

书刊评介

一本内容丰富的优秀专著 ——李清泉编著的《自适应控制系统理论、设计与应用》

吴 宏 鑫

(航空航天部 502 研究所)

在控制工程中,自适应控制是近年来一个十分活跃和富有魅力的重要科学领域。自适应控制从 50 年代初期就已出现,但取得较大进展和引起广泛重视还是近十来年的事情。自适应控制与传统的调节原理和最优控制理论不同,它能在受控过程的模型知识和环境知识知之不全甚至知之甚少,给出高质量的控制品质。随着控制理论的发展,特别是微电子技术、计算机技术的迅速发展和广泛应用,自适应控制技术越来越显示出它的优越性。空间技术和工业过程控制的大量工程实践表明,对于复杂的受控对象和过程,采用自适应控制往往能提高控制质量和产品质量,减少能耗和降低成本,减轻操作工人的劳动强度,因而深受广大工程技术人员和工人的欢迎。广大从事自动控制专业的高等院校师生、工程技术人员和研究人员迫切地需要一本能全面系统地介绍自适应控制方面的专著。李清泉编著的《自适应控制系统理论、设计与应用》一书已于最近由科学出版社出版,它从根本上满足了这一要求。这是一本内容丰富,理论联系实际,全面系统介绍自适应控制方面的优秀论著。

本书作者在清华大学自动化系多年讲授“自适应控制”课程,并长期从事自适应控制的理论研究和实际应用工作,曾在国内外一级学术期刊上发表论文 30 多篇。作者从工程控制理论和应用观点出发,对现有的自适应控制系统的核心内容进行了全面的深入分析和综合。作者对浩瀚的自适应控制文献作了大量的科学的取舍,用其潜心研究后的结果,以深入浅出的语言撰写出这本好书,奉献给广大的读者。

本书分 9 章和结语,共约 76 万字。第 1 章概述了自适应控制系统的作用、类型、理论和应用概况,在分类中作者加入了“学习系统”,这是以前自适应控制教科书中所没有的。更可贵之处是作者从实际出发,根据自适应控制必须经由计算机才能发挥其优越性的特点,在第 2 章中用较多篇幅讲述了离散时间系统,其中不少内容是最新成果。第 3 章作者就常用的系统辨识方法和技术作了简明扼要的介绍,使全书内容显得完整。第 4 章作者以深入浅出的笔调介绍了自适应控制的基本理论(稳定性和随机理论),这对工科大学生、研究生以及在职的工程技术人员都是极为需要的。第 5—8 章是全书的重点,这四章共占全书篇幅近三分之二,分别介绍了模型参考自适应控制系统、自校正控制系统、自寻最优控制系统、变结构控制系统、模糊自适应控制系统和智能自适应控制系统,特别是对前两种系统进行了全面深入的分析和讨论。内容丰富而全面,尤其是把当前自适应控制的最新方向——智能自适应控制,作为一个类型介绍给读者,给人以耳目一新之感。第 9 章作者介绍了卫星跟踪望远镜的模型参考自适应控制系

统,船舶驾驶的自适应控制,自适应控制在化工生产中的应用(其中有醋酸蒸发器的自校正调节器,精馏塔的多变量自校正控制、污水处理的自校正 PI 调节器),造纸机生产过程的绝干定量与水份的自适应控制,水泥生产过程的配料和生产的自校正控制,电加热炉的多变量自校正控制,核反应堆的自校正控制,自适应控制在机器人中的应用和人工心脏的自适应控制等 11 种典例,为自适应控制的应用提供了极有价值的参考。这对进一步推广应用自适应控制技术有着非常重要的现实意义。结语对自适应控制未来的研究课题和发展的设想作了概述,为读者进一步研究和发展自适应控制的理论和应用提供了宝贵的参考意见和方向指导。本书在 chapters 均有大量例题、习题和实验,供读者参考和选做,从而有利于帮助读者学习、掌握和巩固所学的内容。

本书与现有的国内外同类书籍相比,颇具特色,现列举如下:

一、内容系统、完整、充实、新颖

自适应控制涉及范围很广,它与稳定性理论,不变性理论,双重控制理论、非线性控制、最优控制、随机控制、系统辨识、计算机控制和线性系统等密切相关。近年来它又在理论上、设计方法上和工程应用上取得了很大进展。为了充分反映自适应控制领域的先进水平和最新研究成果,以便于读者在现有成果的基础上,进行更加有益的开拓性工作,本书在结构上、取材上和编排上都做了精心处理。书中相当全面地论述了自适应控制系统的理论和设计方法;精辟地探讨了自适应系统有关的离散时间系统理论、方法、关联矩阵和模型;清晰地研究了自适应控制系统的鲁棒性问题;系统地阐述了自适应控制系统的最新进展,例如,离散模型参数规范关系,全系数自适应控制方法、鲁棒自适应控制策略,组合自校正控制,广义预测极点配置自校正控制器,自适应 PID 控制器,变结构控制器,模糊自适应控制器以及智能自适应控制器,提出了今后和当前关于自适应控制的一系列具有指导性的研究课题。

二、侧重工程和物理概念

本书与传统的表达体系不同,它不是以形式定义和推导为基础,而是偏重于自适应系统的工程概念和物理概念,它把数学概念隶属于系统概念,用尽量少的数学工具来研究自适应系统的基本概念、方法和理论。实际上,本书涉及到的数学工具都是工科院校学生和从事控制工程的科技人员所能掌握的。例如,对于稳定性理论、正实性、随机自适应控制理论这样一些理论性较强内容的介绍,由于侧重于物理概念和几何概念,变得很容易理解。这种做法显然比生搬硬套外国人的原话或纯数学推演好得多。当然,这对作者来说,是一种费力的工作,但对读者却大有裨益。

三、重视国内研究工作

本书在引述国外成果的同时,也非常重视介绍作者和国内学者的研究成果。例如,本书包含了作者在模型理论、闭环辨识、阶次的递推辨识,稳定—优化控制,组合自校正器和自适应 Dahlin 数学控制器等方面的研究成果。组合自校正器和自适应 Dahlin 数学控制器都是为了缩短理论与应用之间的差距而研究出来的一类组合控制方案。组合自校正器把随机预测、极点配置和自校正思想有机地结合起来,不仅鲁棒性能良好,而且圆满地解决了英国曼彻斯特大学理工学院的 Wellstead 等人多年都未解决的伺服跟踪和随机调节相互制约的问题。这一方案已成功地用于多家造纸厂。自适应 Dahlin 数字控制器纳入了 Dahlin 算法,分数传输延迟理论和自校正思想,不仅鲁棒性能良好,而且还解除了原 Dahlin 算法对过程时滞和采样周

期之间的严格约束条件,这就为在工业中更广泛地应用 Dahlin 算法奠定了基础。本书还用相当多的篇幅来介绍国内学者的研究成果。例如,全系数自适应控制方法、自寻最优控制、醋酸蒸发器液位的自校正调节器、水泥生产的自校正调节器、多变量自校正器及其在电加热炉上的应用以及人工心脏的自适应控制等。这些成果都是相当出色的。例如,全系数自适应控制方法的作者,首次发现了离散化一个连续时间系统所得到的离散时间系统,其参数存在一种规范关系,随后在理论上又被证明这是一种普遍存在的关系。建立在这种关系上的自适应控制策略,在解决闭环辨识不定解问题、预置参数初值、选择采样周期等方面,都明显优于国外同类方案,它已成功地用于空间环境模拟器和多种工业过程。此外,对最小二乘辨识的一致性,随机递推算法的强一致性,时变系统的自适应控制, LQG 自校正器的谱因子分解法, CARMA 和 CARIMA 模型的比较研究等先进成果也都作了介绍,充分显示了国内研究成果在自适应控制领域中占有相当重要的地位,这有助于国人了解国内学者的新成果。

四、良好的可读性

本书取材精炼,并按循序渐进的方式进行编排,比较符合一般读者的认识规律。在提出和解决问题时,多采用讨论式和启发式,以例题作为示例,辅以大量的工程应用实例。本书语言生动,讲解深入浅出。所有这些都十分有利于读者加深对理论和设计方法的理解,提高读者解决实际问题的能力。

与国际上影响较大的两本自适应著作进行比较,深感本书写得更通俗易懂而不失深度。

这两本书其中一本是《自校正和自适应控制理论与应用》C.J. 哈里斯、S.A 比林斯主编,李清泉翻译(科学出版社出版,1986)。该书集中了前一段自适应控制方面研究成就的精华,但由于是以论文集的形式编著的,对于中国一般读者和学习自适应控制的研究生,本科生会感到不连贯。

另一本是 Landau, I. D. 写的 “Adaptive Control——The Model Reference Approach. Marcel Dekker, Inc. 1979”。该书是全面系统地介绍模型参考自适应控制的著作。作者是一位长期研究和教课的自适应控制的教授、专家。李清泉的著作吸收了其中的精华,并以自己的语言加以介绍,为我们学习模型参考自适应控制提供了方便。与之相比,李清泉的书在自适应控制方面显得更全面和完整。

特别需要提到的是,上述两本书由于出版时间早,而自适应控制的发展在 1979 年以前还刚刚起步,只是在 80 年代后才有了迅猛异常的发展,实际应用成果的越来越多。这就使我们目前要推荐的这本《自适应控制系统理论、设计与应用》具有更大的意义。本书包含的理论与实际应用成果与 80 年代以前相比,自然是大大丰富和完善了,对自适应控制的应用前景也远远超过了当时的看法,从而使人们对这门学科的发展更充满信心。

在读完这本专著之后,我深感其内容丰富、充实,反映了自适应控制领域的先进水平和最新研究成果,对普及和推广自适应控制将起到很大作用。从教学的观点看,它系统、严格、完整,有例题,有习题,是一本很好的教材。综上所述,本书是论述自适应控制系统的理论、设计方法和实际应用的优秀著作。

由于自适应控制技术,其理论和应用还远未达到成熟的地步,新的概念和方法正在不断涌现,因此无论在理论上还是在应用上都有待进一步发展。作者在结语中提出的自适应控制的未来研究课题和发展设想,对今后的研究工作具有重要的参考价值和指导意义。