



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电子信息与电气学科规划教材·自动化专业

微型计算机控制技术

徐安 陈耀 李锐华 郭其一 编著 白英彩 审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
电子信息与电气学科规划教材·自动化专业

微型计算机控制技术

徐 安 陈 耀 李锐华 郭其一 编著

白英彩 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书围绕“微机控制算法及其实现”这一主题，系统而有重点地讲述了运动控制、常用控制、现代控制和智能控制中的各种主要算法的思路精髓和微机实现这些算法的要领，并从实际应用的角度出发，介绍了微机控制系统与信号的数学描述、常用数据结构和数据处理、嵌入式操作系统基础、系统设计及电磁兼容技术。根据信息与控制日益交融的发展趋势，介绍了微机控制网络与现场总线。

本书力求从电类专业“软（件）硬（件）兼施”、“强（电）弱（电）结合”的特色出发，对微型计算机控制技术的学习和应用提供切实的指导和帮助。本书可作为高等院校有关课程的教材，也可作为电子技术人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

微型计算机控制技术 / 徐安等编著. —北京: 电子工业出版社, 2008.10

电子信息与电气学科规划教材·自动化专业

ISBN 978-7-121-07394-6

I. 微… II. 徐… III. 微型计算机—计算机控制—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 142029 号

策划编辑: 凌 毅

责任编辑: 余 义

印 刷: 北京民族印刷厂

装 订: 北京鼎盛东极装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 22.25 字数: 570 千字

印 次: 2008 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 33.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

前 言

目前,绝大多数自动控制都是使用计算机来实现的。微型计算机控制技术的发展,使得以微型计算机为控制器核心的嵌入式测控装置与系统广泛渗透到国民经济的各行各业中,已经无时无刻、无处不在地影响着每个现代人的生活。

在我国高等工科院校中,普遍开设了微型计算机控制技术及其相关课程。本书围绕“微机控制算法及其实现”这一主题,系统而有重点地讲述了运动控制、常用控制、现代控制和智能控制中的各种主要算法的思路精髓和微机实现这些算法的要领,并从实际应用的角度出发,介绍了微机控制系统与信号的数学描述、常用数据结构和数据处理、嵌入式操作系统基础、系统设计及电磁兼容技术。根据信息与控制日益交融的发展趋势,介绍了微机控制网络与现场总线。

微型计算机控制技术内容十分丰富,每一个专题的详细阐述都需要一本或几本专著。本书注意了与“微控制器原理与应用”等相关课程的分工协调、统筹兼顾,力求从电类专业“软(件)硬(件)兼施”、“强(电)弱(电)结合”的特色出发,对微型计算机控制技术的学习和应用提供切实的指导和帮助。本书可作为高等院校有关课程的教材,也可作为电子技术人员的参考书。

实验和实践对微型计算机控制技术的学习和应用极为重要。本书在第11章中,以DP-01多MCU实验系统为平台,以多种控制算法、数据传输方式与总线在智能家居中的应用为主题,给出了微型计算机控制技术的设计性、综合性实验大纲,引导和鼓励學生发挥想象力和创造性。

多年来,于海生、周德泽、王晓明、桑楠、谢剑英、陈炳和、高金源、王慧、齐蓉、何玉彬、蔡德聪、阳宪惠、何克忠、袁南儿、蔡自兴、张乃尧、白英彩、吴启迪、窦振中、涂时亮、王常力、陈汝全、金以慧、王锦标、严隽薇、周立功、潘新民、胡寿松、吴坚等教授在微型计算机控制技术的教育园地里辛勤耕耘,本书多处引用了他们的研究成果,谨在此表示衷心的感谢。

广州周立功单片机发展有限公司上海分公司经理曾成奇、微芯科技咨询(上海)有限公司经理刘晖、飞思卡尔半导体(中国)有限公司上海分公司经理张明峰、高拓微电子技术有限公司经理魏敏和吴健等为本书提供了重要帮助,谨在此表示诚挚的感谢。

担任本书主审的上海交通大学白英彩教授认真审阅了全书,提出了指导性的建议和中肯的意见;研究生吴霄、张振富、顾鸣、郁海华、郭凯杰和丁才云等为程序设计和图文制作输入付出了辛勤的劳动,在此谨致以深切的谢意。

本书由徐安组织编写,李锐华、陈耀、郭其一分别参加了第3,6章和第7,8,10章的编写。本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,得到了同济大学教材、学术著作出版基金委员会的资助。

本书提供配套的电子课件,可登录电子工业出版社的华信资源教育网:www.huaxin.edu.cn或www.hxedu.com.cn,注册后免费下载。

限于编者水平,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。联系地址:
xuanb@online.sh.cn。

编 者

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 控制用微型计算机	(1)
1.1.1 控制用微型计算机的类型	(1)
1.1.2 控制用微型计算机的选用	(3)
1.2 微型计算机控制系统	(3)
1.2.1 微机控制系统的组成	(3)
1.2.2 微机控制系统的工作过程与方式	(4)
1.2.3 微机控制系统的功能与特点	(5)
1.2.4 微机控制系统的结构	(7)
1.3 微机控制技术的发展与作用	(10)
1.3.1 控制理论与控制技术的发展	(10)
1.3.2 微机控制技术的发展	(11)
1.3.3 微机控制技术的应用	(11)
1.3.4 微机控制技术的前景	(11)
习题与思考题	(12)
第 2 章 常用数据结构和数据处理	(13)
2.1 常用数据结构	(13)
2.1.1 数据结构的基本概念	(13)
2.1.2 控制系统的特殊数据结构	(20)
2.2 采样与数据处理	(22)
2.2.1 采样周期的选择	(22)
2.2.2 常用数据处理	(24)
2.3 数字滤波	(26)
2.3.1 常用数字滤波方法	(27)
2.3.2 数字滤波方法的选择	(29)
习题与思考题	(29)
第 3 章 微机控制系统与信号的数学描述	(30)
3.1 微机控制系统中的信号变换	(30)
3.1.1 信号的采样与保持	(31)
3.1.2 采样定理	(31)
3.1.3 离散时间信号	(32)
3.2 线性定常离散系统的描述与差分方程	(33)
3.2.1 线性定常离散系统的描述	(33)

3.2.2	线性常系数差分方程	(34)
3.2.3	应用迭代法求解差分方程	(34)
3.3	Z 变换及其应用	(35)
3.3.1	Z 变换定义	(35)
3.3.2	Z 变换方法	(36)
3.3.3	Z 逆变换	(42)
3.3.4	应用 Z 变换求解差分方程	(45)
3.4	脉冲传递函数	(46)
3.4.1	脉冲传递函数定义	(46)
3.4.2	零阶保持器及其脉冲传递函数	(47)
3.4.3	开环系统脉冲传递函数	(49)
3.4.4	闭环系统脉冲传递函数	(50)
	习题与思考题	(53)
第 4 章	运动控制技术	(54)
4.1	顺序控制	(54)
4.1.1	顺序控制原理	(54)
4.1.2	顺序控制系统特性	(55)
4.1.3	专用顺序控制器设计	(55)
4.1.4	通用顺序控制器的选用	(56)
4.2	程序控制	(56)
4.2.1	程序控制原理	(56)
4.2.2	逐点比较法直线插补	(57)
4.2.3	逐点比较法圆弧插补	(59)
4.2.4	运动控制芯片	(62)
4.3	可编程控制器	(63)
4.3.1	PLC 的主要功能与特点	(63)
4.3.2	PLC 的结构与工作原理	(64)
4.3.3	PLC 常用编程语言	(67)
4.3.4	PLC 的选用	(70)
4.4	直流电动机控制	(71)
4.4.1	直流电动机调速原理	(72)
4.4.2	直流电动机不可逆 PWM 系统	(74)
4.4.3	直流电动机可逆 PWM 系统	(75)
4.4.4	专用运动控制处理器	(79)
4.5	交流异步电动机控制	(81)
4.5.1	交流异步电动机变频调速原理	(81)
4.5.2	变频调速的机械特性及其补偿	(86)
4.5.3	SPWM 波发生器及其应用	(87)
4.5.4	矢量控制与直接转矩控制	(88)

4.6	步进电动机控制	(91)
4.6.1	反应式步进电动机的结构和工作原理	(91)
4.6.2	步进电动机的工作方式	(93)
4.6.3	步进电动机特性	(95)
4.6.4	步进电动机的驱动方式	(98)
4.6.5	步进电动机的控制	(100)
4.7	无刷直流电动机控制	(102)
4.7.1	无刷直流电动机的原理与结构	(102)
4.7.2	无刷直流电动机的绕组连接方式	(104)
4.7.3	无刷直流电动机的控制	(108)
	习题与思考题	(111)
第5章	常用控制技术	(112)
5.1	数字 PID 控制	(112)
5.1.1	PID 控制	(112)
5.1.2	PID 算法的计算机实现	(114)
5.1.3	PID 算法的改进	(115)
5.1.4	PID 控制的参数整定	(120)
5.2	纯滞后补偿控制	(123)
5.2.1	大林 (Dahlin) 算法	(123)
5.2.2	史密斯 (Smith) 预估控制	(126)
5.3	最少拍控制	(127)
5.3.1	不同控制对象的最少拍控制设计	(127)
5.3.2	不同输入函数的最少拍控制设计	(129)
5.3.3	最少拍控制设计的局限性	(131)
5.3.4	最少拍无纹波控制的设计	(132)
5.4	串级控制	(133)
5.4.1	串级控制系统结构和工作原理	(134)
5.4.2	串级控制系统的特点	(134)
5.4.3	串级控制系统的设计	(136)
5.4.4	串级控制系统的应用	(137)
5.5	前馈控制	(138)
5.5.1	前馈控制原理与结构	(138)
5.5.2	前馈-反馈控制	(138)
5.5.3	前馈-串级控制	(139)
5.5.4	前馈控制的设计原则与参数整定	(139)
5.6	线性数字控制器的计算机实现	(140)
5.6.1	线性数字控制器的一般形式	(140)
5.6.2	数字控制算法的计算机实现	(141)
	习题与思考题	(142)

第 6 章 现代控制技术	(144)
6.1 线性离散系统的状态空间描述	(144)
6.1.1 MIMO 线性离散系统的状态空间描述	(144)
6.1.2 线性离散系统状态方程的求解	(157)
6.1.3 线性离散系统的 Z 传递矩阵和 Z 特征方程	(159)
6.1.4 微型计算机控制系统的离散状态空间表达式	(161)
6.2 离散系统的能控性和能观测性	(164)
6.2.1 离散系统的能控性	(164)
6.2.2 离散系统的能观测性	(167)
6.3 离散系统的状态空间设计	(169)
6.3.1 MIMO 线性离散系统的状态空间设计方法	(169)
6.3.2 MIMO 离散系统设计实例	(170)
习题与思考题	(177)
第 7 章 智能控制技术	(179)
7.1 模糊控制	(179)
7.1.1 模糊数学基础	(179)
7.1.2 模糊关系与模糊推理	(185)
7.1.3 模糊控制原理	(191)
7.1.4 模糊控制设计实例	(195)
7.2 专家控制	(200)
7.2.1 专家系统	(200)
7.2.2 专家控制系统	(203)
7.2.3 专家控制系统的设计	(206)
7.3 人工神经网络控制	(208)
7.3.1 人工神经网络的基本模型	(209)
7.3.2 人工神经网络学习规则	(219)
7.3.3 人工神经网络控制的结构方案	(221)
7.3.4 人工神经网络控制的特点	(225)
7.4 多种控制策略的渗透和结合	(226)
7.4.1 模糊神经网络 (FNN) 控制	(226)
7.4.2 神经网络专家系统	(228)
7.5 基于进化和群体智能的控制算法	(230)
7.5.1 遗传算法	(230)
7.5.2 蚁群算法	(232)
习题与思考题	(235)
第 8 章 嵌入式操作系统基础	(236)
8.1 嵌入式系统	(236)
8.1.1 嵌入式系统的基本概念	(236)
8.1.2 嵌入式系统的体系结构	(236)

8.1.3	嵌入式系统的特点	(237)
8.1.4	嵌入式系统的类型	(237)
8.2	嵌入式操作系统	(238)
8.2.1	嵌入式操作系统的基本概念	(238)
8.2.2	嵌入式操作系统的实现技术	(239)
8.2.3	嵌入式操作系统的性能指标	(242)
8.2.4	嵌入式操作系统的分类	(243)
8.2.5	使用嵌入式操作系统的优缺点	(244)
8.3	典型的嵌入式操作系统	(245)
8.3.1	嵌入式 Windows	(245)
8.3.2	嵌入式 Linux	(250)
8.3.3	VxWorks	(255)
8.3.4	Nucleus PLUS	(256)
8.3.5	RTEMS	(258)
8.3.6	μ C/OS-II	(261)
8.4	嵌入式操作系统应用	(262)
8.4.1	嵌入式操作系统的选择	(262)
8.4.2	嵌入式操作系统的移植	(264)
8.4.3	嵌入式软件的发展趋势	(267)
	习题与思考题	(268)
第9章	网络与现场总线	(269)
9.1	数字通信与网络	(269)
9.1.1	总线的基本概念	(269)
9.1.2	数字信号传输与通信系统	(270)
9.1.3	计算机局域网	(272)
9.1.4	网络协议及其层次结构	(282)
9.2	分布式控制系统 (DCS)	(284)
9.2.1	DCS 结构与特点	(284)
9.2.2	直接测控级	(286)
9.2.3	过程优化级	(288)
9.2.4	生产管理、经营决策和 CIMS	(290)
9.3	现场总线控制系统 (FCS)	(292)
9.3.1	现场总线的技术特点与优点	(292)
9.3.2	现场总线的调度策略	(293)
9.3.3	现场总线的 OSI 模型	(294)
9.4	典型的现场总线	(294)
9.4.1	基金会现场总线 (FF)	(294)
9.4.2	LonWorks	(297)
9.4.3	Profibus	(300)

9.4.4	CAN	(303)
9.4.5	现场总线的困境	(304)
9.4.6	工业以太网	(305)
9.4.7	信号线与电源线合用电缆的研究	(309)
习题与思考题		(310)
第 10 章 微机控制系统设计		(311)
10.1	微机控制系统设计与实现	(311)
10.1.1	微机控制系统设计原则	(311)
10.1.2	系统的设计与实现过程	(312)
10.2	输入输出通道	(313)
10.2.1	开关量信号的调整	(313)
10.2.2	模拟量信号的调整	(314)
10.2.3	输入输出模板设计	(316)
10.3	电磁干扰的抑制、屏蔽与接地	(318)
10.3.1	共模与串模干扰的抑制	(318)
10.3.2	长线传输	(321)
10.3.3	信号线的选择与布线	(322)
10.3.4	屏蔽与接地	(324)
10.3.5	电源	(325)
10.4	人机界面与监控组态软件	(326)
10.4.1	人机界面	(326)
10.4.2	监控组态软件的特点	(328)
10.4.3	组态软件的数据流与典型构成	(329)
习题与思考题		(334)
第 11 章 微机控制技术实验		(335)
11.1	实验大纲	(335)
11.1.1	顺序控制及其在门禁系统中的应用	(335)
11.1.2	数字滤波及其在灯光子系统中的应用	(336)
11.1.3	运动控制及其在输送子系统中的应用	(337)
11.1.4	PID 控制及其在温度子系统中的应用	(338)
11.1.5	模糊控制及其在智能终端子系统中的应用	(339)
11.1.6	多种数据传输方式与总线在智能家居中的应用	(341)
11.1.7	网络与各子系统的整合在智能家居中的应用	(341)
11.2	DP-01 多 MCU 实验平台	(342)
11.2.1	DP-01 多 MCU 实验平台布局	(342)
11.2.2	DP-01 多 MCU 实验平台功能模块	(343)
参考文献		(344)

第1章 概 论

自动控制的主要功能是：没有人的直接参与，利用外加的设备或者装置，使被控对象（机器、设备或生产过程）的被控量（工作状态或参数）自动地按照预定的规律运行。在现代科学技术的众多领域中，自动控制技术起着越来越重要的作用。

目前，几乎所有的控制系统都是基于计算机来实现的。微型计算机控制技术的发展，使得以微型计算机为控制器核心的嵌入式测控装置与系统广泛渗透到各个领域，已经无时无刻、无处不在地影响着每个现代人的生活。

1.1 控制用微型计算机

自从 20 世纪 70 年代初 Intel 公司生产出第一个微处理器 4004 以来，随着半导体技术的进步，微型计算机得到了飞速的发展。已从 4 位机、8 位机、16 位机、32 位机，发展到目前的 64 位机。就微型机种类而言，不但有早期的 8086/8088，80286，80386，80486，以及相继问世的奔腾系列等功能齐全的高性能微型计算机，而且还出现了许多小巧灵活、从 8 位到 16 位的微控制器，由于各种复杂运算的需要而出现的 DSP，以及 32 位 ARM 处理器，这些都进一步拓展和细化了微机应用的广度和深度。

从应用角度出发，微型计算机可以分为面向事务处理的通用型微机和面向实时监测控制的控制用微机。除了微型计算机的共同特性外，控制用微机在设计思想、系统结构、硬软件组成、开发工具、使用方法等方面还有许多特点，例如：

- 高可靠性；
- 软件和操作系统的实时性；
- 丰富的输入输出（I/O）接口；
- 多样的人机接口。

控制用微机的组成如图 1.1 所示，根据实际应用的需要，控制用微机所含的软件、硬件各不相同。

1.1.1 控制用微型计算机的类型

1. 单片微型计算机

单片微机（包括 DSP），是工业控制和智能化系统中应用最多的模式。这种模式的最大特点是设计者可根据自己的实际需要进行开发、设计，在单片机的基础上扩展一些接口，并开发一些应用软件，即可组成完整的单片机系统，因而更加方便、灵活，并且成本低，是目前在智能化仪器和控制中，应用最多的控制用微型计算机。

2. 可编程逻辑控制器（PLC）

可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller, PLC）是早期的继电器逻辑控制系统与微型计算机技术相结合的产物。如今的 PLC 几乎无一例外地采用微处理器作为主控制器，而采用大规模集成电路作为存储器及 I/O 接口，因而发展十分迅速。其可靠性、功能、价格、

体积都达到了比较成熟的境界，特别是卓越的技术指标和优异的抗干扰能力，在各个自动化领域，从柔性制造系统、机器人到工业局部网络都得到了广泛的应用。

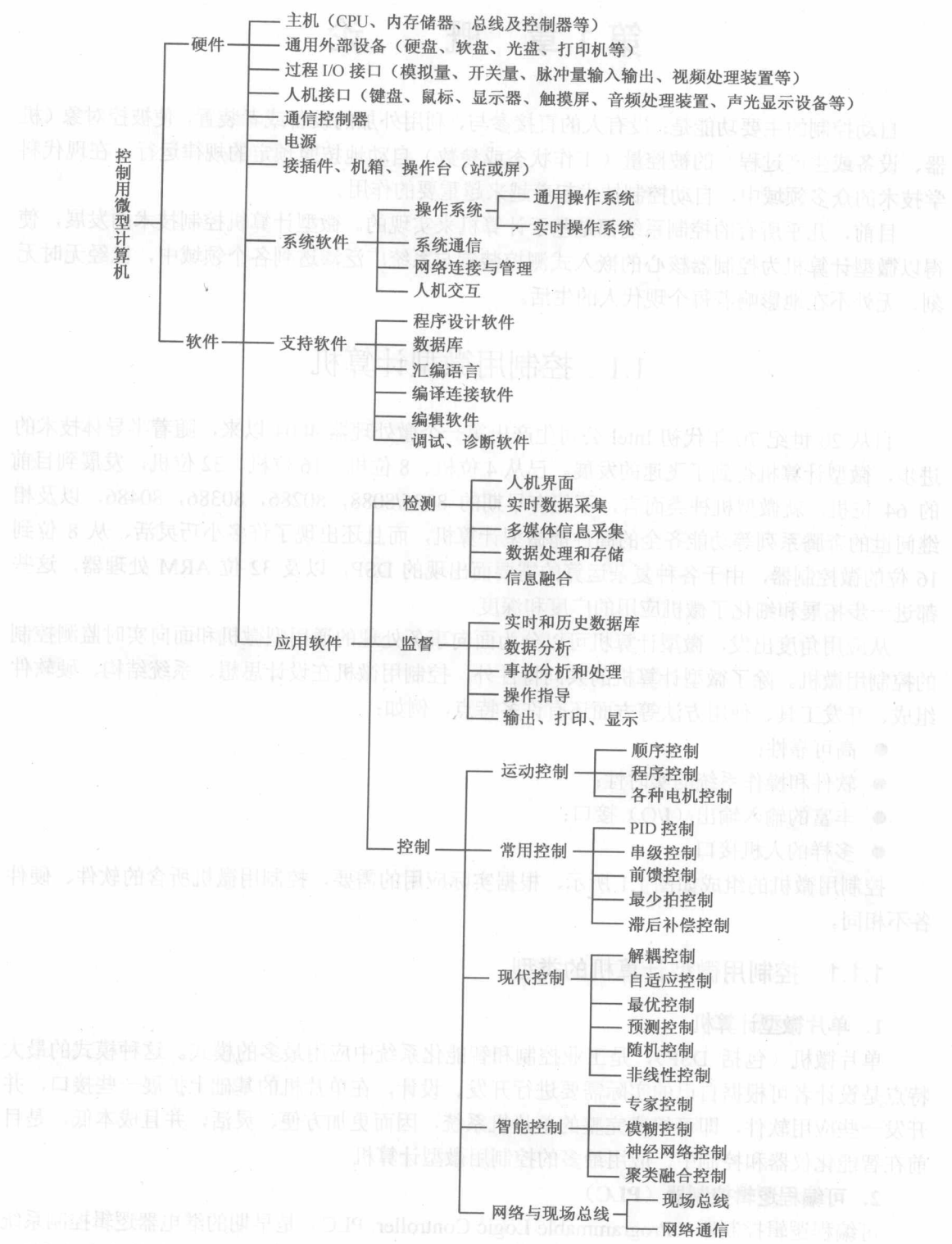


图 1.1 控制用微机的组成

从功能上, PLC 可以进行条件控制、定时控制、计数控制、顺序控制、A/D 及 D/A 转换、数据处理、通信与联网等功能。

在特点上, PLC 具有可靠性高、编程容易、组合灵活、输入/输出功能模块齐全、安装方便、运行速度快等优点。

近年来, 高档 PLC 微处理器大量采用多种模块和 DSP, 能力更是大大增强。

3. 工业控制计算机 (IPC)

工业控制计算机 (IPC) 一方面继承了个人计算机丰富的软件资源, 配以相应的工业应用软件, 使软件开发更加方便; 各种文字处理、报表打印、数据处理曲线、工业控制流程图、PID 柱形图等图形处理都变得简单。另一方面, 在结构上采用通用的底板总线插座系统, 将主板分成几块 PC 插件, 如 CPU 板、存储器板等, 把原 PC 电源改造成工业电源, 采用密封机箱, 并采用内部正压送风。

工业 PC 不但可以完成曾经流行于工业控制领域的 STD 总线工业控制机的检测、控制等各种功能, 而且使得工业 PC 的程序设计变得更加方便。随着 PC 的不断升级, 工业 PC 的性能也会相应提高。

1.1.2 控制用微型计算机的选用

随着应用规模的不同, 可参考下面的原则选择控制用微型计算机:

- 对于小型控制系统、智能化仪器及智能化接口, 可采用单片机模式, 若是新产品或用量较大, 也应尽量采用单片机开发;
- 中等规模的控制系统, 为了加快系统的开发速度, 应尽量选用现成的工业控制微机, 如 PLC、工业控制机等, 应用软件一般可自行开发;
- 大型的工业控制系统, 一般选用工业 PC 或专用集散控制系统, 软件可自行采用高级语言开发 (如 C 语言), 或使用现成的组合软件 (各种工业控制软件, 如组态软件等)。

1.2 微型计算机控制系统

微型计算机控制系统就是以微型计算机为控制器核心的自动控制系统, 开环和闭环控制系统的一般形式如图1.2、图1.3所示, 微型计算机控制系统的一般形式如图1.4所示。

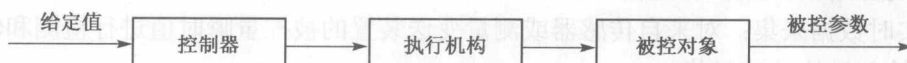


图 1.2 开环控制系统框图

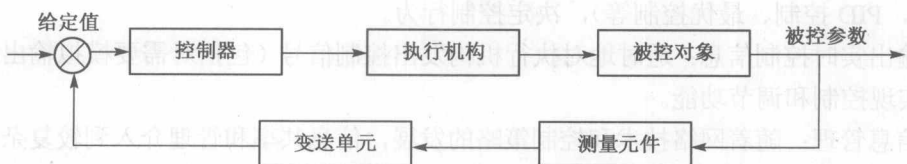


图 1.3 闭环控制系统框图

1.2.1 微机控制系统的组成

一般来说, 微机控制系统由微型计算机、接口电路、外部通用设备和被控对象等组成,

其典型结构如图 1.5 所示。被测参数的模拟量输入通道是：经传感器、变换器转换成统一的标准信号，再经多路开关分时送到 A/D 转换器，进行模拟/数字转换后的数字量通过接口送入计算机；在计算机内部，用软件对采集的数据进行处理和计算；输出的数字量通过 D/A 转换器转换成模拟量，然后经模拟量输出通道输出，再经反多路开关与相应的执行机构相连，以便对被控对象进行控制。

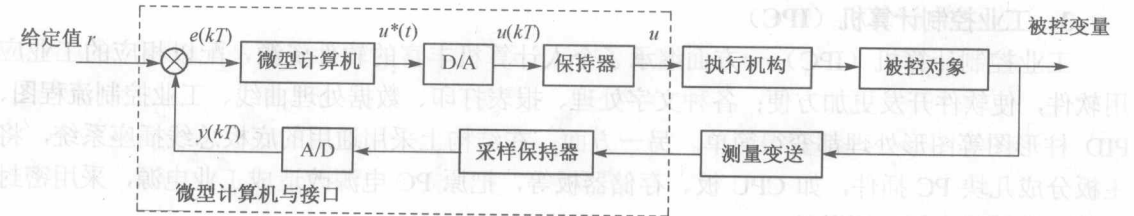


图 1.4 微型计算机控制系统的一般形式

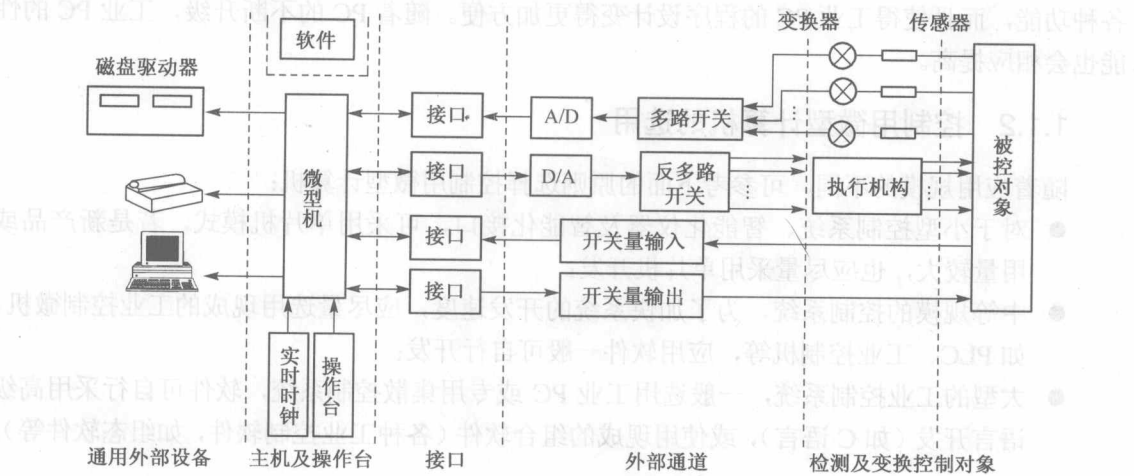


图 1.5 典型微机控制系统的组成

1.2.2 微机控制系统的工作过程与方式

1. 微机控制系统的工作过程

- ① 实时数据采集：对来自传感器或测量变送装置的被控量瞬时值进行检测和输入（包括对模拟输入量的 A/D 转换）。
- ② 实时控制决策：对采集到的被控量进行分析和处理，根据既定的控制策略或控制规律（例如，PID 控制、最优控制等），决定控制行为。
- ③ 输出实时控制信息：适时地对执行机构发出控制信号（包括对需要模拟输出量的 D/A 转换），实现控制和调节功能。
- ④ 信息管理：随着网络技术和控制策略的发展，信息共享和管理介入到较复杂的控制系统中，使整个系统达到更高的动态品质指标，及时监督被控参数并对异常状态做出迅速的处理。

2. 微机控制系统的工作方式

(1) 在线方式

被控对象和微机控制系统直接连接，并受其控制的方式称为在线方式（联机方式）。实时控制系统必然是在线系统，但只有符合实时性要求的在线系统才是实时系统。

(2) 离线方式

被控对象不和微机控制系统连接,也不受其直接控制,需要人进行联系并进行相应操作的方式称为离线方式(脱机方式)。

1.2.3 微机控制系统的功能与特点

1. 微机控制系统的功能

典型的微机控制系统应具有检测、监督和控制三方面功能。

(1) 检测功能

对被监测控制的对象参数进行采集与处理,并以一定的形式输出。

(2) 监督功能

将实时检测和人工输入的数据等信息进行分析、归纳、整理、计算等二次加工,做出诊断和预测,供有关人员参考、判断,其输出一般不直接作用于被控对象。

(3) 控制功能

在检测的基础上进行信息加工,根据预定的控制策略形成控制输出,直接作用于被控对象。

控制用微型计算机具有高速度、大容量和智能化的特点,可以实现上述三种功能的系统集成,构成完整的自动化监测控制系统;也可以针对实际应用的需要减少某些功能,以降低成本,降低复杂性,增强可维护性。

2. 微机控制系统的特点

(1) 实时性

实时性是系统对外界激励及时做出响应的能力,通常用“系统响应时间”来衡量。对随机发生的外部事件,微机控制系统应及时采集突发信号,并在所要求的时间内完成规定的任务。这是微机控制系统的关键特点,也是其重要的性能指标。

实时系统中,各种操作(中断、任务调度等)赋有不同优先级,如果高优先级的操作条件得到满足,系统将及时中断正常的运行,转而执行高优先级的操作。

不同的应用系统对实时性的要求不同。例如,温度系统由于温度变化的时间常数相对较大,系统响应时间一般为秒级;而电力监测控制系统由于要实时测量多处的电力负荷,分析故障,进行保护,如果响应时间过长,将会引起失控,甚至造成电力系统崩溃的严重后果,因而要求测控系统的响应时间是毫秒级甚至是微秒级。

与实时性有关的因素有如下两方面:

① 硬件方面。CPU 的时钟频率、字长、指令执行速度、中断优先级的处理电路等。

② 软件方面。操作系统对程序运行的实时调度和中断管理功能;程序的响应和处理速度等。合理地选用实时操作系统、模块的编程语言、程序结构、数据处理方法及控制算法,可以得到较好的效果。

(2) 可靠性

可靠性是系统无故障运行的能力。通常用“平均无故障运行时间”,即平均的故障间隔时间 MTBF (Mean Time Between Failures) 来衡量。控制用微机的 MTBF 应在 10^5 小时以上。

保证系统可靠性的措施有如下四方面:

① 硬件方面。元器件经过严格的挑选、老化;印制电路板的设计、制造经过周密考虑;整机的安装、调试、测试等都有高水平的生产工艺和严格的质量标准。降低元器件的负荷率,特别是各 CPU 负荷率应小于 60%。重要的系统可采用双处理器或多处理器结构。增大系统

内存,减小内存覆盖面和虚拟内存,以提高数据的准确可靠性。各种与现场有关的信号都要经过隔离后再输入计算机。采用高可靠专用电源,适应较宽的电网电压波动,并可承受瞬间浪涌冲击。电源容量要有足够的富裕,例如,正常运行时只用到其额定值的 1/2;电源系统要有保证在电网不稳、电气干扰强烈的环境中可靠运行的防干扰措施。

② 软件方面。设计处理各种异常的检错纠错程序、适用的通信与容错支持程序、自诊断和自恢复程序。软硬件配合的容错设计,包括系统自诊断、自恢复、自动切换等。当系统内某些软硬件出现故障时,系统仍能完成预定的任务或某些重要的不允许间断的任务。采用标记检查、多级口令设置、加密等安全性控制方法来保证系统对自身文件和用户文件的存取合法性,防止对应用系统有意或无意的破坏。

③ 机械结构方面。通常采用全钢抗震防磁结构以适应电磁干扰强、温度过高或过低、湿度大、含腐蚀性物质、尘土多、颠簸振动大的恶劣环境;采用不锈钢材料或抗腐蚀涂层加工机箱,机箱内部保持正压,加滤网和双冷风扇抵御尘土和腐蚀性气体;加固机箱、采用避震器或安装可调整的弹性压条,以提高抗冲击和振动性能。

④ 系统组成方面。可选用下列冗余结构:

- 双机热备份:两套系统同时运行,正常情况下,备用机也在随时采集并保留实时数据,一旦主系统出现故障,切换装置立即把主控权切换到备用机使其成为主系统。双机热备份中还可采用维修快捷方便的带电拔插部件,以减小断电带来的影响,使系统出现故障后能尽早恢复正常状态。
- 双机冷备份:一用一备,工作组不正常时,备用组可立即投入运行。
- 部分硬件冗余:例如,对于寿命较短的磁盘(正常读写寿命平均为 5000 小时),可采用硬盘镜像方式,即双硬盘来保留同样的数据,也可采用磁盘阵列形成冗余结构,即使个别硬盘损坏,也不影响系统正常运转。

(3) 可维修性

可维修性包括进行维护工作的方便、快捷,并在最短时间内排除系统故障的能力。

保证系统可维护性的措施有以下两方面:

① 硬件方面。整体结构便于装卸和维修,便于及时更换;更换后,不必过多调整,就能保证系统运行状态和性能不受影响。有足够的信号显示出模板和部件的运行状态,并具有比较完善的诊断功能,便于准确查找故障。模块和部件可带电拔插。

② 软件方面。应用程序易阅读、易理解、易修改、易扩充、易移植。具有在线实时诊断程序,可以在不影响系统运行的情况下及时发现故障。

(4) 大量的现场交换信息

① 数据信息,包括模拟量、开关量和脉冲量的输入和输出。

② 多媒体信息,特别是图像信息已经进入控制领域,而且起着数据信息不能替代的作用。例如,视频信息经处理后可用以显示图像,也可以与数据信息融合后用做控制信号。

(5) 多种人机交互方式

除常规的键盘、鼠标、CRT 和 LCD 显示器外,还有触摸屏、专用键盘、大屏幕显示、语音等。

(6) 通信功能

多台监测控制计算机之间、相同类型或不同类型总线之间、计算机网络之间,实时、可靠地传递信息。

(7) 信息处理和控制算法

信息处理和控制算法的设计、开发、调试是研制微机控制系统难度最大的核心内容，也是开发设计人员的用武之地；软件的开发编制不但和采用的操作系统、软件开发工具有关，而且还和硬件（特别是接口部件）及生产工艺的要求有密切的关系。

近年来，针对各种检测控制对象和应用要求，以各种类型的控制用微机为核心，嵌入到应用系统中，构成了形形色色的自动化系统。千变万化的嵌入式应用对微机控制系统的性能提出了更高的要求。

1.2.4 微机控制系统的结构

随着微机控制系统功能和控制对象要求的不断提高，对于不同的被控对象及不同的控制要求，可采用不同的结构。

1. 操作指导控制系统

操作指导是指计算机的输出与各个控制单元不直接发生联系，而只对系统过程参数进行收集、加工处理，然后输出数据。控制动作实际上由操作人员接受计算机指示去完成。其原理如图1.6所示，属于开环控制型结构。

计算机根据一定的控制算法，依据输入通道（模拟量输入通道 AI 或开关量输入通道 DI）输入的由测量元件测得的信号数据，计算出供操作人员选择的最优操作条件及操作方案。操作人员根据计算机的输出信息，如 CRT 显示图形或数据、打印机输出等去改变调节器的给定值或直接操作执行机构。

操作指导控制系统是最早和最简单的计算机控制系统，其优点是结构简单，控制灵活而且安全。缺点是要由人工操作，速度受到限制，不能同时控制多个对象。它常用于进行数据检测处理及试验新的数学模型和调试新的控制程序等。

2. 直接数字控制（DDC）

直接数字控制（Direct Digital Control, DDC），是指计算机通过测量元件对一个或多个物理量进行巡回检测，经输入通道输入计算机，并根据规定的控制规律和给定值进行运算，然后发出控制信号直接去控制执行机构，使各个被控制量达到预定的要求。其系统原理图如图1.7所示。

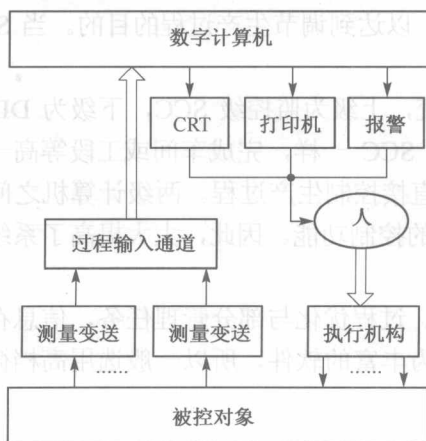


图 1.6 操作指导控制系统

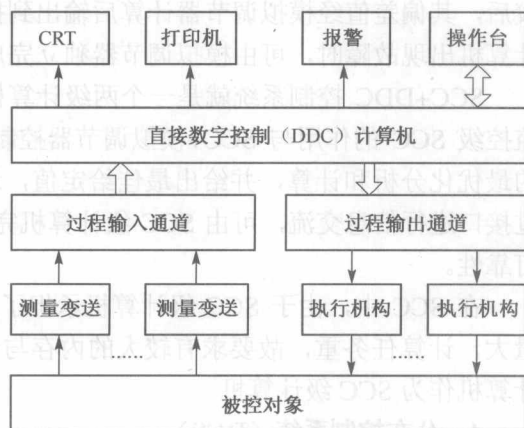


图 1.7 直接数字控制