

计算机控制系统 理论与设计

JISUANJI KONGZHI XITONG
LILUN YU SHEJI

■ 王东云 主 编
王海泉 王瑗琿 副主编

计算机控制系统理论与设计

王东云 主 编
王海泉 王瑗琿 副主编



中国纺织出版社

内 容 提 要

本书结合计算机控制系统设计实例,从实际应用的角度对国内外控制系统中最具代表性的硬件(如工业控制计算机、DSP、PC/104 等)和软件开发工具(如 VC++、CCS、MATLAB 等)进行了详细介绍,并对系统建模、控制算法设计及其硬件、实现方法等控制系统设计的关键问题进行了系统地探讨。

本书可作为相关专业的高年级本科生和研究生的教材使用,也可供从事自动化、机械、电气、测量仪表等相关领域的研究人员和技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制系统理论与设计/王东云主编. —北京:中国纺织出版社, 2013. 10

ISBN 978 - 7 - 5180 - 0008 - 1

I. ①计… II. ①王… III. ①计算机控制系统—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 217950 号

策划编辑:魏 萌 张晓芳	责任编辑:魏 萌 责任校对:王花妮
责任设计:何 建	责任印制:何 艳

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124

邮购电话:010—67004461 传真:010—87155801

<http://www.c-textilep.com>

E-mail: faxing@c-textilep.com

三河市华丰印刷厂印刷 各地新华书店经销

2013 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:10.5

字数:200 千字 定价:48.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前 言

随着现代化工业生产过程复杂性和集成度的提高,自动控制已经发展到了一个崭新的阶段,越来越多性能优异的软件和硬件系统涌现出来。熟练掌握与这些控制系统相关的软件、硬件及先进的控制算法,是实现控制系统设计、完成复杂对象控制的核心。对于计算机控制系统的学习者和工程技术人员,如何综合应用自动控制理论、计算机软硬件、生产过程等多方面知识,来设计和开发满足工程实际需要的计算机过程控制系统,仍然是一个急需解决的问题。本书立足于实用性、先进性,在简要介绍基本理论的基础上,通过多个具体的计算机控制系统的设计和具体实现的实例,详细介绍了如何将自动控制理论、计算机技术、半实物仿真技术等知识融入控制系统的设计中。

全书共分5章。第1章为概论,介绍了经典控制理论、现代控制理论和智能控制理论在工程中的发展应用情况。第2章为工业控制常用软硬件及其应用,介绍了一些常用软件的编写方法及其与硬件的接口(包括:PC/104与C、工业控制计算机及VC++、DSP2812与CCS、MATLAB/Simulink、RTW与控制系统开发)和一些具体实例。第3章为直流电动机控制系统设计,详细介绍了直流电动机控制系统具体设计和实现过程。第4章为倒立摆控制系统设计研究,分别研究了直线一级倒立摆和环形二级倒立摆的平衡控制。第5章为DCS控制系统设计,对DCS的体系结构和几种典型的DCS做了简要介绍,并对HOLLiAS DCS在催化裂化联合装置和PCS7在锅炉控制系统中的应用做了介绍。

本书由王东云担任主编,负责制订编写大纲、修改书稿及统稿、定稿工作。王海泉、王瑗琿担任副主编。各章内容编撰分配:第1章由王东云编写,第2章由王海泉编写,第3章由王海泉、王瑗琿编写,第4章由王瑗琿、欧阳玲编写,第5章由王瑗琿、温盛军编写。

由于编者水平有限,书中难免出现疏漏和不妥之处,敬请广大读者不吝指正。

本书受到中原工学院学术专著出版基金的资助。在此表示感谢!

编 者
2013年6月

书目:服装类

	书 名	作 者	定价(元)
高 职 教 材	【服装高职高专“十一五”部委级规划教材】		
	鞋靴设计与表现(附盘)	伏邦国	42.00
	服装生产现场管理(附盘)	姜旺生 等	30.00
	实用化妆造型(附盘)	李采姣	38.00
	产业用服装设计表现(附盘)	刘兴邦 等	32.00
	服装美学(第三版)(附盘)	吴卫刚	36.00
	成衣设计(第二版)(附盘)	林松涛	35.00
	【全国纺织高职高专规划教材】		
	针织服装结构与工艺设计	毛莉莉	38.00
	服装贸易理论与实务	张芝萍	30.00
	服装表演编导与组织	朱焕良 等	25.00
	服装表演基础	朱焕良	25.00
	【高等教育自学考试服装设计专业教材】		
	女装纸样设计教程	谢 朝 等	27.00
	女装制作工艺教程	齐德金 等	18.00
	服装制作工艺教程	周 建 等	25.00
	服装材料学教程	马大力 等	28.00
	服装市场营销教程	曹亚克	20.00
	服装 CAD 技术与应用教程	张鸿志 等	18.00
	服装毕业设计指导教程	徐东 等	22.00
	中国服饰史教程	孙世圃	27.00
	西洋服饰史教程	孙世圃	28.00
	【21 世纪职业教育重点专业教材】(服装设计与制作专业)		
	服装设计基础(上册)	梁 军	24.00
	服装设计基础(下册)	金 惠 等	16.00
	服装工业化生产	周邦桢	18.00
	服装结构设计	周丽娅 等	18.00
	时装表演教程(附盘)	朱焕良	30.00
	【21 世纪职业教育重点专业教材】(服装制作与营销专业)		
	服装工业制板	吕学海 等	20.00
	服装结构制图	吕学海	39.00
	服装 CAD(附盘)	谭雄辉 等	28.00
	服装制作工艺——基础篇	朱秀丽 等	28.00
	服装制作工艺——成衣篇	姚再生	20.00
	服装贸易实务	余建春 等	18.00

注:若本书目中的价格与成书价格不同,则以成书价格为准。中国纺织出版社图书营销中心门市函购电话:(010)67004461。或登陆我们的网站查询最新书目:

中国纺织出版社网址:www.c-textilep.com

中国国际贸易促进委员会纺织行业分会

中国国际贸易促进委员会纺织行业分会成立于 1988 年,成立以来,致力于促进中国和世界各国(地区)纺织服装业的贸易往来和经济技术合作,立足为纺织行业服务,为企业服务,以我们高质量的工作促进纺织行业的不断发展。



简况

 每年举办(或参与)约 20 个国际展览会
涵盖纺织服装完整产业链,在中国北京、上海和美国、欧洲、俄罗斯、东南亚、日本等地举办
 广泛的国际联络网
与全球近百家纺织服装界的协会和贸易商会保持联络
 业内外会员单位 2000 多家
涵盖纺织服装全行业,以外向型企业为主
 纺织贸促网 www.ccpittex.com
中英文,内容专业、全面,与几十家业内外网络链接
 《纺织贸促》月刊
已创刊十八年,内容以经贸信息、协助企业开拓市场为主线
 中国纺织法律服务网 www.cntextilelaw.com
专业、高质量的服务



业务项目概览

 中国国际纺织机械展览会暨 ITMA 亚洲展览会(每两年一届)
 中国国际纺织面料及辅料博览会(每年分春夏、秋冬两届,分别在北京、上海举办)
 中国国际家用纺织品及辅料博览会(每年分春夏、秋冬两届,均在上海举办)
 中国国际服装服饰博览会(每年举办一届)
 中国国际产业用纺织品及非织造布展览会(每两年一届,逢双数年举办)
 中国国际纺织纱线展览会(每年分春夏、秋冬两届,分别在北京、上海举办)
 中国国际针织博览会(每年举办一届)
 深圳国际纺织面料及辅料博览会(每年举办一届)
 美国 TEXWORLD 服装面料展(TEXWORLD USA)暨中国纺织品服装贸易展览会(面料)(每年 7 月在美国纽约举办)
 纽约国际服装采购展(APP)暨中国纺织品服装贸易展览会(服装)(每年 7 月在美国纽约举办)
 纽约国际家纺展(HTFSE)暨中国纺织品服装贸易展览会(家纺)(每年 7 月在美国纽约举办)
 中国纺织品服装贸易展览会(巴黎)(每年 9 月在巴黎举办)
 组织中国服装企业到美国、日本、欧洲及亚洲其他地区参加各种展览会
 组织纺织服装行业的各种国际会议、研讨会
 纺织服装业国际贸易和投资环境研究、信息咨询服务
 纺织服装业法律服务

更多相关信息请点击纺织贸促网 www.ccpittex.com

第1章 概论	1
1.1 控制理论在工程中的发展	1
1.1.1 经典控制算法	1
1.1.2 现代控制理论	2
1.1.3 智能控制理论	3
1.2 控制系统相关概念	4
1.2.1 控制系统结构及基本组成	4
1.2.2 控制系统设计要求	6
1.2.3 控制系统设计的步骤	6
第2章 工业控制常用软硬件及其应用	8
2.1 PC/104 与 C 语言	8
2.1.1 PC/104 总线与 PC/104 主板	8
2.1.2 PC/104 总线结构的功能扩展模块	10
2.1.3 操作系统	11
2.1.4 C 语言与 Turbo C 编译环境	12
2.1.5 基于 C 语言的 PC/104 应用程序设计	13
2.1.6 应用实例	16
2.2 工业控制计算机与 VC++	18
2.2.1 工控机与数据采集卡	18
2.2.2 C++ 语言与 VC++ 集成开发环境	20
2.2.3 应用实例	22
2.3 DSP 与 CCS	23
2.3.1 DSP 概述	23
2.3.2 CCS 软件	29
2.3.3 应用实例	31
2.4 MATLAB/Simulink 与自动控制	33
2.4.1 MATLAB 基础知识	33
2.4.2 MATLAB 与自动控制	35
2.4.3 Simulink 与控制系统仿真	42
2.4.4 应用实例	51
2.5 RTW 与控制系统开发	51
2.5.1 RTW 简介	52
2.5.2 RTW 基本概念及工作流程	52
2.5.3 RTW 的安装与设置	54
2.5.4 RTW 与 xPC 目标环境	56
2.5.5 RTW 与 CCS	69
第3章 直流电动机控制系统设计	74
3.1 直流电动机控制实验系统概述	74
3.2 直流电动机及其数学模型	75
3.2.1 直流电动机对象	75

3.2.2	电动机对象的数学模型	76
3.3	直流电动机速度控制器设计及验证	79
3.3.1	PID 控制器概述	79
3.3.2	PID 控制器设计及验证	81
3.4	直流电动机位置控制器设计及验证	85
3.4.1	根轨迹法及验证	86
3.4.2	PV 控制器设计及验证	88
3.4.3	频率校正控制器设计及验证	90
第 4 章	倒立摆控制系统设计研究	94
4.1	倒立摆控制系统概述	94
4.2	直线一级倒立摆平衡控制	95
4.2.1	直线一级倒立摆建模	95
4.2.2	基于极点配置的倒立摆状态反馈控制器设计	99
4.2.3	倒立摆状态反馈控制器验证	102
4.3	环形二级倒立摆平衡控制	103
4.3.1	环形二级倒立摆的物理模型	103
4.3.2	LQR 控制算法	107
4.3.3	环形二级倒立摆的 LQR 控制器设计及验证	108
第 5 章	DCS 控制系统设计	111
5.1	DCS 的体系结构	111
5.1.1	DCS 的概念	111
5.1.2	DCS 的基本组成	111
5.1.3	DCS 的硬件	116
5.1.4	DCS 的软件	118
5.1.5	DCS 的网络结构	123
5.2	典型 DCS 系统简介	125
5.2.1	Honeywell 公司的 TDC—3000 系统	125
5.2.2	和利时公司的 HOLLiAS MACS 系统	125
5.2.3	西门子公司的 SIMATIC PCS7 系统	126
5.3	HOLLiAS MACS 在催化裂化联合装置的应用	127
5.3.1	工艺简介	127
5.3.2	催化联合装置生产线的特点和控制范围	129
5.3.3	某催化裂化联合装置的系统结构和配置	130
5.3.4	过程控制方案	132
5.3.5	控制方案实现	135
5.4	PCS7 在锅炉系统换热器温度控制中的应用	141
5.4.1	锅炉系统工艺流程及换热器温度控制系统建模	141
5.4.2	PCS7 组态	144
5.4.3	换热器热流出口的温度控制系统的设计与组态	146

第1章 概论

1.1 控制理论在工程中的发展

控制理论是自动控制科学的核心内容,它的发展经历了三个阶段:第一阶段是于20世纪初开始,并于40年代趋于成熟的单输入单输出的经典反馈控制理论;第二阶段从20世纪60年代开始,在线性代数的数学基础上发展起来的、以状态变量概念为基础的现代控制理论开始崭露头角,用于高性能、高精度和多耦合回路的多变量系统的分析和设计;第三阶段从20世纪70年代开始,自动化技术和理论发生了根本性变化,向综合了人工智能、运筹学、信息论等多学科的智能控制理论飞速发展。本章将对经典控制理论、现代控制理论和智能控制理论的发展情况及基本内容进行介绍。

1.1.1 经典控制算法

经典控制理论研究的主要对象多为单输入单输出的线性定常系统,以传递函数为基础,对其稳定性、时间域和频率域中系统的运动特性、控制系统的设计和校正方法等内容进行研究,它的控制思想首先旨在对机器进行“调节”,使之能够稳定运行,其次是采用反馈的形式进行控制。

(1)根轨迹法:1948年,W. R. 埃文斯(W. R. Evans)提出了一种求特征根、分析与设计控制系统的图解方法,这一方法不用求解特征方程,而是用作图的方法表示特征方程的根与系统某一参数的全部数值关系,从而直观地刻画出系统性能与系统传递函数之间的关系^[1]。

根轨迹法简洁、直观,可以分析结构、参数已知的闭环系统的稳定性和瞬态响应特性,还可用于判断参数变化对系统性能的影响。在设计线性控制系统时,可以根据系统性能指标的要求确定可调整参数以及系统开环零极点的位置,为系统性能分析和校正提供了捷径。

(2)PID控制:自20世纪30年代后期开始,工业控制主要依赖自动化装置,而比例—积分—微分(PID)控制方法作为最早发展起来的、应用最为广泛的控制形式,具有结构简单、调试方便等特点,对较简单的工业过程控制具有较好的调节性能。

PID控制器是一个在工业控制应用中常见的反馈回路部件,它将偏差的比例(Proportion)、积分(Integral)和微分(Differential)通过线性组合构成控制量,用这一控制量对被控对象进行控制,该算法对于基本上线性且动态特性不随时间变化的系统非常有效。而完成PID控制器设计,其核心是PID三个参数的整定,可分为理论计算整定法和工程整定方法两大类。

理论计算整定法:主要是依据系统的数学模型,经过理论计算确定控制器参数。这种方法所得到的计算数据未必可以直接用,还必须通过工程实际进行调整和修改。

工程整定方法:主要依赖工程经验,直接在控制系统的试验中进行,且方法简单、易于掌握,在工程实际中被广泛采用。工程整定方法主要包括临界比例法、衰减曲线法、经验试凑法和反应曲线法。其共同点都是通过试验,然后按照工程经验公式对控制器参数进行整定。

(3) 频率校正法:考虑到开环系统的频率特性与闭环系统的时间响应之间存在的对应关系:开环频率特性的低频段表征了闭环系统的稳态性能;开环系统的中频段表征了闭环系统的动态性能;开环系统高频段表征了闭环系统的复杂性和噪声抑制性能,而当系统的性能指标以幅值裕度、相位裕度和误差系数等形式给出时,采用频率法来分析和设计系统是很方便的。应用频率法对系统进行校正,其目的是通过确定校正装置的参数,改变系统的频率特性形状,使校正后的系统频率特性具有合适的低频、中频和高频特性,以及足够的稳定裕量,从而满足所要求的性能指标。

1.1.2 现代控制理论

经典控制理论虽然具有很大的实用价值,但也有着明显的局限性:其一,经典控制理论建立在传递函数和频率特性的基础上,而传递函数和频率特性均属于系统的外部描述(只描述输入量和输出量之间的关系),不能充分反映系统内部的状态;其二,无论是根轨迹法还是频率法,本质上都是频域法(或称复域法),都要通过积分变换(包括拉普拉斯变换、傅立叶变换、Z变换),因此原则上只适宜于解决“单输入—单输出”线性定常系统的问题,对“多输入—多输出”系统,特别是对非线性、时变系统无能为力。

现代控制理论正是为了克服经典控制理论的局限性而在20世纪50~60年代逐步发展起来的。现代控制理论本质上是一种“时域法”。它引入了“状态”的概念,用“状态变量”(系统内部变量)及“状态方程”描述系统,因而更能反映出系统的内在本质与特性^[2]。从数学的观点看,现代控制理论中的状态变量法,就是将描述系统运动的高阶微分方程,改写成一阶联立微分方程组的形式,或者将系统的运动直接用一阶微分方程组表示,从而将系统的运动用向量、矩阵形式表示出来,形式简单、概念清晰、运算方便,尤其是对于多变量、时变系统更是明显。现代控制理论的出现解决了系统的可控性、可观测性、稳定性以及许多复杂系统的控制问题。

(1) 状态反馈方法:状态反馈法是最能体现现代控制理论特色的一种控制方式,考虑到状态变量能够全面地反映系统的内部特性,因此相比传统的输出反馈,状态反馈可引入反馈矩阵,从而更有效地改善系统的性能。另外,状态变量往往不能从系统外部直接测量得到,这就使得状态反馈的技术实现往往比输出反馈复杂。随着状态观测器理论和状态估计方法的发展(特别是由于卡尔曼滤波方法的出现),在很多情况下已不难获得状态变量的良好实时估计值,状态反馈方法已进入了实用阶段。

考虑到闭环系统极点的分布决定了系统的稳定性和动态品质(极点的实部小于零,系统稳定;极点分布在虚轴上时,系统临界稳定;极点的实部大于零,系统不稳定),最常用的状态反馈方式是根据对系统动态品质的要求,规定闭环系统的极点所应具备的分布情况,将极点的配置作为系统的动态品质指标。这种将极点配置在某位置的过程是众多状态反馈的应用中最有效的一种,称为极点配置方法。

(2) 鲁棒控制方法:对于当今越来越复杂的工业系统,由于工作状况变动、外部干扰、传感器噪声、建模误差等各种不确定因素的存在,其精确的数学模型很难得到。为了克服系统特性变化对控制效果的不利影响,从20世纪50年代开始,以线性二次型调节器(LQR)、线性高斯二次型回路传输恢复(LQG/LTR)、 H_∞ 等为代表的鲁棒控制(Robust Control)逐渐发展起来^[3,4,5],并以其不需要精确的数学模型、能有效地克服系统中存在的一定范围的参数不确定性及未建模动态等突出优势成为自控界的研究热点。

鲁棒控制理论的最突出标志当属 H_∞ 鲁棒控制理论,它通过在 H_∞ 空间对控制系统的某些性能指标的无穷范数进行优化来完成控制器的设计。该理论由加拿大学者詹姆斯(Zames)于1981年^[5]首次提出,其主要工作围绕着改善 LQG 方法中将干扰信号假设为白噪声所带来的局限性展开。 H_∞ 控制理论在被提出之后经历了1984年所谓的“84年法”、1987年的“ H_∞ 标准控制问题”概念等令人瞩目的成果,并随着1988年多伊尔(Doyle)和格罗弗(Glover)发表的 DGKF 论文^[6]而走向成熟,该论文中提出 H_∞ 控制问题可以转化为状态空间中与广义被控对象同阶的两个里卡蒂(Riccati)方程的求解,从而得到阶次不超过广义对象的麦克米兰(Mcmillan)阶次的 H_∞ 控制器。至此, H_∞ 控制问题在概念和算法上都被大大地简化,从而在航空、航天以及工业控制等领域得到广泛应用。

(3)算子控制方法:算子是对广泛运算的概括和抽象,演算子理论是一种以输入空间的信号映射到输出空间的思想为基础的控制理论,它是一种先进的理论技术,所对应的研究对象并不需要近似化或线性化处理,因此被证实很适合进行非线性系统的研究。将演算子理论应用到控制系统中的好处是控制设计会相对简单些,因为能保证有界输入和有界输出稳定。

算子是指在相同数域上的向量空间之间的映射,特别是赋范向量空间(如函数空间)之间的映射。非线性算子又称非线性映射,是不满足线性条件的算子。非线性系统 Σ 总是与它的输入—输出映射 P (演算子,operator)等同看待,如图 1-1 所示。

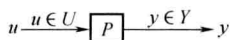


图 1-1 非线性算子 P

其中,非线性系统 Σ 与非线性算子 P 可以表示为

$$\Sigma P: U \rightarrow Y$$

U 和 Y 分别是输入和输出函数空间,均为赋范线性空间。

1.1.3 智能控制理论

智能控制(Intelligent Controls)能够在无人干预的情况下,自主地驱动对象实现控制目标的自动控制技术,以其不依赖于被控对象精确的数学模型、能够有效克服被控对象受到的干扰、特性变化等不确定性因素等优势,自20世纪70年代由傅京孙教授首先提出以来^[7],逐渐为人们所接受和应用。经过几十年的发展,形成了包括模糊控制理论、神经网络方法、遗传算法、混沌优化理论在内,综合了人工智能、控制理论、系统理论等多学科的前沿交叉学科,其应用遍布了航空、航天、船舶、工业自动化等各个行业领域。

作为控制理论与人工智能技术相结合的产物,智能控制方法具有人类智能的特征,能够表达定性的知识或具有自学习能力,从而提高控制系统自寻优、自适应、自学习、自组织能力,满足控制要求。

目前智能控制设计的途径主要有以下三个方面:基于专家系统的专家智能控制,基于模糊推理和计算的模糊控制,基于人工神经网络的神经网络控制。

专家智能控制是指将专家系统的设计规范、运行机制与传统控制理论和技术相结合,用于实时控制系统的设计和实现的方法,又称为基于知识的控制或专家智能控制。专家控制的功能目标是模拟、延伸、扩展“控制专家”的思想、策略和方法。其中,控制专家是指研究者、工程师、系

统操作人员等富有丰富实践经验的人员,在控制任务完成过程中,相当于在控制闭环中加入一个富有经验的专家,应用专家的思想、策略和方法、手动控制技能等信息完成控制任务。

模糊控制是在控制方法上应用模糊集理论、模糊语言变量及模糊逻辑推理的知识来模拟人的模糊思维方法,用计算机实现控制。该理论以模糊集合、模糊语言变量和模糊逻辑为基础,以模糊控制规则和隶属度函数为核心,用比较简单的数学形式将人的判断、思维过程表达出来。模糊控制从20世纪80年代被开发出来以来,在包括图像识别、自动机理论、语言研究、控制论以及信号处理等领域得到了广泛应用,为将人的控制经验及推理过程纳入自动控制提供了一条便捷途径。

神经网络是20世纪80年代末发展起来的前沿学科之一,它是在现代神经生物学和认识科学对人类信息处理研究的基础上提出的。它以人脑的组织结构和活动规律为背景,通过内部大量神经元节点之间的相连,达到处理信息的目的,实际上它是人脑某些基本特征的抽象、简化或模仿。神经网络方法具有较强的非线性映射能力、自适应、自组织和自学习功能,其特有的非线性适应性信息处理能力,克服了传统人工智能方法的种种缺陷,被广泛应用于模式识别、图像处理、系统性能优化等领域。而在控制领域,神经网络控制利用大量的训练数据,通过自学习并借助并行分布结构来改进网络连接权值或网络结构,保证系统输出跟随系统的期望输入,为具有高设计目标、强非线性、不确定性的复杂系统控制提供了可能。

1.2 控制系统相关概念

1.2.1 控制系统结构及基本组成

控制系统是指在无人直接参与下使生产过程或其他过程按期望规律或预定程序进行的控制系统,也是实现自动化的主要手段。自动控制系统由被控对象和控制装置两大部分组成,根据其功能,后者又是由具有不同职能的基本元件组成的。典型的控制系统包括以下单元:

被控对象:一般是指生产过程中需要进行控制的工作机械、装置或生产过程。

测量元件:用于对被控对象的输出量进行测量,将测得的对象特性按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。是实现自动检测和自动控制的首要环节。常用的测量元件如传感器(温度、液位等)、编码器等。

执行机构:提供直线或旋转运动的驱动装置,根据控制器的指令,使用液体、气体、电力或其他能源并通过电动机、气缸或其他装置将其输入转化成驱动作用,从而改变被控对象的状态。通常,电动机、液压电动机等都可作为执行元件。

控制器:控制系统的核心部件,能够依据测量元件的反馈信号,来调整发送至执行机构的输出信号,从而改变被控对象状态,改善或提高系统的性能。常用的控制器硬件通常采用运算能力、数据处理能力更强的计算机及相关产品,如单片机、DSP、PC/104、工控机等。

典型的以计算机为核心的控制系统结构如图1-2所示。其中,数字信号包括 $r(kT)$ (给定输入)、 $y(kT)$ (经A/D转换后的系统输出)、 $u(kT)$ (由控制器计算的控制信号)、 $e(kT) = r(kT) - y(kT)$ (偏差信号);模拟信号有 $y(t)$ (系统输出)。

从图1-2可以看出,典型的计算机控制系统是连续—离散混合系统,其特点是:模拟、数字和离散模拟信号同在;输入输出均为模拟量的连续环节(被控对象、传感器)、输入和输出均为数

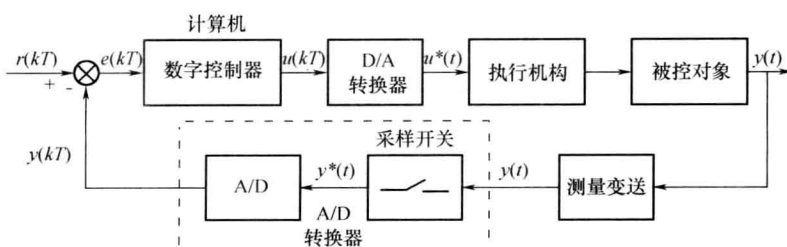


图 1-2 计算机控制系统典型结构

字量的数字环节（数字控制器、偏差计算）、输入输出为两类不同量的离散模拟环节（A/D 和 D/A）共存。

如果忽略量化效应等因素，常将数字信号称为离散信号，而把模拟信号称为连续信号。模拟控制系统可称为连续控制系统，而计算机控制系统常称为数字控制系统，简称离散控制系统。

计算机控制系统与常规的连续（模拟）控制系统相比，通常具有如下优点：

（1）设计和控制灵活：计算机控制系统中，控制算法一般是通过编程的方法在数字控制器中实现的，所以很容易实现多种控制算法，修改控制算法的参数也较方便。同时，也可以借助相关软件（Labview/VC/VB 等）进行标准化或模块化的应用程序开发。

（2）能实现集中监视和操作：由于计算机系统强大的处理能力和数据存储能力，可以对复杂被控对象的多个状态进行控制，便于进行集中监视、集中操作管理。

（3）能实现综合控制：计算机不仅能完成常规的控制任务，而且其强大的记忆、逻辑和判断能力，可以综合复杂对象各方面的情况，在环境与参数发生变化时，及时判断并选择最合适的方案进行控制，其完善的人机交互能力提供了通过人机对话等方式进行人工干预的可能，这些都是传统模拟控制无法胜任的。

（4）可靠性高，抗干扰能力强：在计算机控制系统中，可以利用程序实现故障的自诊断、自修复，使计算机控制系统具有很强的可维护性。另一方面，计算机控制系统的控制算法是通过软件的方式来实现的，程序代码存储于计算机中，一般情况下不会因外部干扰而改变。

然而，在这种传统集中式计算机控制系统中，由一台控制器对多个对象或设备进行集中管理和控制，其所有的数据处理、状态监控、故障检测、安全保护等任务都由计算机来完成，随着被控变量的增多和控制要求的提高，控制系统越来越复杂，控制器要完成的功能成爆炸性增长，这使得控制器中的软件庞大而复杂，软件的可靠性下降，而且控制器的重量、外形尺寸都有所增加。即使采用更先进的微处理器，更大容量的程序存储器，系统的性能也会受到影响。除此之外，还会导致控制系统研制周期加大，研制和维护成本增加^[8]。

从 20 世纪 80 年代开始，以微处理器和网络为基础的分布式控制系统（Distribute Control System, DCS）逐渐发展并越来越多地被应用于工业控制中。其基本结构如图 1-3 所示。

显然，在分布式控制系统中，多台计算机各自构成子系统，分别完成不同的控制任务，各子系统间有通信或网络互连关系。从整个系统来说，在功能上、逻辑上、物理上以及地理位置上来看，系统都是分散的，能够实现分散控制，从而提高控制系统性能，降低风险，提高可靠性；另一方面，系统能够实现集中监督、分级管理，综合协调各个子系统，保证整个系统的协调工作和最优化。

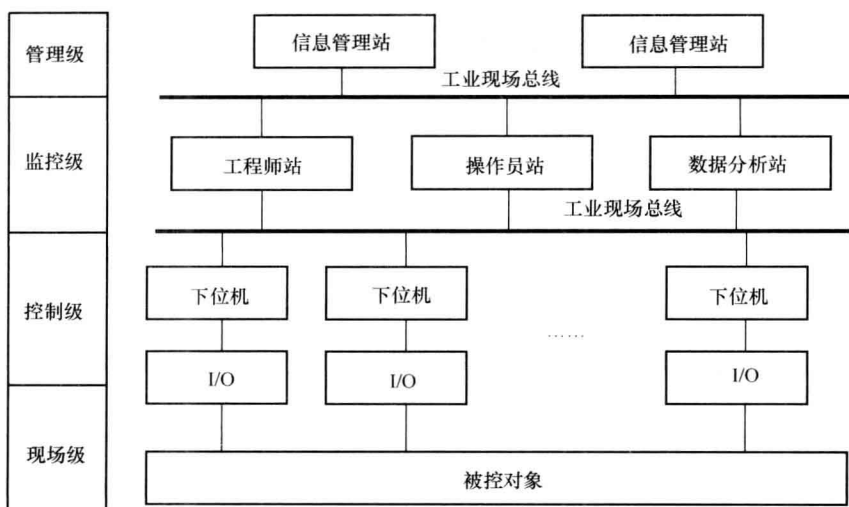


图 1-3 典型 DCS 控制系统结构图

1.2.2 控制系统设计要求

一般来说,一个性能良好的控制系统应该满足如下要求:

(1)可靠性高:计算机控制系统通常用于控制不间断的生产过程,运行期间不允许停机检测,一旦发生故障将会导致事故。因此,要求计算机控制系统具有很高的可靠性。

(2)实时性好:计算机控制系统对生产过程进行实时控制与监测,当过程的状态参数出现偏差或故障时,系统要能及时响应,并实时地进行报警和处理。

(3)环境适应性强:有的工业现场环境复杂,存在电磁干扰,因此要求计算机控制系统具有很强的环境适应能力,如对温度/湿度变化范围要求高;要具有防尘、防腐蚀、防振动冲击的能力等。

(4)过程输入和输出配套较好:计算机系统要具有丰富的多种功能的过程输入和输出配套模板,如模拟量、开关量、脉冲量、频率量等输入输出模板;具有多种类型的信号调理功能,如隔离型和非隔离型信号调理等。

(5)系统扩充性好:随着工厂自动化水平的提高,控制规模也在不断扩大,因此要求计算机系统具有灵活的扩充性。

(6)系统开放性:要求计算机控制系统具有开放性体系结构,即在主系统接口、网络通信、软件兼容及升级等方面遵守开放性原则,以便于系统扩充、异机种连接、软件的可移植和互换。

(7)控制软件包功能强:计算机控制系统应用软件包应具备丰富的控制算法,同时还应具有人机交互方便、画面丰富、实时性好等性能。

1.2.3 控制系统设计的步骤

(1)控制系统设计目标的设定:根据工程要求的指标结合控制对象的特性,提出具体的设计

目标和任务。

(2)对象数学模型的建立及特性分析:为了满足系统性能分析和校正的需要,根据对象特性和控制要求,对被控对象进行必要的、合理的简化,抓住被控对象的本质及主要因素,用数学模型来描述对象的特性。模型要充分简化,以便于求解;同时要保证模型与实际问题有足够的贴切度。之后通过仿真的方式了解对象的特性,包括其动态特性、抗干扰能力等,确定其是否满足设定的控制要求。

(3)控制方案的确定:若对象特性不满足控制目标,则需按所设计的具体控制对象和不同的控制性能指标要求以及所选用的控制器硬件的处理能力,选定一种控制算法,对对象性能进行校正。

(4)Simulink 仿真:MATLAB 提供了控制系统模型图形输入与仿真的强有力工具——Simulink,在计算机下借助该软件,可以将针对特定被控对象设计出的控制算法进行仿真验证,确认其控制性能。

(5)编写控制代码:将完成全数字的 Simulink 仿真并确认其有效性的控制算法经过编辑、编译、执行和调试四个步骤在所选的控制器硬件中实现。同时,完成数据采集、数据输出等 I/O 接口程序的编写。

(6)控制系统的硬件在回路仿真:为了进一步对控制算法及控制系统硬件的有效性进行验证,同时减少实物测试的次数,缩短开发时间和降低成本,搭建控制系统硬件平台(控制器、传感器、执行机构等),并以计算机运行对象的数学模型来模拟被控对象的运行状态,对控制器及 I/O 接口性能进行进一步测试。

(7)控制系统实现:将完成硬件在回路仿真的控制系统中的对象部分替换为真实被控对象,在完成硬件连接和调试的基础上,实现整个控制系统的构建。

参考文献

- [1] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 5 版. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 3 版. 北京:电子工业出版社,2012.
- [3] Doyle J. C. . Guaranteed Margins for LQG Regulators[J]. IEEE Trans. Automatic Control, 1978, AC-23(4).
- [4] Doyle J. C. . Stain G. . Multivariable Feedback Design: Concepts for a classical/Modern Synthesis[J]. IEEE Trans. On Automatic Control, 1981, Vol. AC 26, No. 1.
- [5] G. Zames. Feedback and Optimal Sensitivity: Model Reference Transformations, Multiplicative Senminorms and Approximate Inverse[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1981, 26:831-847.
- [6] Doyle, Glover. State-space Solution to Standard H_2 and H_∞ Control Problem[J]. In ACC'88, Atlanta, 1988, 817-823.
- [7] Fu. K. S. Learning Control Systems and Intelligent Control System: An Intersection of Artificial Intelligence and Automatic Control[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1971, AC 16(1): 70-72.
- [8] 何鹤环. 航空发动机分布式控制关键技术研究[D]. 西安:西北工业大学,2006.

第2章 工业控制常用软硬件及其应用

随着计算机和信息技术的发展,计算机的运算速度及其可靠性大幅度提高,其配套软件的功能也越来越丰富强大,基于不同处理器的、拥有不同外扩硬件资源的计算机或微型计算机系统作为控制器被应用到工业自动化控制当中,完成从数据采集、控制算法运算到控制信号的输出等一系列控制任务,同时实现软硬件故障诊断、用户交互等一系列功能,从而保证工业过程的安全稳定进行。本章将对当前工业控制领域常用的几种控制器硬件及其配套的软件的相关内容介绍。

2.1 PC/104 与 C 语言

2.1.1 PC/104 总线与 PC/104 主板

PC/104 总线是一种专门为嵌入式控制而定义的、基于 ISA 工业总线规范 IEEE - P996 的紧凑型工业控制总线类型,可与包括 Pentium 系列、AMD 系列在内的众多中央处理器搭配使用。之所以称其为 PC/104,是由于其拥有包含一组 64 针和一组 40 针,共 104 针引脚的总线插头(图 2-1)。这 104 根信号线与数据总线长度为 16 位的 ISA 总线一样,包括地址线、数据线、控制线、时钟线和电源线等部分,具体引脚定义因品牌、配置等不同而有所区别。

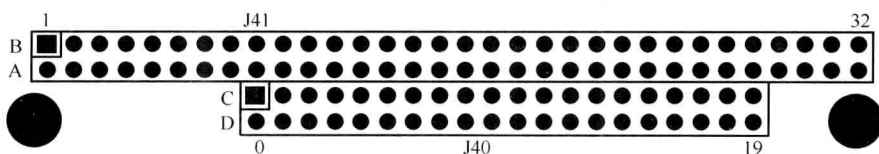


图 2-1 PC/104 总线结构

近年来,PCI 高速总线结构的涌现及其与 PC/104 系统的结合,进一步提高了以 ISA 总线为设计蓝本的原 PC/104 总线结构的数据传输速度,这类扩展有 PCI 总线的 PC/104 系统被称为 PC/104 - Plus,它在保持 PC/104 总线控制器原有特性的基础上,通过增加的 3×40 共 120 孔总线连接器进行扩展,可以连接高速外接设备,提高了基于 PC/104 总线的控制系统性能。

PC/104 主板精简了传统的、体积庞大的 PC 机结构及其相关硬件,以满足嵌入式控制系统要求,其硬件结构如图 2-2 所示。在板集成了完成控制任务所必需的低功耗的 CPU、显卡、网卡及 I/O 接口(串口、USB、鼠标键盘接口)等,同时在板配置数百兆容量的 RAM 和大容量闪存接口以取代传统的 PC 机上的硬盘。相比于传统 PC 机和其他控制器,PC/104 具有如下优势:

(1) 小尺寸结构: PC/104 可以看作是缩小为 3.8 英寸、3.9 英寸的 ISA 总线板卡,其标准尺寸为 $90\text{mm} \times 96\text{mm}$ 。

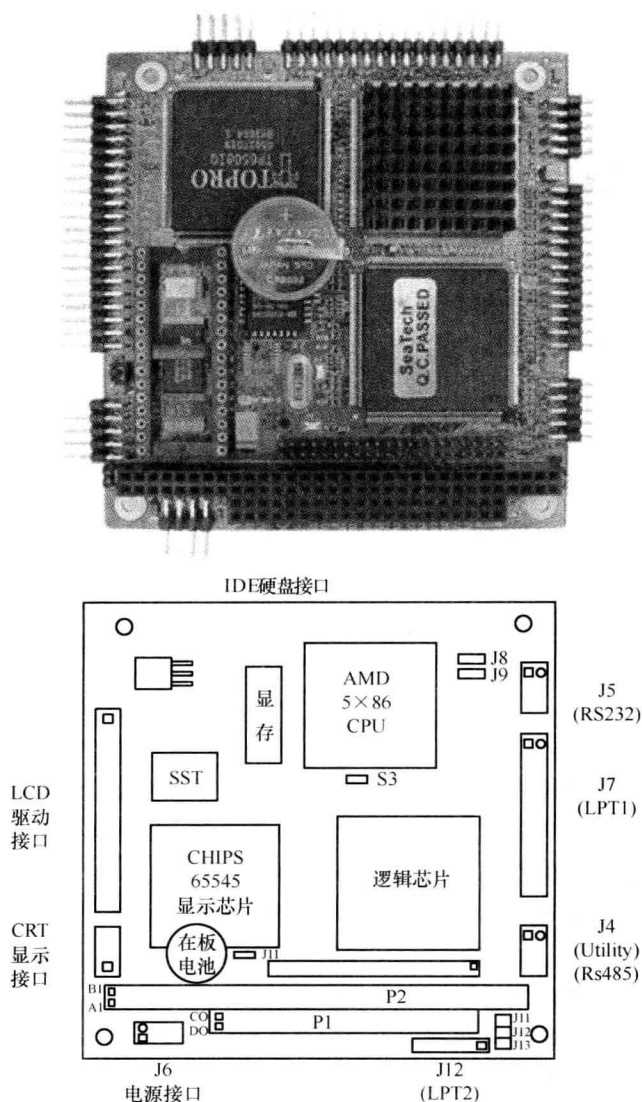


图 2-2 PC/104 主板硬件结构

(2)堆栈式连接:去掉了传统 PC 机常用的总线背板和插板滑道,以“针”和“孔”形式对总线进行层叠连接,也就是通过上层的针和下层的孔相互插接实现 PC/104 总线模块之间总线的连接,如图 2-3 所示,保证 PC/104 总线控制器极好的抗震性,同时也更便于在小空间内与其他 PC/104 总线形式的扩展模块板卡(数据采集卡、网络通讯卡等)进行组合,扩充其功能。

(3)轻松总线驱动:各种插卡广泛采用 VLSI 芯片、低功耗的 ASIC 芯片、门阵列等,并且使用大容量固态盘进行数据存储,大大减少了元件数量和电源消耗,4mA 总线驱动即可使模块正常工作,功耗低于 10W,且可在 $-30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 的恶劣环境下正常工作。

同时,所有与普通 PC 机兼容的操作系统、开发工具、应用软件都可以直接运行或者移植到 PC/104 中,这就便于利用 PC 机系统丰富的软件资源,降低软件购买、学习、培训等方面的成本。