



## 关于控制论的几点蠡测\*

文/程代展 赵寅  
中国科学院数学与系统科学研究院 北京 100190

**【摘要】** 文章首先对控制论的产生及其历史作一简要回顾。其次,分析了控制论的一些学科特点。指出它既是一个应用数学分支,对数学有很强的依赖;又是一个服务性学科,同样深刻依赖于科学技术的前沿发展。接着指出,目前控制论已从学科理论主导的研究转入应用导向的理论研究阶段,并分析了它的几个特征,介绍了当前4个以应用为导向的研究热点:(1)复杂系统控制;(2)网络控制;(3)运动控制;(4)过程控制。最后,笔者提出对控制论发展的一些展望:包括前瞻的研究方向以及控制论未来的几个发展趋势:(1)控制论的泛化;(2)智能化的增强;(3)理论上的突破。

**【关键词】** 控制论, 自动化, 学科特点, 现状, 展望

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2012.02.005

### 1 控制论及其历史

通常认为控制论是自动化的理论,这种说法大体不错。但如果仔细想,把控制论看作是理论研究,而把自动化看作它的工程实现,似乎也与事实不完全符合。笔者以为,控制论与自动化其实是一体的,只是人们谈到“控制论”时更多强调其理论性,至于提到“自动化”,则更强调其工程性的一面。故本文不对控制论与自动化做严格区分,只是讨论的问题会向理论或曰控制论方面倾斜。

从欧洲的工业革命开始,自动化技术逐渐成为社会生产力的一个关键部件,而自动化水平则是当代国家工业化以及军事现代化的一项重要指标。自动化技术和装置在几乎所有的工业过程、导弹制导、卫星升天甚至社会和国民经济的其他领域都有广泛的应用。因此,自动化或控制理论的重要性是无庸置疑的。自动化技术是在人类长期的生产与社会实践中产生的。远古时代,中国的指南车、地动仪、翻斗水车等,就是早期的自动化装置。明朝科学家宋应星写的《天工开物》记载了许多中国古代的自动化装置。在西方,1 000多年前雅典的克泰希以

\* 本研究得到国家自然科学基金(61074114,60821091)资助  
收稿日期:2012年2月22日



中国科学院

斯水钟利用反馈原理调节流量,在欧洲工业革命时期出现的瓦特蒸汽机的离心调速器,俄国人发明的锅炉水位自动控制装置,以及较后出现的轮船自动驾驶仪等,则已具备近代自动控制器械的雏形。

20世纪初,在工业过程控制中出现了PID控制器;1913年,Wright兄弟的飞机飞行成功,飞机控制成为另一个研究热点;在理论研究方面的进展包括:Nyquist和Bode发展了一套检测系统稳定性的办法;Lyapunov的运动稳定性理论,Hurwitz、Routh等的稳定判据以及苏联学者提出的谐波平衡法……。这一切为控制论的诞生奠定了基础。

第二次世界大战期间,为了设计火炮定位装置、雷达跟踪系统、飞行器及战舰的自动驾驶仪甚至包括初期导弹制导等,自动控制的相关理论和新技术得到很大发展。这个时期的主要成果形成了以反馈理论为基础,以传递函数、拉氏变换为主要工具的自动调节原理。

维纳(Wiener)在1948年出版了《控制论——或关于在动物和机器中控制和通讯的科学》<sup>[1]</sup>。这本书提出或概括了许多控制论中的概念和方法,如反馈、稳定性、镇定等。通常将这本书作为控制论诞生的标志。但事实上,是钱学森的《工程控制论》<sup>[2]</sup>平息了学术界对维纳控制论的怀疑,使控制论与工程应用紧密联系起来。此后,由于航空、航天等新技术的需求,以及近代计算机的助力,控制论又有了一个较大的飞跃,代表性的理论贡献包括:Pontryagin的极大值原理、Bellman的动态规划以及Kalman的状态空间方法和Kalman滤波。这些工作使控制论有了一个质的飞跃。建立在这些工作基础上的理论成果通常被称为现代控制理论。它成熟于上世纪六七十年代。此后,现代控制理论在自适应控制、非线性系统微分几何理论、鲁棒控制、预测控制、基于计算机的智能控制等许多方面取得很大进展。今天的控制论已经形成了一个枝繁叶茂的理论体系,它的应用不仅涵盖几乎所有的工程领域,同时,还逐渐扩展到社会、经济、生态以及国民经济的其他许多领域。可以说,控制论无所不在。

中国控制理论的研究大致始于钱学森。他于1955年回国,并于次年在中科院力学所举办了“工程控制论讲习班”,为京津地区有关专家和北大、清华的高年级学生200余人讲授工程控制论。此后又同钟士模等为若干重点高校教师举办了“自动化进修班”等。此后,许多高校成立了自动化系(专业)。1962年,当现代控制理论在国际上萌生之初,关肇直敏锐地察觉到它的重要性,在钱学森的鼓励和支持下,在数学所成立了控制理论研究室。后来,在1979年成立了以它为基础的系统科学所。控制室和系统所成为当时控制理论研究的旗舰。中国学者在控制理论及应用方面做出了重要贡献。理论方面的贡献使中国在国际自动控制领域占有重要一席;而对国民经济及国防等的贡献,如“工业自动化”、“两弹一星”等辉煌成就更是有目共睹的。关于控制论的历史及其在中国的发展,文献3中有较为详细的介绍。关于中国学者对控制论及其应用的贡献,可参考文献4—7。

## 2 控制论的学科特点

郭雷院士最近指出:“控制论是一门特色突出、内涵丰富、应用广泛的学科。”<sup>[8]</sup>笔者认同这些特点,并想补充的是:

(1)控制论是应用数学的一支。Kalman在2005年布拉格的第16届IFAC世界大会上所做的报告中强调:“回顾过去100年系统理论发展的历史,一个不争的结论是:在基本的物理实质弄清楚后,系统理论中工程问题的成败直接依赖于其内在的纯数学问题的解决。”笔者强调控制论是应用数学,实际想说的就是,要想在控制领域做出实质性的贡献,是离不开数学的。这一点,对青年学者和学生,也许是一个提醒。实际上,控制论涉及到的数学十分广泛,几乎所有的数学工具都能用上。关肇直先生曾说过,研究控制理论,“十八般武艺”都能用上。而真正对控制理论做出突出贡献的,如Pontryagin、Bellman、Kalman等,都是数学家。大家可能都知道,控制论创始人Wiener有一本自传:《我是一个数学家》。

(2)控制论不是一个独立的学科。笔者认为,控制理论或自动化技术,只有依附于工程问题才有生命力。这也许是美国没有自动化系的原因。笔者留学美国时,在华盛顿大学的系统科学与数学系(Dept. of Systems Science and Mathematics),这是当时美国仅有的一、两个此类系。可惜它也没有生存下来,现在已和电力电子系合并为电力与系统工程系(Dept. of Electrical and Systems Engineering)。当时有些人,如 Christopher Byrnes 等,想发展一套控制数学(Control Mathematics),但没有成功。中国大多数理工科大学都有自动化系,这有它的国情,也被实践证明有其好处。控制领域的确有一些带根本性的理论问题,如文献 8 中提到 PID 控制器及 Kalman 滤波的非线性应用,反馈能力等。但它们和数学中的问题不同,不大可能彻底解决。就算解决了,也没有像费马大定理或 Poincare 猜想解决那样的影响。举个例子:一辈子搞 PID 非线性控制器理论恐怕不会有多大成就。另一方面,控制论面对的是几乎无所不包的外部世界,到处是它的用武之地。而且,在实际问题面前,控制理论常常是不够用的,也许这是发展控制理论的最好时机。对于控制论,借用歌德的一句话:“理论是灰色的,而生命之树常青。”

最近,瑞典两院院士 Åström 在 2011 年中国自动化大会的报告中提到控制论是一种隐技术(hidden technology),被广泛应用(widely used),但又很少被提到(seldom talked about)。其含意和笔者谈到的一致,即控制论是藏在各学科后面的学科。

### 3 控制论的现状

钱学森曾指出“相对论、量子力学和控制论被认为是 20 世纪最伟大的 3 项成就。”这或许对控制论有些微过誉之嫌,但毕竟在一定程度上反映了控制论在 20 世纪的隆极

一时。2010 年何毓琦先生转发了美国 NSF 项目主管的一句话:“控制论已经死了”(Control is dead。),这在国内控制界引起一场轩然大波。不管对这些说法的认同程度如何,有一点大概是不争的事实:目前,控制论被人们关注的程度比 20 世纪降低了许多。其实,这一点也不奇怪:20 世纪下半叶是现代控制理论的创世纪,自然会轰轰烈烈。当一种面向应用的理论体系成形并成熟后,对它的关注度一定会下降,这一点我们相信何先生的解释。

但是,对单纯理论研究兴趣的降低并不说明学科重要性的降低。正因为控制论在理论和方法上的成熟,它开始在众多科学技术领域发挥着越来越重要的作用。因此,如果用一句话概括控制论现状的话,笔者想说:“现在是应用(特别是高科技)导向的控制论发展的黄金时期。”上个世纪,当人们谈论控制论时,常常按照系统(即控制对象模型)的形式将控制理论分为:线性系统(理论)、非线性系统(理论)、分布参数系统(理论)、随机系统(理论)等。这样的划分,不仅体现了模型的不同,也反映了所使用的基本数学工具与方法的差异。可以说,这是基础理论研究导向时期的特征。从上世纪末到本世纪初 10 余年,应用导向的控制理论研究成为主流,因此,当人们谈论控制论时通常冠以研究对象,例如:复杂系统控制(理论)、网络控制(理论)、飞行器控制(理论)等。

相对于基础理论导向的控制论,应用导向的控制论有其新的特征。其主要表现有以下几点:

(1)模型复杂化。由于研究对象为实际系统,特别是,当这些系统属于高新技术时,用传统单一模态对它们进行建模几乎不可能。因此,模型可能由多种不同类型的模态进行刻划。在这种情况下,模型的不确定性



中国科学院



变得突出。同时,可能会有一部分未建模动态,它们难以用准确数学形式进行刻画。

(2)工具的多样化。由于控制对象(模型)复杂,很难用单一的数学工具或经典控制手段进行控制设计。因此,多种工具并用以及多种控制手段的协同和交叉成为一种常见方式。这个过程不是一个简单的加法,不同控制策略的融合产生了许多新的理论和技术问题,从而促进了控制论的发展。

(3)理论与工程实现的结合。应用导向的控制论面对的是一个实际系统。由于对象明确,理论研究通常要考虑到相关结果的工程实现问题。这大大促进了控制理论与实践的结合,使相关理论能充分全面地利用工程问题的特殊性而得以改进,同时,也为这些理论的工程实现提供了便利。

(4)控制的数字化与智能化。由于控制规则的复杂化,经典的由简单自动化装置实现对复杂系统的控制几乎不可能。现代的控制不仅需要反馈信息,而且需要对信息在线分析,对模型参数自适应调整等,这些都需要利用计算机在线实现。最后的决策及控制实现,很可能还需要以往的人类经验等,因此,控制的智能化也成为一大特征。

目前控制论的一些研究热点,实际上可以从观察当前高新科学技术的发展前沿得到答案。这反过来也验证了本文的一个主要观点:当前控制论的主流发展方向是应用导向的控制理论。例如,下面一些方向形成当前控制论发展的前沿焦点。

(1)复杂系统控制。复杂系统控制是经典控制理论与复杂性科学及其他学科的一个交叉学科方向。典型的研究对象包括:

多自主体与切换系统。对多自主体系统(multi-agent system)的兴趣最初来自生物学家对自然界的观察,特别是动物世界的涌现现象。其后是计算机科学家以简单规则得到了相应的仿真结果,如人工生命等。最后是系统控制科学家加入,对多自主体进行了建模与控制研究<sup>[9]</sup>。并将相应理论结果应用于飞行器编队,机器人的团队协作等<sup>[10-12]</sup>。

切换系统指系统具有多个动态模型,模型按一

定规则转换。这是对单一模型系统的推广,它更符合如电力系统等复杂系统的动态过程。它的控制问题是传统控制方法所无法完成的,需要一套新的理论工具<sup>[13]</sup>。多自主体系统由于相互关联的拓扑变化,其动力学模型构成一个典型的切换系统<sup>[14]</sup>。

生物系统。如果说生命科学是当代最活跃的自然科学分支,大概并不过分。特别是人类基因测序的完成,大大促进了系统生物学的发展。于是,对生命系统的分析与调控也成了对系统控制学家们提出的一个极具挑战性的问题。生物信息学是自动化学科中一个越来越受瞩目的方向,它以信息、控制和系统理论为核心,力图破解基因的遗传和疾病的秘密。系统生物学对一个特定生物过程的动态结构进行建模,进而分析其系统学特性<sup>[15]</sup>。例如对于基因调控网络,就有许多不同的建模方法,如贝叶斯网络、非线性微分方程等<sup>[16]</sup>,其中布尔网络是一个简单而恰当的数学模型<sup>[17]</sup>。布尔网络的分析与控制<sup>[18]</sup>,有望对系统生物学的研究起到重要的推动作用。

量子控制。随着量子信息、量子通讯及量子计算的兴起和发展,基于量子物理理论的量子动力学的分析与控制,成了物理学、系统与控制理论以及相关数学的一个交叉前沿学科。从控制论角度看,如何将宏观的控制理论与方法用于微观粒子,包括量子系统的可测性、反馈控制设计、最优控制等,是当前研究的一些热点<sup>[19-21]</sup>。

(2)网络控制。网络化是我们时代的特点。它改变着人生的生活,也改变着我们的整个社会结构,网络化也成为控制论的一个重要发展方向。

网络信息与控制。以互联网为代表的网络信息技术在近20余年间发展迅速。严格地说,网络控制可分为两种。①网络控制系统(Networked Control System):利用网络技术将受控对象、执行器、传感器和控制器通过通信网络连接在一起,从而实现了对受控对象的有效控制。这里,网络是一种控制手段<sup>[22-23]</sup>。②网络系统控制(Networked System Control):研究通讯网络对传递信息的可靠性,

网络的故障诊断与容错控制, 交通网络的拥塞控制, 电力网的安全稳定与应急控制, 移动传感器网络的协调控制等。这里, 网络是控制对象<sup>[24-25]</sup>。

智能电网。电力网络被人称为最复杂的人造系统。智能电网(smart grid)则是近年来国际上出现的新概念。应该说, 它尚未有公认的清晰定义。但一般认为它应包含: 电网与电站高度自动化; 相关信息与通讯系统高度集成; 先进的报警、控制及电网自愈能力等。由于电力系统在国民经济中的台柱作用, 智能电网的建设, 亦即电网自动化, 成为自动控制领域一个重大科研项目<sup>[26,27]</sup>。

交通网。对于快速城市化的中国, 城市路网与高速路网正迅速膨胀。对交通网络的智能化管理成为一个刻不容缓的任务。利用GPS、IPv6等先进通讯工具, 结合自组织网络等结构分析方法, 提供大范围交通网信息。利用交通规划技术及交通流理论等, 设计基于信息的反馈控制, 达到协调优化的目的, 是目前的研究重点<sup>[28,29]</sup>。

(3)运动控制。动力学系统满足牛顿第二定律, 是最经典的控制模型。随着结构与运动形式的日趋复杂, 相应的控制技术也变得日新月异。

飞行器导航与制导。卫星、导弹、无人飞机等的飞行控制, 无论在历史上, 还是当今, 都是控制论最富挑战性, 也最具显示度和成就感的应用之一。在导航方面, GPS导航系统的应用, 新型的磁悬浮或激光陀螺技术的日渐成熟, 生物导航技术的出现, 以及利用综合信息的组合导航, 为导航的理论和实现提出了一系列全新的课题, 使古老的导航控制焕发了新的生命<sup>[30]</sup>。制导是导弹命中率的关键技术, 精确制导是以近代光电技术为核心, 以自动控制理论为基础发展起来的高新技术。目前理论研究的热点包括制导、

姿控一体化设计, 多约束导引率, Fliess 展式方法, 等<sup>[31,32]</sup>。

汽车控制。虽然汽车工业在国际上已日趋成熟, 但中国的汽车工业还正在快速崛起, 进一步掌握关键技术, 取得知识产权, 以及研发独创的先进装置和技术等, 是中国汽车工业可持续发展的保障, 也是相关汽车控制研究者的责任。目前的汽车控制理论的研究热点包括: 无人驾驶控制, 电—油混合动力汽车的切换优化控制, 带有图、表等未建模成份的动力系统智能控制等<sup>[33,34]</sup>。

机器人控制。由于制造业的升级、空间与海洋开发、灾难救援以及某些特殊军事目的, 目前国内外对机器人及其技术的开发均呈强烈竞争趋势。机器人技术正从简单工业机器人向多种形式的智能机器人发展。例如, 救援机器人、医疗机器人、仿生机器人、空中机器人等<sup>[35]</sup>。目前, 智能机器人控制有许多前沿性难题有待进一步研究。例如, 多传感器信息融合、导航定位与路径规划、智能优化控制等<sup>[36]</sup>。

(4)过程控制。工业过程的优化与控制是控制理论的一个重要组成部分。工业生产的自动化程度越高, 对过程自身的控制与优化就越显重要。

过程的优化与调度。大型工业过程, 如冶金、化工、加工制造等, 一般难以用简单的机理建模, 必须辅以数据建模。因此, 动态建模, 模型的评估和校正都是过程优化及控制中首当其冲的问题<sup>[37]</sup>。工业过程的优化调度对系统的依赖性很高。针对复杂工业过程的非确定性、多目标性、非线性等特点, 目前出现了多种智能优化算法。它们和计算机仿真技术相结合, 有望为复杂过程的优化控制开拓一个合理的解决途径<sup>[38]</sup>。

离散事件系统。在生产制造、物流服务、信息技术等系统中, 其状态空间通常是



中国科学院

离散的, 动态过程是非线性且对时间不均匀变化。离散事件动态系统(DEDS: discrete event dynamic system)是解决这类系统建模、分析、设计、控制、优化的一个有效工具<sup>[39]</sup>。这种方法有望成为工业过程优化控制的一个便利工具。目前, 离散事件动态系统的优化理论和数值方法是其研究热点<sup>[40]</sup>。

物联网。物联网能精确、实时地对工业生产过程进行动态管理。基于物联网的有效生产调度优化和生产消费物流信息与调度平台可全面提高工业生产整体性、有序性、系统性。这种智能化管理, 可提高资源利用率和生产力水平。物联网动力学模型是一个复杂的随机过程。其建模及基于动态规划等优化算法是目前研究的重点<sup>[41]</sup>。

#### 4 控制论的展望

在本世纪初, 美国空军部曾组织一批国际控制论著名专家, 研讨新世纪控制论的走向。在研讨报告<sup>[42]</sup>中指出, 前瞻的应用研究方向包括: (1) 飞行器与交通; (2) 信息与网络; (3) 机器人与智能机器; (4) 生物学与医学; (5) 材料与过程等。这些方向大致与上一节提到的目前的研究热点是一致的。

作为对控制理论学科自身未来发展趋势的预测, 我们提出以下几点:

(1) 控制论的泛化。为了应对复杂的高科技对象, 控制论的方法会越来越地与信息论、博弈论、计算机科学等相结合。因此, 控制论与信息论及计算机科学等会互相渗透, 使控制论的边界变成模糊。目前, 一批控制科学研究人员已自觉不自觉地进入其他相关领域。例如, 网络信息传输、基于博弈的系统演化、有限自动机与人工生命, 甚至包括遗传与基因调控等。控制论的领地正在不断拓广。

(2) 智能化的增强。基于简单动力学方程的控制论越来越难以适合带有不确定性的复杂系统。因此, 利用人的经验的智能化控制, 包括神经网络、模糊控制等, 可能在未来控制中发挥更重要作用。学习控制及计算机参与的决策, 也将是处理带有未建模状态等的复杂系统的有力工具。另外, 高新科技的成果, 反过来可为控制的智能化提供新的

工具和手段, 如GPS系统对导航、网络控制甚至电力系统同步, 都起着重大作用, 智能材料的应用对分布参数系统提供精确的状态反馈值等, 这使经典控制理论向智能化方向发展。

(3) 理论上的突破。控制理论学科自身存在一些尚未解决的重大关键问题。例如, 反馈能力、非线性滤波原理、PID对非线性系统的适用性、采样控制的有效性<sup>[8]</sup>。这些问题利用现有的数学工具和分析方法可能难以解决, 但它们的解决又可能对控制理论产生突破性的影响。控制理论的发展需要研究一些全新的数学工具和方法。因此, 文献42中强调了控制理论与数学的互动。其中提到的“具有符号和连续动态的控制”, 可能预示一种集微分过程与逻辑动态等于一体的新的数学模式。

另外, 现有的许多智能化控制方法在理论上尚不够成熟。这些方法的完善依赖于相应数学工具的开发。这种数学工具应以计算机科学为背景, 以离散及有限集合为对象的一种新的数学模式<sup>[43]</sup>。矩阵半张量积可望成为这类新数学工具之一<sup>[44]</sup>。

#### 5 结束语

中国正逐步成为全球经济发展的引擎。与此同时, 中国的工、农业、国防的现代化为中国自动化事业提供了一个宽阔的主战场。目前中国的自动控制理论研究已在国际自动控制界占有一个重要席位。虽然在某些方面与国际前沿尚有差距, 但发展迅速。相信在不久的将来, 中国的自动控制将全面走向国际前沿, 控制论在中国大有作为!

##### 主要参考文献

- 1 Wiener N. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. New York: John Wiley & Sons Inc., 1948.
- 2 Tsien H S. Engineering Cybernetics. McGraw Hill, 1954.
- 3 吴麒, 王诗宓. 自动控制原理, 第2版. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- 4 Chen H F, Cheng D. Early developments of control theory in China. European J. Contr., 2007, 13(1): 25-29.
- 5 程代展. 控制理论. 中国自动化学会编著. 2007—2008控制科学与工程, 学科发展报告. 北京: 中国科技出版社,

- 2008, 31-40.
- 6 Guo L, Huang L, Jin Y. Some recent advances of automatic control in China. Proc. 1999 IFAC World Congress, Beijing, 1999, 31-48.
  - 7 席在荣, 郭宝珠, 赵千川等. 控制理论发展研究. 中国自动化学会编著. 2010—2011 控制科学与工程, 学科发展报告. 北京: 中国科技出版社, 2011, 27-32.
  - 8 郭雷. 关于控制理论发展的某些思考. 系统科学与数学, 2011, 31(9): 1 014-1 018.
  - 9 Ferber J. Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Boston: Addison Wesley, 1999.
  - 10 Chung H, Oh S, Shim D H et al. Toward robotic sensor webs: algorithms, systems, and experiments. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(9): 1 562-1 586.
  - 11 Kumar M, Garg D P, Kumar V. Segregation of Heterogeneous Units in a Swarm of Robotic Agents. IEEE Transactions on Automatic Control, 2010, 55(3): 743-748.
  - 12 Wang J, Zhang J, Yuan J et al. Neurotransmitter-mediated collective rhythms in grouped *Drosophila* circadian clocks. J. Biological Rhythms, 2008, 23(3): 472-482.
  - 13 Branicky M S. Stability of switched and hybrid systems. Proceedings of the 33rd IEEE Conference on Decision and Control, Lake Buena Vista, FL, USA, 1994, 3 498-3 503.
  - 14 Zhao J, Hill D J. Dissipativity theory for switched systems. IEEE Trans. Aut. Contr., 2008, 53(4): 941-953.
  - 15 Kitano H. Systems biology: a brief overview. Science, 2002, 295(5 560): 1 662-1 664.
  - 16 Jong H. Modeling and simulation of genetic regulatory systems: a literature review. Journal of Computational Biology, 2002, 9(1): 67-103.
  - 17 Kauffman S A. The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution. New York: Oxford University Press, 1993.
  - 18 Cheng D, Qi H, Li Z. Analysis and Control of Boolean Networks: A Semi-tensor Product Approach. London: Springer, 2011.
  - 19 Dong D, Petersen I R. Quantum control theory and applications: a survey. IET Control Theory & Applications, 2010, 4(12): 2 651-2 671.
  - 20 Qi B, Guo L. Is measurement-based feedback still better for quantum control systems. Sys. Contr. Lett., 2010, 59(6): 333-339.
  - 21 Wiseman H M, Milburn G J. Quantum Measurement and Control. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
  - 22 Robinson C L, Kumar P R. Optimizing controller location in networked control systems with packet drops. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(4): 661-671.
  - 23 Ulusoy A, Gurbuz O, Onat A. Wireless model-based predictive networked control system over cooperative wireless network. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2011, 7(1): 41-51.
  - 24 Fang H, Ye H, Zhong M. Fault diagnosis of networked control systems. Annual Reviews in Control, 2007, 31(1): 55-68.
  - 25 Zelazo D, Mesbahi M. Graph-theoretic analysis and synthesis of relative sensing networks. IEEE Transactions on Automatic Control, 2011, 56(5): 971-982.
  - 26 Ipakchi A, Albuyeh F. Grid of the future. IEEE Power and Energy Magazine, 2009, 7(2): 52-62.
  - 27 Massoud Amin S, Wollenberg B F. Toward a smart grid: power delivery for the 21st century. IEEE Power and Energy Magazine, 2005, 3(5): 34-41.
  - 28 Azimirad E, Pariz N, Sistani M B N. A novel fuzzy model and control of single intersection at urban traffic network. IEEE Systems Journal, 2010, 4(1): 107-111.
  - 29 Balaji P G, Srinivasan D. Multi-agent system in urban traffic signal control. IEEE Computational Intelligence Magazine, 2010, 5(4): 43-51.
  - 30 Miller M M, Rutkowski A J, Lohmann K J. Nature's Navigators - An overview of biologically inspired navigation. J. Institute of Navigation, 2008, 55: 99-100.
  - 31 Qiao Y, Yuan Y, Cheng D. Finite Fliess functional expansion and





- its application to flight control of missiles. *Int. J. Robot. Aut.*, 2011, 26(2) : 173-181.
- 32 张友安, 马培蓓. 带有攻击角度和攻击时间控制的三维制导. *航空学报*, 2008, 29(4) : 1 020-1 026.
- 33 Park M W, Son Y J, Kim J H. Design of the real time control system for controlling unmanned vehicle. *International Conference on Control, Automation and Systems*, 2007, 1 234-1 237.
- 34 Thounthong P, Raël S, Davat B. Control strategy of fuel cell/supercapacitors hybrid power sources for electric vehicle. *Journal of Power Sources*, 2006, 158(1) : 806-814.
- 35 Dario P, Carrozza M C, Guglielmelli E et al. Robotics as a future and emerging technology: biomimetics, cybernetics, and neuro-robotics in European projects. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2005, 12(2) : 29-45.
- 36 Caccavale F, Natale C, Siciliano B et al. Integration for the next generation: embedding force control into industrial robots. *IEEE Robot. Autom.*, 2005, 12(3) : 16-23.
- 37 Anton A K, Costin S B, Johan G. Dynamic modeling and process optimization of an industrial sulfuric acid plant. *Chemical Engineering Journal*, 2010, 158(2) : 241-249.
- 38 Kang Q, Wang L, Wu Q. A novel ecological particle swarm optimization algorithm and its population dynamic analysis. *Applied Math. Comput.*, 2008, 205: 61-72.
- 39 Cao X R, Ho Y C. Models of discrete event dynamic systems. *IEEE Control Systems Magazine*, 1990, 10(4) : 69-76.
- 40 Cao X R. Stochastic learning and optimization - A sensitivity-based approach. *Annual Reviews in Control*, 2009, 33(1) : 11-24.
- 41 Atzori L, Iera A, Morabito G. The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 2010, 54(15) : 2 787-2 805.
- 42 Richard M M, Åström K J, Boyd S P et al. Future directions in control in an information-rich world. *Control Systems Magazine*, 2003, 23(2) : 20-33. (陈虹, 马彦(编译). 信息爆炸时代的控制. *控制理论与应用*, 2003, 20(3): 481-484.)
- 43 Emmott, S(Editor-in-Chief). *Towards 2020 Science*. Cambridge: Microsoft Research Ltd, 2006. (国家自然科学基金委员会政策局编译. 面向2020年的科学. 2008.)
- 44 程代展, 赵寅. 矩阵的半张量积: 一个便捷的新工具. *科学通报*, 2011, 56(32) : 2 664-2 674.

## A Restricted Survey on Control Theory

Cheng Daizhan Zhao Yin

(Institute of Systems Science, AMSS, CAS 100190 Beijing)

**Abstract** First of all, the paper gives a brief review for the birth and historical events of control theory. Secondly, the characteristic of this discipline is analyzed. It is pointed out that the control theory is a branch of applied mathematics, it depends heavily on mathematics; meanwhile, it is also a service-based discipline, which highly depends on the development of science and technology. Thirdly, it is shown that the major research directions of control theory have been changed from theoretically oriented topics to application-oriented topics. Some characteristics have been revealed and four hot topics are introduced as: (1) control of complex systems; (2) network control; (3) motion control; (4) process control. Finally, some prospects of future control are presented, which contain some further research topics, and possible new tendencies as (1) generalization of control theory; (2) more intelligence; (3) theoretical breakthrough.

**Keywords** control theory, automation, characteristic of discipline, current situation, prospect

**程代展** 中科院数学与系统科学研究院研究员。1970年毕业于清华大学, 1981年于中科院研究生院获硕士学位, 1985年于美国华盛顿大学获得博士学位。2005年及2008年分别当选IEEE Fellow及IFAC Fellow。主要研究方向为非线性控制系统、切换系统、哈密尔顿系统以及逻辑动态系统和控制设计的数值实现等。E-mail: dcheng@iss.ac.cn