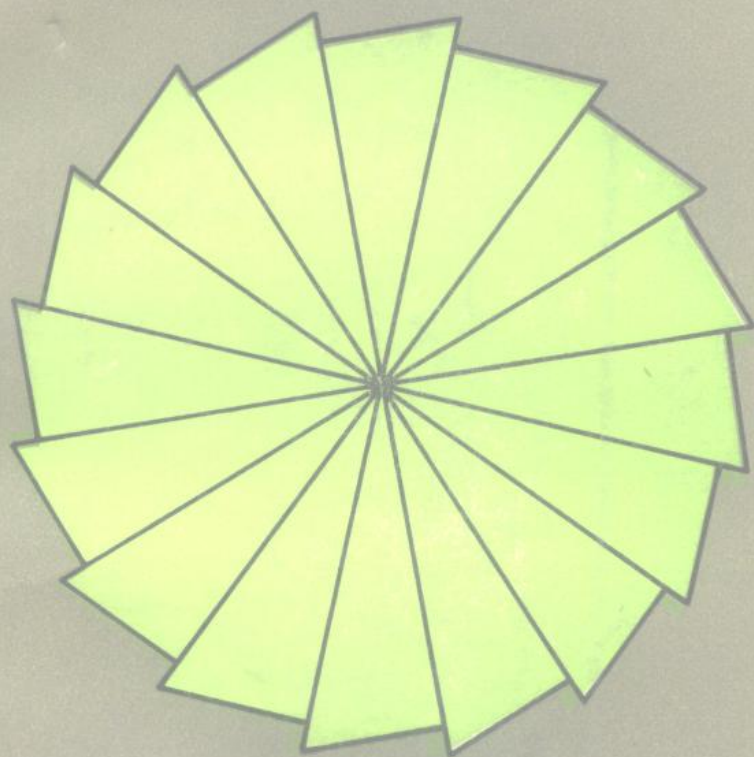


暴金生 编著
周企樱



智能仪器设计基础

智能仪器
设计基础

机械工业出版社

P45

智能仪器设计基础

暴金生 周企樱 编著



机械工业出版社

DHSO/12

本书以如何设计智能仪器作为全书的主线，将智能仪器许多共性的内容——仪器的操作管理、显示、记录以及提高仪器性能的若干典型功能都视为独立的模块，详细论述了这些模块的设计原理和方法。同时还概要地介绍了设计这些基本模块所必需的软件基础知识，以便作到基础与应用的紧密结合。此外，还对智能仪器间通信的总线及其实现方法，以及正在发展的自诊断和容错技术都作了较详细的阐述。

以作者多年从事科研和教学实践为基础，最后精选了若干智能仪器的综合设计实例，以概括全书的内容。本书具有新颖性和实用性。

本书可作为高等学校检测技术，仪器仪表和生产过程自动化专业的教材或教学参考书，也可供从事智能仪器研制和使用的工程技术人员参考。

智能仪器设计基础

暴金生 周企樱 编著

责任编辑：牛新国 责任校对：贾立萍
封面设计：姚毅 版式设计：张伟行

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）
（北京市书业出版业营业登记证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168¹/₃₂·印张12¹/₄·字数323千字
1989年4月北京第一版·1989年4月北京第一次印刷
印数 0,001-2,040·定价：11.00元

ISBN 7-111-00745-X/TH·125

前 言

当今，仪器仪表已构成一个庞大的体系。任何专著也不能对这一包罗万象的体系做面面俱到的叙述。本书限于讨论微型计算机如何应用或渗透到仪器仪表领域，从而产生新一代仪器——智能仪器，并侧重于工业自动化仪器仪表的智能化设计。

智能仪器(仪表)是(微型)计算机与测量技术有机的结合，发展异常迅速。在传统测量和控制领域工作的广大技术人员将面临着一次“知识更新”。让他们尽快地熟悉和掌握智能仪器的设计，无疑将对我国仪器仪表工业的发展产生深远影响。

作者多年来在仪器与计算机的结合方面做了一点微薄的工作。作为前一段工作的总结，为促进同行间的交流，并满足我们教学的急需，特编写此书。

全书围绕着如何设计一台智能仪器这一主线展开，将智能仪器看作是具有若干典型“功能模块”的组合。首先叙述如何利用微型计算机实现典型的功能模块，然后说明如何利用这些模块进行拼装，从而构成一台完整的智能仪器。

本书可供初步掌握了“微型计算机原理”知识的从事仪器与自动化方面工作的技术人员参考。亦可供大专院校仪器仪表及有关专业作为教材或教学参考书。

本书在编写过程中，天津大学向婉成教授对文稿进行了详尽的审阅，提出了许多宝贵意见，谨向她表示诚挚的谢意。

限于编者水平，缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

1987年7月

目 录

前言

第一章 智能仪器(仪表)的发展概述	1
第一节 仪器发展概况	1
第二节 微型计算机对仪器发展的影响	2
第三节 智能仪器的发展趋势	5
第二章 智能仪器中常用软件技术	7
第一节 程序结构	7
一、模块程序	7
二、结构化程序	8
第二节 数据结构——表与查表技术	14
一、线性表	14
二、树结构	18
三、查表技术	20
四、数据排序	36
第三节 栈和子程序	41
一、栈的概念及其特点	41
二、栈的应用实例	41
三、子程序的类型	46
四、栈在主、子程序参数传递中的应用	48
五、改进的栈传递参数的方法	50
第四节 浮点运算规则和逻辑	53
一、在八位定点机上实现浮点运算	53
二、浮点数加法(减法)运算	55
三、浮点数乘法运算	58
四、浮点数除法运算	60
第三章 智能仪器的操作管理	62
第一节 键盘	62

一、键盘接口应解决的问题	63
二、非编码式键盘	64
第二节 键盘监控程序设计方法	72
一、直接分析法	72
二、状态矩阵法	75
第三节 键盘监控程序设计举例	82
一、一键一义带联锁保护的键盘监控程序举例	82
二、一键多义键盘监控程序设计举例	85
三、状态矩阵法程序设计举例	86
第四章 智能仪器的显示与记录	94
第一节 发光二极管显示器	94
一、概述	94
二、7段LED显示	96
三、点阵式LED显示	111
第二节 显示终端	114
一、阴极射线管(CRT)	115
二、光栅扫描和消隐	116
三、字符发生器	118
四、显示一行字符	120
五、显示一个画面	121
六、单片CRT控制器	122
七、CRT的图形显示	129
第三节 微型打印机	141
一、简易型打印机	141
二、打印机接口	143
第五章 智能仪器的模拟量输入输出通道	149
第一节 A/D、D/A转换器的主要技术指标	149
一、A/D转换器的主要技术指标	149
二、D/A转换器的主要技术指标	151
第二节 高精度模拟量输出通道	151
一、DAC-169-16B D/A转换器	151
二、DAC-169-16B与CPU的接口	152
三、高精度DAC应用举例	154

第三节 高速高精度模拟量输入通道	158
一、14位逐级比较式A/D转换器——ADC1131J	158
二、ADC1131J与CPU的接口	158
三、数据采集程序设计	160
四、高精度模拟通道的附加接口	161
第四节 多路模拟量输入与输出通道	165
一、多路模拟量输入通道	165
二、多路模拟量输出通道	168
第五节 宽动态范围的模拟量输入通道	171
一、VFC的工作原理	172
二、用VFC组成的A/D转换器	173
三、VFC与CPU的接口	174
第六节 抗工频干扰的模拟量输入通道	180
一、双积分A/D转换器与干扰的抑制	180
二、抗周期波动的工频干扰的模拟量输入通道	182
第六章 智能仪器的典型功能	190
第一节 消除仪器的漂移	190
一、消除仪器的零点漂移	190
二、消除仪器的标度漂移	196
第二节 仪器的线性化	203
一、仪器的非线性及常规线性化方法	203
二、智能仪器中的线性化方法	204
第三节 消除环境因素对测量的影响	209
一、环境因素及常规补偿方法	209
二、智能仪器中减少环境因素影响的方法	210
第四节 自动增益变换	214
一、常规增益变换方法	214
二、模拟通道的变增益控制	214
三、数字通道的变增益控制	216
第五节 测量数据的动态处理	220
一、微分计算	220
二、积分计算	223
第六节 测量数据的回归分析	229

一、概述	229
二、线性回归分析的算法公式	230
三、回归分析的流程设计	233
第七节 测量数据的筛选	233
一、离群值的检验准则	234
二、检验准则的程序流程	235
第八节 弱信号检测	240
一、概述	240
二、同步迭加原理	240
三、用计算机实现同步迭加	241
第九节 噪声抑制和数字滤波	243
一、概述	243
二、数字滤波方法	244
第十节 被测信号的监视与报警	251
第七章 总线标准及实现方法	253
第一节 引言	253
一、内总线与外总线	253
二、并行总线与串行总线	254
三、总线的作用	254
第二节 IEC-625通用接口总线	255
一、IEC-625总线的产生及其发展	255
二、总线描述	255
三、接口信号线功能	259
四、接口功能的设置	264
五、系统实例	266
六、IEC-625总线接口芯片	268
七、用软件实现总线控制	270
第三节 BIA-RS-232C串行总线	279
一、串行通信的基本概念与技术	279
二、串行通信实例	283
三、总线描述	294
四、RS-232C标准接口的系统连接	298
五、RS-232C接口实现方法	299

第八章 自诊断与容错技术	303
第一节 可靠性的定量表示	303
一、可靠度、故障率和平均故障间隔时间.....	304
二、串联及并联系统的可靠度.....	305
第二节 容错技术	306
一、硬件冗余技术.....	306
二、信息冗余技术.....	308
三、时间冗余技术.....	315
四、软件容错技术.....	319
第三节 自检与故障诊断	319
一、概述.....	319
二、自检法.....	320
三、故障诊断.....	322
第九章 智能仪器的系统设计	328
第一节 智能仪器设计前的准备	328
一、编写设计任务书.....	328
二、微型计算机机型的选择.....	329
第二节 智能仪器的研制步骤	333
一、硬件与软件的划分.....	333
二、硬件设计.....	335
三、软件设计.....	335
第三节 软硬件综合调试	339
一、硬件调试.....	339
二、软件调试.....	346
第四节 智能仪器设计实例	349
一、智能称重仪.....	350
二、智能比色高温计.....	354
三、四极质谱仪智能多重离子检测.....	363
四、单束法同位素质谱仪的数据处理.....	372
参考文献	384

第一章 智能仪器(仪表)^①的发展概述

近代电子技术与计算机技术的惊人发展,促使仪器这个科学技术领域发生了变革性的进步,产生了新一代仪器——智能仪器。本章将介绍仪器的发展概况,微型计算机对仪器发展的影响,以及智能仪器的发展趋势。

第一节 仪器发展概况

众所周知,仪器是由于人们需要探索自然、认识自然、并进而驾驭自然而发展起来的。纵观仪器的发展,大体上可分成如下几个阶段¹⁾:

在古代,人类为了计时的需要,利用太阳与地球相互运动的规律,制成了日晷。这是现代计时仪器的雏型。由于人们当时对自然界认识的粗浅,在漫长的岁月里,仪器的发展是极缓慢的。

随着第一次产业革命的到来,出现了蒸汽机和其它机械,只凭人们的感官和手足已经很难操纵这些机器了。于是,一些机械指针式仪表和简单的控制装置开始问世。例如锅炉水位指示仪表、蒸汽机离心调速器等。

到本世纪初,电子管的发明以及通信事业的需要,促进了电子学的蓬勃发展。特别是第二次世界大战期间,战争的需要促进了近代科学和自动化理论与实践的飞速进展,对仪器的需要提出了更高的要求,同时也为近代仪器的发展奠定了基础。

50年代后期,利用各种物理效应,基于反馈理论,制成了测量各种非电量(温度、压力、流量等)的模拟式自动化仪表。

本世纪中期,电子计算机的发明,在科学技术领域中引起了轰动。有人预料,它将会引起一次新的工业革命。在其后,又发明

^① 为简略起见,下文皆用仪器这一术语泛指仪器与仪表。——编者注

了晶体管，数字化技术发展迅速，各种模拟—数字转换技术日趋成熟。60年代中期，一大批数字式仪器开始生产。

可是在此期间，计算机对仪器并未产生革命性的影响。这是由于当时计算机还是一种神奇而又昂贵的设备。技术复杂，工作的可靠性又很差，只有少数专业人员才能掌握和操纵它。因而在广阔的领域中，人们只好对它望而却步。为此计算机很难在仪器中获得普遍应用，只有少数需要浩繁数据处理的大型精密仪器(质谱、波谱、声谱仪器)才尝试使用计算机。

综上所述，近代科学技术，尤其是电子技术的发展，对仪器的发展起了巨大的促进作用。

第二节 微型计算机对仪器发展的影响

本世纪70年代初期，随着大规模集成电路(LSI)^①制造技术的发展，发明了微处理器芯片。微处理器芯片的优异性能引起了仪器专家的极大兴趣。在微处理器芯片问世3年后，美国开始有配微型计算机的分析仪器产品出售，例如HP5830A色谱仪。其后，仪器与控制系统的微型计算机应用工作空前活跃起来。例如美Honeywell公司研制的集—散型控制系统TDC-2000。该系统仅在1975年就出售了300套，共25万个回路。目前可以说，新的测量技术几乎没有不考虑采用微处理器的。据美国商务部《1979年美国工业展望》提供的数字表明：从1975年起美国测量控制仪表、光学及分析仪器平均每年以20%的速度增长，而微处理器和微型计算机在仪器中的应用以每年35%的速度递增⁽²⁾。

为什么微型计算机给予仪器的发展以如此巨大的活力呢？这是由于微型计算机除了具有计算机的运算、判断、记忆、控制功能之外，还具有功耗低、体积小、可靠性高、价廉等特点。再加上近几年来软件技术的开发，为智能仪器的发展创造了良好的条件。

智能仪器与常规仪器相比，主要在如下几个方面发生了突

^① 为简略起见，下文皆用LSI。——编者注

革^[3]。

1. 智能仪器使仪器性能得到改善和提高

(1) 提高了仪器的精度

要消除影响仪器精度的“零漂”、传感器的非线性特性、环境因素的变化等等，是常规仪器设计中感到棘手的问题。智能仪器能利用微处理器的运算和逻辑判断能力，按照一定的算法，以消除诸因素对仪器精度的影响。例如，美国FLUKE公司生产的直流电压标准器。1965年代表性产品为332A，其精度为50ppm。到1983年，此产品改型为5440A，内部加了三个微处理器，其短期稳定性达到1ppm，线性度达0.5ppm。显然，仪器的精度有较大的提高。

(2) 扩展了测量范围

在进行超高频测量时，源阻抗的热噪声是限制测量下限的一个主要因素。而1981年问世的美RACA-DANA公司的9303型超高频电平表，它内含微处理器，该表运用微处理器消除电流流经电阻所产生的热噪声，测量电平可低至-77dB。

(3) 改善了仪器性能

除了提高仪器精度外，还可改善仪器的其它性能。例如仪器的灵敏度、分辨率等技术指标。美国Finnigan公司的Incos 2000数据系统，使用峰形提高程序对四极质谱仪器的峰形整形，提高了仪器的分辨率。

(4) 增加了仪器的功能

智能仪器除了测量功能外，还可对测量结果进行处理。例如求平均值、零点平移、比率倍乘、百分比偏差以及更加复杂的处理等等。

(5) 自检和自校准功能

智能仪器常具有自检和自校准功能。通过自检和自诊断，使仪器的故障及时发现，便于维修。常配有内基准，可以定期或随时进行内校准，不仅节省了校验费用，还提高了仪器设备的利用率，使仪器长期稳定地使用。

(6) 提高了仪器的可靠性

由于仪器原有的功能部件，可由微处理器取代。例如美国Finnigan公司9610色谱仪的程序控温部件，就是用一片微处理器芯片Intel 8008和相应接口与软件实现的。因为大规模集成电路可靠性高，因此仪器可靠性提高。此外，智能仪器可以采用容错技术进行设计，保证仪器的高可靠性要求。

(7) 实现仪器的全盘自动化

常规仪器在测量过程中需要较多的人工干预。例如分析仪器中的液相色谱仪，需要对多种样品进行分析。新式的智能液相色谱仪带有专用的机械手，能完成样品的自动切换、自动进样。此外，仪器本身工况的最佳状态，以及测量结果的数据处理均是自动进行的，完全不需人工干预。

2. 智能仪器具有先进的人—机(仪器)对话方式

通常将仪器各种功能编成若干个子程序，子程序由命令来调用。使用人员只需在键盘上打入命令字，或按某些专用功能键，仪器就可实现某项功能。这样使仪器的操作使用极其方便。与此同时，微型计算机还可将仪器的运行情况、工作状态、测量数据与处理结果通过显示屏及时告知使用人员，从而更加密切了人—机(仪器)之间的联系。

3. 智能仪器可有复杂的数据处理功能

某些大型精密仪器，例如分析仪器中的同位素质谱仪器，为了保证高精度的测量，需反复多次测量，然后对测量的大量数据进行统计处理。传统的测量仪器在几分钟内采集的数据，要花费几天时间进行人工处理。引入微型计算机后，按照确定算法及时求取均值、方均根误差等。并可按照误差理论去剔除坏值(离群值)，给出精确的测量结果。

4. 智能仪器易于改进和更新换代

许多仪器产品具有品种多、产量少、更新换代频繁的特点，再加上新技术不断涌现，一种仪器产品的生命力长则3~5年，短则不足1年。智能仪器的硬件有较强的通用性。仪器功能上的

变化，在很大程度上取决于软件的更改。而软件的更改、复制较硬件改动要简捷得多。

5. 智能仪器易于实现多台互连

自从国际上制定了串、并行总线的规约之后，智能仪器与其它数字式仪器可以方便地实现互连。这样，可以灵活地将若干台仪器组合起来，共同完成一项特定的测量任务。这对大批量生产的流水线进行质量监督是极为重要的。

6. 智能仪器可实现专家系统技术

智能仪器的设计师并不满足于上述几种变革，他们正在寻求“高级的智能”。迈入人工智能领域，不仅使仪器能精确地测量各种参数，而且可帮助人们思考，解决专家才能解决的问题。例如在分析仪器的质谱仪中，用专家系统技术来确定被分析样品的化学结构。如美国Finnigan—MAT公司生产的MAT331高分辨质谱仪，系统内包含3.3万张质谱图。该系统象一个熟练的化学家一样，对实验质谱图进行分析，从而找出五种可能的候选结构（目前使用的计算机仍为小型计算机）。

第三节 智能仪器的发展趋势

综上所述，仪器科学的发展与近代科学技术的进步密切相关。尤其是微电子技术和计算机技术对仪器科学有着巨大的影响。智能仪器的发展趋势是：

1. 作为仪器心脏部分的传感器正在受着微电子技术的影响，不断变迁。据英国麦金托什咨询公司所做的统计表明：传感器专业制造厂中，半导体制造厂所占的比例从1980年的7%上升到1986年的28%。传感器正在朝着小型、固态、多功能、集成化方向发展。如美国Honeywell公司1983年推出的新型固态传感器DSTJ-3000，在一块芯片中同时扩散集成了差压、静压、温度三个传感器，使差压传感器具有温度、压力补偿功能，精度达 $\pm 0.2\%$ 。目前许多国家正在研究将微处理器与传感器集成于一体，构成超小型、多功能、廉价测量仪器的主体。

2. 随着微处理器(CPU)芯片价格的大幅度下跌,在一台仪器中使用单个CPU的观念正在被打破,多个CPU协调工作可使仪器具有更加优异的性能。这对于发展大型、高速、精密的测量仪器尤为重要。

3. 由计算技术和通信技术相结合而发展的计算机网络,也将渗透到仪器中。以前大型精密仪器为独家所占有,由于这些设备费用昂贵,利用率低,造成了极大的浪费。通过通信线路将这种大型仪器与多个用户联接,由多用户共同享用此类仪器设备,将产生巨大的经济效益。同时也可将测量结果送至上一级的标准中心,以进行测量数据的对比。

4. 发展专家系统技术,使仪器具有更高级的智能。

总之,测量控制技术、计算技术和通信技术构成信息技术的三大支柱。它们彼此渗透,相互推动,发展之神速令人眼花缭乱。要对它们的发展做出准确估计是困难的。但智能仪器一定会向着小型、轻量、多功能、快速、高精度与高性能、价廉、操作使用方便、全自动等方向发展。

第二章 智能仪器中常用软件技术

智能仪器，更通俗地说，是内含微处理器(CPU)芯片或配有微型计算机的仪器的统称。智能仪器的设计主要包括硬件与软件设计两大部分。本章讨论软件设计技术，介绍程序结构、数据结构的基础知识，栈和子程序以及浮点运算的基本规则，这是智能仪器设计的基础章节。

第一节 程序结构

程序设计中，通常使用流程图(或称程序框图)方法。对于比较简单、规模较小的应用程序，也许一页流程图就足够了。但是，如果程序比较复杂，规模也较大，那么怎样确定程序结构才能使程序编得简单、明瞭，既便于阅读，又便于调试，这就是本节要讨论的中心内容。

一、模块程序

将全部软件设计任务分成若干子任务，这些子任务完成特定的功能，具有一定的相对独立性，称之为“模块”。这种设计方法称之为“模块程序设计”。

智能仪器的软件设计可按功能分块。例如按数据采集功能、数据运算功能、仪器的操作管理功能、仪器的显示与打印功能以及故障报警功能分块等等。

(一) 模块程序设计的主要优点^[4]

1. 单个模块比一个完整程序容易编写、查错和调试。
2. 模块设计为设计工作提供了方便。它能使设计者们分割整个任务。
3. 一个模块可供多个任务调用。
4. 修改程序时，只需修改一个模块，而不至于牵一发而动

全身，改动整个程序。

模块程序设计的优点是突出的，但也存在一定的缺点。主要是：有些程序难以模块化；模块装配比较困难；有些模块需要调用其它模块，使模块之间互有影响，给单独调试模块和文件编制带来一定困难。

(二) 划分模块的原则

如何划分模块，实际上并没有什么标准的方法。介绍下面几条原则，作为设计时参考。

1. 每个模块不宜太大，因为程序太长的模块就会失去模块程序设计的优点，不易编写和调试，难于通用和装配。但也不要太短，太短的模块有效操作较少，而显得浪费。通常认为20行到50行程序段是比较合适的模块。

2. 力求使模块之间在逻辑上互相独立，尽量限制模块之间的信息交换，以利于模块的调试。

3. 当系统需要作多种判断时，最好将其集中在一个模块之内，以便于修改。

4. 力求使各模块具有合理的通用性，以便于调用。

5. 可利用已有的成熟的程序模块，例如加、减、乘、除、开方计算程序，标准函数运算程序、延时程序、显示程序等。

6. 对某些简单任务，不必企求模块化。因为在这种情况下，编写和调试整个程序，反而比模块装配还要容易。

需要说明的是：模块与子程序的概念并不等同。子程序是比较成熟、通用性好的程序模块。而针对某一特定任务编写的模块，往往达不到通用性很强的程度。

二、结构化程序

如何使各个模块截然分开，并防止它们相互作用呢？如何编写一个层次分明的程序，便于调试和修改错误呢？这就需要利用所谓“结构化程序”的设计方法。^[5]

结构化程序设计方法，给程序设计施加了一定的约束，它限定采用规定的结构类型和操作顺序，因此能编写出操作顺序分