

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等学校研究生系列优秀教材

机械系统微机控制 原理与设计

主编 隋修武



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 内 容 要 点 ·

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等学校研究生系列优秀教材

机械系统微机控制 原理与设计

主编 隋修武



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书以机械工程学科的工程应用技术为基础,并适当进行扩展,比较系统地阐述了机械系统微机控制的发展、机械系统中常用的 STM32 微控制器结构原理及程序设计、数据处理方法与控制算法、微机系统集成技术,最后介绍了基于 CCD 的线径检测和闭环张力控制两个应用实例。

本书为机械工程学科的专业硕士研究生教材,也可以作为机械电子工程专业、测控技术与仪器专业、自动化专业等高年级的本科生教材,以及供具有一定机电知识背景的工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械系统微机控制原理与设计 / 隋修武主编. — 北京:中国水利水电出版社, 2019.7
普通高等教育“十三五”规划教材 普通高等学校研究生系列优秀教材
ISBN 978-7-5170-7865-4

I. ①机… II. ①隋… III. ①机械系统—微机控制—自动控制原理—高等学校—教材②机械系统—微机控制—控制系统设计—高等学校—教材 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第155452号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 普通高等学校研究生系列优秀教材 机械系统微机控制原理与设计 JIXIE XITONG WEIJI KONGZHI YUANLI YU SHEJI
作 者	主编 隋修武
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12.5印张 296千字
版 次	2019年7月第1版 2019年7月第1次印刷
定 价	32.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

现代机械工程已不是简单的机械结构的设计与应用，机电一体化是大势所趋，机械工程中的微机控制技术是在机械测试技术和控制理论的基础上形成的综合理论与技术，在机电一体化、机械制造、自动化装备等领域中都起到十分重要的作用。微机的应用水平在很大程度上决定了智能制造的水平，决定了生产力的发展水平。作为高等院校的工科类研究生，微机控制系统的基本知识和开发技能已是一项必须掌握的基本功。

为了加强专业型硕士研究生的培养，全国工程硕士学位教育指导委员会提出了一系列的教学改革指导意见。鉴于各专业硕士培养单位的特色不同，培养方案差别也很大。本教材建设的思路是立足机械工程学科，面向专业硕士，紧跟技术应用前沿，突出工程实践，重在系统集成。

通过科学性、先进性的研究生教材建设，实现优质教学资源共享，与时俱进地丰富研究生课程内涵，培养机械系统的微机控制思想与工程应用能力，追踪机电一体化新技术，激发研究生的学习动力，培养研究生掌握机电领域的检测、数据处理、控制等坚实宽广的基础理论、专业知识，以及综合运用专业知识进行系统集成的设计能力、工程应用能力、科研创新能力，全面提高研究生教育教学质量。

本教材在总结多年的教学和科研经验的基础上，立足机械工程学科，重在系统集成，科学合理地安排章节内容，介绍了在机械系统中常用的 STM32 的结构原理、输入输出通道的电路设计与程序设计，数字信号处理及控制算法设计，机电系统的集成与电磁兼容等专项知识。同时，为了将上述知识有机地结合起来，突破单一知识点的束缚，突出系统的综合设计与集成，培养学生在进行系统设计之初就具备机电一体化的设计思想，熟练掌握嵌入式系统设计及其在机械系统中应用的特定要求，培养学生的综合应用能力，教材安排了基于 CCD 的线径检测和闭环张力控制两个综合设计实例。

本教材由天津工业大学隋修武教授主编，并负责全书的策划与统稿，天津工业大学的一线教师组成了编写组，刘欣副教授、牛雪娟副教授、郝涛副教授、桑宏强副教授、张宏杰博士参与编写了大部分章节，王德明、张杨、李琰、程国栋、胡秀兵、石峰、韩志昕等研究生进行了大量的资料编辑整理与实验验证工作。本教材的出版是编写组集体智慧的结晶。同时本教材的编写与出版得到了天津工业大学优秀研究生教材建设项目的资助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，又试图在编写教材的指导思想和内容上做出较大改变，本教材必然存在一些缺点和不足之处，敬请广大教师和同学们在使用过程中能够给予批评和指导，以利于编者的改进和提高，让我们一起携手将机械工程领域的专业学位研究生培养工作做得更好。

编者

2019年2月

目 录

前言

第 1 章 机械系统的微机控制概述	1
1.1 机械控制系统的组成	1
1.2 微机控制系统	3
1.3 微机控制系统的核心——微型计算机	6
1.4 嵌入式系统的应用	12
习题	14
第 2 章 STM32 结构及工作原理	15
2.1 STM32 性能介绍	15
2.2 ALIENTEK MiniSTM32 开发系统	16
2.3 STM32 的软件开发工具	22
习题	35
第 3 章 STM32 的输入输出通道	36
3.1 输入通道	36
3.2 输出通道	48
习题	63
第 4 章 STM32 的程序设计	64
4.1 开关量的输入输出	64
4.2 模拟量的输入输出	72
4.3 PWM 波输出与脉宽信号输入捕获	83
4.4 STM32 的总线	94
习题	108
第 5 章 微机控制系统的控制算法	109
5.1 测量数据的预处理	109
5.2 PID 控制算法	116
5.3 模糊控制	129
习题	149

第 6 章 微机控制系统的集成	150
6.1 模块之间的级联设计	150
6.2 机电系统的电磁兼容	153
习题	164
第 7 章 微机控制应用实例	165
7.1 张力控制	165
7.2 基于线阵 CCD 的线径检测	176
习题	189
参考文献	191

第 1 章 机械系统的微机控制概述

机械系统的微机控制技术是在机械测试技术和控制理论的基础上形成的综合理论与技术，在机电一体化、机械制造、自动化装备等领域中都起着十分重要的作用。机械系统与人工智能的结合为智能制造提供了广阔的发展空间，微机的应用水平在很大程度上决定了智能制造的水平，决定了生产力的发展水平。本章主要讲述机械控制系统的组成、计算机控制系统的结构与发展趋势、嵌入式系统原理与接口技术等。

1.1 机械控制系统的组成

1.1.1 机械控制系统的分类

根据系统的结构，机械工程中的自动控制系统可以分为开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。

1. 开环控制系统

系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路，只是根据输入量和干扰量进行控制，输出量在整个控制过程中对系统的控制不产生任何影响，这样的系统称为开环控制系统。如图 1.1 所示的数控机床工作台进给系统。



图 1.1 数控机床工作台进给系统

由于没有反馈通道，该系统是一个开环控制系统。系统的输出量仅受输入量的控制。

开环控制系统的输入量与输出量之间存在明确的对应关系。如果在某种干扰的作用下，系统的输出偏离了原始值，由于不存在反馈，控制器将无法获得关于输出量的实际状态信息，系统也将无法自动纠偏。所以，通常开环系统的控制精度较低，如果组成系统的元件特性和参数值比较稳定，而且外界的干扰也比较小，则这种控制系统也可以保证一定的精度。开环控制系统的最大优点是系统简单，成本低，一般都能稳定、可靠地工作，因此对于要求不高的系统可以采用。开环控制系统的一般结构如图 1.2 所示。



图 1.2 开环控制系统的一般结构

2. 闭环控制系统

如果系统的输出端和输入端之间存在反馈回路，输出量对控制过程产生直接影响，这

种系统称为闭环控制系统，如恒温箱自动控制系统就是一个闭环控制系统。闭环控制系统的一般结构如图 1.3 所示。



图 1.3 闭环控制系统的一般结构

闭环控制系统的突出优点：输出端和输入端之间存在反馈，因此不管遇到什么干扰，只要被控制量的实际值偏离给定值，闭环控制就会根据偏差自动产生控制作用来减小这一偏差，因此，闭环控制精度通常较高。

闭环控制系统也有它的缺点，这类系统是靠偏差进行控制的，因此，在整个控制过程中可能始终存在着偏差（是否存在偏差，与控制算法有关），由于元件的惯性（如负载的惯性），若参数配置不当，很容易引起振荡，使系统不稳定而无法工作。

3. 半闭环控制系统

如果控制系统的反馈信号不是直接从系统的输出端引出，而是间接地取自中间的测量元件，例如在数控机床的进给伺服系统中，若将位置检测传感器安装在传动丝杆的端部，间接测量工作台的实际位移，则这种系统称为半闭环控制系统。

半闭环控制系统一般可以获得比开环系统更高的控制精度，但由于只存在局部反馈，在局部反馈之外的部分所导致的输出扰动将无法通过自动调节的方式消除。因此，其精度往往比闭环系统要低；但与闭环系统相比，它易于实现系统的稳定。目前，大多数数控机床都采用这种半闭环控制进给伺服系统。

1.1.2 闭环控制系统的组成

闭环控制系统因其控制精度高，在实际的控制系统中应用非常广泛，如机器人的运动控制、智能车的速度与位置控制等。如图 1.4 所示为一个完整的闭环控制系统。由图可见，闭环控制系统一般包括给定元件、反馈元件、比较元件、放大元件、执行元件及校正元件等。

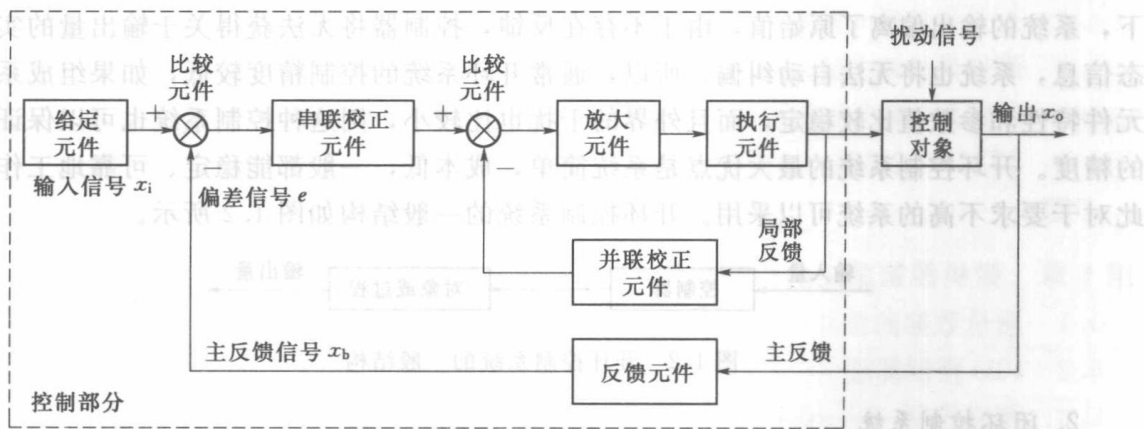


图 1.4 闭环控制系统

1. 给定元件

给定元件主要用于产生给定信号或输入信号。

2. 反馈元件

反馈元件通常是一些用电量来测量非电量的元件，即传感器。它测量被控制量或输出量，产生反馈信号。为了便于传输，反馈信号多为电信号（电压信号或电流信号）。

必须指出，在机械、液压、气动、机电、电机等系统中存在着内在反馈。这是一种没有专设反馈元件的信息反馈，是系统内部各参数相互作用而产生的反馈信息流，如作用力与反作用力之间形成的直接反馈。内在反馈回路由系统动力学特性确定，它所构成的闭环系统是一个动力学系统。例如，机床工作台低速爬行等自激振荡现象，都是由具有内在反馈的闭环系统产生的。

3. 比较元件

比较元件用来接收输入信号和反馈信号并进行比较，产生反映两者差值的偏差信号。

4. 放大元件

放大元件指对偏差信号进行放大的元件。例如，电压放大器、功率放大器、电液伺服阀、电气比例/伺服阀等。放大元件的输出一定要有足够的能量，才能驱动执行元件，实现控制功能。

5. 执行元件

执行元件指直接对受控对象进行操纵的元件。例如，伺服电动机、液（气）压电动机、伺服液（气）压缸等。

6. 校正元件

校正元件指为保证控制质量，使系统获得良好的动、静态性能而加入系统的元件。校正元件又称校正装置。串联接在系统前向通路上的校正元件称为串联校正装置；并联接在反馈回路上的校正元件称为反馈校正装置。

尽管一个控制系统包含许多不同作用的元部件，但从总体上看，任何一个控制系统都可认为仅由控制器（完成控制作用）和控制对象两部分组成。在图 1.4 中，比较元件、放大元件、执行元件和反馈元件等共同起着控制作用，为控制器部分。图 1.4 还包括了扰动信号，扰动信号是由于系统内部元器件参数的变化或外部环境的改变而造成的，不管是何种扰动，其最终结果都会导致输出量（即被控制量）发生偏移，因此直接将扰动信号集中表示在控制对象上。考虑到输出量的偏移所产生的偏差可以通过反馈作用予以自动纠正，故采用上述表示方法是合适的。

1.2 微机控制系统

微型计算机自动测量和控制（Micro - Computer Automatic Measurement and Control）系统是一门多学科综合技术。它是自动控制技术、计算机科学、微电子学和通信技术有机结合、综合发展的产物。微机测控系统包含的内容十分广泛，包括各种数据采集和处理系统、自动测量系统、生产过程控制系统、导弹与卫星的检测及发射控制系统等，广泛应用于航空、航天、核科学研究、工厂自动化、实验室自动测量和控制，以及办公自

动化、商业自动化、家庭自动化等人类活动的各个领域。

微机控制系统是以微型计算机为核心，以“监测”和“控制”为目的、测控一体化的系统，如图 1.5 所示。

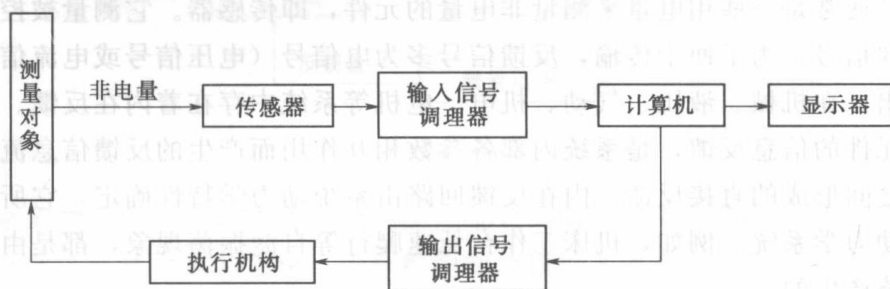


图 1.5 微机控制系统

这种系统对被控对象的控制是依据对被控对象的测量结果决定的。

1.2.1 微机控制系统的特点

1. 技术集成和系统复杂程度高

微机控制系统是计算机、控制、通信、电子等多种高新技术的集成，是理论方法和应用技术的结合。由于信息量大、速度快和精度高，因此能实现复杂的控制规律，从而达到较高的控制质量。控制系统实现了常规系统难以实现的多变量控制、智能控制、参数自整定等。

2. 实时性强

微机控制系统是一个实时计算机系统，可以根据采集到的数据，立即采取相应的动作。例如，检测到化学反应罐的压力超限，可以立即打开减压阀，这样就避免了爆炸的危险。实时性是区别于普通计算机系统的关键特点，也是衡量微机控制系统性能的一个重要指标。

3. 可靠性高和可维修性好

这两个因素决定系统的可用程度。由于采取有效的抗干扰、冗余、可靠性技术和系统的自诊断功能，微机控制系统的可靠性高且可维修性好。如有的控制系统一旦出现故障，微机能迅速报出故障点和处理办法，便于立即修复。

4. 环境适应性强

工业环境恶劣，要求微机系统能适应特定的环境要求，如高温、高湿、腐蚀、振动、冲击、灰尘等工业环境，微机控制系统还特别要有高的电磁兼容性。

5. 控制的多功能性

微机控制系统具有集中操作、实时控制、控制管理、生产管理等多功能。

6. 应用的灵活性

由于软件功能丰富、编程方便和硬件体积小、重量轻以及结构设计上的模块化、标准化，故系统配置上有很强的灵活性。微机系统可以嵌入到被控对象的系统中，要有简易的结构化、组态化控制软件，硬件的可装配性、可扩充性也很好。

另外,技术更新快,信息综合性强,内涵丰富,操作便利等也都是微机控制系统的一些特点。

1.2.2 微机控制系统的设计要求

区别于传统的控制系统,微机测控系统设计有着自己特殊的要求。

- (1) 具有良好的实时性。
- (2) 具有高可靠性和较强的环境适应性。
- (3) 采用标准化部件,便于扩充、升级和维护。
- (4) 具有良好的人机界面和丰富的监视画面。
- (5) 具有良好的系统组态和可选的各种控制策略。
- (6) 具有网络通信功能,便于实现工厂自动化和信息化。

1.2.3 微机控制系统发展趋势

1. 智能化

所谓智能,是指能随外界条件的变化,具有确定正确行动的能力,也即具有人的思维能力以及推理、作出决策的能力,而智能化的仪表或系统,可以在个别的部件上,也可以在局部或整体系统上具有智能的特征。例如智能化的测试仪表,它能在被测参数变化时自动选择测量方案,进行自校正、自补偿、自检、自诊断等,以获取最佳测试结果。为了更有效地利用被测量,在检测时往往要附加一些分析与控制的功能,因而采用实时动态建模技术、在线识别技术,以获得实时最优控制、自适应控制等功能。有的系统则直接运用人工智能、专家系统技术设计智能控制器。

2. 综合化与集成化

电子测量仪器、自动化仪表、自动化测试系统、数据采集和控制系统在过去是分属各学科和领域,各自独立发展的。由于生产自动化的要求,它们在发展中相互靠近,功能互相覆盖,差异逐渐缩小,体现为一种“信息流”综合管理与控制系统。其综合的目的是提高人们对生产过程全面的监视、检测、控制与管理等多方面的能力。与此同时,对测量控制技术本身提出了高的要求,如高灵敏度、高精度、高分辨率、高速响应、高稳定性、高度自动化和智能化等。为此,要求提高系统综合与设计的能力,这就涉及多种学科、多种技术的互相融合、互相渗透,使系统功能强大,向更高层次发展。

3. 系统化与标准化

现代检测与控制的任務,更多地涉及系统的特征。所谓系统,是指若干个相互间具有内在关联的要素,构成一个整体,由它来完成规定的功能,以达到某个给定的目的。因而在系统内部,若要设立多台计算机,则这些计算机往往不是互不相干的,而是要构成相互联系的整体,这就形成了各种多计算机的系统。即使使用单独的计算机进行测量控制,也要通过标准总线与各个部件进行联络。

在向系统化发展的同时,还需要涉及系统部件接口的标准化、系列化和模块化,用户只需选用符合标准的制造厂产品,而不必再考虑能否与现有系统连接,能否与现有系统进行数据通信等问题。

4. 微型化与大型化

嵌入式系统也是计算机测控技术的一个发展方向。所谓嵌入式系统，是指计算机测控系统是与被监控对象一体的，即计算机测控系统是嵌入在被监控对象之中的。微处理芯片技术、液晶显示技术、大容量电子存储器件技术的发展为嵌入式系统的开发提供了可靠的保证。另外，家庭、家电中以及一些特殊场合（例如人体）的应用也对计算机测控系统的微型化提出了要求。

与微型化相反的一个方向是大型化。大型化的特点：①控制系统监控的参量非常多，可以达到数万个甚至数十万个；②控制的地域非常宽广，面积可达数十平方千米，距离可达上万千米。由于大型化的需求以及计算机网络技术的日渐成熟，基于计算机网络的计算机控制系统越来越多。

5. 多媒体化与网络化

多媒体技术正在迅速地从家庭、办公室向计算机控制技术应用各个领域扩散。通过应用多媒体技术，操作人员不仅能够获取丰富的现场信号，同时，还使得原本枯燥乏味的工作变得有趣起来。

随着计算机技术和网络技术的迅猛发展，各种层次的计算机网络在控制系统中的应用越来越广泛，规模也越来越大，从而使传统意义上的回路控制系统所具有的特点在系统网络化过程中发生了根本变化，并最终逐步实现了控制系统的网络化。

6. 虚拟仪器化

随着硬件技术的不断提升，总线化、模块化的结构化设计模式使得测控系统的形式也发生了变化。软件在系统中的作用越来越明显，在硬件的支持下，通过软件实现等效的仪器作用成了灵活、方便的仪器实现形式。现在的虚拟仪器开发软件系统已经得到了很大的发展。

1.3 微机控制系统的核心——微型计算机

1.3.1 微型计算机的基本组成

迄今为止，所有计算机的组成结构都是冯·诺依曼型的，即它是通过执行存储器中的程序而工作的。微机系统包括软件和硬件，如图 1.6 所示。软件分为系统软件、应用程序和程序设计语言。硬件包括主机和外围设备，主机包括 CPU、存储器、输入/输出接口、总线；外围设备包括外部设备与辅助设备。其中，外部设备包括输入设备、输出设备和辅助存储器，辅助设备包括电源电路和时钟电路。

CPU 是计算机的控制核心，它的功能是执行指令，完成算数运算、逻辑运算，并对整机进行控制。存储器用于存储程序和数据。输入/输出接口（又称 I/O 接口）是 CPU 和外部设备之间相连的逻辑电路，外部设备必须通过接口才能和 CPU 相连，不同的外部设备所用接口不同，每个 I/O 接口也有一个地址，CPU 通过对不同的 I/O 接口进行操作来完成对外部设备的操作。存储器、I/O 接口和 CPU 之间通过总线相连。用于传送程序或数据的总线称为数据总线（Data Bus）；地址总线（Address Bus）用于传送地址，以

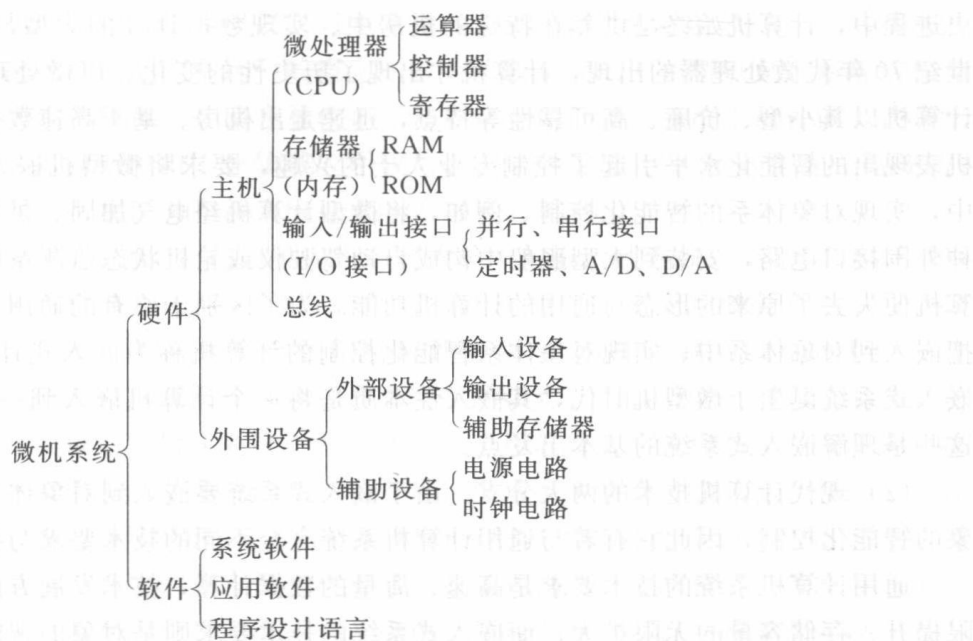


图 1.6 微机系统的组成

识别不同的存储单元或 I/O 接口；控制总线 (Control Bus) 用于控制数据总线上数据流的方向、对象等。

1.3.2 微型计算机的主要技术指标

微型计算机主要有如下一些技术指标。

- (1) 字长：CPU 并行处理二进制数据位，由此定为 8 位机、16 位机、32 位机等。
- (2) 存储容量：存储器单元数，如 256B、8KB、1MB 等 (1B 即一个字节，也就是一个 8 位二进制数，是计算机数据的基本单位)。
- (3) 运算速度：CPU 处理速度，它和内部的工艺结构以及外接的时钟频率有关。
- (4) 时钟频率：在 CPU 极限频率以下，一般地讲，时钟频率越高，执行指令速度越快。

1.3.3 嵌入式微型计算机系统的发展

嵌入式系统从出现至今已有 40 多年的历史，其发展轨迹呈现出硬件和软件交替发展的双螺旋式。早在电子数字计算机出现之前就有了把计算装置嵌入在系统和设备中的嵌入式系统，如把计算机嵌入到导弹等武器和航天器中。直到 20 世纪 70 年代末的集成电路化的第三代计算机时期，嵌入式计算机才逐步兴起。近几年来，随着计算机、通信、消费电子的一体化趋势日益明显，嵌入式技术已成为一个研究热点。比如，在航空和航天领域中，微机测控系统已经代替了大量的测试仪器，担负着实验室、导弹总装厂和发射场的各种测试和发射控制任务，使测试和发射准备时间大大缩短，操作人员和特种车辆大量减少，发射场的指挥员在控制室或指挥车里就可观察到导弹或卫星各系统的工作情况和各种参数，以便做出正确的判断，对发射过程进行有效的控制。

- (1) 嵌入式应用始于微型机时代。电子数字计算机诞生于 1946 年，在其后漫长的历

史进程中,计算机始终是供养在特殊的机房中、实现数据计算的大型昂贵设备。直到20世纪70年代微处理器的出现,计算机才出现了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机以其小型、价廉、高可靠性等特点,迅速走出机房。基于高速数据计算能力的微型机表现出的智能化水平引起了控制专业人士的兴趣,要求将微型机嵌入到一个对象体系中,实现对象体系的智能化控制。例如,将微型计算机经电气加固、机械加固,并配置各种外围接口电路,安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态监测系统。这样一来,计算机便失去了原来的形态与通用的计算机功能。为了区别于原有的通用计算机系统,我们把嵌入到对象体系中、实现对象体系智能化控制的计算机称为嵌入式计算机系统。因此,嵌入式系统诞生于微型机时代,其嵌入性本质是将一个计算机嵌入到一个对象体系中去,这些是理解嵌入式系统的基本出发点。

(2) 现代计算机技术的两大分支。由于嵌入式系统要嵌入到对象体系中,实现的是对象的智能化控制,因此它有着与通用计算机系统完全不同的技术要求与技术发展方向。

通用计算机系统的技术要求是高速、海量的数据计算,技术发展方向是总线速度的无限提升、存储容量的无限扩大;而嵌入式系统的技术要求则是对象的智能化控制能力,技术发展方向是与对象体系密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性。

早期,人们勉为其难地将通用计算机系统进行改装,在大型设备中实现嵌入式应用。然而,对于众多的对象体系(如家用电器、仪器仪表、工控单元……),无法嵌入通用计算机系统,况且嵌入式系统与通用计算机系统的技术发展方向完全不同,因此必须独立地发展通用计算机系统与嵌入式系统,这就形成了现代计算机技术发展的两大分支。

如果说微型机的出现使计算机进入到现代计算机发展阶段,那么嵌入式系统的诞生,则标志着计算机进入了通用计算机系统与嵌入式系统两大分支并行发展时代,从而极大地推动了20世纪末计算机的高速发展。

(3) 两大分支发展的里程碑事件。通用计算机系统与嵌入式系统的专业化分工发展,促进20世纪末、21世纪初计算机技术的飞速发展。计算机专业领域集中精力发展通用计算机系统的软、硬件技术,不必兼顾嵌入式应用要求,通用微处理器迅速从286、386、486发展到奔腾系列,乃至当前的酷睿双核、四核等多核;操作系统则迅速扩张了计算机高速、海量的数据处理能力,使通用计算机系统进入到一个相对比较成熟的阶段。

嵌入式系统则走上了一条完全不同的道路,这条独立发展的道路就是单芯片化。它动员了原有的传统电子系统领域的厂家与专业人士,接过起源于计算机领域的嵌入式系统,承担起发展与普及嵌入式系统的历史任务,迅速地将传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统。

现代计算机技术发展的两大分支的里程碑意义在于:它不仅形成了计算机发展的专业化分工,而且将发展计算机技术的任务扩展到传统的电子系统领域,使计算机成为进入人类社会全面智能化时代的有力工具。

纵观嵌入式技术的发展历程,大致经历了4个阶段。

(1) 以单芯片为核心的可编程控制器形式的系统。这类系统大部分应用于一些专业性强的工业控制系统中,具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能。一般没有操作系统的支持,通过汇编语言编程对系统进行直接控制,运行结束后再清除内存。这些装置虽然已

经初步具备了嵌入式的应用特点，但仅仅只是使用 8 位的 CPU 芯片来执行一些单线程的程序，因此严格地说还谈不上“系统”的概念。这一阶段系统的主要特点是：系统结构和功能相对单一，处理效率较低，存储容量较小，几乎没有用户接口。由于这种嵌入式系统使用简单、价格低，以前在国内工业领域应用较为普遍，但是已经远远不能适应高效的、需要大容量存储的现代工业控制和新兴信息家电等领域的需求。

(2) 以嵌入式 CPU 为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。20 世纪 80 年代，随着微电子工艺水平的提高，IC 制造商开始把嵌入式应用中所需要的微处理器、I/O 接口、串行接口以及 RAM、ROM 等部件统统集成到一片 VLSI 中，制造出面向 I/O 设计的微控制器，并一举成为嵌入式系统领域中异军突起的新秀。与此同时，嵌入式系统的程序员也开始基于一些简单的“操作系统”开发嵌入式应用软件，大大缩短了开发周期，提高了开发效率。这一阶段嵌入式系统的主要特点是：出现了大量高可靠、低功耗的嵌入式 CPU（如 Power PC 等），但通用性比较弱；各种简单的嵌入式操作系统开始出现并得到迅速发展，并初步具有了一定的兼容性和扩展性，系统开销小，内核精巧且效率高，主要用来控制系统负载以及监控应用程序的运行；应用软件较专业化，但用户界面不够友好。

(3) 以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。20 世纪 90 年代，在分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大需求的牵引下，嵌入式系统进一步飞速发展，而面向实时信号处理算法的 DSP 产品则向着高速度、高精度、低功耗的方向发展。随着硬件实时性要求的提高，嵌入式系统的软件规模也不断扩大，逐渐形成了实时多任务操作系统（RTOS），并开始成为嵌入式系统的主流。主要特点是：嵌入式操作系统能运行于各种不同类型的微处理器上，兼容性好；操作系统内核小、效率高，并且具有高度的模块化和扩展性；具备文件和目录管理、多任务、网络支持、图形窗口以及用户界面等功能；具有大量的应用程序 API，开发应用程序较简单；嵌入式应用软件丰富。

(4) 以 Internet 为标志的嵌入式系统。目前大多数嵌入式系统还孤立于 Internet 之外，信息时代和数字时代的到来为嵌入式系统的发展带来了巨大的机遇。随着 Internet 的发展以及 Internet 技术与信息家电、工业控制技术结合日益密切，嵌入式设备与 Internet 的结合将代表嵌入式系统的未来。

综上所述，嵌入式系统技术日益完善，32 位微处理器在该系统中占主导地位。嵌入式操作系统已经从简单走向成熟，其与网络、Internet 的结合日益密切，其应用日益广泛。

1.3.4 嵌入式处理器

嵌入式处理器是嵌入式微型计算机系统的核心。

目前据不完全统计，全世界嵌入式处理器的品种总量已经超过 1000 多种，流行体系结构有三十几个系列，其中 8051 体系的占有多半。生产 8051 单片机的半导体厂家有 20 多个，共 350 多种衍生产品，仅飞利浦品牌的产品就有近 100 种。现在几乎每个半导体制造商都生产嵌入式处理器，越来越多的公司开始拥有自己的处理器设计部门。嵌入式处理器的寻址空间一般为 64KB~16MB，处理速度 0.1~2000MIPS，常用封装 8~144 个引脚。根据其现状，嵌入式处理器可以分成嵌入式微处理器（EMPU）、嵌入式微控制器

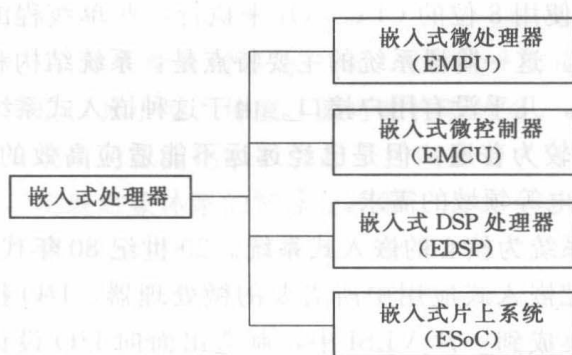


图 1.7 嵌入式处理器分类

(EMCU)、嵌入式 DSP 处理器 (EDSP)、嵌入式片上系统 (ESoC) 4 类, 如图 1.7 所示。

1. 嵌入式微处理器 (Embedded Microprocessor Unit, EMPU)

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU, 即由通用计算机中的 CPU 演变而来。与通用计算机处理器不同的是, 在实际嵌入式应用中, 将微处理器装配在专门设计的电路板上, 只保留和嵌入式应用紧密相关的母板功能, 去除了其他冗余的功能部分, 这样可以大幅度减小系统体积和功耗。为了满足嵌入式应用的特殊要求, 嵌入式微处理器虽然在功能上和标准微处理器基本是一样的, 但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都作了各种增强。

和工业控制计算机相比, 嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点, 但是在电路板上必须包括 ROM、RAM、总线接口、各种外设等器件, 从而降低了系统的可靠性, 技术保密性也较差。嵌入式微处理器及其存储器、总线、外设等安装在一块电路板上, 称为单板计算机, 如 STD-BUS、PC104 等。近年来, 德国、日本的一些公司又开发出了类似火柴盒式、名片大小的嵌入式计算机系列 OEM 产品。

嵌入式微处理器目前主要有 Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM 系列等。

2. 嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller Unit, EMCU)

嵌入式微控制器又称单片机, 顾名思义, 就是将整个计算机系统集成到一块芯片中, 这也是目前嵌入式系统工业的主流。嵌入式微控制器一般以某一种微处理器内核为核心, 片上资源比较丰富 (芯片内部集成有 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、WatchDog、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要功能和外设), 适合控制, 因此称为微控制器。为适应不同的应用需求, 一般一个系列的单片机具有多种衍生产品, 每种衍生产品的处理器内核都是一样的, 不同的是存储器和外设的配置及封装。这样可以使单片机最大限度地和应用需求相匹配, 功能不多不少, 从而减少功耗和成本。

和嵌入式微处理器相比, 嵌入式微控制器的最大特点是单片化, 体积大大减小, 从而使功耗和成本下降、可靠性提高。

目前嵌入式微控制器的品种和数量最多, 比较有代表性的通用系列包括 8051、P51XA、MCS-251、MCS-96/196/296、C166/167、MC68HC05/11/12/16、68300 等。另外还有许多半通用系列, 如支持 USB 接口的 MCU 8XC930/931、C540、C541; 支持 IIC、CAN-Bus、LCD 及众多专用 MCU 的兼容系列。目前 MCU 占嵌入式系统约 70% 的市场份额。

特别值得注意的是, 近年来提供 x86 微处理器的著名厂商 AMD 公司将 Am186 CC/H/CU 等嵌入式处理器称为 Microcontroller, 摩托罗拉公司将 PowerPC 为基础的