

文章编号: 1000-582X(2002)07-0009-03

# 基于仿人智能的复杂关联系统控制<sup>\*</sup>

杨志<sup>1</sup>, 李太福<sup>2</sup>, 盛朝强<sup>1</sup>, 谢昭莉<sup>1</sup>

(1. 重庆大学自动化学院, 重庆 400044; 2. 重庆工学院电子工程系, 重庆 400050)

**摘要:** 由于复杂关联被控对象难以数学建模, 因此在辨识、分析、综合设计和系统实现等方面与常规方法有显著的不同, 特别在系统建模的思路上有别于传统数学建模方法, 因此, 研究复杂关联系统的控制问题在技术理论上具有相当技术难度。笔者在总结复杂对象特性的基础上, 提出了建立广义控制模型, 用智能控制策略对其实现有效控制, 文中还对控制系统的结构和控制算法作了研究。工程应用实践证明, 采用建立广义控制模型, 选取智能控制策略对复杂关联系统实施控制是有效和成功的。

**关键词:** 广义控制模型; 仿人智能控制; 复杂关联控制系统

**中图分类号:** TP273; TP273<sup>\*</sup>.5

**文献标识码:** A

经典控制理论对 SISO 线性定常系统控制的分析、设计及实现曾作出过重大贡献, 但对 MIMO 系统并不适宜, 特别对非线性、时变系统更是无能为力。现代控制理论从理论上解决了系统的能控性、能观性、稳定性以及许多复杂系统的控制问题, 但仍然不能满足技术高速发展的要求。随着航天技术、信息技术和制造工业技术的高速发展, 要求控制理论能处理更加复杂的系统控制问题。如不确定性复杂系统的控制问题, 该类系统有哪些特性, 如何建立控制模型, 采用何种控制策略和控制算法等, 这些问题在控制工程中是普遍存在的挑战性难题, 作者结合工程实践经验对上述问题作些讨论。

## 1 不确定性复杂对象的特性及控制中存在的问题

在大型工业生产过程、计算机集成制造系统及流程工业对象控制中, 有多种形式的复杂性, 在整体结构上表现为非线性、不确定性、无穷维、分布式及多层次性, 在被处理的信息上, 表现为信号的不确定性、随机性和不完全性, 图象和符号信息的混合等, 难以用解析的数学方法建立数学模型。对这类不确定性对象概括起来有以下特性。

1) 系统参数的未知性、时变性、随机性和分散性;

2) 系统滞后的未知性和时变性;

3) 系统严重的非线性;

4) 系统各变量间的关联性;

5) 环境干扰的未知性、多样性和随机性。

面对上述特性, 因其属于不确定性的复杂对象(或过程)的控制问题, 传统控制是无能为力的, 主要表现在<sup>[1]</sup>:

1) 不确定性问题。传统控制(如 PID)是基于数学模型的控制, 即认为控制、对象及干扰的模型是已知的或者是通过辨识可以得到的。但复杂系统中的很多控制问题具有不确定性, 甚至常常会发生突变。对于“未知”、不确定、或者知之甚少的控制问题, 用传统方法难以建模, 因而也无法实现有效的控制;

2) 高度非线性。传统控制理论中, 对于具有高度非线性的控制对象, 虽然也有一些非线性方法可资利用, 但从总体上看, 非线性理论远不如线性理论成熟, 因方法过分复杂而难以应用。在复杂系统中有大量的非线性问题存在;

3) 半结构化与非半结构化问题。传统控制理论主要采用微分方程、状态方程以及各种数学变换作为研究工具, 其本质是一种数值计算方法, 属定量控制范畴, 要求控制问题的结构化程度高, 易于用定量数学方

\* 收稿日期: 2002-03-10

基金项目: 重庆市应用基础研究项目资助(6803)

作者简介: 杨志(1956-), 男, 四川资阳人, 重庆大学副研究员。主要从事智能控制及智能系统工程方向的研究工作。

法进行描述或建模。而复杂系统中最关注和需要支持的,有时恰恰是半结构化与非结构化问题;

4) 系统复杂性问题。按系统工程的观点,广义的对象应包括通常意义下的操作对象和所处的环境。而复杂系统中各子系统间关系错综复杂,各要素的高度耦合,互相制约,外部环境又极其复杂,有时甚至变化莫测。传统控制缺乏有效的解决方法;

5) 可靠性问题。常规的基于数学模型的控制问题倾向于是一个相互依赖的整体,尽管基于这种方法的系统经常存在鲁棒性与灵敏度之间的矛盾,但对简单系统的控制的可靠性问题并不突出。而对复杂系统,如果采用上述方法,则可能由于条件的改变使整个控制系统崩溃。

由此可见,用传统的方法不能对这类系统进行有效的控制,必须探索更有效的控制策略与方法。

## 2 控制模型与控制策略选取

### 2.1 控制模型

由于被控对象的复杂性和不确定性,按传统的方法,根据被控对象的数学模型,在满足性能指标及约束条件下,综合设计控制器的方法是不能用的,因为对不确定性复杂对象不可能建立严格的数学模型,综合设计系统的前提条件不存在。对不确定性复杂系统的控制,可采用以知识表示的非数学的广义控制模型,如图1所示。



图1 广义控制模型

事实上,人们对对象特性不是一无所知,而是不全知,即所具有的对象信息是灰色信息。在实际工程中,依靠控制专家的知识经验,也可以对系统进行有效的控制,获得满意的结果。它是基于人的智能、控制者的知识、经验和技巧,完成预定的控制任务。因此,它是人机结合的控制模型,即控制者(人)的模型和被控对象(机)的模型相结合,如控制者的知识模型和被控制对象的机理模型相结合的广义控制模型。

### 2.2 控制策略选取

对具有上述特性的被控对象,可供选择的策略有神经网络控制、模糊控制、实时专家系统控制、仿人智能控制等,它们都无需对象的数学模型。这里选取仿人智能控制策略,因为它更贴近实际,其主要内容是总

结人的控制经验,模仿人的控制经验和行为,以产生式规则描述其在控制方面的启发与直觉推理行为,迄今世界上最优秀的控制器还是人的大脑本身。由于仿人智能控制的基本特点是模仿控制专家的控制行为,因此它的控制算法是多模态的和多模态控制间的交替使用,正是由于这一特点使其控制算法能完美地协调控制系统中诸多相互矛盾的控制品质的要求,比如鲁棒性与精确性,快速性与平滑性等。

## 3 控制算法结构模式

基本思路是对不同的系统误差特征模式采用不同的控制策略。这种控制策略构思来源于人-机学习系统<sup>[2-3]</sup>,因此,它反映了人控制器的一些控制规则。

### 3.1 基本控制算法

其算法可以概括为:

1) 若  $e \cdot \dot{e} \geq 0$  且  $e + \dot{e} \neq 0$ , 则比例-半微分控制(P-HD模式, Proportion and Half Derivation);

2) 若  $e \cdot \dot{e} \leq 0$  或  $e = \dot{e} = 0$ , 则半开环控制(HO控制模式, Half Open-loop)。

由结构化英语描述法可归纳为如下的表达式:

IF  $e \cdot \dot{e} \geq 0$  and  $e + \dot{e} \neq 0$  THEN

IF  $e \cdot \dot{e} \geq 0$  THEN

$$P(t) = \bar{P}_{n-1} + K_p \cdot e + P_{HD}$$

$$(\text{注: } P_{HD} = \bar{P}_{(l-1)} + kK_p \cdot \dot{e})$$

IF  $e \cdot \dot{e} < 0$  THEN

$$P(t) = \bar{P}_{n-1} + K_p \cdot e + P_{HD}$$

$$(\text{注: } P_{HD} = kK_p \sum_{i=1}^l \dot{e}_{m,i})$$

IF ( $e \cdot \dot{e} < 0$  OR  $|e| + |\dot{e}| \leq \delta$ ) THEN

IF  $|e| \geq \frac{1}{2} |e_{m,n}| > \delta$  THEN

$$P(t) = \bar{P}_n + kK_p (e - \frac{1}{2} e_{m,n})$$

ELSE  $P(t) = \bar{P}_n$

式中,  $\bar{P}_n = kK_p \sum_{i=1}^l e_{m,i}$ ;

$P$ ——输出(至被控对象);

$e$ ——输入(系统误差信号);

$\dot{e}$ —— $e$ 对时间的一阶导数;

$e_{m,i}$ —— $e$ 的第 $i$ 个极值点;

$K_p$ ——比例增益;

$k$ ——抑制系数;

$P_{HD}$ ——P - HD 模式 P 中的半微分量；

$e_{m,i}$ ——P - HD 模式中  $e$  的第  $i$  个极值点；

$\bar{P}_l$ ——P - HD 模式中半微分输出分量 PHD 的第  $l$  次需要保持的常数值。定义  $\bar{P}_0 = 0$  (微分极值记忆)；

$i, l, n$ ——自然数；

$\delta$ ——控制器输入灵敏度限。

### 3.2 仿人任务自适应策略

按上述基本模式控制的伺服系统如图 2 所示。由于两个控制模式的调节作用均是在保持记忆值  $\bar{P}_n = kK_p \sum_{i=1}^l e_{m,i} (n = 0, 1, \dots)$  的基础上输出的, 故不合适的初始保持值  $\bar{P}_0$  势必影响其控制效果。当参考输入  $r$ , 外部干扰  $f$  或对对象特性等任务变量发生变化时, 将引起系统误差突增和过渡过程的切换。

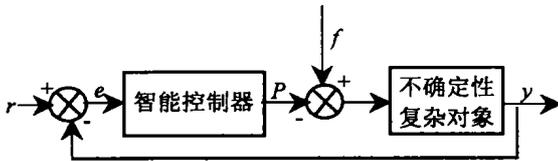


图 2 基本算法控制系统

经大量仿真验证, 为了保证跟踪质量, 最后归纳仿人任务自适应算法如下。

在 P - HD 模式中,

IF  $|e(k)| \geq |e_{m,n-1}| > \delta$  and  $|e(k)| > |e(k-1)|$   
 or  $|e(k)| \geq 2|e_{m,n-1}| > \delta$   
 or  $|e(k)| \geq |e_{m,n-2}| > \delta$

THEN

IF  $\bar{P}_{n-1} \cdot e(k) < 0$  THEN

IF  $\bar{P}_{n-1} \cdot P \leq 0$  THEN  $\bar{P}'_{n-1} = 0$

IF  $\bar{P}_{n-1} \cdot P \leq 0$  and  $|\bar{P}_{n-1}| > |P|$

THEN  $\bar{P}'_{n-1} = P$

IF  $\bar{P}_{n-1} \cdot e(k) \geq 0$  THEN

$\bar{P}'_{l-1} = \bar{P}_{l-1} + kK_p[e(k) + \dot{e}(k)]$

(其中  $\bar{P}'_{n-1}$  表示  $\bar{P}_{n-1}$  的修正值, 余类推, 下同)

### 3.3 仿人参数自适应策略

算法模型中有两个参数: 比例增益  $K_p$  和抑制系数  $k$  主要决定 P - HD 模式 ( $e \cdot \dot{e} \geq 0$  and  $e + \dot{e} \neq 0$ ) 的控制强弱,  $K_p$  越大动态误差越小;  $k$  用来抑制 HO 模式 ( $e \cdot \dot{e} < 0$  OR  $|e| + |\dot{e}| < \delta$ ) 中的控制作用, 它能补偿不适当  $K_p$  值的影响。如果把  $K_p$  固定取较大的允许值, 则控制质量可通过  $k$  来调节。

上述两个自适应算法与基本控制模式一起在线运行, 构成了任务自适应(或误差异常处理)和参数自适应的仿人功能。前者模仿了操作者灵活应用记忆和经验适应系统情况突变的能力, 使基本算法的适应性和灵活性大大增加, 鲁棒性得以提高, 从而对多变量系统能够实现不解耦而直接控制。后者大大加速了基本算法控制系统的稳定性, 表现为稳定域的扩大, 这种参数自适应仿人功能使某些本来不稳定的参数变为稳定参数, 并且自动调整参数向理想值靠近。此外, 在适应非最佳参数的同时能获得满意的响应, 这一点对于工程应用意义很大。

## 4 结 语

作者基于广义控制模型, 用仿人智能控制策略及算法在重钢公司、攀钢公司、莱芜钢铁公司先后完成了十余项控制工程项目, 如高炉出铁水冲渣系统<sup>[4]</sup>, 高炉出铁场消烟除尘系统<sup>[5]</sup>、供水泵站系统、混合煤气中继加压站<sup>[6]</sup>、焦炉氨水喷雾灭火系统等。上述都属不确定性复杂对象的控制问题, 用常规控制策略不可能达到优化控制, 但采用文中提出的控制策略取得了很好的控制效果、控制品质好、系统鲁棒性强、大幅度地节省了能源, 环境污染小、效益显著、受到用户好评。事实说明对不确定性复杂关联系统采用基于仿人智能控制的策略和算法是有效的和成功的。

### 参考文献:

- [1] 刘永态. 复杂系统的控制——控制论面临的新课题[J]. 自动化与仪表, 1996, 11(1): 1-5.
- [2] SIU - CHEUNG KONK. An Automated Intelligent Learning Environment: Design and Implementation[A], 自动化科学和技术(论文集)[C]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
- [3] CHAN T W. An Introduction to Intelligent Computer Assisted Learning Systems Research and Development [J]. National Science Council Monthly, 1995, 23(5): 456-468.
- [4] 杨志, 郭兵, 李太福, 等. 一类基于仿人智能的高炉出铁水冲渣自动跟踪系统[C]. 自动化科学技术及应用(论文集)[A]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [5] 杨志, 邓仁明, 李太福, 等. 炉前烟尘不确定性除尘风机控制系统[J]. 仪器仪表学报, 2001, 22(3): 435-437.
- [6] 杨志, 郭兵, 李太福, 等. 混合煤气混合中继加压站相关控制问题[A]. 自动化科学技术及应用(论文集)[C]. 北京: 电子工业出版社, 2001.

(下转第 19 页)

## Reuolution and Research of Green Automobile

*RAN Zheng -ya, TIAN Long, NI Ling, YANG Chao, CAO Wen -ming*

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The green is as a symbol of no pollution, no public harm and environmental protection. The green automobile is the inevitable results that the automobile technique continuously develops. A new style vehicle—the green automobile is the urgent solicit of environmental protection is developed. The automobile industry can develop continuously. This article mainly discusses the importance of the green auto-mobile's research and development, the development status in quo and prospect of the green auto-mobile technique in the world, and states the relationship between the green automobile technique and environmental protection from green technical system theoretically clarify the study of green automobile, including its design and the system, the manufacture and its technology, the energy, the rebuild engineering and a series of subjects. How to evaluate the cycle and the evaluable mark of the green automobile, the prospect of green automobile are pointed out.

**Key words:** green technique; automobile; design; manufacture; evaluate; prospect

(责任编辑 成孝义)

~~~~~  
(上接第 11 页)

## Complex Correlation System Control Based on Human Simulation Intelligence

*YANG Zhi<sup>1</sup>, LI Tai - fu<sup>2</sup>, SHENG Chao - qiang<sup>1</sup>, XIE Zhao - li<sup>1</sup>*

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China ;

2. Electronic Engineering Department, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China)

**Abstract:** Because there are lots of difficulties in mathematic modeling for uncertainty complex object, so it is not suitable to utilize traditional methods in some aspect such as identification, analysis, synthetical design and implementation. Especially, for the idea of system modeling, it is very different in comparison with traditional mathematic modeling, therefore, it is very difficult to study control problem for uncertainty system in technology and theory. On the basis of summarizing characteristics of uncertainty complex object, present to establish generalized control model, and apply intelligent control strategy to implement control effectively. In addition, authors also studied control algorithm and system structure. Engineering practice shows that it is effective and successful to establish generalized control model, and select intelligent control strategy for uncertainty control system.

**Key words:** generalized control model; human simulation intelligent control; uncertainty control system

(责任编辑 成孝义)