

# 关于模糊控制理论与应用的若干问题

应 浩 (YING Hao)

(Dept. of Electrical & Computer Engineering, Wayne State University, Detroit, Michigan 48202, U.S.A.)

(E-mail: [hying@ece.eng.wayne.edu](mailto:hying@ece.eng.wayne.edu), <http://ece.eng.wayne.edu/~hying/>)

根据多年模糊控制系统的理论研究及实际应用的体会, 在此简要讨论三个相互关联的问题, 希望抛砖引玉, 与大家一起探讨. 这些论点及具体研究工作已在专著 *Fuzzy Control and Modeling: Analytical Foundations and Applications* (IEEE Press, 2000) 中作了全面表述.

## 问题一. 模糊控制理论的发展方向

与传统控制理论相比, 模糊控制有两大不可比拟的优点. 第一, 模糊控制在许多应用中可以有效且便捷地实现人的控制策略和经验, 这一优点自从模糊控制诞生以来就一直被广泛强调着. 第二, 模糊控制可以不需被控对象的数学模型即可实现较好的控制, 这是因为被控对象的动态特性已隐含在模糊控制器输入、输出模糊集及模糊规则中. 在 20 世纪 80 年代, 这第二个优点是非常被强调的, 从 90 年代起逐渐被忽视, 在最近的文献中似乎已不大被提及了. 与此同时, 模糊控制的研究好象越来越依赖被控对象的数学模型, 并假设它们是已知的和给定的. 这一发展趋势可能导致一些不利的后果. 其一, 模糊控制理论的发展可能会与实际应用的要求越来越远, 这是因为假设被控对象的数学模型已知往往是不现实的. 建模是不容易的、费时的、耗钱的. 这对非线性系统或时变系统尤其如此. 而世界上绝大多数系统是非线性的, 线性模型只是对它们的一种近似表达. 另一种可能的后果是, 模糊控制的优越性丧失, 假如数学模型已知, 为何要用模糊控制? 为何不用传统控制论去解决? 数学模型已知, 在大多数情况下, 用模糊控制是无意义的 (对线性系统对象尤其如此). 几十年来, 控制理论的研究都一直是在假定被控对象的数学模型是已知的前提下进行的, 在线性系统及非线性系统控制理论方面都有大量成熟的结果. 这并不是说模糊控制的研究一点也不考虑被控对象的数学模型, 关键在于程度, 即如何在理论价值与应用性间取得适当的平衡, 基本原则是很显然的, 对被控对象已知定量信息的要求越低, 则所产生的模糊控制理论的应用价值越高, 与传统控制相比的优越性越大, 但与此同时, 研究的技术难度亦越大, 反之则反.

## 问题二. 模糊控制在实际中的适用性

在现实中, 怎样的问题应该用模糊控制而不是用传统控制去解决? 这个问题与上个问题是有关联的. 我认为有两个选择标准, 任何一个标准满足就应运用模糊控制. 第一个标准是被控对象数学模型未知, 但根据经验或知识判断它是具有较强的非线性系统或非线性时变系统, 或非线性带时延系统. 第二个标准是当 PID 控制已被实验证明不能取得令人满意

的控制效果. 第一个标准是显而易见的, 对于第二个标准, 读者应意识到全世界约 90% 的工业过程自动控制是由 PID 控制器实现的. PID 控制可有效地控制线性系统和一些非线性系统. 它也可控制带时延的系统. 应该特别强调的是, PID 控制可以对未知数学模型的对象实施有效控制. PID 控制经常是以线性控制形式实施, 但有时非线性控制 PID 亦应用. 例如, 可以让 PID 控制参数随误差的大小而变化, 以达到更好的控制作用. PID 控制器只有三个控制参数可调, 在许多场合下 PI 控制或 PD 控制就已能达到预定控制效果, 二个参数的经验整定又容易了不少. PID 控制的简单易用使之能在诞生 50 多年后的今天仍能击败众多传统控制器的竞争而被广泛应用. 其竞争对手包括最优控制、自适应控制及鲁棒控制.

这些事实给模糊控制的研究和发展提供了启迪, 控制器并非越“先进”越好, 越复杂越好, 从应用角度看, 简单易行才是至关重要的. 绝大多数模糊控制器的可调整参数都远大于三个 (输入及输出模糊集的数目及形状, 模糊规则等). 实际应用表明, 人凭经验手动整定三个以上的控制参数是困难的. 因此, 只要 PID 控制能达到预定设计要求, 在实践中用模糊控制去取而代之是很少的, 不管在理论上声称的优越性有多大.

我们面临的挑战之一是如何发展出更多的在简单易用方面与 PID 控制相仿的, 但控制非线性、时变或大时延系统的性能优于 PID 的模糊控制器.

### 问题三. 可以最充分发挥模糊控制对传统控制优势的应用领域

我的回答是生物医学领域. 从复杂性及技术难度而言, 工程系统与生物医学系统是不能同日而语的, 后者是世界上最难建模与控制的, 所有生物系统无一例外都是非线性系统, 它们时时刻刻在变化 (即时变系统) 对于人体内的某一特定生理系统, 休息与运动时的状态不同, 健康与疾病时的情况不同, 甚至情绪好坏时也不一样, 这些非线性及时变特性的特征又因人而异. 世上没有二人的生理系统是一模一样的. 事实上, 它们的差异可以是巨大的. 生物医学系统的非线性、时变及个体间的差异是不能准确测量的, 相当一部分是不能被定量描述的. 从疾病治疗来看, 不同的人对同一剂量的同一种药, 可以有完全不同的反应, 有些病人可以很快治愈, 有些人不能治愈, 还有很小一部分病人可因药物反应而致病, 甚至死亡. 生物医学系统控制的另一难题是不可逆性, 一旦药物进入人体, 它造成的影响很难逆转, 这就是说, 一旦控制器犯了错误, 后果有可能是很严重的. 自然地, 任何自动控制器必须要求万无一失, 确保病人安全.

由于良好的生物医学系统数学模型极度缺乏, 除了偶有 PID 控制应用于临床外, 几乎见不到传统控制器的踪影. 生物医学系统满足上面提出的选择标准, 模糊控制应有广泛的理论与应用的发展空间, 可最大限度地发展其特长而在与传统控制的竞争中取胜. 这方面已有的工作因为涉及面广 (病人、医生、护士及医院), 技术难度高, 风险大而现在还很少应用. 但已有几个成功的范例, 其中包括我在 1988 年研制及临床应用的实时模糊药物控制系统 (静脉注射, 10 秒钟采样周期), 用于控制加急病房内的心脏手术后的病人血压 (至少 1.5 小时, 最长 18 小时), 该模糊控制系统开创了世界范围内模糊控制在临床医学中应用的先例.

## Some Issues in Fuzzy Control Theory and Applications

**胡包钢** 1983 年于北京科技大学机械系获工学硕士。1993 年于加拿大 McMaster 大学机械系获哲学博士。现为中国科学院自动化研究所, 模式识别国家重点实验室研究员。中法信息、自动化、应用数学联合实验室 (LIAMA) 中方主任。中国科技大学北京研究生院兼职教授。IEEE 高级会员。目前研究方向为模式识别、智能系统、植物生长建模。

**应 浩** 1990 年在美国 University of Alabama at Birmingham 获生物医学工程哲学博士。曾在 University of Texas Medical Branch 任教十年。现任 Wayne State University 电气与计算机工程系副教授及东华大学顾问教授。1981 年起开始从事模糊控制的研究。出版过专题研究高等教材: *Fuzzy Control and Modeling: Analytical Foundations and Applications* (IEEE Press, 2000)。1994 年曾担任 The First International Joint Conference of North American Fuzzy Information Processing Society Conference, Industrial Fuzzy Control and Intelligent System Conference 和 NASA Joint Technology Workshop on Neural Networks and Fuzzy Logic 程序委员会主席。2000 年担任了 The Third International Workshop on Intelligent Control and Systems 程序委员会主席, 以及 2000 IEEE International Conference on Fuzzy Systems 出版委员会主席。还担任过一些国际会议的程序委员会委员, 包括 1999 International Fuzzy Systems Association World Congress 与 2001 International Joint Conference of IFSA and NAFIPS。