

智能与控制系列教材

ZHINENG YU KONGZHI XILIE JIAOCAI

ZIDONG KONGZHI YUANLI

自动控制原理

(第2版)

张 彬 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

智能与控制系列教材

自动控制原理

(第2版)

张 彬 编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是2002年出版的同名教材的第2版。此次改版在总结近年来教学实践经验的基础之上,根据技术的发展增删了部分内容,文字表达更加通俗,结构更加紧凑。较全面系统地阐述了经典控制理论的基本概念、基本理论和分析方法。全书共分为7章和2个附录。主要内容包括:自动控制的基本概念、控制系统的数学模型、时域分析法、根轨迹法、控制系统的频域分析、控制系统的校正、采样控制系统分析基础。在每章后面分别介绍了应用MATLAB对控制系统进行分析和设计的内容。同时,各章均附有内容小结和一定数量的例题与习题。

本书可作为高等学校自动化专业及其相关专业的本科生的教材,还可作为从事控制工程应用和研究的科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/张彬编著.—2版.—北京:北京邮电大学出版社,2009

ISBN 978-7-5635-1902-6

I. 自… II. 张… III. 自动控制理论 IV. TP13

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第066741号

书 名: 自动控制原理(第2版)

作 者: 张 彬

责任编辑: 孔 玥

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)

发 行 部: 电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×960 mm 1/16

印 张: 25

字 数: 545千字

印 数: 1—3 000册

版 次: 2009年6月第1版 2009年6月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-1902-6

定价: 42.00元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

自动化技术是现代科学技术的一个重要分支,对现代工业的发展起了重要的推动作用。随着我国信息产业的飞速发展,全国性的信息网络规模越来越大、网络技术越来越复杂,网络的服务也越来越多样。为使整个网络高效、可靠地运行,信息网络的管理与控制就成为头等重要的任务。大规模信息网络的管理与控制,需要现代控制理论和大系统控制理论的支持。因此,近年来我国在信息领域中对掌握自动控制理论与技术的人才的需求急剧增长。为了适应信息与通信领域的需要,作者于2002年出版了《自动控制原理》一书,该书在北京邮电大学自动化本科专业及研究生的教学中实际采用,并作为北京邮电大学控制理论与应用专业的研究生入学考试参考书目。

为了适应控制技术和网络技术的发展趋势,作者结合近年来的教学实践和技术的最新发展,对2002年出版的《自动控制原理》进行了修订。此次改版对第1版的内容进行了大量的修改。除了文字表达方面之外,还根据技术的发展增删了部分内容,增加了自动控制理论在信息网络中的应用。在各章之后增加了与要求重点掌握的内容相关的习题。由于在传统教材中,一些花很多学时讲授的图解或手算方法,现在借助MATLAB仿真工具,很方便就可以完成,本次改版在每章后面分别介绍了应用MATLAB对控制系统进行分析和设计的内容。

本书共有7章。第1章介绍自动控制理论的简要历史、基本概念和常用术语。

第2章主要介绍系统数学模型的建立,描述系统的4种数学模型即微分方程、传递函数、方框图和信号流图,其中微分方程描述是基础,传递函数法是工程中常用的。

第3章为控制系统的时域分析法,重点讨论了系统的稳定性、快速性、准

确性的分析方法。

第4章为控制系统的根轨迹分析法,主要介绍绘制根轨迹图的规则,以及利用根轨迹法分析系统性能的方法。

第5章为系统的频域分析法,主要介绍频率特性的基本概念、典型环节和系统的频率特性、奈奎斯特稳定判据及系统的相对稳定性、系统性能的频域分析方法。

第6章主要介绍控制系统的频率校正法,其中包括控制系统校正的基本概念、方式和方法,重点讨论应用频率特性进行串联校正的方法。

第7章为采样控制系统的分析与校正,主要介绍采样的过程、采样定理、采样信号的复现,重点讨论了采样控制系统的数学模型,采样控制系统的分析与校正方法。

每章后配有内容小结、基本要求、思考题和习题,学习本课程要求有良好的数学、力学、电工学的基础知识,特别是要有复变函数及积分变换的数学知识。还应具备一定的机械工程方面的专业知识和其他学科领域的知识。

在本教材的编写过程中,参考和吸收了一些兄弟院校教材的部分内容,在此对这些教材的单位、作者谨致真诚的感谢。另外,要特别感谢北京理工大学自动控制系的张宇河教授,承蒙张宇河教授厚爱,在百忙之中抽出宝贵的时间对本教材进行了审定,并提出了许多建设性的修改和指导意见。

由于编者的水平有限,加上编写时间仓促,因此书中可能存在不妥甚至错误之处,恳请广大读者和专家予以批评和指正,以便进一步修订和完善。

作者

目 录

第 1 章 自动控制的基本概念

1.1 引言	1
1.1.1 自动控制理论概述	1
1.1.2 自动控制理论的发展简史	2
1.2 自动控制的基本方式	5
1.2.1 开环控制	5
1.2.2 闭环控制	6
1.2.3 开环控制与闭环控制的比较	7
1.2.4 复合控制	8
1.3 自动控制系统的分类	9
1.3.1 按输入信号的特征分类	9
1.3.2 按描述系统的数学模型分类	10
1.3.3 按系统传输信号的性质分类	11
1.3.4 按系统参数的特点分类	11
1.4 闭环控制系统的基本组成	12
1.5 控制系统举例	13
1.5.1 火炮自动控制系统	13
1.5.2 遥控机器人双向力反应随动系统	14
1.5.3 蒸汽压力闭环控制系统	15
1.5.4 磁悬浮轴承控制系统	15
1.5.5 自动请求重发系统 (ARQ)	16
1.5.6 CDMA 闭环功率控制系统	17
1.5.7 信息与网络系统的自动控制	18
1.6 评价控制系统的基本指标	19
1.6.1 稳定性	19
1.6.2 快速性	19

1.6.3 准确性	20
本章小结	20
思考题	21
习题一	21

第2章 控制系统的数学模型

2.1 引言	24
2.2 控制系统的微分方程	25
2.3 非线性特性及其线性化	28
2.4 线性系统的传递函数	31
2.4.1 传递函数的定义	32
2.4.2 传递函数的性质	33
2.4.3 用复数阻抗法求电网络的传递函数	33
2.5 典型环节的传递函数	35
2.6 系统方框图	41
2.6.1 方框图的组成	42
2.6.2 方框图的简化	43
2.7 信号流图	51
2.7.1 信号流图及其组成	51
2.7.2 信号流图中的常用术语	53
2.7.3 信号流图的基本性质	53
2.7.4 信号流图的绘制和简化	54
2.7.5 梅逊增益公式	56
2.8 反馈控制系统的传递函数	58
2.8.1 给定输入信号作用下的闭环传递函数	58
2.8.2 扰动作用下的闭环传递函数	59
2.8.3 给定输入和扰动作用下的闭环传递函数	59
2.9 应用 MATLAB 建立控制系统的数学模型	60
2.9.1 MATLAB 简介	60
2.9.2 传递函数模型	61
2.9.3 零极点模型	62
2.9.4 方框图模型	63
本章小结	67
思考题	68
习题二	68

第 3 章 时域分析法

3.1 典型输入信号	74
3.2 控制系统的时域性能指标	77
3.3 一阶系统的时域分析	79
3.3.1 一阶系统的单位阶跃响应	80
3.3.2 一阶系统的单位脉冲响应	81
3.3.3 一阶系统的单位斜坡响应	82
3.3.4 一阶系统的单位加速度响应	83
3.4 二阶系统的时域分析	83
3.4.1 二阶系统的例子	84
3.4.2 典型二阶系统的单位阶跃响应	85
3.4.3 欠阻尼二阶系统的动态性能指标估算	90
3.4.4 二阶系统的单位脉冲响应	95
3.5 高阶系统的时域分析	96
3.5.1 高阶系统的数学模型	96
3.5.2 高阶系统的阶跃响应	97
3.5.3 高阶系统性能的分析方法	98
3.6 稳定性分析	99
3.6.1 系统稳定的充分必要条件	99
3.6.2 劳思稳定判据	99
3.6.3 赫尔维茨稳定判据	106
3.7 稳态误差分析及计算	107
3.7.1 误差及稳态误差定义	108
3.7.2 给定输入作用下稳态误差的计算	109
3.7.3 扰动作用下稳态误差的计算	109
3.7.4 控制系统的类型	110
3.7.5 给定稳态误差终值的计算	111
3.7.6 给定稳态误差级数的计算	115
3.7.7 扰动稳态误差终值的计算	117
3.7.8 扰动稳态误差级数的计算	118
3.7.9 给定输入、扰动共同作用下系统的稳态误差的终值	119
3.7.10 减少稳态误差的方法	119
3.8 应用 MATLAB 进行时域分析	121
3.8.1 系统的时间响应	121

3.8.2 应用 MATLAB 进行稳定性分析	123
本章小结	125
思考题	126
习题三	126

第4章 根轨迹法

4.1 根轨迹的基本概念	131
4.1.1 什么是根轨迹	131
4.1.2 根轨迹的幅值条件和幅角条件	133
4.2 绘制根轨迹的基本规则	136
4.3 根轨迹草图绘制举例	152
4.4 参量根轨迹	158
4.5 用根轨迹法分析控制系统	160
4.5.1 根轨迹与稳定性	160
4.5.2 条件稳定系统的分析	161
4.5.3 开环零点和极点对根轨迹的影响	161
4.5.4 根轨迹图上希望闭环极点的位置	166
4.5.5 稳态性能分析	167
4.6 应用 MATLAB 绘制系统的根轨迹	168
4.6.1 根轨迹绘制函数	168
4.6.2 获取根轨迹上某一点的增益和闭环极点值	169
本章小结	170
思考题	170
习题四	171

第5章 控制系统的频域分析

5.1 频率特性的基本概念	175
5.1.1 频率特性的定义	175
5.1.2 频率特性的图解表示法	177
5.2 典型环节的频率特性	181
5.2.1 比例环节的频率特性	181
5.2.2 积分环节的频率特性	181
5.2.3 纯微分环节的频率特性	183
5.2.4 惯性环节的频率特性	184
5.2.5 一阶微分(比例加微分)环节的频率特性	186
5.2.6 振荡环节的频率特性	187

5.2.7	二阶微分环节的频率特性	192
5.2.8	延时环节的频率特性	193
5.3	系统开环频率特性的绘制	196
5.3.1	幅相频率特性(极坐标图)	196
5.3.2	对数频率特性(伯德图)	202
5.3.3	最小相位系统和非最小相位系统	206
5.3.4	系统类型和对数幅频特性曲线之间的关系	210
5.4	奈奎斯特稳定性判据	213
5.4.1	辐角原理	214
5.4.2	奈奎斯特稳定性判据	217
5.4.3	开环系统含有积分环节时奈氏判据的推广	221
5.4.4	对数频率稳定性判据	225
5.4.5	条件稳定系统	227
5.4.6	多回路系统	228
5.5	系统的相对稳定性	230
5.6	系统的闭环频率特性	234
5.6.1	等 M 圆图	236
5.6.2	等 N 圆图	237
5.6.3	尼柯尔斯图	239
5.6.4	非单位反馈系统的闭环频率特性	243
5.7	频域性能指标和时域性能指标的关系	244
5.7.1	频域指标和二阶系统的过渡过程指标	244
5.7.2	高阶系统	249
5.7.3	伯德图形状对系统性能指标的影响	250
5.8	应用 MATLAB 分析频率特性	252
	本章小结	256
	思考题	257
	习题五	258

第 6 章 控制系统的校正

6.1	控制系统校正的概念	262
6.1.1	控制系统的校正方式	263
6.1.2	控制系统的校正方法	265
6.2	线性系统的基本控制规律	266
6.2.1	比例(P)控制规律	266

6.2.2 比例-微分(PD)控制规律	267
6.2.3 比例-积分(PI)控制规律	269
6.2.4 比例-积分-微分(PID)控制规律	270
6.3 常用校正装置及其特性	272
6.4 频率特性法在系统校正中的应用	279
6.4.1 串联相位超前校正	279
6.4.2 串联相位滞后校正	282
6.4.3 串联相位滞后-超前校正	285
6.4.4 超前、滞后和滞后-超前校正的比较	290
6.5 局部反馈校正	291
6.6 应用 MATLAB 校正控制系统	293
本章小结	300
思考题	301
习题六	302

第7章 采样控制系统分析基础

7.1 引言	304
7.2 信号的采样与采样定理	305
7.2.1 信号的采样	305
7.2.2 采样定理	307
7.3 采样信号的复现与零阶保持器	309
7.3.1 采样信号的复现	309
7.3.2 保持器	309
7.3.3 零阶保持器	310
7.4 z 变换和 z 反变换	312
7.4.1 z 变换定义	312
7.4.2 z 变换方法	313
7.4.3 典型函数的 z 变换	315
7.4.4 z 变换的基本性质	318
7.4.5 z 反变换	321
7.5 差分方程	323
7.5.1 差分的定义	323
7.5.2 差分方程	323
7.6 脉冲传递函数	325
7.6.1 脉冲传递函数的定义	326

7.6.2 开环采样系统的脉冲传递函数	327
7.6.3 闭环采样系统的脉冲传递函数	331
7.7 采样控制系统的稳定性分析	334
7.7.1 s 平面和 z 平面的映射关系	334
7.7.2 采样控制系统稳定的充要条件	335
7.7.3 劳思稳定判据	336
7.7.4 采样系统稳定性的频域分析法	339
7.8 采样控制系统的稳态误差	340
7.8.1 静态误差系数法	341
7.8.2 动态误差系数法	343
7.9 采样系统的动态性能分析	347
7.9.1 采样系统闭环极点分布和暂态响应的关系	347
7.9.2 采样系统动态性能的估算	350
7.10 采样控制系统的校正	351
7.11 最少拍采样控制系统的校正	355
7.12 应用分析 MATLAB 采样控制系统	361
7.12.1 z 变换与 z 反变换的求解	361
7.12.2 采样控制系统模型的建立	362
7.12.3 采样控制系统的时间响应求解	364
7.12.4 采样控制系统性能分析	367
本章小结	369
思考题	370
习题七	371
附录	375
附录 A 拉普拉斯变换	375
附录 B 采样拉普拉斯变换的两个重要性质	386
参考文献	387

第 1 章

自动控制的基本概念

1.1 引言

1.1.1 自动控制理论概述

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学。它的发展初期,是以反馈理论为基础的自动调节原理,随着生产的发展和科学的进步,现已发展成为一门独立的学科——控制论。控制论包括工程控制论、生物控制论、经济控制论和社会控制论。工程控制论主要研究自动控制系统中的信息变换和传送的一般理论及其在工程设计中的应用。而自动控制理论仅仅是工程控制论中的一个分支,它只研究控制系统分析和设计的一般理论。根据自动控制技术发展的不同阶段,自动控制理论相应地分为“经典控制理论”和“现代控制理论”两大部分。

经典控制理论是指 20 世纪 50 年代末期所形成的理论体系,它主要是研究单输入-单输出线性定常系统的分析和设计问题,其理论基础是描述系统输入-输出关系的传递函数,是一种复频域方法。

现代控制理论是在 20 世纪 60 年代初期,为适应宇航技术发展的需要而出现的新理论。现代应用数学的研究和电子计算机的应用大大地推进了它的发展。目前,现代控制理论正向大系统理论和人工智能理论等方面深入发展。

现代控制理论适用于研究具有高性能、高精度的多输入-多输出、线性或非线性、定常或时变系统的分析和设计问题,如最优控制、最优滤波、自适应控制等。描述系统的方法是基于系统状态这一内部特征量的状态空间法,本质上是一种时域方法。

信息技术特别是大规模信息技术的发展对控制理论提出了新的需求,现代应用

数学、大系统理论、人工智能理论和计算机技术的进步则为控制理论的发展提供了强有力的支持。因此,现代控制理论正向大系统控制理论和智能控制理论等方向深入发展。

经典控制理论和现代控制理论构成了全部的控制理论。控制理论的发展进一步促进了自动控制技术和其他学科的发展。现代自动控制技术及理论已经普遍应用于机械、冶金、石油、化工、电力、航空、航海、核反应堆、通信、信息、生物学及工业管理等各个学科领域,并为各学科之间的相互渗透起了促进作用。

由于学时有限,本教材将重点介绍经典控制理论,为读者进一步深入学习自动控制的有关课程及其他学科打下良好的基础。

1.1.2 自动控制理论的发展简史

自动控制理论的发展与自动控制技术的发展密切相关。自动控制理论的发展历史大致可以分为以下4个阶段。

1. 经典控制理论阶段

自动控制理论是始于技术的,是从解决生产实践问题开始的。自动控制开始只是作为一种技艺,由有天赋的工艺工程师掌握了大量的知识及精心设计才付诸实践的。早期的控制装置原理大都可以凭直觉解释,尽管有些装置工艺精巧复杂,但都属于自动技术问题,还没有上升到理论。

利用反馈对系统实施控制有着悠久的历史。古代罗马人利用反馈控制原理制成简单水位控制装置;我国和希腊古代都发明了利用反馈原理控制水流速度的水钟(“铜壶滴漏”);大约在1620年,荷兰人德雷贝尔(Drebbel)发明了一种具有温度自动调节功能的鸡蛋孵化器,就是一个反馈控制系统。它是用火通过孵化器内外夹层中的水间接加热的,而火焰的大小靠孵化器顶部的通风口挡板的开度来调节,孵化器内部温度由温度计来测量,温度的升降可以使排风口开度减小或增大。这样孵化器内部的温度(系统输出量)与设定温度(输入量)的偏差,就通过排风口和火焰而得到控制。

1868年之前,自动控制系统发展的主要特点是凭借直觉的发明,如1788年英国科学家詹姆斯·瓦特(James Watt)为控制蒸汽机速度而设计的飞球调速器,可以誉为自动控制领域的第一项重大成果。此装置利用飞球的转动控制阀门的开度,进而控制进入蒸汽机的蒸汽流量,从而控制蒸汽机的转速。瓦特是一位实干家,他并没有对调速器进行理论分析。后来有人发现并从微分方程的角度讨论了系统的稳定性问题,从而开始了反馈控制动力学问题的研究。

首先对反馈控制的稳定性进行系统研究的是英国物理学家麦克斯韦尔(James Clerk Maxwell),1868年,麦克斯韦尔发表了题为《论调节器》的论文,首先解释了瓦特速度控制系统中出现的稳定问题,通过线性常微分方程的建立和分析,指出了振荡现象的出现和由系统导出的一个代数方程根的分布有密切的关系,开辟了用数学方法研究控制系统中运动的途径。

英国数学家劳思(E. J. Routh)和德国数学家赫尔维茨(A. Hurwitz)于 1877 年和 1895 年分别独立地提出了两种著名的代数形式的稳定判据。这种方法建立了直接根据代数方程的系数判别系统稳定性的准则,而不必求解方程式。

1892 年,俄国数学家李雅普诺夫(A. M. Lyapunov)发表了题为《运动稳定性的一般问题》的论文,用严格的数学分析方法全面论述了稳定性问题,为线性和非线性理论奠定了坚实的理论基础, Lyapunov 稳定性理论至今仍然是分析稳定性的重要方法。

1922 年,米纳斯基(N. Minorsky)给出了位置控制系统的分析,并用 PID 控制器,给出了控制规律公式,他研制了船舶操纵自动控制器,并且证明了由描述系统的微分方程确定系统稳定性的方法。1932 年,美国物理学家奈奎斯特(H. Nyquist)运用复变函数理论的方法建立了以频率特性为基础的稳定性判据。这种方法比当时流行的基于微分方程的分析方法有更大的实用性,也更便于设计反馈控制系统。奈奎斯特的工作奠定了频率响应法的基础。根据这个理论,伯德(H. W. Bode)进一步研究通信系统频域方法,于 1940 年前后,提出了频域响应的对数坐标图描述方法,提出了反馈放大器的一般设计方法,即频域分析法。1943 年,哈尔(A. C. Hall)利用传递函数和方框图,把通信工程的频域响应方法和机械工程的时域方法统一起来,即复域方法。

第二次世界大战期间,军事科学的需要,如飞机驾驶、火炮控制系统、雷达天线控制系统等都大大促进了反馈控制理论的进展。美国麻省理工学院(MIT)雷达实验室的工程师和数学家们把反馈放大器理论、PID 控制器以及美国数学家维纳(N. Wiener)的随机过程理论等结合在一起,形成了一整套称为随动系统的设计方法。

第二次世界大战结束后,经典控制理论基本建立,1948 年,美国科学家伊万思(W. R. Evans)提出并完善了线性反馈系统的根轨迹分析技术,成为那个时代的另一个里程碑。根轨迹法是与频率响应方法相对应的另一核心方法。20 世纪 40 年代末和 50 年代初,频率响应法和根轨迹法被推广到研究采样控制系统和简单的非线性控制系统。在这一时期,理论上和应用上所获得的成就,促使人们试图把这些原理推广到像生物控制机理、神经系统、经济及社会过程等非常复杂的系统,维纳(N. Wiener)在 1948 年出版的《控制论——关于在动物和机器中控制和通信的科学》中发现了信息、反馈和控制是控制论的 3 个基本要素,奠定了控制论的基础,具有重要的影响。

2. 现代控制理论阶段

经典控制理论以传递函数作为系统的数学模型,常利用图表进行分析设计,可以通过实验方法建立数学模型,至今仍得到广泛的工程应用,推动了现代科学技术的进步和发展。但是经典控制理论只适用单输入单输出线性定常系统,对系统内部状态缺少了解,因此研究对象和范围有限,还不能解决控制中的许多复杂问题。

从 20 世纪 50 年代开始,由于空间技术的发展,各种高速、高性能的飞行器相继出现,要求高精度地处理多变量、非线性、时变和自适应等控制问题,因此,20 世纪 60 年代初又形成了现代控制理论。1956 年,前苏联科学家庞特里亚金(L. S. Pontryagin)提出了极大

值原理,1957年,美国数学家贝尔曼(R. Bellman)创立了动态规划。极大值原理和动态规划为最优控制提供了理论工具。1960年,美国数学家卡尔曼(R. E. Kalman)提出了状态空间分析技术,开创了控制理论研究的新篇章。他们的理论当时被统称为“现代控制理论”。在那个时期以后,控制理论研究中出现了线性二次型最优调节器(Kalman,1959),最优状态观测器(Kalman,1960)以及线性二次型高斯(LQG)问题的研究。

3. 大系统控制理论阶段

20世纪70年代开始,现代控制理论继续向深度和广度发展,出现了一些新的控制方法和理论。如现代多变量频域理论,该理论以传递函数矩阵作为数学模型,研究线性定常多变量控制系统;自适应控制理论和方法以系统辨识和参数估计为基础,处理被控对象的不确定和缓时变,在实时辨识基础上在线确定最优控制规律;鲁棒控制方法在保证系统稳定性和其他性能基础上,设计不变的鲁棒控制器,以处理数学模型的不确定性;预测控制方法是一种计算机控制算法,在预测模型的基础上,采用滚动优化和反馈校正,可以处理多变量系统。

大系统理论是过程控制与信息处理相结合的综合自动化的理论基础,是动态的系统工程理论,具有规模庞大、结构复杂、功能综合、目标多样等特点。它是一个多输入、多输出、多干扰、多变量的系统。例如,人体就可以看成是一个大系统,其中有体温的控制、化学成分的控制、情感的控制、动作的控制等。

4. 智能控制理论阶段

智能控制理论是近年来新发展起来的一种控制技术,是建立在现代控制理论和其他相关学科的发展基础上的,是人工智能在控制上的应用。所谓智能,是基于人脑的思维、推理决策功能而言的。智能控制的概念和原理主要是针对被控对象、环境、控制目标或任务的复杂性提出来的,它的指导思想是依照人的思维方式和处理问题的技巧,解决那些目前需要人的智能才能解决的复杂控制问题。被控对象的复杂性体现在模型的不确定性、高度非线性、分布式的传感器和执行器、动态突变、多时间标度、复杂的信息模式、庞大的数据量以及严格的性能指标等,而环境的复杂性则表现为变化的不确定性和难以辨识。试图用传统的控制理论和方法去解决复杂的对象、复杂的环境和复杂的任务是不可能的。

智能控制理论的研究是从“仿人”的概念出发的,以人工智能的研究为方向,引导人们去探讨自然界更为深刻的运动机理。当前主要的研究方向包括模糊控制理论研究、人工神经网络研究以及混沌理论研究和专家控制系统,并且有许多研究成果产生。不依赖于系统数学模型的模糊控制器等工业控制产品已投入使用,超大规模集成电路芯片(VLSI)的神经网络计算机已经运行,美国宇航专家应用混沌控制理论,将一颗将要报废的人造卫星仅利用自身残存的燃料成功地发射到了火星,等等。

智能控制理论的研究与发展,在信息与控制学科研究中注入了蓬勃的生命力,启发并促进了人的思维方式,标志着信息与控制学科的发展远没有止境。

1.2 自动控制的基本方式

自动控制系统有3种控制方式,其中两种最基本的形式,即开环控制和闭环控制,而复合控制是将开环控制和闭环控制适当结合的控制方式,可用来实现复杂且控制精度较高的控制任务。下面分别介绍这3种控制方式。

1.2.1 开环控制

开环控制是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程。因此,开环控制系统的输出信号不对系统的控制作用发生影响。

图1-1所示的电加热器是一个开环控制系统。可以采用电加热器在冬天来控制房间的温度。房间是被控对象,房间的温度是要求实现自动控制的物理量,称为被控制量。电阻

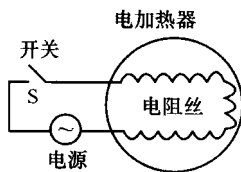


图 1-1 采用电加热器控制室温(开环)示意图

丝的开关S受时间继电器控制,按照预先规定的时间接通或断开电源,对房间温度进行控制,使其保持在希望值的一定范围内。开关S和电阻丝对被控制量起控制作用,故合称为控制装置。开关S的接通或断开时间,一般是依照在正常情况下房间温度可以达到希望值的经验数据来确定的。此时,实际的室内温度可能稍高于或低于希望温度,但仍能满足对室温的要求。而一旦工作条件发生了变化,例如,房门的开关次数发生变化,则室内热量的散失情况超出了事先估计的范围,实际的室温将不再等于所希望的温度而出现偏差超过允许范围的情况。这种使被控制量偏离希望值的因素称为对系统的扰动作用。由于开环控制的特点是控制装置只按照给定的输入量对被控对象进行单向控制,而不对被控制量进行测量并反向影响控制作用,因而当室温偏离希望值时,开关S的接通或断开时间不会相应地改变,所以,这种开环控制系统不具有修正由于扰动而出现的被控制量与希望值之间偏差的能力。开环控制系统的示意框图如图1-2所示。

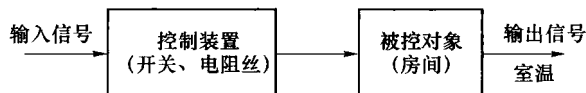


图 1-2 采用电加热器控制室温(开环)示意框图

全自动洗衣机就是一个开环控制系统,因为清洗的时间完全由操作者的判断和估计来决定,而不管衣服清洁程度如何。又如十字路口的交通红绿灯,如果采用按时间控制的交通管制系统,即红绿灯转换由定时机构控制,与路口各侧的车流量及行人流量无关,这