

enter



机械工业出版社
China Machine Press

微型计算机控制新技术

曹承志 编著

王成元 主审



机械工业出版社

本书系统地介绍了微机控制系统的基本理论和应用技术。全书共十一章, 主要内容包括: 微机控制系统的组成、分类与发展趋势; 接口技术与输入输出通道; 开环数字程序控制; 线性离散系统的数学描述与分析; 数字 PID 控制; 数字调节器直接设计方法; 模糊控制技术; 神经网络控制技术; 基于遗传算法的控制技术; 现场总线技术; 微机控制系统的设计。本书是作者在总结近年来教学和科研成果, 学习国内外微机控制领域最新技术的基础上编写而成的。全书内容体系新颖, 选材具有先进性、系统性和实用性的特点。

本书可作为高等学校电子信息工程专业、计算机科学与技术专业、电工及自动化类专业的高年级本科生及研究生的教材, 也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

微型计算机控制新技术/曹承志编著. —北京: 机械工业出版社, 2001.3

ISBN 7-111-08648-1

I. 微… II. 曹… III. 微型计算机-计算机控制 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 01985 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王小东 版式设计: 张世琴 责任校对: 刘志文

封面设计: 李雨桥 责任印制: 路 琳

中国建筑工业出版社密云印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·24 印张·591 千字

0 001—3 000 册

定价: 32.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

随着计算机技术的飞速发展和应用领域的不断拓宽,使微型计算机控制成为计算机应用中最有潜力和最为活跃的一个领域。面对挑战与机遇并存的发展形势,不仅电子信息工程专业、计算机科学与技术专业、电工及自动化专业的高年级本科生、研究生,而且许多工程技术人员也急需掌握微机控制技术的研究与开发手段,实现对传统产业的技术改造、研制新型特别是智能化的工业产品。本书是针对这一需要,在总结近年来教学和科研成果、学习国内外微机控制领域中最新技术的基础上编写而成的。选材注意了内容的先进性、系统性和实用性。

全书共分十一章。第一章微机控制系统概述,包括微机控制系统的组成、分类和发展趋势;第二章接口技术与输入输出通道,包括并行与串行接口,输入与输出通道,信号采样与保持,D/A转换器,A/D转换器;第三章开环数字程序控制,包括顺序控制,数字程序控制,步进电动机的控制,PC微机控制步进电动机系统举例;第四章线性离散系统的数学描述与分析,包括离散系统的差分方程描述,线性离散系统的 z 传递函数描述,线性离散系统的状态方程描述,线性离散系统的稳定性分析;第五章数字PID控制,包括数字PID控制算法,数字PID调节器的改进,数字PID调节器的参数整定,数字PID调节器的自寻最优控制;第六章数字调节器直接设计方法,包括最少拍系统的设计,最少拍无波纹系统的设计,达林(Dahlin)算法,数字调节器设计的讨论;第七章模糊控制技术,包括模糊控制的数学基础,模糊控制的理论基础,模糊控制系统概述,模糊控制器原理,模糊控制器设计,双入单出模糊控制器设计;第八章神经网络控制技术,包括神经网络基础,神经网络的结构和学习规则,典型前向网络——BP网络,典型反馈网络——Hopfield网络,应用神经网络产生模糊集的隶属函数,神经网络控制原理,神经网络在控制工程中的应用,单神经元控制的直流调速系统;第九章基于遗传算法的控制技术,包括遗传算法的基本原理,遗传算法的模式理论,遗传算法应用中的一些基本问题,高级遗传算法,微种群和双种群遗传算法,基于遗传算法的系统在线辨识,基于遗传算法的模糊控制;第十章现场总线技术,包括现场总线概述,数据通信技术,计算机局域网络,五种有影响的现场总线,OSI参考模型与现场总线通信模型,FF现场总线技术,现场总线控制系统设计;第十一章微机控制系统的设计,包括微机控制系统的研制流程,微机控制系统的选择与配置,微机控制系统应用程序设计,微机控制系统的抗干扰措施,微机控制系统的可靠性措施。

本书取材广泛,内容新颖,面向21世纪学科前沿,力求反映微机应用技术发展的最新水平,特别是模糊控制、神经网络控制、遗传算法和现场总线这些极富吸引力的新型控制策略,以适应学科相互渗透、交叉和融合,计算机控制技术发展分散化、网络化和智能化的重要趋势。

本书遵循“宽编窄用”的内容选取原则,以适应不同专业、不同层次、不同教学时数的需要,同时各章节力求做到原理、技术与应用并重,理论与实践结合,符合教学规律。

本书既可以做为高等学校相关专业本科生或研究生的教材,也可供从事微型计算机控制

IV

工作的工程技术人员参考。

本书由沈阳工业大学曹承志执笔编著，博士生导师王成元教授主审。

本书在编写过程中，得到了博士生导师李荣德教授、博士生导师唐任远教授的指导和帮助，谨此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，引用了参考文献所列论著和论文的有关部分，在此谨向以上作者表示由衷的谢意。

由于笔者水平有限，书中难免存在缺点和错误，诚恳希望读者提出批评和改进意见，以便在构架、内容和细节等方面做得更加完善。

编著者

2000年11月

目 录

前言

第1章 微机控制系统概述 1

- 1.1 微机控制系统的组成 1
- 1.2 微机控制系统的分类 3
- 1.3 微机控制系统的发展 6

第2章 接口技术与输入输出通道 8

- 2.1 概述 8
- 2.2 并行与串行接口 12
- 2.3 输入与输出通道 25
- 2.4 信号采样与保持 31
- 2.5 D/A转换器 35
- 2.6 A/D转换器 42

第3章 开环数字程序控制 52

- 3.1 顺序控制 52
- 3.2 数字程序控制 59
- 3.3 步进电动机的控制 72
- 3.4 PC微机控制步进电动机系统举例 79

第4章 线性离散系统的数学描述 与分析 83

- 4.1 离散系统的差分方程描述 83
- 4.2 线性离散系统的 z 传递函数描述 89
- 4.3 线性离散系统的状态方程描述 125
- 4.4 线性离散系统的稳定性分析 138

第5章 数字PID控制 150

- 5.1 数字PID控制算法 150
- 5.2 数字PID调节器的改进 153
- 5.3 数字PID调节器的参数整定 160
- 5.4 数字PID调节器的自寻最优控制 166

第6章 数字调节器直接设计方法 170

- 6.1 最少拍系统的设计 170
- 6.2 最少拍无波纹系统的设计 178
- 6.3 达林(Dahlin)算法 183
- 6.4 数字调节器设计的讨论 189

第7章 模糊控制技术 193

- 7.1 模糊控制的数学基础 193
- 7.2 模糊控制的理论基础 203
- 7.3 模糊控制系统概述 212

- 7.4 模糊控制器原理 217

- 7.5 模糊控制器设计 223

- 7.6 双入单出模糊控制器设计 225

第8章 神经网络控制技术 231

- 8.1 神经网络基础 231
- 8.2 神经网络的结构和学习规则 233
- 8.3 典型前向网络——BP网络 236
- 8.4 典型反馈网络——Hopfield网络 239
- 8.5 应用神经网络产生模糊集的隶属函数 242
- 8.6 神经网络控制原理 247
- 8.7 神经网络在控制工程中的应用 248
- 8.8 单神经元控制的直流调速系统 252

第9章 基于遗传算法的控制技术 255

- 9.1 遗传算法的基本原理 255
- 9.2 遗传算法的模式理论 260
- 9.3 遗传算法应用中的一些基本问题 265
- 9.4 高级遗传算法 270
- 9.5 微种群和双种群遗传算法 273
- 9.6 基于遗传算法的系统在线辨识 276
- 9.7 基于遗传算法的模糊控制 278

第10章 现场总线技术 282

- 10.1 现场总线概述 282
- 10.2 数据通信技术 286
- 10.3 计算机局域网 297
- 10.4 五种有影响的现场总线 309
- 10.5 OSI参考模型与现场总线通信模型 312
- 10.6 FF现场总线技术 314
- 10.7 现场总线控制系统设计 328

第11章 微机控制系统的设计 332

- 11.1 微机控制系统的研制流程 332
- 11.2 微机控制系统的选择和配置 335
- 11.3 微机控制系统应用程序设计 339
- 11.4 微机控制系统的抗干扰措施 355
- 11.5 微机控制系统的可靠性措施 367

参考文献 375

第 1 章 微机控制系统概述

电子计算机的出现，在科学技术上引起了一场深刻的革命，特别是随着半导体技术的发展，各种高性能、低价格的微型计算机相继问世。据统计，由于微处理器的性能和集成度几乎每两年提高一倍，而价格却降低一个数量级，这使得微机不仅在科学计算、信息处理、事物管理和自动控制等方面占重要地位，并且在日常生活中也发挥了不可缺少的作用。目前，微机科学技术的发展及其应用的深广度，已成为衡量一个国家现代化水平的重要标志之一。

1.1 微机控制系统的组成

微机控制系统包括硬件和软件两大部分。硬件是指微机本身及其外围设备，软件则为管理计算机的程序以及过程控制的应用程序。硬件是微机控制系统的基础，软件是微机控制系统的灵魂。微机控制系统本身是通过各种接口及外围设备与生产过程发生关系，并对生产过程进行数据处理及控制的。

众所周知，典型的连续控制系统的结构如图 1-1 所示，它由控制对象、测量环节、比较器、调节器和执行器构成输出反馈控制系统。调节器的作用是使被控参数跟随给定值。

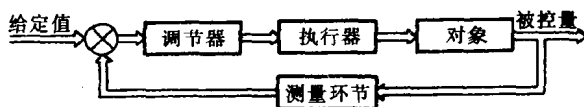


图 1-1 典型的连续控制系统

而计算机闭环控制系统的结构与典型的连续系统十分相似，只是调节器由数字调节器实现，为了信号的匹配，微机的输入输出两侧分别带有多路开关、采样保持器、模-数转换器、数-模转换器和保持器，如图 1-2 所示。

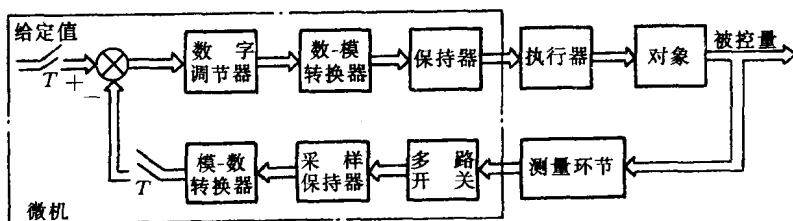


图 1-2 输出反馈微机控制系统

下面就微机控制系统各部分的功能进行说明。

1.1.1 硬件

硬件由主机、接口电路及外围设备组成。不同的系统，所需硬件也不同，一般可根据控制系统的需要进行扩展。现已生产出具有各种功能的插件板，可用标准总线连接起来，使用非常方便，如 STD 总线构成的各种工业控制机，即属此类。

1. 主机 (CPU)

它是整个控制系统的指挥部，通过接口可向系统的各个部分发出各种命令，同时对系统的各参数进行巡回检测、数据处理以及完成控制计算、报警处理和逻辑判断等工作。

2. 接口与输入输出通道

它是主机与被控对象进行信息交换的纽带。一般在微机控制系统中，主机输入数据或者向外部发布命令都是通过接口及输入输出通道进行的。由于微机只能接收数字量，而一般的连续化生产过程大都是以模拟量为主，因此，为实现微机控制，还必须把模拟量变成数字量，或者把数字量变成模拟量。目前，此种通道已采用大规模集成电路，如 A/D、D/A 转换器和接口板等。

3. 通用外围设备

它们主要是为了扩大主机的功能而设置的，用来显示、打印、存储及传送数据。这些专用的设备就像计算机的眼、耳、鼻、舌和四肢一样，大大扩充了主机的功能。

4. 检测元件及仪表

在微机控制系统中，为了收集和测量各种参数，广泛采用了各种检测元件和仪表，它们的主要功能是把被检测的参数由非电量转换为电量，如热电偶把温度变成 mV 信号，压力变送器把压力变成电信号等。这些信号转换成统一的微机标准电平后再送入微机。因此，检测元件精度的高低直接影响微机控制系统的精度。

此外，为了控制生产过程，还需要执行机构，常用的执行机构有电动、液动和气动等控制形式，另外还有动力电机和控制电机等。

5. 操作台

它是人-机对话的联系纽带。通过它操作人员可以向微机输入程序，修改内存的数据，显示被测参数以及发出各种操作命令等。它主要由作用开关、功能键、LED 数码管及 CRT 显示和数据键四部分组成。

1.1.2 软件

软件是指能完成各种功能的微机程序的总和，如操作系统、监控程序、管理程序、控制程序、计算和自诊断程序等。因此，软件是微机系统的神经中枢，整个系统的动作都是在软件指挥下进行协调工作的。软件通常分为两大类；一类是系统软件，另一类是应用软件，见表 1-1。

表 1-1 控制用微机软件系统

系统软件	程序设计系统	程序设计语言 语言处理程序 服务程序	
	操作系统		
	诊断程序	调机程序 诊断修复程序	
应用软件	过程监控程序	巡回检测程序 数据处理程序 上下限检查及报警程序 工艺操作台服务程序	
	过程控制程序	判断程序 过程分析程序 开环控制程序	
		闭环控制程序	PID 控制 最优控制 复杂规律控制
		事故处理程序	
	公共应用程序	制表打印格式 服务子程序库	

系统软件带有一定的通用性，一般由微机设计者提供。应用软件是用户根据要解决的实际问题而编写的各种程序。在微机控制系统中，每个控制对象或控制任务都配有相应的控制程序，用这些控制程序来完成对各个控制对象的不同要求。微机控制系统随着硬件技术的日臻完善，对软件提出了越来越高的要求。只有软件和硬件相互有机配合，才能充分发挥微机的优势，研制出完善的微机控制系统。

1.2 微机控制系统的分类

由于被控对象不同，工业生产过程及被测参数也千差万别，所以由微机组成的控制系统也不尽相同。下面根据微机控制系统的工作特点进行分类叙述。

1.2.1 数据处理系统

尽管数据处理不属于控制的范畴，然而一个微机控制系统离不开数据的采集和处理。该系统将生产过程的各种需要收集的参数，经测量变换器、采样及模/数 (A/D) 变换器变换后，定时巡回送入微机内存中，然后由微机对数据进行分析处理。当出现异常时发出声光报警，需要时，可由人工请求打印输出或选点显示，或者按要求定时制表打印或将数据处理的结果纪录在外存储器中，作为资料保存和供分析使用。微机数据处理系统如图 1-3 所示。

1.2.2 操作指导控制系统

操作指导控制系统属开环控制型结构，如图 1-4 所示。这时微机的输出不直接作用在执行机构上，微机只是在规定的时刻采集和处理过程参数数据，输出一些数据（打印或显示），由操作人员依照这些数据去调节给定值或直接操作执行机构。该系统微机只起数据处理和监督作用。其优点是可以安全地试验新方案、新设备；或在闭环控制接通之前先进行这种开环控制的试运行，便于考核微机系统工作的正误；或用于试验新的数学模型和调试新的控制程序。其缺点是要由人工操作，速度受到限制，且不能控制多个回路。它相当于模拟仪表控制系统的手动与半自动工作状态。

1.2.3 直接数字控制系统 (DDC)

直接数字控制系统 (Direct Digital Control)，简称 DDC，它是用一台微机对多个被控参数进行巡回检测，检测结果与设定值进

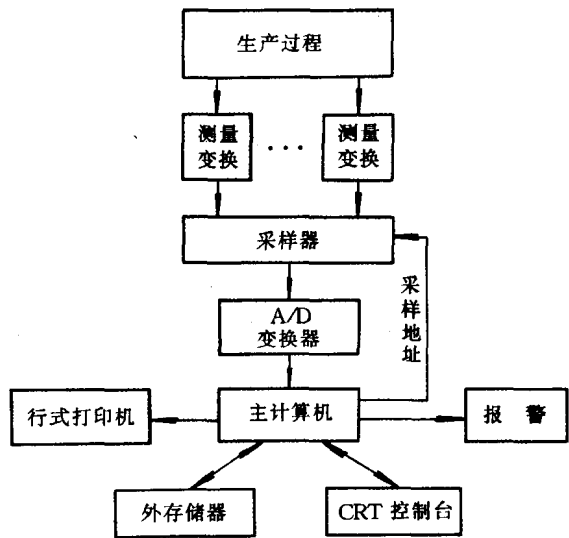


图 1-3 微机数据处理系统

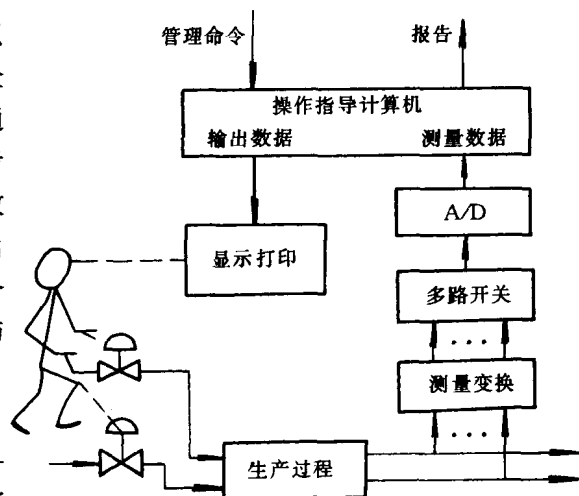


图 1-4 操作指导控制系统

行比较, 再按 PID 规律、模糊逻辑规律或直接数字方法进行控制运算, 最后输出到执行机构对生产过程进行控制, 使被控参数稳定在给定值上。其系统原理图如图 1-5 所示。

1.2.4 微机监督控制系统 (SCC)

微机监督控制系统 (Supervisory Computer Control) 简称 SCC 系统。SCC 系统较 DDC 系统更接近生产变化实际情况, 它不仅可以进行给定值控制, 同时还可以进行顺序控制、最优控制以及自适应控制等, 它是操作指导和 DDC 系统的综合与发展。SCC 系统就其结构来讲有两种: 一种是 SCC + 模拟调节器; 另一种是 SCC + DDC 控制系统。

1. SCC + 模拟调节器控制系统

该系统的原理图如图 1-6 所示。在该系统中, 微机的作用是收集检测信号及接收管理命令, 然后, 按照一定的数学模型计算后, 输出给定值到模拟调节器。此给定值在模拟调节器中与检测值进行比较, 其偏差值经模拟调节器计算后输出到执行机构, 以达到调节生产过程的目的。这样, 系统就可以根据生产情况的变化, 不断地改变给定值, 以达到实现最优控制的目的。一般的模拟系统是不能随意改变给定值的。因此, 这种系统特别适合老企业的技术改造工程。它既用上了原有的模拟调节器, 又实现了最佳给定值控制。

2. SCC + DDC 控制系统

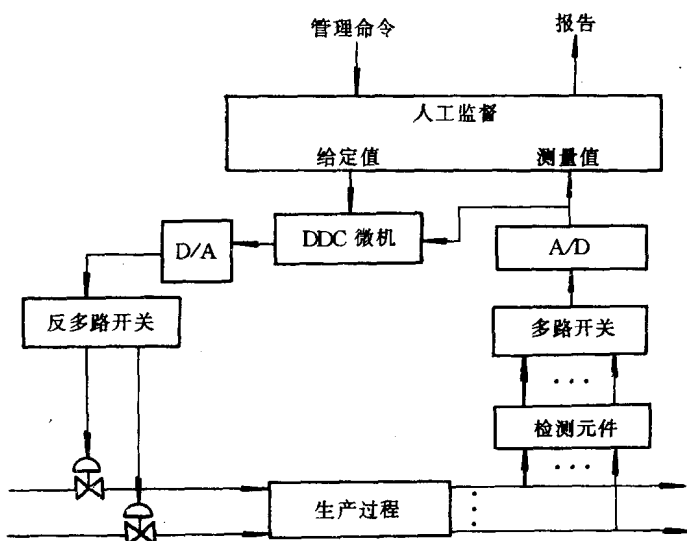


图 1-5 DDC 控制系统原理图

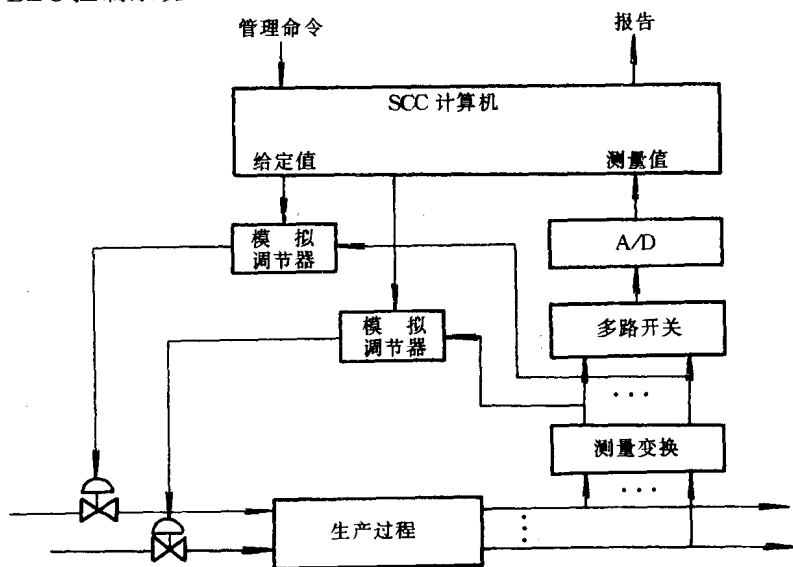


图 1-6 SCC + 模拟调节器控制系统原理图

该系统的原理图如图 1-7 所示，它为两级微机控制系统，一级为监督级 SCC，其作用与 SCC+模拟调节器中的 SCC 一样，用来计算最佳给定值。直接数字控制器 DDC 用来把给定值与测量值（数字量）进行比较，其偏差由 DDC 进行数字计算，然后经 D/A 转换器和多路开关分别对各个执行机构进行调节。与 SCC+模拟调节器系统相比，其控制规律可以改变，使用更加灵活，而且一台 DDC 可以控制多个回路，使系统比较简单。

总之，SCC 系统比 DDC 系统有更大的优越性，可以接近于生产的实际情况。另一方面，当系统中模拟调节器或 DDC 控制器出现故障时，可用 SCC 系统代替调节器进行调节，因此大大提高了系统的可靠性。但是，由于生产过程很复杂，其数学模型建立比较困难，所以 SCC+DDC 控制系统实现起来比较困难。

1.2.5 分级控制系统

现代微机、通信技术和 CRT 显示技术的巨大进展，使得微机控制系统不但包含控制的功能，而且还包含生产管理和指挥调度的功能。在如图 1-8 所示的分级控制系统中，除了直接数字控制和监督控制以外，还包含了工厂级集中监督微机和企业级经营管理微机。在企业经营管理中，除了管理生产过程的控制，还具有生产管理、收集经济信息、计划调度、产品订货和运输等功能。

分级控制系统是工程大系统，它所解决的不是局部最优化问题，而是一个工厂、一个公司乃至一个区域的总目标或总任务的最优化问题，即综合自动化问题。最优化的目标函数包括产量最高、质量最好、原料和能耗最小、成本最低、可靠性最高、环境污染最小等指标，它反映了技术、经济、环境等多方面的综合性要求。分级控制系统的理论基础是大系统理论。智能控制机器人可以看作是一个大系统，智能控制的结构之一是分级控制。

1.2.6 集散控制系统

集散控制系统是一种为满足大工业生产和日益复杂的过程控制要求，从综合自动化角度

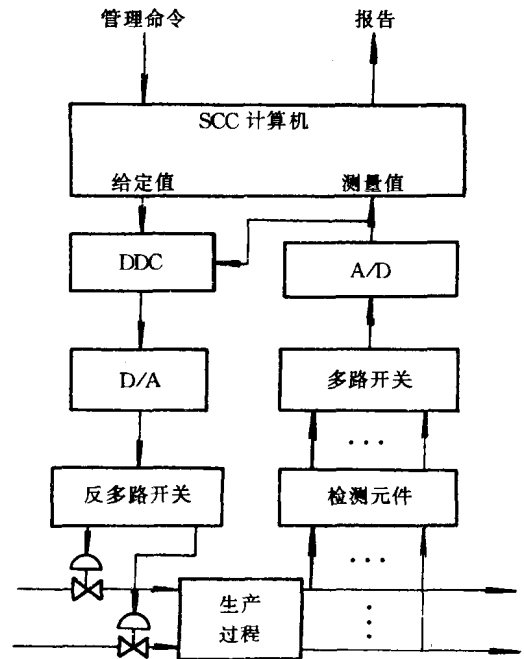


图 1-7 SCC+DDC 控制系统原理图

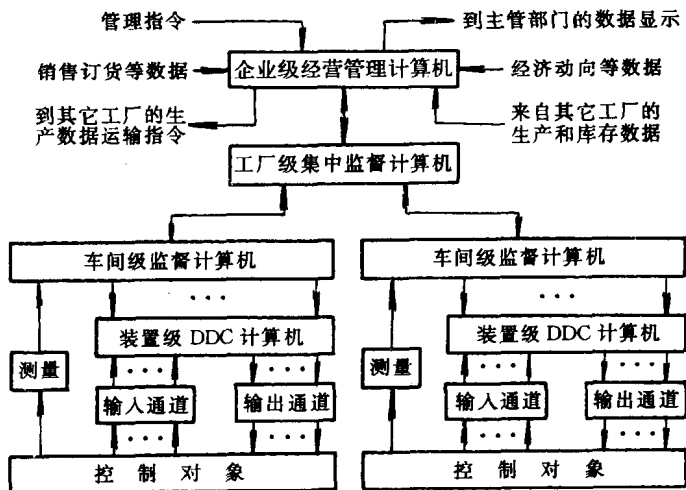


图 1-8 分级控制系统

出发,按功能分散,危险分散,管理集中,应用灵活等原则设计的,具有高可靠性能,便于维修与更新。它以系统最优化为目标,以微处理机为核心,与数据通信技术、CRT显示,人机接口技术、输入输出接口技术相结合,是用于数据采集、过程控制、生产管理的新型控制系统,该系统如图1-9所示。集散控制系统具有许多突出的优点,例如:容易实现复杂的控制规律,系统是积木式结构,结构组合灵活,可大可小,易于扩展;系统的可靠性高;采用CRT显示技术和智能操作台,操作、监视十分方便;电缆和敷缆成本低,施工周期短;易于实现程序控制。

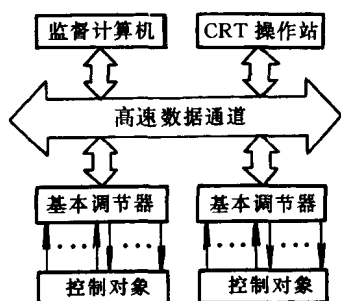


图 1-9 集散控制系统

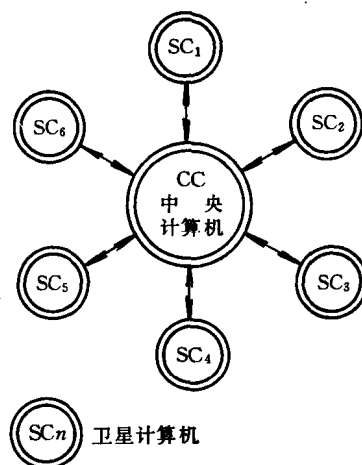


图 1-10 微机控制网络

1.2.7 微机控制网络

由一台中央微机（CC）和若干台卫星微机（SC）构成微机网络,中央微机配置了齐全的各类外围设备,各个卫星微机可以共享资源,网络中的设备以及其它资源可以得到充分利用。微机控制网络如图1-10所示。

1.3 微机控制系统的发展

1) 微机控制实质上是自动控制技术与微机技术的结合。由于微机具有大量存储信息的能力,强大的逻辑判断的功能以及快速运算的本领,使微机控制能够解决常规控制解决不了的难题,能够达到常规控制达不到的优异的性能指标。

① 实现复杂的控制规律,提高控制质量,增加产品数量。常规的模拟调节器只能实现比例-积分-微分调节规律,微机控制不但具有比例-积分-微分调节功能,而且能够实现复杂的控制规律,例如纯滞后补偿控制,多变量解耦控制,最优控制等。

② 能有效地克服随机扰动。系统运行过程中,多数扰动是难以预知的,因此模拟调节器很难保证控制质量。微机参与控制后,可根据实时检测到的数据,用自动校正的算法估计过程动态,进而自动调整控制信号,保证在扰动出现时仍能达到满意的控制效果。

③ 控制规律灵活、多样、改动方便。随着生产和科学技术的发展,对控制的要求也会随之变化。常规控制装置,通常难以适应新的要求,对原装置必须改动或拆换,既费材料、资金,又费宝贵的时间。微机控制则不然,通常不需要改动硬件,只要修改或补充程序或者重新组织和编制程序,就可以很快地适应新的控制要求。

④ 控制与管理结合，自动化程度进一步提高。现代化生产中，微机不仅担负着生产过程的控制任务，而且也肩负着工厂企业的管理任务，从收集商品信息、情报资料、制订生产计划、产品销售到生产调度、仓库管理都实现微机化、使得工厂的自动化程度进一步提高。

2) 微机控制在各行各业得到了广泛的应用，取得了显著的效果，微机控制系统的发展方向为：

① 系统辨识：工业过程的数学模型可通过过程的机理分析或实验测试的方法获得，前者为机理模型，后者为实验模型。系统辨识是把工业过程看作“黑盒子”，仅凭借过程的输入输出的测试数据，应用数学方法决定模型的结构和参数。若机理建模提供了模型的结构，测试数据只决定其中的未知参数，则称为参数识别或参数估计。

在工业生产过程中，系统的输入输出之间的关系，即系统的特性，会随着负荷、物料性质和操作条件改变而改变。为了达到系统的最优控制，随时改变控制结构与参数，以适应变化了的工况，保持给定的控制指标，这就是适应性控制，它要求在线实时识别过程模型，以新测数据为依据，用迭代方法为手段，不断更新模型的结构与参数。

② 最优估计：工业过程中，除了可测的输入输出参数外，还有无法测量而又对过程操作具有重要意义的参数。现代控制理论引入了系统的“状态空间”与“状态向量”的概念，可通过适当选择，将那些不可测的变量定义为状态向量中的元素。

状态估计是以过程数学模型为基础，依据输入输出的在线测量数据来估计不可测的状态变量。实现的工具是状态观测器。由于测到的输入输出信息和模型本身都会被噪声污染，这种过程称为随机过程，其真实状态的估计就是“最优状态估计”，卡尔曼滤波器便是状态估计的最有效工具。

③ 最优控制：生产过程中，常会要求以最小的消耗（能量或物料）达到最大的实效。对于一个大型企业这便是大系统的最优控制问题。

最优控制一般采用动态规划、变分法与极大值原理等方法。一个典型的高级控制系统结构如图 1-11 所示，它是以过程模型为基础的，包括了在线参数估计、模型参数的自适应修正、卡尔曼滤波或状态估计、以及模型和在线状态估计值为基础的微机控制模式等。

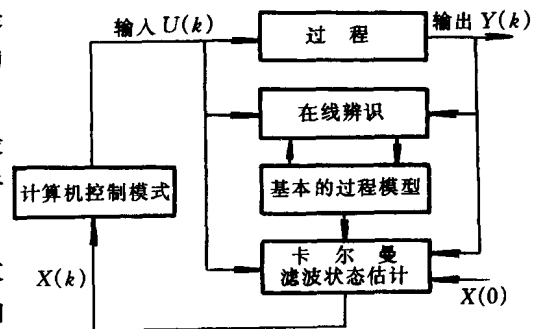


图 1-11 一个典型的高级控制系统结构

第2章 接口技术与输入输出通道

2.1 概述

接口技术是研究微机和外围设备之间如何交换信息（数据）的技术，它在微机控制系统中占有很重要的地位。要实现微机控制，就必须有能够满足控制要求的接口，而在一个大的系统中控制接口比起微机的主机往往更为复杂和庞大。因此，要想设计出一个完善、可靠、操作方便的接口不是一件容易的事情。

微机与外围设备交换信息的过程，是在控制信号的作用下通过数据总线来完成的。外围设备是多种多样的，有机械式、电动式、电子式或其它形式的，等等。其输入信号，可以是数字信号，也可以是模拟信号。输入信号的速率也相差很大。这样，当外围设备与微机系统相连接时，必须设计一套介于微机和外设之间的接口电路。绝大多数微机是用同一数据总线与存储器和输入输出设备交换数据的。问题是数据总线上的信息是送往存储器，还是送往接口输出寄存器？若有众多的接口输出寄存器，到底是送往哪一个？同样，输入数据总线的信息也要解决是从哪里来的问题。下面分别对这些问题进行讨论。

2.1.1 输入/输出接口的编址方式

输入输出接口有两种编址方式：一种是存储器统一编址方式；另一种是 I/O 单独编址方式。

1. 存储器统一编址方式

若把微机系统中的每一个 I/O 接口都看作一个存储单元，并与存储单元一样统一编址，这样访问存储器的所有指令均可用来访问 I/O 接口，不用设置专门的 I/O 指令，这种编址方式称为存储器统一编址方式。这种方式实际上是把 I/O 地址映射到存储空间，作为整个存储空间的一小部分，即系统把存储空间的一小部分划出来供外设使用，大部分仍归存储单元所有，这就是存储器统一编址方式名称的由来。

这种编址方式的优点是微机的指令集中不必包含 I/O 操作指令，简化了指令系统的设计；能用类型多、功能强的访问存储器指令，对 I/O 设备进行方便、灵活的操作；I/O 地址空间可大可小，能根据实际系统上的外设数目来调整。缺点主要是 I/O 端口占用了存储单元的地址空间，为了尽可能减少所占的内存空间，必须用全译码方式来形成 I/O 地址，使 I/O 译码电路变得较复杂。此外，访问存储器的指令一般要比 I/O 指令长一二个字节，这会延长输入输出操作的时间。

2. I/O 单独编址方式

若对系统中的输入输出端口地址单独编址，构成一个 I/O 空间，它们不占用存储空间，而是用专门的 IN 指令和 OUT 指令来访问这种具有独立地址空间的端口，这种编址方式称为 I/O 单独编址方式。一般 8 位或 16 位的微机都采用这种编址方式来访问外设。在 8086 中，用地址总线的低 16 位 ($A_{15} \sim A_0$) 来寻址 I/O 端口，最多可以访问 $2^{16} = 65536$ 个输入或输出端口。实际应用中，输入端口和输出端口可用相同的地址，因此系统能寻址的总端口数还将扩大一倍，不过没有哪个系统上使用这么多的 I/O 端口。CPU 中的 $M/\overline{IO}$ 控制信号用

来区分是 I/O 寻址还是存储器寻址。

这种编址方式的优点是将输入输出指令和访问存储器的指令明显区分开，使程序清晰，可读性好；而且 I/O 指令长度短，执行的速度快，也不占用内存空间；I/O 地址译码电路较简单。缺点是微机指令系统中必须有专门的 IN 和 OUT 指令，这些指令的功能没有访问存储器指令强；另外，微机要能提供区分存储器读/写和 I/O 读/写的控制信号，例如 8086 的 $M/\overline{IO}$ 和 8088 的 $IO/\overline{M}$ 信号。

两种编址方式各有利弊，一般要根据所用微机的类型来确定 I/O 编址方式。

2.1.2 输入/输出数据的传送方式

由于微机系统中输入输出设备的种类繁多，速度差异悬殊，对这些设备的控制也变得很复杂，因此 CPU 与外设之间的数据传输必须采用多种控制方式，才能满足各类外设的要求。下面将对 CPU 与外设交换数据的三种控制方式：程序查询方式、中断控制方式和直接存储器存取方式分别作简要介绍。

1. 程序查询方式

一般，当 CPU 用输入或输出指令与外设交换数据时，很难保证输入设备总是准备好了数据，或输出设备已经处于可以接受数据的状态。因此，在开始传送前，必须先确认外设已处于准备传送数据的状态，才能进行传送。采用这种方式传送数据前，CPU 要先执行一条输入指令，从外设的状态口读取它的当前状态。如果外设未准备好数据或处于忙碌状态，则程序要转回去反复执行读状态指令，不断检测外设状态；如果该外设的输入数据已准备好，CPU 便可执行输入指令，从外设读入数据。

例如一个采用查询方式的数据采集系统，用查询的方式与 CPU 传送信息，电路如图 2-1 所示。

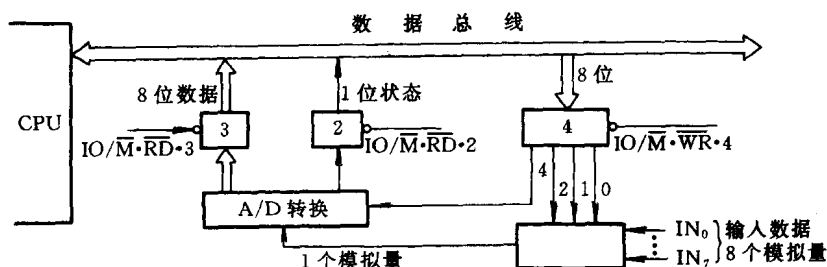


图 2-1 查询方式的数据采集系统

8 路输入模拟量经过多路开关，并由端口 4 输出的三位二进制码（ D_0 、 D_1 、 D_2 ）控制（000 对应于 IN_0 ），每次送出一路模拟量至 A/D 转换器；同时 A/D 转换器由端口 4 输出的 D_4 位控制启动与停止。A/D 转换器的 READY 信号由端口 2 的 D_0 输至 CPU 数据总线，经 A/D 转换后的数据由端口 3 输至数据总线。所以，这样的一个数据采集系统，需要用到三个端口，它们有各自的地址。

实现这样的数据采集过程的程序为：

```
START: MOV     DL, 0F8H      ; 设置启动 A/D 转换的信号
        LEA     DL, DSTOR    ; 存放输入数据缓冲区的地址偏移量→DI
AGAIN: MOV     AL, DL
```

```

AND      AL, 0EFH      ; 使 D4=0
OUT      [4], A        ; 停止 A/D 转换
CALL     DELAY         ; 等待停止 A/D 操作的完成
MOV      AL, DL
OUT      [4], A        ; 启动 A/D, 且选择模拟量 A0
POLL:    IN      AL, [2] ; 输入状态信息
SHR      AL, 1
JNC      POLL         ; 若未 READY, 程序循环等待
IN       AL, [3]       ; 否则, 输入数据
STOSB                    ; 存至内存
INC      DL            ; 修改多路开关控制信号, 指向下一个模拟量
JNE      AGAIN        ; 8 路模拟量未输入完, 循环
:                      ; 已完, 执行别的程序段

```

程序查询方式是最常用、最简单的 I/O 控制方式，它不需要专用的硬件，并且所有的 I/O 传送都由程序加以控制。也就是说 CPU 的操作能和 I/O 操作同步。该方式的主要缺点是：CPU 必须在程序循环中等待 I/O 设备准备就绪后才能传送数据，这将损失 CPU 很多时间，使整个微机运行效率降低。在这种方式下，系统所接入的 I/O 设备越多，查询的周期就越长。因此，对于工作速度比较快的 I/O 设备将会因服务不及时而丢失数据。

2. 中断控制方式

为了提高 CPU 的工作效率，往往采用中断控制方式。在这种控制方式中，当 CPU 需要输入或输出时，若外设的输入数据已存入寄存器；在输出时，若外设已把上一个数据输出，输出寄存器已空，由外设向 CPU 发出中断申请，CPU 就暂停原执行的程序，转去执行中断服务程序，待服务完毕，再继续执行原来的程序。在中断传送时的接口电路如图 2-2 所示。

当输入装置输入一数据，发出选通信号，把数据存入锁存器，又使 D 触发器置“1”，发出中断请求。若中断是开放的，CPU 接受了中断请求信号后，在现行指令执行完后，暂停正在执行的程序，发出中断响应信号 $\overline{INTA}$ ，于是外设把一个中断矢量放到数据总线上，CPU 就转入中断服务程序，读入或输出数据，同时清除中断请求标志。当中断处理完后，CPU 返回被中断的程序继续执行。

3. 直接存储器存取 (DMA) 方式

利用中断方式进行数据传送，可以大大提高 CPU 的利用率，但在中断方式下，仍必须通

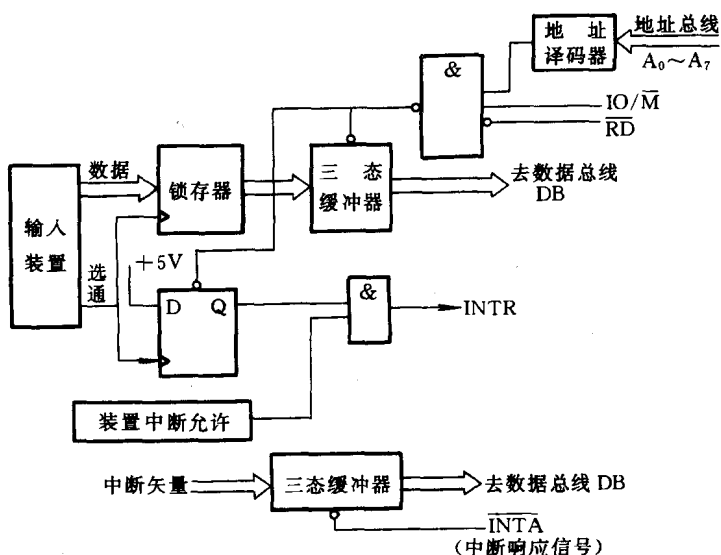


图 2-2 中断传送方式的接口电路

过 CPU 执行程序来完成数据传送。每进行一次数据传送，就要执行一次中断过程，其中保护和恢复断点、保护和恢复寄存器内容的操作与数据传送没有直接关系，但会花费掉 CPU 的不少时间。这对于一个高速 I/O 设备，以及成组交换数据的情况，例如磁盘与内存间的信息交换，就显得速度太慢了。

所以希望用硬件在外设与内存间直接进行数据交换（DMA）而不通过 CPU，这样数据传送的速度上限就取决于存储器的工作速度。但是，通常系统的地址和数据总线以及一些控制信号线是由 CPU 管理的。在 DMA 方式时，就希望 CPU 把这些总线让出来（即 CPU 连到这些总线上的线处于第三态——高阻状态），而由 DMA 控制器接管，控制传送的字节数，判断 DMA 是否结束，以及发出 DMA 结束等信号。这些都是由硬件实现的，故 DMA 控制器必须有以下功能：

- ① 能向 CPU 发出 HOLD 信号。
- ② 当 CPU 发出 HLDA 信号后，接管对总线的控制，进入 DMA 方式。

- ③ 发出地址信息，能对存储器寻址及能修改地址指针。
- ④ 能发出读或写等控制信号。
- ⑤ 能决定传送的字节数，及判断 DMA 传送是否结束。
- ⑥ 发出 DMA 结束信号，使 CPU 恢复正常工作状态。

通常 DMA 的工作流程如图 2-3 所示。

能实现上述操作的 DMA 控制器的硬件框图如图 2-4 所示。

当外设把数据准备好以后，发出一个选通脉冲使 DMA 请求触发器置 1，它一方面向控制/状态端口发出准备就绪信号，另一方面向 DMA 控制器发出 DMA 请求。于是 DMA 控制器向 CPU 发出 HOLD 信号，当 CPU 在现行的机器周期结束后响应发出 HLDA 信号，于是 DMA 控制器就接管总线，向地址总线发出地址信号，在数据总线上给出数据，并给出存储

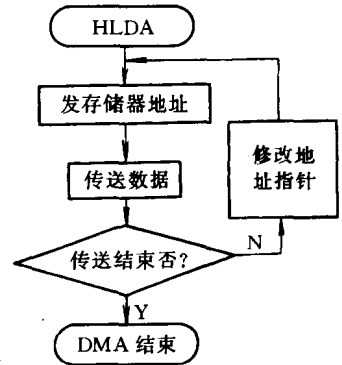


图 2-3 DMA 工作流程图

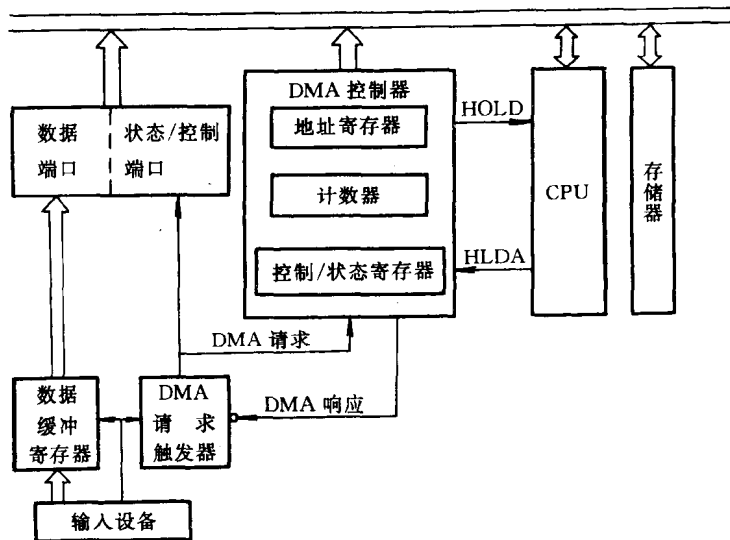


图 2-4 DMA 控制器框图