步长交替方向乘子法实现优化问题的分布式求解,提升了配电网灵活性及园区综合能源系统运行经济性. 马永胜等研究了拒绝服务攻击下基于观测器的事件触发微电网控制. 袁亚洲等针对现场级工业无线网络,提出了流量分区超帧架构,并基于该架构设计了R-MAC(时隙预留接入协议)和C-MAC(时隙争用接入协议)以满足不同应用场景需求.

朱凤增等人研究了无线传感器网络中的分布式滤波问题,采用Round-Robin协议来限制数据包大小,有效减轻通信负担,对通信资源受限下的分布式滤波器设计具有一定理论指导意义. 时侠圣等人针对多智能体系统中的分布式资源分配问题,提出了基于自适应精确罚函数的分布式资源分配算法,在无需全局先验知识的情况下实现了该问题的最优分配. 潘晓伟等针对多个体参与的广义纳什平衡点的求解问题,基于三算子分裂算法提出了一种半分布式的FRDR算法,使得对偶变量的信息交换总是按照分布式的方式进行,同时给出了迭代残差的收敛速率. 赵振根等针对信息物理融合系统乘性攻击检测的问题,提出了两种基于鲁棒性能的乘性攻击检测与数据驱动实现策略,并在飞行器系统中仿真验证了所提检测方法的有效性. 周治威等人针对联邦学习过程中通信资源有限的问题,提出了基于权重自适应量化和重复控制的联邦学习方法,有效降低了通信复杂度,并研究了该策略对算法精度的影响.

孟敏等人提出了增广的主对偶算法Aug-PDG,用以求解带凸不等式约束的优化问题,并在较弱的假设条件下证明了算法的半全局收敛性,该方法在智能电网,机器人控制等领域具有一定的潜在应用价值. 汪城博等研究了动态能源资源协调问题,将问题转换为一般性的复合约束优化形式,并提出了一种新的原对偶算法. 魏文军等人提出了基于逆最优方法的分布式一致性最优控制律,用以求解区间2型Takagi-Sugeno(IT2 T-S)模糊非线性多智能体系统全局最优控制问题,实现有向拓扑切换下的非线性多智能体系统二次性能全局最优分布式协同控制.

最后感谢各位作者分享他们的研究成果;感谢审稿专家们对审稿工作的支持以及提出的宝贵审稿意见;感谢《控制理论与应用》期刊编辑部各位老师的大力支持与付出,使得本专刊能够顺利及时的与读者见面.

刘 帅 山东大学  
朱善迎 上海交通大学  
徐金明 浙江大学  
李修贤 同济大学