



社论:

## 复杂系统智能控制：理论与应用

陈杰<sup>†‡1,2</sup>, 陈本美<sup>3,4</sup>, 孙健<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北京理工大学自动化学院, 中国北京市, 100081

<sup>2</sup>同济大学, 中国上海市, 200092

<sup>3</sup>香港中文大学机械与自动化系, 中国香港

<sup>4</sup>新加坡国立大学电气与计算机工程系, 新加坡

<sup>†</sup>E-mail: chenjie@bit.edu.cn

本文译自 Chen J, Chen BM, Sun J, 2019. Complex system and intelligent control: theories and applications. *Front Inform Technol Electron Eng*, 20(1):1-3. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1910000>

复杂系统是指由多个不同的、自治的且相互作用的子系统组成的系统。正如亚里士多德所说, “整体大于部分之和”, 复杂系统的性质并非其子系统性质的简单加和。复杂系统概念非常广泛, 包括人脑、鸟类编队飞行、电网、交通系统、社交网络、通讯网络, 等等。复杂系统具有高度非线性、涌现性、自适应性、自组织等特征, 这些特征使得复杂系统难于精确建模, 难于理解, 难于控制。

对于智能控制, 目前学术界还没有公认的定义。一般来讲, 智能控制是指一类应用模糊逻辑、神经网络、进化计算、机器学习、群体智能等人工智能技术的控制方法。智能控制往往从物理、数学、生物学、神经学等领域汲取思想, 实现对不确定环境中复杂过程的有效控制。智能控制是一种多学科交叉的前沿技术, 综合了控制理论、计算机科学、人工智能、信息论等多个领域的知识。智能控制在传统控制方法不能胜任的领域往往可以取得良好控制效果。

为此, 中国工程院院刊《信息与电子工程前沿(英文)》组织了“复杂系统与智能控制”专刊。本期专刊目的在于进一步促进该领域研究,

展示该领域最新研究进展, 特别是在基础理论与应用方面的成果。经过严格同行评议, 精心挑选了 11 篇来自世界各地的论文, 包括 1 篇综述, 10 篇研究论文。

电网作为一种典型复杂系统, 给人民日常生活带来巨大变革, 对电网进行精确、快速且鲁棒的状态估计无疑具有重要意义。王钢等全面深入地综述了电网状态估计的最新研究进展, 着重介绍了非凸状态估计问题的最优解或近似最优解求取方法, 并展望了未来的研究方向。

区域覆盖是移动机器人非常重要的应用之一。为解决移动机器人区域覆盖的路径规划问题, 高冠强与辛斌提出一种基于拍卖机制的生成树覆盖算法。与现有方法相比, 对布局复杂的大规模区域, 该方法更加有效且用时更短。

蛇形机器人是一种模仿生物蛇运动形态的仿生机器人。为使蛇形机器人像生物蛇一样敏捷, 蛇形机器人的步态生成与运动控制是两个需要考虑的重要因素。针对蛇形机器人, 欧阳文娟等提出一种仿生控制算法。该算法包括中枢模式发生器、小脑模型神经网络控制器和比例微分(PD)控制器。仿真和实验结果表明该方法具有良好的适应性和控制效果。

姚宁诗等展示了一款由佐治亚理工学院研发的气球机器人。该气球机器人被用于支持室内人

<sup>‡</sup> 通讯作者

机交互等方面的实验研究工作。采取基于深度神经网络的算法，可以有效检测人脸，跟踪人的运动并识别人的手势。实验结果表明，该气球机器人具有可靠的检测与跟踪能力。

执行控制是机器人结构设计中的关键环节，对机器人系统最终质量具有重要影响。Martin Molina 等提出一种通用执行控制方法。实验结果验证了该方法的正确性、可行性与有效性。

近年来，多智能体系统受到国内外学者广泛关注。编队控制是多智能体协同控制中非常重要的研究方向。冉茂鹏等考虑了具有未知非线性动态与外界扰动的多智能体系统时变队形跟踪控制问题。设计了扩张状态观测器估计系统的总扰动，并提出一种基于扩张状态观测器的队形跟踪协议。将所提算法应用于多无人机目标合围问题，验证了所提理论方法的有效性。吕茂斌和刘璐研究了一类二阶异构非线性多智能体系统的领航一跟随问题，提出一类仅依赖于多智能体相对状态的分布式算法。

近年来，无人机已广泛应用于侦察、搜索与救援、监控、环境监测、包裹快递、农业服务等领域。在所有无人机中，四旋翼无人机最为流行。四旋翼无人机的导航与控制问题受到广泛关注。仲于江等针对四旋翼无人机提出一种可靠的容错跟踪控制方法。该方法应用径向基神经网络算法对模型的不确定性进行精确在线辨识，且自适应地修正参考模型，并在控制率中引入故障检测与诊断滤波器以及故障补偿项，应对执行器故障。赖叔朋等提出一种计算简便的安全飞行通道导航方法，该方法可以产生平滑且不停顿的安全飞行轨迹。

作为一类复杂系统，磁悬浮飞轮在储能装置中得到广泛应用。然而，磁悬浮飞轮的控制设计问题非常具有挑战性。吕许俊等应用基于特征建模的全系数自适应控制方法对磁悬浮飞轮进行有效控制。仿真结果表明该方法对于模型不确定性、外界扰动和延时具有很强鲁棒性。

唐泽至等研究了主动磁悬浮轴承系统的干扰抑制问题，提出一种具有扰动观测器的迭代学习控制策略，该策略将传统迭代学习方法与扩张状态观测器有机结合。仿真结果表明该策略可以取得良好跟踪效果。

本期专刊涵盖了复杂系统与智能控制领域的多个研究方向，包括多智能体系统编队控制、四旋翼无人机导航与控制、机器人鲁棒控制、人机交互、具有外界扰动与模型不确定性系统的控制等前沿方向。我们希望本期专刊对该领域研究人员有所启发，能够促进该领域研究进一步深入。

本期专刊出版过程中，得到很多人支持，在此深表感谢。特别要感谢编辑部工作人员的大力帮助以及潘云鹤、卢锡城两位主编给予我们这次难得机会。



陈杰教授分别于1986、1993和2001年获北京理工大学控制理论与控制工程学士、硕士和博士学位。现任同济大学校长。陈杰教授是中国工程院院士和IEEE Fellow。目前研究方向包括复杂系统智能控制与决策、多智能体系统和优化方法。



陈本美教授于1983年获厦门大学计算机科学学士学位，1988年获贡扎加（Gonzaga）大学电气工程硕士学位，1991年获华盛顿州立大学电子与计算机工程博士学位。现任职于香港中文大学机械与自动化系和新加坡国立大学电气与计算机工程系。目前研究方向包括无人系统、鲁棒控制和控制应用。陈本美教授是IEEE Fellow。



孙健教授于2001年获吉林工学院自动化及电气工程系学士学位，2004年获中国科学院长春光学精密机械与物理研究所硕士学位，2007年获中国科学院自动化研究所博士学位。现任职于北京理工大学自动化学院。目前研究方向包括网络化控制系统、时滞系统和信息物理系统安全。