

微处理机在仪器与控制 系统中的应用

〔美〕 R.J.比伯罗 著

汪汉春 译

李达汉 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书的目的是帮助读者正确地选择和使用微处理机，有效地进行程序设计，以便在测量和过程控制中最大限度地发挥微处理机的作用。

全书共分九章，重点介绍微处理机与主机联用系统及其软件。特别令人感兴趣的是，第九章介绍了分布式多处理机系统。为了便于掌握其主要内容，书中还介绍了微处理机和自动控制方面的基础知识，讨论了完成实时数据处理任务所需要的动态分析和计量方法，以及控制算法和程序开发问题。本书也提供了一些典型的设计和应用实例。

本书可供从事测量和自动控制专业的工程师、研究人员和大专院校有关专业的师生使用，也可供有关的管理干部和工人阅读。

Microprocessors in Instruments and Control

Robert J. Bibbero

John Wiley & Sons, Inc. 1977

微处理机在仪器与控制系统中的应用

〔美〕R. J. 比伯罗 著

汪汉春 译

李达汉 校

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850 × 1168¹/₃₂ 印张 10¹/₄ 257 千字

1984年2月第一版 1984年2月第一次印刷 印数：00,001—13,500册

统一书号：15034·2563 定价：1.30元

译 序

在测量和过程控制应用中，微处理机正迅速地取代某些常规电路和机械装置。为了最大限度地发挥微处理机的成本低、速度快、尺寸小、精确度高和用途广等优点，我们必须正确地选择、使用微处理机，学会最有效地进行程序设计。为此，翻译此书，以供读者参考。

本书比较全面地介绍了微处理机和主机联用的方法，测量仪器和控制系统的原理；论述了为完成实时数据处理工作所需要的动态分析和计算方法；阐明了数字计算的手段；指出了微处理机实现所需功能的能力；讨论了为完成动态控制所需要的控制算法和程序的开发问题。本书还完整地提供了一些成功的应用典型实例，其中包括配有微处理机的简单分析仪器、复杂的实验室分析仪器、工业过程调节器，以及装备有数据通信和接口装置的完整的多处理机分布式过程控制系统。这些实例集中反映了微处理机系统的硬件和软件的主要内容，这样就可以使读者了解应用系统的内在联系。

对于原书所存在的个别错误（如符号、公式、图表），译校时已作了修改。

在全书翻译过程中，戎宗仁、陈杰美、许镇宇、高玉泉、郭锡纯及陶姣梅等同志都给了很大帮助，提出了许多宝贵意见，在此深表谢意。

限于译者水平，译文中可能还会存在一些错误和不妥之处，请读者批评指正。

序 言

微处理机是计算机技术中最新型和发展最迅速的一个方面。自它在1971年问世以来，每年的增长率超过100%，微处理机和微型计算机的生产量，早已超过了大型的和较贵的计算机（通用计算机和小型计算机）的总和。

但是，推动微处理机发展的主要动力并不是由于它具有传统计算机所无法比拟的功能，而是由于它可以得到极为普遍的应用。最新型的微处理机中的70%将用在新的应用领域。微处理机的尺寸小（它占有的空间不大于一、二个普通元件所占的空间），成本低，这就使它能渗透到各式各样的设备、仪器和机器中，从而使这些设备在功能上的面貌焕然一新。在许多先进的应用中，如果同大型计算机联用，将会使系统异常复杂，另外，成本上的限制，妨碍了它的广泛应用。

下面随便举些实际应用的例子就可以看出，微处理机的应用是极其广泛的：

汽车；

原子吸收式分光光谱仪；

配料系统；

色谱仪；

运动会；

机床；

医疗设备；

微波炉；

过程调节器；

销售点终端设备；

机械手，
文字处理机。

到底微处理机具有什么新的功能，足以证明把微处理机应用到系统中去的设计和研制方向是正确的呢？让我们以汽车上应用微处理机的例子来说明。在那里，微处理机能够以从未有过的精确度和速度来调节燃料-空气的混合比例和实现定时点火。这样就可以在整个驱动范围内使其动态耗油量为最佳，从而可以严格地满足空气污染控制的要求。采用分时技术的同一个车载微处理机，它可以有足够的能力来控制防滑刹车、门锁逻辑电路和防盗装置。汽车制造商只要付出不到 100 美元（这里还包括传感器在内）的代价就可以使其具备上述功能。

再举一个较简单的应用实例，这就是微处理机用作微波炉的控制器。这种控制器适于控制解冻、烘焦、蒸煮等作业顺序的参数，同时还可作为最后一步的通用定时器。甚至与弹球游戏、或日本的弹球盘机等效的电视游戏也采用微处理机来实现逻辑控制，从而省去了机械部件和一些分立电子元件。这种控制逻辑可能是非常复杂的，因为它要做得适应于由同一个人反复去做的家庭游戏。有时，整个游戏可以通过改编程序来变更，这只要更换一下插入式只读存储器或盒式磁带存储器就可以实现。

在微处理机的应用领域中，还缺乏一些标准的名词术语。但是，为了便于介绍本书的内容，让我们定义几个名词术语，至少给出它们的大致含义。一个微处理机包括常规计算机的中央处理机的所有组成部分，特别是算术及逻辑运算单元（运算器）及控制单元。所不同的是，在微处理机中，这些单元全都装在一块（最多也不过二片或三片）大规模集成电路（LSI）芯片上。也有采用分立逻辑元件的分立式微处理机。但是，这类微处理机或是作为专用器件，或是作为完成大规模集成电路设计的过渡性的产品，所以，通常我们将不予以讨论。由于微处理机是由大规模集成电路做成的，因此，它们具有体积小、成本低、集成度高等特

点。典型的单片处理机（如得克萨斯仪器公司的 TMS-1000）的有效部分为0.2平方英寸，每片的价格是几十至几百美元（甚至将降到10美元以下）；集成度是每片有几万个晶体管。对一个配齐存贮器和输入/输出接口的单板微型计算机，其集成度可达十万个晶体管以上。

我们采用“微处理机”这个术语是从一块芯片上所含元、部件的角度考虑的，即使它们可能包含了一个完整计算机的大多数元、部件，我们仍用“微处理机”这个术语来概括。“微型计算机”一词在这里指的是一个完整的计算机，它能够和电传打字机、磁盘或磁带存贮器之类的外围设备相连接，并且包括了微处理机。因此，微型计算机通常是单板安装的，它包括几片甚至上百片大规模集成电路芯片收集一起装配而成的，其中也包括存贮器和接口部件。

大多数微处理机是通过保存在只读存贮器（ROM）内的程序来控制的。只读存贮器是一种安装在基片上的、普通的大规模集成电路部件，它使得微处理机具有各自的操作功能。在大多数应用中，只读存贮器根据特定的任务来编制程序，并用与其他大规模集成电路部件相同的生产工艺来进行生产。在少数应用中，所采用的是可编程序只读存贮器（PROM）。在做成产品后，可以单独对 PROM 编程序。通常是借助于大型计算机所产生的纸带来对 PROM 编程序。但是，一旦程序编好后，它也就只具有只读的能力。然而，通用计算机是通过键盘或卡片来编程序的。然后再把它读入非永久性磁芯存贮器，或在磁盘和磁芯存贮器之间转换，直到处理工作完成为止。然后，把程序抹去，或者将这些程序脱机存贮在磁盘、卡片或纸带上。

如果微处理机的程序是一个机内软件，那么整个装置就是一个专用的设备（在程序中可以带有许多灵活性和适应性）。虽然某些微型计算机可以借助于普通的键盘、纸带或卡片阅读机来编程序，但这时它们实际上已变成了一种通用小型计算机。

本书不涉及到用微型计算机处理的通用程序数据处理法。我们研究的重点是微处理机和主机联用的特殊情况。这里所说的主机，可能是一台机器、一台实验室的分析仪器或一台过程调节器。我们关心的是主机的实时控制，而不仅是打印数据的产生过程，当然，这并不意味着只有组合装置的输出才有价值。因为数据（报表）通常也是有价值的。所谓实时控制指的是处理机的计算和控制工作是如此之迅速，以致足以使（甚至是足以改善）主设备能够进行正常的动态操作。一般说来，被用作调节器的微处理机代替电子模拟功能或机械功能本身就定义了实时操作的含义。

显然，采用只读存贮器的专用微处理机，不是由用户编程的。只读存贮器要么由原始设备制造厂（OEM）制造出来，要么由用户借助于可编程序的只读存贮器来建立。用户有各种选择操作的余地，但是这并不涉及到软件。原始设备制造厂必须建立实现终端用户所要求的全部逻辑功能的程序，并且还要把这些程序变换为只读存贮器的程序。因此，如果用户希望更换一种新的程序，那么原始设备制造厂就必须生产一种新的只读存贮器，并且要把它改装到用户的处理机上（这只需要更换一块插件就可以了）。

但是，为用户提供的选择范围（只读存贮器程序所容许的）可能相当广泛，以至这些范围可以称为用户程序。这些程序可以借助于专用开关或按钮开关输入到随机存取存贮器（RAM）中。所有这些开关和按钮的动作都是由初始的只读存贮器的程序来确定的。因此根据需要，微处理机的用户控制既可以做得简单，也可以做得复杂。随机存取存贮器芯片通常是半导体（晶体管触发器）存贮器，它是一种“非永久性”存贮器；也就是说，如果电源关闭，则该用户程序便丢失掉。如果这个问题是至关紧要的，那么就可以采用特殊的预防措施（如采用盒式磁带存贮器）来保存用户程序。

本书之所以有必要出版，其理由就在于，它阐述了仪器-控制系统微处理机方面的内在规律性。本书不是一本关于微型计算

机原理的书,也不是一本有关其制造和设计的书,关于这方面的内容已经发行了许多杰出的著作。这是一本关于微处理机-主机联用系统的书,其中包括它们应该如何进行配置和接口;为了能够成功地联用,我们必须掌握些什么知识,以及采取些什么必要的措施。

具体地说,我们特别关心与微型计算机联用的仪器和工业控制系统的广阔领域,其中包括了通用的大容量的专用只读存贮器或可编程序只读存贮器的程序能够大量应用的那些领域。对于汽车、微波炉和用具等这些大量的应用,可能需要有关设备的制造和程序设计方面的专门技术,在这里就不讨论了。

本书是为下列读者编写的:仪器和控制系统的用户和设计者;探求微处理机新的应用领域或微处理机市场的人员。本书对下列人员是很有参考价值的:医学、化学和生物学实验仪器的用户和制造商;过程控制工程师和研究控制系统的人员;微处理机和半导体产品的新市场和应用领域的负责人员、科研人员、学生、技术人员和实验室工人。

本书首先介绍仪器和控制系统的原理,特别是论述了完成实时数据处理工作所需要的动态分析和计算方法。接着,阐明了数字计算的手段,指出了微处理机完成所需功能的能力。由于动态控制是我们所关心的应用方面的重要特点,所以本书讨论了其控制算法和程序的开发问题。

本书特意将上述这些基础知识讲得比较全面,目的是使其具有一定的指导性,以便应用于以后各章。下面各章包括许多典型实例,其中包括备有微处理机的简单分析仪器、复杂的实验室分析仪器、工业过程调节器,以及装备有数据通信和接口装置的完整的多处理机控制系统。这些实例集中反映了微处理机的硬件体系结构和工艺,以及所有重要的软件内容,这样就可以帮助读者了解应用系统的内在联系。

本书将有助于在工业、科学和技术界工作的所有人员,因为这些技术领域将受每年生产的几百万微处理机所支配。

目 录

第一章 仪器的静态和动态计算	1
1.1 信号条理	2
1.2 辅助设备	7
1.3 信号的动态特性	13
1.4 二阶系统	30
1.5 停滞时间	37
参考文献	39
第二章 过程控制基础	40
2.1 开环和闭环控制	43
2.2 开关式控制	43
2.3 比例控制	45
2.4 积分控制	53
2.5 导数(比率)调节和PID(比例-积分-微分)算法	56
2.6 控制准则	60
2.7 级联控制	62
2.8 前馈控制	64
2.9 可能有多少种控制?	73
2.10 控制环路的相互影响	74
参考文献	76
第三章 数字计算和数字系统	77
3.1 数字系统基础	77
3.2 数字表示法和代码	80
3.3 数字计算机的运算	85
3.4 二进制逻辑电路及加法	87
3.5 高级运算功能	98
3.6 动态计算、积分法和微分法	102
3.7 抽样定理和抽样数据系统	106

参考文献	109
第四章 微处理机的特性	110
4.1 字结构	112
4.2 指令	117
4.3 分页和间接位	122
4.4 变址	123
4.5 再论体系结构	124
4.6 算术及逻辑运算部件	128
4.7 附加的结构特征	130
4.8 工艺	134
4.9 实际的设计考虑	137
4.10 存贮器	138
4.11 何时采用微处理机	138
4.12 微处理机的选择	139
第五章 微处理机的软件	143
5.1 应用程序	143
5.2 软件级别	143
5.3 语言处理	144
5.4 编译程序	146
5.5 汇编语言	147
5.6 汇编程序	148
5.7 语言级别的选择	151
5.8 编译实例	154
5.9 机器语言格式: 纸带	157
5.10 微处理机开发系统	159
5.11 借助于仿真器的调试	162
参考文献	166
第六章 数字控制算法的推导	167
6.1 一阶滞后滤波器	167
6.2 比例-积分-微分 (PID) 算法	169
6.3 速度算法	173
6.4 改进的微分和积分计算法	174

6.5 动态补偿算法	176
6.6 停滞时间补偿算法	177
6.7 最佳抽样数据控制算法	180
参考文献	188
第七章 仪器 (多路光谱仪) 的数字控制	189
7.1 吸收式分光光谱仪	190
7.2 仪器方程和信号处理	194
7.3 数字式数据处理	196
7.4 微处理机的选择	201
7.5 比值的例行程序设计	205
7.6 主程序	207
7.7 微处理机的其他一些任务	214
参考文献	215
附录 CP1600 机的部分指令表	216
第八章 先进的数字式测量仪表 (气相色谱仪的 计算和记录)	218
8.1 色谱数据的自动处理	218
8.2 色谱数据处理方法的发展概况	219
8.3 气相色谱仪计算过程记录器系统的技术要求	222
8.4 实时数据处理	233
8.5 实时处理的参数控制	245
8.6 色谱流出曲线的处理和报表	253
8.7 以微处理机为基础的分析仪器的前景	265
8.8 色谱法典型的子例行程序的名词汇编	267
参考文献	269
第九章 分布式微处理机控制系统	271
9.1 分布式控制系统中的数字式多处理机	273
9.2 全分布式控制系统的体系结构	277
9.3 系统的硬件执行过程	282
9.4 微处理机调节器文件存储器	285
9.5 调节器的程序流程	292
9.6 调节器的信号流	293

9.7 数据入口面板和配置	294
9.8 中央操作系统	307
9.9 带有高级计算机的系统	313
参考文献	316

第一章 仪器的静态和动态计算

本章是介绍测量和控制仪器中遇到的静态和动态计算工作的范围，这些计算工作可用微处理机来进行。

几乎所有的仪器和调节器系统在特性上基本是连续的（模拟式的），因此，我们首先研究模拟量的计算。然后再研究模/数转换和数字运算。

我们的阐述基本上涉及三个部分，其中每一部分都能用数学方法表示为一组静态和动态参数。这三个部分是：过程（任一物理量都是可变的，如容器中的液面）、测量仪器和调节器（假定系统是可控的）。它们可以表示成三个方框，从而构成系统方框图（见图 1.1）。

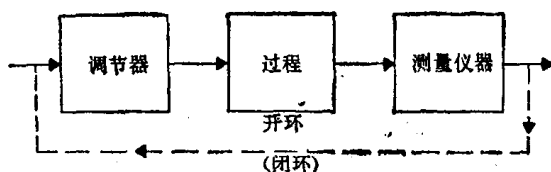


图1.1 系统的方框图

每个方框都以抽象的方式表示我们所关心的静态量和动态量，这些方框亦以某种程度近似地表示所要研究的问题。如认为仪器是理想的，也就是说，仪器具有理想的动态特性，则常常可以把它从方框图中省略掉。框图中的箭头，表示互连各个方框的信号或信息，并确定系统的线路接法，而该系统可以是开环系统（实线），或是带有反馈的闭环系统（实线连带虚线）。

由于在实验室和工业中所用的仪器种类千变万化，所以，在这里我们不一一加以列举（后几章，将详细地介绍一些专用仪器，以便说明它们怎样利用微处理机）。在工业和实验室中，一般被测

量和控制的各种参量中通常包括下面一些物理参数：温度、压力、液面、流速、密度、重量或质量、粘度、湿度或含水量控制、振动频率和振幅、速度、接近或位移。

此外，还包括一些与化学分析或化学合成有关的物理化学参数：燃烧热、热导率、酸碱度（pH）、电导率、磁特性、红外线或紫外线的吸收和辐射、质谱（用于质谱测定）、漫射系数（用于色谱测定）。

这些仪器的数量和品种（特别是实验室用的）正在不断地增加，而工业上作为控制用的仪器相对地比较稳定。这些仪器的大多数已在资料〔1，2〕中作过比较多的介绍。

无论如何，在本章中我们主要关心的是测量设备（转换器）产生的信号，而不是测量设备本身。这是因为，最终都必须把受控的物理量变换成电信号，以便能够实现数字化，并且可以将其送入数字计算机。所以，我们只研究电信号，以及它与所表示的物理量之间的关系或差别。在现代仪器中，常用的信号首先就是电信号，例如热电偶或电桥电路的输出。对于非电信号的情况，凡需用计算机处理的信号（例如气动量或液压量），都必须先用转换器将它变为电信号。 P/I （压力-电流）转换器就是这样的一个例子。这种转换器可以用某些方法，比如用应变仪电桥或力平衡（伺服）系统，把差动压力绝对值转换为电信号。

1.1 信号条理

在信号适于作进一步处理之前，通常要做某些正常的静态操作——这些操作一般概括为“信号条理”，但这一术语的含义还未统一。在这里，我们只用它来表示那些包括信号静态处理的操作，没有把噪声滤波作为信号条理，因为滤波或频率分离在本质上是一种动态操作。

因此，最初的条理工作（不包括滤波）就是信号变换，也就是说，为了符合通用的形式，对所有信号都要进行标准化。为了

与以后的信号处理设备一致，通常采用一种标准电压范围，如 1~5 V 或 0~10 V 的直流电压。也就是说，零信号用 1 V（或 0 V）表示，而最大信号用 5 V（或 10 V）表示。

许多工业用的仪器和转换器，如前面提到的 P/I 转换器，它们的输出是 4~20 mA 的直流电流信号。用精密的降压电阻和适当的偏置或必要的零位调节，可以把这个电流变换为所要求的电压形式。

许多类型的信号都要求进行线性化。最普通的要求是对热电偶信号进行线性化。已在工业中应用了有限的几种热电偶，这些热电偶都可以通过美国国家标准局建成的基准校准到标准的变换形式（即校准为随温度变化的 mV 输出）。表 1.1 摘录了 T 型（铜-康铜）热电偶的典型的校准数据。值得注意的是，相对于温度变化的 mV 输出（第 2 列）存在着很大的非线性，特别是在低温端。

表 1.1 T 型铜-康铜热电偶^①

°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	0.01074
-300	-5.284	

① 参考温度为 32°F。

若想要有一个随温度变化的线性输出电压用于显示或进行数字变换，就需要有图 1.2 所示的补偿功能。这种补偿曲线可以用图中所示的几节短线段来作出，其中每节短线段都遵循下式所示的线性规律：

$$Y = MX + C \quad (1.1)$$

式中 Y —— 线性化输入或过程变量 (PV)；

M —— 梯度或线性化曲线的斜率；

X —— 未处理的过程变量；

C —— 偏移。

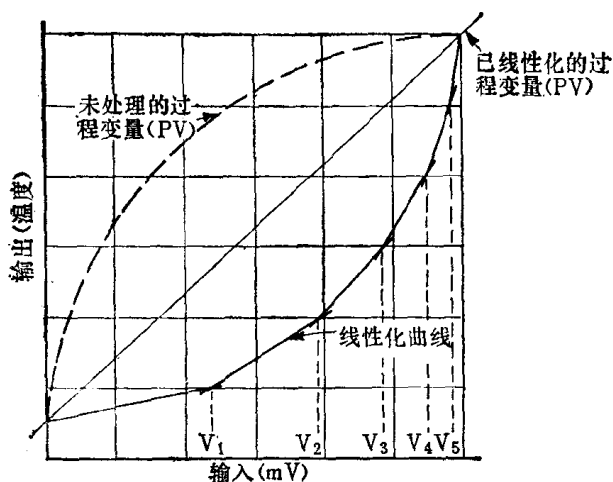


图1.2 过程变量的线性化

未处理的过程变量曲线和补偿曲线合成的结果是一条直线。

式 (1.1) 中的斜率 M 可以从表 1.1 中第 3 列查到，它仅仅是各温度之间的平均斜率。

图 1.3 所示的为采用模拟电子元件来实现上述补偿功能的一种电路方案。调节偏压 V_n ，使每个二极管能够在输入增加时以适当的次序导通，同时把它们的电阻加到并联电路上。任何单调曲线都能用这种方法来逼近，补偿的精确度主要取决于补偿曲线

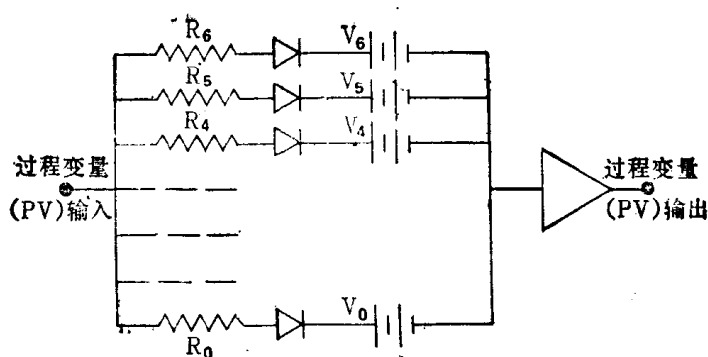


图1.3 模拟式线性化电路

的节数（由二极管-电阻支路的数目决定）。每种热电偶都需要有各自的线性化电路。除上述方法外，还有几种在精确度上或在成本上具有一定优点的线性化方法，但是我们在这里不讨论它们，因为我们感兴趣的是模拟方法的功能，而不是模拟方法本身。

另一个重要的线性化器件是平方根运算器。这种求平方根的运算是很需要的，这是因为许多（即使不是大多数）工业流量测量仪器都带有一个小孔。通过浸没的小孔的流体流量可以借助于测量这个小孔两边的压力差得出，其流量可用下式表示：

$$Q = CA\sqrt{2g\Delta h} \quad (1.2)$$

式中 Q ——流量（体积/秒）；

A ——小孔面积；

C ——小孔系数；

g ——重力；

Δh ——小孔两边的压力差。

从上式可以看出，若 Δh 被压差传感器测出，则要得到流量值就必须求出平方根。

平方根的求取可以采用类似图 1.3 所表示的模拟电路来实现。若用 3 节短线段来逼近（即用三个二极管），则其精确度为 $\pm 2\%$ ；若用 5 节短线段来逼近，则其精确度约为 $\pm 1\%$ ；若用 15 节短线段来逼近，则其精确度约为 $\pm 0.5\%$ 〔8〕。