



社论:

复杂网络和系统的分布式滤波与控制

陈关荣¹, Sergej ČELIKOVSKÝ², 郭雷³, 张友民⁴, 李天成⁵

¹香港城市大学电机工程系, 中国香港

²捷克科学院信息理论与自动化所, 捷克共和国布拉格, 18200

³北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 中国北京市, 100191

⁴康考迪亚大学机械、工业与航空工程系, 加拿大魁北克蒙特利尔, H3G1M8

⁵西北工业大学自动化学院信息融合技术教育部重点实验室, 中国西安市, 710072

E-mail: eegchen@cityu.edu.hk; celikovs@utia.cas.cz; lguo@buaa.edu.cn; ymzhang@encs.concordia.ca; t.c.li@nwpu.edu.cn

本文译自 Chen GR, Čelikovský S, Guo L, et al., 2021. Distributed filtering and control of complex networks and systems. *Front Inform Technol Electron Eng*, 22(1):1-4. <https://doi.org/10.1631/FITEE.2110000>

近 20 年来, 分布式滤波与控制 (FAC) 的研究日益扩展至大规模复杂网络和系统。与集中式网络系统相比, 分布式网络系统因其低功耗、安装简单、高性能和高可靠性等优点越来越受到人们欢迎。分布式网络系统通常由多个具有有限感知、计算和通信能力的高性价比动态节点 (智能体) 组成。因此, 各种网络诱导的 FAC 系统、技术和算法应运而生, 包括节点注册与控制、网络一致性与同步性、多传感器数据聚类/融合、网络拓扑设计与分析等。此外, 从 FAC 角度深入理解网络和系统的运行与演变, 是解决许多关键问题的突破口, 例如通过有限数量传感器获得最佳观测视场覆盖、处理动态节点之间内在交互和未知关联、权衡性能与约束、实现嘈杂环境下的自动化等。这些问题因其多学科性质与内在复杂性而颇具挑战, 亟待解决。尽管学术界不断提出和完善各种理论、技术和算法, 仍需更多研究和努力。

本期特刊旨在收集基于复杂网络和系统的分布式滤波与控制研究领域的高质量论文, 最终选出 2 篇综述和 9 篇原创性研究论文。

达凯等综述了基于随机有限集 (RFS) 方法的多传感器多目标跟踪的最新进展。多传感器 RFS 融合是一个富有吸引力和挑战性的难题, 引起人们极大关注。该文是近 5 年来多传感随机集研究领域的首篇综述。多传感器数据融合在分布式跟踪中起重要作用, 该文简要地将其分为两类: 数据级多目标量测融合和估计级多目标密度融合。这两种融合方式分别共享和融合传感器之间的局部量测值和后验密度。此外, 该文详细介绍了每个融合规则的重要属性, 包括最优性和次优性。特别地, 针对不同的后验分布, 重点讨论两种鲁棒的多目标密度平均方法, 即算术平均和几何平均融合。同时还讨论了该领域研究趋势和现存挑战。

温广辉等回顾了智能电网中分布式经济调度的最新进展。实现多发电机组智能电网的高效分布式经济调度策略, 对于获得这种新一代电力系统的各种效益 (如易于实施、低维护成本、高能效和鲁棒性) 起着至关重要的作用。该文重点研究了 2015 年以来的相关文献, 将其分为分布式离散时间和连续时间的多发电机组经济调度两类, 分别进行论述。此外, 讨论了智能电网分布式经济调度的一些未来研究方向。

杨飞生等解决了恶意拒绝服务 (DoS) 攻击下

† 通讯作者

智能电网的经济调度问题。以发电的实际情况为出发点，建立将环境污染惩罚考虑在内的分布式优化模型。为节省带宽，提出一种新的分布式事件触发方案，在通信网络遭受恶意 DoS 攻击时，能保证一类网络电力系统的弹性和经济性。在此基础上，设计一种基于梯度下降思想的改进多智能体一致性协议以求解最小化问题，并从最优性和稳定性角度分析系统发电成本最小化的前提条件。

王蕊等提出一种新的事件触发型卡尔曼一致性滤波器 (ET-KCF)。该算法基于信息新鲜度，即采样数据的信息年龄 (AoI)，集成事件触发机制、信息新鲜度计算方法和卡尔曼一致性滤波 (KCF) 算法，能够更有效地估计飞机内的污染物浓度。此方法还考虑了数据包丢失和飞机通信路径丢失的影响，提出一种基于 AoI 约束的 ET-KCF 阈值选择方法，将数据包 AoI 与系统最小平均 AoI 比较。这种方法减少了失效信息的传输，能够显著降低能源消耗。该算法的收敛性得到证明。仿真结果表明，与已有 KCF 算法相比，该算法具有更好的容错性，且相比其他 ET-KCF 算法具有更低功耗。

Jorge A. TORRES 等为具有线性输入的非线性系统引入一种增益恒定的渐近观测器。在输入干扰与输出之间满足严格正定的条件下，观测器的设计可以在线性矩阵不等式范式内进行。随后将所提出的观测器应用于一大类非线性恒化器动力系统。在一些典型假设下，恒化器状态坐标存在必要变化，从而允许使用恒定增益观测器。通过估算极大螺旋藻污水处理设备中的污染物浓度，验证了所提理论。

吴卫华等以多机动目标跟踪系统为研究对象，将传统 (单目标) 混合系统扩展到多目标混合系统。该系统由一个连续离散可切换的状态和一个离散的时间常数状态组成。在此基础上，该文给出了多模型广义标记多伯努利滤波器精确解的推导。

王庆领分析了时变网络的收敛性，并将其结果应用于具有未知控制方向的非线性多智能体系统的协同控制。证明在切割平衡时变网络情况下，所提出的算法可以实现不同未知控制方向的非线性多智能体系统的收敛，且一个关键之处在于，

其可以通过使用传统的 Nussbaum 型函数来处理不同的未知控制方向。

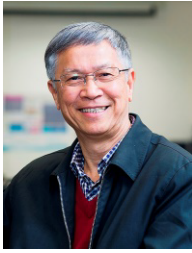
Branislav Reháč 等提出一种由线性时滞智能体组成的多智能体系统主从同步算法。不同智能体延迟不同，会产生不收敛到零的同步误差。然而，该文证明这种误差的标准可以是有界的。主要结果的证明借助于线性矩阵不等式，问题的规模不依赖于智能体数量。通过举例说明了结果，突出稳态误差是由非均匀延迟引起的事实。最后证实该算法在小误差允许范围内实现同步的能力。

孙雅妮等研究了分布式事件触发方案下高阶异构非线性多智能体系统的包含控制问题。针对智能体间通信较少的包含控制问题，提出一种基于反推技术、李雅普诺夫函数和神经网络的分布式事件触发控制方案。然后，将结果扩展到自触发控制设置，以避免连续监测状态误差。所开发的协议和规则确保每个跟随器的输出在一定误差范围内收敛到由多个先导信号跨越的凸包。此外，没有任何智能体表现出 Zeno 行为。

胡翔等研究了多智能体系统的状态一致性，将新的智能体组动态添加到原始多智能体系统中。该文分析了不同常见网络拓扑形式下动态添加智能体组的可行性，从理论上得出 4 种可行方案，其中一种方案在实际工业生产中是最优的。随后，采用确定的最优方案对多智能体系统进行动态建模。利用脉冲控制理论和李雅普诺夫稳定性理论分析了具有动态加入特性的整个多智能体系统达到状态一致的条件。

杨正全等研究了具有区域约束的多智能体系统有限时间编队控制，其中多个智能体具有共同目标区域的一级动力学。提出一种新的利用局部信息和交互作用的控制算法。如果通信图是无向连通的，且所需框架是刚性的，则证明控制器可以用于解决目标区域内的编队问题，即所有智能体可以在有限时间内进入预期区域，且达到并保持预期的编队队形。

特邀编辑感谢所有作者对本期特刊的出色贡献，并感谢所有审稿人付出的时间和努力。感谢编辑部在整个过程中给予的大力支持。我们希望入选的论文确实能展现一些前沿重大科学发展，并能引导或推动进一步研究进展。



陈光荣教授, 1981年获得中山大学计算机科学硕士学位, 1987年获得美国Texas A&M大学应用数学博士学位。自2000年起, 担任香港城市大学讲座教授和“混沌与复杂网络学术研究中心”创始主任。在此之前, 他已被聘为美国休斯顿大学终身教授。陈教授分别于2008、2012和2016年获得国家自然科学奖。1997年, 当选IEEE会士, 目前是IEEE终身会士。2011年获得俄罗斯欧拉金奖, 并于2011和2014年分别获得俄罗斯圣彼得堡国立大学荣誉博士学位与法国勒阿弗尔大学荣誉博士学位。他是欧洲科学院院士和发展中国家科学院院士。根据汤森路透/科睿唯安索引数据, 陈教授自2009年以来一直是工程领域高引学者。现任 *Int J Bifurc Chaos* 主编。主要研究方向为非线性系统控制与动力学以及复杂网络。



Sergej ČELIKOVSKÝ 教授, 1984年获得莫斯科国立大学最优控制系应用数学硕士学位, 1988年获得捷克斯洛伐克科学院技术控制论博士学位。1996年, 在荷兰特文特大学担任访问学者; 1998年, 在香港中文大学机械与自动化工程系担任访问学者; 1998~2000年, 在墨西哥 CINEVESTAV-IPN 担任访问学者。目前, 他是捷克科学院信息理论与自动化研究所研究员和控制理论系主任, 捷克技术大学布拉格分校控制工程系教授。2003年以来, 担任香港城市大学“混沌与复杂网络学术研究中心”国际成员, 同时也是IEEE高级会员, 2011~2017年为欧盟控制协会大会成员。获得过日本仪器与控制工程师学会颁发的SICE 2011杰出论文奖, 并在2017年图卢兹IFAC世界大会上获得法国电气与信息科学教授和研究人员协会(EEA)演示论文奖。发表超过70篇期刊论文, 在Web of Science被引2000余次, 并在Prentice Hall出版社出版一本专著。担任包括IEEE TAC (2006~2010年)在内的多种知名期刊编委和IFAC世界大会(2014、2017年)在内的国际会议程序委员会委员。曾于2007和2010年担任IFAC NOLCOS分会场主席。目前是 *J Franklin Inst* 学科编辑和 *Int J Bifurc Chaos* 副编辑。研究方向包括非线性系统、机械系统与机器人、复杂系统与网络、混沌系统、最优控制与优化、鲁棒控制、稳定与估计以及生物系统建模与控制。



郭雷教授, 分别于1988和1991年获得曲阜师范大学基础数学学士学位和运筹学与控制论硕士学位, 于1997年获得东南大学控制工程博士学位。1999至2000年, 是法国IRCCyN中心研究员。2000至2003年, 在英国格拉斯哥大学、拉夫堡大学和曼彻斯特理工大学担任研究员。现任北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院教授。是国家杰出青年科学基金获得者, 教育部长江特聘教授。发表论文170多篇, 担任多个期刊编委。研究方向包括鲁棒控制、随机系统、故障检测、滤波器设计、非线性控制及其在航空航天系统中的应用。



张友民教授, 分别于1983、1986和1995年在西北工业大学获得自动控制专业学士、硕士和博士学位。现任加拿大康考迪亚大学机械、工业与航空航天工程系和康考迪亚航空航天大学设计与创新研究所教授。是加拿大机械工程学会(CSME)会士, AIAA和IEEE高级会员, 多个科学学会技术委员会成员, 现任国际智能无人系统学会(ISIUS)主席。撰写5本专著, 发表500多篇期刊和会议论文, 担任多个国际期刊的编辑/副编辑。曾多次担任无人系统和可再生能源相关国际会议的大会主席或程序委员会主席。目前研究方向包括故障检测与诊断和容错控制, 制导、导航和控制, 以及信号/图像处理技术在无人机/空间/地面/地面车辆、智能电网和智慧城市中的应用。



李天成教授, 2008年获得哈尔滨工程大学双学士学位, 并拥有双博士学位, 其中2013年获得英国伦敦南岸大学博士学位, 2015年获得西北工业大学博士学位。现任西北工业大学自动化学院教授。于2014年6月至2018年秋季在西班牙萨拉曼卡大学BISITE课题组做博士后研究员, 并于2017年夏季和2018年秋季在奥地利维也纳科技大学做访问学者。担任 *Front Inform Technol Electron Eng* 编委和 *Adv Distrib Comput Artif Intell J* 副主编。主要研究方向为分布式信息融合以及基于数据驱动的目标检测、跟踪和预测。