

# 仿人智能控制(SHIC)进展<sup>\*</sup>

涂亚庆 李祖枢 黄尚廉

(重庆大学光电精密仪器系,重庆 630044)

**摘要** 本文阐述了仿人智能控制的基本思想和方法,对仿人智能控制的产生、发展及现状进行了分析和总结,最后指出了仿人智能控制面临的问题。

**关键词:** 仿人智能控制;智能控制;人工智能

## 1 仿人智能控制的基本思想和方法

纵观智能控制的发展,从不同的认识论和方法论出发,各种流派竞相发展,引人注目。重庆大学智能控制研究室,在1980年以前就开始了仿人智能控制,SHIC(Simulating Human Intelligent Control)的研究,在国内外具有一定的影响。仿人智能控制的最基本思想就是仿人(或广义讲仿生)、仿智。因为生物经过亿万年的进化发展到人,人为适应环境求得生存,不断改进自身的功能结构,从而使生物体和人体本身具有相当灵活,完善和可靠的各种控制和调节机制。事实表明,迄今为止世界上最高级的、最有效的控制系统是人类自身,研究人类表现出来的控制机制,并用机器加以模拟是智能控制研究的重要途径。自动控制研究的最终目的是制造能代替人进行控制的机器。可以说,自动控制研究最初就是从模拟人的控制行为开始的。从开环控制,闭环控制朝着自适应控制、自校正控制和自学习控制发展的过程,就是控制技术的智能程度(智商)提高的过程。

如何仿人呢?生物机体是一个具有不同结构层次的一个复杂的特大系统。以人为例,其本身是一个结构完善而极其复杂的智能控制系统。如人体司管运动控制的神经系统是一个多层的控制系统。其特点如下:

- \* 机体各部分分工协调,并行运行;
- \* 有专门的协调机械;
- \* 分级递阶的信息处理方式,在低层次不仅精度高,而且仍然有极为高超的控制技巧。

就目前的科学技术水平而言,要在宏观结构功能上完全模拟人脑,还只能是幻想。因此,在现阶段对人的控制机制采用宏观结构模拟和行为功能模拟相结合最为合适。

仿人智能控制认为:随着微电子学、计算机科学和人工智能迅速发展,人们进一步深化了对人类智能活动机理,智能与控制之间紧密内在联系的认识;同时也为用机器获取、表达和利用知识创造了条件。人工智能、控制理论和计算机科学的交叉结合,将大大促进自动化技术的

发展,将诞生新一代控制理论—智能控制理论和新一代控制机—智能控制器。

目前,仿人智能控制理论的具体研究方法是:从分层递阶智能控制系统的最低层(运行控制级)着手,充分应用已有的控制理论和计算机仿真结果直接对人的控制经验、技巧和各种直觉推理逻辑进行测辨,概括和总结,编制成各种简单实用、精度高、鲁棒性强、能实时运行的控制算法,并把它们直接应用于实际控制系统,进而建立起系统的仿人智能控制理论体系。最后发展为智能控制理论。

## 2 仿人智能控制的发展现状

仿人智能控制经过十年来的研究已初步形成自己独立的体系,系统的仿人智能控制理论框架基本形成,以下分四部分加以分析。

### 2.1 仿人智能控制的提出—IC 原型的产生

八十年代初,周期鉴教授通过对以下三点的研究,提出了仿人智能控制器 IC 的原型。

- (1)常规控制的局限性:一般不能同时满足关于响应速度及静态精度的要求;
- (2)手动控制中人表现出来的基本规律;
- (3)对有经验的操作者在控制系统中的行为进行研究总结。

IC 原型算法如下:

$$u_n = \begin{cases} K \cdot e + u_{o(n-1)} & e \cdot \dot{e} > 0 \text{ 或 } e = 0, \dot{e} \neq 0 \\ u_{om} = u_{o(n-1)} + k \cdot K \cdot e_{m,n} = k \cdot K \sum e_{m,1} & e \cdot \dot{e} < 0 \text{ 或 } \dot{e} = 0 \end{cases}$$

式中: $K$ —比例系数; $k$ —抑制系数; $e$ —误差; $\dot{e}$ —误差变化率; $u_n$ 、 $u_{o(n-1)}$ 、 $u_{om}$ 分别表示控制器第  $n$  次瞬态输出、1 至  $(n-1)$  次与 1 至  $n$  次保持值的代数和。

这种仿人智能算法以人对控制对象的观察、记忆、决策等智能化做基础,根据被调量、偏差以及偏差的变化趋势来确定控制策略。当系统的误差趋于增加或系统误差保持常值时,IC 采用比例控制模式,产生强烈的控制作用,抑制系统的偏差增加或迫使误差回零,此时系统处于闭环状态;而在系统误差趋于减小或系统误差为零时,IC 采用保持模式,进行观察等,此时系统处开环状态。

由此可看出,它在某方面接近于人的思维方式,是一种将人类某些智能与传统控制有机结合而成的新型控制算法。提出这种算法的指导思想在于:人是具有高度智能化的生物体,人们在决策及控制中表现出来的具有共同性的规律是用来仿制的原型。该算法在进一步分析改进基础上,已在实践上得到证明。

当然,这种 IC 原型的智能化水平还比较低,主要是针对大滞后对象抗干扰的定值控制提出的,在对象特性发生较大改变时或对于快速系统,还不能进行有效的控制。因而,还需要不断地丰富和发展。但是,它却奠定了以后发展的基础。首先它体现了仿人智能控制的本质思想,在方法上体现了对人的行为功能模拟;其次,从运行控制级着手进行仿人智能控制的研究,将智能引入控制系统的最低层是区别于其它智能控制方法的鲜明特征。它还在一定程度上包含了在线特征辨识、特征记忆、多模态控制及运用人的直觉推理等仿人智能控制器的设计原则。

## 2.2 仿人智能控制的发展

在 IC 原型提出之后,仿人智能控制开始向深度和广度发展。大致可分为以下几个部分。

(1)进一步完善 IC 原型,继续深入进行对人的行为功能模拟。变增益 IC,用于伺服系统的 SHIC 的相继提出,使 IC 在行为功能模拟方向朝前迈进了一大步。在线抽取的特征更加丰富,更多的直觉推理逻辑被应用到控制中去,控制系统的性能不断地提高。

(2)在模拟人的行为功能不断完善和发展中,向模拟人的结构功能发展。在线仿人自校正控制器的提出,标志着又向结构功能模拟方向迈出了可喜的一步。至此,以行为功能模拟和结构功能模拟为特征的仿人智能控制器的研究方法正式形成。

(3)行为功能模拟和结构功能模拟的内容和方法不断地丰富,解决的问题由简单向复杂化发展。各种简单实用、精度高、鲁棒性强能实时运行的控制算法相继产生。从常规控制器的智能化、仿人预估智能控制,到具有学习特性的仿人智能控制;从线性系统到非线性系统的智能控制;从定值控制到伺服系统的智能控制;从大时延时程的智能控制,到小时延,快速系统的智能控制;从单变量系统到多变量及多变量时延系统的智能控制;直到机器人关节的智能控制。仿人智能控制器的研究全面展开,充分运用已有的控制理论和计算机科学成果,直接对人的控制经验、技巧和各种直觉推理逻辑进行测辨、概括和总结。仿人智能控制方法日趋完善。

(4)在以上研究发展的同时,大力开展对仿人智能控制基本思想及方法的研究。从仿人智能控制的最基本思想、方法及算法,到专家式控制器的设计原则及实现方法,到专家式自学习智能控制,到仿人智能控制的一些关键概念与思想(包括特征模型、特征辨识、特征记忆和控制器模型等)的明确,直到辅助设计仿人智能控制器的专家系统研究。标志着仿人智能控制的体系逐渐形成,基本理论框架形成的时机逐步成熟。

(5)向仿人智能控制器实用化方向努力。在 IC 原型成功地应用于实践之后,开展了以实用化为目标的仿人智能控制器硬件环境—多 CPU 专用机的研究,并对此专用机的算法也进行了研究。同时,对仿人智能控制思想应用于智能管理、专家系统方面也进行了初步的探索。

从仿人智能控制的发展来看,已做了很多开拓性工作,取得了大量的研究成果,初步形成自己的新颖、独特而实用的体系。

## 2.3 仿人智能控制的基本理论框架形成及其特点

随着研究的逐步深入及所取得的结果,充分分析、总结归纳、提炼基础之上,提出了仿人智能控制理论的基本框架。这是仿人智能控制理论正式开始形成的标志。

在结构和功能上,仿人智能控制器(SHIC)的基本特点是:

- \* 分层的信息处理和决策机构(高阶产生式系统结构);
- \* 在线的特征辨识和特征记忆;
- \* 开、闭环控制结合和定性决策与定量控制结合的多模态控制;
- \* 启发式和直觉推理逻辑的应用。

由于以上特点,从控制理论的观点来看,出现了一系列新概念和新方法。随后,从新的认识论和方法论出发,分析讨论了 SHIC 理论的基本概念的定义和具体的内容及应用,包括特征模型、特征辨识、特征记忆、控制(决策)模态,启发与直觉推理以及智能控制器的高阶产生式系统结构等概念;分析讨论了 SHIC 理论需研究的主要内容及需采用的可能的的方法,包括建模方法与知识表示,性能指标,稳定性监控,多变量控制的解耦,可控性、可达性和可信度,控制器的智商指数,多 CPU 专用机等内容。明确地提出:智能控制是人工智能、控制理论和计算机科学的交叉结合。

可以说,SHIC 理论既包容了传统的控制理论,又对控制理论进行了很大发展。在以下几个方面明显地不同于经典与现代控制理论。

(1)研究的主要目标不是被控对象,而是控制器,是其自身如何对控制专家结构和行为的模仿。

(2)辨识与建模的目标不是对象的数学模型,而是整个系统的动态特征模型和控制器定性 and 定量相结合的知识模型。

(3)决策与控制是依据特征模型,在特征辨识结果驱动下进行的多模态控制。

(4)启发与直觉推理,分层递阶的信息处理和多 CPU 并行的计算机硬、软件系统保证了控制器具有在线自学习、自适应能力的快速实时运行功能。

### 3 仿人智能控制面临的问题

如上所述,仿人智能控制取得了较大成功,但完整的理论体系远未形成,仿人智能控制在理论及应用两个方面都还有很多问题有待解决。在理论方面,虽然对智能控制有一个较完整的基本框架,但对很多具体的理论问题缺乏研究。如对于带记忆的含有人的直觉推理逻辑和经验知识的智能控制系统,如何分析它的稳定性;智能控制系统的性能指标如何提法;更为重要的是智能控制系统还没有一套系统的设计理论、技术与方法,以至于目前基本上是用完全试凑的方法设计,缺乏一般的技术和方法指导。这一切都导致设计效率极低,严重阻碍其发展。在应用方面,仿人智能控制的应用算法有一些,但还极不丰富、系统,且大多处于仿真实验阶段。如何加速智能控制的实用化,研制大量针对不同对象的精度高,鲁棒性强能实时运行的算法,在目前仍是急待解决的问题。

我们深信,由于有十分明确的基本思想和方法作指导,又有众多学科发展的坚实基础和实际应用的广阔前景,更重要的是智能控制正吸引大量的有“共识”的人为之努力奋斗,智能控制必将获得蓬勃发展,最终将会把自动控制技术推向一个崭新的阶段。

感谢钟先信教授对本文提出的修改意见。

#### 参 考 文 献

- [1] 周其鉴,李祖枢,陈民铀,智能控制及其展望. 信息与控制,1987,16(2):38—45
- [2] Zhou O. J., Bai, J. K., An Intelligent Controller of Novel Design. Proc. of A Multi National Instrumentation Conference,1983, Part 1:137—145
- [3] Zhou Q. J., The Robustness of An Intelligent Controller and Its Performance. International Conference—Control, 85, IEE Conference Publication No. 252, 1985(2):429—432
- [4] Zhou Qi Jian, Li Zu Shu & Li Yong Hua, A Comparative Study on the Solution of Multivariable Systems Using the Intelligent Control Approach. Application of Multivariable System Techniques, INSTMC'1987:45—51
- [5] Li Zu Shu, Zhou Qi Jian and Xu Ming, Characteristic Identification. Characteristic Memory and Intelligent Controller, Identification'88 IFAC Symposium Beijing:1686-1690
- [6] Chen Nong-Ji, Li Zu-Shu, A Novel Intelligent Controller Based on Characteristic Identification on-Line, Advance in Modelling & Simulation 1988,14(1):53—63

- [7] 李祖枢, 智能控制—控制理论、人工智能与计算机科学的交叉. 中国人工智能学会计算视觉与智能控制学会首届学术年会论文集(CVIC'89), 1989. 4
- [8] 李祖枢, 仿人智能控制理论研究. 第一届中国人工智能联合学术会议论文集(CJCAI'90), 1990. 6
- [9] 李祖枢, 徐鸣, 周其鉴, 一种新型的仿人智能控制器(SHIC). 自动化学报, 1990, 16(6): 503—509
- [10] 黄秉宪, 生物系统的某些特点. 信息与控制, 1984, 13(1): 35—39
- [11] 甘子玉译, 《计算机与人脑》. 北京: 商务印书馆, 1979
- [12] 宋宏远, 井式真空渗碳炉微电脑控制系统. 重庆大学学报, 1985, 8(1): 93—99
- [13] 白美卿, 高富强, 仿人智能温度控制器. 仪器与仪表学报, 1988, 9(1): 85—89
- [14] 李祖枢, 智能控制理论研究. 信息与控制, 1991, 20(5): 27—38
- [15] LI Zhushu, Tu Yaqing, Zhou Qijian et al., Design and Application of Controllers Based on Method for Emulating Human Intelligence. AIMaC'91, Kyoto, Japan, 327—332
- [16] 涂亚庆, 李祖枢, 一种新型的仿人智能控制器的设计方法. 自动化学报, 1992. 7
- [17] 涂亚庆, 李祖枢, 黄尚廉, 辅助设计智能控制器的专家系统. 重庆大学学报, 1993, 16(2): 24—29
- [18] 涂亚庆, 黄尚廉, 李祖枢, 一类对象的仿人智能控制算法. 重庆大学学报, 1993, 16(6): 21—28

## The Progression of Simulating Human Intelligent Control

Tu Yaqing, Li Zushu and Huang Shanglian  
(*Department of Optoelectronic Precision Machinery,  
Chongqing University, Chongqing 630044*)

### Abstract

This paper firstly expounds the idea and method of simulating human intelligent control (SHIC), then, summarize the formation, developments and present status of SHIC systematically, and finally, the further reseach fields are indicated.

**Key words:** Simulating human intelligent control, Intelligent control, Artificial intelligence