

模糊控制的新近发展

贺剑锋 陈 晖 黄石生

(华南理工大学自动化系·广州, 510641)

摘要: 本文综述了模糊控制近年来的发展状况, 并对其发展趋势进行了讨论。

关键词: 模糊控制; 自适应控制; 专家系统; 预测控制; 神经网络

1 引 言

自从 1974 年 E. H. Mamdani 首先利用模糊数学理论进行蒸汽机和锅炉控制方面的研究, 并在实验室获得成功, 模糊控制的研究和应用十分活跃, 文 [1, 2] 对其成果, 尤其是其早期应用成果进行了介绍和回顾。

从广义上讲, 模糊控制指的是应用模糊集合理论, 统筹考虑控制的一种控制方式, 它具有如下主要特点^[2]:

- 1) 在设计系统时不需要建立被控对象的数学模型, 只要求掌握现场操作人员或者有关专家的经验, 知识或者操作数据。
- 2) 系统的鲁棒性强, 尤其是适应于非线性时变、滞后系统的控制。
- 3) 由工业过程的定性认识出发, 较容易建立语言变量控制规则。
- 4) 由不同的观点出发, 可以设计几个不同的指标函数, 但对一个给定的系统而言, 其语言控制规则是分别独立的, 且通过整个控制系统的协调, 可取得总体的协调控制。

然而, 模糊控制要有较好的效果, 必须具有较完善的控制规则。对于某些复杂的工业过程, 有时难以总结出较完整的经验, 并且当对象动态特性发生变化, 或者受到随机干扰的影响时都会影响模糊控制的效果。为了促进模糊控制的深入研究, 至今为止, 国际上召开了五届 IFSA 全世界学术大会, 国内也召开了三届全国模糊分析设计学术会议, 且为数众多的学术论文发表在众多的专业刊物上, 众多学者进行了卓有成效的工作, 对常规模糊控制进行了一些改进, 并且发展成为自适应和自学习模糊控制, 模糊预测控制, 神经网络模糊控制等等。

2 常规模糊控制的改进

2.1 Fuzzy-PID 复合控制

将 PI 控制策略引入模糊控制器, 构成 Fuzzy-PI (或 PID) 复合控制, 是改善模糊控制器稳态性能的一种途径, 它是在大偏差范围内采用模糊控制, 在小偏差范围内转换成 PID 控制, 二者的转换由软件根据事先给定的偏差范围自动实现, 这种复合控制比 PID 控制有更快的动态响应特性, 更小的超调, 比模糊控制具有更高的稳态精度^[3, 4]。文 [5] 提出“PID—增量式自适应模糊控制”, 它是根据 e 和 \dot{e} 及某种语言规则给出来的控制输出,

不是全量输出 u , 而是增量 Δu , 由 Δu 再经积分环节得到, 这种控制器无须对系统进行模型辨识, 并且能用低档次微机来实现.

2. 2 三维模糊控制器^[6]

在模糊控制器输入引入误差 E , 误差变化 C 和误差变化的速率 R 等三维变量. 三维模糊控制器进一步解决了传统二维模糊控制器的快速响应与稳定性之间的矛盾, 提高了对高阶系统进行模糊控制的适应性.

2. 3 Smith-Fuzzy 控制器^[7]

将常规 Smith 预估控制中的 PID 控制器换成模糊控制器而构成的 Smith-Fuzzy 控制器能同时完成对时变系统控制和对纯滞后进行补偿的两个功能, 既对纯滞后特性有较好的补偿作用, 又对被控对象参数变化有较强的适应能力.

2. 4 模糊控制算法的改进

文 [8] 在计算模糊表时, 按照基本方法得到初步模糊控制表, 利用其逻辑推理中隐含的思维过程修改规则, 并对初步模糊控制表进行修改, 得到新的模糊控制表, 这种确定原则得到了成功的应用. 文 [9] 提出了一种新的输入变量和输出变量模糊子集的定义方法, 利用 Zadek 的 max-min 推理合成算法得到了一种通用的模糊逻辑控制算法. 文 [10] 也是用系统输入输出设计模糊控制器及其算法. 文 [11] 引入“指定象域向量场”的概念, 提出了一种模糊控制器的新算法, 并对系统稳定性进行了分析. 易武等^[12] 利用模糊控制中的单调性, 提出了一种加权平均算法, 在线控制时模糊控制器的输入, 输出取连续可变量, 克服了一般算法中因控制器输入, 输出变量量化所造成的控制精度低的缺点. 文 [13] 也对模糊控制算法进行了研究和讨论.

2. 5 多变量模糊控制

文 [14] 提出了降低关系阵的方法, 较好地解决了多变量模糊控制问题. 文 [15] 利用多维模糊条件语句的分解定理, 并引进模糊子集的交叉系数获得了多变量模糊控制算法的一个简洁表达式, 再利用多变量系统解耦设计原理构造一类解耦多变量模糊控制器. 戴忠达等^[16] 提出一种多输入模糊控制器, 论述了它的分层多规则集结构的设计, 并在实际中获得了成功应用. 文 [17] 设计了一个多输入多输出的模糊控制器, 并用于飞行器控制上. 仪垂杰等^[18] 用相干系数的方法解决了烟叶烧烤过程的双输入双输出的交叉耦合系统的模糊控制问题.

3 自适应和自学习模糊控制

3. 1 修改控制规则的自校正模糊控制

山崎等^[19] 从控制响应的评价, 将控制规则的结论部分的 Fuzzy 集合, 按其集合的平行移动来进行修正. 前田^[20] 是将控制规则的条件部分和结论部分的模糊集合, 根据改变其隶属函数的参数进行修正, 它类似于 PID. 但它可以根据自学习, 自动调整参数.

3. 2 自调整比例因子的模糊控制

设计自组织或控制规则可调整的模糊控制器都是一项复杂的工作^[21, 22, 23]. 鲍新福等^[24] 分析了比例因子与系统响应特性之间的关系, 讨论了各比例因子在控制过程中的作用, 设计了自调整比例因子模糊控制器, 在加热炉实验装置上取得了满意的效果. 胡家耀等^[25] 提出了参数自调整 Fuzzy-PI 调节器, 并实现了燃油退火炉的炉温控制. 王金章

等^[26]提出了一种模糊调节器参数的在线自整定方法,它实际上是一个二级模糊控制系统,较低一级进行控制作用,而较高一级进行参数调整作用.毛宗源等^[27]设计了工业锅炉燃烧过程自调整比例因子 Fuzzy 控制系统,实际运行效果良好.周业华^[28]提出了一种智能型模糊参数自寻优方法.

3.3 具有自学习功能的模糊控制

文 [29] 提出了对于外扰具有学习功能的模糊控制器,它根据模型规范型自适应控制系统的设计方法,将控制偏差用于决定控制输出修正量,构成自适应控制系统.文 [30] 提出了具有学习功能的多输入多输出模糊控制器,它可克服学习中外扰的影响.文 [31] 提出了一种新的自学习算法,提高了学习速度和效率.文 [32] 提出了在重复任务中,后面的过程根据前面过程所产生的偏差,自校正控制量.

3.4 基于模糊模型的自校正模糊控制

自 Tong^[33], Takagi^[34]等提出了用模糊集理论辨识系统模糊模型的方法以来,这一方向吸引了许多研究人员开展进一步的研究.徐证明等^[35]考虑有白噪声干扰和无噪声干扰两种情况下,根据系统模糊模型设计非线性慢时变系统的自校正调节器.文 [36, 37] 设计了系统模糊模型的辨识算法以及相应的自学习算法.胡少华等^[38]提出了由被控对象的 I/O 数据建立被控对象的规则模型,再在此模型的基础上自动生成控制器的规则模型.

3.5 模糊推理的 PID 自整定控制

涂象初等^[39]提出了自寻优模糊 PID 调节器,其选用时间加权积分型目标函数进行参数优化,利用有限性深度优先搜索技术实现控制器的比例系数,积分系数的快速自寻优.根据是否需要大幅度变化控制作用,或是系统接近稳态,或是处于上述两种情况的中间状态,由智能软件自动选择控制策略为“开关”控制或 PID 控制或 PD 控制.野木等^[40]提出利用再回归法进行 PID 自整定方法.文 [41] 提出了在线模糊推理出带系数 α 自整定 PID 参数的方法.

模糊推理功能的 PID 参数自整定控制器正逐步商品化,如日本三菱电机,1987 年开发了 M. ACTUS 210 系列的模糊 PID 自校正调节器^[42, 43].

4 专家模糊控制

文 [44] 将专家系统技术引入到模糊控制中,构成专家模糊控制器,与单纯的模糊控制器相比,它能容纳过程控制所需要的更复杂的知识并用更复杂的方式使用它们.文 [45] 描述了基于专家系统的模糊控制规则,并应用于医学图象处理过程中.文 [46] 也设计了一种实用的模糊专家系统.文 [47] 通过分析模糊调节器和常规 PID 调节器各自的特点,提出了使用专家系统技术来协调模糊调节器和常规 PID 调节器的方法,设计了一种新型的混合式智能调节器,它能有效地控制一些复杂难控对象.文 [48] 提出了青霉素的发酵过程专家模糊控制系统,使之既具有灵活的推理机构,又具有多层次,多种类型,并接近于人类操作经验的知识表达方式,它为了解复杂的青霉素发酵过程控制问题提供了一条有效的途径.文 [49] 将人工智能中的专家系统技术和模糊控制技术 & 常规控制方法结合起来,用 8031 单片微机试制了一台专家智能控制器.文 [50] 介绍了一种运用专家技术实现的发酵罐含氧量智能控制系统,并详述了系统的硬件组成,控制算法及软件设计.文 [51, 52] 也对专家模糊系统进行了研究和设计.

5 模糊预测控制

模糊预测控制既区别于传统的模糊控制, 又有别于通常的预测控制. 日本的安信等最早提出模糊预测控制, 并成功应用于地铁列车控制上^[53]. 李静如等^[54]提出一种新的模糊预测控制算法, 它将预测控制与模糊控制相结合, 应用于一类复杂的工艺过程的终点控制, 它以预测模型对控制效果进行预报, 并根据目标偏差和操作者的经验应用模糊决策方法在线修正控制策略. 在必要时, 可对预报模型进行在线修正. 张化光等^[55]提出了一种基于辨识模糊模型的多变量预测控制方法. 它由模糊辨识和广义预测控制器两部分组成. 模糊离散模型是由几条模糊规则组成的集合来表示, 模糊辨识由结构辨识和参数辨识两部分组成. 采用线性系统理论来设计广义预测控制器, 简化了设计. 它的跟踪速度快, 抗干扰能力强, 控制效果好. 杨扬等^[56]针对生物医学领域中肢体外循环系统, 设计了一种带预测的参数自寻优模糊控制, 根据系统中存在的非线性时变及其特殊要求, 利用获得的控制经验, 综合考虑模糊预测的数据, 通过寻优改变控制规则, 达到较好的控制效果.

6 基于神经网络的模糊控制

将神经网络与模糊控制结合是最新颖的方向之一, 并已取得显著的成果, 二者都是无模型的估计器, 学习和推理功能非常类似于人脑, 而且易于硬件实现^[57].

文 [58] 通过一组神经元不同程度的兴奋表达一个抽象的概念值, 由此将抽象的经验规则转化成多层神经网络的输入-输出样本, 通过 BP 学习算法使得网络记忆这些样本, 控制器以“联想记忆”方式使用这些经验. 文 [59] 设计了单个路口信号灯的模糊控制器, 研究了用神经网络实现模糊控制器的方法和过程. 文 [60] 提出了采用神经网络自组织模糊控制器, 它由两个神经网络和两个判断机构组成. 神经网络 1 将控制对象的输出波形分类, 神经网络 2 学习控制对象的动态特性, 建立起控制对象动态特性的数学模型, 用作为控制对象仿真. 判断机构 1 用于判断是否进行控制规则的增补与校正, 判断机构 2 规定控制规则后面部件模糊变量和校正量. Chin-Teng Lin 等^[61]提出模糊逻辑控制和决策/诊断系统综合神经网络模型, 该模型能发展为模糊逻辑规律和寻找最优输入/输出隶属函数, 由自组织和监督学习方案相结合, 学习速度收敛性比普通 BP 学习算法更快. 堀川等^[62]提出了利用神经网络学习型模糊控制器, 其模糊控制规则由神经网络构成, 学习方法采用 BP 算法, 通过自学习, 能自动地辨识控制规则, 并且能对隶属函数进行微调, 它不需要模糊控制专家知识, 可从未知状态辨识控制规则. 还有许多研究人员对神经网络自适应模糊控制进行了研究和设计^[63, 64, 65].

7 其它方面

金耀初等^[66]提出一种模糊变结构方法, 这种方法不但具有较强的鲁棒性和优良的跟踪性能, 而且能有效地消除颤抖现象, 有效地应用于机器人控制中. 贾利民等^[67]提出了对复杂过程进行高质量控制的模糊多目标优化控制, 它基于对控制目标的全面评价来实现对过程的控制, 它用于列车运行控制的仿真, 结果表明了它的适应性. 文 [68] 将研-砰控制的开关时间由 Fuzzy Logic 决定. 文 [69] 提出了一种产生复合模糊控制规则的方法, 并成功应用于卡车自动装卸系统上. 文 [70] 采用乐观方法确定隶属度函数并讨论它与控制特性的关系. 目前, 在模糊模型构造和辨识及其应用方面也取得了一些进

展^[71~77]。

8. 讨论与展望

模糊控制虽然仍处于发展初期,但它提供了常规控制策略不能替代的高效控制方法,已在各种领域中,如工业、医疗、经济、军事等部门得到了广泛应用,并相应取得了一定的效果.为了加快模糊控制的研究,1989年3月在日本成立了国际模糊工学研究所^[78],开展模糊控制,模糊信息处理和模糊计算机三方面的研究.

目前,在模糊控制理论方面应加强研究的主要课题为:

- 1) 适合于解决工程的普遍问题的稳定性分析方法,稳定性的评价方法和可控性的评价方法.
- 2) 模糊控制规则设计方法的研究,包括模糊集合隶属函数的设定方法,关于量化水平,采样周期的最优选择,规则的系数,最小实现以及规则和隶属函数参数的自动生成等问题.
- 3) 模糊控制器参数的最优调整理论的确定及修正推理规则学习方式.
- 4) 模糊动态模型的辨识方法.
- 5) 模糊预测系统的设计方法和提高计算速度的算法.
- 6) 神经网络与模糊控制相结合,如何进一步提高其控制精度是今后研究的重点之一.

除理论研究之外,应加强模糊控制技术(包括软硬件技术)的研究,使它具有巨大的生命力,九十年代从日本兴起的模糊控制技术是高技术领域的一次革命,模糊控制技术已广泛应用于洗衣机、空调器、摄像机、吸尘器、电炊具等家用电器及工业、民用器具上^[79],已引起了德国等西方国家的重视,加强了这一领域的研究,并取得进展^[80].1993年7月在汉城召开的 IFSA 第五届世界大会上,提出了软计算概念及建立具有高机器智商(MIQ)系统等课题,将会大力加强模糊控制的作用效果,相信不久的将来,模糊控制会在实际应用中发挥不可替代的作用.

参 考 文 献

- [1] Lee, C. C. . Fuzzy Logic in Control Systems; Fuzzy Logic Controller—Part I & Part II. IEEE Trans on Syst. Man and Cyber, 1990, 20(2), 404—435
- [2] 权太范,宗成阁,敖文仲,柴恩祥.模糊控制技术在过程控制中的应用现状及前景.控制与决策,1988,3(1):59—62
- [3] Kuik, D. P. and Tamet, P. et al. . Linguistic PID Controllers. Preprints of 11th IFAC World Congress, TALLINN, 1990, 192—197
- [4] 胡泽新,邵惠鹤,蒋慰孙.两种新型模糊控制器及其应用.自动化仪表,1991,12(5):7—9
- [5] 王祥国.模糊自适应控制在微机 SCR 全数字化直接相位控制中的应用.控制理论与应用,1993,10(1):60—66
- [6] 李士勇.工业机器人的三维 Fuzzy 控制的仿真研究.首届全国机器人学术讨论会论文集,北京,1987,359—368
- [7] Li Shi Yong. A New Simth-Fuzzy Controller with Large Time Delay. Proc. of the Intern 88 Confer, Modelling and Simulation, 1989, 561—565
- [8] Liu Kai Pei and Cheng Shikiang. Coal Ignition Point Measurment Microcomputer. Proc. of ISMTH, 1989, 5—7
- [9] 程一,庄诚,安燮南.通用的模糊逻辑控制算法及其应用.自动化学报,1992,18(6):647—653
- [10] Abdelnour, G. M. , Chang, C. H. ets. . Design of a Fuzzy Controller Using Input and Output Mapping Factors. IEEE

- Trans. on Syst. Man and Cyber. 1991, 21(5):952-960
- [11] Hoon Kang and George J. Vochtsevanos. Nonlinear Fuzzy Control Based on the Vector Fields of the Phase Portrait Assignment Algorithm. Proc. of the 1990 American Control Conference, 1479-1484
- [12] 易武等. 模糊控制器的一种加权平均算法. 控制与决策, 1992, 7(5):382-385
- [13] Ying, H., Siler, W. and Buckley, J. J.. Fuzzy Control Theory: A Nonlinear Case. Automatic, 1990, 26(3):513-520
- [14] Gupta, M. M., Kiszka, J. B. and Trojan, G. M.. Multivariable Structure of Fuzzy Control System. IEE. on SMC. 1986, 16(5):638-655
- [15] 闫世杰. 多变量模糊控制器的研究. 应用数学, 1991, 4(3):100-104
- [16] 戴忠达, 张曾科, 汤俭. 一种改进的模糊控制器及其应用. 自动化学报, 1990, 16(3):258-261
- [17] Chiu, S., Chard, S. et al.. Fuzzy Logic for Control of Roll and Moment for a Flexible Wing Aircraft. IEEE Control Systems Magazine, 1991, 11(4):42-48
- [18] 仪垂杰, 韩敬礼. 模糊解耦控制的研究与应用. 自动化与仪表, 1992, 7(4):54-56
- [19] 山崎, 菅野. 自动学习フアシアイフンハルローラ. 计测自动制御学会论文集, 1984, 20(8):50-51
- [20] 前田 幹夫, 村上 周太. 自己調整フンシフイェニトローラ. 计测自动制御学会论文集, 1988, 24(2):85-91
- [21] 龙升照, 汪培庄. Fuzzy 控制规则的自调整问题. 模糊数学, 1982, 3:105-112
- [22] Wakileh, B. A. M. & Gill, K. F.. Robot Control Using Self-Organising Fuzzy Logic. Computer in Industry, 1990, 15(1):175-186
- [23] Linkens, D. A. & Hasnia, S. B.. Self-Organising Fuzzy Logic Control and Application to Muscle Relaxant Anaesthesia, IEEE Proc-D. 1991, 138(3):53-61
- [24] 鲍新福, 都志杰, 王芳君. 自调整比例因子模糊控制器. 自动化学报, 1987, 13(2):129-133
- [25] 胡家耀, 吴植翔, 宋寿山. 参数自调整 Fuzzy-PI 调节器. 信息与控制, 1987, 16(6):26-32
- [26] 王金章, 杨辉. 模糊调节器参数的在线自整定. 控制与决策, 1989, 4(4):40-44
- [27] 毛宗源, 狄琰. 自调整比例因子 Fuzzy 控制器控制锅炉燃烧过程. 自动化学报, 1991, 17(5):611-614
- [28] 周业华. 一种实用智能型模糊参数自寻优技术. 自动化仪表, 1993, 14(3):11-13
- [29] 丹治顺一, 木下光夫. 外乱に対して安定を学習機能をもつフアシリイコントローラ. 计测自动制御学会论文集, 1987, 23(2):1296-1303
- [30] 丹治顺一, 木下光夫. 多変数協調制御系のための学習付フアシフイフニトローラ, 计测自动制御学会论文集, 1990, 26(8):964-971
- [31] Zhang, B. S. and Edmand, J. M.. Self-Organising Fuzzy Logic Controller. IEE Pro. Control Theory and Applications, 1992, 139(5):460-464
- [32] Li, J. C. and Jron, J. C.. A New Learning Fuzzy Controller Based on The P-Integrator Concept. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 48(3):297-303
- [33] Tong, TM. Song. Properties of Fuzzy Feedback Systems. IEEE Trans. Syst. Man Cybern, 1980, SMC-10:327-330
- [34] Takagi, T. and Sugeno, M.. Fuzzy Identification of Systems and Its Application to Modeling and Control. IEEE Trans Syst. Man Cybern, 1985, SMC-15:116-132
- [35] 徐征明, 杨振野. 基于模糊模型设计自校正调节器的研究. 自动化学报, 1987, 13(3):207-211
- [36] Xu, C. W. and Zailu, Y.. Fuzzy Model Identification and Self-Learning for Dynamic Systems. IEEE Trans. Syst. Man Cybern, 1987, SMC-17(4):683-689
- [37] 徐承伟, 吕勇哉. 动态系统模糊模型的辨识及自学习. 自动化学报, 1988, 14(2):135-140
- [38] 胡少华, 刘少民. Fuzzy 控制规则的自生成及其自校正方法. 自动化学报, 1991, 17(5):606-610
- [39] 涂象初, 汪培庄. 自寻优 Fuzzy-PID 调节器与大人工智能控制. 模糊数学, 1985, 3:81-85
- [40] 野木弘平, 近藤伦正. 再归型フアシアハ推论整用したオート・チエーニンフ・コントローラ. 计测自动制御学会论文集, 1989, 25(10):1126-1133
- [41] Shi Zhong He, Shaohua Tan, ets. Fuzzy Self-Tuning of PID Controllers. Fuzzy Sets and Systems, 1993, 56(1):37-

- [42] 立花幸治, 齐藤忠良. PID 定数設定にフアシクイ推論を应用したオートチコーニングクワンループ. 计装, 1988, 31(5):11-15
- [43] 森俊吾. アアシイ理论によつて PID 汎用形ワンループコントローラ. 计装, 1988, 31(5):21-25
- [44] Tong, R.M., A.. Retrospective View of Fuzzy Control Systems. Fuzzy Sets and Systems, 1984, 14(3):199-210
- [45] Buckley, J. J., Siler, W. and Tucker, D.. A Fuzzy Expert Systems. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1):1-16
- [46] Karwonskd, W., Mvtholland, N. D. and Wakel, T. L.. A Fuzzy Knowledge Base of An Expertment Systems for Anal-ysis of Manual Lifting Tasks. Fuzzy Sets and Systems, 1987, 2(3):347-363
- [47] 何毅, 吕勇哉. 混合式智能调节器. 信息与控制, 1988, 17(4):1-5
- [48] 徐孝辉, 徐国华, 张嗣良. 青霉素发酵过程专家模糊控制系统. 信息与控制, 1989, 18(4):44-48
- [49] 吴勤勤, 李振华, 季建华. 一种专家智能控制器的研制. 自动化仪表, 1990, 11(1):3-7
- [50] 周鸣争. 发酵罐含氧量专家智能控制系统. 工业控制计算机, 1992, 4:13-15
- [51] Wang, Y. N. ets. The Design and Application of Expert Intelligent Fuzzy Control Systems. EIFCS, Proc. ICARC92, Singapore, 1992
- [52] 李立红, 张忠荣, 周宗才. 航空喷气发动机的专家模糊控制研究. 第一届全球华人智能控制与智能自动化大会论文集(上卷), 北京, 1993, 944-948
- [53] 安信诚二等. Fuzzy 制御にとつて列车定位置停止制御. 计测制御学会论文集, 1983, 19(11):873-880
- [54] 李静如, 李尚春. 模糊预测控制及其应用研究. 控制理论与应用, 1992, 9(3):283-286
- [55] 张化光, 吕剑虹, 李来九. 模糊广义预测控制及其应用. 自动化学报, 1993, 19(1):9-16
- [56] 杨扬, 付怡琳, 孙荣, 李春寿. 带预测参数的自寻优模糊控制用于医学循环系统. 第一届全球华人智能控制与智能自动化大会论文集(上卷), 北京, 1993, 939-943
- [57] 周其节, 徐建闽. 神经网络控制系统的研究与展望. 控制理论与应用, 1992, 9(6):569-577
- [58] 应行仁, 曾南. 采用 BP 神经网络记忆模糊规则的控制. 自动化学报, 1991, 17(1):63-67
- [59] 徐冬玲, 方建安, 邵世焯. 交通系统的模糊控制及其神经网络实现. 信息与控制, 1992, 21(2):74-78
- [60] 高木敏幸, 中西祥八郎, 采原敬之, 后藤泰之. ニエーラルネットケーケを用した自己组织化的フアシアイ制御器の构成. 计测自动制御学会论文集, 1990, 26(8):862-869
- [61] Chin Teng Lin and Cs George, Lee. Neural-Network Based Fuzzy Logic, Control and Decision System. IEEE, Trans. on Computers, 1991, 40(2):1320-1336
- [62] 堀川慎一, 古桥武, 大熊繁, 内川嘉树. ニエーラルネットケーケによつて学习型フアシアイ制御器. 计测自动制御学会论文集, 1991, 27(21):208-215
- [63] Seong Gon Kong and Bart Kosko. Adaptive Fuzzy Systems for Backing up a Track-and-Trailer. IEEE, Trans on Neural Networks, 1992, 3(2):211-223
- [64] Jyh-Sking and Jorg, R.. Self-Learning Fuzzy Controllers Based on Temporal Back Propagation. IEEE Trans. on Neural Networks, 1992, 3(5):714-723
- [65] Fei-Yue Wong. Design of Adaptive Fuzzy Control Systems Using Neural Networks. 第一届全球华人智能控制与智能自动化大会论文集(上卷). 北京, 1993, 627-632
- [66] 金耀初, 蒋静坪. 一类非线性系统的模糊变结构控制及应用. 控制与决策. 1992, 7(1):36-40
- [67] 贾利民, 张锡第. 模糊多目标优化控制. 控制理论与应用, 1992, 9(6):599-604
- [68] Shuichi Yoshida and Noriaki Wakaboyoski. A Fuzzy Logic Controller for a Rigid Disk Drive. IEEE Control Systems Magazine, 1992, 12(3):65-70
- [69] Li-Xin Wang and Tery Merdd. Generating Fuzzy Rules by Learning from Examples. IEEE Trans on Syst. Man and Cyber, 1992, 22(6):1414-1427
- [70] Satora Isaka and Sebald, A. V.. An Optimization Approach for Fuzzy Control Design. Proc. of the 1990 American Control Conference, 1479-1484
- [71] Valavanics, K. P. and Stellakis, H. M.. Fuzzy Logic Based Formulation of the Orgonizer of Intelligent Robotic Sys-

- tems. Proc. of the 29th Conference on Decision and Control, 1990, Honolulu, Hawaii, 1105—1110
- [72] 于静江, 顾仲文, 周春明. 参考模糊集合构造方法及模糊模型辨识. 信息与控制, 1991, 20(3): 20—29
- [73] Funabashi, M., Aoki, I. et al. A Fuzzy Model Based Control Scheme and its Application to a Road Tunnled Ventilation Systems. Internation Conference on Industrid Electronics Control and Instrumenation, Japan, 1991, 2: 1596—1601
- [74] 张化光, 陈来九. 一种模糊模型辨识方法. 控制理论与应用, 1992, 9(6): 605—611
- [75] Jia Limin and Zhang Xidi. Fuzzy Cell Mapping Approach to Complex System Modelling and Control. Proc. of IEEE/ICS Int. Conf. on Intelligent Control, 1992, 2: 1380—1385
- [76] Yoshinari, Y., Pedrycz, W. and Hirota, K.. Construction of Fuzzy Models Through Clustering Techniques. Fuzzy Sets and Systems, 1993, 54(2): 157—165
- [77] Pedrycz, W.. Fuzzy Modelling: Fundamental, Construction and Evaluation. Fss, 1991, 41: 1—15
- [78] 高木反博. ユフシファイ情報処理. エンヒフートロール, 1989, 28(10): 96—100
- [79] 水本雅晴, 石岩. 模糊工程的现状与展望. 模糊系统与数学, 1993, 7(1): 1—11
- [80] 戎月莉, 孙山东. 德国在模糊控制技术方面的发展. 信息与控制, 1993, 22(4): 226—230

The Recent Development on Fuzzy Control

HE Jianfeng, CHEN Hui and HUANG Shisheng

(Department of Automation, South China University of Technology • Guangzhou, 510641, PRC)

Abstract: The recent development on fuzzy control is overviewed in this paper. The future tendency are also discussed.

Key words: Fuzzy control; adaptive control; expert system; predictive control; neural network

本文作者简介

贺剑锋 1962年生. 分别于1982年, 1988年在中南工业大学获工学学士和硕士学位, 曾先后工作于湘潭钢铁公司和湘潭大学, 现在华南理工大学自动控制理论与应用专业攻读博士学位. 感兴趣的研究领域为模糊控制, 预测控制, 神经网络控制及其在工业中的应用.

陈晖 女. 1969年生. 1991年在湘潭大学获工学学士学位, 现为华南理工大学自动化系91级硕士研究生. 感兴趣的研究领域为模糊控制, 预测控制, 集散系统等.

黄石生 1938年生. 1964年毕业于华南理工大学, 长期从事弧焊电源, 弧焊机器人和焊接过程智能控制的教学和科研工作. 现为华南理工大学副校长, 教授, 博士生导师. 感兴趣的研究领域为模糊控制, 神经网络及其在弧焊机器人和焊接过程智能控制中的应用, 新型弧焊电源的研制等.