



社论:

复杂系统与网络及其应用

曹进德^{†‡1}, 刘洋², 卢剑权¹, Leszek RUTKOWSKI^{3,4}

¹东南大学数学学院, 中国南京市, 210096

²浙江师范大学数学与计算机科学学院, 中国金华市, 321004

³琴斯托霍瓦工业大学计算智能研究所, 波兰琴斯托霍瓦, 42-200

⁴社会科学大学信息技术研究所, 波兰奥兹市, 90-113

[†]E-mail: jdcao@seu.edu.cn

本文译自 Cao JD, Liu Y, Lu JQ, et al., 2020. Complex systems and networks with their applications. *Front Inform Technol Electron Eng*, 21(2):195-198. <https://doi.org/10.1631/FITEE.2020000>

复杂系统与网络能刻画现有大量系统的特征, 并在过去几十年中得到国内外学者广泛关注。由于通信、计算机和信息技术飞速发展, 人们能够应对传统方法无法处理的大规模数据, 近年来, 有关复杂系统与网络的研究已扩展至网络化控制系统、信息物理系统、逻辑网络、神经网络和其它相关领域。更重要的是, 诸如无线传感网络、分散式控制和深度学习等新兴技术亟需分布式控制策略, 以确保系统鲁棒性、灵活性、可扩展性、低成本或便于配置和易于维护。

自上世纪末以来, 有关复杂系统与网络的研究已取得巨大发展和进步, 得到许多有见地的结果和富有成效的方法。复杂系统与网络已广泛应用于民用和军事领域, 典型示例包括运输系统、国家电网、健康和医疗领域、航空航天和工业系统等专业领域。随着对清洁能源、低成本、高安全性、健康等的要求, 复杂系统与网络的研究越来越受到学术界和工业界关注。

在此背景下, 中国工程院院刊《信息与电子工程前沿(英文)》(FITEE)组织了本期“复杂系统与网络及其应用”专刊, 旨在促进复杂系统与网络的研究, 概述理论、应用两方面最新进展。经严格评审, 共遴选 12 篇论文, 其中 2 篇综述, 10 篇研究论文。

李晓迪等对基于复杂网络的脉冲控制给出全面综述。侧重于脉冲控制和脉冲摄动, 涉及具有脉冲效应的复杂动态网络几个方面: 同步和异步脉冲、自适应一脉冲同步、牵制脉冲同步以及具有随机和脉冲效应的复杂动态网络。同时, 指出一些未来研究方向。李海涛等详细综述逻辑控制网络控制器设计的最新研究进展, 具体包括可达集方法、牵制控制设计、控制李雅普诺夫函数方法和采样控制方法等。

曹进德等讨论了具有脉冲特性的分数阶四元数神经网络的多重 Mittag-Leffler 稳定性问题。作者证实: 当利普希茨条件得到保证时, 可用由激活函数几何特性导出的工具证明平衡点的存在性。此外, 借助李雅普诺夫稳定性理论, 进一步研究了带脉冲的分数阶四元数值神经网络多个平衡点的全局 Mittag-Leffler 稳定性问题, 通过数值实例验证了所提方法的有效性。

逻辑网络作为基因调控网络建模的典型形式之一, 一直是人们关注的热点, 在系统生物学、电网、内燃机、博弈论、加密和机器人等领域有着广泛应用。代数状态空间方法的发展, 极大促进了有关逻辑控制网络的结构和动力学研究, 以及逻辑控制网络的分析与综合, 甚至扩展至布尔和多值逻辑网络等。

桂卫华等基于网络结构提出布尔网络的输出反馈稳定器设计方法。不同于传统牵制控制设计

[‡] 通讯作者

方法, 给出的设计策略与布尔网络的状态转换矩阵无关, 且可有效确定牵制控制节点并降低计算复杂度。利用信号转导网络和果蝇分割极性基因网络仿真和实验, 验证该方法具有良好性能和适应性。

卢剑权等讨论了基于切换的非周期采样布尔控制网络的稳定性问题。解决了网络各子系统不稳定时非周期采样数据控制下的布尔控制网络全局稳定性问题。与其它不稳定子系统的切换布尔控制网络的全局稳定性研究相比, 其考虑的非周期采样控制问题更为困难与复杂。

近年来, 同步和一致性现象引起人们对网络系统中集群行为产生机制的关注。Kurths 等提出一种基于双仿真的状态反馈控制的概率布尔控制网络稳定新方法, 可用于降低计算复杂度。在强大矩阵运算基础上, 给出一个充要条件, 并考虑双仿概率布尔控制网络之间概率为 1 的镇定问题。李露露等研究了耦合时滞布尔网络的完全同步问题, 其中状态时滞和输出时滞可能不相等, 并且每个布尔网络中的状态时滞可能不同, 提出完全同步的一个充要条件, 并给出相应算法。

潘金凤和孟敏基于级联聚集的布尔网络, 考虑了最优单比特扰动, 使得期望吸引子吸引域最大, 而非期望吸引子吸引域最小。基于聚集方法, 给出单比特扰动后所需吸引子不变的一个充分必要条件。在 T 细胞受体网络上的实验证实了该方法的可行性和有效性。

级联分解作为布尔控制网络分解的一种基本形式, 在理论上是一个有趣而实用的概念。李一峰和朱建栋利用图论方法研究布尔控制网络的两类级联分解问题, 提出“嵌套完全等顶点划分”概念, 并得到图解的充分必要条件。此外, 通过构造坐标变换, 给出相应级联分解形式, 通过实验数据验证了该方法的可行性和有效性。

由于涉及 DNA 转录和 RNA 翻译的耗时过程, 时滞在基因调控过程中不可避免, 并且在生物体发育中起关键作用。最近, 时滞逻辑控制网络领域的研究者得到一些有趣结果。郑雅婷和冯俊娥基于集合稳定性理论, 研究具有状态和控制约束的时滞逻辑控制网络的输出跟踪问题。基于状态转换矩阵的变形, 推导出几个充要条件, 并提出容许状态反馈控制器设计方案。实验证明了该方法的可行性和有效性。

神经网络在医学图像边缘检测、医学事件检测、模式识别和机器人技术等领域的潜在应用价值, 使得神经网络快速发展。曹阳等研究了混合时滞和脉冲效应的惯性双向联想记忆神经网络, 借助微分不等式技术, 给出反周期解的存在性、唯一性和全局指数稳定性判据。最后给出一个算例, 验证了结果的有效性。

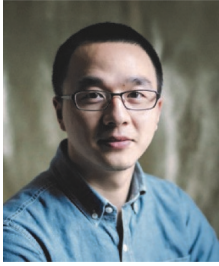
交通信息的可获取性对汽车动力系统控制具有巨大潜力。康明新和高金武描述了一种换挡控制方案, 其中控制设计换挡策略可在逻辑系统框架内制定。为实现这一控制方案, 车辆动力学模型采用马尔可夫过程。在逻辑系统框架下, 通过滚动时域最优控制求解燃料优化问题。利用动态规划工具求解最优问题。仿真结果验证了设计方案的有效性。

本期专刊涵盖了当前大量有关复杂系统、逻辑网络和神经网络的研究内容及其最新进展, 包括逻辑网络的稳定、跟踪和解偶、神经网络的综合、基于脉冲控制的复杂网络同步问题策略, 以及车辆燃油效率优化等实际工程问题。我们希望本期专刊对这些领域的研究人员有所帮助, 促进复杂系统和逻辑网络、神经网络及相关领域研究的开展。

本期专刊的顺利出版, 得益于作者和匿名审稿人在内众多学者的支持和无私帮助。此外, 我们感谢期刊编辑大力协助, 感谢主编潘云鹤和卢锡城教授提供的宝贵机会。



曹进德教授分别于 1986、1989 和 1998 年获安徽师范大学学士学位、云南大学硕士学位和四川大学博士学位, 专业为数学/应用数学。现任东南大学首席教授、数学学院院长、江苏省网络群体智能重点实验室主任、复杂系统与网络科学研究中心主任。曹教授获首届全国创新争先奖、国际 Obada 奖, 是工程、计算机科学和数学领域汤森路透/科睿唯安全球高被引科学家, IEEE 会士, 欧洲科学院院士, 欧洲科学与艺术院院士, 巴基斯坦科学院院士以及国际系统与控制科学院院士。研究方向包括复杂网络与复杂系统、神经动力学与优化、多智能体系统。



刘洋教授于 2003 年获浙江师范大学数学学士学位, 2008 年获同济大学博士学位。现任浙江师范大学数学与计算机学院教授。担任 *Neur Process Lett* 编委。获上海市优秀博士论文奖, 是汤森路透/科睿唯安全球高被引科学家。研究方向包括混合系统和逻辑系统。



卢剑权教授于 2003 年获浙江师范大学学士学位, 2006 年获东南大学数学硕士学位, 2009 年获香港城市大学博士学位, 专业为数学/应用数学。2010—2012 年为德国洪堡研究员。现任东南大学数学学院教授。卢剑权教授在国际期刊发表 70 多篇论文, 是 *Neur Process Lett*、*J*

Franklin Inst 和 *Neur Comput Appl* 编委, *Math Comput Simul* 和 *IET Contr Theory Appl* 客座编辑。2010 年获“教育部新世纪优秀人才支持计划”资助, 获评 2014—2016 年

爱思唯尔中国高被引科学家、2018—2019 年汤森路透/科睿唯安全球高被引科学家。研究方向包括复杂动态网络和多智能体系统中的集体行为以及布尔控制网络。



Leszek RUTKOWSKI 教授分别于 1977 和 1980 年获波兰弗罗茨瓦夫理工大学硕士、博士学位。1980 年至今, 在波兰切斯托乔瓦理工大学 (Czestochowa Univ Technol) 工作, 现任该校计算智能研究所教授兼所长。1987—1990 年在美国俄亥俄州

斯蒂尔沃特市俄克拉荷马州立大学电气与计算机工程学院担任访问学者, 出版了 200 多篇论文和 6 本专著。他是 IEEE 计算智能学会波兰分会创始主席, 该分会获 2008 年杰出分会奖。2004 年当选波兰科学院院士。2004 年, 因对神经计算和柔性模糊系统的贡献被授予 IEEE 会士。2005 年获 IEEE 神经网络杰出论文奖。2014 年获波兰克拉科夫著名的 AGH 科技大学荣誉学位。研究方向包括流数据挖掘、计算智能和模式分类。