

复杂控制系统理论: 构想与前景¹⁾

黄 琳

(北京大学力学系, 北京 100871)

秦 化 淑

(中国科学院系统科学研究所, 北京 100080)

郑 应 平

(中国科学院自动化研究所, 北京 100080)

郑 大 钟

(清华大学自动化系, 北京 100084)

摘 要

本文通过对控制理论发展过程的分析, 提出了创立和发展复杂控制系统理论的构想。文中系统地阐述了复杂控制系统理论的总体框架和所属的基本问题, 对其发展现状和可能的研究方向进行了论述。同时, 本文还对复杂控制系统的基本特征和复杂控制系统理论的研究途径进行了探讨。

关键词: 复杂控制系统理论, 非线性问题, 鲁棒性问题, 具柔性结构的系统, 离散事件动态系统, 基于数学和计算机的研究。

一、对控制科学的发展的回顾

控制科学是在本世纪中形成和发展起来的一门新兴学科, 其应用和影响已经遍及众多的技术和社会领域。如果把 1932 年奈魁斯特 (H. Nyquist) 关于反馈放大器的稳定性的经典论文作为起点, 那么控制科学的发展才只走过了 60 年的历程。大体上可以认为, 前 30 年是调节原理即现今称为经典控制理论的发展和成熟阶段, 后 30 年则是现代控制理论的形成和发展阶段^[1,2]。和其他技术科学一样, 控制科学也是由于社会发展的需要, 从解决重大工程和技术问题的实践中产生和发展起来的。而控制科学的发展水平, 则同时受到人类社会已有的技术手段和知识水平的制约。

本文于 1992 年 5 月 25 日收到。

1) 国家自然科学基金和 863 高技术 CIMS 主题资助的课题。本文曾作为中国自动化学会第三届全国学术年会 (1991 年 11 月, 北京) 的大会报告。本文形成中参加过讨论的还有北京大学、中科院系统科学研究所、中科院自动化研究所、清华大学、航空航天部北京控制工程研究所、东北工学院、西北工业大学、浙江大学的有关教授学者。本文的初稿和最后稿分别由黄琳和郑大钟执笔。

经典控制理论是一种单回路线性控制理论。主要的研究对象是单变量常系数线性系统,系统的数学模式比较单纯,基本的分析和综合方法是基于频域的和图解的方法。通过引入等价的线性化环节,并把相应的线性控制系统的概念和分析方法加以修正和拓展,经典控制理论也能有效地处理包含非线性环节的简单非线性控制系统。经典控制理论在研究对象、数学方法和计算手段上的特点,是和工程技术对“单机自动化”的需求、积分变换方法的成熟并广泛应用、以及电子计算机技术的发展尚处于初期阶段等密切相关的。经典控制理论不仅推动了当时社会的自动化技术的发展与普及,而且仍在当今社会的许多工程和技术领域中得到继续应用。

现代控制理论产生于 60 年代前后。人类对发展航天技术的需要和电子计算机技术的成熟普及,对现代控制理论的形成与发展有着深刻的影响。这种影响促进了控制理论由经典控制理论向现代控制理论的转变。现代控制理论的形成,将控制理论从深度上和广度上推进到一个新的发展阶段。现代控制理论在其发展的 30 年中,显示出了如下的一些基本特征:

1) 控制理论所涉及的问题已经而且继续从单回路模式向一般化模式的拓展。这就为处理更为复杂的控制对象和控制问题,采用更为复杂和有效的数学工具,形成更具一般性和理论性的控制理论,创造了基本条件。并且由此而产生了一系列在经典控制理论框架下不可能得到的深刻理论成果,如基于状态空间描述的线性系统的几何理论、基于一般微分方程描述的最优控制理论、基于微分流形描述的非线性控制理论等。

2) 控制理论中的建模手段实现了从直接根据系统物理特性的方法向建立一般化的参数估计和系统辨识理论的拓展。这不但适应了控制对象日益复杂的需要,而且扩大了控制理论的研究领域。随着随机过程和数理统计方法的推进,使得参数估计和系统辨识理论以及基于这一理论的自校正与自适应控制,成为一个具有广泛应用前景的研究方向。

3) 控制理论中的方法和算法体系实现了从基于手工计算到基于计算机处理的转变。这种推动力首先来自于电子计算机技术的长足进步和广泛应用,同时也是来自控制系统分析与综合中日趋增加的复杂计算。这种转变不仅显示出计算机辅助手段(如计算机仿真、计算机辅助分析、计算机辅助设计等)在控制理论发展中的日益重要的作用,而且也导致作为方法基础的数学工具上的重要改变,如积分变换法不再是主要数学工具,而矩阵理论和几何方法代之成为主要数学工具。

4) 控制理论中已不局限于在常系数线性系统模式下研究问题,而可直接研究问题中的分布参数特征和非线性特征。这就不仅需要采用理论研究的手段,而且尤其需要采用计算机实验的手段。正是在这类研究中,发现和揭示了一系列在常系数线性系统模式下不可能出现的非线性现象和非集中参数现象,加深了人们对系统复杂性本质的认识。

5) 控制理论的研究背景已不再局限于基于物理学规律的“自然系统”,而且扩展包括了基于人为复杂规则的“人造系统”。后者是适应于高技术发展和应用而提出的一类系统和控制问题。这样,控制理论所涉及的研究对象,既有反映变量连续演化规律的连续变量动态系统(CVDS),也有反映排队过程规律的离散事件动态系统(DEDS)。

目前控制理论又面临着一个新的发展阶段^[3]。当代科学技术的几项重大变革,如航天技术革命、信息技术革命、制造工业革命等,要求控制理论能处理更为复杂的控制问题

和提供更为有效的控制策略。这对现有的控制理论,既是一种挑战,也为其进一步的发展和可能的突破提供了一个机会。有鉴于此,国内外控制理论界的学者都对此十分重视,并开展了深入的研究^[4]。一些国外重要学术机构,如 IEEE 的控制系统学会、SIAM (工业与应用数学学会) 等,都相继召开了有权威性控制理论与应用领域专家参加的专题研讨会,来研究对控制的挑战和分析控制理论的未来方向,并发表了相应的研究报告^[5,6]。笔者从 1989 年开始着手对这种挑战和机会开展了调查和研究,通过对不同专业领域和不同技术背景的调研,通过从不同角度和不同侧面的探讨,期望来明确控制理论在其新发展阶段的研究方向和主要问题,并酝酿和组织复杂控制系统理论的研究项目。

二、关于复杂控制系统理论

本文提出创立复杂控制系统理论的设想是以工程技术问题中的一大类复杂控制对象作为背景的。复杂大工业生产过程、计算机集成制造系统、空间飞行器中的各种复杂设施、柔性机器人系统等就是这类复杂控制对象的一些典型例子。在这类系统中,既有系统行为和特性上的复杂性,也有不确定性导致的复杂性,同时还有系统多模式集成和控制策略方面的复杂性。对这类系统的研究,涉及到非线性问题、鲁棒性问题、具柔性结构的系统以及离散事件动态系统等,并且既需要对它们进行相对独立的研究,也必须按照具体工程问题的要求把它们中的几个方面集成地加以研究。在现有的控制理论中,对于上面提及的那些控制问题都已经有了不同程度的研究,但从总体上看这些研究仍然是相当局限的,需要从更广的视野并在更深的层次上开展进一步的研究。

1. 非线性问题

对于复杂控制系统,非线性问题所以成为其中的一个重要的基本问题,是基于如下的一些原因:

1) 很多复杂控制对象的运动是大范围的,例如卫星的定位与姿态控制过程、机器人的特定运动等,它们是不可能采用线性化模型来刻划的,而只能采用表征大范围运动的非线性微分方程来描述。

2) 出现在一些复杂系统中的运动行为如分岔、混沌、奇怪吸引子等,本质上属于非线性现象。它们既不可能出现在线性系统中,也不可能通过对非线性问题的线性化模型的研究来揭示。

3) 大量线性元件的组合不会产生本质不同的新现象和新功能,而一定数量的非线性元件的组合则可使网络在功能上产生质的飞跃,具有自行寻优、自学习等智能性功能。例如,近年来受到广泛重视的元胞自动机、神经网络等,就是这样的一些非线性网络。科学家已经据此对倒立摆实现了自学习控制,而无需事先对倒立摆建立数学模型。这表明,研究非线性问题对于一些复杂非线性系统而言是不可避免的。

对非线性动态系统的研究的一个重要突破出现在 80 年代初。由于把微分几何和微分代数等数学方法相继引入到非线性系统控制的研究中,使得研究模式摆脱了局部线性化和小范围运动的局限性,而可实现对非线性动态系统控制的大范围分析和综合。在这种框架下,已经在非线性控制的一些问题上取得了一批具有特色的重要结果^[7,8]。但是,

对非线性控制的微分几何和微分代数方法的研究,仍然有待于做重大的和进一步的推进,以克服由于计算上的困难和所能处理的非线性系统类比较局限而带来的重要缺陷.扩大非线性系统类,研究更为复杂的控制问题,建立可行的计算方法,突破“线性化”的研究模式,可能是非线性动态系统控制理论发展中有待于重视和研究的问题.

对非线性问题的另一类研究模式是非线性科学.非线性科学首先引起物理学家的注意,并在物理学的不同领域内开展了广泛的研究.研究的方面涉及非线性现象(如分岔、混沌、奇怪吸引子等)、非线性网络(如神经元网络等)、寻优启发式算法(如模拟退火等)等.依靠物理学的启示,采用数学方法和计算机实验的结合,这类研究模式已经得到了一系列新鲜的和有价值的结果.但是,这种研究能做什么和成功到何种程度,还仍有待于更多的探索和研究.

上述这两类非线性问题的研究模式目前还没有融合为一体,但两者之间已经显示了某些共同性和相互的渗透.根本上这两种研究模式所涉及的都是非线性动力学,都需要采用动态系统和流形作为工具.同时,属于非线性控制中的某些思想和方法(如李亚普诺夫方法等)已被用于研究某些非线性网络,而属于非线性科学的一些方法(如神经元网络、模拟退火等)则被应用解决控制理论中的计算复杂性问题.这就给我们以启示,如果把这两种研究模式结合起来,用非线性科学的思想和方法来为控制问题的求解和工程实现提供手段,而用控制理论中的有关概念和方法去促进非线性科学的更大进展,将会导致对非线性问题的研究取得重要的进展.

2. 鲁棒性问题

鲁棒性问题是控制系统中的一个具有普遍性的基本问题.鲁棒性是指系统中存在不确定性因素时系统能保持正常工作性能的一种属性.在鲁棒性问题中,研究得较多的是鲁棒稳定性,即系统在存在不确定性时仍能保持渐近稳定.鲁棒性的早期研究常只限于微摄动的不确定性,即灵敏性分析,其处理比较简单,但与工程实际情况相距较远.现代鲁棒性研究的特点是面对非微有界摄动的不确定性,因此研究难度大为增加,传统的用于灵敏性分析的数学方法已无法应用,必须采用能适合于大范围分析的方法和理论.

鲁棒性问题是当前控制理论界的一个研究热点^[9].但是,迄今为止,就这一问题提出的结果仍然是十分有限的.就参数空间中的鲁棒稳定性而言,导致研究困难的一个主要问题为参数空间中稳定区域是非凸的,即两个参数点对应的系统均为稳定时不能保证联结这两点的直线段上的每个参数点均对应于稳定的系统.鲁棒稳定性研究中的两个重要进展是,1978年提出的哈列托诺夫(Харитонов)定理和1986年给出的关于多项式凸多面体的稜边定理^[10].这两个结果,在多项式系数为不确定参数的一次函数的假定下,分别解决了区间多项式族稳定的有限检验问题和一般多项式多面体稳定的一维检验问题.对于多项式系数为不确定参数的非线性函数的情况,重要的和有用的结果还很少.关于对一个受控系统族在什么条件下可求得一个控制器使整个闭环系统族均为稳定或具有期望的性能的问题,即鲁棒镇定和鲁棒综合问题,则研究工作尚处于开始阶段.

H^∞ 控制理论是鲁棒控制领域内的另一个热点课题^[10].这类问题的实质是一个优化问题,通过使系统由扰动至偏差的传递函数矩阵的 H^∞ 范数取极小,而来综合出相应的控制律. H^∞ 控制问题的求解,以及系统存在不确定性时的稳定设计,最终都可归结为求解

控制理论中常见的李亚普诺夫方程和黎卡提方程。目前, H^∞ 控制理论仍然呈现出一种不衰的研究势头, 如何解决综合中计算上的困难, 如何降低控制器过高的阶次, 如何建立非微摄动不确定性时对应的理论和方法, 如何把 H^∞ 控制理论推广应用于非线性系统等, 都是仍然富于吸引力的课题。

对于复杂控制系统, 或者由于复杂的工作环境, 或者由于建模的复杂性, 其中的不确定性问题将要更为严重。因此, 强鲁棒性对于复杂控制系统将是一项十分基本的研究课题。特别是, 当复杂控制系统具有分层结构且具有不同模式时, 鲁棒性和鲁棒控制研究将更是一个很具挑战性的课题。

3. 具柔性结构的系统

由于空间技术和机器人技术的推动, 使具柔性结构的系统成为控制理论领域内一个十分受人重视的方向。轻臂机械手, 大尺寸太阳能帆板, 航天器与卫星间的绳索联接系统, 就是具柔性结构的系统的一些背景性例子。这类系统的复杂性在于, 其状态或分状态不仅随时间而且也随空间位置变化, 描述系统的方程相应地不再是常微分方程而是偏微分方程。

具柔性(首先是弹性)结构的系统的控制问题的复杂性首先是其动力学建模问题。就以简单的梁为例, 迄今在梁控制问题研究中仍然大多采用 1735 年提出的贝努里 (D. Bernoulli) 悬臂式弹性梁振动模型。研究表明, 在采用这种模型来研究振动问题时, 仅就振动频率而言, 也只是开始的最初几个振动频率和实际情况比较一致。在二次大战时期提出的铁木辛柯 (Timoshenko) 弹性梁振动模型, 由于考虑了旋转惯性和剪力, 因此使这种模型在分析弹性振动时能和实际情况较好吻合。但由于其复杂性, 至今仍很少被采用于研究梁控制问题。这里, 在理论上仍然存在一系列有待研究的问题, 例如在具弹性结构系统的控制问题中究竟采用哪种力学模型更为合理, 不同力学模型之间的比较, 平截面假定等力学或物理学的基本前提对动态控制是否仍然有效等。至于对具有更为复杂形状的弹性体如板、伞形体等, 则其控制将比梁控制问题要复杂得多。进一步, 考虑到这类问题中除了镇定控制外, 有时还必须研究形状控制和运动控制等更具复杂性的控制问题, 这样将会有更多的挑战性问题有待去解决。

具柔性结构系统的控制问题的复杂性还在于如何解释和处理实际的物理现象和近似化研究结果间的差异。空间结构的物理特征是刚度小且薄而轻, 因而其在重力场中难以支撑自身并易于出现频率集中, 且必然存在波动这一本质物理现象。但是, 从对系统离散化后的有限维线性模型的分析导出的能控性结论, 却是和波动现象相矛盾的。而且, 一般地说, 建立在采用振型分析的模态控制之上的有限维系统理论与方法, 是否适用于本质上无限维的系统, 也是有待重新审视的, 而所谓的控制溢出和观测溢出的问题都是由此而产生的。

至于象航天器和卫星用柔绳联接的系统, 带太阳能帆板的卫星这类刚体与柔性体混合的系统, 则其建模和控制将要远为困难得多。解决这类问题, 需要采用多种研究手段的结合, 包括理论的、工程的、实验的、计算机仿真的等手段。

4. 离散事件动态系统

离散事件动态系统 (DEDS) 的提出是由于研究高技术人造系统的需要。计算机集

成制造系统 (CIMS)、通讯网络、计算机网络、交通调度和公共服务系统等就是这类人造系统的重要实例。此外,在不少复杂控制系统中,系统具有分层的结构,下层是受控的连续变量动态系统 (CVDS),而上层则是具有运筹和调度特征的离散事件动态系统。因此,对 DEDS 的研究,将对生产过程自动化、自动化调度、计算机通讯等一系列工程技术问题具有重要意义。

在 DEDS 中,系统状态的改变不是由时间演化而是由事件的发生来触发的,状态空间是完全离散的不具有拓扑结构的集合。这类系统的模式不是描述 CVDS 的常见的微分/差分方程模式,并且由于问题的复杂性需要采用不同层次的模式来对系统进行描述。描述 DEDS 的模式按层次可以分成三类^[4]: (1) 逻辑层次模型,包括形式语言/有限自动机模型、Petri 网模型、时间逻辑模型等。(2) 代数层次模型,包括极大代数(或一般的双子)模型、有限递推过程、条件/事件系统、混合动态系统等。(3) 随机性能层次模型,包括排队网络模型、广义半马尔柯夫过程模型、摄动分析方法等。这些模型各自反映了 DEDS 的一个侧面,目前还无法纳入一个统一的框架之中。尽管各层次模型间已有所渗透,但离开建立统一的模型,或者还相当遥远,或者根本是不可能的。

对 DEDS 的研究总体上看还处于初期阶段。逻辑层次模型虽涉及了系统的控制问题,但只局限于逻辑时间层次,而不涉及物理时间层次。代数层次和随机性能层次模型,虽可涉及物理时间层次,但只能研究系统分析问题,而难于处理系统控制问题。如何建立可同时处理逻辑时间层次和物理时间层次的 DEDS 的系统与控制理论,如何解决 DEDS 研究中严重的计算复杂性问题,如何研究 DEDS 和 CVDS 的混合系统的控制问题,如何把控制理论、运筹学、计算机科学的方法结合起来综合地运用于 DEDS 的研究,这些都是 DEDS 研究中极富挑战性的课题。

离散事件动态系统已成为国内外控制理论界广泛重视的一个方向。对 DEDS 的研究和建立复杂控制系统理论之间有着不可分割的内在关系。可以确信,对 DEDS 的系统与控制理论研究的重要进展,都无疑会对复杂控制系统理论的研究的推进起到重要作用。

三、复杂控制系统的基本特征和研究途径

不同于一般的控制系统,复杂控制系统是集多种复杂性和多种控制问题于一体的系统。对于复杂控制系统的基本特征,至少可以举出以下的几个方面:

1) 系统构成上常具有多模式子系统集成的特点。例如多机械手的协调控制,至少可将其分为两层,上层可以是 Petri 网,下层则是多关节机械手,这就形成了不同层次上的属于不同模式的两个子系统(离散事件动态系统和连续变量动态系统)的集成。再如具有太阳能帆板的卫星控制,卫星姿态控制系统是一个强非线性的刚体系统,而太阳能帆板则是具柔性结构的系统,这两种不同模式的系统在同一层次上被集成。这种构成模式上的非单一性导致了描述其行为的模型的非单一性,既可以是静态模型与动态模型的组合,也可以是集中参数模型与分布参数模型的组合,还可以是数学模型与非数学模型的组合。

2) 系统的不同模式子系统之间有着复杂的关联特性。对关联性的研究是多模式子系统集成问题中的主要难点之一。这里,关联的特性表现为不同模式子系统间的信息交互

作用,这就涉及大量信息处理与压缩过程,有时甚至还可能出现模糊的和随机的关联关系。因此,这种关联远比现今大系统理论中的采用关联矩阵描述的关联特性要复杂得多。此外,通常还必须考虑关联的失效和重构问题,以保证集成系统保持正常的运行功能。

3) 系统面临复杂的工作环境和强鲁棒性的要求。为了适应复杂多变的环境,强鲁棒性就成了对复杂控制系统的一个不可缺少的要求。而且,这里面临的是建立在分层的和由不同模式子系统集成之上的系统,因此其鲁棒性的分析将远比单一模式的控制系统要复杂。

4) 系统需要采用复杂的控制策略。复杂控制系统的受控对象的复杂性和复杂的性能要求,决定了必须采用复杂的控制策略,通常由具有信息加工职能并把计算机作为组成环节的装置来实现。而且,复杂的控制策略常常导致控制算法的复杂性,成为工程实现中的一个难题。

对复杂控制系统的研究需要突破任何一种单一的模式。仅仅采用数学工具,或者仅仅采用计算机仿真,都难以有效地解决复杂控制系统研究中出现的所有复杂问题。因此,把研究同时置于数学工具和计算机的基点上,将是发展复杂控制系统理论比较可行的一条路径。数学作为理论研究的基本工具,在揭示系统的内在关系和演化规律上有着不可替代的作用。离开这一重要工具,不论是对复杂控制系统的总体还是所涉及到的各个组成问题,都是难以做出深刻的和有份量的工作的。但是,单纯依靠数学工具,将使研究受到局限而无法涉及更广泛的领域和问题,特别是那些难以用数学模型表征的问题。基于计算机的研究正可弥补这一缺陷,通过充分利用计算机在处理图形、符号逻辑、模糊定性信息、知识和经验、以及学习过程等方面的作用,既可为理论研究提供有效的手段,也可为解决研究中出现的大量计算复杂性和可行性问题提供可能性。所以,数学方法和计算机的高层次的结合,将是复杂控制系统理论研究中的重要手段。

当前,在基于计算机研究中的一个突出问题,是要把计算体系从串行体制转移到并行体制上来,以适应复杂性和快速性的需求。这种转移,既包括研制面向复杂控制系统理论研究的并行计算机,也包括开发并行计算和处理的相应软件,而其中最为关键和重要的是要开展对基于并行算法的控制系统的理论与设计方法的研究。同时,还需要进一步提高计算机研究的层次,使计算机不限于作为计算与仿真的手段,而且也是处理知识、帮助思维、进行推导的手段,实现更直接意义下的计算机辅助研究。

四、结 束 语

控制理论的发展正面临新的突破。复杂控制系统理论将成为控制理论发展中的一个可能的新阶段。基于对控制理论发展过程的分析,基于四年来的调研和研讨,本文系统地阐述了复杂控制系统理论的总体框架和组成课题,为开展对这类系统的系统性研究提供了思路。本文同时也论述了复杂控制系统的基本特征,并提出了“一类系统”(复杂控制系统)“两类工具”(基于数学和计算机的研究)的构想,为开展复杂控制系统理论的研究提供了可能的途径。只要我们能把握机会,组织力量,并且得到支持和资助,那么就一定能在发展复杂控制系统理论的研究中做出我们中国学者的贡献。

致谢。学部委员杨嘉墀教授对本文的形成提出了很多富于启发性的意见，并给予热情的支持和帮助，在此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 黄琳, 控制理论发展过程的启示, 系统工程理论与实践, 10(1990), (6), 17—23.
- [2] 郑大钟, 控制科学的发展及其启示, 自然辩证法研究, 2(1986), (6), 57—62.
- [3] 黄琳、秦化淑、郑应平、郑大钟, 当今控制理论面临的挑战与前景, 中国科学基金, 6(1992), (3), 11—18.
- [4] 郑应平, 控制科学面临的挑战——专家意见综述, 控制理论与应用, 4(1987), (3), 1—9.
- [5] ————, Challenge to Control — A Collective View, *IEEE Trans. Automat. Contr.* AC-32(1987), (V2), 274—285.
- [6] ————, Report of the panel on Future Directions in Control Theory: A Mathematic Perspective, *SIAM Reports on Issues in the Mathematic Sciences*, 1988.
- [7] 高为炳、程勉、夏小华, 非线性控制系统的发展, 自动化学报, 17(1991), (5), 513—523.
- [8] 程代展、秦化淑、洪奕光, 非线性系统研究动态与展望, 控制与决策, 6(1991), (5), 394—400.
- [9] Siljak, D. D., Parameter Space Methods for Robust Control Design: A Guided Tour, *IEEE Trans. Automat. Contr.*, AC-34 (1989), (7), 647—688.
- [10] 黄琳、王龙、于年才, 系统鲁棒性的若干问题——背景、现状与挑战, 控制理论与应用 8(1991), (1), 11—29.
- [11] 郑大钟、郑应平, 离散事件动态系统理论: 现状和展望, 自动化学报, 18(1992), (2), 129—142.



黄琳 1957年和1961年于北京大学数学力学系本科及研究生毕业, 现为北京大学力学系教授, 博士生导师。研究兴趣为稳定性理论、鲁棒控制、具柔性结构系统的控制、复杂控制系统理论和相关的应用数学问题。



秦化淑 1934年出生, 1956年毕业于天津南开大学数学系, 1961年在波兰雅盖龙大学获得博士学位。1962年以前的研究方向是常微分方程的解的渐近性质和渐近展开。1962年以后从事控制理论及其在导弹制导中的应用研究。1979年以来, 从事非线性控制系统的结构性和控制性质方面的理论研究, 同时在将非线性控制理论用于导弹制导及机械臂的控制方向上做工作。目前感兴趣的研究方向是将非线性科学与控制理论结合、符号演算与数值计算结合, 以处理不确定非线性系统的理论、方法及其应用。

郑应平 照片、简介见本刊第18卷第2期。

郑大钟 照片、简介见本刊第18卷第2期。

THE CONCEPTION AND PROSPECTS OF COMPLEX CONTROL SYSTEM THEORY

HUANG LIN

(Dept. of Mechanics, Peking University, Beijing 100871)

QIN HUASHU

(Institute of Systems Science, Academia Sinica, Beijing 100080)

ZHENG YINGPING

(Institute of Automation, Academia Sinica, Beijing 100080)

ZHENG DAZHONG

(Dept. of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084)

ABSTRACT

This paper proposes a conception for establishing and developing the complex control system theory by means of analyzing the development process of control theory. In the paper, an overall frame and some basic problems are expounded systematically, and the current state and possible direction are pointed out for the complex system control theory. Further, the paper also makes an exposition of the characteristics and an inquiry of the ways of studying the complex system control theory.

Key words: Complex control system theory; nonlinear problem; robustness problem; systems with flexible structure; discrete event dynamic systems; study based on mathematics and computer.