复杂工业过程的先进控制

刘德荣 [1]

随着科学技术和计算机水平的不断发展, 现在工业正向大型化、连续化、复杂化发展. 在当今社会的许多领域上, 如工业、冶金、交通等已近不再是传统单回路控制系统, 而是由很多相互耦合的子系统构成. 工业生产不仅仅只关注单独每个子系统的性能品质, 还要考虑到全局生产过程中的性能需求. 复杂工业过程受到外部环境的干扰, 本身又具有很强的非线性, 同时由于工业生产规模扩大、生产工艺长, 影响系统性能的变量维数也增加, 而这些变量可能是定量, 半定量也可能是定性的, 这对于系统信息的处理提出了新的挑战.

针对这类高度非线性、多变量耦合、信息不完全、大纯滞后的系统, 要想得到精确的数学模型十分困难, 常规控制无法得到满意的控制结果, 因此这类系统, 已不能采用单一基于定量数学模型的传统控制理论和控制技术, 必须研究先进的过程控制规律. 先进控制的目标就是为了解决那些采用常规控制效果不佳、甚至无法解决的复杂工业过程控制问题. 通过实施先进控制, 可以改善过程动态控制的性能、减少过程变量的波动幅度, 使之能更接近其优化目标值, 从而使生产装置在接近其约束边界的条件下运行, 最终达到增强装置运行的稳定性和安全性、保证产品质量的均匀性、提高目标产品收率、增加装置处理量、降低运行成本、减少环境污染等目的. 因此, 研究先进的过程控制规律, 以及将现有的控制理论和方法向过程控制领域移植和改造是现代大工业生产过程的关键技术. 近几十年, 预测控制、鲁棒控制、智能控制和自适应控制等控制方法得到了长足的发展, 这些均为先进控制奠定了理论基础. 本专集的目的是希望过程控制领域的专家学者能够关注复杂工业系统的发展要求, 积极探索新的先进控制理论和技术, 交流新成果, 启迪新思路, 不断完善和发展针对复杂工业过程的控制方法, 推动现代工业系统的信息化与自动化发展水平.

在 2013 年中国过程控制会议的投稿论文中, 经推荐和审稿专家几轮评审最后专集录用了论文 28 篇, 集中反映了近年来在复杂工业过程控制方面的最新成果, 以供广大科技工作者了解和研讨.

此专刊收录的论文涉及到对复杂工业过程系统的建模和预测、预测控制、机器人控制、智能优化控制、自适应控制以及对复杂工业过程中新方法的探索, 希望可以通过这些优秀的成果启迪大家新的思想, 推动对自动化领域, 特别是复杂工业过程中的先进控制的发展.

复杂系统的建模和预测: 岳元龙等基于有偏估计能够减小最小二乘无偏估计方差的思想, 提出采用多传感器有偏估计数据融合改善测量数据可靠性的方法, 同时证明了多传感器有偏估计数据融合收敛于无偏估计数据融合. 汤健等针对磨机筒体振动和振声信号组成复杂难以解释、蕴含信息存在冗余性和互补性、与磨机负荷参数映射关系难以描述等问题, 提出了基于经验模态分解技术和选择性集成学习算法, 分析筒体振动与振声信号组成, 建立磨机负荷参数软测量模型的新方法. 徐小良等针对现有非线性网络化目标跟踪融合算法存在的精度低和实用性差等不足, 以一类带有噪声相关的非线性网络化目标跟踪系统为对象, 研究基于测量新息量化策略和容积粒子滤波的目标跟踪融合算法. 王魏等选择单层神经网络作为误差补偿模型, 并将椭球定界算法应用于单层神经网络的参数更新, 不仅能够保证建模误差稳定有界, 同时能够提高网络的收敛速度. 文新宇提出一种复合干扰观测器控制结构 (Disturbance-observer-based control, DOBC), 包括干扰观测、干扰预测和反馈调节三个部分, 该方法的特点是即使一类非线性系统存在输入时滞, 同样可以继承传统 DOBC 的优点, 最后通过构造辅助观测器给出了预测误差以及复合闭环系统的稳定性分析方法. 李鑫等研究了设备在处于不同健康状态时的数据特点, 针对现有单一预测方法的特点与不足, 引入了退化模式的划分方法, 并对不同的预测模型与退化模式的关系进行分析, 进而建立 “模式 - 模型” 关联表, 并通过关联表优选预测模型. 严爱军等以属性加权 K 最近邻相似案例检索为基础, 讨论了使用注水原理分配属性权重的机理, 并通过建立权重分配的合理性指标, 构造拉格朗日函数对权重进行优化求解, 得到了收敛的注水分配算法, 并证明案例推理在引入注水分配算法后, 其分类性能得到有效改善. 卢绍文等针对这磨矿粒度问题提出一种新的 MC 仿真方法: 在定总量方法的基础上引入新的颗粒移除机制, 在移除过程中动态地分配各个粒级颗粒数目并保持破裂前后各个粒级颗粒所占总颗粒数的百分比不变, 避免颗粒移除过程中由于粒级差异导致的抽样误差, 且避免 MC 仿真速度随着仿真推进下降的问题.

预测控制和机器人控制: 杨辉等针对动车组由若干动车组成的动力单元固定编组耦合构成, 难以用集中式模型进行有效描述的问题, 提出一种

收稿日期 2014-08-20 Manuscript received August 20, 2014
DOI 10.3724/SP.J.1004.2014.01841
引用格式 刘德荣. 复杂工业过程的先进控制, 2014, **40**(9): 1841−1842
Citation Liu De-Rong. The advanced control of complex industrial process. *Acta Automatica Sinica*, 2014, **40**(9): 1841−1842
1. 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室 北京 100190
1. The State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

动车组运行过程的分布式描述与建模方法. 于洋等针对约束预测控制, 证明期望值位于可行域内时最优解必在期望值处达到, 同时证明了期望值在可行域外时最优解可转化为期望值到可行域的投影. 汪明等通过振荡器建模与分析、中枢模式发生器 (Central pattern generation, CPG) 与机器海豚关节配对、CPG 单元间耦合等环节建立了机器海豚的链式弱耦合 CPG 运动控制模型, 提出一种基于 CPG 激发产生多模态振荡波形控制机器海豚运动的方法. 赵博等针对可重构机械臂系统传感器故障, 提出一种基于信号重构的主动分散容错控制方法. 戴丽珍等以两轮机器人的自主平衡学习控制为研究对象, 针对传统控制方法无法实现机器人类似人或动物的渐进学习过程, 依据斯金纳的操作条件反射理论建立了一种自治操作条件反射自动机 (Autonomous operate conditioning automaton, AOCA) 模型, 设计一种基于 AOCA 的仿生学习算法. 孔小兵等针对永磁电机的转速控制构造非线性模型预测控制方法, 将非线性永磁电机模型通过输入输出反馈线性化策略解耦成为新的线性系统. 为保证可行解的收敛性, 提出一种迭代二次规划方法来处理由输入输出反馈线性化导致的非线性约束, 具有很好的动态控制性能且能抑制转矩脉动, 并保证在参数变化及负荷扰动下控制系统的鲁棒性.

智能优化控制与自适应控制: 李海波等针对赤铁矿磁选 - 浓密 - 浮选过程中浓密机的底流矿浆浓度提出了由流量设定和跟踪流量设定值控制组成的矿浆浓度与流量区间双闭环控制; 提出了基于静态模型的流量预设定、模糊推理的流量设定补偿、流量设定保持器和规则推理的切换机制组成的流量设定智能切换控制方法. 于坤杰等针对精英教学优化算法 (Elitist teaching learning based optimization, ETLBO) 寻优精度低、稳定性差的问题, 提出了反馈精英教学优化算法 (Feedback ETLBO), 最后将 FETLBO 算法应用于拉压弹簧优化设计问题及 0-1 背包问题. 王澄等研究在储能设备接入电网情况下, 建立一套基于自适应动态规划的智能电网电能自适应优化控制的理论与方法, 并证明了自适应动态规划方法的收敛性, 在理论上保证了对智能电网电能的优化. 王利等针对目前冷轧薄板厂生产流程复杂, 大量的多品种小批量合同并线生产, 导致难以制定生产计划的问题, 提出了混合模型子空间聚类方法. 陶洪峰等针对一类输入饱和不确定 Brunovsky 标准型非线性时滞系统, 提出了一种周期自适应跟踪补偿学习算法. 代伟等针对赤铁矿磨矿过程利用数据, 采用神经网络, 提出由回路预设定值优化、性能指标估计、优化设定值评价以及磨矿粒度软测量组成的数据驱动的磨矿过程运行优化控制方法. 张春晓等提出一种结合遗传算法、内省学习和群决策思想改进的案例推理分类方法. 首先利用遗传算法得到多组属性权重, 再根据内省学习原理对每组权重进行迭代调整, 然后通过案例群检索策略得到满足大多数原则的群决策分类结果.

针对过程系统的新方法: 杨洪勇等研究了离散时间的分数阶多自主体系统的渐近一致性, 应用 Hermit-Biehler 定理, 研究了具有样本时延的分数阶多自主体系统的运动一致性, 得到保证系统稳定的时延的上界阈值. 赵辉等提出一种改进的案例检索和案例重用方法, 首先在案例检索环节应用注水原理对属性权重进行优化分配, 利用每个属性数据的标准差和均值构造拉格朗日函数求得属性权重, 并设定重要度阈值指导属性约简; 其次在案例重用环节引入基于可信度的重用策略, 通过计算目标案例分属于各个类别的可信度大小来确定当前案例的分类结果. 张巍等提出了一种基于多模型混合最小方差控制准则的性能评估方法, 首先根据每个扰动模型分别制定最小方差控制器, 组成多模型最小方差控制器, 然后在每个时间点混合多模型最小方差控制器, 并将在其作用下的输出方差作为最终的性能评估基准. 马洁等采用基于核主元分析的非线性故障重构技术研究了多变量相关条件下旋转机械的故障估计及预测问题, 利用核主元分析对旋转机械系统进行离线非线性建模, 并进行异常检测. 裴福俊等针对角晃动与线晃动等动态干扰条件下, 旋转式捷联惯导系统难以实现自对准的问题, 提出了一种基于惯性系的自对准新算法. 首先, 基于惯性系下粗对准的结果, 推导了双轴转动调制捷联惯导系统的惯性系精对准误差模型. 然后, 针对观测模型的噪声不确定性问题, 通过改变渐消因子阵的嵌入方式, 提出了一种改进的多渐消因子自适应 Kalman 滤波方法. 黄淼等针对一类多变量非线性离散时间系统, 提出一种新的基于神经网络的多模型自适应控制方法. 殷礼胜等通过分析比较交通流量混沌时间序列相空间重构的嵌入维数和 Volterra 离散模型之间的关系, 给出了确定交通流量 Volterra 级数模型截断阶数和截断项数的方法, 并在此基础上建立了 VNNTF 神经网络交通流量时间序列模型.

上述论文大都得到了国家自然科学基金委员会、国家“973 计划”、国家“863 计划”以及省市一些项目的资助, 在一些实际系统中得到验证, 丰富了理论研究成果, 显示出复杂工业系统建模、控制与优化研究方向上所具有的广泛前景, 在此对于项目的资助单位和所能提供应用验证的单位一并表示感谢.

客座编委

刘德荣 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室研究员 主要研究方向为智能系统和复杂系统的建模, 分析与控制
E-mail: derong.liu@ia.ac.cn
(**LIU De-Rong** Professor at The State Key Laboratory of Management and Control for Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His research interest covers modeling, analysis, and control of intelligent systems and complex systems.)