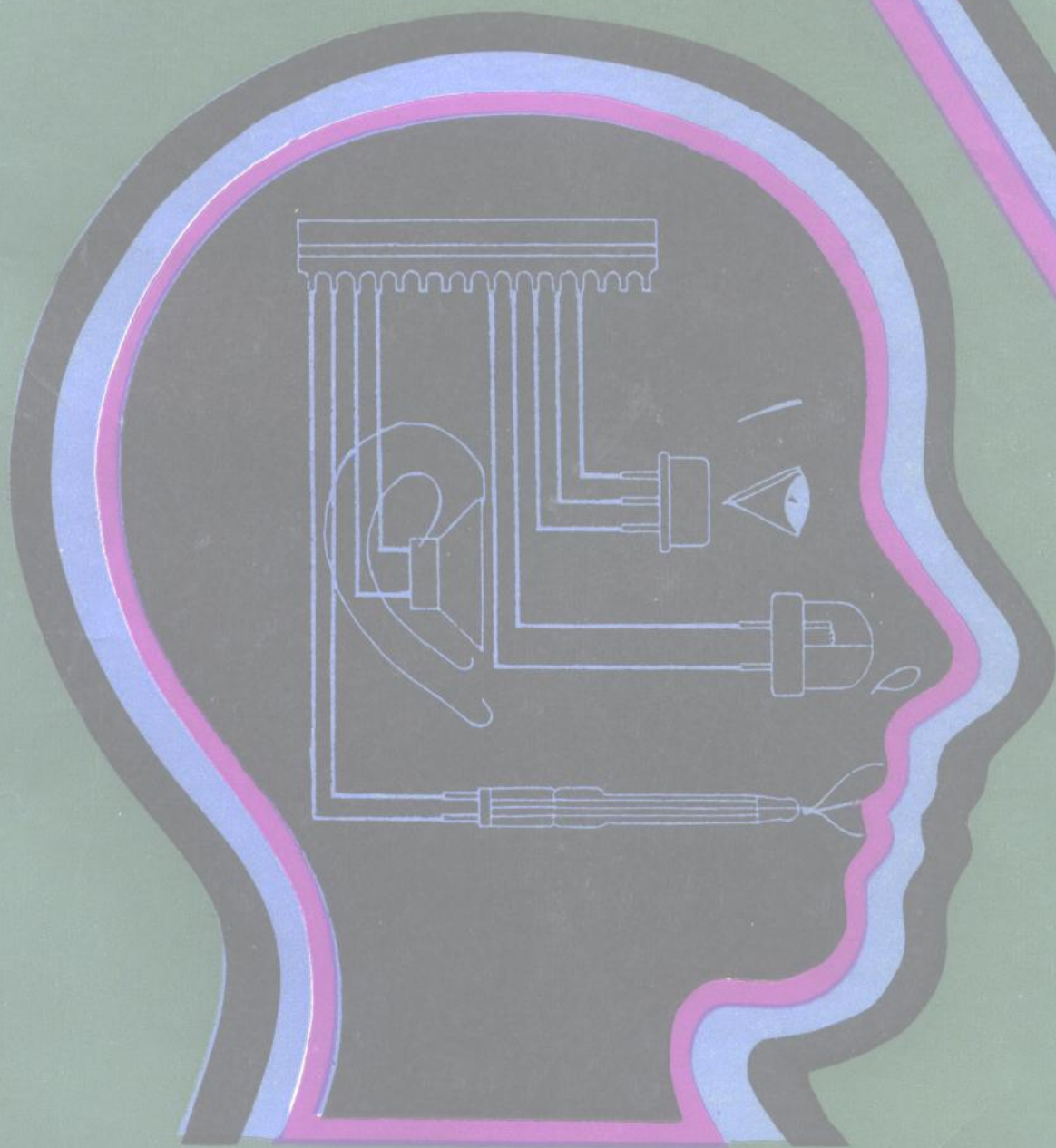


智能仪器设计

微处理器在检测与控制中的应用

李西林 金振华等 译



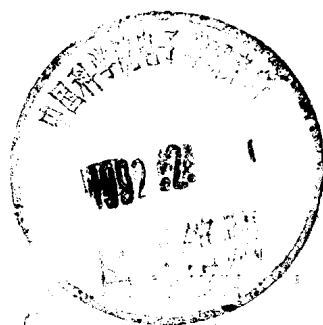
上海科学技术文献出版社

73.82
251

智能仪器设计

——微处理机在检测与控制中的应用

[英] G. C. 巴尼 著



上海科学技术文献出版社

9210129

(沪)新登字 301 号

DE-113

智能仪器设计

——微处理机在检测与控制中的应用

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号)

全国新华书店经销

上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 16.5 字数 411,000

1992年2月第1版 1992年2月第1次印刷

印数: 1—2,350

ISBN 7-80513-927-X/T·220

定价: 8.50 元

《科技新书目》259-285

序 言

微处理机的发展意味着给许多常用设备增加智能(即使只是人工智能)有了可能。其范围包括现金自动售货机、销售结帐点、洗衣机、防盗报警器、机动车辆及其他各种仪器。直接用户通常并不觉察微处理机给日常生活中提供的帮助,同时,几乎每个人都通过报纸和电视知道微型计算机的存在,而年轻的一代,就更离不开游戏机之类的微型机了。智能仪器这门新学科就在这种十字路口上出现了。

这本教材将测量技术和在测量与控制中用到的数字计算机硬件和软件综合在一起,重点是在系统中微处理机的应用,以及由此来保证系统具有更多的功能、灵活性与效率。正如本书各章标题所示,本书研究的问题非常广泛,所以书的编写必然非常概括。全书始终突出以实用为宗旨,大量介绍了一个迅速发展的学科领域。

本书的编写,便于一般具有数字与模拟电路、编程与测量知识和经验的读者了解智能化仪器这个综合领域。本书不要求读者事先具有微处理机方面的知识,也不以某种特定的微处理机为基础。本书可作为本科生攻读测量、控制、数字电路、计算机科学及仪器制造等方面课程的教材;也可作为从基本理论转向应用技术的研究生教材(如从数学转向控制工程);还可供初次接触智能仪器的工程技术人员使用。这本书对即将在测量领域从事具体工作的工程技术人员来说,是一本值得一读的好书。

根据读者的水平、经验与能力,读一章约需1~2小时。每章都是从基本原理引伸到复杂问题,并给出了工作实例。每章末尾的练习题可检验读者对教材的理解程度。书后若干实例分析和书中内容相关,用以加深读者对整个智能仪器的设计过程的了解。

本书作为大学或学院的教材,可供本科生用两学期或一学期。每章连同相应的练习和附加材料占用两学时。对已学过其中一些内容的高年级学生或研究生课程可以进行得快些,每章占一个学时。

鸣谢:在此谨向所有就本书内容展开过热烈讨论的我班学生和下属,以及为数据和图表制作付出辛勤劳动者、所有书中提到或未提到的参考书著作者、所有我工作过的工厂和使用的实验仪器生产公司致以深切感谢。

译 者 的 话

《智能仪器设计》一书由英国曼彻斯特大学 G. C. 巴尼所著。于 1985 年出版,并于 1988 年再版。我们根据新 1988 年版本翻译。该书反映了英国工科大学在智能仪器科学方面的最新情况,可供我国高等院校师生以及有关工程技术人员参考。

先后参加本书翻译的有李西林、金振华、凌云旦、彭志一、邓善熙等。由上海交通大学童钧芳副教授总校。

目 录

第1篇 绪论

第1章 仪器仪表与控制系统	1
1.1 仪器仪表系统	1
1.2 控制系统	3
1.3 小结	8

第2篇 测量

第2章 温度测量	9
2.1 概述	9
2.2 膨胀式温度计	11
2.3 热电偶式温度计	13
2.4 电阻式温度计	15
2.5 辐射式温度计(光学高温计)	18
2.6 温度测量中的一些具体考虑	19

习题2

第3章 测力与称重	21
3.1 若干定义	21
3.2 重量的测量	22
3.3 用弹性传感器测力	23
3.4 弹性元件分类	24
3.5 力的测量方法	24
3.6 应变片	25
3.7 压电晶体式传感器	27
3.8 线性差动变压器	27
3.9 力平衡式传感器	28
3.10 其它测力传感器	28
3.11 扭矩的测量	29
3.12 小结	29

习题3

第4章 压力测量	30
4.1 概述	30
4.2 直接式压力测量	33
4.3 间接式压力测量	34
4.4 电学压力传感器	36

4.5 其它压力传感器	38
4.6 小结	40
习题 4	
第 5 章 流量测量	41
5.1 概述	41
5.2 历史背景	41
5.3 流量测量技术基础	41
5.4 瞬时速度的测量	43
5.5 累计体积流量测量	46
5.6 总量流量计	49
5.7 开口槽或沟道的流量测量	52
5.8 小结	53
习题 5	
第 6 章 其它测量方法	53
6.1 概述	53
6.2 湿度测量	54
6.3 酸碱度测量 (pH)	54
6.4 密度测量	55
6.5 声学测量	56
6.6 液位测量	57
6.7 运动测量	58
6.8 化学分析	61
6.9 小结	62
习题 6	
第 7 章 数字式传感器	62
7.1 概述	62
7.2 什么是数字式传导	62
7.3 数字编码器	63
7.4 数字式传感器选例	65
7.5 小结	71
习题 7	
第 8 章 单位、标准和误差	71
8.1 单位与标准	71
8.2 误差	75
8.3 小结	80
习题 8	
测量实例研究	81
实例 1 温度测量	81
实例 2 温度测量、模拟发送	83

实例 3	电梯系统中负载的称量	84
实例 4	流量测量与控制	87
实例 5	振动梁共振频率的检测	88
测验 1		
复习 1		

第 3 篇 数字计算方法

第 9 章	数系、逻辑与逻辑元件	92
9.1	数系	92
9.2	逻辑	97
9.3	逻辑元件	100
	习题 9	
第 10 章	数字计算机	103
10.1	概述	103
10.2	数字计算机的类型	104
10.3	数字计算机系统的元部件	104
10.4	中央处理单元的结构	105
10.5	数字计算机的功能	106
10.6	微处理器、微型计算机和微处理器系统	112
	习题 10	
第 11 章	输入-输出结构	113
11.1	概述	113
11.2	基本的 I-O 工作内容	113
11.3	信息传送	114
11.4	输入-输出结构	116
11.5	外部信号的传送方式	118
11.6	微型计算机的 I-O 结构	121
	习题 11	
第 12 章	数字计算机功能与性能的测试	122
12.1	功能与性能	122
12.2	基准程序和性能测试	122
12.3	基准程序	122
12.4	性能测试	128
12.5	性能测试与调整举例	132
12.6	小结	134
	习题 12	

第 4 篇 接口技术

第 13 章	模拟信号的转换	135
---------------	---------------	-----

13.1	概述	135
13.2	数-模转换	135
13.3	模-数转换	141
13.4	转换器的特性	146
习题 13		
第 14 章	接口元件和接口技术	149
14.1	概述	149
14.2	模拟元件	150
14.3	逻辑元件	153
14.4	最佳接口的实现	157
习题 14		
第 15 章	信号处理	160
15.1	连续信号、离散信号及系统	160
15.2	数学基础	161
15.3	信号处理系统中的误差	161
15.4	数据输入	161
15.5	输出数据	165
15.6	时间延迟	167
15.7	信号处理中的其它问题	168
习题 15		
第 16 章	接口系统和标准	171
16.1	概述	171
16.2	输入信号流	172
16.3	输出信号流	175
16.4	标准接口系统	175
16.5	专利接口系统	180
习题 16		
数字计算机与接口技术实例研究		181
实例 6	血样中的血小板计数法	181
实例 7	磁场密度的测量	183
实例 8	电梯系统的数据记录仪	185
实例 9	用仿真法评估时延、采样速率与量化的影响	188
第 17 章	通讯	191
17.1	分布式控制系统	191
17.2	连接装置	193
17.3	计算机与设备的串行连接	193
17.4	通讯标准	196
17.5	局部网络	197
17.6	控制领域中的局部网络	200

习题 17

测验 2

复习 2

第 5 篇 软件和项目管理

第 18 章 实时语言.....203

18.1 历史概况203

18.2 程序设计语言和支持设备204

18.3 语言级别的选择207

18.4 实时语言的选择208

18.5 用户对实时语言的要求208

18.6 实时语言的语言要求210

18.7 实时语言213

18.8 语言比较219

习题 18

第 19 章 实时系统的编程.....221

19.1 概述221

19.2 程序结构222

19.3 程序分解222

19.4 程序合成226

19.5 数据结构229

19.6 小结232

习题 19

第 20 章 实时操作系统.....233

20.1 概述233

20.2 任务、优先和中断.....233

20.3 实时操作系统的设计240

20.4 实时操作系统的一些观点244

20.5 小结246

习题 20

第 21 章 项目管理, 技术说明书, 评估与选择.....246

21.1 概述246

21.2 项目的各阶段247

21.3 评估与选择250

21.4 小结252

习题 21

测验 3

复习 3

第1篇 绪 论

本篇介绍各种系统——信息系统、测量系统、仪器仪表系统、控制系统、处理系统、系统工程。它给读者一个关于智能和非智能仪器的概貌。由于课文和实例研究中涉及到控制系统,所以特别作了解释。本篇内容为基础知识,对有的读者来说可以省略。

第1章 仪器仪表与控制系统

信息处理系统与控制系统如果从测量系统收到准确的输入信息,便能正确地发挥其功能。过去几十年,控制系统领域中的工作大多数是有关数学问题,而很少出现在测量系统中。在工业中用于测量流量和温度等基本量的方法很不完善,所作测量的准确度常常令人怀疑,而且动态性能差。控制工程师们常常忘记了动态性能的影响,他们往往在分析时假设测量过程是平稳的。读者从这本书中会发现,不论是连结控制系统或仪器测量系统的准确度很少高于百分之几,测量系统很少能在几分之一秒内响应的。

价廉的信息处理器以微处理器和袖珍个人计算机为主,它们促使了较复杂的控制系统的设计和智能仪器的出现。

本章对智能仪器仪表的原理和概念作一般介绍,为了保持完整性,本章还介绍了自动控制系统的简要情况。这不仅因为两方面有紧密关系,而且书中实例很多涉及控制系统。

1.1 仪器仪表系统

1.1.1 测量系统

测量就是度量一个物理实体产生一个用另一物理实体表示的测量结果的过程。这一功能的实现过程在测量系统中完成。测量系统包括一个传感器或转换器,它把表示一个物理实体的量传送到一个处理系统转换为另一物理实体,然后由一个观测者作出判断。举两个例子:

a) 在测量液面时,将一个浮子放在液面上,这个浮子由杆连结转轴,转轴随浮子上下移动而转动。然后转轴带动齿轮链及指针,使指针指示液位。这是一个纯机械系统。

b) 在测量马达排气的温度时,在排气口放一热电偶。热电偶产生一个电信号,信号的大小正比于排气温度,其大小以 mV 为单位。传感器的信号不足以驱动指示装置(如电表),因而信号要由电子放大器放大。放大器的输出可用于某种合适的指示装置。这种测量装置是纯电子的。

9210129

• 1 •

1.1.2 信息、信号与系统

智能仪器包括应用信息与信号的处理系统。现将这三个词定义如下:

- 信息 一个对象或事件有关的数据或细节。
- 信号 传送一个对象或事件有关的量值或时间的信息。也就是说,信号是一个物理量。

这些概念有点难理解,最好用例子说明。在测量系统中,信息是由一个物理量的瞬时值传送(如反映液面的指示器的转角)或物理量随时间的变量传送(如在变频电机驱动系统中的交变电压的频率瞬时值)。而信号是随之而来的指针转角和电压。

其实,常常用作同义词的信息处理和信号处理这两个术语是不同的,各有精确的定义。控制系统和仪器仪表系统是信息机的例子。

- 系统工程 人、资金与机器的复杂组合,它通过综合的功能来满足某种工作要求。

由于智能仪器用系统来处理信息和信号,因而系统工程的概念得以应用。在智能仪器中为了达到最佳系统设计,采用工程形式使数字计算、控制系统和数字电路作各种不同的组合。图 1.1 描绘了计算机过程控制中信号沿着信息通道流动的情况,并显示了这些通道的复杂性。这个计算机控制的例子表明了提供具有精确测量的控制系统的必要性。

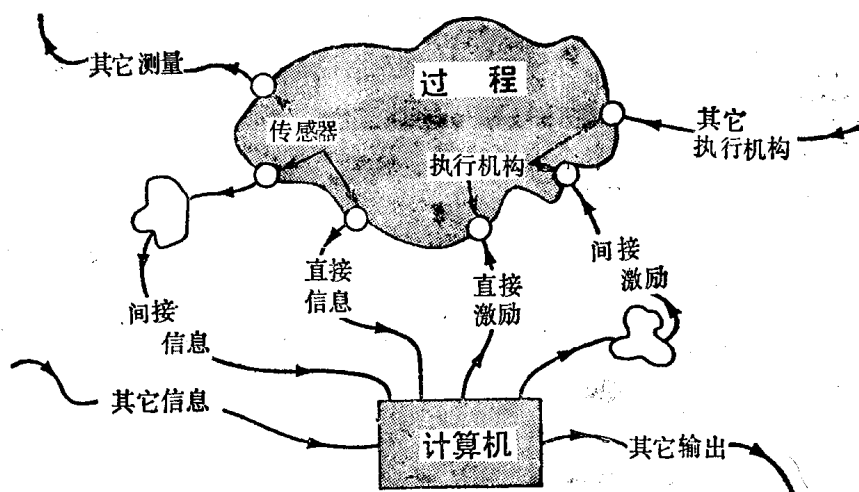


图 1.1 计算机控制系统中的信息流程

应该指出,工厂与处理过程常常当作同义词用,但它们的实际意思是大不相同的。处理过程是改变物质的物理或化学过程,它包括物质的结合或能量的转换。工厂是进行处理过程的一种设备集合。因此没有工厂就不能进行加工处理。

1.1.3 智能仪器与非智能仪器的比较

智能仪器是一个术语,它的含义是:“能测出物理变量的值,并使用数字计算机实现全部(或接近全部)信号或数据处理的一套测量系统。”

由此可引出相反的定义:

非智能仪器是指在一次测量中只能测得一个变量值,并必须由观测者来处理数据的仪器。

智能仪器则是指对一个变量测定之后,还能作进一步处理(模拟的或数字的),以便给观

察者或其他的计算机提供更精确数据的仪器。

例 1.1 下面通过一个简单的例子来说明这两种仪器测量正弦波频率的不同过程:

(1) 非智能仪器

将信号输给示波器, 应用已标定的时间基准即可确定波形的周期, 取周期的倒数, 就得到波形的频率。

(2) 智能仪器

将信号输给处理系统, 该系统通常包含下列部份或全部元件:

采样器

模数转换器

数字计算机接口

峰值与零点搜索程序软件

噪声消除和平均程序软件

输出驱动器软件

在数据显示器上给出一个数; 或提供一个并行的二进制或 BCD 码输出; 或提供一个串行的 ASCII 码输出(美国信息标准代码)。

波形的频率可由显示器读出, 或传输给相连接的数字计算机。这一过程如图 1.2 所示。

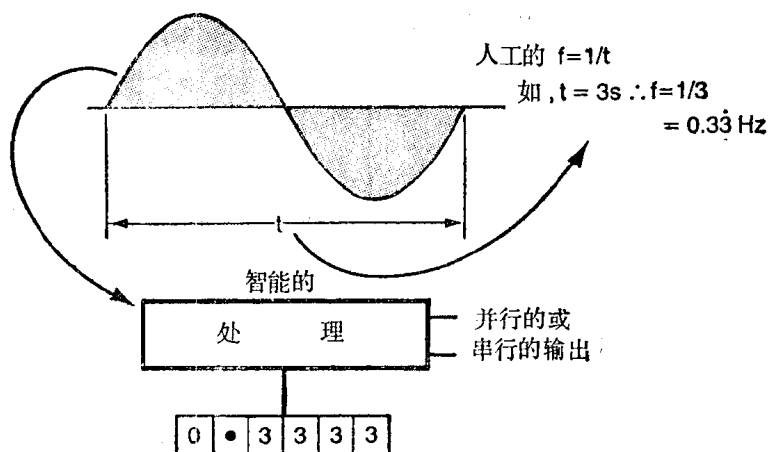


图 1.2 智能仪器与非智能仪器的比较

其他智能仪器的例子有:

- * 偏差的校正
- * 噪声的消除
- * 非线性校正
- * 自动标定
- * 增益调节

1.2 控制系统

1.2.1 自动控制系统

控制系统是一个范围广泛的学科。虽然它起源于物理过程控制的实际应用, 但现在已

发展成依赖于数学理论的分析领域。控制与仪器仪表有非常密切的关系,本书所举的很多实例都是以控制为基础的。因此这里有必要简要讨论一下控制系统。

(1) 开环与闭环控制

在日常生活和工业中遇到的很多控制系统并不是本书所讲的真正控制系统。如像控制

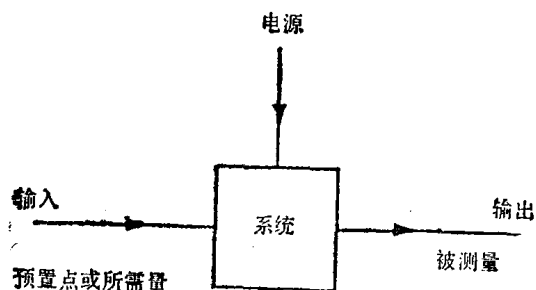


图 1.3 开环控制系统

家庭散热器的顺序控制系统和电网系统的定时供电控制等。本书所讲的控制系统是用某种形式的输入信号控制一个输出变量。控制回路可以是开环的也可以是闭环的。

图 1.3 表示一个开环控制系统: 输入信号控制输入电源, 以提供一个输出信号期望值。通常这样一个系统被校准到一个输入信号值对应一个期望的输出信号值。如一个房间的加热器的

输出由标出希望房间温度的旋钮控制。在校准的情况下, 房间的温度就是所希望的温度。但如果校准的情况改变了(窗户打开了或加热器部份堵塞了)就会使房间温度不对。

图 1.4 所示为一种比较好的控制。这里把图 1.3 的开环系统加上一个新的信号, 这个信号是由输出信号反馈并与输入信号相比较。比较器的功能是把输出信号与所希望的输入信号相比较, 如果存在差值就要使输出信号返回到输入线路上。

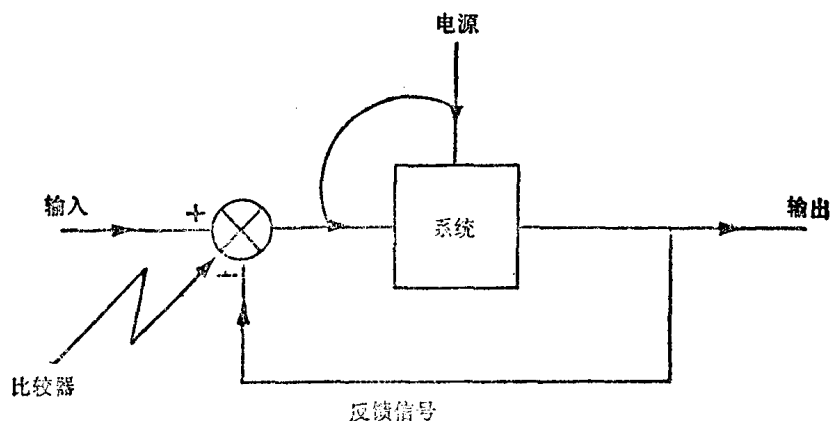


图 1.4 闭环控制系统

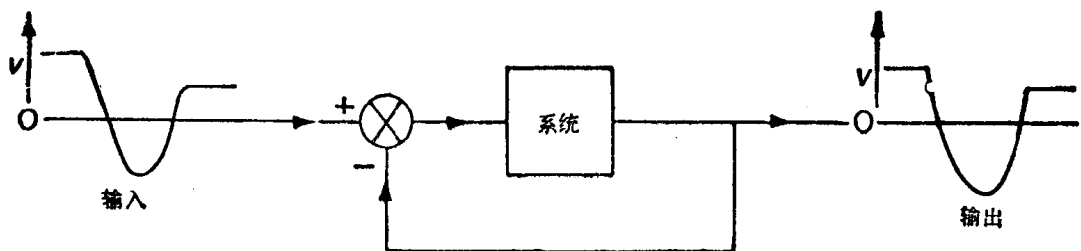
现在可以定义开环和闭环控制系统:

- 在开环控制系统中, 输出不影响输入的实际信号。
- 在闭环控制系统中, 输出信号要影响输入信号, 以使输出信号保持在一个期望的水平上。

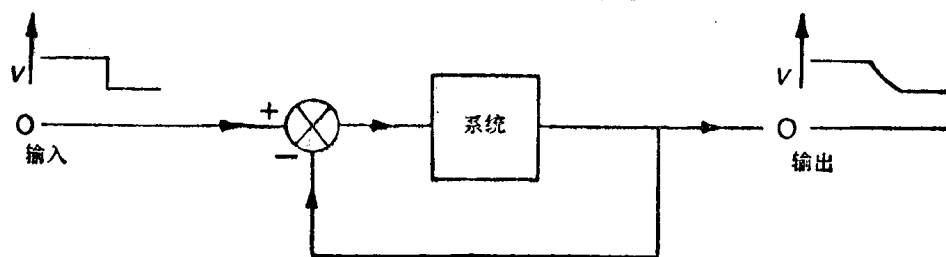
闭环系统可以假设为是一个自动的、可放大的、由误差驱动的负反馈系统。它比开环系统好, 因为它能提供精确的控制和应付干扰。

(2) 静态的和动态的控制系统

自动控制系统有两个基本类型: 静态系统(其输入和输出变量保持瞬态不变)和动态系统(其输出要跟随变化的输入信号)。静态系统包括监控器、稳定器和调节器。它们的主要特征是输入在长时间保持固定值。动态系统原先称作伺服机构, 现在一般称为伺服器, 并扩展到所有类似的系统而不仅是机械系统。该系统具有动态变化的输入和必须精确跟随的输出。



(a) 一种可调节的闭环控制系统



(b) 一种伺服型闭环控制系统

图 1.5 静态和动态控制系统

• 伺服系统是闭环的，具有可放大的动态输出和根据输入输出信号之差而获得的误差信号来驱动前方的通道。图 1.5 显示了两种控制系统的差别。

1.2.2 控制系统的类型

(1) 非线性和时不变系统

构成控制系统的物理元件是有限制的。如在一个热控制系统中，加热器的输出仅限于有限的几点，温度测量装置的输出不必正比于被测温度。因此这一系统的表达式将含有非线性项，这种系统称为非线性控制系统。对它进行分析很困难，要牵涉大量的数学问题。为了避开这问题，大多数系统被“线性化”了，使它们在操作范围内被认为是线性的。

物理系统的另一问题是它们的参数随时间变化，如火箭随着它的燃料消耗而改变重量、电机由于工作中受热而改变其场电阻。不随时间改变其参数值的系统称为时不变系统，而随时间变化的系统称为时变系统。

(2) 连续的和离散的数据控制系统

第二次世界大战前，大多数控制系统采用模拟控制器。后来很多数字技术得以发展，可以克服非线性和时变问题，很多其它类型的自控系统出现了，它们或多或少地依赖于数字计算机来构成闭环控制系统。因此需要区分有或没有数字计算机的闭环系统。

在连续数据控制系统中，所有信号都是随时间连续变化。这类系统可进一步分为交流或直流控制系统。这里的交流是指信号用交流的方法通过系统传递，也就是用调制和解调方法。而直流这个词并不表示恒定的信号值，而是所有信号通过系统直接连结，信号流没有任何中断。

对比之下，离散数据控制系统包含有脉冲或数码形式的信号。这些系统有时候称作采样数据或数字控制系统。在离散数据控制系统的操作中，所有有关的信号周期地采样，然后转换为数码送入数字计算机进一步处理。很多现代控制系统都要求有计算机进行必要的配合。

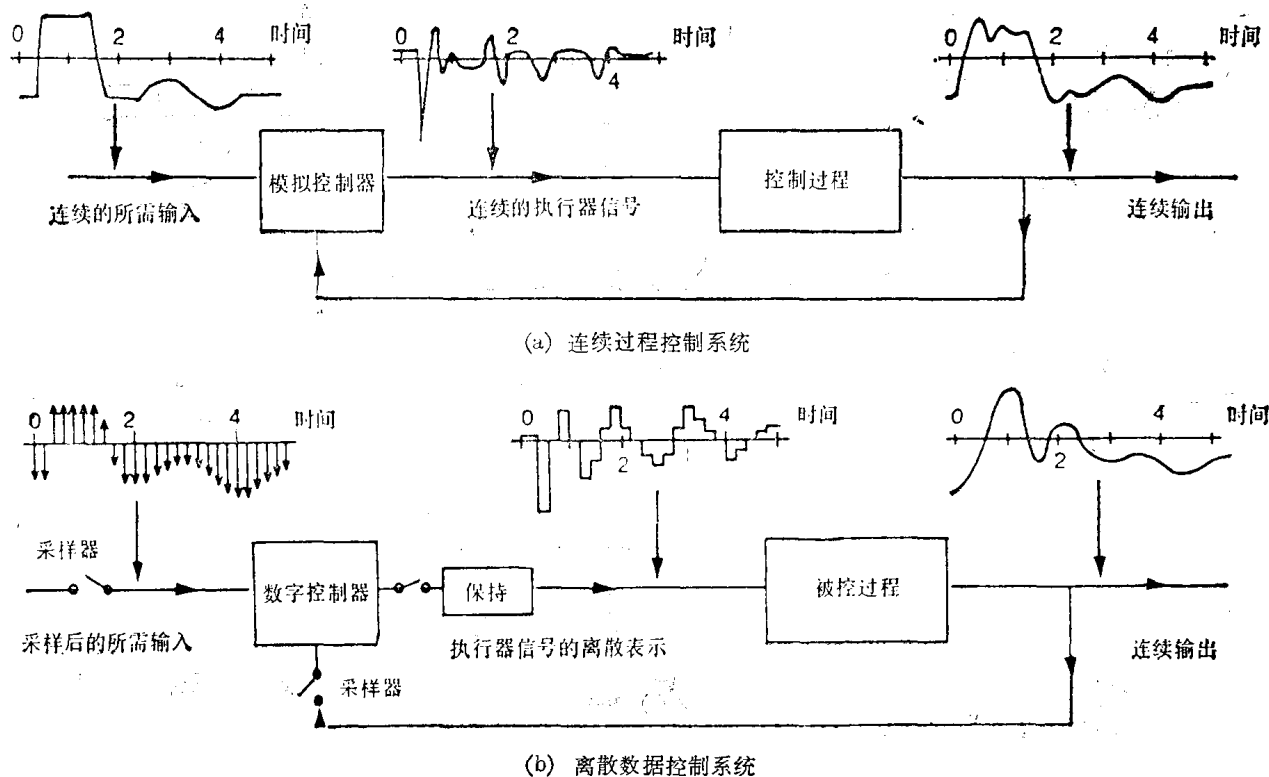


图 1.6 连续和离散数据控制系统的比较

图 1.6 示出这两类控制系统的基本区别。上图表示连续系统，所有信号在本质上是连续的，输出信号在动态范围内是输入信号的真正复制。下图是离散系统，其中的输入和输出信号通常按高于过程自然频率的两倍来进行采样（如 15.4 节所讨论的，这已足够快）。但输出信号不像连续系统所表示的那样精确。这是一种极端情况，目的是强调两类控制系统的区别。实际上，数字控制器可以为数百个分立回路提供闭环控制而不改变被控参数的性质，这是靠适当选择采样速率和接口装置而获得的。这一类型的控制系统的特点本书也将有说明。

1.2.3 控 制 器

一个好的控制系统对输入的变化能迅速响应而且没有振荡过程。当控制系统响应输入的阶跃变化时，它的质量至关重要。在很多控制状态中，响应速度是用相位超前技术获得的，同时注意不要使系统不稳定。在数字控制系统中，特别是在过程工业中，常常应用三种控制器：比例、积分和微分三项组成。

比例项在所有控制系统中都可找到，它是为了提供足够的增益，使任何误差减少到零。在二阶或高阶系统中它不能取得太大，否则会引起不稳定。带有比例项的系统总是有一个稳态误差，它出现在输入和输出变量之间并正比于系统总增益。

稳态误差可用积分项消除，它使恒定的误差为零。积分项的作用是在高频时增强放大，改善系统的精度。

积分项又会增加系统的响应时间，可用微分项（或相位超前）来修正。微分项首先消除系统中时间延迟影响，并增加高频的衰减。

因此, 三项控制器有三个作用: 比例、积分和微分。单项控制器只是比例或积分, 而两项控制器可以是比例与积分或比例与微分。这些控制器都是用它们第一个字母表示: P, I, PI, PD 和 PID。

在数学上, 一个模拟 PID 控制器可用方程(1.1)表示:

$$V_o = k_p \left[1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right] e \quad (1.1)$$

式中: V_o 是控制器的输出; k_p 是比例增益; T_i 是重建时间; T_d 是微分时间; e 是误差信号 ($SP-MV$), 其中 SP 是设定点, MV 是被测变量; s 是拉普拉斯算子。

方程(1.1)的离散等价式可由有限差分数学给出, 如方程(1.2):

$$V_o = k_p \left[e_n + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^n e_i + \frac{T_d}{T} (e_n - e_{n-1}) \right] \quad (1.2)$$

式中: n 是当前采样点; $n-1$ 是先前采样点; T 是采样周期。

有几种有趣的控制器形式被用于在线控制系统, 它们包括分块控制和比例控制。

分块控制由主控制器和次级控制器组成。主控制器监控被控过程, 其输出用来设定次级控制器的工作点(见图 1.7), 而不直接去控制对象。

比例控制是用在希望把一个被控过程从属到主控过程中去的情况。它保证被从属过程的输出与主控过程的变化同步(见图 1.8)。

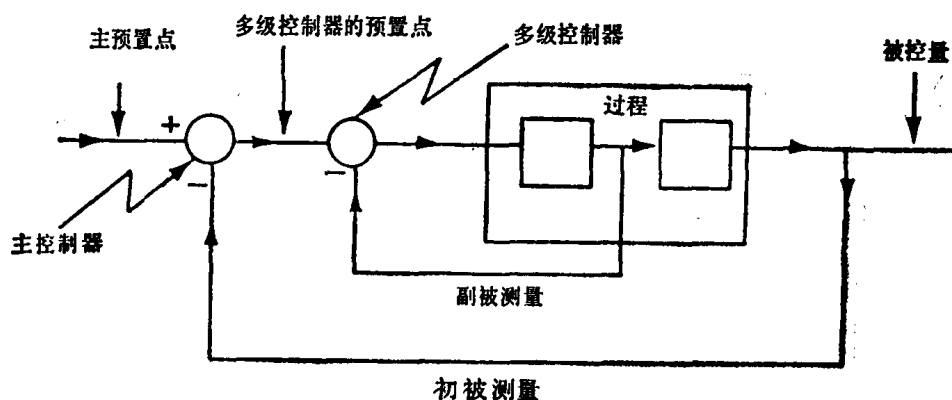


图 1.7 分块控制

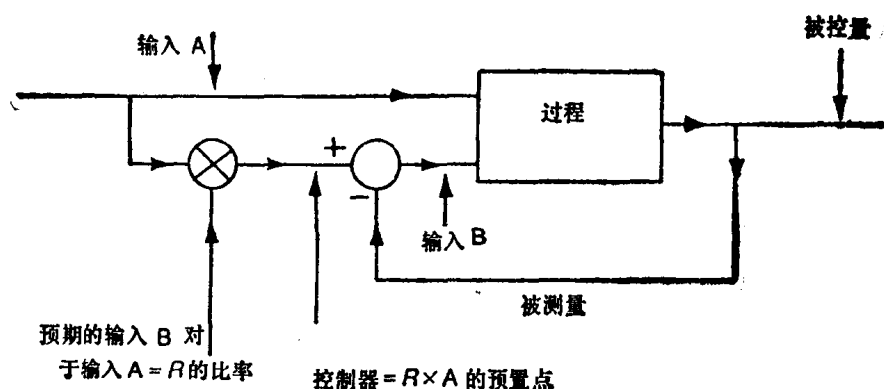


图 1.8 比例控制