



# 仿人思维控制

HUMAN THINKING SIMULATED  
INTELLIGENT CONTROL

王培进 著



中国石油大学出版社

# 仿人思维控制

HUMAN THINKING SIMULATED  
INTELLIGENT CONTROL

王培进 著

中国石油大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

仿人思维控制 / 王培进著. —东营: 中国石油大学出版社, 2011.12

ISBN 978-7-5636-3639-6

I. ①仿… II. ①王… III. ①仿人智能控制 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 246768 号

# 仿人思维控制

王培进 著

---

责任编辑: 刘 静 (电话 0532-86981539)

封面设计: 赵志勇

---

出版者: 中国石油大学出版社 (山东 东营, 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱: [cbs2006@163.com](mailto:cbs2006@163.com)

印刷者: 青岛星球印刷有限公司

发行者: 中国石油大学出版社 (电话 0546-8391810)

开 本: 140 mm × 202 mm 印张: 4.75 字数: 123 千字

版 次: 2011 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 20.00 元

# 前 言

生命的产生、宇宙的起源以及人脑是如何工作的,是目前世界上尚未解决的三大难题。本书研究的内容与第三个问题相关,主要研究人脑的控制思维机理,描述人脑的控制思维过程,并用计算机加以模拟,应用到实际系统的控制中。

著名控制论和计算机理论家 J.Von.Neuman 指出:“脑的语言不是数学的语言,要模拟人的智能行为,还得学习脑在控制过程中是用什么语言来表达它的控制算法的。”每当骑自行车走在崎岖不平的路上时,每当看电视机里播放的杂技演员表演高难度的杂技动作时,脑海中总是映现出上述 J.Von.Neuman 所说的话。人对自行车不需要建模,也没有什么复杂的控制算法,却能将自行车控制得很好,而且还可以骑出花样,骑出高难度动作;杂技演员也不需要建模,也没有什么复杂的控制算法,却能在多人或多物的杂技表演中,控制、协调自如,稳定性极佳,准确性极高。人的大脑是如何实现控制的?人的控制思维机理是什么?人作为一个整体,各个部分之间又是如何协调一致地去控制一个复杂系统的?这一切疑问,不得不迫使我们科研工作者去思考,去探索,去研究。

事实上，所有控制理论和技术的研究出发点都是在仿人的控制思维和控制智慧。自动控制技术从模仿人的控制行为开始，以反馈理论为基础的自动调节原理起源于对人的手动控制的模仿。

美国著名控制专家乔治教授在《控制论基础》一书中指出：“控制论的基本问题之一就是模拟和综合人类智能问题，这是控制论的焦点。”

在国际自动控制界享有盛誉的瑞典的奥斯特隆姆教授指出：“控制论是维纳在研究动物和机器内部的通信与控制时创立的，当时提出了许多概念，目前，这一领域似乎又回到了发现新概念的时代。”他同时在《专家控制》一文中指出：“事实上，任何一种有效的工业控制设计，人的直觉推理逻辑在其中扮演了十分重要的角色。”

美国著名学者 Saridis 在他的题为“论智能控制的实现”一篇长文中提出：“向人脑（或生物的脑）学习是唯一的捷径。”

20 世纪 80 年代，我国学者重庆大学周其鉴教授首次提出仿人智能控制算法，开拓了智能控制研究新领域。仿人智能控制原型算法体现出的“开、闭环控制切换，调一调，等一等，看一看”的控制策略，初步模拟了人的控制思想。在仿人智能控制原型算法的基础上，又发展了其他一些仿人智能控制算法，包括现在的基于动觉图式理论的仿人智能控制理论，总体上有两个主要特征：（1）依赖于偏差、偏差的变化构成的信息空间切换控制算法；（2）没有摆脱传统的基于数学分析研究控制问题的思想。如 J.Von.Neuman 所言：“人脑的语言不是数学的语言”，人脑在控制

系统时不可能进行复杂的数学运算和复杂的推理与分析，人脑的控制思维一定是简洁、高效的。

仿人智能控制不是真正意义上的模拟了人的控制智慧，只是模拟其中的一部分，即动觉智能。仿人智能控制是建立在人体运动控制特点的基础上而实现的一种智能控制方法。仿人智能控制的基本思想是在控制过程中利用计算机模拟人的控制行为功能（我们研究的是基于人的控制思维的模拟），最大限度地识别和利用控制系统动态过程所提供的特征信息进行启发和直觉推理，从而实现对缺乏精确模型的对象进行有效的控制。仿人智能控制研究的最大特点是依赖于偏差与偏差的变化构成的信息空间确定数学意义上的控制算法。

仿人思维控制是从人的控制认知与控制思维出发，研究真正的模拟人的形象直觉推理控制思维、抽象逻辑推理控制思维的方法，研究人的控制经验、技巧形成机理及其描述方法，研究人的思维智能和行为智能之间的关系与综合，设计与人的控制思维过程一致的新型仿人控制器，应用于复杂系统的控制。

仿人思维控制不仅需要借助偏差、偏差的变化提供的特征信息进行推理思维，同时还需要被控量的变化大小、方向、速度以及控制精度、被控量的当前状态等信息，进行信息的综合应用与推理，挖掘控制经验与技巧，确定控制策略与方法，而不仅仅是一个数学意义上的控制算法。这一点，与现有仿人智能控制研究有很大的不同。

仿人思维控制器融合了形象直觉推理思维控制和抽象逻辑推

理思维控制，二者在一定的条件下相互转化，推理的结果是输出控制量的大小和方向，调节被控量达到控制目的。

仿人智能控制和仿人思维控制以及其他学者提出的拟人控制等都属于仿人控制研究的范畴，都是在不同的层面和不同的角度模拟和综合人类的智能。我们认为，仿人思维控制是最大程度上的仿人控制，真正意义上模拟人的控制智慧。

仿人思维控制研究有如下几个挑战性的问题：

(1)仿人形象直觉推理控制思维和抽象逻辑推理控制思维的研究与计算机实现。

目前的仿人智能控制各种方法仅仅是对人的行为功能进行了模拟，本书的研究从思维结构上和行为功能上综合起来，以人的控制思维过程机理研究为突破口，通过对人的形象直觉推理控制思维、抽象逻辑推理控制思维的研究，建立真正反映人的控制智慧的仿人思维控制器。

(2)人对复杂系统控制过程中控制经验、技巧的形成机理与计算机实现。

人在控制方面的最高智慧在于能够在实时控制过程中，对控制过程的定量特征信息、非精确的定性信息等各种信息进行存储、加工、提炼，形成控制经验与技巧，及时指导自己的控制行为，可以实现“没有推理的智能”。因此，研究人在控制过程中控制经验与技巧的形成机理及其表达方式，并在计算机上加以实现，有非常重要的意义。

(3)基于上述两个方面研究的，能进行定性、定量信息综合

集成与人机交互的，综合人的思维智能和行为智能的仿人思维控制器结构的研究与实现。

真正的模拟人的控制思维过程与控制智慧的仿人控制器结构，必须融合人的形象直觉推理控制思维和抽象逻辑推理控制思维机理，必须采用灵活的多模态、变结构、开闭环切换的控制策略，能够进行定量、定性信息综合集成与人机交互。目前现有的一些仿人智能控制器，仅是基于特征信息空间的一种控制算法，不具备上述功能。

仿人思维控制的核心是如何模拟人的知识获取、表达和利用机理，如何模拟人在实时控制过程中推理、决策、学习与自适应机理。因此，研究解决的关键问题是易于实现的复杂系统的仿人思维控制器结构、仿人控制经验、技巧及获取机理的研究。

近几年来，作者对仿人控制进行了一些研究，提出了仿人思维控制研究的新思路。本书是作者近几年研究成果的概括与总结。全书共分七章：第一章概括了控制理论的产生与发展，阐明仿人智能控制与仿人思维控制研究的区别、联系。第二章对仿人智能控制研究进行了概述，介绍作者提出的一种改进的仿人智能控制算法和其他学者提出的两种改进算法。第三章论述了人的一般思维和控制思维的区别及其联系，分析了人的形象直觉推理控制思维、抽象逻辑推理控制思维机理，对人工控制思维过程进行划分，描述人的控制经验与技巧的形成过程，同时给出了人的高级控制智慧——没有推理智能的计算机模拟与实现方法。第四章介绍了作者提出的基于人控制思维的控制模型原理及其实现方法，给



出了两种对人的抽象逻辑推理控制思维进行模拟与实现的方法。第五章则全面分析了人的控制策略与技巧，应用于仿人控制系统的设计。在第六章中，作者提出了广义仿人控制的概念，认为：所有将人的认识问题、分析问题、解决问题的智慧和思想应用到控制系统的分析、设计与控制过程中的任何一种方法，都属于广义仿人控制的范畴。本章介绍了作者提出的“面向对象的柔性设计与控制”方法，同时说明控制系统结构拟人化研究的重要性和研究思路。第七章对仿人思维控制研究和控制系统结构拟人化研究进行了总结和说明，给出了下一步要研究的内容和方向。

本书介绍的研究工作得到了山东省自然科学基金和山东省教育厅基金的资助。

本书的出版得到了烟台大学计算机学院刘殿通博士主持的国家自然科学基金（国家基金号：61175086）的资助，对此表示衷心的感谢。

由于本书介绍的研究课题富有挑战性和前沿性，而作者的学术水平和实践能力又是有限的，书中难免存在不妥之处，敬请广大读者批评指正。

全面揭开人类控制思维的神秘面纱或许还需要几代人为之不懈地努力研究和探索，但我们相信，这一天终究会到来的。

作者

2011年12月

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 控制理论的产生与发展.....	1
1.1.1 控制理论的诞生.....	1
1.1.2 古典控制理论的研究方法.....	4
1.1.3 现代控制理论的研究方法.....	5
1.1.4 智能控制理论的产生与发展.....	7
1.1.5 智能控制理论研究方法.....	9
1.1.6 智能控制研究热点.....	10
1.2 向人的控制智慧学习.....	12
1.2.1 智能控制方法分类.....	12
1.2.2 智能控制的共同点.....	13
1.2.3 自动控制面临的挑战.....	14
1.3 仿人智能控制与仿人思维控制.....	16
1.3.1 仿人智能控制.....	16
1.3.2 仿人思维控制.....	18
1.3.3 二者的区别与联系.....	20
第 2 章 仿人智能控制研究.....	21
2.1 概述 .....	21
2.2 仿人智能控制原型算法 .....	23

2.2.1	原型算法控制机理.....	23
2.2.2	原型算法的不足.....	25
2.3	仿人智能控制原型算法的改进.....	26
2.3.1	原型算法的改进 (I) .....	26
2.3.2	原型算法的改进 (II) .....	29
2.3.3	原型算法的改进 (III) .....	30
2.4	仿人智能控制研究进展 .....	32
<b>第 3 章</b>	<b>人的一般思维和控制思维.....</b>	<b>36</b>
3.1	人的一般思维特性与记忆.....	36
3.1.1	记忆概述 .....	36
3.1.2	人的一般思维特性.....	38
3.1.3	计算机与思维.....	42
3.2	人的控制思维特性 .....	43
3.2.1	人工控制过程分析.....	43
3.2.2	形象直觉推理控制思维.....	46
3.2.3	抽象逻辑推理控制思维.....	47
3.3	人工控制思维过程 .....	48
3.3.1	人的控制思维过程与控制性能指标.....	48
3.3.2	人的控制思维过程与控制经验.....	49
3.4	人的高级智慧——没有推理的智能.....	53
3.4.1	控制过程的知识发现.....	54
3.4.2	没有推理的智慧的模拟.....	55
<b>第 4 章</b>	<b>基于人控制思维的控制模型与实现.....</b>	<b>57</b>

---

4.1	基于人控制思维的控制模型.....	58
4.2	人的抽象逻辑推理控制思维的模拟与实现 (I) .....	61
4.3	人的抽象逻辑推理控制思维的模拟与实现 (II) .....	65
4.3.1	动态特征量的定义.....	65
4.3.2	控制器结构.....	67
4.3.3	实例研究.....	68
4.4	仿人思维控制器模型的实现.....	70
4.4.1	模型实现原理.....	70
4.4.2	应用实例.....	76
<b>第 5 章</b>	<b>仿人的控制策略与技巧.....</b>	<b>77</b>
5.1	控制过程的分段 .....	77
5.1.1	粗调阶段控制特征.....	78
5.1.2	调整学习阶段控制特征.....	78
5.1.3	微调阶段的控制特征.....	80
5.2	控制过程特征数据挖掘 .....	80
5.2.1	控制滞后时间的识别.....	80
5.2.2	控制阶段的识别.....	81
5.2.3	控制方向的识别 .....	83
5.3	被控对象特性分析与控制策略.....	83
5.3.1	被控量和控制量之间的定性定量关系模型.....	84
5.3.2	被控量动态特性分析与控制策略.....	86
5.3.3	干扰量特性分析与控制策略.....	87
5.4	开闭环切换控制策略 .....	89

---

5.5	变周期控制.....	91
<b>第 6 章</b>	<b>广义仿人控制 .....</b>	<b>93</b>
6.1	控制理论的基础.....	93
6.2	广义仿人控制.....	94
6.3	面向对象的柔性设计与控制.....	96
6.4	面向对象的柔性设计与控制的实现——面向对象的 组态软件.....	100
6.4.1	控制系统类分析.....	101
6.4.2	面向对象组态软件.....	105
6.4.3	面向对象组态软件的初步实现.....	113
6.5	软智能执行器对象设计.....	119
6.5.1	三智能对象之间的关系.....	120
6.5.2	软智能执行器对象的结构与功能.....	121
6.6	软智能传感器对象设计.....	123
6.6.1	传感器有效性检验.....	123
6.6.2	软传感器对象的结构与功能.....	123
6.6.3	AANN 网络的训练学习.....	125
6.7	控制系统结构的拟人化研究.....	128
<b>第 7 章</b>	<b>研究展望.....</b>	<b>129</b>
7.1	仿人思维控制研究展望.....	129
7.2	控制系统结构拟人化研究展望.....	130
	<b>参考文献.....</b>	<b>138</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 控制理论的产生与发展

### 1.1.1 控制理论的诞生

自动控制问题的研究可追溯到 18 世纪中叶英国的第一次技术革命。1765 年，瓦特发明了蒸汽机，其中采用了“离心式飞锤调速原理”控制蒸汽机的运动速度，标志着人类以蒸汽为动力的机械化时代的开始。图 1-1 为离心式飞锤调速原理的示意图。

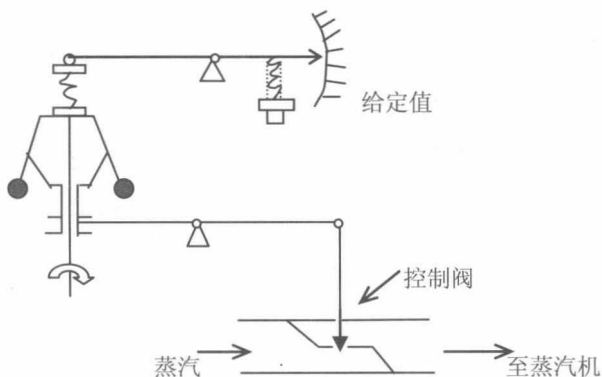


图 1-1 离心式飞锤调速原理示意图

离心式飞锤调速的原理为：根据希望的转速，设置参考输入量（给定值）。如果实际转速降低到希望的转速值以下，则调速器的离心力下降，从而使控制阀上升，进入的蒸汽量增加，蒸汽机转速随之加大，直到上升到希望的转速为止。反之，当蒸汽机的转速增大到超过希望的转速值时，调速器的离心力便会增大，造成控制阀向下移动，这样就减少了进入的蒸汽量，蒸汽机的转速也随之下降，直至下降到希望的转速为止。

后来，工程界用自动控制原理来解决调速系统的稳定性问题。在 1868 年发表的“关于调节器”一文中指出，控制系统的品质可用微分方程来描述，系统的稳定性可用特征方程根的位置和形式来研究。1872 年劳斯和 1890 年赫尔维茨先后找到了系统稳定性的代数判据，即线性定常系统稳定的充分和必要条件是：系统传递函数的全部极点必须都位于  $S$  平面左半平面，或者说全部极点都有负实部。1892 年，俄国学者李雅普诺夫发表了“论运动稳定性的一般性问题”的博士论文，提出了用适当的能量函数——李雅普诺夫函数的正定性及其导数的负定性来鉴别系统的稳定性准则，从而总结和发展的系统的经典时域分析法。

随着通讯及信息处理技术的迅速发展，电气工程师们发展了以实验为基础的频率响应分析法。1932 年，美国贝尔实验室工程师奈奎斯特发表了“反馈放大器稳定性”的著名论文，给出了系统稳定性的奈奎斯特判据。后来，苏联学者米合依洛夫又把奈奎斯特判据推广到条件稳定和开环不稳定系统的一般情况。二次世界大战期间，由于军事上的需要，雷达及火力控制系统有了较大发展，频率法被推广到离散系统、随机过程和非线性系统中。

1948 年，美国著名的控制论创始人维纳（N. Wiener, 1894~1964）系统地总结了前人的研究成果，发表了《控制论（或关于在动物和机器中控制和通讯的科学）》著作，论述了控制理论的一般方法，推

广了反馈概念，为控制理论学科的产生奠定了基础。此后，随着生产的发展，控制技术也在不断地发展。到目前为止，控制理论的发展一般可分为以下三个阶段。

第一阶段：时间为20世纪40~60年代，称为“古典控制理论”时期。古典控制理论主要是解决单输入单输出问题，主要采用传递函数、频率特性、根轨迹为基础的频域分析方法。所研究的系统多半是线性定常系统，对非线性系统，分析时采用的相平面法一般也不超过两个变量。古典控制理论能够较好地解决生产过程中的单输入单输出问题。

这一时期的主要代表人物有伯德(H. W. Bode)和伊文思(W. R. Evans)。伯德于1945年提出了简便而实用的伯德图法。1948年，伊文思提出了直观而又形象的根轨迹法。

第二阶段：时间为20世纪60~70年代，称为“现代控制理论”时期。这个时期，由于计算机的飞速发展，推动了空间技术的发展。古典控制理论中的高阶常微分方程可转化为一阶微分方程组，用于描述系统的动态过程，即所谓的状态空间法。这种方法可以解决多输入多输出问题。系统既可以是线性的、定常的，也可以是非线性的、时变的。

这一时期的主要代表人物有庞特里亚金、贝尔曼(Bellman)及卡尔曼(R. E. Kalman)等人。庞特里亚金于1961年提出了极大值原理；贝尔曼在1957年提出了动态规则；1959年，卡尔曼和布西发表了关于线性滤波器和估计器的论文，即著名的卡尔曼滤波。

70年代初，瑞典的奥斯特隆姆(K. J. Astrom)和法国的朗道(L. D. Landau)教授在自适应控制理论和应用方面做出了贡献。

第三阶段：时间为20世纪70年代末，控制理论向着“大系统理论”和“智能控制”方向发展，前者是控制理论在广度上的开拓，后者是控制理论在深度上的挖掘。“大系统理论”是用控制和信息的



观点,研究各种大系统的结构方案、总体设计的分解方法和协调等问题的技术基础理论。“智能控制”研究与模拟人类智能活动及其控制与信息传递过程的规律,研制具有某些仿人智能的工程控制与信息处理系统。

### 1.1.2 古典控制理论的研究方法

古典控制理论研究的问题相对简单,主要研究单输入-单输出、时不变、线性定常系统。研究方法是首先建立系统中被控对象及其各个环节的输入输出微分关系方程,通过拉氏变换,求出系统的开环或者闭环传递函数。针对传递函数,有时域内分析方法、频率域内分析方法和根轨迹分析方法。

在时域内分析系统的稳定性有劳斯判据,即系统传递函数的全部极点必须都位于 $S$ 平面的左半平面,或者说全部极点都有负实部;通过施加单位阶跃函数、斜坡函数、指数函数等输入分析系统的稳态误差;系统的瞬态响应特性是通过施加单位阶跃函数输入来研究的,用上升时间、过渡时间、峰值时间、超调量、振荡次数等技术指标来反映系统的动态特性。

系统对正弦输入的稳态响应称为频率响应。基于实验的频率响应特性分析方法有如下优点:可根据开环频率响应特性来研究线性闭环系统的绝对稳定性和相对稳定性,不必求出特征方程的根;另一方面,采用容易使用的正弦信号发生器和精密测量装置所做的频率响应实验通常简便而又准确,一些复杂元件的传递函数可用频率实验来确定。频率响应分析法的核心是画出系统开环传递函数的对数坐标图或伯德图(包括对数幅频图和对数相频图)、极坐标图、对数幅-相图。通过极坐标图,利用奈奎斯特判据可判断系统的稳定性。

根轨迹法是伊文思创立的一种找特征方程根的简单方法,并且在控制工程中获得了广泛的应用。闭环系统瞬态响应的基本特性,