

# 微处理机在 仪器与控制中的应用



R.J. Bibbero 著

吕之初 徐毓良 译



《电子与仪表技术》编辑部

# 微 处 理 机 在 仪 器 与 控 制 中 的 应 用

Robert J. Bibbero 著



30276376

基  
本



《电子与仪表技术》编辑部

一九八四年十一月

· 杭 州 ·

518652

## 内 容 简 介

本书根据《MICROPROCESSORS IN INSTRUMENTS AND CONTROL》(Robert J. Bibbero著)翻译,主要阐述微处理机在仪器与过程控制中的应用技术。它涉及各种控制算法、接口技术、软件开发及分布式控制系统,将微机技术、自动控制、仪器仪表、数学模型等学科知识综合成一体,具有边缘科学的性质。书中列举较多实例以阐明微机应用的基本概念与设计思想。

本书可作为微处理机应用方面的研究与教学参考书,适于从事微机应用的高校师生与广大科技人员使用。

## 序 言

微处理机是计算机世界中最新出现而又发展很快的一个机种。自1971年问世以来，其每年产量正以翻一番的速率在增长着，并且早已超过价格较贵的大型通用计算机与小型计算机每年产量的总和。

但是，微处理机的强烈冲击不仅表现在它可与传统计算机相匹敌，而且表现在它得到极广泛的实际应用。新型微处理机中有70%将投入到新的应用领域中去。微处理器体积小（只占一、二个普通元件所占的空间），价格低，这使它们能够像微生物一样渗透到各种各样的设备、仪器仪表与机器中去，使其具有崭新的功能。然而，对于其中许多高级的应用项目，如果用大型计算机，就会使系统异常复杂，甚至显得荒谬；对于其它一些应用项目，则大型计算机因价格昂贵，受到限制较多，至今还不能普遍被采用。

只要随便举一些微处理机应用的实例，就可揭示其千变万化的用途：

汽车

原子吸收光谱分析仪

配料系统

色谱分析仪

电视游戏机

机床

医疗设备

微波炉

过程控制器

售货点终端设备

机器人手臂

字处理机

微处理机到底具有什么新的功能，足以证明将它装备到系统中去的这种设计与开发工作是正确的呢？这里有这么一个例子。汽车装上专用微处理机后，就能以前所未有的准确度与速度来调节燃料-空气混合比并执行定时点火，以致在整个行车过程中可动态地实现汽油消耗最优化，同时又符合防止空气污染控制的严格要求。就是这同一只微处理机，如果采用分时技术，实现时间共享，它还可能具有足够的能力来控制防滑刹车，甚至控制门锁的逻辑电路与防盗装置的逻辑电路。汽车制造商只要付出 100 美元的代价（包括传感器在内），就可以使汽车具备上述功能。

比较简单的应用实例是将微处理机用作微波炉的控制  
器。它通过控制参数去操纵化霜、烘烤、烹调等顺序操作的功能，并且还可用作最后一级的通用定时器。甚至电视游戏机也可用微处理机来实现其逻辑思想，从而淘汰了机械零件与分立式电子元件。这种控制逻辑可以设计得非常复杂以适应家庭娱乐的需要，可让同一个人不断反复地去使用。此外，它还一个优点，整个游戏可以通过重新编制程序来变更。这只要更换一只接插式的只读存贮器（ROM）或盒式磁带存贮器就可以实现。

微处理机这一领域目前还缺乏一套权威性的定义，但是为了概略介绍一下本书的内容，我们不妨对几个术语下一个定义，至少给它们一个粗略的含义。一只**微处理机**包括常规

计算机的中央处理机 (CPU) 的所有元件, 具体地说就是算术、逻辑与控制的元件, 但是这些元件都装在一块或至多二、三块大规模集成电路 (LSI) 芯片上。也有采用单个逻辑元件的**分立式微处理机**, 不过这种微处理机或是作为专用器件, 或是作为向LSI设计发展的过渡性产品, 因此我们通常将它们略去。由于采用LSI, 结果微处理机变得小巧、便宜与复杂。典型的单片式处理机 (如 Texas 公司制的TMS—1000) 的有功部分只0.2平方吋; 每只价为几十至几百美元 (甚至有可能降到10美元以下); 而复杂性则为每只芯片上集成几万只晶体管。至于一台配有存贮器与输入/输出接口的完整的单板式微型计算机那就集成晶体管十万只以上了。

“微处理机”这一术语, 我们用来指那些芯片级的元、部件, 它甚至包括一台完整的计算机的大多数元、部件。

“微型计算机”则用来指一台完整的计算机, 它采用微处理机作为其元、部件, 能够与电传打字机、磁盘存贮器或磁带存贮器等外部设备相接口。可见微型计算机一般是单板安装的由几只到一百只LSI芯片构成的一个集合体, 包括存贮器与接口部件在内。

大多数微处理机, 人们是通过保存在ROM中的程序来进行控制的。ROM是安装在印刷电路板上的正规LSI元件, 它使微处理机具有独特的操作功能。在大规模应用中, ROM根据特殊的任务来编制程序, 并按其结构用生产其它LSI元件相同的大规模生产技术来进行生产。在小规模应用中, 则采用可编程序只读存贮器(PROM)。PROM在制造出来后, 可以个别地对它编制程序, 通常这一工作是利用经大型计算机编程的纸带来进行的。但是, PROM一旦编程后, 它就只起ROM的作用了。不同之处在于: 通用计算机是通过键

盘或穿孔卡片来进行编程——接着程序就被读入一易失性的磁芯存贮器，或者在磁盘与磁芯存贮器之间传送，直到处理任务完成时止。然后，将程序擦去，或者脱机存贮在磁盘、卡片或纸带上。

如果微处理机程序是一个机内的固件，那么整个装置就成一个专用设备（虽然赋与程序很大的灵活性与适应性）。有些微型计算机可直接通过普通键盘与纸带或卡片的阅读机来编程，但这时，它们实际上就变成一种通用计算机或小型计算机。

在本书中，我们不关心微型计算机的通用编程数据处理用法。我们所研讨的是微处理机与**主机**相配合的专门用法。这种主机可以是计算机、分析实验仪器或过程控制器。我们关心主机的**实时**控制，不仅仅关心生产打印数据的实时控制，虽然数据（报告）即使不是计算机联合体的唯一的有价值的输出，也是一种有价值的输出。所谓实时操作，我们指的是处理机迅速地产生计算与控制任务，从而允许或者甚至改进主机的正常动态操作。一般地说，作为控制器，微处理机可用来取代那些规定实时尺度的电子模拟功能部件或机械功能部件。

显然，当专用微处理机采用ROM时，它不是由**用户编程**的。ROM不是为原级设备制造厂（OEM）制造，就是由原级设备制改厂根据PROM制造出来的。用户有几种操作方案可以选择，但不必为软件操心。OEM必须创造那些具有终端用户所需一切逻辑功能的程序，并将这些程序转换给ROM。这样，如果用户希望调换一套新的程序，OEM就必须创造一种新的ROM，并使它重新与用户的处理机相匹配（只要更换一只接插式元件即可）。

然而，给用户提供的（并为ROM程序所允许的）方案，可能是很广泛的，以致需要采取一种用户编程的方式。这些用户程序可通过专用开关或按钮输入随机存取存储器（RAM），而这些开关或按钮的功能又是由原来的ROM程序来规定的。这样，根据需要，可将微处理机设备的用户程序设计得很简单，也可以设计得很复杂。RAM芯片通常是半导体（晶体管触发器）存储器，是易失性的。这就是说，当电源切断时，用户程序就消失了。如果这用户程序是至关重要的，那就可用特殊的存储手段（如盒式磁带存储器）将它保存起来。

本书具有“用于仪器与控制系统中的微处理机”这一领域的边缘科学的性质。它不是一本关于微型计算机的结构与设计方面的书——关于这些课题已经出版许多优秀的著作。它是谈关于微处理机与主机的关系——两者应当如何匹配与接口，为了成功地运行这一联合体必须了解些什么与采用什么措施。

我们尤其关心装有微型计算机的仪器与工业控制系统这一广阔的领域——这是中规模或大规模地采用专用ROM程序或PROM程序的领域。特大量的消费性应用，例如汽车、烤炉与电器，在器件结构与程序设计上，可能需要专门的技术。对此，我们不准备进行讨论。

本书是为仪器与控制器的用户与设计者，以及那些正在开发微处理机新用途或新市场的科技人员而写的。对于医学、化学与生物学实验室仪器的用户与制造厂商，过程控制工程师，控制系统研制工程师，负责微处理机与半导体产品新市场、新用途的开发工程师，科学研究人员，学生，技术人员以及实验室工作人员，它都是有用的。

本书首先介绍测量仪表与控制的原理，特别注意完成实时数据处理任务所需要的动态特性与计算测量仪表。其次，用实例说明数字计算工具以及微处理机为执行必要功能的能力。由于动态控制是我们所关心的各个应用领域的一个重要特性，因此对控制算法与程序的开发作了详细的讨论。

按照我们的打算，开头几章用来打个基础，是自成单元的，启蒙性的。以后各章就引向种种实际应用。这些应用配有实例，包括微处理机与简单分析仪器的匹配、比较复杂的实验室仪器、工业过程控制系统以及装有数据通信设备与接口设备的完整的多处理机控制系统。这些实例还有微处理机的硬件结构与技术及极重要的支援软件，以帮助读者理解应用结构的逻辑思想。

每年产量数以百万计的微处理机将统治工业、科学与技术的世界。对于所有工作于这一世界并献身于这一世界的人，本书都将提供一臂之力。

Robert J. Bibbero

# 目 录

序 言	( I-VI )
第一章 仪器的静态计算与动态计算	( 1 )
§ 1. 信号调理	( 3 )
§ 2. 辅助设备	( 8 )
§ 3. 信号动态	( 20 )
§ 4. 二阶系统	( 32 )
§ 5. 停滞时间	( 39 )
第二章 过程控制的基本原理	( 41 )
§ 1. 开环与闭环控制	( 44 )
§ 2. 开-关控制	( 45 )
§ 3. 比例控制	( 47 )
§ 4. 积分控制	( 55 )
§ 5. 微分(速率)控制与比例-积分-微分 (PID)算法	( 59 )
§ 6. 控制准则	( 65 )
§ 7. 级联控制	( 67 )
§ 8. 前馈控制	( 69 )
§ 9. 可能有多少控制	( 77 )
§ 10. 交互作用的控制环路	( 80 )
第三章 数字计算与系统	( 82 )
§ 1. 数字系统基础	( 82 )
§ 2. 数字表示和代码	( 85 )

§ 3.	数字计算机的运算	( 91 )
§ 4.	二进制逻辑电路与算法	( 93 )
§ 5.	高级算术操作	( 105 )
§ 6.	动态计算、积分与微分	( 108 )
§ 7.	采样定理与采样数据系统	( 112 )
第四章	微处理机的特性	( 116 )
§ 1.	字的结构	( 118 )
§ 2.	指令	( 124 )
§ 3.	分页与间接地址位	( 129 )
§ 4.	变址	( 131 )
§ 5.	再论体系结构	( 132 )
§ 6.	算术逻辑单元(ALU)	( 136 )
§ 7.	附加的结构特征	( 138 )
§ 8.	工艺	( 142 )
§ 9.	实际设计的考虑	( 145 )
§ 10.	存贮器	( 146 )
§ 11.	什么时候采用微处理机	( 147 )
§ 12.	微处理机的选择	( 148 )
第五章	微处理机软件	( 150 )
§ 1.	应用程序	( 150 )
§ 2.	软件级别	( 150 )
§ 3.	语言处理	( 151 )
§ 4.	编译程序	( 153 )
§ 5.	汇编语言	( 154 )
§ 6.	汇编程序	( 156 )
§ 7.	语言级别的选择	( 159 )
§ 8.	编译实例	( 164 )

§ 9.	机器语言格式: 纸带	( 168 )
§ 10.	微处理机开发系统	( 170 )
§ 11.	借助于仿真器的调试	( 174 )
第六章	数字控制算法的推导	( 178 )
§ 1.	一阶滞后滤波器	( 178 )
§ 2.	比例-积分-微分(PID)算法	( 180 )
§ 3.	速率算法	( 185 )
§ 4.	改进的微分和积分算法	( 186 )
§ 5.	动态补偿算法	( 188 )
§ 6.	停滞时间补偿算法	( 189 )
§ 7.	最佳采样数据控制算法	( 193 )
第七章	仪器的数字控制(多通道光谱分析仪)	( 202 )
§ 1.	吸收光谱分析仪	( 203 )
§ 2.	仪器方程和数据处理	( 207 )
§ 3.	数字数据处理	( 210 )
§ 4.	微处理机的选择	( 215 )
§ 5.	编写求比值程序	( 219 )
§ 6.	主程序	( 222 )
§ 7.	微处理机的其它任务	( 230 )
第八章	高级数字仪器(气相色谱仪的计算与记录)	( 234 )
§ 1.	色谱数据的自动处理	( 234 )
§ 2.	色谱数据处理的发展过程	( 236 )
§ 3.	气相色谱仪计算记录器的系统要求	( 239 )
§ 4.	实时数据处理	( 249 )
§ 5.	实时处理参数的控制	( 263 )
§ 6.	远行后处理及报告	( 272 )
§ 7.	以微处理机为基础的分析仪器的前途	( 285 )

§ 8.	色谱仪典型子程序术语汇编·····	( 286 )
第九章	分布式微处理机控制系统·····	( 289 )
§ 1.	分布式控制中的数字多处理机·····	( 291 )
§ 2.	整个分布式控制系统的结构·····	( 293 )
§ 3.	用硬件构成系统·····	( 300 )
§ 4.	微处理机控制器组·····	( 303 )
§ 5.	控制器程序流程·····	( 309 )
§ 6.	控制器信号流程·····	( 310 )
§ 7.	数据入口板(DEP)及其配置·····	( 311 )
§ 8.	中央操作系统·····	( 323 )
§ 9.	装有高级计算机的系统·····	( 329 )

# 第一章 仪器的静态计算与 动态计算

本章目的在于研究仪器的静态计算与动态计算的任务范围，这些任务是采用微处理机来求解的测量与控制仪器中所经常遇到的。

几乎所有的仪器与控制系统基本上都是连续性（模拟性）的，因此，我们首先研究模拟量的控制。然后研究模拟量-数字量的转换及其操作。

我们在讨论中所涉及的基本上有三大项。每一项在数学上可用一组静态与动态的性质来表示，这就是**过程**（即任何能够变化的物理量，例如水箱内液面的水平）、**测量仪器与控制器**（如果系统是受控的）。它们可用三个方块来代表，组成该系统的**方框图**。（图1.1）



图1.1 系统方框图

每个方块以抽象的形式表示静态与动态的量，这些量是我们所关心的，而且近似地反映了问题的性质。如果仪器是理想的，也就是说，仪器具有良好的动态特性，则它常常从方框图上略去。箭头代表将各方块相互连接并决定系统配置

信号或信息。这些信号或信息可以是开环的（实线），或经反馈进入闭环（虚线）。

实验室与工业上所采用的仪器种类几乎是无穷的。我们打算将它们一一加以列举（在后面几章中，我们将详细描述几种特定的仪器，用以说明它们如何采用微处理机）。在工业上与实验室里，通常所测量与控制的量有如下这一些：

温度

压力

液面水平

流速

密度

重量或质量

稠度

湿度或含水份

振动频率与振幅

速率

接近度或位移

此外，还包括某些同化学分析或化学组成有关的物理化学性质：

燃烧热

导热率

$P^H$ （即氢离子浓度倒数的对数）

导电率

磁性

红外线或紫外线的吸收与辐射

质谱（用于质谱分析）

扩散系数（用于色层分析）

仪器的数目与种类，尤其是用于实验室的仪器，正在继续不断地增加，但工业控制上所能用到的仪器比较少，也比较稳定。

在本章中，我们主要不是讨论测量仪器（**变送器**）本身，而是讨论这些仪器所产生的信号。因为在一切对我们有意义的场合中，这种信号最终必须转变成电信号，以便能够数字化并输入数字计算机内。因此，我们只考虑电信号以及与其所代表的物理量的关系和差异。在现代仪器中，信号往往以电信号开始，例如热电偶或电桥电路的输出就是如此。在不是以电信号开始的场合，例如气量或水量，凡需要由计算机来处理的信号必须用变送器转换成电量。P/I或压力-电流变送器就是这种例子——它能够通过应力仪电桥或力平衡（伺服）系统将微分压力绝对值转换成电流信号。

## § 1. 信号调理

信号在适于作进一步处理之前，通常要经过几种静态操作——这些操作常常概括为**信号调理**，虽然现在对信号调理这一术语的含义还没有一致的意见。我们赋予这一术语的含义是那些与信号静态操作有关的操作。在这一点上我们与那种将**噪声滤波**也包括在静态操作中的通常做法有所不同，因为滤波或频率分离本质上是一种动态操作。

初始调理操作（不包括滤波在内）是**信号转换**，也就是为了适合一种共同形式所采取的信号标准化工作。为了适应以后的信号处理设备，这一共同形式通常采用一种标准的电压范围，例如直流1~5V或0~10V。零信号以1V（或0V）代表，最高值以5V（或10V）代表。

许多工业仪器与变送器，例如刚才提到的P/I，输出4~

20mA直流电流信号。用一只精密的分压电阻，按需要作适当补偿或零位调整，就能够将电流转换成所要的电压形式。

**线性化**是许多信号所需要的。最通常的是要将热电偶信号线性化。工业上采用有限的几种热电偶，并且可以根据美国国家标准局所制定的初级标准，按照标准的转换公式（转换成随温度而变化的mV）加以校准。表1.1就是这种T型（铜-康铜）热电偶典型的转换数据。应当注意：以mV为单位的输出（第二列）对温度变化呈现高度的非线性，尤其是在下端。如果为了显示或数字转换，使电压输出与温度呈线性关系，那就要求用图1.2所示的那种形式的补偿函数。它可由若干短的线段构成，而每一线段遵循下列线性法则：

表1.1 T型铜-康铜热电偶\*

°F	mV	斜率 (mV/°F)
750	20.805	0.03384
650	17.421	0.03264
550	14.157	0.03127
450	11.030	0.02966
350	8.064	0.02784
250	5.280	0.02569
150	2.711	0.02180
50	0.389	0.02043
-50	-1.654	0.01726
-150	-3.380	0.01367
-250	-4.747	0.01067
-300	-5.284	

\* 基准温度为32°F