



2010-2011

*Report on Advances in
Control Science and Engineering*

中国科学技术协会 主编
中国自动化学会 编著

控制科学与工程
学科发展报告

中国科学技术出版社





2010-2011

控制科学与工程 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN CONTROL SCIENCE AND ENGINEERING

中国科学技术协会 主编

中国自动化学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2010—2011 控制科学与工程学科发展报告/中国科学技术协会主编,
中国自动化学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2011.4

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-5823-4

I. ①2… II. ①中… ②中… III. ①自动化技术-科学进展-研究
报告-中国-2010—2011 IV. ①TP2-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 036327 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62173865 传真:010-62179148

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京凯鑫彩色印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:15.5 字数:372 千字

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:47.00 元

ISBN 978-7-5046-5823-4/TP·380

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

2010—2011
控制科学与工程学科发展报告
REPORT ON ADVANCES IN CONTROL SCIENCE AND ENGINEERING

首席科学家 王飞跃

专 家 组

组 长 戴汝为

副组长 孙优贤 李衍达

成 员 (按姓氏笔画排序)

宋 健 吴宏鑫 吴启迪 张育林

郑大钟 郑南宁 郭 雷 柴天佑

黄 琳

学术秘书组 张 楠 吕爱英 李显强

序

当前,诸多学科发展迅速,学科分化、交叉和融合愈加明显,新的学科不断涌现。开展学科发展研究,探索和总结学科发展规律,明确学科发展方向,有利于促进学科内部、学科之间的交叉和融合,汇聚优势学术资源,推动学科交叉创新平台的建立。

开拓和持续推进学科发展研究,促进学术发展,是中国科协作为科学共同体的优势所在。中国科协自2006年开始启动学科发展研究及发布活动,至今已经编辑出版“学科发展研究系列报告”108卷,并且每年定期发布。从初创到形成规模和特色,“学科发展研究系列报告”逐渐显现出重要的社会影响力,越来越受到科技界、学术团体和政府部门的重视以及国外主要学术机构和团体的关注。

2010年,中国科协继续组织了中国化学会等22个全国学会分别对化学、心理学、机械工程、农业工程、制冷及低温工程、控制科学与工程、航空科学技术、兵器科学技术、纺织科学与技术、制浆造纸科学技术、食品科学技术、粮油科学与技术、照明科学与技术、动力机械工程、农业科学、土壤学、植物保护、药理学、生理学、药理学、麻风病学、毒理学22个学科进行学科发展研究,完成了近800万字、22卷学科发展研究系列报告以及《2010—2011学科发展报告综合卷》。

本次出版的学科发展研究系列报告,汇集了有关学科最新的重要研究成果、发展动态,包括基础理论方面的新观点、新学说,应用技术方面的新创造、新突破,科技成果产业化转移的新实践、新推进等。一些学科发展报告还提出了学科建设的对策和建议。从这些学科发展报告中可以看出,近年来,学科研究课题更加重视服务国家战略,更加重视与民生关系密切的社会需求,更加重视成果的产业化转移;学科间的交叉融合更加明显,理论创新与技术突破的联系结合更加紧密。

参与本次学科发展研究和报告编写的专家学者有 1000 余人。他们认真探索,深入研究,披沙拣金,凝练文字,在较短的时间里完成了研究课题。这些工作亦是对学科建设不可忽略的贡献。

在本次“学科发展研究系列报告”付梓之际,我由衷地希望中国科协及其所属全国学会不断创新思路,坚持不懈地推进学科建设和学术交流,以学科发展研究以及相应的发布活动带动各个学科整体水平的提升,在增强国家自主创新能力中发挥强有力的作用,以推进我国经济持续增长和加快转变经济发展方式。

A stylized, handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Moxun, positioned above the date.

2011 年 3 月

前 言

根据中国科学技术协会 2010 年“学科进展研究及发布项目”的工作安排,中国自动化学会于 2010 年 4 月组织了 82 名专家学者,启动《2010—2011 控制科学与工程学科发展报告》的编写工作。

自动化是一门综合性科学技术,主要涉及自动控制和信息处理两个方面,控制科学与工程学科包括五个下属二级学科:①控制理论与工程;②模式识别与智能系统;③系统工程;④检测技术与自动化装置;⑤导航、制导与控制。《2010—2011 控制科学与工程学科发展报告》围绕这些二级学科,同时考虑自动化领域一些新兴的研究方向,较为全面地总结了国内自动化领域在近三年来的主要研究成果,并对学科的现状与发展态势进行了概述、分析和展望。

经过半个多世纪的发展,自动化已经成为保障和促进现代社会发展和生产力提高的核心科学技术之一。而且,一个国家的自动化程度已成为衡量其发展水平和现代化程度的重要标志。随着网络技术的普及和智能科学的深化,自动化技术将面对着更加艰巨的问题不确定性、功能多样性和系统复杂性等诸多挑战。当然,这些挑战同时也给自动化领域提供了前所未有的发展机会。

控制理论与技术是自动化的基石。半个多世纪之前,现代控制理论的奠基人、美国学者维纳教授就认识到由控制论引发的自动化将给社会带来一次新的工业革命,即“第二次工业革命”。钱学森教授随后出版的《工程控制论》更是为这场革命从理论到现实开启了具体的方法和技术。正如英国物理学家和科学史家贝纳所指出的,自动化的兴起不仅是一次“新的工业革命”,而且这场革命或许可以更公允地叫做“第一次科学技术革命”。

今天,这场革命已把我们带到了信息社会,也为自动化的发展带来了巨大的挑战和无尽的生机,更使智能科学和方法成为新时期自动化的灵魂。科技发展表明,自动化是信息化的必然,是智能化的基础,是人类体能和智力扩展的关键技术,是我们从信息社会迈向知识社会的必经之路。因此,我们必须进一步加强控制科学与工程学科的建设与发展,为国家社会与经济的深入发展提供有力的保障。

在现代控制理论与工程萌生之初。以中国自动化学会首任理事长钱学森教授为代表的中国学者作出了开创性的贡献,极大地推进了控制基础理论的发展,并促进了自动化技术的实际应用。在过去几年里,我国自动化领域的科技人员付出了巨大的努力并取得了巨大的成就,为科学的发展和国家的国防

与经济建设作出了重要的贡献。然而,在许多方面,特别是在自动化应用和产业化方面,我们离国际先进水平、国家安全的迫切要求以及社会经济的发展需求还有很大的差距。我们必须发扬老一辈科学家的科学精神和工作态度,系统并且前瞻性地规划控制科学与工程学科的未来发展。在进一步加强自动化科学的基础研究的同时,更加深入地开展自动化技术的自主创新和实际应用;在满足国家战略需要的同时,为中国整体产业的转化和升级,从制造大国发展壮大成为制造强国提供有力的科技支持;为中国整体社会经济的科学和高效发展,从协调可持续到和谐社会,作出切实的贡献。

这是中国自动化学会第二次组织撰写本学科的发展报告。我们谨代表学会向参与编写的所有专家学者表示衷心的感谢。同时,也向中国科学技术协会的有关领导和工作人员、中国科学技术出版社以及中国自动化学会的有关工作人员,表示衷心的感谢。

中国自动化学会
2011年1月

目 录

序	韩启德
前言	中国自动化学会

综合报告

控制科学与工程学科发展现状及趋势	(3)
一、引言	(3)
二、国内现状概述	(3)
三、国内主要进展和成果	(5)
四、国内发展中的问题与国际先进水平的比较	(17)
五、本学科发展趋势与展望	(18)
六、促进控制科学与工程发展的措施和建议	(20)
七、结束语	(20)
参考文献	(20)

专题报告

控制理论发展研究	(27)
智能控制发展研究	(33)
智能机器人发展研究	(40)
控制应用发展研究	(45)
多智能体与网络控制发展研究	(50)
模式识别发展研究	(55)
生物信息学	(63)
机器学习与数据挖掘发展研究	(70)
脑—机接口发展研究	(78)
分子影像关键科学技术及应用发展研究	(83)
工业过程建模发展研究	(88)
生产优化调度理论与方法发展研究	(93)
公共安全应急决策方法、技术及其应用发展研究	(100)
信息服务发展研究	(107)
智能交通系统发展研究	(114)

导航技术发展研究	(120)
飞行控制发展研究	(130)
精确制导技术发展研究	(139)
检测技术发展研究	(145)
动态系统的故障诊断技术发展研究	(154)
社会计算发展研究	(161)
无人系统技术发展研究	(166)
核电自动化发展研究	(176)
磁悬浮控制发展研究	(181)
中国高速铁路列车运行控制系统发展研究	(187)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Control Science and Engineering	(197)
---------------------------------------	-------

Reports on Special Topics

Highlights in control theory research	(202)
Intelligent Control	(203)
Research Progress on Intelligent Robot	(205)
Applications of Control Theory and Technology	(205)
Multi-Agent Systems and Network Control	(207)
Recent Advances of Pattern Recognition in China	(209)
A Review on the Advancement of Bioinformatics Research	(210)
Machine Learning and Data Mining	(211)
Brain-computer Interface	(211)
The Key Science & Technology in Molecular Imaging and Its Applications	(213)
Industrial Process Modeling	(214)
Optimization Theory and Methods for Production Scheduling	(216)
Emergency Decision Making Methodologies, Technologies, and Applications for Public Safety	(218)
Information service	(219)
Intelligent Transportation Systems	(221)

Navigation Technology	(222)
Flight Control	(223)
Precision Guidance Technology	(224)
Detection technology	(226)
Fault diagnosis techniques of dynamic systems	(227)
Social computing	(228)
Unmanned System Techniques	(229)
Nuclear power automation	(230)
Magnetic Levitation Control	(231)
Key Issues on Train Operation Control Systems for China	
High-speed Railway	(233)

综合报告

控制科学与工程学科发展现状及趋势

一、引言

自动化服务,将人从单调而繁重的重复性工作中解放出来,进而使人更多地投入到创造性的工作中,极大地拓展了人认知和改造世界的范畴。当今世界,自动化科学已经成为衡量一个国家科技发展水平和综合国力的重要标准之一,而以自动控制和信息处理为核心的自动化技术也已经成为推动生产力发展、改善人类生活以及促进社会前进的动力之一。

自动化是一门涉及学科多且应用广泛的综合学科,在我国的研究研究生培养体系中,自动化对应的一级学科“控制科学与工程”下属有五个二级学科,分别为:控制理论与工程、模式识别与智能系统、系统工程、导航制导与控制、检测技术与自动化装置。在过去的三年内,随着国家在科研方面的支持力度的加大,我国在自动化学科方面取得了长足的进步。在社会计算、无人系统技术、核工业自动化、磁悬浮控制、高速铁路等新兴方向上有了重要的进展。本文将对近年国内自动化领域的主要研究成果和未来发展方向进行综述。

二、国内现状概述

自动化学科经过几十年的发展,基础理论已经发展成熟,广泛应用到工业、农业、军事、交通运输、商业、医疗等方面。在过去的几年里,在诸多方面取得了一些重要的进步,按照二级学科分类,主要的发展情况归纳如下。

(1)控制理论与工程。在鲁棒控制、电力系统非线性控制、离散事件动态系统、量子控制等方面都取得了有了重要进展。段广仁^[1]提出的鲁棒控制系统参数化设计方法建立了使得闭环系统相似于某指定系统的反馈控制律的完全参数化解,并严格证明了自由度的完备性。清华大学卢强院士的团队在电力大系统非线性控制学方面作出重要贡献,获得2008年国家自然科学奖二等奖。他们开发的非线性鲁棒电力系统稳定器 NR-PSS^[2,3]分别于2007年和2008年在吉林白山水电站和丰满水电站投入运行。曹希仁等提出了一个学习和优化的统一框架,为发展摄动分析、马氏决策理论、强化学习、自适应控制等学科提供了统一理论框架,作出了基础性的贡献^[4,5]。赵千川和贾庆山等与何毓琦合作,将序优化扩展到可处理具有多目标函数、有约束、偏好简单方案等优化问题中^[6]。曹希仁、赵千川、陈曦、贾庆山等人的研究获得2009年国家自然科学奖二等奖。吴热冰等给出了连续变量量子系统的最优控制策略以及基于量子 landscape 的一般控制方法^[7]。由燕山大学王益群教授等完成的“冷带轧机高精度液压厚度自动控制(液压 AGC)系统关键技术及应用”项目在冷连轧、单机架和虚拟连轧系统设备级模型精度方面,全部达到国际先进水平,获得2009年度国家科技进步奖二等奖。

(2)模式识别与智能系统。在模式识别基础理论、计算基因组学、脑机接口、针刺机理等方面有了较重要的发展。国内学者在特征降维方面处于国际前沿水平,南京理工大学在该领域的成果“特征抽取理论与算法研究”获得2009年国家自然科学奖二等奖。清华大学和美国冷泉港实验室合作,采用隐马尔可夫模型,首次将组蛋白修饰数据结合到基因转录核心启动子的预测上,得到了当前精度最高的核心启动子识别方法^[8]。清华大学的研究人员提出了一种基于听觉注意的认知脑—机接口新范式,该研究作为封面文章于2010年发表在 *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 上^[9]。中国科学院自动化研究所田捷研究员团队以针刺时空编码理论模型的构建为研究切入点,验证了针刺中枢神经响应具有持续性效应这一重要假说^[10]。

(3)系统工程。在智能交通、公共安全应急决策、信息服务方面有重要进展。中国科学院自动化研究所的王飞跃等将ACP平行控制与管理理论用于交通领域,使用人工系统(Artificial System)—计算实验(Computational Experiments)—平行执行(Parallel Execution)来对交通进行管理和控制。该成果应用于广州等城市的交通管理等实践中,在2010年亚运期间发挥了重要作用^[11,12]。中国科学院自动化研究所的曾大军等将ACP用于应急管理,并在甲型H1N1流感、手足口病等事例上进行了研究和验证。国家应急平台的研究最早于2004年在清华大学等单位开展,包括国务院应急平台,31个省(自治区、直辖市)、新疆生产建设兵团、5个计划单列市应急平台,20个智能的部门应急平台和100个部门值班系统。

(4)导航、制导与控制。我国在卫星导航、惯性导航、飞行控制律设计研究、大飞机研制、伴飞卫星绕飞技术、登月工程方面取得了重要进展。国际上在无人机、大型运输机、高超音速飞机方面有了重要进步。2007年、2009年、2010年我国发射了北斗系统的前五颗卫星,均获得成功。2012年左右,北斗卫星导航系统将提供覆盖亚太地区的导航、授时和短报文通信服务能力。在航天飞行器应用的推动下,机械轴承支承的惯性飞轮成功应用于“风云”系列气象卫星,磁悬浮支承飞轮和控制力矩陀螺的工程化应用及产品研制取得了突破性进展^[13,14]。北京控制工程研究所的吴宏鑫院士及研究小组以复杂航天器和工业过程为被控对象,以特征模型为依据,将智能控制与自适应控制结合建立了基于特征模型的智能自适应控制理论^[15]。我国于2008年11月启动了首型国产大飞机专案,并于2009年9月在香港举行的亚洲国际航空展览会上展出了外形样机。2008年10月,神舟七号伴飞小行星在经过6次变轨后成功实现了对飞船轨道舱的绕飞,攻克了伴飞卫星的绕飞控制技术。2009年3月1日,“嫦娥一号”卫星实现了成功绕月并传回了清晰的图像。在导航制导方面,虽然我国已经进步明显,但仍与发达国家有明显的差距。

(5)检测技术与自动化装置。在传感器基础技术领域,我国在高性能瓷料的研究上取得了突破,并在低烧瓷料和贱金属电极上形成了自己的特色并实现了产业化,这使得片式电容材料及其组件进入了世界先进行列。中科院长春应用化学所研发的“电化学气体传感器”被评为“2006年中国科学仪器及分析测试行业十大新闻”,这标志我国在该方面实现了突破,整体达到国际先进水平。

自动化除了在以上的传统方向上有了重要发展之外,还在交叉学科和新兴应用方面具有旺盛的生命力,有下面几点值得关注。

(1)网络时代信息的管理和控制。互联网的深入普及,已经深刻改变了人类的生活。由于网络连接的广泛性,信息的传播速度非常之快,网络虚假新闻的破坏力大大加强。而“人肉搜索”通过网络拢聚人的力量,其影响已经引起广泛注意。在网络时代,网络公关能力起着至关重要的作用。正是基于此,“社会计算”^[16]的研究应运而生。国际上许多大学和高新技术公司都在从事社会计算相关的研究和开发工作,具代表性的有美国亚利桑那大学、卡内基梅隆大学、南加州大学、IBM、微软等。中国科学院自动化研究所在社会计算方面取得了重要成果,并且成功举办了全国第一、第二届社会计算会议。

(2)有人参与系统的管理和控制。自动化发展的早期,控制对象主要是机械、压力、温度等物理对象,发展到现在,人的参与越来越明显。比如,在公共应急方面,首先要考虑的就是人员的安排;在化工生产、核电方面,主要考虑就是人员的位置、情感、工作效能等;在交通方面,要充分考虑到人、车、路的相互关系;在社会计算上,人的重要性更为突出。由于人本身具有不精确性,有人参与的管理和控制比起传统控制更具有挑战性。针对这一问题,中国科学院自动化研究所的王飞跃教授等提出了 ACP 理论,并应用于智能交通系统和石化企业人员管理方面,取得了重要成果^[17]。由于有人参与的系统的广泛性,这方面的研究有很大的发展潜力。

(3)无人系统和群集系统。一方面是对人类自身认识的发展以及对人、社会的管理和控制,另一方面是完全无人干预情况下的自治系统的研究。无人系统是无人机、无人车、无人潜航器和无人水面艇等无人设备的总称。这些设备一方面要自治,另一方面要实现“无人/有人”的协同操作方式,具有复杂性、分布性、异构性、不一致性等特点。这方面的研究对于容错控制、自主导航、环境感知、自主决策和规划都提出了挑战。而相应的应用必定会对军事、民用等带来深刻的影响。

(4)向生物、医学方面的渗透发展。对于生物系统的研究已经是自动化学科的重要分支。除了生物信息学,系统生物学、脑机接口等的研究引起了广泛注意。在生物、医学方面的研究必定是自动化学科的重要发展方向之一。

(5)在一些新兴工业方面的研究。随着传感器和网络的发展,物联网的研究已经非常紧迫,物物互联将对人类的生产生活带来重要的改变。大飞机、高速铁路、磁悬浮列车等是我国工业发展历程上的大事,相应地,是对自动化控制应用的机遇和挑战。这方面的研究和应用将会对人们的生产生活产生巨大的影响。面向节能减排、可持续发展的需求,我国大力发展核电,需要以下关键技术的支持:自愈特性仪表控制技术、数字化和智能化保护技术、结合人机智能的机器人技术、三维仿真建模技术等。这些新兴工业必定带动自动化理论和应用的进一步发展。

三、国内主要进展和成果

近年来,自动化在国家经济建设中发挥了重要作用,同时作为一级学科的控制科学与工程也得到了长足的发展。表 1 列出 2008~2010 年度自动化领域取得的国家科技奖项,进而详细讨论各个二级学科及其他新兴研究方向的主要进展及成果。

表 1 自动化领域所获得的主要国家奖励

获奖时间(年)	获奖类别	项目名称	主要完成人
2008	国家自然科学奖二等奖	鲁棒控制系统设计的参数化方法与应用	段广仁,关新平, 刘国平,张焕水
2008	国家自然科学奖二等奖	复杂非线性系统镇定控制的理论与设计	程代展,洪奕光, 席在荣,王玉振
2008	国家自然科学奖二等奖	混沌反控制与广义 Lorenz 系统族的理论及其应用	陈关荣,吕金虎, 周天寿,陆君安
2008	国家自然科学奖二等奖	电力大系统非线性控制学	卢 强,梅生伟, 孙元章,刘 锋
2008	国家科学技术进步奖二等奖	远程无框架脑外科机器人系统	王田苗,田增民, 刘 达,张玉茹
2008	国家科学技术进步奖二等奖	振动利用与控制工程的若干关键理论、技术及应用	闻邦椿,张义民, 李以农,纪盛青
2008	国家科学技术进步奖二等奖	农业智能系统技术体系研究与平台研发及其应用	熊范纶,李 森, 张 建,王儒敬
2008	国家科学技术进步奖二等奖	TH-ID 人脸和笔迹生物特征身份识别认证系统	丁晓青,方 驰, 王争儿,刘长松
2009	国家自然科学奖二等奖	离散事件动态系统的优化理论与方法	曹希仁,赵千川, 陈 曦,贾庆山
2009	国家技术发明奖二等奖	新一代控制系统高性能现场总线——EPA	褚 健,金建祥, 冯冬芹,于海滨
2009	国家技术发明奖二等奖	基于神经网络逆的软测量与控制技术及其应用	戴先中,孙玉坤, 刘国海,马旭东
2009	国家科学技术进步奖二等奖	供电网无功电压优化运行集中控制系统	许杏桃
2009	国家科学技术进步奖二等奖	大型乙烯装置优化运行技术与工业应用	蒋 勇,钱 锋, 卫 达,贡宝仁
2009	国家科学技术进步奖二等奖	复杂与高速条件下车载信号安全控制系统关键技术及应用	邱宽民,宁 滨, 徐 迅,赵 明
2009	国家科学技术进步奖二等奖	大型多用途智能控制试验机研制及系列化与产业化	张建民,张建卫, 贾喜群,刘天云