

# 单片机原理 及接口技术

毛晓波 主编



*M*icrocontroller Principle and  
Interface Technology



机械工业出版社  
China Machine Press

高等院校电子信息与电气学科系列规划教材

第2版 (CIP) 数据

# 单片机原理 及接口技术

毛晓波 主编



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

单片机原理及接口技术 / 毛晓波主编. —北京: 机械工业出版社, 2015.4  
(高等院校电子信息与电气学科系列规划教材)

ISBN 978-7-111-49920-6

I. 单… II. 毛… III. ① 单片微型计算机—基础理论—高等学校—教材 ② 单片微型计算机—接口技术—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 072521 号

本书全面系统地介绍 51 系列单片机及其兼容机的基本结构和工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、C 语言程序设计、中断系统及其应用、定时器及其应用、串行口及其应用、系统扩展、人机交互接口、模拟量 I/O 接口、单片机应用系统设计方法等。

本书可作为各类大专院校自动化、电气工程及其自动化、应用电子技术、计算机科学与技术、生物医学工程、轨道交通控制、测控技术及机电一体化等专业的单片机课程教材, 也可供从事单片机应用与开发的工程技术人员参考。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 张梦玲

责任校对: 董纪丽

印刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版次: 2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm×260mm 1/16

印张: 15.75

书号: ISBN 978-7-111-49920-6

定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

# 前 言

单片机以体积小、重量轻、价格低、可靠性高、便于控制等特点，在工业控制、智能仪器仪表、通信导航、家用电器及机电一体化等众多领域获得了极其广泛的应用，现已成为现代电子系统中最重要的智能化核心部件之一。目前，单片机的应用能力已成为大专院校工科类电学专业学生的一项重要技能，以单片机为核心的创新型实验项目与科技类竞赛活动日益受到人们的重视。

本书是为贯彻落实《教育部关于以就业为导向深化高等教育的若干意见》的精神，适应我国高等教育改革的需要，结合高等教育工科类电学专业的特点而编写的。编写时，作者参考了国内外大量文献和工程设计资料，汲取各家之长，并结合二十多年单片机教学、科研和应用开发的经验，精选了单片机原理及接口技术的基础知识，注意反映当代单片机技术的发展趋势，体现了培养应用型人才的要求。

虽然目前有关单片机的教材种类繁多，但侧重点和面向对象各不相同。针对目前大专院校普遍大幅度压缩授课学时、给学生更多的自主空间这一现状，本教材突出“简明、典型、实用、先进”的特色，特别适用于教师短学时授课以及学生自学掌握单片机的基本原理和应用知识。具体特点如下：

1) 内容简明实用。编写时本着“精选内容、突出重点、举例典型、注重实用”的原则，在讲述基本原理时避免过多、过细的描述，而是通过典型实例体现其实用价值和应用技巧。全书共 12 章，是最精简的经典章节组合。

2) 技术与与时俱进。单片机技术发展迅猛、更新速度快，书中注意结合近年来单片机技术的最新发展，融合先进技术和新型器件，如介绍新型增强型单片机(ATMEL、STC 系列)的新增特点、新型串行接口芯片(I<sup>2</sup>C、SPI、单总线)的应用及 Keil  $\mu$ Vision 集成开发环境等，注重知识的新颖性与实用性的统一。

3) 两种语言并举。传统单片机教材多介绍汇编语言，近年来出版的教材却多采用 C 语言。汇编语言面向机器硬件，程序代码质量高、占存储空间小；C 语言以其可读性和可移植性好、功能强大等优点为众多编程者(特别是广大学生)所喜爱。考虑到两种语言各有优势且长期并存的状况，本书兼顾汇编和 C51 两种编程语言，大部分章节的例题及程序段同时采用两种语言编写，以方便读者对比和选用。

4) 讲授与自学兼顾。全书 12 章均为经典内容，在用于 48~60 学时的课堂教学时基本

无须取舍,且配有作者精心制作的课件(可从 [www.hzbook.com](http://www.hzbook.com) 上获取)和附录中的常用实验程序,易于教师的教学安排。本书层次分明、语言简练,给出了大量的硬件和软件典型应用实例,每章均附有习题,附录中每个实验程序均留有调试练习题,便于学生自学和在短时间里全面了解单片机的使用方法。

考虑到 51 系列单片机及其兼容机完善的结构、开放的体系、广泛的用户群及其经典型号的重要地位,本书仍以 51 系列单片机及其兼容机为主,全面系统地介绍 51 系列单片机及其兼容机的基本结构和工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、C 语言程序设计、中断系统及其应用、定时器及其应用、串行口及其应用、系统扩展、人机交互接口、模拟量 I/O 接口及单片机应用系统设计方法等。

本书可作为各类大专院校自动化、电气工程及其自动化、应用电子技术、计算机科学与技术、生物医学工程、轨道交通控制、测控技术及机电一体化等专业的单片机课程教材,也可供从事单片机应用与开发的工程技术人员参考。

本书由毛晓波教授主编。任慧编写了第 2 章、第 6 章和第 7 章,张赞编写了第 3 章和第 5 章,刘林阴编写了第 4 章和第 11 章,张端阳编写了第 8 章和第 10 章,其余内容由毛晓波编写并对全书进行统稿和定稿。机械工业出版社华章公司的王颖编辑为本书的出版提供了大量的帮助和指导性建议,谨此表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中难免存在不妥之处,恳请读者和同行批评指正。

作者

2014 年 12 月

# 教学建议

本教材内容分为 12 章，各章节的主要内容与课堂教学的学时安排如下表所示。

教学内容	教学要点	建议学时	
		多学时	短学时
第 1 章 绪 论	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 单片机及其特点</li> <li>• 单片机发展概况</li> <li>• 常用单片机系列</li> <li>• 单片机应用领域</li> </ul>	2	2
第 2 章 51 单片机的基本结构和 工作原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 51 单片机的基本构成</li> <li>• 51 单片机的内部结构与引脚功能</li> <li>• 中央处理器</li> <li>• 存储器空间</li> <li>• I/O 端口结构及其应用特性</li> </ul>	6	4
第 3 章 51 单片机的指令系统	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 51 汇编语言的指令格式</li> <li>• 寻址方式</li> <li>• 指令系统</li> </ul>	5	3
第 4 章 51 汇编语言程序设计	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 单片机汇编语言概述</li> <li>• 单片机汇编语言程序设计举例</li> <li>• 实用汇编子程序举例</li> </ul>	5	3
第 5 章 51 单片机 C 语言程序设计	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 单片机 C 语言概述</li> <li>• C51 的程序结构</li> <li>• C51 的数据类型、存储类型及存储模式</li> <li>• C51 函数、运算符及其表达式</li> <li>• C51 流程控制及编程举例</li> <li>• Keil <math>\mu</math> Vision 集成开发环境简介</li> </ul>	4	2
第 6 章 51 单片机的中断系统及其应用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 51 单片机中断系统的结构</li> <li>• 51 单片机中断处理过程</li> <li>• 中断应用举例</li> </ul>	3	2
第 7 章 51 单片机的定时器及其应用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 定时器的结构与功能</li> <li>• 定时器的控制和工作方式</li> <li>• 定时器应用举例</li> </ul>	5	3
第 8 章 单片机串行口及其应用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 串行通信基础</li> <li>• 51 单片机串行口</li> <li>• 51 单片机串行口应用</li> </ul>	4	3

(续)

教 学 内 容	教 学 要 点	建 议 学 时	
		多 学 时	短 学 时
第 9 章 单片机系统扩展	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 单片机系统扩展概述</li> <li>• 存储器扩展</li> <li>• I/O 接口扩展</li> <li>• 串行总线扩展技术</li> </ul>	6	4
第 10 章 人机交互接口	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 键盘与显示器接口概述</li> <li>• 独立式键盘接口</li> <li>• 矩阵式键盘接口</li> <li>• LED 数码管接口设计</li> <li>• LCD 液晶显示器接口设计</li> </ul>	6	4
第 11 章 模拟量 I/O 接口	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ADC 和 DAC 概述</li> <li>• ADC 与单片机的接口技术</li> <li>• DAC 与单片机的接口技术</li> </ul>	6	4
第 12 章 单片机应用系统设计方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 单片机应用系统的组成</li> <li>• 单片机应用系统设计的基本原则</li> <li>• 单片机应用系统设计的一般过程</li> </ul>	2	2
总学时建议		54	36

注：1. 本书的建议授课学时数为 36~54，可根据教学要求和计划学时数酌情取舍。若在学习完“微机原理”课程之后再使用本书，建议选 36 学时方案。

2. 单片机课程实践性很强，建议在讲授本书内容的同时，同步开设单片机实验或课程设计等实践环节。本书附录 C 给出了常用的实验内容和实验程序，针对不同的单片机实验装置，只需稍加修改或重新定义接口地址即可直接使用。

# 目 录

前言	1
教学建议	1
第1章 绪论	1
1.1 微型计算机与单片机	1
1.1.1 电子计算机	1
1.1.2 微型计算机	1
1.1.3 单片机	2
1.2 单片机的发展概况	3
1.2.1 单片机发展历程	3
1.2.2 常用单片机系列简介	4
1.3 单片机的应用领域	6
习题	7
第2章 51 单片机的基本结构和 工作原理	8
2.1 51 单片机的基本构成	8
2.1.1 内部结构	8
2.1.2 引脚功能	9
2.2 中央处理器	10
2.2.1 CPU 的功能单元	11
2.2.2 CPU 的时钟电路与 时序	12
2.2.3 单片机的复位	13
2.3 存储器空间	14
2.3.1 程序存储器 ROM	15
2.3.2 数据存储器 RAM	16
2.4 I/O 端口结构	19
2.4.1 P0 口和 P2 口的结构及 功能	19
2.4.2 P1 口和 P3 口的结构及 功能	21
2.4.3 I/O 口的应用特性	21
习题	22
第3章 51 单片机的指令系统	24
3.1 指令格式	24
3.1.1 51 汇编语言的指令格式	24
3.1.2 指令中的符号	24
3.2 寻址方式	25
3.2.1 立即寻址	25
3.2.2 直接寻址	25
3.2.3 寄存器寻址	25
3.2.4 寄存器间接寻址	26
3.2.5 变址寻址	26
3.2.6 相对寻址	26
3.2.7 位寻址	26
3.3 指令系统	27
3.3.1 数据传送类指令	27
3.3.2 算术运算类指令	31
3.3.3 逻辑操作类指令	34
3.3.4 控制转移类指令	36
3.3.5 位操作类指令	40
习题	42
第4章 51 汇编语言程序设计	45
4.1 单片机汇编语言概述	45



4.1.1	汇编语言及其特点	45	5.6.1	函数的定义	80
4.1.2	汇编语言的语句格式及 伪指令	45	5.6.2	函数的调用	81
4.1.3	汇编语言程序设计 步骤	47	5.6.3	C51库函数	81
4.2	单片机汇编语言程序 设计举例	47	5.7	C51流程控制及编程举例	83
4.2.1	顺序结构	47	5.7.1	选择结构	84
4.2.2	分支结构	49	5.7.2	循环结构	86
4.2.3	循环结构	52	5.8	Keil $\mu$ Vision 集成开发环境 简介	90
4.2.4	子程序结构	54	5.8.1	Keil $\mu$ Vision 界面	90
4.3	实用汇编子程序举例	57	5.8.2	工程项目创建与 目标文件生成	90
4.3.1	定点数与浮点数的 表示方法	57	5.8.3	仿真调试	95
4.3.2	算术运算符程序	58	习题		97
4.3.3	代码转换子程序	67	<b>第6章 51单片机的中断系统及其 应用</b>		
习题		70	6.1	中断的概念	98
<b>第5章 51单片机C语言程序设计</b>			6.2	51单片机中断系统的结构	99
5.1	C51的特点	72	6.2.1	中断源及中断入口	99
5.2	C51的程序结构	72	6.2.2	中断控制	100
5.3	C51的数据类型、存储类型 及存储模式	73	6.3	51单片机中断处理过程	102
5.3.1	C51的数据类型	73	6.3.1	中断请求	102
5.3.2	C51的存储类型及 存储模式	74	6.3.2	中断响应	103
5.3.3	51单片机硬件结构的 C51定义	75	6.3.3	中断服务	103
5.4	C51的运算符及其表达式	76	6.3.4	中断返回	103
5.4.1	算术运算符及其表达式	77	6.4	中断应用举例	103
5.4.2	关系运算符及其表达式	77	习题		107
5.4.3	逻辑运算符及其表达式	78	<b>第7章 51单片机的定时器 及其应用</b>		
5.4.4	位运算符及其表达式	78	7.1	定时器的结构与功能	108
5.4.5	赋值运算符及其表达式	78	7.1.1	定时器的结构	108
5.5	C51构造数据类型	79	7.1.2	定时器的功能	109
5.5.1	数组	79	7.2	定时器的控制和工作方式	109
5.5.2	指针	79	7.2.1	定时器的控制	109
5.6	C51函数	80	7.2.2	定时器的的工作方式	110
			7.3	定时器应用举例	112
			7.3.1	定时应用	112

7.3.2	计数应用	116	9.4.3	单总线接口	170
7.3.3	门控应用	117	习题		171
7.3.4	外部中断源扩展	119	<b>第10章 人机交互接口</b>		172
习题		120	10.1 键盘接口		172
<b>第8章 单片机串行口及其应用</b>		121	10.1.1 键盘接口的特点		172
8.1 串行通信基础		121	10.1.2 独立式键盘接口		173
8.1.1 通信的概念		121	10.1.3 矩阵式键盘接口		177
8.1.2 串行通信的分类		121	10.1.4 键盘的工作方式		182
8.1.3 信号的调制与解调		123	10.2 显示器接口		184
8.1.4 串行通信接口电路		123	10.2.1 LED数码管		184
8.2 51单片机串行口		126	10.2.2 LED数码管接口设计		185
8.2.1 串行口的结构		126	10.2.3 LCD液晶显示器		190
8.2.2 串行口控制寄存器		127	10.2.4 LCD液晶显示器接口设计		194
8.2.3 串行口的工作方式		128	习题		199
8.2.4 串行口波特率的设置		130	<b>第11章 模拟量 I/O 接口</b>		200
8.3 51单片机串行口应用		131	11.1 ADC和DAC在单片机系统中的作用		200
8.3.1 串并转换与接口扩展		131	11.2 ADC及其与单片机的接口		200
8.3.2 双机通信		132	11.2.1 ADC概述		200
8.3.3 多机通信		137	11.2.2 ADC与单片机的接口技术		201
习题		142	11.3 DAC及其与单片机的接口		211
<b>第9章 单片机系统扩展</b>		144	11.3.1 DAC概述		211
9.1 单片机系统扩展概述		144	11.3.2 DAC与单片机的接口技术		212
9.1.1 并行扩展技术		144	习题		218
9.1.2 串行扩展技术		145	<b>第12章 单片机应用系统设计方法</b>		219
9.2 存储器扩展		145	12.1 单片机应用系统的组成		219
9.2.1 存储器扩展的基本方法		145	12.2 单片机应用系统设计的基本原则		219
9.2.2 存储器扩展举例		146			
9.3 I/O接口扩展		151			
9.3.1 I/O接口扩展概述		151			
9.3.2 简单I/O接口扩展		152			
9.3.3 可编程I/O接口扩展		154			
9.4 串行总线扩展技术		161			
9.4.1 I <sup>2</sup> C串行总线接口		161			
9.4.2 SPI串行外设接口		169			

12.3 单片机应用系统设计的  
 一般过程 ..... 220  
 12.3.1 确定任务 ..... 220  
 12.3.2 总体设计 ..... 220  
 12.3.3 硬件设计 ..... 222  
 12.3.4 软件设计 ..... 223  
 12.3.5 结构设计 ..... 224  
 12.3.6 样机联调 ..... 224  
 12.3.7 性能测试与评估 ..... 225

10.2.1 LED 数码管 ..... 184  
 10.2.2 LED 数码管接口 ..... 182  
 10.2.3 LCD 液晶显示器 ..... 180  
 10.2.4 LCD 液晶显示器接口设计 ..... 184

11.1 单片机系统 I/O 接口 ..... 200  
 11.1.1 ADC 和 DAC 在单片机系统中  
 的作用 ..... 200  
 11.2 ADC 及其在单片机的  
 接口 ..... 200  
 11.2.1 ADC 接口 ..... 200  
 11.2.2 ADC 与单片机的  
 接口技术 ..... 201  
 11.3 DAC 及其在单片机的  
 接口 ..... 211  
 11.3.1 DAC 接口 ..... 211  
 11.3.2 DAC 与单片机的  
 接口技术 ..... 212

12 章 单片机应用系统  
 设计实例 ..... 218  
 12.1 单片机应用系统的设计 ..... 218  
 12.2 单片机应用系统设计的  
 基本原则 ..... 218

12.3.8 产品定型 ..... 225  
 习题 ..... 225

附录 A 51 单片机指令速查表 ..... 227  
 附录 B ASCII 码表 ..... 230  
 附录 C 常用实验程序 ..... 231

参考文献 ..... 239

8.1.3 串行的异步传输 ..... 131  
 8.1.3 串行的同步传输 ..... 133  
 8.1.4 串行通信接口电路 ..... 138  
 8.2.1 单片机串行口 ..... 128  
 8.2.1 串行口的结构 ..... 128  
 8.2.2 串行口控制寄存器 ..... 125  
 8.2.3 串行口的工作方式 ..... 128  
 8.2.4 串行口波特率的设置 ..... 130  
 8.3.1 单片机串行口应用 ..... 131  
 8.3.1 单片机串行口接口 ..... 131  
 8.3.2 串行通信 ..... 132  
 8.3.3 串行通信 ..... 132

第 9 章 单片机系统扩展 ..... 144  
 9.1 单片机系统扩展 ..... 144  
 9.1.1 并行扩展技术 ..... 144  
 9.1.2 串行扩展技术 ..... 148  
 9.2 存储器扩展 ..... 148  
 9.2.1 存储器扩展 ..... 148  
 基本方法 ..... 143  
 9.2.2 存储器扩展 ..... 146  
 9.3 I/O 接口扩展 ..... 151  
 9.3.1 I/O 接口扩展 ..... 151  
 9.3.2 扩展 I/O 接口 ..... 152  
 9.3.3 扩展 I/O 接口 ..... 154  
 9.4.1 I/O 接口扩展技术 ..... 151  
 9.4.1 I/O 接口扩展 ..... 151  
 9.4.2 SPI 串行扩展接口 ..... 159

## 1.1 微型计算机与单片机

计算机、微型计算机、单片机、微处理器、微控制器、嵌入式系统等,这些以往 IT 业的专用术语,现已成为人们日常生活中耳熟能详的词汇了。然而,它们之间究竟是一种什么关系?是否有本质的区别?让我们先来回顾一下计算机的发展历程。

### 1.1.1 电子计算机

数字电子计算机(Computer)于 1946 年诞生于美国宾夕法尼亚大学,其功能由最初的计算迅速向信息处理、控制及通信等各个领域蔓延,成为 20 世纪最伟大的科学技术发明之一。由于计算机是一种智能电子设备,因此,它是随着电子器件的发展而发展并更新换代的。

电子器件经历了电子管、晶体管、中小规模集成电路、大规模和超大规模集成电路四代,计算机也随之更新换代,由大中型机向小型机、微型计算机方向迅速发展。

计算机的经典结构如图 1-1 所示,它由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大部件组成,被称为冯·诺依曼结构,俗称“五箱”式结构。图 1-1 中的粗线和细线分别代表数据线和控制线,其工作过程遵循冯·诺依曼提出的“程序存储”的概念和二进制运算的思想,即将计算机要执行的任务(运算、控制、数据处理)事先按计算机的操作命令(指令)编制成程序,存放在存储器中。

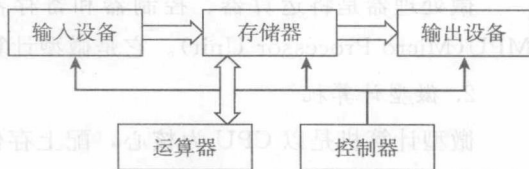


图 1-1 电子计算机的经典结构

计算机运行时,连续自动地从存储器中一条一条地取出指令,并送至控制器分析后执行相应的操作,完成程序的功能。其中指令和数据均采用二进制码表示,以易于电路上的实现。

### 1.1.2 微型计算机

电子计算机发展到以大规模和超大规模集成电路为主要部件的第四代时,产生了微型计算机(Microcomputer),简称“微型机”、“微机”。微型计算机的中央处理单元(Central Processing Unit, CPU),又称微处理器,它将运算器、控制器和寄存器阵列集成在同一芯片上,是微型计算机的核心部件。

1971 年,Intel 公司设计并生产出了世界上第一个微处理器芯片 Intel 4004,开创了一个全新的微型计算机时代,并获得了十分迅猛的发展。微型计算机的发展主要表现在其核心部件——微处理器的发展上。以 Intel 公司产品为例,从 4 位机(4004)、8 位机(8080/8085)、16 位机(8086/80286)、32 位机(80386/486)到奔腾(Pentium)系列微处理器,再到酷睿(Core)双核、四核微处理器时代,微型计算机的发展几乎每 2~3 年就更新换代一次。

微型计算机的飞速发展使计算机的应用普及并进入家庭迅速变成现实, 现已广泛应用于社会生产、生活的各个方面, 对国民经济、社会发展及个人生活产生了巨大影响, 带动着各行各业的技术进步。

与大中型计算机不同的是, 微型计算机除了将运算器和控制器集成于 CPU 单芯片以外, 还采用了单总线三态结构, 如图 1-2 所示。系统中各个功能部件(存储器、I/O 接口等)均使用同一组地址总线(AB)、数据总线(DB)和控制总线(CB), 采用“分时复用”方式与 CPU 交换数据, 大大简化了硬件结构, 实现了计算机的微型化, 且便于功能扩展。

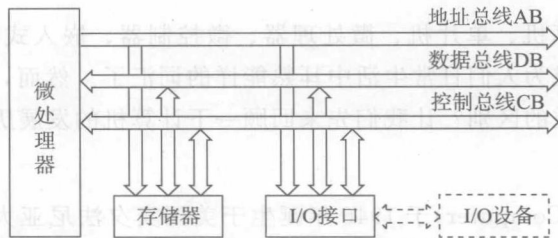


图 1-2 微型计算机的结构

微处理器、微型计算机和微型计算机系统等常用术语经常容易混淆, 这里着重强调一下。

### 1. 微处理器

微处理器是将运算器、控制器和寄存器组集成在一块芯片上的系统, 简称 CPU 或 MPU(Micro Processor Unit)。它是微型计算机的核心部件。

### 2. 微型计算机

微型计算机是以 CPU 为核心, 配上存储器、I/O 接口, 用系统总线将它们连接起来的系统, 简称 MC(Micro Computer)。

### 3. 微型计算机系统

微型计算机系统(Micro Computer System, MCS)包括硬件和软件两大部分, 即以微型计算机为中心, 配上 I/O 设备和系统软件组成的系统, 就是我们通常所说的微型计算机。

## 1.1.3 单片机

单芯片微型计算机简称单片机(Single Chip Microcomputer), 是指在一块芯片上集成有微处理器(CPU)、存储器(RAM 和 ROM)、基本 I/O 接口、定时器/计数器、时钟电路以及中断管理等部件, 并且具有独立指令系统的智能器件, 即在单个集成电路芯片上包含了微型计算机的各个组成部分, 具备微型计算机的基本功能。

可见, 单片机是微型计算机家族中的一员。与普通微型计算机相比, 单片机具有体积小、重量轻、价格廉、可靠性高、控制功能强等特点, 又称为微控制器(Microcontroller Unit, MCU)。其非凡的嵌入式应用形态对于满足嵌入式应用系统的需求具有独特的优势。

所谓嵌入式系统, 是指以应用为中心, 以计算机技术为基础, 软硬件可“裁剪”, 适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等有严格要求的专用计算机系统。简而言

之，就是“嵌入到对象体系中的专用计算机系统”。

显然，单片机就是一种典型的嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller)。与普通台式计算机走通用化的发展道路不同，单片机走的是专用化的发展道路，其硬件和软件都必须高效率地设计、“量体裁衣”、去除冗余，力争在较少的资源上实现更高的性能。单片机是以作为嵌入式系统的核心部件的形式隐藏在各种装置、设备、产品和系统中，在工业控制、仪器仪表、通信导航、家用电器、机电一体化产品、网络多媒体以及各种便携式产品的智能化方面，发挥着重要的作用。

## 1.2 单片机的发展概况

### 1.2.1 单片机发展历程

单片机技术经历四十多年的发展已日臻完善。目前，全世界著名的集成电路芯片制造商都有自己的 MCU 产品，种类成百上千，型号琳琅满目，各有其特点和优势。纵观单片机的发展历程，可分为以下几个主要阶段。

#### 1. 单片微型计算机形成阶段

1974~1976年：以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。该系列单片机在芯片内集成了 8 位 CPU、1K 字节 ROM、64 字节 RAM、27 根 I/O 线和 1 个 8 位定时器/计数器。

特点：存储器容量较小，寻址范围小( $\leq 4\text{KB}$ )，无串行接口，指令系统功能不强。

虽然当时的单片机功能不强，但它首次将 CPU、存储器、I/O 接口和总线集成于单个芯片中，是微型计算机发展进程中的一个重要阶段，可谓是第一代单片机。

#### 2. 结构体系成熟阶段

1978~1983年：以 Intel 公司的 MCS-51 为代表。该系列单片机普遍带有串行口、16 位定时器/计数器、多级中断处理系统等，如 MCS-51 系列的 8051 单片机，其片内资源包括 8 位 CPU、4KB ROM、128 字节 RAM、4 个 8 位并行口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时器/计数器等，寻址范围为 64KB，并有控制功能较强的布尔处理器。

特点：结构体系日趋完善，性能已大大提高，面向控制的特点进一步突出。其中 MCS-51 及其兼容机历经 30 年长盛不衰，至今仍是业界公认的经典机种和主流产品，且为发展具有良好兼容性的新一代单片机奠定了良好的基础。

#### 3. 性能资源提升阶段

1983 年以后，各大半导体厂商不断推出各种新型的 8 位单片机和 16 位单片机。片内集成了大量的资源，如：Flash ROM/E<sup>2</sup> PROM、A/D 转换器、PWM 输出、高速 I/O 部件、同步串行口 SSIO、监视定时器及硬件看门狗、外设事务服务器(PTS)、CAM 锁定、空闲和掉电工作方式、支持 HOLD/HLDA 协议等新功能，具有更快的运算速度、更丰富的软硬件资源和更优越的性能，可称为第三代单片机。

特点：运算速度大大提高，片内资源更加丰富，片内面向测控系统的外围电路进一步增强，可以方便灵活地应用于复杂的自动测控系统及设备。此类单片机称得上是名副其实的微控制器(MCU)。

作为第三代单片机的代表，除 MCS-51 兼容产品(AT89 系列、STC 系列等)以外，Atmel 公司的 AVR 系列单片机、Microchip 公司的 PIC 系列 RISC 单片机、TI 公司的

MSP430F 系列低功耗单片机、Intel 公司的 MCS-96/196 系列 16 位单片机以及中国台湾凌阳公司的 Sunplus 系列单片机等,也以各自优良的性能和突出的特点在各个领域获得了广泛应用。

#### 4. 嵌入式处理器阶段

近年来问世的内含 ARM 核的 32/64 位单片机与上述普通意义上的单片机有较大的不同,一般不把存储器部分集成在同一芯片,其较大的程序空间可嵌入实时操作系统(RTOS)等软件中,大大提高了嵌入式产品的开发效率。

国内一般把 16 位及以下的单芯片计算机称为单片机或微控制器,而把 32 位及以上的称为嵌入式处理器或嵌入式微控制器。

从单片机的发展历程可以看出,未来单片机的发展方向主要包括两个方面:

一是高性能大容量,应用于高端产品。其特征是速度快、功能强。微处理器由通用计算机中的 CPU 演变而来,保留与嵌入式应用紧密相关的软硬件资源,通常是 32/64 位处理器,配以大容量存储器及实时操作系统,具有较高的性能,当然其价格也相对较高。

二是高集成度、低功耗、低价格,应用于低端、批量及便携式产品。通常采用 8 位或 16 位 CPU,其内部资源极为丰富,除了 CPU、ROM/RAM、I/O 接口外,还把 A/D 转换器、D/A 转换器、PWM 输出、高速 I/O 部件、同步串行口(SSIO)、监视定时器、硬件看门狗、DMA 控制器、LCD 驱动器、I<sup>2</sup>C 总线、DDB 总线、USB 接口、锁相电路以及电源管理电路等一并集成在芯片内,朝着片上系统(System on Chip, SoC)的方向发展,最大限度地简化系统结构、减小功耗、提高可靠性和降低成本。

### 1.2.2 常用单片机系列简介

单片机的种类繁多,各种系列、型号层出不穷,各有其特点和优势。据调查,目前我国市场应用最多的单片机主要有 MCS-51(简称 51)及其兼容系列、AVR 系列、PIC 系列、MSP430F 系列、MCS-96/196 系列和 ARM 系列等。

#### 1. 51 及其兼容系列

Intel 公司的 80C51 系列单片机以其结构体系成熟、综合性能优异等特点,在市场上占有相当大的比例,占据了主流产品地位,致使许多单片机芯片厂商纷纷推出了与之兼容的增强型产品,它们在处理速度、存储容量、片内资源等各方面均有很大的提高。几种有代表性的 80C51 兼容机如下。

- AT89 系列: Atmel 公司较早推出融入了 Flash 存储技术的 8051 产品,弥补了掩膜 ROM 和 EPROM 技术的不足,大大方便了产品的开发。典型产品有 AT89C51/AT89C52/AT89C55 等。
- STC 系列: 宏晶科技推出的新一代增强型高性能 8051 产品,包括 STC89、STC11、STC12 和 STC15 等多个系列产品,内部集成了 8~64KB 的 Flash 程序存储器、ISP(在系统可编程)/IAP(在应用可编程)、看门狗(WDT)、MAX810 复位电路,具有 1 个 8051 时钟/机器周期、超强加密、高速、低功耗及强抗干扰等特点,在目前国内 51 系列兼容机市场占有很大的份额。
- C8051 系列: Cygnal 公司推出的高速 SoC 单片机,除了具有标准 8051 的数字外设外,还集成了数据采集和控制系统中常用的模拟部件和其他数字外设,可以用片

内 IDE 调试电路、JTAG 口和 Keil C 高级语言开发编译程序。

此外, Winbond、Philips、LG、ADI、Maxim、Cypress 等世界著名厂商也都生产了兼容 80C51 的产品, 且各有特色和优势。由于有大量技术熟练的用户群、充足的货源和技术支持, 这使得 51 系列及其兼容机占有很大的市场份额。因此, 本书以 51 及其兼容机为对象介绍单片机的工作原理、接口技术及其典型应用。

## 2. AVR 系列

Atmel 公司推出的 RISC(精简指令集计算机)结构的单片机, 其显著特点是高速、低价位、片内资源丰富、易学易用等。具有预取指令功能, 具备 1MIPS 高速运行处理能力; 快速的存取寄存器组、多累加器结构、单周期指令系统, 大大优化了目标代码的大小和执行效率。AVR 片上资源丰富, 带有 E<sup>2</sup>PROM、PWM、RTC、SPI、UART、ISP、ADC、Analog Comparator、WDT 等。简便易学, 费用低廉, 初学者只需一条 ISP 下载线, 把编辑、调试通过的程序直接在线写入单片机, 即可以开发 AVR 系列中各种封装的器件。性价比较高的型号有 atmega48、atmega8、atmega16、atmega169P 等。

## 3. PIC 系列

Microchip 公司推出的 RISC 结构的单片机, 其最大的特点是不用单纯的功能堆积, 而是开发多种系列、不同型号来满足不同层次的应用要求。对于不同需求的应用, 均能找到对应的最合适型号, 具有很高的性价比。PIC 系列 8 位 CMOS 单片机具有独特的 RISC 结构, 精简指令使其执行效率大为提高。典型产品有 PIC10、PIC12、PIC16、PIC18 等 8 位单片机, PIC24、dsPIC30、dsPIC33(dsPIC 为集成 DSP 功能)等 16 位单片机和 PIC32 等 32 位单片机。

## 4. MSP430F 系列

TI 公司推出的 RISC 结构的 16 位低电压、超低功耗单片机, 其最突出的特点是超低功耗, 有业界最佳“绿色微控制器”的美誉。以 MSP430F2xx 系列为例, 在 1.8~3.6V 的工作电压范围内性能高达 16MIPS, 功耗低至: 0.1 $\mu$ A RAM 保持模式、0.3 $\mu$ A 待机模式、0.7 $\mu$ A 实时时钟模式和 220 $\mu$ A/MIPS 的工作模式, 在 1 $\mu$ s 内超快速地从待机模式唤醒。此外, 片内包含了多种功能的模拟电路, 如硬件乘法器等, 能实现 FFT 等数字信号处理算法。该系列单片机多应用于需要电池供电的便携式仪器仪表中。

## 5. MCS-196 系列

MCS-196 系列单片机是 Intel 公司推出的 MCS-96 家族中的高档产品, 是具有极高性价比的 16 位单片机。根据型号不同, 片内集成有波形发生器、频率发生器、同步串行口、从口、事件处理器阵列(EPA)及片选单元等。80C196KC 之后的芯片中, 增加了外设事务服务器(Peripheral Transaction Server, PTS), 大大降低了中断服务的开销。

与 8 位单片机相比, MCS-196 系列单片机具有更为快捷的运算速度, 更多的外围子系统, 更高效的指令系统, 特别适用于较复杂的控制系统、伺服系统、变频调速电动机控制系统等, 还适用于一般的信号处理系统、高级智能仪器仪表及高性能的计算机外设控制器等对实时性要求较高的场合。

## 6. ARM 系列

ARM(Advanced RISC Machine)是一种通用的 32 位 RISC 高性能处理器。ARM 本质



上并不是一种芯片，而是一种芯片结构技术。ARM 公司不生产芯片，只专注于设计，靠转让技术授权给其他公司（如：Intel 公司、TI 公司、Motorola 公司、Philips 公司等）生产。ARM 内核耗电少，成本低，功能强，具有 16/32 位双指令集，配以实时操作系统，综合性能远超普通的单片机。目前，ARM 已成为手持设备、移动通信和数字多媒体产品嵌入式解决方案的标准，80% 的手机采用 ARM 芯片。

### 1.3 单片机的应用领域

由于单片机具有优越的控制性能、灵活的嵌入品质和良好的性价比，因而获得了极其广泛的应用，主要可概括为以下几个方面。

#### 1. 智能仪器仪表

单片机用于各种仪器仪表，一方面增强了仪器仪表的功能、提高了它们的精度，使仪器仪表智能化，同时还简化了仪器仪表的硬件结构；另一方面，用单片机可方便地改造原有的测量与控制仪表，如温度、湿度、压力、流量、浓度、速度、厚度、角度、硬度及电气测量仪表等，使其向微型化、数字化、智能化、多功能化和柔性化方向发展，完成仪器仪表产品的升级换代。

#### 2. 测控系统

单片机可应用于各种工业实时控制系统、自适应控制系统、数据采集系统、交流调速系统等，使系统保持在最佳工作状态，提高工作效率和产品质量。例如，温度控制、生产线自动控制、水闸自动控制、温室气候控制、电动机转速控制等。

#### 3. 电力系统

单片机在电力参数测量、继电保护、电力计量、电能/电测仪表研发、生产等行业均有十分广泛的应用。例如，电子式标准电能表、电子式测试电源、电能表校验装置、配电自动化与管理系统、无功自动补偿装置、全数字电力载波机、数字程控调度交换机等。

#### 4. 机电一体化产品

机电一体化产品是集机械技术、自动化技术、微电子技术和计算机技术为一体，具有智能化特征的机电产品。单片机与传统的机械产品结合，使传统机械产品结构简化、控制智能化，以构成新一代机电一体化产品。例如，机器人、数控机床、点钞机、自动包装机、电传打字机、传真机、复印机等。

#### 5. 智能接口

在计算机系统、功能集散系统及分布式测控系统中，常用单片机进行接口的控制与管理，单片机与主机可并行工作，大大提高了系统的运行速度。例如，在大型数据采集系统中，单片机作为前端采集模块，具有控制方便灵活、采集速度快、成本低廉等优点；在分布式测控系统中，单片机用于接口通信控制，以及构成测控子系统等。

#### 6. 医疗器械

当今，高科技的医疗器械令人眼花缭乱，从医用微型机器人、智能监护仪、医用呼叫器等微型、小型器械到 CT、MRI 等大型设备，从医疗信息管理系统中计算机与通信设备的采集处理到远程医疗的电子通信网络，无处不包含单片机的应用。