

·学科进展与展望·

十五期间自动化科学发展动态的研究

郑南宁^{*1} 贾新春² 王成红³

(1 西安交通大学人工智能与机器人研究所,西安 710049; 2 山西大学数学科学学院,太原 030006;
3 国家自然科学基金委员会信息科学部,北京 100085)

[摘要] 本文简介了自动化科学的历史和现状。根据 10 个国际期刊和 5 个国内期刊的统计分析,提出了自动化科学的一些未来重要研究方向。根据两个现代企业的自动化技术的调研,揭示了现代企业对自动化学科的迫切要求。总结了自动化科学中的一些重要科学问题和相应的策略。

[关键词] 自动化理论,自动化技术,未来研究方向,重要科学问题

1 自动化科学的历史与现状

我国正处在工业化中期阶段的重要历史时刻,党的十五届五中全会明确提出,要以信息化带动工业化,发挥后发优势,实现社会生产力的跨越式发展。自动化既是信息化的重要组成部分,又是信息化与工业化相结合的重要纽带,且是实现我国工业现代化的前提与保证。随着网络化、集成化、全球化与智能化的发展,以及我国在工业现代化、产业结构改革与升级、新兴产业、军事现代化、社会现代化中出现的大量问题,自动化学科任重道远。

1.1 历史的回顾

自动化科学的发展在理论和应用方面经历了多次历史性的飞跃,基本上每 10 年都有一个重要的里程碑^[4]。例如,19 世纪末的 Lyapunov 稳定理论;20 世纪 10 年代的 PID 控制律概念;20 年代的反馈放大器;30 年代的 Nyquist 与 Bode 图;40 年代的 Wiener 控制论;50 年代的 Bellmann 最优化原理和庞德里亚金极大值原理;60 年代的 Kalman 滤波器和状态空间法;70 年代的自适应控制;80 年代的鲁棒控制;90 年代的智能控制、混合控制以及非线性控制等。

1.2 工程应用对自动化科学的挑战

在实际工程应用中,控制对象的复杂性、控制性能的高要求性、控制对象所处环境的不确定性、控制方法和手段的单一性等因素向自动化科学与技术提

出了挑战。

2 自动化学科的科研调研以及未来重点研究方向

在国内外科研动态调研中,我们选择了 10 个国际学术期刊、5 个国内学术期刊以及自动化学科相应的 30 多个研究方向进行了统计分析,然后根据各个研究方向发表的论文在其中所占的比例等因素,来确定其是否为未来研究中的重点发展方向。

2.1 调研统计分析的学术期刊、统计年限和调研方向

在科研调研中,我们选择了如下 10 个国际学术期刊:(1) *IEEE Transactions on Automatic Control*; (2) *Automatica*; (3) *SIAM Journal on Control and Optimization*; (4) *Systems and Control Letters*; (5) *IEEE Transactions on Robotics and Automation*; (6) *Pattern Recognition Letters*; (7) *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part A*; (8) *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B*; (9) *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C*; (10) *IEEE Transactions on Neural Network*。同时,选择了 5 个国内学术期刊:(1)《自动化学报》;(2)《控制与决策》;(3)《控制理论与应用》;(4)《信息与控制》;(5)《机器人》。

针对以上 15 个学术期刊,调研的统计年限:1998—2002 年。为了提出具有前瞻性的重点研究方

* 中国工程院院士。

国家自然科学基金委员会支持的软课题项目:“十五期间我国自动化科学发展动态与战略调研”。

本文于 2004 年 2 月 16 日收到。

向,我们还对这些期刊2003年前4个月的学术论文进行了检索和分析。

2.2 未来重点研究方向选择准则

自动化科学未来重点研究方向的选择准则:(1)同期学术期刊中统计比例比较高的方向;(2)统计比例基本呈上升趋势的方向;(3)2003年新发表的论文集中关注的方向;(4)在15个学术期刊2002年以后的征稿启事中出现的新研究方向。

2.3 未来重点研究方向

根据未来重点研究方向的选择准则,经统计分析提出了12个未来重点研究方向^[1-4]:(1)非线性系统;(2)稳定性分析;(3)鲁棒控制;(4)最优控制和最优方法;(5)机器人与机器人控制;(6)离散时间系统;(7)基于网络的远程控制;(8)神经网络及其控制;(9)模糊控制和模糊系统;(10)人工智能与模式识别;(11)预测控制;(12)遗传算法与进化算法。下面,把未来重点研究方向中一些重要研究问题归结为如下4个方面。

(1)传统控制中的重要研究问题

在非线形控制研究领域,急需解决的关键性问题有:(i)具有无法观测或探测的非线性系统的观测器设计问题;(ii)具有无法镇定和探测的非线性系统,分离原理是否仍成立?(iii)动态控制器在非线形系统的镇定方面有多大的理论优越性和应用的可实现性?(iv)对于不满足全局渐进稳定条件的非线形系统,扰动抑制和渐进跟踪问题是否可行?(v)如何描述具有高度非线性及具有不可镇定和不可探测的输出校正理论?

在鲁棒控制领域,有待解决的重要研究问题包括:(i)时滞系统的鲁棒控制研究及其在网络系统中应用。线性时滞系统、非线性时滞系统的时滞相关鲁棒稳定性和鲁棒控制问题,多时滞系统的时滞相关稳定性和镇定,时滞对网络系统的影响等问题;(ii)故障系统和饱和系统的鲁棒控制的理论研究和应用;(iii)机器人的鲁棒控制。当前应该发展的几个方向是:柔性机器人的鲁棒控制理论与实验研究;工业机器人的鲁棒控制研究;机器人的分散鲁棒控制研究;(iv)经济或管理系统的鲁棒控制。现有的经济系统和管理系统的模型本身具有明显的缺陷和参数误差,同时实际系统又存在着自身和外部的干扰信号。

在预测控制研究领域,急需解决的问题有:(i)预测控制系统的稳定性和鲁棒性分析;(ii)多层智能预测控制的模式以及相应的设计方法;(iii)稳态

递阶控制方法中的优化方法;(iv)预测控制算法的发展和与其他方法的综合。

在离散时间系统研究领域,有以下重要研究问题:(i)离散时间系统的变结构控制。两个未来亟待解决的主要问题:一是满足到达条件;二是在不确定性存在时保持状态轨迹呈准滑动模态;(ii)非线性离散时间系统分析。处理非线性采样数据有很大困难,采样以后输入和反馈线性化中的仿射性质不再保持。

(2)智能控制以及智能信息处理中的重要研究问题

在模糊推理及其控制研究领域,有以下重要研究问题:(i)模糊控制系统的理论体系。稳定性评价理论体系;控制器的鲁棒性分析,系统的可控性分析和可观性判定方法等;(ii)模糊控制规则设计方法的研究,包括模糊集合隶属函数设定方法,量化水平,采样周期的最优选择,规则的系数,最小实现以及规则和隶属函数参数自动生成等问题;(iii)模糊控制器参数最优调整理论,以及修正推理规则的学习方式和算法等;(iv)模糊动态模型的辨识方法;(v)模糊预测系统的设计方法和提高计算速度的方法;(vi)神经网络与模糊控制相结合的智能控制理论;(vii)最优模糊控制器设计的研究。

在神经网络及其控制领域,有如下重要研究问题:(i)神经网络在人脑复杂行为的解释上的突破;(ii)与神经网络相关的数学领域的研究;(iii)基于神经网络的稳定性分析问题和开环不稳定系统的闭环稳定的神经网络控制方案;(iv)基于Hopfield模型的混合离散变量非线性优化问题;(v)神经网络与其他控制方法的综合方法的研究;(vi)新型神经网络和快速算法及其在控制系统中的应用。

在模式识别研究领域,有以下重要研究方向:(i)模式识别与遗传算法的综合。如何充分利用GA识别方法对复杂环境下的复杂模式进行识别还需进一步探索;(ii)模式识别与小波变换、神经网络的综合。如何有效地利用小波变换和神经网络相结合的方法进行模式识别,使目标的识别更加接近于实用;(iii)仿生模式识别,亦被称作“拓扑模式识别”;该理论基点在于它确认了特征空间中同类样本的连续性特性,是一种有待于深入研究的模式识别理论的新模型;(iv)一些与人工智能、模式识别密切相关的研究方向。主要的有:网络环境下的智能多媒体信息处理技术;多模态特征融合的多媒体信息内容分类;特定视频事件检测与过滤;基于对象内容

的多媒体信息抽取和描述;基于压缩域信息的图像与视频内容分析;基于高速网络集群服务器的多媒体数据检索;多媒体信息有效组织和检索机制。

在遗传算法研究领域,存在一些需要深入研究和有待完善的研究方向:(i)GA算法的数学基础在理论方面的研究有待完善和提高;(ii)GA算法中一些参数的选取,如种群大小、交叉和突变变异的概率,编码方式及选择方式等还需要深入研究;(iii)具有高度并行的GA的并行算法研究;(iv)GA与人工智能其他算法的有效结合研究。

(3)基于网络安全与技术的重要控制问题

网络控制系统技术的研究主要集中在:网络特性的研究和网络系统的建模;处理容量分配的模型、处理异步动态设备实时协同的模型、支持分析和仿真的模型;系统的稳定性和鲁棒特性分析;网络控制具有高度创新性的方面,即网络和其中个人设备间控制的相互影响;网络控制系统的分布性造成的局部动作对全局性质的影响;因为通信系统的带宽有限,需要寻找一种对可利用资源的最优配置方法;延迟对网络系统稳定性和系统行为的影响等。

未来网络控制系统的研究主要包括建立模型和系统分析的基础性问题,以及控制系统的综合方法。具体涉及的课题有:有限数据传输速率下的稳定性和表现;网络传感器和校正装置的路由规划;多服务器系统的资源配置和路由规划;通信条件制约下的控制;量子化效应和延时效应的影响;网络化的分布式控制;控制中的编码方法等;延迟、故障、饱和等对网络系统稳定性和系统行为的影响等。

(4)机器人与机器人控制

未来的重点研究内容包括:(i)智能机器人的研制。智能机器人研究开发的内容主要包括机器人体系结构、运动控制、路径规划、多传感器信息融合、语音识别和智能控制等;自主式和交互式机器人技术将是并存的研究热点;(ii)仿人机器人的研究。目前及未来的研究方向主要有:仿人机器人本体结构的改进,运动学和动力学求解理论和方法的发展,驱动源的改进,人体医学、生物学和仿生学的发展,传感器技术的发展,控制技术和集成技术的发展,智能技术和软件技术的发展,人机接口设计的进步,网络机器人技术和虚拟机器人技术,群体协作及与人类协作功能的改进等方面;(iii)多机器人技术。未来的研究方向将主要集中在竞争性多机器人阵列、可重构多机器人系统、大量机器人联合应用、多机器人冲突避免方案的程序化设计、组内机器人间通讯、

多机器人学习自适应控制、生物机器人技术的引入等方面;(iv)如何有效地将其他领域的研究成果应用到机器人控制系统的实时操作中。

3 自动化学科的工程技术调研

在2002年7—9月,我们对两个典型企业(宝钢、康佳)进行了调研,了解自动化技术在现代企业中遇到的各类问题,掌握现代企业对自动化学科的迫切需求^[2]。

3.1 企业对自动化科学与技术的需求

当前,现代企业急需解决以下问题:(1)改变国内的基础自动化设备几乎全部需要进口的被动局面;(2)原创性的模型技术(机理模型、控制模型和决策模型)的研究与开发;(3)用先进的控制理论与方法来提高各类控制系统的质量和自动化水平;(4)大型工程项目的项目管理和系统集成方面的理论和方法研究;(5)采用先进知识推理方法处理企业大量的实用数据,来为企业的决策服务;(6)企业在科研力量方面缺乏国家、高校和研究所的有效合作和大力支持;(7)高精度、多功能的检测监控仪器的开发或引进;(8)生产流程设计排程、生产量计算与人员配置、企业流程管理等技术的提高。

3.2 企业对自动化科学与技术方面的建议

企业对自动化科学与技术方面的建议如下:(1)在基础自动化设备方面,应本着“有所为,有所不为”的精神,选择重点,攻关突破,跨越式研究开发新的产品,摆脱全部依赖进口设备,完全受制于人的局面;(2)从企业的实际需要出发,依托企业,国家扶持,高校、科研院所与企业结合,组织多学科的研发队伍,开展原创性数学模型研究;(3)现代企业有许多重大课题,需要综合应用经典控制理论、现代控制理论以及模糊控制、神经网络、鲁棒控制、人工智能等先进的控制理论和方法,来进一步提高控制系统的质量和自动化水平;(4)检测手段和方法的创新可能成为有所突破的切入点;(5)结合我国实际,重视大型工程项目的项目管理与系统集成的理论和方法研究;(6)结合企业的实际,开展数据仓库方法论和数据挖掘的理论与方法研究;(7)重视在生产调度过程中的自动化技术的研究开发。

4 自动化学科的一些重要科学问题

4.1 一些重要的科学问题

根据资料分析、企业调研和专家建议^[1-5],我们提出了如下一些重要的科学问题:(1)加强具有实际

应用背景的基础理论研究,建立面向复杂系统的新型控制理论;(2)拓展自动化科学的研究范围,实现控制观念、理论与技术的突破;(3)开展认知过程的信息处理与相应的智能科学研究;(4)加强网络安全与网络控制技术的研究;(5)加强特种机器人的研究;(6)加强传感技术与软测量技术的研究;(7)加强我国流程工业信息化基础研究;(8)加强复杂决策系统的控制研究;(9)加强控制、计算机科学、通讯和网络的整体化研究。

4.2 一些对策

自动化科学既面临着严峻的挑战,又存在着良好的发展机遇。为了解决面临的难题,需要开展以下几方面工作^[1-5]:(1)把传统的自动化科学的理论研究进一步深化、综合化;(2)推进控制硬件、软件和智能信息处理方法的结合,实现控制系统的高智能化;(3)实现自动化科学与计算机科学、信息科学、系统科学以及人工智能的有机结合;(4)未来的自动化方法需要以一种集成的方式来考虑系统以及相关的设计要求。

以上理论和技术的发展将为自动化科学的发展提供新思想,新方法和新技术,有利于创立边缘交叉新学科,解决更复杂的控制问题。

5 自动化学科的前景展望

20世纪以来,自动化科学与技术对近代世界技术文明的许多成就做出了巨大贡献,发展了许多研

究方法和开创了不少交叉科学,它是现代技术科学的思想基石和方法学。当今人类面临大量急需解决的工农业发展、科学技术、环境能源和国防建设等方面的各种自动化问题,给自动化科学提出了严峻挑战,也带来了巨大机遇。自动化是信息化和工业化的桥梁,也是信息化与社会现代化、军事现代化的桥梁。自动化科学的特殊使命决定了它改变世界的品格。因此,自动化科学在解决21世纪的社会复杂问题以及跨学科问题方面具有不可替代的重要作用,也是能够提供最适当、最科学方法的学科领域之一。加强自动化科学与技术的研究,加强与其他科学领域的密切结合,加强自动化理论和方法的智能化水平,解决我国经济与社会发展中基础技术科学、工业、农业、能源、国防、乃至国家安全所涉及的控制与自动化的重大基础理论问题,进一步促进我国社会经济建设和人民生活水平的健康快速发展。

参 考 文 献

- [1] Murray R M et al. Future Directions in Control in an Information-Rich World. *IEEE Automatic Control Magazine*, 2003, 23(2): 20-33.
- [2] 郑南宁,王成红,贾新春. “十五期间我国自动化科学发展动态与战略调研”软课题的报告书. 2003年.
- [3] 陈翰馥. 作为基础研究的自动控制理论. *自动化学报增刊*, 2002, 1-3.
- [4] 郑南宁,贾新春,袁泽剑. 控制科学与技术的发展及其思考. *自动化学报增刊*, 2002, 7-17.
- [5] 王成红. 关于自动化领域中若干基础科学问题的思考. *自动化学报增刊*, 2002, 165-170.

RESEARCH ON THE EVOLUTION OF AUTOMATIC SCIENCE IN THE TENTH-FIVE PERIOD

Zheng Nanning¹ Jia Xinchun² Wang Chenghong³

(1 Institute of Artificial Intelligence and Robotics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049; 2 Department of Mathematics, Shanxi University, Taiyuan 030006; 3 Department of Information Science, NSFC, Beijing 100085)

Abstract The past history and present situation for automatic science are introduced. Based on the statistic analysis of ten international journals and five national journals, some future important research directions are proposed. According to the investigations in two modern enterprises, some exigent demands for automatic science in modern enterprises are presented. In conclusion, some important scientific issues and its corresponding solving strategies in automatic science are put forward.

Key words automatic theory, automatic technique, future research directions, important scientific issues