

# 四种智能控制方法简述

张 艳, 杨 忠, 司海飞

(金陵科技学院智能科学与控制工程学院, 江苏 南京 211169)

**摘 要:** 主要介绍了四种常见的智能控制方法: 专家控制、模糊控制、神经网络控制和基于遗传算法的优化控制。分别阐述了这四种智能控制方法的原理、特色、应用范围、发展现状和趋势。

**关键词:** 智能控制; 专家控制; 模糊控制; 神经网络; 遗传算法

**中图分类号:** TP18

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-755X(2018)01-0029-04

## Overview of Four Types of Intelligent Control Methods

ZHANG Yan, YANG Zhong, SI Hai-fei

(Jinling Institute of Technology, College of Intelligent Science and Control Engineering, Nanjing 211169, China)

**Abstract:** Four types of common intelligent control methods are illustrated in this paper which contain expert control, fuzzy control, neural networks control and optimal control based on genetic algorithm. Respetively, their main ideas, characteristic, applications, present situation and tendency are overviewed.

**Key words:** intelligent control; expert control; fuzzy control; neural networks control; genetic algorithm

传统的控制方法包含了经典控制理论和现代控制理论。传统控制领域的各种方法均是依据被控对象的数学模型而提出的, 适于解决线性、时不变的简单系统。然而, 随着科技的进步, 现代工程中出现了非线性的、具有不确定性的复杂系统, 且某些复杂工程无法建立精确的数学模型。因此, 传统控制理论已经不足够解决当今社会中复杂的控制问题(如智能机器人控制)。

随着计算机技术的发展, 科学家希望由机器模拟和实现人的思维能力, 进而机器代替人类的脑力劳动。20 世纪 50 年代, 人工智能的概念被提出。基于人工智能的思想, 控制理论与智能算法相结合, 产生了智能控制。1965 年, 傅京孙教授首次提出了基于符号操作和逻辑推理的启发式规则并成功应用于学习控制系统<sup>[1]</sup>。傅京孙于 1971 年首次提出智能控制是人工智能与自动控制理论的交叉, 即二元论。1977 年学者 G. N. Saridis 在二元论基础上, 加入运筹学, 提出了三元论的智能控制概念。接着, 蔡自兴教授进一步提出智能控制是自动控制(AC, Automatic Control)、人工智能(AI, Artificial Intelligence)、信息论(IN, Informationism)和运筹学(OR, Operations Research)的交集<sup>[2]</sup>。他把信息论作为智能控制结构的一个子集, 并提出了构成四元的交接关系, 如图 1 所示。

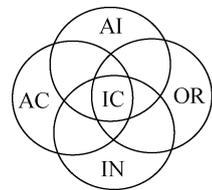


图 1 四元交接图<sup>[2]</sup>

智能控制主要包含了专家控制、模糊控制、神经网络控制、遗传算法等。本文主要从以下四个方面,分别综述了其原理、特色、发展现状和趋势等。

## 1 专家控制

1983年瑞典学者 K. K. Astrom 首先将专家系统技术引入自动控制,于1986年正式提出专家控制的概念。专家控制(Expert Control)是智能控制的一个重要分支,又称专家智能控制。

专家控制是基于专家系统发展而来,是一类包含知识和推理的智能计算机程序,其内部包含某领域专家水平的知识和经验,具有解决专门问题的能力<sup>[3]</sup>。把专家在某一领域的专门知识、经验和技巧表达并存储到计算机中,并能依靠推理程序自由调出,使用这些知识、经验和技巧,可使计算机达到甚至超越专家的能力和水平。专家系统主要包含知识库和推理机两部分。专家系统能处理定性的、启发式或不确定的知识信息,经过各种推理来达到系统的任务目标。专家系统为解决传统控制理论的局限性提供了重要的启示,二者的结合产生了专家控制这一方法。

设计专家控制系统,首先要把控制系统转换为基于知识的系统,而控制器的设计体现为知识推理的规则。专家系统的知识库包含了受控过程的知识,如被控对象的先验知识和动态知识,及证据推得的中间状态和性能目标等,这部分知识称为数据。知识库也包含控制、辨识、诊断的在线知识,如各种算法、经验、逻辑和直观判断等,这部分知识可称为规则。规则通常用产生式规则(If... then... )表示。专家系统的推理机重点体现了控制策略。推理机根据当前已知事实,识别、筛选知识库中的规则进行匹配、推理,直至没有更新的推理结果,则将最后一个推理的结论作为控制输出。

相对于传统控制而言,专家控制系统可以根据系统的工作状态及误差情况,灵活地选取相应的控制律。专家控制系统可以根据专家知识和经验,调整控制器参数,适应环境变化,因此其被应用广泛。文献[4]针对某钢铁焦炉集气管压力系统设计了模糊专家控制器;文献[5]为冶金连铸生产过程设计了专家控制系统。此外,专家控制系统可以应用于配煤过程、循环流化床锅炉燃烧系统、织机经纱恒张力控制、柔性制造业、活性淤泥的处理等。

专家系统的知识获取一直是设计专家系统的瓶颈之一。现今图片识别和语音识别技术获得长足的发展。若能将图片识别和语音识别技术应用于专家系统的设计,建立知识库将更加便利。此外,基于知识库的搜索、推理算法是专家系统研究的热点。搜索算法的收敛性、收敛速度问题需要进一步的完善和发展。

## 2 模糊控制

1965年美国学者 L. A. Zedeh 提出模糊集合理论,奠定了模糊控制的数学基础。模糊控制研究对象一般为难以准确建立数学模型的系统。通过模拟人的思维行为方式,展开模糊推理和模糊决策,来实现对研究对象的智能控制。首先,模糊系统是非线性系统,常见的模糊系统有三类:纯模糊系统、TSK(Takagi-Sugeno-Kang)模糊系统和具有模糊器和解模糊器的模糊系统<sup>[6]</sup>。而其中,模糊控制理论最常用的系统是具有模糊器和解模糊器的模糊系统。

模糊系统包含了隶属度函数、推理规则、解模糊算法等。隶属度是描述元素属于模糊集合程度的变量,其取值范围为闭区间 $[0, 1]$ ,它是模糊数学的核心之一。推理规则多用 IF-THEN 产生式规则表示。多条推理规则可以构成规则库。推理机是一组推理算法,该算法结合了经典的控制规则和专家的经验知识。推理机可以依据推理算法,根据规则库进行逻辑推理,得出最终结论。因此,模糊控制系统中的推理机涵盖了经典的控制方法和人工智能,可以解决非线性的复杂问题。接着,解模糊器将推理机的结论转化为精确量,作为控制输出,传送给执行器。模糊控制原理如图2所示。

模糊控制系统的特点有:1)模糊控制反映了人类语言的模糊性,如“高”、“中”、“低”模糊变量,因此该方法不需建立被控对象的精确数学模型;2)模糊控制规则具有启发性的推理、逻辑功能,体现其智能化特点;3)模糊控制方法的鲁棒性和自适应性很强。通过专家经验设计的模糊规则对复杂对象进行有效控制。

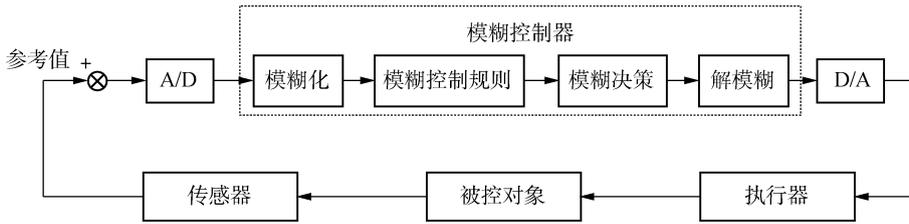


图 2 模糊控制原理图

目前模糊控制方法已经广泛地应用于很多领域,如航空航天、智能电器、工业过程、数字图像等。利用一种非单调的李雅普诺夫函数,对模糊系统设计了  $H_\infty$  控制器,通过数值算例验证了其保守性低于已有算法。针对单输入单输出的非线性系统,建立了模糊模型,设计了间接的模糊自适应控制器,证明了闭环系统的稳定性和收敛性。将模糊控制方法引入交通信号灯控制系统;文献[7]将模糊控制应用于汽车系统;模糊方法可以有效控制微型机器人<sup>[8-9]</sup>和电网系统<sup>[10]</sup>、医学诊断<sup>[11]</sup>等。

模糊方法发展迅速,短短数十年已取得丰硕的成果,然而该理论仍有待进一步的挖掘和完善,比如提高运算速度和寻优结果、发展多输入多输出系统的模糊控制理论等。模糊理论是一种可能性理论,它基于事实发生的程度,这不同于概率。对于这种可能性理论分布的特性也是未来研究方向之一。

### 3 神经网络控制

人工神经网络是从人脑神经系统的学习机制着手,通过模拟人脑的思维能力建立的一类模型。1943年,美国心理学家 W. S. McCulloch 和数学家 Walter H. Pitts 合作,用逻辑的数学工具研究客观事件在形成神经网络中的描述,从此开创了神经网络的理论研究。他们分析、总结神经元基本特性,提出了 MP 神经元数学模型。1982年,美国物理学家 J. Hopfield 提出了 Hopfield 网络,它是一个互联的非线性动力学网络,解决了回归网络学习问题,1986年美国的 PDP 研究小组提出了 BP 网络,实现了有导师指导下的网络学习,为神经网络的应用开辟了广阔的前景。神经元模型如图 3 所示,其数学表达式如式(1)所示。

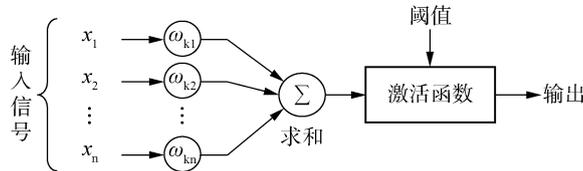


图 3 神经元模型

$$y = f\left(\sum_{i=1}^m \omega_i x_i - \theta\right) \tag{1}$$

其中,  $y$  为输出,  $f$  为激活函数,它可以是线性函数,也可以是非线性函数,  $\theta$  为阈值,  $\omega_i$  为权系数。从控制论角度来看,该模型描述了一个多输入单输出非线性系统的动态过程。

神经网络模型具有分布式存储、并行处理、冗余性、容错性、自学习和自适应能力,能够逼近任意多输入多输出的非线性函数,给不断面临挑战的控制理论带来生机。目前神经网络模型可以用于系统辨识、故障诊断、控制算法的寻优等。将神经网络模型和传统的 PID 控制相结合,利用神经网络的学习功能确定和调整 PID 参数,即神经网络 PID 算法<sup>[12]</sup>。经典的内模控制将被控系统的正向模型和逆向模型直接加入反馈回路,系统的正向模型作为被控对象的近似模型与实际对象并联,两者输出之差被用作反馈信号,该反馈信号又经过前向通道的滤波器及控制器进行处理,形成神经网络内模控制,提高系统的鲁棒性<sup>[13]</sup>。在传统自适应控制基础上,神经网络自适应控制也得以发展。针对高超音速飞行器系统提出了基于神经网络自适应控制方法,并证明了其稳定性和有效性。考虑双旋翼多输入多输出的非线性系统,提出了反馈线性化方法,设计了反馈神经网络控制器,证明了闭环系统的全局稳定性。

此外,神经网络模型与其他智能算法相结合,形成了多种新型复合智能控制算法,如与模糊控制算

法相结合,可以建立模糊神经网络控制器。又比如,基于遗传算法的神经网络控制<sup>[14]</sup>和专家系统神经网络控制<sup>[15]</sup>等。

目前,神经网络控制已广泛应用于机械臂控制、船舶航向的鲁棒控制、汽车转向控制、机器人控制等。在多智能体领域,研究神经网络的应用、信号传输和控制是一个有趣的方向。神经网络具有并行运算的优势,可以处理数据量较大的复杂问题。现代社会网络发达,因此产生的数据量庞大,这是大数据时代。大数据的存在,为神经网络控制的发展奠定了基础。

## 4 遗传算法优化控制

遗传算法(Genetic Algorithms,简称 GA)是 1962 年由美国密歇根大学的 Holland 教授提出的模拟自然界遗传机制和生物进化论的一种并行随机搜索优化方法。其本质是一种概率搜索算法,它利用编码技术作用于二进制数串,通过这些数串的组合、变异模拟群体的进化过程。遗传算法通过有组织的随机的信息交换来重新结合适应性强的数串,一定概率下在数串中尝试新的段位替换原来的部分。类似自然进化,适者生存,保留“适应性强的数串(是否为“适应性强的评价标准是由目标函数决定的),并不断繁殖,直到得出满意的优化结果。其原理框如图 4 所示。

遗传算法对求解的问题本身没有任何要求,也不需要严苛的数学假设(如连续、可导等),并且有并行计算的特征,可通过大规模并行计算来提高计算速度,适合大规模复杂问题的优化。

基于遗传算法的优势,它被广泛的应用于控制器设计过程中的参数优化,即利用遗传算法寻优。文献[16]对变频泵控马达调速系统设计了 PID 控制器,其利用遗传算法搜索寻找最优的 PID 控制器参数,以使得 ITAE 性能指标最小;遗传算法和工控组态软件 MCGS 相结合,用于废水处理系统<sup>[17]</sup>;文献[18]利用遗传算法致力于研究直流无刷电机的转速控制;文献[19]提出了一种基于模拟退火遗传算法的交直流系统的无功优化以及电压控制方法。此外,遗传算法还可以应用于路径优化、电力系统、汽车工业等。

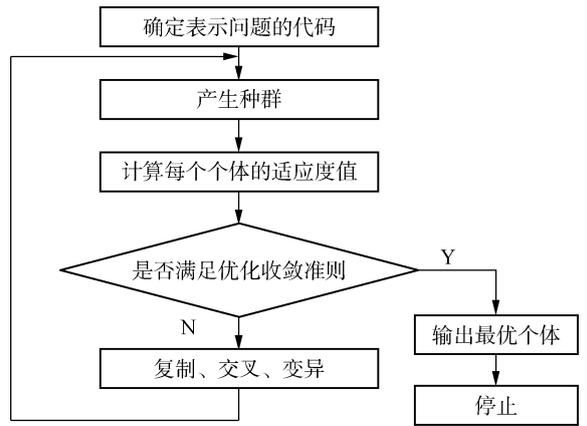


图 4 遗传算法原理图

## 5 结 语

本文从专家系统控制、模糊控制、神经网络控制、遗传算法优化控制四个方面介绍了智能控制。这四种控制方法可以相互独立发挥功能,也可结合起来,形成复合智能控制方法。智能控制的应用已经深入社会生产和生活,与人们密切相关。在未来的创新型社会中,智能控制必将发挥更强大的作用。

### 参考文献:

- [1] Waltz W, Fu K. A heuristic approach to reinforcement learning control systems[J]. IEEE Trans. on automatic control, 1965;10(4):390-398
- [2] 蔡自兴. 智能控制四元结构的研究[J]. 高技术通讯, 1996(7):19-23
- [3] 蔡自兴, 徐光. 人工智能及其应用[M]. 3 版. 北京:清华大学出版社, 2004
- [4] 赖旭芝, 周国雄, 曹卫华, 等. 焦炉集气管的模糊专家控制方法及其应用[J]. 控制工程, 2006, 13(2):108-110
- [5] 黄席樾, 熊庆宇. 冶金连铸工业控制实时专家控制系统的设计与实现[J]. 自动化学报, 1998, 24(3):405-409
- [6] 王立新. 模糊系统与模糊控制教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2003
- [7] Huang S J, Lin W C. Adaptive fuzzy controller with sliding surface for vehicle suspension control[J]. Fuzzy Systems IEEE Transactions on, 2003, 11(4):550-559