

智能仪器设计与实践

张家田 著



科学出版社

智能仪器设计与实践

张家田 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书结合作者长期的教学科研实践工作,论述了智能仪器设计的基础知识,并结合多年来从事的具体科研项目,选择与智能仪器设计相关的实例讲述仪器设计的基本方法。基础知识部分仅撰写了智能仪器设计必不可少的相关内容,实践案例部分选择了由单片机构成的系统、由 DSP 构成的系统和由 PC 构成的系统,方便读者全面学习各种 CPU 构成系统的方法。

本书可以作为仪器科学与技术、信号与信息处理等相关专业的高年级本科生、研究生的参考书,也可供相关领域的科研和工程技术人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

智能仪器设计与实践/张家田著. —北京:科学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-03-058732-9

I. ①智… II. ①张… III. ①智能仪器—设计 IV. ①TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 205980 号

责任编辑:宋无汗 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:师艳茹 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018 年 9 月第一次印刷 印张:14 1/2

字数:293 000

定价:90.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着科学技术的飞速发展，人类社会即将进入人工智能时代，人工智能在社会各领域中无处不在。例如，居民相关的无人驾驶汽车、自动泊车系统、智能家居等；工业领域的智能制造、自动化生产线、全自动化码头等；军事领域的无人机作战、精确制导、预警机指挥等。机器人制造机器人不再是神话，“机智过人”已经显现。智能仪器设计是人工智能的基础，因此学习与研究智能仪器显得尤为重要。

仪器科学与技术是信息获取的重要手段，是认知物理世界的技术工具，也是科学研究的技术条件。智能仪器是仪器科学与技术发展的主要标志，它是一个具体的系统或装置。其最基本的作用是延伸、补充或替代人的视觉、听觉、触觉、嗅觉等感觉器官的功能。随着科学技术的进步，人类社会已经步入信息化时代，对智能仪器的依赖越来越高，要求也更高。人们的现代生活已经离不开智能仪器的辅助。仪器科学与技术的研究发展水平已经成为世界各国综合国力评价的重要标志。

智能仪器是外来语 *intelligent instrument* 的本土化，作者认为把智能仪器称之为现代仪器更为切合。为了不使读者混淆，本书也称之为智能仪器。

智能仪器归属仪器仪表范畴，仪器仪表的发展历史可以简单地划分为三代。第一代指针式或称模拟式仪器仪表，如指针式万用表、手摇式电话机、机械式手表等，目前仍然有第一代仪器仪表为我们服务，其基本构成是电磁式、机械式，基于电磁测量原理、机械传动原理，采用指针来显示测量结果。第二代为数字式仪器仪表，如数字万用表、数字电压表、数字功率计、数字频率计、电子手表等。数字化仪表是基于数据采集技术对模拟信号进行量化后以数字方式来显示测量结果，其响应速度快，测量准确度较高。第三代为智能式仪器仪表，即现代仪器仪表。

智能仪器系统中含有微处理器，仪器本身与处理器构成一体，使用灵活方便，技术性能可以做到很高。随着计算机技术、通信技术、新器件与现代传感技术等不断进步，仪器发展日新月异，方便灵活，已经完全融入国防与国民经济中的各行各业。

当前，智能仪器已开始从较为成熟的数据处理向知识处理发展。例如，围棋高手“阿尔法狗”、会作诗的机器人、医疗诊断机器人、情感陪护机器人等都应运而生。模糊判断、故障诊断、容错技术、传感器融合、机件寿命预测等，使智能仪器的功能向更高的层次发展。智能仪器对仪器仪表的发展以及科学实验研究产生了深远的影响，是仪器设计的里程碑。

本书是作者三十多年来教学与科研积累的产物，主讲本科生与研究生智能仪器设计课程也有十余载。结合教学体会和科研成果撰写此书，以饷读者。希望能对现代仪器设计工程技术相关专业的科研人员，以及本科生与研究生有所帮助。

本书讲述了智能仪器设计的基础知识，结合多年来从事的具体科研项目，选择与智能仪器设计相关的实例讲述仪器设计的基本方法。基础知识部分仅撰写了智能仪器设计必不可少的相关内容；实践案例部分选择了由单片机构成的系统、由 DSP 构成的系统和由 PC 构成的系统，方便读者全面学习各种 CPU 构成系统的方法。

全书由张家田统稿，刘昕整理版式。张家田撰写第 1~4 章，第 5 章的 5.1 节和 5.2 节；张家田与刘昕撰写 5.3 节；严正国撰写 5.4 节和 5.5 节；苏娟撰写 5.6 节；吴银川撰写 5.7 节和 5.8 节；马虎山撰写 5.9 节和 5.10 节。所有科研项目是课题组合作完成的，团队有张家田、严正国、苏娟、吴银川、马虎山、胡长岭、张亚明以及历届毕业的研究生等，在此表示感谢。

本书出版获得了西安石油大学优秀学术著作出版基金的资助，同时获得陕西省“测试计量技术及仪器”重点学科建设经费的资助。

由于作者水平所限，书中难免有不足之处，恳请读者不吝指正。

作 者

2018 年 1 月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 智能仪器发展史	1
1.1.1 智能仪器的分类	1
1.1.2 现代仪器仪表的重要性	2
1.1.3 智能仪器的发展趋势	2
1.2 智能仪器技术要素	3
1.2.1 现代传感器技术	3
1.2.2 数据采集技术	5
1.2.3 微处理器技术	5
1.2.4 嵌入式系统	7
1.2.5 现代数字逻辑设计技术	8
1.2.6 网络与通信技术	9
1.3 智能仪器的设计要点	9
1.3.1 设计和研制智能仪器的一般过程	9
1.3.2 智能仪器主机的选择	11
1.3.3 市场调研	12
第 2 章 智能仪器系统构成	13
2.1 智能仪器的基本构成	13
2.2 前向通道设计	15
2.2.1 传感器	15
2.2.2 模拟信号调理	17
2.3 后向通道设计	18
2.3.1 D/A 转换原理	19
2.3.2 D/A 转换器的主要技术指数	19
2.3.3 D/A 转换电路输入与输出形式	20
2.3.4 D/A 转换器与微型计算机接口	21
2.3.5 D/A 转换器应用举例	22

2.3.6 开关量输出通道	23
2.4 人机接口	28
2.4.1 键盘与接口	28
2.4.2 键盘接口电路及控制程序	31
2.4.3 显示接口电路	36
2.5 数据通信	38
2.5.1 RS-232C 总线标准及应用	38
2.5.2 RS-422A/485 标准总线	39
2.5.3 通用串行总线及应用	40
第3章 智能仪器的基本数据处理算法	43
3.1 克服随机误差的数字滤波算法	43
3.1.1 克服大脉冲干扰的数字滤波法	43
3.1.2 抑制小幅度高频噪声的平均滤波法	46
3.1.3 复合滤波法	47
3.2 消除系统误差的算法	48
3.2.1 仪器零位误差和增益误差的校正方法	48
3.2.2 系统非线性校正	49
3.2.3 系统误差的标准数据校正法	52
3.2.4 传感器温度误差的校正方法	53
3.3 工程量的标度变换	53
第4章 微弱信号检测技术	55
4.1 微弱信号检测基本方法	55
4.1.1 频域信号的窄带化技术	56
4.1.2 时域信号的积累平均法	56
4.1.3 并行检测的多道分析	57
4.2 低噪声放大器设计	57
4.3 锁相放大器	59
4.3.1 相敏检测器	59
4.3.2 数字相敏检波器	61
4.3.3 锁相放大器主要性能参数说明	63
4.4 锁相放大器微弱信号检测方案的应用	66
4.4.1 在测定化学阻抗中的应用	66
4.4.2 在金属探测器中的应用	68

4.4.3	在涡流探伤仪中的应用	68
4.4.4	在金属材料张力试验中的应用	69
第 5 章	设计实例	71
5.1	智能仪器设计原则与研发步骤	71
5.1.1	智能仪器设计的基本要求	71
5.1.2	智能仪器的设计原则	72
5.1.3	智能仪器的研发步骤	74
5.2	Ellog-05 地面系统自检装置设计	75
5.2.1	地面系统自检装置总体设计	75
5.2.2	主控电路工作原理	77
5.2.3	电缆驱动电路	94
5.2.4	辅助电路	98
5.2.5	箱体和面板功能设计	103
5.3	过套管电阻率测井超低信道噪声测量系统设计	104
5.3.1	研究内容及技术要求	104
5.3.2	过套管电阻率测量系统模型组成及工作原理	105
5.3.3	测量系统组成及关键技术	106
5.3.4	高分辨同步采样技术	113
5.3.5	系统测试	117
5.4	一种高精度脉冲测量仪的设计	123
5.4.1	系统设计整体方案与测量工作原理	124
5.4.2	系统硬件设计	130
5.4.3	系统软件设计	133
5.4.4	频率和脉宽(占空比)测量软件设计	137
5.4.5	幅度测量	137
5.4.6	人机界面软件设计	140
5.4.7	系统调试结果分析	141
5.5	基于 STM32 超声波测风速风向仪的设计	142
5.5.1	系统概述	143
5.5.2	系统理论分析与计算	146
5.5.3	系统整体方案设计	147
5.5.4	系统硬件电路设计	148
5.5.5	系统软件设计	151
5.5.6	测试条件与测试结果分析	155

5.6 高精度数据采集系统	158
5.6.1 系统概述	158
5.6.2 系统整体方案设计	159
5.6.3 系统硬件电路设计	164
5.6.4 系统软件设计	169
5.6.5 数据采集系统调试结果分析	171
5.7 基于 DDS 技术的超低频信号源系统设计	175
5.7.1 系统概述	175
5.7.2 DDS 基本原理	176
5.7.3 系统整体方案与工作原理	178
5.7.4 系统硬件电路设计	178
5.7.5 系统软件设计	182
5.8 微振动检测系统设计	189
5.8.1 系统概述	189
5.8.2 MEMS 传感器振动检测技术	190
5.8.3 系统整体方案与工作原理	190
5.8.4 系统硬件电路设计	192
5.8.5 系统软件设计	193
5.9 钻井泥浆自动流变仪研制	201
5.9.1 系统概述	201
5.9.2 系统整体方案与工作原理	201
5.9.3 系统硬件电路设计	204
5.9.4 系统的软件设计	207
5.10 油气管线防盗漏失动态检测系统	214
5.10.1 系统概述	214
5.10.2 系统整体方案与工作原理	214
5.10.3 系统硬件电路设计	217
参考文献	221

第1章 概述

仪器科学与技术是信息获取的重要技术手段，是认知物理世界的技术工具，也是科学研究的技术条件。智能仪器是仪器科学与技术发展的主要标志，它是一个具体的系统或装置，其最基本的作用是延伸、补充或替代人的视觉、听觉、触觉、嗅觉等感觉器官的功能。随着科学技术的进步，人类社会已经步入信息化时代，对智能仪器的依赖越来越高，要求也更高。人们的现代生活已经离不开智能仪器的辅助，仪器科学与技术的研究发展水平已经成为世界各国综合国力评价的重要标志之一。

1.1 智能仪器发展史

智能仪器是计算机技术与测量仪器相结合的产物，是含有微计算机或微处理器的测量（或检测）仪器，它拥有对数据的存储、运算、逻辑判断及自动化操作等功能，具有一定智能的作用（表现为智能的延伸或加强等）。

当前，智能仪器已开始从较为成熟的数据处理向知识处理发展。模糊判断、故障诊断、容错技术、传感器融合、机件寿命预测等，使智能仪器的功能向更高的层次发展。智能仪器对仪器仪表的发展以及科学实验研究产生了深远影响，是仪器设计的里程碑。

1.1.1 智能仪器的分类

从行业来分，智能仪器可以分为通用测量仪器，分析仪器，生物医疗仪器，地球探测仪器，天文仪器，航空航天航海仪表，汽车仪表，电力、石油、化工仪表等，遍及国民经济各个部门，深入人民生活的各个角落^[1]。

从物理意义角度划分可以分为以下八类^[1]。

- (1) 几何量：长度、角度、形貌、相互位置、位移、距离测量仪器等。
- (2) 机械量：各种测力仪、硬度仪、加速度与速度测量仪、力矩测量仪、振动测量仪等。
- (3) 热工量：温度、湿度、流量测量仪器等。
- (4) 光学参数：光度计、光谱仪、色度计、激光参数测量仪、光学传递函数测量仪等。
- (5) 电离辐射：各种放射性、核素计量，X射线、 γ 射线及中子计量仪器等。

(6) 时间频率: 各种计时仪器与钟表、铯原子钟、时间频率测量仪等。

(7) 电磁量: 交、直流电流表, 电压表, 功率表, RLC 测量仪, 静电仪, 磁参数测量仪等。

(8) 电子参数: 无线电参数测量仪器, 如示波器、信号发生器、相位测量仪、频谱分析仪、动态信号分析仪等。

1.1.2 现代仪器仪表的重要性

国家教育部仪器科学与技术教学指导委员会总结的四句形象比喻的结论, 明显体现了智能仪器的重要性, 即仪器仪表是国民经济的“倍增器”、科学研究的“先行官”、现代战争的“战斗力”、法庭审判的“物化法官”。

俄罗斯科学家门捷列夫有一句名言: “没有测量就没有科学。”我国著名科学家钱学森指出: “新技术革命的关键技术是信息技术。信息技术由测量技术、计算机技术、通讯技术三部分组成。测量技术则是关键和基础。”王大珩院士说: “不能创造高水平的科学仪器和设备体现了一个民族、一个国家的创新能力。发展科学仪器设备应当视为国家战略。”英国著名科学家 Pavy 曾经明确指出: “Nothing begets good science like development of a good instrument (发展一种好的仪器对于一门科学的贡献超过了任何其他事情)”。美国能源部杰出科学家 Hirsch 博士在一篇获奖演说中指出: “由新工具开创的科学新方向远比由新概念开创的科学新方向要多。由概念驱动的革命影响是用新概念去阐明旧事物。而由工具驱动的革命影响是去发现需要阐明的新事物。”

1.1.3 智能仪器的发展趋势

随着微电子技术和网络技术的发展, 智能仪器将向着微型化、多功能化、人工智能化和网络化等方向发展。

1) 微型化

随着微电子技术、微机械技术、信息技术等的不断发展, 将其运用于智能仪器, 使之成为体积小, 具有传统智能仪器功能的微型智能仪器。随着微电子机械技术的不断发展和成熟, 价格不断降低, 应用领域不断扩大, 微型智能仪器不但应用于传统智能仪器领域, 而且在自动化技术、航天、军事、生物技术、医疗等领域起到独特的作用。例如, 在医疗领域, 要同时测量一个病人的几个不同的参量, 并进行某些参量的控制, 传统观测时, 通常病人的体内要插几个管子, 增加了病人感染的机会, 利用可植入人体的微型智能仪器, 由于体积小, 可同时测量多个参数, 大大减轻了病人的痛苦。

2) 多功能化

多功能是智能仪器的一个重要特点。例如, 为了设计速度较快和结构较复杂

的数字系统, 仪器生产厂家制造了具有脉冲发生器、频率合成器和任意波形发生器等功能的函数发生器。这种多功能的综合型产品不但在性能上比专用脉冲发生器高, 而且在各种测试功能上也提供了较好的解决方案。

3) 人工智能化

人工智能化是利用计算机对人的意识和思维的信息过程进行模拟, 使智能仪器在视觉(图形及色彩)、听觉(语音识别及语言)、思维(推理、判断、学习与联想)等方面代替人的一部分脑力劳动, 具有一定的人工智能作用, 无需人的干预就可自主地完成检测或控制任务, 解决了用传统方法很难解决或根本无法解决的问题。

4) 网络化

计算机网络化的日益成熟提供了将测控、计算机和通信技术相结合的可能。利用网络技术将各个分散的测量仪器设备连在一起, 使测量不再是单个仪器设备相互独立操作的简单组合, 而是一个统一的、高效的整体, 各仪器设备之间通过网络交换数据和信息, 实现各种数据和信息跨地域、跨时间的传输与交换, 以及各仪器资源的共享和测量功能的优化, 这是国防、通信、铁路、航空、航天、气象和制造等领域的发展趋势。

1.2 智能仪器技术要素

智能仪器的发展与相关新技术的进步发展有关, 具体有现代传感技术、数据采集技术、微处理器技术、嵌入式系统、现代数字逻辑设计技术和网络与通信技术。

1.2.1 现代传感器技术

从理论上讲, 自然界中存在的各种物质运动变化的因果关系, 都可以作为设计传感器的依据。然而, 作为实用的器件, 传感器应该满足一些必需的条件: 输出信号与被测对象之间具有唯一确定的因果关系, 输出信号是被测对象参数的单值函数; 输出信号具有尽可能宽的动态范围和良好的响应特性; 输出信号具有足够高的分辨率, 可以获得被测对象微小变化的信息; 输出信号具有比较高的信号噪声比; 对被测对象的扰动尽可能小, 尽可能不消耗被测系统的能量, 不改变被测系统原有的状态; 输出信号能够与电子学系统或光学系统匹配, 适于传输和处理; 性能稳定, 不受非测量参数因素的影响; 便于加工制造; 在许多情况下要求同一种传感器具有相同的特性, 即具有可互换性。在现代社会, 获取自然信息几乎已经成为所有自然科学与工程技术领域共同的需求。随着人类活动领域的扩大和探索过程的深化, 传感器已经成为基础科学研究与现代技术相互融合的新领域,

它汇集和包容多种学科的成果,成为人类探索活动最活跃的部分之一。现代传感器的发展趋势充分体现出这些特点。自然科学基础研究的新成果不断丰富传感器的设计思想,使传感器的探测对象范围扩大,不断超越经典传感器的技术局限,获取更多的信息;不同学科领域的交叉融合,加深了人们对更加复杂的自然现象因果关系的理解,通过多重参数转换获取信息,导致新的传感器出现;传感器探测的空间尺度同时向微观和宏观延伸;传感器的探测阈值降低,动态范围扩大,信噪比提高;仿生传感器引起人们更多的关注;微电子技术和微处理器融入传感器设计,使传感器微型化、智能化;新的材料和工艺使经典传感器出现新的技术特征等。

在现代信息科学技术中,传感器属于信息获得范畴,它与现代通信系统和信息处理系统共同构成现代信息科学技术的三大基石。在信息时代早期,人们主要关注人类社会自身活动信息(文字、图像、声音和数据)的传输和处理,传感器的发展居于次要地位。在相当长的一段时期,它们仅仅被当作一类为专用设备配套的器件。随着工业、军事、医学和自然科学研究的进展,在越来越多的重要领域,传感器成为制约其发展的关键因素,在世纪之交引起了世界范围的广泛关注。

获取新的科学信息、发现自然规律,是科学研究永恒的主题,获取信息的手段就是现代传感技术。

现代传感技术包括应变传感器技术、电感式传感器技术、电容式传感器技术、光纤传感器技术、图像传感器技术、激光传感器技术、波传感器技术、半导体传感器技术、智能材料传感器技术等。

现代传感技术的发展趋势是向着智能化与网络化发展。智能传感器和网络化传感器的飞速发展可大大提高信号检测能力,进而推动智能仪器总体性能的提高。

随着微电子技术、光电子技术的迅猛发展,加工工艺逐步成熟,新型敏感材料不断被开发出来。在高新技术的渗透下,尤其是计算机硬件和软件技术的渗入,使微处理器和传感器得以结合,产生了具有一定数据处理能力,并能自检、自校、自补偿的新一代传感器——智能传感器。智能传感器的出现是传感技术的一次革命,对传感器的发展产生了深远的影响。

网络通信技术逐步走向成熟并渗透到各行各业,各种高可靠、低功耗、低成本、微体积的网络接口芯片被开发出来,微电子机械加工技术将网络接口芯片与智能传感器集成起来,并使通信协议固化到智能传感器的 ROM 中,就产生了子网络传感器。为解决现场总线的多样性问题,IEEE1451.2 工作组建立了智能传感器接口模块(STIM)标准,该标准描述了传感器网络适配器或微处理器之间的硬件和软件接口,是 IEEE1451.2 网络传感器标准的重要组成部分,为传感器与各种网络连接提供了条件和方便。

1.2.2 数据采集技术

1. 数据采集的定义

数据采集 (data acquisition, DAQ) 是指从传感器和其他待测设备等模拟和数字被测单元中自动采集非电量或者电量信号, 送到上位机中进行分析、处理。数据采集系统是结合基于计算机或者其他专用测试平台的测量软硬件产品来实现灵活的、用户自定义的测量系统。数据采集, 又称数据获取, 是利用一种装置, 从系统外部采集数据并输入系统内部的一个接口。数据采集技术广泛应用在各个领域, 如摄像头、麦克风都是数据采集工具。

2. 数据采集的必要性

被采集的数据是已被转换为电信号的各种物理量, 如温度、水位、风速、压力等, 通常是模拟量 (也可以是数字量)。而智能仪器中的微处理器进行分析判断物理信息, 它只能辨识数字量, 这就要求必须把模拟量转换为数字量, 也就是人们通常说的模数转换器 A/D, 又称为量化过程。数据采集必须按香农定理 (采样定理) 进行, 采样频率 f_s 一般要大于 2 倍的被采样信号的最高频率。采集的数据大多是瞬时值, 也可能是某段时间内的一个特征值。准确的数据量测是数据采集的基础。数据量测方法有接触式和非接触式, 检测元件多种多样。不论哪种方法和元件, 均以不影响被测对象状态和测量环境为前提, 以保证数据的正确性。

数据采集一般是通过模数转换器 (A/D) 完成, A/D 芯片是现代科学仪器不可缺少的核心部件之一, 它的速度的提高是实现高速数据采集的关键, 正在向高速、低功耗、高分辨率、高性能的方向发展。

A/D 等电路与微处理器集成在一块 (称为混合电路), 传感器与控制电路也都集成在一块芯片上, 这将缩小体积、增强可靠性, 从而实现智能仪器的多功能化。

1.2.3 微处理器技术

微处理器是由一片或少数几片大规模集成电路组成的中央处理器 (central processing unit, CPU), 这些电路执行控制部件和算术逻辑部件的功能。微处理器与传统的中央处理器相比, 具有体积小、质量轻和容易模块化等优点。微处理器的基本组成部分有寄存器堆、运算器、时序控制电路, 以及数据和地址总线。微处理器能完成取指令、执行指令, 以及与外界存储器和逻辑部件交换信息等操作, 是微型计算机的运算控制部分。它可与存储器和外围电路芯片组成微型计算机。

CPU 发展至今已经有四十多年的历史了, 这期间, 按照其处理信息的字长, CPU 可以分为 4 位微处理器、8 位微处理器、16 位微处理器、32 位微处理器以及

最新的 64 位微处理器,可以说电脑的发展是随着 CPU 的发展而前进的。微机是指以大规模、超大规模集成电路为主要部件,以集成计算机主要部件——控制器和运算器的微处理器 (microprocessor, MP) 为核心,所构造出的计算系统,经过 40 多年的发展,微处理器的发展大致可分为以下六个阶段。

第一阶段 (1971~1973 年) 通常是字长为 4 位或 8 位的微处理器,典型的是美国 Intel 4004 和 Intel 8008 微处理器。Intel 4004 是一种 4 位微处理器,可进行 4 位二进制的并行运算,它有 45 条指令,速度 0.05MIPS (million instructions per second, 每秒百万条指令)。Intel 4004 的功能有限,主要用于计算器、电动打字机、照相机、台秤、电视机等家用电器,使这些电器设备具有智能化,从而提高它们的性能。Intel 8008 是世界上第一种 8 位微处理器,存储器采用 PMOS 工艺。该阶段的计算机工作速度较慢,微处理器的指令系统不完整,存储器容量很小,只有几百字节,没有操作系统,只有汇编语言,主要用于工业仪表和过程控制。

第二阶段 (1974~1977 年) 典型的微处理器有 Intel 8080/8085、Zilog 公司的 Z80 和 Motorola 公司的 M6800。与第一代微处理器相比,集成度提高了 1~4 倍,运算速度提高了 10~15 倍,指令系统相对比较完善,已具备典型的计算机体系结构及中断、直接存储器存取等功能。由于微处理器可用来完成很多以前需要用较大设备完成的计算任务,而且价格便宜,于是各半导体公司开始竞相生产微处理器芯片。Zilog 公司生产了 8080 的增强型 Z80, Motorola 公司生产了 6800, Intel 公司于 1976 年又生产了增强型 8085,但这些芯片几乎没有改变 8080 的基本特点,都属于第二代微处理器。它们均采用 NMOS 工艺,集成度约为 9000 只晶体管,平均指令执行时间为 1~2 μ s,采用汇编语言、BASIC 和 Fortran 编程,使用单用户操作系统。

第三阶段 (1978~1984 年) 即 16 位微处理器。1978 年, Intel 公司率先推出 16 位微处理器 8086,同时,为了方便原来的 8 位机用户, Intel 公司又提出了一种准 16 位微处理器 8088。8086 微处理器的最高主频速度为 8MHz,具有 16 位数据通道,内存寻址能力为 1MB。同时 Intel 公司还生产出与之相配合的数学协处理器 i8087,这两种芯片使用相互兼容的指令集,但 i8087 指令集中增加了一些专门用于对数、指数和三角函数等数学计算的指令,人们将这些指令集统一称为 x86 指令集。虽然以后 Intel 公司又陆续生产出第二代、第三代等更先进和更快的新型 CPU,但都仍然兼容原来的 x86 指令集,而且 Intel 公司在后续 CPU 的命名上沿用了原先的 x86 序列,直到后来因商标注册问题,才放弃了继续用阿拉伯数字命名。

第四阶段 (1985~1992 年) 即 32 位微处理器。1985 年 10 月 17 日, Intel 公司划时代的产品——80386DX 正式发布了,其内部包含 27.5 万个晶体管,时钟频率为 12.5MHz,后来逐步提高到 20MHz、25MHz、33MHz,最后还有少量的 40MHz 产品。80386DX 的内部和外部数据总线是 32 位,地址总线也是 32 位,可以寻址

到 4GB 内存, 并可以管理 64TB 的虚拟存储空间。它的运算模式除了具有实模式和保护模式以外, 还增加了一种“虚拟 86”的工作方式, 可以通过同时模拟多个 8086 微处理器来提供多任务能力。80386DX 有比 80286 更多的指令, 频率为 12.5MHz 的 80386 每秒可执行 6 百万条指令, 比频率为 16MHz 的 80286 快 2.2 倍。80386 最经典的产品为 80386DX-33MHz, 一般说的 80386 就是指它。由于 32 位微处理器的强大运算能力, PC 的应用扩展到很多的领域, 如商业办公和计算、工程设计和计算、数据中心、个人娱乐。80386 使 32 位 CPU 成为 PC 工业的标准。

第五阶段 (1993~2005 年) 是奔腾 (pentium) 系列微处理器时代, 通常称为第 5 代。典型产品是 Intel 公司的奔腾系列芯片及与之兼容的 AMD 的 K6 系列微处理器芯片。内部采用超标量指令流水线结构, 并具有相互独立的指令和数据高速缓存。随着 MMX (multi mediae xtended) 微处理器的出现, 微机的发展在网络化、多媒体化和智能化等方面都跨上了更高的台阶。

第六阶段 (2006 年至今) 是酷睿 (core) 系列微处理器时代, 通常称为第 6 代。“酷睿”是一款领先节能的新型微架构, 设计的出发点是提供卓然出众的性能和能效, 提高每瓦特性能, 也就是所谓的能效比, 早期的酷睿基于笔记本处理器。酷睿 2 (core 2 duo) 是 Intel 公司在 2006 年推出的新一代基于酷睿微架构的产品体系系统称, 于 2006 年 7 月 27 日发布。酷睿 2 是一个跨平台的构架体系, 包括服务器版、桌面版和移动版三大领域。其中, 服务器版的开发代号为 woodcrest, 桌面版的开发代号为 conroe, 移动版的开发代号为 merom。

1.2.4 嵌入式系统

嵌入式系统是把计算机直接嵌入到应用系统中, 它融合了计算机软/硬件技术、通信技术和微电子技术。随着微电子技术和半导体技术的高速发展, 超大规模集成电路技术和深亚微米制造工艺已十分成熟, 从而使高性能系统芯片的集成成为可能, 并推动着嵌入式系统向最高级构建形式, 即片上系统 SOC (system on a chip) 的水平发展, 进而促使嵌入式系统得到更深入、更广阔的应用。嵌入式技术的快速发展不仅使其成为当今计算机技术和电子技术的一个重要分支, 同时也使计算机的分类从以前的巨型机/大型机/小型机/微型机变为通用计算机/嵌入式计算机 (即嵌入式系统)。

嵌入式系统是以应用为中心, 以计算机技术为基础, 并且软硬件可裁剪, 适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统, 以及用户的应用程序四个部分组成, 用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。

从硬件方面来讲, 各式各样的嵌入式处理器是嵌入式系统硬件中最核心的部分, 而目前世界上具有嵌入式功能特点的处理器已经超过 1000 种, 流行体系结构

包括 MCUMPU 等 30 多个系列。鉴于嵌入式系统广阔的发展前景,很多半导体制造商都大规模生产嵌入式处理器,并且自主设计处理器也已经成为未来嵌入式领域的一大趋势,其中从单片机、DSP 到 FPGA、ARM 有着各式各样的品种,速度越来越快,性能越来越强,价格也越来越低。目前嵌入式处理器的寻址空间可以从 64KB 到 16MB,处理速度最快可以达到 2000 MIPS,封装从 8 个引脚到 144 个引脚不等。

1.2.5 现代数字逻辑设计技术

现代数字逻辑设计技术,也称为专用集成电路(application specific integrated circuit, ASIC)、FPGA/CPLD 技术。现场可编程门阵列(field programmable gate array, FPGA),复杂可编程逻辑器件(complex programmable logic device, CPLD)。

ASIC 无论在价格、集成度,还是在产量、产值方面均取得了飞速发展。因此,对仪器设计者来说,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而使智能仪器的结构更紧凑,性能更优良,保密性更强。

FPGA/CPLD 的规模比较大,适合于时序、组合等逻辑电路应用场合,它可以替代几十甚至上百块通用 IC 芯片。这种芯片具有可编程性和实现方案容易改动的特点。在电路保持不动的情况下,改变内部硬件连接关系的描述,就能实现一种新的功能。比较典型的有 Xilinx 公司的 FPGA 器件系列和 Altera 公司的 CPLD 器件系列。

应用 FPGA/CPLD 具有以下几点优点。

(1) FPGA/CPLD 芯片的规模越来越大,其单片逻辑门数已达到数十万门,它所能实现的功能也越来越强,同时也可以实现系统集成。

(2) FPGA/CPLD 芯片在出厂之前都做过百分之百的测试,不需要设计人员承担投片风险和费用,设计人员只需在自己的实验室里就可以通过相关的软硬件环境来完成芯片的最终功能指定,并且研制开发费用相对较低。

(3) FPGA/CPLD 芯片和可擦除可编程只读存储器(erasable programmable read only memory, EPROM)配合使用时,用户可以反复地编程、擦除、使用,或者在外围电路不动的情况下用不同的 EPROM 就可实现不同的功能。

(4) FPGA/CPLD 芯片的电路设计周期很短。软件包中不但有各种输入工具和仿真工具,而且还有版图设计工具和编程器等全线产品,电路设计人员在很短的时间内就可完成电路的输入、编译、优化、仿真,直至最后芯片的制作(物理版图映射)。当电路有少量改动时,更能显示出 FPGA/CPLD 的优势。它大大加快了新产品的试制速度,减少了库存风险与设计错误所带来的危险,从而提高了企业在市场上的竞争能力和应变能力。

(5) 电路设计人员使用 FPGA/CPLD 进行电路设计时,不需要具备专门的 IC