

# 智能仪器 与信号处理 技术

沈兰荪 编著

科学出版社

# 智能仪器与信号处理技术

沈兰荪 编著

科学出版社

1990

## 内 容 简 介

本书从仪器仪表设计的角度出发,系统地阐述了工程应用的数字信号处理技术.全书分十三章.前三章是全书的基础,着重讨论智能仪器的设计,数字信号处理的一般性问题,以及信号的数字化方法.第四、五、六章介绍数字信号处理硬件的实现方法,新型 DSP 芯片及其应用系统的构成.第七至十二章讨论几种典型的数字信号处理方法(时域平均、FFT 变换、数字滤波、平滑处理、相关分析、自适应滤波).第十三章以数字图像处理系统的设计作为数字信号处理技术在智能仪器中的典型应用实例,对全书内容作概括性的总结.附录中提供了一些对仪器设计极其有用的资料,其中包括 TMS 320C25 汇编指令资料,以及对当前国外最先进的 TMS 320 C30 芯片的介绍.

本书可供从事数字信号处理、仪器仪表设计与维修、自动控制、电子技术和计算机应用的工程技术人员阅读,也可供中专以上计算机专业、仪器仪表专业或电子工程专业的师生阅读,并可作电子应用技术的培训教材.

## 智能仪器与信号处理技术

沈兰荪 编著

责任编辑 唐正必 樊友民

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

1990 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1990 年 6 月第一次印刷 印张: 21

印数: 0001--2 250 字数: 477 000

ISBN 7-03-001792-7/TM·20

定价: 15.90 元

## 序

科学上的重大发现,往往是由于新的观测手段的发明而获得的。在信息科技时代,仪器仪表是实现信息的获取、转换、存贮、处理的必备工具,也是揭示物质运动的必备工具。在现代化建设中,由于仪器仪表对生产工艺和产品质量所具有的监测作用,人们在技术上对它有着更高层次的要求。仪器仪表装备水平在很大程度上反映出一个人的生产发展水平。当前,仪器仪表正在从自动化向智能化方向发展,无疑,这对于提高生产效率、优化产品质量、加速四化建设有着极其重要的作用。

我希望沈兰荪同志的专著《智能仪器与信号处理技术》的出版,能促进我国仪器仪表的科研、生产和教学工作的发展,有益于推动国产智能仪器研制的进展。

王大珩

一九八九年七月二十日  
北京

# 前 言

数字信号处理 (DSP, Digital Signal Processing) 是 50 年代后期发展起来的, 它是对采样的离散信号进行处理的一种现代信号处理技术。

今天, 数字信号处理已成为信息科学的一个重要分支, 经过近十余年的飞速发展, 已建立起一套较成熟的理论基础。随着信号处理算法执行成本的下降, 数字信号处理的应用范围越来越大, 因而对它的研究已远远超出其传统内容——频谱分析与数字滤波器设计。在信号的结构、逼近、内插和外推, 利用部分信息恢复信号, 高分辨率的谱分析, 高效自适应滤波等方面, 新课题不断涌现, 多个变量的信号处理技术已愈来愈受到人们的重视。信号处理作为一门正在发展的学科, 已很难确定它的确切边界。目前, 我们只能说其主要内容为: 信号在时间域、频率域或其它特征域上的性质, 经过各种系统后的表现形式; 设计各种系统以期产生具有给定性质的信号, 或信号在某种意义下的最优逼近; 随机信号与噪音的统计特性, 以及由噪音中提取信号。

数字信号处理技术具有速度快、精度高、稳定性好、处理手段丰富与灵活等优点。近年来, 随着微电子技术的发展及专用数字信号处理器 (DSP 芯片) 的出现, 信号处理技术已进入真正的应用阶段。它已在通信、雷达、声纳、图像处理、语言分析与合成、振动、地球物理、生物与医学工程、仪器仪表与自动测试系统等领域中得到了广泛的应用。

随着信号处理理论与技术的发展, 在现代仪器设计中, 继数字化之后又出现了数字信号处理化的趋势。这也可以说是仪器智能化的一个重要方面。现代仪器借助于微处理器及 DSP 芯片的信息存贮、数据运算, 以及程序控制等性能, 不仅实现了仪器的自动调节, 测量数据的控制与处理, 而且使数字信号处理的基本方法, 如快速变换算法、数字滤波、信号卷积、相关分析、功率谱密度计算、系统的传递函数的计算、自适应处理等均能有效地在仪器设计中实现。这不仅大大减少了仪器测量过程中随机误差的影响, 提高了精度, 而且, 信号处理功能的实现也扩展了电子测量仪器的功能, 使其智能化的水平提高了一大步。

数字信号处理这门学科有着深厚的数学基础, 因而目前已出版的信号处理的书籍虽然不少, 但大多侧重于理论阐述和数学关系式推导, 使许多从事实际工作的工程技术人员望而生畏。这种情况阻碍了该学科的普及与推广, 也影响了仪器仪表设计技术的提高。本书针对这一情况, 从仪器仪表设计的观点出发, 系统地阐述工程应用的信号处理技术。在书中, 我们不侧重于各种信号处理方法的理论阐述与数学推导, 而着重介绍一些基本处理算法的物理概念、相应的硬件电路设计、处理算法的选择及控制程序的编制, 介绍新型专用数字信号处理器 (DSP 芯片) 及其在仪器仪表中的应用。书中给出了一些实用电路, 提供了部分经过实践检验的应用程序, 并讨论一些典型的应用实例, 对信号处理学科的一些新进展也作了简要的介绍。附录中还提供了一些对仪器设计十分有用的资料。本书是一本学习数字信号处理的入门书, 可以帮助读者较快地掌握现代智能仪器设计中的数字信号处理技术。

参加本书写作的还有作者的一部分研究生。林丽霞、白梅同志参加了本书第十章部分内容的写作,戴旭初、王金成同志参加了第五章部分内容的写作,宇正武同志编写了附录 I。另外,李智群、白梅、戴旭初、王金成、孙葆根、吴晓岩、李文娴、蔡震雷、万玲、沈晓军等同志参加了本书书稿的抄写及整理。

本书第六章、第十三章部分内容引用了作者的同事、中国科技大学无线电系徐佩霞副教授、贝昌达副教授、景中起博士等的一部分实验室工作成果。参加他们实验室工作的还有骆长江、彭赤源、李秋平、陆蓓等同志。在本书出版之际,作者对在本书编写过程中给予帮助的所有同志表示感谢。

作者特别感谢王大珩先生的鼓励与关心,感谢他在百忙中亲自为本书写序。

沈兰荪

1989年7月于中国科学技术大学

# 目 录

## 序

## 前言

<b>第一章 智能仪器初步</b> .....	1
1-1 概述 .....	2
1-2 智能仪器的结构 .....	2
1-3 智能仪器的特点 .....	3
1-4 智能仪器的发展 .....	4
1-4-1 专用集成电路 (ASIC) 的兴起 .....	4
1-4-2 个人仪器 .....	5
1-4-3 数据域测试仪器 .....	6
1-5 数据处理 .....	7
1-6 信号处理设备 .....	8
1-6-1 从模拟到数字的发展 .....	8
1-6-2 单片数字信号处理器 (DSP 芯片) 的出现.....	9
<b>第二章 数字信号处理基础</b> .....	12
2-1 概述 .....	12
2-2 时域分析与频域分析 .....	14
2-3 随机信号处理 .....	15
2-3-1 时域分析求得的统计函数 .....	15
2-3-2 频域分析求得的统计函数 .....	16
2-4 离散傅里叶变换 .....	18
2-5 噪音 .....	19
2-5-1 白噪音 .....	19
2-5-2 有色噪音 .....	20
2-5-3 脉冲噪音 .....	21
2-5-4 窄带与宽带随机噪音 .....	21
<b>第三章 信号的数字化方法</b> .....	27
3-1 概述 .....	27
3-2 采样方式的选择 .....	29
3-3 主要技术特性 .....	30
3-3-1 最高数字化速率 .....	30
3-3-2 测量分辨率 .....	30
3-3-3 记录长度 .....	31
3-3-4 动态范围 .....	31
3-3-5 系统带宽 .....	31

3-4	信号的显示 .....	31
3-4-1	波形的显示方法 .....	31
3-4-2	视觉混淆问题的讨论 .....	32
3-4-3	内插显示技术 .....	33
3-5	数据缓冲区 .....	35
3-5-1	设置的必要性 .....	35
3-5-2	单块数据缓冲区 .....	35
3-5-3	双块数据缓冲区 .....	36
3-5-4	环形数据缓冲区 .....	37
<b>第四章</b>	<b>数字信号处理的硬件实现</b> .....	<b>38</b>
4-1	概述 .....	38
4-2	布尔模块的讨论 .....	40
4-2-1	寄存器 .....	40
4-2-2	计数器 .....	41
4-2-3	顺序乘法器 .....	41
4-2-4	浮点加法器 .....	42
4-2-5	移位寄存器存储器 .....	42
4-3	DSP 的微机实现 .....	43
4-3-1	软件实现方案 .....	43
4-3-2	微机外接硬件乘法器 .....	45
4-3-3	高性能微处理器实现 DSP .....	46
4-4	从算法到体系结构的讨论 .....	47
4-4-1	并行性的基本概念 .....	48
4-4-2	流水线结构与多机系统 .....	49
4-4-3	并行处理 .....	50
4-5	阵列处理系统 .....	51
4-5-1	阵列处理的结构特点 .....	51
4-5-2	脉动阵列与波前阵列 .....	52
4-5-3	阵列处理的实现 .....	53
<b>第五章</b>	<b>DSP 芯片及其应用系统的构成(上)</b> .....	<b>54</b>
5-1	概述 .....	54
5-2	TMS32020 芯片 .....	57
5-3	DSP 芯片的接口技术 .....	60
5-3-1	TMS32020 的接口特性 .....	60
5-3-2	TMS32020 与存储器的连接 .....	62
5-3-3	TMS32020 与 MC68000 的连接 .....	66
5-4	主从式 DSP 芯片应用系统的设计 .....	68
5-4-1	主从分布式系统结构 .....	68
5-4-2	STD 总线 .....	68
5-4-3	DSP 单元 .....	68
5-4-4	双端口公共存储区的设计 .....	69



5-4-5 切换控制电路 .....	70
5-4-6 DSP 单元的控制管理 .....	71
5-4-7 PC 环境下的 TMS32020 DSP 系统 .....	71
5-4-8 DSP 芯片应用系统软件设计的一点讨论 .....	72
5-4-9 DSP 芯片应用系统的操作 .....	75
5-4-10 双列数据存贮区 .....	77
<b>第六章 DSP 芯片及其应用系统的构成(下)</b> .....	<b>79</b>
6-1 概述 .....	79
6-2 TMS320C25 的结构 .....	81
6-3 TMS320C25 的指令系统 .....	82
6-4 TMS320C25 的存贮器控制 .....	84
6-5 TMS320C25 的中央算术逻辑单元 .....	86
6-6 DSP 芯片系统控制的讨论 .....	88
6-7 DSP 芯片接口特性的讨论 .....	89
6-8 DSP 芯片系统配置的讨论 .....	89
6-9 TMS320C25 双片 DSP 系统的实现 .....	92
6-9-1 系统结构 .....	92
6-9-2 功能模块的描述 .....	93
<b>第七章 信号平均</b> .....	<b>95</b>
7-1 概述 .....	95
7-2 Boxcar 平均器 .....	95
7-3 时域多点平均 .....	97
7-4 信号平均器的设计 .....	100
7-5 应用举例 .....	103
7-5-1 视皮质诱发试验波形的处理 .....	103
7-5-2 用于亚纳秒时间分辨率的重复脉冲实验 .....	103
7-6 讨论 .....	106
7-6-1 叠加次数与梳状滤波器 .....	106
7-6-2 工程应用中的注意事项 .....	108
<b>第八章 快速傅里叶变换</b> .....	<b>109</b>
8-1 概述 .....	109
8-2 基本原理 .....	109
8-3 实际应用中的一些问题 .....	113
8-3-1 混叠 .....	113
8-3-2 频谱分辨率 .....	114
8-3-3 泄漏 .....	115
8-3-4 运算误差 .....	118
8-4 采用 TMS320 芯片实现 FFT .....	118
8-4-1 基 2 DIT 蝶形运算的实现 .....	119
8-4-2 基 2 DIF 蝶形运算的实现 .....	121
8-4-3 关于系统存贮器与输入输出的讨论 .....	123

8-4-4 讨论 .....	125
<b>第九章 数字滤波</b> .....	<b>127</b>
9-1 概述 .....	127
9-2 基本原理 .....	128
9-3 递归滤波器 .....	129
9-4 非递归滤波器 .....	130
9-5 采用 TMS320 芯片实现数字滤波器 .....	132
9-5-1 非递归数字滤波器的实现 .....	132
9-5-2 递归数字滤波器的实现 .....	135
9-6 滤波器设计中的性能考虑 .....	138
9-7 抑制工频干扰的陷波滤波器的设计 .....	139
9-8 整系数线性相位特性的递归低通滤波器的设计 .....	141
9-8-1 工作原理 .....	141
9-8-2 计算机实现 .....	144
<b>第十章 平滑处理</b> .....	<b>147</b>
10-1 概述 .....	147
10-2 单纯移动平均法 .....	150
10-3 多项式拟合法 .....	151
10-4 适应平滑法 .....	155
10-5 频域平滑法 .....	156
10-6 讨论 .....	158
<b>第十一章 相关分析</b> .....	<b>160</b>
11-1 概述 .....	160
11-2 卷积滤波 .....	163
11-3 相关分析的时域直接实现 .....	164
11-4 采用 FFT 的相关分析 .....	170
11-5 相关器的典型应用 .....	172
<b>第十二章 自适应滤波</b> .....	<b>175</b>
12-1 概述 .....	175
12-2 工作原理 .....	176
12-3 自适应滤波算法 .....	177
12-3-1 LMS 算法(随机梯度算法) .....	178
12-3-2 递归的最小二乘算法(LS 算法) .....	179
12-4 AF 的结构 .....	181
12-5 应用举例 .....	182
12-5-1 自适应回波抵消 .....	182
12-5-2 自适应谱线增强 .....	183
12-6 自适应噪声抵消系统的计算机实现 .....	184
12-6-1 系统的构成 .....	184
12-6-2 系统参数的选择 .....	186

<b>第十三章 数字图像处理系统</b> .....	189
13-1 概述.....	189
13-2 微机图像处理系统.....	191
13-2-1 工作原理 .....	191
13-2-2 技术指标 .....	194
13-2-3 PIP 图像系统 .....	195
13-3 有帧存处理器的微机图像系统.....	198
13-4 一个 TMS32020 图像处理系统的设计 .....	199
13-4-1 系统特点 .....	200
13-4-2 硬件设计 .....	201
13-4-3 软件设计 .....	204
13-4-4 系统性能 .....	206
<b>附录一 TMS320C25 汇编语言指令</b> .....	207
一、存储器寻址方式.....	207
二、指令系统.....	214
三、逐条指令说明.....	218
<b>附录二 TMS320C30 数字信号处理器介绍</b> .....	314
一、概述.....	314
二、结构.....	314
三、指令系统.....	318
四、开发和支持工具.....	319
<b>参考文献</b> .....	321

# 第一章 智能仪器初步

科学上的重大发现，往往是由于新的观测手段的发明而获得的。以获得诺贝尔物理学奖的成果为例，其百分之五十的成功是得益于新的仪器或观测手段的发明创造。从今天进入信息科技时代来看，仪器仪表是实现信息的获取、转换、存贮、处理和揭示物质运动的必备工具，是当今普遍称之为时代标志的信息科技的三大支柱(信息获取及处理，信息传输与通信，电子技术及计算机)必要手段，也是新技术革命的一项重要内容。在现代化建设中，人们对仪器仪表因其对产品质量所能起的监测作用，在技术上有着高层次的要求。因而仪器仪表工业是促进国民经济各部门技术进步，进行技术改造，提高劳动生产率和社会经济效益，开发与节约能源和材料的先导工业。仪器仪表的装备水平在很大程度上反映出一个国家的生产力的发展和科学技术的现代化水平。

根据仪器仪表的使用目的，可以把仪器仪表分为四类：测量仪器、分析仪器、实验室仪器与生物医学仪器。

- 测量仪器。所有直接或间接用于测定各种物理、化学、生物变量的仪器仪表，都称为测量仪器。它包括通用的电子测量仪器(示波器、电压表、频谱仪等)，全部的分析仪器，较大部分实验室仪器，以及部分生物医学仪器。

- 分析仪器。用于分析物质的组分及分子结构的检测仪器，以及它所采用的数据处理系统。

- 实验室仪器。各类实验室用的设备及试验装置，其中包括整个分析仪器、部分测量仪器与部分生物医学仪器。

- 生物医学仪器。专门用于医学技术领域与临床生物分析实验的仪器设备。它包括部分测量仪器，较大部分的分析仪器与部分实验室仪器。其余部分是生物医学的专用设备。

根据仪器仪表所采用技术的先进性，可以将仪器仪表分为三代产品，即模拟式仪器仪表、数字式仪器仪表及智能仪器。

第一代仪器仪表是模拟式仪器仪表，这种仪器仪表至今仍在各种场合被广泛地使用着。大量的指针式电压表，电流表、功率计以及一些通用测试仪器，均是典型的模拟式仪器仪表。这类仪器仪表显示部分的基本结构是电磁式结构，它是利用电磁测量原理，通过指针的移动来显示最终测量读数的。

第二代仪器仪表是数字式仪器仪表，它具有远较模拟式仪器仪表为高的测量精度与响应速度。这类仪器仪表的基本原理在于将待测的模拟信号转化为数字信号进行测量。今天数字化仪器仪表的增长速度已远远超过了模拟式仪器仪表。

第三代的仪器仪表称为智能仪器。这类仪器大致可以分为两类，一类内含微处理器，有人称为“内含微处理器”或“微机化仪器”。另一类，仪器本身与微型机在硬件结构上是分开的，但仪器由微型机控制进行数据采集与处理，这类仪器应属于智能仪器的范畴。智能仪器以微电子器件代替常规电子线路，以微处理器为核心，具有信息采集、显示、处

理、传输及优化控制等功能,甚至具有辅助专家进行推断分析与决策的能力。

智能仪器一出现就显示了它极大的生命力,已成为 80 年代仪器仪表发展的一个主要方向。这不仅在一般测量仪器中,而且在分析仪器、实验室仪器与生物医学仪器中反映了出来<sup>[1,2,3,4]</sup>。

## 1-1 概 述

什么是智能仪器?至今人们尚无公认的定义。首先,我们来讨论什么是智能。一般认为,“智能”是指一种能随外界变化的条件而确定正确行为的能力,也可以说,是对外界条件变化的一种正确的反应能力。人工智能的创始人之一、诺贝尔奖金获得者西蒙认为:“人工智能 (artificial intelligence) 的研究目的在于学会怎样编制计算机程序来完成机智的行动(解决问题、学习、推理与作出决定)”。人工智能所关心的主要是理解人的智能活动,使计算机的行为具有更强的理解能力。

一只普通的蜜蜂能够完成一系列复杂的测量工作,它是依靠一个仅含有  $10^5$  个神经元的神经系统来完成的。该神经元数远少于今天的一台个人计算机硬件资源。由此看来,利用今天的计算机,仪器完全有可能完成相当复杂的工作。

从信息科学的角度来看,信息技术的发展可以分为四个层次,即信息化、自动化、最优化与智能化。信息化是指把客观的物理概念加以数码化,即以二进制数码代表之,以便于存贮与处理,这是最初的一层。自动化是按固定的规则进行重复性处理,以达到预期的目的。最优化是按某种预定的指标限制,使某项任务取得最优的解。这里把问题仅看成是一种数值的概念,最优是指使此数值为最小或最大。这种最优化常常是指计算问题。智能化是最高层次,它应包括理解、推理、判断与分析等一系列功能,是数值、逻辑与知识的综合分析结果,当然,也应包括经验在内。智能化的标志是知识的表达与应用。

显然,今天人们所称的智能仪器,用上述讨论的“智能”及“智能化”的标准来衡量还有相当的距离。可以说,今天的智能仪器仍处在仪器智能化的很低阶段,它只是把微处理器、微型计算机与传统的仪器仪表结合起来。它能适应被测参数的变化,自动进行补偿,自动选择量程,自动校准,自寻故障,自动进行指标判断与分选,以及进行逻辑操作,定量分析与程序控制,进行数字信号处理等。微处理器与大容量存贮器是智能仪器的核心。若对今天的智能仪器作一个更精确的定义的话,则应称之为微机化仪器 (microcomputer based instrument)。

## 1-2 智能仪器的结构

图 1-1 所示为一个智能示波器的框图。模拟输入信号经过模拟数字转换 (ADC) 后,送往存贮器 (RAM)。RAM 中所采集到的数据由微处理器进行数据处理。处理结果再送回 RAM 中,并由微处理器进一步控制,以达到输出显示的目的。示波器的操作可通过仪器专用面板上设置的操作键盘进行。微处理器能够提供很强的数据处理能力,如加、减、乘、除、偏移运算、比例运算、峰值检测,等等。仪器通过数据处理,可以实现误差分析以提高仪器的性能指标。通过调用预先存放在 ROM 中的程序,智能仪器就能具有很强

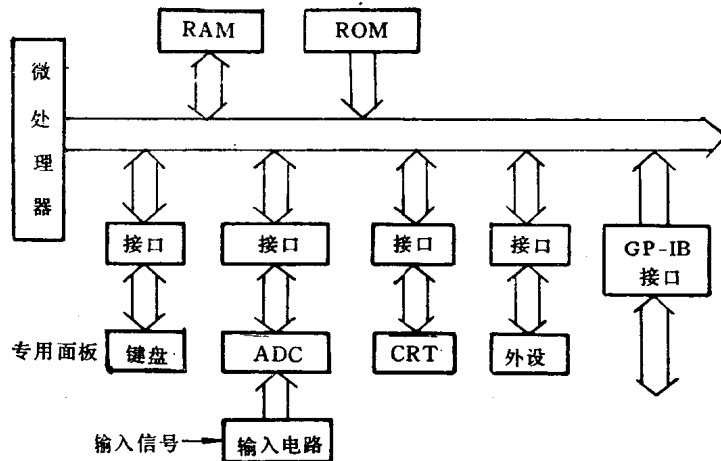


图 1-1 智能示波器框图

的信号处理能力,如进行相关运算、数字滤波与频谱分析等。而且,示波器还能方便地与微型计算机联接起来,组合成多参数、多功能的自动测试系统(ATS)。

与传统的仪器仪表不同,图 1-1 所示的智能示波器是用微处理器与存储器(RAM, ROM)来代替过去的以电子线路为主体的结构,而且用软件技术来代替电子电路的硬件功能。从图 1-1 的框图可以看出:智能仪器可以说是人工智能、数字信号处理、计算机科学、电子学、VLSI 等新兴技术与传统的仪器仪表技术的结合。

### 1-3 智能仪器的特点

在仪器仪表中应用微处理器,对仪器仪表产生了一系列的影响,例如,由于用软件替代部分元件,因此降低了成本。在自适应操作中可运用由数据驱动的条件来进行相应的驱动,以及通过更新软件来减少仪器的陈旧部分,但最明显的影响也许是表现在仪器的前面板及控制操作机构上。

传统仪器仪表的前面板操纵控制器的安排在很大程度上取决于连接到这些控制器上的部件体积及位置。例如,与衰减器相连的旋转式开关必须安装在衰减器正前方的面板上,而一般衰减器则装在开关的控制轴上。由于面板的最终布置受仪器内部结构的限制,因此不能充分考虑用户使用的方便。智能仪器广泛使用键盘、LED 显示器或 CRT,使个人一仪器间的接口与仪器功能部件的设计可以完全独立进行,从而明显地改变了仪器前面板及有关控制操作机构的设计。

智能仪器另一个很重要的特点是仪器的自动测试功能。智能仪器如果发生了故障,通常可以自检出来,而且还能协助诊断发生故障的根源。这种自测试不仅在仪器启动时进行,也可以在仪器运行时进行。它的应用实际上只受仪器设计者的想象力的限制。

微处理器的运用使智能仪器的功能较传统仪器仪表有了极大的提高,许多原来用硬件逻辑难以解决或根本无法解决的问题用软件则可以很灵活地解决。例如传统的数字万用表(DMM)只能测量电阻、交直流电压、电流。而智能万用表还能测量诸如百分率偏

移、比例、极值、统计参数等。

微处理器的引入不仅增强了仪器的功能，还大大提高了仪器的性能。通过微处理器的数据处理，可以实现自动校正和多次测量平均，从而提高仪器的精度。自动校正时，不仅可以消除由于漂移、增益不稳定等因素所引起的误差，而且还能校正由各种传感器、变换器带来的非线性或频率响应误差。

智能仪器的另一个特点是操作自动化。微处理器集中了控制仪器的测量过程，如控制键扫描、量程选择、开关启动、数据采集、传输、处理及显示输出等，从而实现了测量过程的自动化。

智能仪器还有一个重要特点，就是具有对外接口能力，通常具有 GPIB 接口。70 年代初，计算机的总线技术开始转移到仪器仪表上。IEEE-488 (GPIB) 仪器接口总线和 CAMAC 计算机自动测量与控制总线首先成为国际标准的仪器系统用总线。智能仪器可以很方便地通过自己的标准总线组成用户所需要的多功能的自动测试系统。

综上所述，除了在仪器设备上各种复杂的应用外，仪器智能化还有多种不同的用途。一旦计算机成为仪器的组成部分，则它不仅具有操作仪器的功能，而且有管理实验室的功能。这些功能包括：计算机的自诊断，仪器的自适应操作，与自动进样器结合的实验程序和复位的自动化功能。对一些特殊的需要，智能仪器还具有强制性的解释，仪器操作模式的编制，对程序操作者进行教授，以及寻找测量装置中的模型等功能。

## 1-4 智能仪器的发展

自从第一个装有四位微处理器的数字万用表 (DMM) 于 1975 年在美国问世以来，微处理器已很快进入传统的电测仪器仪表及大型分析仪器等各个领域。最有代表性的智能仪器产品有数字电压表 (DVM)、数字万用表、数字存储示波器 (DSO)、逻辑分析仪 (LA)、波形分析仪 (WA)、频率分析仪 (FA)、动态信号分析仪 (DSA)、光谱分析仪、数字相关器 (DC) 和数字图像处理系统 (DIPS)。我们在前言中已一般地介绍了仪器仪表的发展趋势，在此我们有必要作进一步阐述。智能仪器的发展除了与数字信号处理技术密切相关(将在本章下一节中讨论)外，还与如下一些技术的发展有关：

### 1-4-1 专用集成电路 (ASIC) 的兴起

微电子技术的发展对仪器仪表有着越来越明显的影响，70 年代集成电路的线宽为 5  $\mu\text{m}$ ，到了 80 年代，线宽缩小到 1  $\mu\text{m}$ ，当时每个芯片的元件数分别为几万个与上百万个。90 年代集成电路的线宽将要进入亚微米量级。芯片集成度数量的飞速增加，必然导致集成电路功能的质变，从而极大地推动仪器仪表智能化的进展<sup>[7,40]</sup>。

现在，仪器仪表的整机性能的提高往往依赖于一个或几个新型电路的问世。高频、高灵敏度、高稳定性、高速度和低功耗等主要性能指标的进一步提高，已比较难以从仪器仪表设计的本身去解决，而不得不依赖于有关电路器件及芯片的设计、制作水平的提高。

1982 年，Philips 公司采用新的蠕动型电荷耦合器件把存储示波器的采样频率提高了 5 倍。硅器件的高频与超高速性能一般认为已接近极限，新系列的 GaAs 器件与电路不仅已达到相同水平，而且表现出有更高的发展前景。GaAs 通用寄存器已可工作在 1.4

GHz 钟频下,超过 ECL 电路一倍以上,具有良好的环境温度适应性,对微波仪器及高速数字仪器正在起着推动作用。

应该指出,近十年来,专用集成电路 (ASIC, Application-Specific Integrated Circuit) 产品,或称为订购产品 (customized cricuits),无论在价格、集成度,或是在产量、产值方面均取得了飞速发展,ASIC 产品已成为一种十分重要的 IC 产品。ASIC 分为全专用电路与半专用电路两类。全专用集成电路完全是根据用户的要求,或为用于某种特定场合而设计的。全专用集成电路使用的掩模均是新的,因此研制周期长,研制费用高。半专用集成电路分为可编程逻辑器件 PLD(Programmable Logic Device)、门阵列 (gate array) 与标准单元三种类型。

PLD 是在 PROM 的基础上发展而成的, PROM 由用户使用时编程固化。PLD 是对地址进行编程的 ROM,是由“与”、“或”门的组合逻辑电路实现的 IC。根据编程情况 PLD 又可分为三种: 可编程阵列逻辑 (PAL, Programmable Array Logic), 其中“或”门固定,“与”门阵列可编程;可编程逻辑单元 (PLE), 其中“与”门固定,“或”门阵列可编程;现场可编程逻辑阵列,“与”门“或”门均可编程,信息全部由用户写入。PLD 的优点是适应性强,使用方便,缺点是速度慢、功耗大,不能运算,因此目前已较少使用。

门阵列是一种预先在芯片上制成逻辑门的阵列,是不封装的半成品。基本的逻辑门单元包括与非门,或非门等。使用时根据用户的要求,最后布线封装为成品。有些门阵列产品是预先对某些基本单元进行局部布线,将门组成触发器、计数器或组成 ROM, RAM, 称为宏单元 (macrocell)。

门阵列是当前应用最广的 ASIC, 门数通常达到 1—2 万个, 256 个引脚。目前已有超过十万门的门阵列,内部引线为  $1.5\mu\text{m}$  线宽,每门延时  $0.7\text{ns}$ 。门阵列通常采用 CMOS 器件,高速门阵列采用 ECL。最近又出现巨单元,即把 CPU, RAM, ROM 均包括在内,利用这种巨单元门阵列,可制成单片式智能仪器。门阵列的布线是个难点,高密度时要采用双层,甚至三层布线。

标准单元的基本单元除门电路外,还可包括存储器、CPU、甚至线性电路、功放电路。但这些电路是以软件形式——掩模图形与控制程序存贮在计算机数据库中,构成标准单元库。这种标准单元库的优点是使用时可根据用户的要求来设计程序,设计的自由度高,可使最终电路优化;芯片小,利用率可达 100% (门阵列的利用率只有 50—80%)。

对仪器仪表的工作者来说,很有意义的一项工作是把一些性能要求很高的线路单元设计成专用集成电路,然后转给集成电路生产厂家制成专用集成电路 ASIC,再用到新型仪器仪表中去。还应指出,利用 ASIC 的成果,可望实现从用户集成电路,转而在芯片上直接实现集成的先进系统。

#### 1-4-2 个人仪器

总线制仪器与智能仪器、微机的应用等紧密相关,今天人们已很难区分计算机系统的总线与仪器仪表系统的总线。例如, GPIB 既是仪器标准总线,也可用于分级计算机系统上、下级机之间的通信。但 80 年代以来,随着个人计算机的发展,性能价格比的提高已使它进入工厂、机关、实验室等各个场合。个人计算机的普及导致了“个人仪器” (personal instrument) 的产生。



人们通常称总线制仪器为独立仪器,它不同于通常的总线制仪器(相对于个人仪器)。个人仪器有两种结构:一种是在个人计算机箱中插入测量功能的扩充模板(plug-in module),另一种则在外接扩充机箱中插入有测量功能的扩充模板。个人仪器这类结构实际上属于个人工作站的范畴(图 1-2)。个人仪器中各个仪器功能模板插件均有独立的测量功能。在这些结构中,仪器功能模板插件间可进行实时的相互通讯,也可以相互触发以获得时间上相关的测量结果。个人仪器这种结构具有如下的优点:

- 可以连接的仪器设备数仅受输入/输出(I/O)寻址能力的限制。
- 可以在 PC 机 I/O 总线上进行全带宽的数据交换,从而完成实时数据的采集与处理。
- 同一总线上的几个仪器可以利用 PC 总线实时交互,这是 IEEE-488 与 RS-232C 总线所不能完成的。
- 个人仪器可以使用 PC 机资源与外部设备。
- 个人仪器可以方便地得到图形处理、图像处理、数据库甚至专家系统功能的支持,并具有连网能力。

个人仪器已开始用作数据库管理、图像获取、仿真(simulation)、PROM 编程、数据采集(data acquisition),以及低档开发系统。特别是作为一种正在发展中的工程设计装置,个人仪器为仪器仪表设计与信号处理技术更紧密地结合提供了一种新颖而极有效的形式。在本章的后部,我们将简要讨论一种基于个人仪器结构的 DSP 信号处理系统。

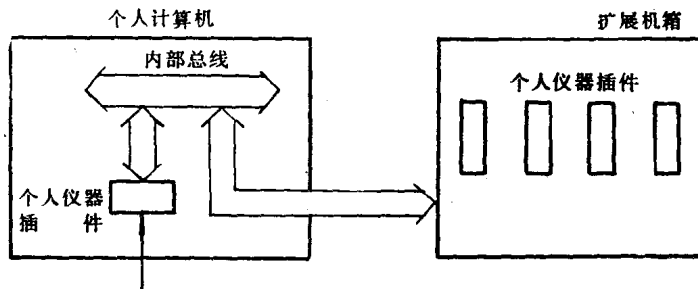


图 1-2 个人仪器结构

还应指出,个人仪器与计算机辅助设计、计算机辅助工程的发展,导致了个人工作站的出现。仪器设计与测试工程师可以根据自己的需求、习惯来组织与配置自己的个人工作站,从而形成以工程设计人员为中心的最为有效的开发环境,这显然将大大提高工作效率。

### 1-4-3 数据域测试仪器

各种数字设备、计算机,以及 LSI 与 VLSI 的研究与生产,要求对二进制数据流进行测试与分析,对这类信息载体,传统的频率域与时间域测量技术是无能为力的。70 年代以来,数据域测量分析的概念逐渐形成,从而也兴起了新的仪器——数据域测试仪器的研制。

这类仪器包括:集成电路测试仪、逻辑分析仪、仿真器、字符发生器、特征信号分析仪