

零点
起飞

从零开始，助您快速
成为高手的全方位学习方案！

零点起飞学

51单片机

赵杰 王丽 韩龙◎编著

◆ 层次分明，由浅入深

首先介绍51单片机的结构原理及软件编程语言，然后讲述内部资源及扩展技术，最后通过综合案例实现单片机的应用系统设计

◆ 实例丰富，覆盖面广

书中的各知识点均以实例进行诠释，浅显易懂、涉及面广、实用性强

◆ 程序设计，易于掌握

采用汇编语言和C语言相对照的方式编写，关键点注释清晰易懂

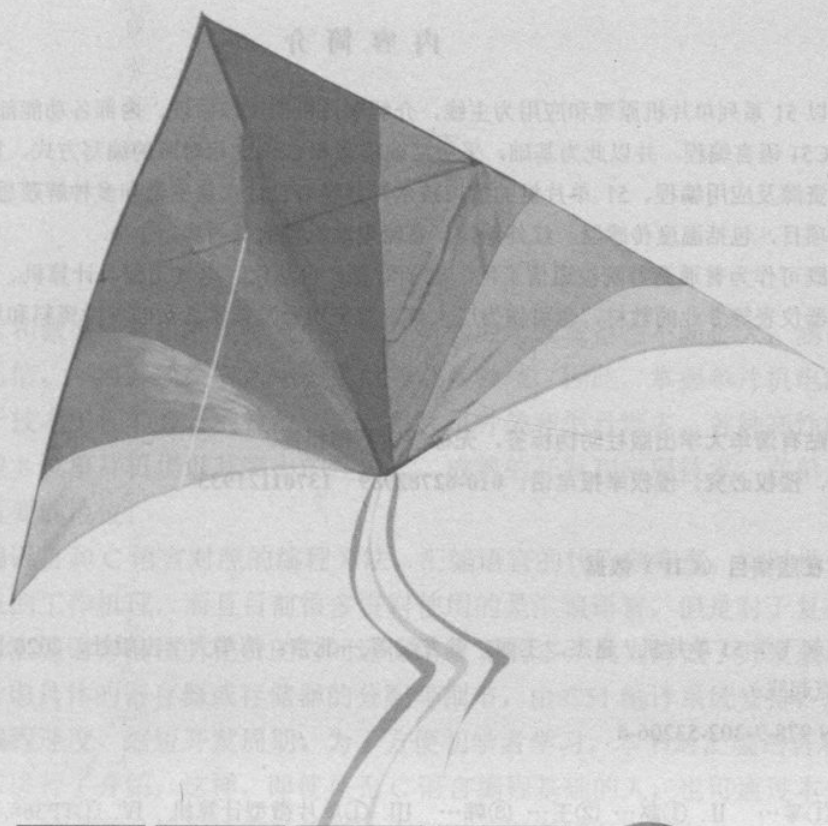
◆ 注重实践，学练结合

每章配有课后练习，学练结合理解更深刻

清华大学出版社



零点
起飞



零点起飞学

51单片机

赵杰 王丽 韩龙◎编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以 51 系列单片机原理和应用为主线,介绍单片机的工作原理、内部各功能部件的结构、汇编指令系统、C51 语言编程,并以此为基础,采用汇编语言和 C 语言相对照的编写方式,重点讲解 51 系列单片机内部资源及应用编程、51 单片机的接口技术,并精心设计大量例题和多种解题思路。精选具有代表性的真实项目,包括温度传感器、红外遥控、直流电动机控制等内容。

本书既可作为普通高等院校通信工程、电子信息、自动化、电气工程、计算机、机电一体化、测控技术和仪器仪表等专业的教材,也可作为广大单片机应用开发技术人员的参考资料和培训教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

零点起飞学 51 单片机 / 赵杰, 王丽, 韩龙编著. —北京: 清华大学出版社, 2020.1
(零点起飞)

ISBN 978-7-302-53206-4

I. ①零… II. ①赵… ②王… ③韩… III. ①单片微型计算机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 129398 号

责任编辑: 袁金敏

封面设计: 刘新新

责任校对: 梁 毅

责任印制: 宋 林

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社总机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者: 北京嘉实印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 25.25 字 数: 612 千字

版 次: 2020 年 1 月第 1 版 印 次: 2020 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 79.80 元

产品编号: 079809-01

前 言

随着电子技术和微型计算机的迅速发展，单片机的应用领域也在不断扩大，涵盖了日常生活、交通、通信、军事、航空航天电子系统等众多领域，因此，掌握单片机电路的设计技术已成为电子技术工程师必备的技能之一。单片机种类和型号繁多，各种高性能的单片机不断问世，但 8 位单片机仍以其突出的性价比、成熟的开发和应用技术，在单片机应用领域占有非常重要的地位。

本书采用汇编语言和 C 语言对照的编程方法。汇编语言的代码效率高，实时性强，从中可以理解单片机的工作机理，而且目前很多资料使用的是汇编语言。但是对于复杂的运算或大型程序，用汇编语言编程所花费的时间远比用 C 语言多，大大降低了开发效率；而 C 语言编程无须考虑具体的寄存器或存储器的分配等细节，由 C51 编译系统安排，从而可以提高开发者的编程速度，缩短开发周期。为了方便初学者学习，本书对汇编语言和 C 语言都在专门的章节进行了介绍，这样，即使是无 C 语言编程基础的人，也可通过本书掌握单片机的编程技术。对于两种编程语言的教学，教学时可根据情况进行取舍。

本书内容系统全面、结构合理，教学重点突出，叙述准确精练，可以满足教师课堂教学和学生课程学习之需要，也可以满足学生课外设计和实践活动需求。

本书包含的大量可供参考的实例，是在实际教学和应用经验中反复提炼出来的，涉及面广、实用性强。

全书由赵杰统稿，并编写第 2~7 章和第 10 章；第 9、11~13 章由王丽编写；第 1 章及第 14 章由韩龙编写。参加本书编写的还有管殿柱、宋一兵、王献红、李文秋。

目 录

第 1 章 单片机系统概述	1
1.1 微型计算机概述	1
1.2 单片机的发展历史	2
1.3 单片机的分类	4
1.4 单片机的发展趋势	4
1.5 单片机的应用	7
1.6 主流单片机产品	9
1.6.1 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机	9
1.6.2 Atmel 公司的 AVR 单片机	10
1.6.3 Microchip 公司的 PIC 单片机	11
第 2 章 单片机的硬件结构	12
2.1 单片机的内部结构	12
2.2 51 单片机的中央处理器	14
2.3 单片机的工作过程	16
2.4 51 系列单片机的引脚及功能	17
2.5 存储器结构	20
2.5.1 存储器地址分配	20
2.5.2 程序存储器	21
2.5.3 片内数据存储器	22
2.5.4 片外数据存储器	30
2.6 时钟电路和 CPU 时序	30
2.6.1 时钟电路	30
2.6.2 时序单位	31
2.6.3 典型指令时序	32
2.7 单片机的工作方式	34
2.7.1 复位方式	35
2.7.2 程序执行方式	36
2.7.3 低功耗工作模式	37
2.8 思考与练习	38
第 3 章 指令系统	39
3.1 单片机开发语言概述	39
3.2 指令格式和寻址方式	40
3.2.1 汇编语言指令格式	41
3.2.2 寻址方式	41

3.3	80C51 单片机的指令系统	46
3.3.1	数据传送指令	47
3.3.2	算术运算类指令	54
3.3.3	逻辑运算类指令	62
3.3.4	控制转移指令	66
3.3.5	位操作指令	73
3.4	伪指令	76
3.5	汇编语言程序设计	79
3.5.1	顺序程序设计	79
3.5.2	查表程序设计	80
3.5.3	分支程序设计	83
3.5.4	循环程序设计	89
3.5.5	子程序设计	92
3.6	汇编语言程序设计实例	95
3.6.1	巡回检测报警装置	95
3.6.2	单片机测温系统	95
3.6.3	码制转换	96
3.6.4	排序问题	102
3.7	思考与练习	105
第 4 章	单片机 C51 程序设计	107
4.1	C51 基础知识	107
4.2	数据类型	110
4.2.1	C 语言数据类型	110
4.2.2	常量	111
4.2.3	变量	114
4.3	运算符与表达式	122
4.3.1	赋值运算符与表达式	122
4.3.2	算术运算符与表达式	122
4.3.3	逻辑运算符与表达式	123
4.3.4	关系运算符与表达式	124
4.3.5	位运算符与表达式	125
4.3.6	逗号运算符与表达式	125
4.3.7	条件运算符	126
4.3.8	长度运算符	126
4.3.9	指针运算符	126
4.3.10	复合赋值运算符与表达式	127
4.3.11	类型转换运算符	127
4.3.12	运算符优先级和结合性	128
4.4	构造数据类型	129
4.4.1	数组	129
4.4.2	指针	135
4.4.3	结构	138
4.4.4	共用体（联合）	141
4.4.5	枚举	142

4.5	基本语句和程序流程结构	143
4.5.1	顺序语句和顺序流程结构	143
4.5.2	选择语句和选择流程结构	146
4.5.3	循环语句和循环流程结构	150
4.5.4	循环结构	156
4.6	函数	158
4.6.1	函数的分类	158
4.6.2	函数的定义	158
4.6.3	函数的参数和函数的值	160
4.6.4	函数的调用	162
4.6.5	数组作为函数的参数	165
4.7	思考与练习	165
第5章	51 单片机并行 I/O 端口	167
5.1	I/O 端口工作原理	167
5.1.1	P0 口	167
5.1.2	P1 口	169
5.1.3	P2 口	170
5.1.4	P3 口	171
5.2	端口的负载能力和接口要求	172
5.3	并行 I/O 应用举例	173
5.4	思考与练习	176
第6章	51 单片机中断系统	177
6.1	中断概念	177
6.2	中断系统结构及中断控制	178
6.2.1	中断系统结构	178
6.2.2	中断类型	178
6.2.3	中断控制	180
6.2.4	多级中断和中断嵌套	182
6.3	中断处理过程	183
6.4	中断响应时间	185
6.5	中断请求的撤销	186
6.6	中断程序的设计	187
6.6.1	汇编语言中断程序	188
6.6.2	C 语言中断程序	189
6.7	思考与练习	192
第7章	MCS-51 单片机定时器/计数器	193
7.1	定时器/计数器的结构和功能	193
7.2	定时器/计数器相关寄存器	195
7.3	定时器/计数器的工作方式	196
7.4	定时器/计数器的编程	204
7.5	思考与练习	207

第 8 章 51 单片机串行接口	208
8.1 串行通信基础	208
8.1.1 异步通信	208
8.1.2 同步通信	210
8.1.3 串行通信的传输方向	210
8.1.4 串行通信的传输速率	211
8.2 51 单片机串行口	212
8.2.1 串行口结构	212
8.2.2 串行数据缓冲寄存器 SBUF	213
8.2.3 串行口控制寄存器 SCON	213
8.2.4 电源控制寄存器 PCON	215
8.2.5 波特率的设定	216
8.3 串行口工作方式	217
8.3.1 方式 0	218
8.3.2 方式 1	219
8.3.3 方式 2	220
8.3.4 方式 3	221
8.4 串行口应用实例	221
8.4.1 串行口方式 0 应用	222
8.4.2 串行口方式 1 应用	224
8.4.3 串行口方式 2 和方式 3 应用	226
8.5 思考与练习	227
第 9 章 并行 I/O 接口的扩展	229
9.1 I/O 接口电路功能	229
9.2 简单并行 I/O 接口扩展	231
9.2.1 简单并行输入扩展	231
9.2.2 简单输出扩展	232
9.3 可编程并行接口芯片 8255	234
9.3.1 8255A 芯片介绍	234
9.3.2 8255A 的初始化编程	239
9.3.3 单片机和 8255A 的接口及程序设计	239
9.4 思考与练习	242
第 10 章 存储器的扩展	243
10.1 单片机系统总线结构	243
10.2 地址译码方法	245
10.2.1 编址方法	245
10.2.2 74LS138 (3-8 译码器)	246
10.2.3 可编程逻辑器件	249
10.3 程序存储器扩展	252
10.3.1 常用程序存储器芯片	252
10.3.2 典型的 EPROM 接口电路	255
10.4 数据存储器扩展	259
10.4.1 常用的静态 RAM (SRAM) 芯片	260

10.4.2 典型的外扩数据存储器的接口电路	262
10.5 思考与练习	264
第 11 章 输入设备	265
11.1 键盘概述	265
11.1.1 按键去抖动	265
11.1.2 键盘的分类	267
11.2 键盘与单片机的接口	270
11.2.1 独立式键盘与单片机的接口	270
11.2.2 矩阵式键盘与单片机的接口	274
11.2.3 串行口扩展键盘接口	277
11.3 思考与练习	280
第 12 章 输出设备	281
12.1 发光二极管	281
12.2 LED 接口	282
12.2.1 LED 的结构与工作原理	283
12.2.2 LED 的工作方式	284
12.2.3 LED 数码管的选择和驱动	286
12.2.4 数码管的软件译码和硬件译码	286
12.2.5 数码管应用设计	287
12.3 LCD 接口	290
12.3.1 LCD 工作原理	290
12.3.2 OCM12864 液晶显示模块	292
12.3.3 LCD 应用举例	296
12.4 8279 可编程键盘/显示器接口芯片	303
12.4.1 8279 可编程芯片简介	303
12.4.2 8279 与单片机接口应用举例	310
12.5 打印输出设备	312
12.5.1 微型打印机概述	312
12.5.2 微型打印机的应用	317
12.6 思考与练习	320
第 13 章 A/D 和 D/A 转换器	321
13.1 A/D 转换器	321
13.1.1 A/D 转换器的主要参数	321
13.1.2 逐次逼近式 A/D 转换器 ADC0809	322
13.1.3 串行 A/D 转换器 ADC0832	327
13.2 D/A 转换器	329
13.2.1 D/A 转换器原理	330
13.2.2 D/A 转换器的主要技术指标	331
13.2.3 并行 D/A 转换器 DAC0832	332
13.2.4 串行 D/A 转换器 TLV5618	339
13.3 思考与练习	342

第 14 章 应用实战案例.....	343
14.1 仿真软件.....	343
14.1.1 新建文件和项目.....	343
14.1.2 下载程序.....	344
14.2 温度传感器 DS18B20.....	345
14.2.1 单总线概述.....	345
14.2.2 单总线器件——温度传感器 DS18B20.....	345
14.2.3 应用电路设计.....	352
14.3 红外遥控.....	356
14.4 直流电动机控制.....	362
14.4.1 直流电动机工作原理及调速方法.....	362
14.4.2 PWM 调速原理.....	362
14.4.3 应用电路设计.....	363
14.4.4 软件程序设计.....	364
14.5 RS-232 与 VB 串行通信.....	369
14.5.1 VB 串行通信简介.....	369
14.5.2 应用电路设计.....	370
14.5.3 软件程序设计.....	370
14.6 语音录放控制.....	373
14.6.1 ISD2560 引脚功能.....	373
14.6.2 应用电路设计.....	375
14.6.3 软件程序设计.....	375
14.7 思考与练习.....	377
附录 A ASCII 码字符表.....	378
附录 B MCS-51 系列单片机指令一览表.....	379
附录 C C51 库函数.....	384

第 1 章 单片机系统概述

微型计算机简称微机，是以微处理器为核心，再配上存储器、I/O 接口和中断系统等构成的整体，它们可集成在一块或数块印刷电路板上，用总线连接起来，一般不包括外设和软件。其中，微处理器（Micro Processing Unit, MPU）是微型计算机的中央处理单元（Central Processing Unit, CPU），包含计算机体系结构中的运算器和控制器，是构成微型计算机的核心部件。微处理器采用超大规模集成电路技术，将中央处理器中的各功能部件集成在同一块芯片上，这也是与其他计算机的主要区别。随着超大规模集成电路技术的发展和应用，微处理器中所集成的部件越来越多，除运算器、控制器外，还有协处理器、高速缓冲存储器、接口和控制部件等。

把中央处理单元、存储器和 I/O 接口电路集成在一块或多块电路板上的微型机叫做单板机或多板微型计算机，如果集成在单个芯片上，则叫做单片微型计算机，简称单片机。单片机是微型计算机发展的一个分支，是一种专门面向控制的微处理器件，故又称之为微控制器（Micro Controller Unit, MCU）。

单板机如 Zilog 公司的 Z80，多板机如通用 PC，单片机机型种类繁多，如 51 单片机、ARM 等，不同型号的单片机芯片内部集成的各部件不尽相同。

1.1 微型计算机概述

微型计算机俗称电脑，是近代最重大科学成就之一，是人类制造的用于信息处理的机器。

1946 年 2 月 14 日，在美国宾夕法尼亚大学，众所周知的世界上第一台电子管数字计算机 ENIAC 诞生。这标志着计算机时代的到来，开创了计算机科学技术的新纪元，对人类的生产和生活方式产生了巨大的影响。

自 1946 年第一台电子计算机问世以来，计算机技术突飞猛进，电子数字计算机经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模/超大规模集成电路几个发展阶段，出现了各种档次、各种类型及各种用途的计算机。人们通常按照计算机的体积、性能和应用范围等条件，将计算机分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机等。一方面，计算机向着高速、智能化的巨型超级机方向发展，运算速度已达到万亿次每秒；另一方面，计算机则向着微型化的方向发展。

个人计算机简称 PC（Personal Computer），是微型计算机中应用最为广泛的一种，也是近年来计算机领域中发展最快的一个分支。由于 PC 的性能和价格适合个人用户购买和使用，目前，它已经广泛用于家庭和社会各个领域。随着社会的发展、科技的进步，微型计算机不断更新换代，新产品层出不穷，一个纯单片的微型计算机的体积比人的指甲还小。

随着微电子技术和应用需要,在单片机芯片内集成的外围电路及外设接口主要有定时器/计数器、串行通信控制器、A/D、D/A 转换器以及 PWM 等功能电路。单片机扩展适当的外部设备,并与软件结合,可以构成单片机控制系统。

单片机系统和常见的 PC 系统都属于计算机系统,具有相似的硬件结构和软件工作原理,能存放并且自动执行控制计算机的机器指令。

1.2 单片机的发展历史

单片机出现的历史并不长,但发展十分迅猛。它的产生与发展和微处理器的产生与发展大体同步。

1. 单片机探索阶段

探索阶段始于 1971 年,为单片机发展的初级阶段。

1971 年 1 月,Intel 公司的特德·霍夫在与日本商业通信公司合作研制台式计算机时,将原始方案的十几个芯片压缩成了 3 个集成电路芯片。其中的 2 个芯片分别用于存储程序和数据,另一个芯片集成了运算器和控制器及一些寄存器。这就是微处理器,即 Intel 4004,标志着第一代微处理器问世,微处理器和微机时代从此开始。

1971 年 11 月,Intel 推出的 MCS-4 微型计算机系统包括 4001 ROM 芯片、4002 RAM 芯片、4003 移位寄存器芯片和 4004 微处理器,其中 4004 包含 2300 个晶体管,尺寸规格为 $3\text{mm} \times 4\text{mm}$,计算性能远远超过当年的 ENIAC。1972 年 4 月,Intel 公司的霍夫等人开发出第一个 8 位微处理器 Intel 8008。由于 8008 采用的是 P 沟道 MOS 微处理器,因此仍属第一代微处理器。1973 年 8 月,霍夫等人研制出 8 位微处理器 Intel 8080,以 N 沟道 MOS 电路取代了 P 沟道,第二代微处理器就此诞生。8080 芯片主频为 2MHz,运算速度比 8008 快 10 倍,可存取 64KB 存储器,使用了基于 $6\mu\text{m}$ 技术的 6000 个晶体管,处理速度为 0.64MIPS (Million Instructions Per Second)。1974 年,美国仙童 (Fairchild) 公司推出了世界上第一台 8 位单片机 F8 (包含 8 位 CPU、64KB RAM 和 2 个并行口),外加一块 3851 芯片 (由 1KB ROM、定时器/计数器和 2 个并行 I/O 构成)。由 2 块集成电路芯片才能构成完整的单片机,因此,严格地说,这些产品只是单片机的雏形,但拉开了研制单片机的序幕。

1975 年,美国德州仪器公司 (Texas Instrument, TI) 首次推出了 4 位单片机 TMS-1000,标志着单片机正式诞生。随后,各个计算机生产公司竞相推出了自己的 4 位单片机,如美国国家半导体公司 (National Semiconductor, NS) 的 COP4XX 系列、日本电气公司 (NEC) 的 $\mu\text{PD}75\text{XX}$ 系列、美国洛克威尔公司 (Rockwell) 的 PPS/1 系列、日本东芝公司 (Toshiba) 的 TMP47XXX 系列以及日本松下公司 (Panasonic) 的 MN1400 系列等。4 位单片机主要用于家用电器、电子玩具的控制。

2. 单片机形成阶段

1976 年 9 月,美国 Intel 公司研制出了 MCS-48 系列 8 位单片机,是这个阶段的代表,是现代单片机的雏形。它采用单片结构,将 8 位 CPU、8 位并行 I/O 接口、8 位定时器/计

数器、多个并行 I/O 接口、小容量的 RAM 和 ROM 等集成于一块半导体芯片上。其寻址范围有限（不大于 4KB），由于受集成度（几千只晶体管/片）的限制，也没有串行 I/O 接口，并且 RAM、ROM 容量小，中断系统也较简单，具体有体积小、功能全、价格低等特点，功能可满足一般工业控制和智能化仪器、仪表等领域的需要。

MCS-48 系列单片机属于低档 8 位单片机，是单片机发展进程中的一个重要阶段，通常称为第一代单片机。其中，8048 和 8748 是最早期的产品。MCS-48 系列单片机还有几个产品，如 8021 和 8022 单片机，8021 是该系列中的低价型单片机，而 8022 则包含了单片机所有功能，并集成了 A/D 转换器。

从此，单片机开始迅速发展，8 位单片机应运而生，应用领域也不断扩大，成为微型计算机的重要分支，单片机的发展进入了一个新阶段。

20 世纪 70 年代后期，许多半导体公司看到单片机的巨大市场前景，纷纷加入到这一领域的开发研制中，推出了多个品种的系列。

1978 年下半年，Motorola 公司推出 M6800 系列单片机，Zilog 公司推出 Z80 系列单片机。1979 年，NEC 公司推出 μ PD78XX 系列。而这一阶段的典型产品是 1980 年 Intel 公司在 MCS-48 系列单片机基础上推出的高性能 MCS-51 系列单片机。MCS-51 系列单片机是完全按照嵌入式应用而设计的单片机，比 MCS-48 系列单片机的性能有明显提高，在片内增加了串行 I/O 接口、16 位定时器/计数器、片内 ROM 和 RAM 的存储容量都相应增大，寻址范围可达 64KB，片内 ROM 容量达 4~8KB，并且有多级中断处理功能。

20 世纪 80 年代中期以后，Intel 公司集中精力在 CPU 芯片的研制开发上，并逐渐放弃了单片机芯片的生产，故以专利或技术交换的形式把 80C51 内核技术转让给全世界许多著名 IC 制造厂商，如 Philips、NEC、Atmel、Dallas、Analog Devices、AMD、华邦等。这些公司都在保持与 80C51 单片机兼容的基础上，又进行了一些扩充，改善了 80C51 的许多特性，称为增强型、扩展型，如 52 子系列单片机。这样，80C51 就变成有众多制造厂商支持的、发展出上百个品种的大家族，习惯把兼容机等衍生产品统称为 80C51 系列。

世界上许多半导体厂家以 MCS-51 中的 80C51 为核，派生出许多新一代的 51 系列兼容单片机，具有旺盛的生命力，成为单片机应用的主流产品，功能和市场竞争力更强，而基于此的单片机系统直到现在仍在广泛使用。

世界上许多公司生产 51 系列兼容单片机，比如 Philip 公司的 8xC552 系列、华邦的 W78C51 系列、达拉斯的 DS87 系列、LG 公司（现代）的 GMS90/97 系列等。目前在我国比较流行的是美国 Atmel 公司的 AT89C5x、AT89S5x 系列。

随着工业控制领域要求的提高，开始出现了 16 位单片机，但因为性价比不理想并未得到广泛的应用。

3. 单片机完善阶段

这是当前的单片机时代，其显著特点是百花齐放、技术创新，推出了适合不同领域要求的各种单片机系列，如集成度更高的 16 位和 32 位单片机。20 世纪 90 年代之后，集成电路技术高速发展，32 位单片机应运而生，嵌入式系统因此得到大力推广。随着 Intel i960 系列特别是后来的 ARM 系列的广泛应用，32 位单片机迅速取代了 16 位单片机的高端地位，并且进入主流市场地位的 16 位单片机的性能也得到了飞速提高，处理能力比 20 世纪 80 年代提高了数百倍。代表产品有 Motorola 公司的 M68300 系列、Hitachi（日立）公司的

SH 系列等。目前,高端的 32 位单片机主频已经超过 300MHz。由于控制领域对 32 位单片机需求并不十分迫切,因此 32 位单片机应用并不是很多。

另外,专用型单片机得到了大力发展。专业单片机具有成本低、资源有效利用、系统外围电路少、可靠性高等特点,是未来单片机发展的一个重要方向。

当前的单片机系统已不再是裸机环境下的开发和使用,大量专用的嵌入式操作系统广泛应用在单片机上。作为掌上电脑和手机核心处理的高端单片机,甚至可以直接使用专用的 Windows 和 Linux 操作。

1.3 单片机的分类

单片机作为微型计算机发展的一个重要分支,其产品已超过 50 个系列、上千个品种。根据目前的发展情况,单片机可以从下面几个角度进行分类。

根据适用范围不同,单片机可以分为通用型和专用型两大类。早期的单片机大多是通用型单片机,通过不同的外围扩展来满足不同的应用对象要求。如 80C51 是通用型单片机,它不是为某种专门用途设计的。专用型单片机是针对一类产品甚至某一个产品设计生产的。在一些大批量应用的领域中,专用型单片机可以降低成本、简化系统结构、提高性能,如为了满足电子体温计的要求,在片内集成包含 ADC 接口等功能的温度测量控制电路的单片机。

根据总线结构不同,可以分为总线型和非总线型单片机。总线型单片机设置有并行地址总线、数据总线、控制总线,通过引脚可以扩展并行外围器件。例如,80C51 单片机为并行总线。另外,许多单片机已把所需要的外围器件及外设接口集成在芯片内,因此可以省去并行扩展总线,外部封装引脚较少,大大节省了封装成本和芯片体积,这类单片机为非总线型单片机,无法扩展外部并行接口器件,扩展外围器件时应选择串行扩展方式。

根据应用领域不同,单片机可以分为家电类、工控类、通信类、个人信息终端(PDA)、军工类等。一般而言,工控类单片机寻址范围大、运算能力强;用于家电类的单片机多为专用型,通常程序容量小、封装小、价格低、外围器件和外设接口集成度高。PDA 类则要求大存储容量、大屏幕 LCD 显示、极低功耗等。

根据运行位数不同,单片机可以分为 4 位、8 位、16 位和 32 位单片机等。32 位以上多称为 32 位微处理器。单片机的位数是指单片机一次能处理的数据宽度。

显然,上述分类并不是唯一的和严格的。例如,80C51 类单片机既是通用型,又是总线型,还可以用于工控。

1.4 单片机的发展趋势

当前单片机的几个重要特点已展示了单片机的发展方向。从半导体集成技术以及微电子技术的发展,也可以预见到未来单片机技术的发展趋势。

1. 大容量和高性能化

以往单片机内的 ROM 为 1~4KB, RAM 为 128~256B。但在需要复杂控制的场合,

该存储容量是不够的,必须进行外接扩展。为了适应这种领域的要求,片内存储器要大容量化。目前,单片机片内 ROM 可达 64KB,片内 RAM 可达 4KB。

为了进一步改进 CPU 的性能,加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性,采用了精简指令集(RISC)体系结构和并行流水线技术,可以大幅度提高数据处理和运行速度。还可以采用双 CPU 结构,增加数据总线宽度。现指令速度最高者已达 100MIPS,并加强了位处理功能、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比标准的单片机高出 10 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度,可以用软件模拟其 I/O 功能,由此引入了虚拟外设的新概念。

2. 微型化和高速化

集成工艺的发展和芯片集成度的提高为微型化提供了可能。随着贴片工艺的出现,单片机也大量采用了各种符合贴片工艺的封装,大大缩小了芯片的体积,为嵌入式系统提供了空间,使得由单片机构成的系统正朝微型化方向发展。

随着单片机技术的发展,单片机的工作速度越来越快。早期的 AT89S51 典型时钟为 12MHz,目前已有超过 100MHz 的 32 位单片机出现。例如,西门子的 C500 系列(与 MCS-51 兼容)的时钟为 36MHz,EMC 公司的 EM78 系列的时钟频率高达 40MHz。

3. 低功耗化

与 CHMOS 工艺相比,CMOS 工艺具有工作电压范围宽、功耗低的优点。光刻工艺提高了集成度,从而使单片机更小、成本更低、工作电压更低、功耗更小。在单片机领域,CMOS 正在逐渐取代 TTL 电路。采用双极型半导体工艺的 TTL 电路速度快,但功耗和芯片面积较大。随着技术和工艺水平的提高,出现了 HMOS(高密度、高速度 MOS)和 CHMOS 工艺。目前生产的 CHMOS 电路已达到 LSTTL 的速度,传输延迟时间小于 2ns。近年来,由于 CHMOS 技术的进步,大大地促进了单片机的 CMOS 化。这也是今后以 80C51 取代 8051 为标准 MCU 芯片的原因。现在的单片机芯片多数是采用 CMOS(金属栅氧化物)半导体工艺生产,CMOS 电路的特点是低功耗、高密度、低速度、低价格。CMOS 芯片除了具有低功耗特性之外,还具有功耗的可控性,使单片机工作在精细管理状态,即低功耗运行方式,有休闲方式(Idle)、掉电方式(Power Down)、等待状态、睡眠状态等。

CMOS 电路的功耗与电源有关,降低供电电压能大幅度减少器件功耗。扩大电源电压范围以及在较低电压下仍然能工作是当今单片机发展的目标之一。单片机的低电压技术除了不断降低单片机电源电压外,有些单片机内部还有不同的电压供给,在可以使用低电压的局部电路中采用低压供电。目前,一般单片机都可以在 3.3~5.5V 下工作,甚至有的单片机可以在 2~2.6V 下工作。MCS-51 系列的 8031 推出时的功耗达 630mW,而现在的单片机功耗普遍在 100mW 左右,有的只有几十甚至几毫瓦。

4. RISC体系结构的发展

早期的单片机大多是复杂指令集(Complex Instruction Set Computer, CISC)结构体系,即所谓的冯·诺依曼结构。采用 CISC 结构的单片机数据线和指令线分时复用,其指令丰富,功能较强,但取指令和取数据不能同时进行,速度受限,价格亦高。由于指令复杂,指令代码、周期数不统一,指令运行很难实现流水线操作,大大阻碍了运行速度的提高。

例如, MCS-51 系列单片机时钟频率为 12MHz, 单周期指令速度仅为 1MIPS。

采用精简指令 (Reduced Instruction Set Computer, RISC) 体系结构的单片机, 数据线和指令线分离, 即哈佛结构。这使得取指令和取数据可以同时进行, 由于一般指令线宽于数据线, 使其指令较同类 CISC 单片机指令包含更多的处理信息, 执行效率更高, 速度更快。

Intel 的 8051 系列、Motorola 的 M68HC 系列、Atmel 的 AT89 系列、荷兰 NXP(原 Philips) 公司的 PCF80C51 系列等单片机多采用 CISC 结构; Microchip 公司的 PIC 系列、Zilog 公司的 Z86 系列、Atmel 的 AT90S 系列、韩国三星公司的 KS57C 系列的 4 位单片机等多采用 RISC 结构。

5. ISP 及基于 ISP 的开发环境

程序存储器主要有片内掩膜 ROM、片内 EPROM 以及 ROM Less 几种形式。掩膜 ROM 用户不能更改存储内容; EPROM 型芯片成本高; ROM Less 型单片机片中无 ROM, 需片外有 EPROM, 系统电路结构复杂。

现在, 很多单片机的存储器采用 Flash ROM 和 Flash RAM, 可以在线电擦写, 断电后数据不丢失, 并且程序保密化。

Flash ROM 的发展和片内 E²EPROM 单片机的出现, 推动了在系统可编程 (In System Program, ISP) 技术的发展。在 ISP 技术基础上, 首先实现了目标程序的串行下载, 促使模拟仿真开发方式的兴起; 在单时钟、单指令周期运行的 RISC 结构单片机中, 可实现 PC 通过串行电缆对目标系统的仿真调试。基于上述仿真技术, 使远程调试以及对原有系统方便地更新软件、修改软件和对软件进行远程诊断成为现实。

6. 软件嵌入

目前, 大多数单片机只提供了程序空间, 没有任何驻机软件。目标系统中的所有软件都是系统开发人员开发的应用系统。随着单片机程序空间的扩大, 会有许多空余空间, 可在这些空间上嵌入一些工具软件, 提高产品开发效率和单片机性能。单片机中嵌入软件的类型主要有: 实时多任务操作系统 (Real Time Operating System, RTOS), 在 RTOS 支持下, 可实现按任务分配, 规范化设计应用程序; 平台软件, 可将通用子程序及函数库嵌入, 以供应用程序调用; 虚拟外设软件包, 用于构成软件模拟外围电路的软件包, 可用来设定虚拟外围功能电路; 用于系统诊断、管理的软件等。

7. 串行扩展技术

在很长一段时间里, 通用型单片机通过三总线结构扩展外围器件成为单片机应用的主流结构。目前, 外围器件接口技术发展的一个重要方面是串行接口的发展。推行串行扩展总线可以显著减少引脚数量, 简化系统结构。在采用 Flash ROM 时无须扩展外部并行 EPROM, 使得单片机的并行接口技术日渐衰弱。随着外围器件串行接口的发展, 单片机串行扩展接口 (如移位寄存器接口、SPI、I²C、Microwire、1-Wire 等) 设置普遍化、高速化。Philip 公司开发的新型总线结构-I²C (Inter-ICbus) 总线用 3 条数据线代替并行数据总线, 从而大大减少了单片机引脚, 降低了成本。目前, 许多原来带有并行总线的单片机系列, 推出了许多删除并行总线的非总线单片机。

8. 集成化

单片机内部集成的部件越来越多,即外围电路内装化。随着集成度的不断提高,有可能把众多外围部件集成在单片机内部。除了一般必须具有的 CPU、ROM、RAM、定时器/计数器等以外,片内集成的部件还有 ADC、DAC、DMA 控制器、声音发生器、电压比较器、看门狗、电源电压监控电路、LCD 控制器以及多种类型的串行通信接口等。如 NS 公司把语音、图像部件集成到单片机中,Infineon 公司的 C167CS-32FM 单片机内集成有 2 个局部网络控制模块 CAN。有的单片机为了构成网络或形成局部网,内部还集成有局部网络控制器模块,甚至将网络协议固化在其内部。目前,将单片机嵌入式系统和 Internet 连接是一种明显的发展趋势。

9. I/O接口功能增强

增强并行口的驱动能力,以减少外部驱动电路,有的单片机可以直接输出大电流和高电压,以便能直接驱动发光二极管(Light Emitting Diode, LED)和荧光显示器(Vacuum Fluorescent Display, VFD)。增加 I/O 接口的逻辑控制功能,大部分单片机的 I/O 都能进行逻辑操作,中、高档单片机的位处理系统能够对 I/O 接口进行位寻址和位操作,大大地加强了 I/O 口线控制的灵活性。有些单片机设置了一些特殊的串行接口功能,为构成分布式、网络化系统提供了便利条件。

10. 电磁兼容性

为提高单片机的抗电磁干扰能力,使产品能适应恶劣的工作环境,满足电磁兼容性高标准的要求,各厂家在单片机内部采用了新的技术措施,在输入引脚增加了施密特触发器和噪声滤波电路。适当增大输出信号边沿过渡时间,减少芯片本身的电磁辐射量,如 P89LPC932、P87LPC76X、P89C6XX2 系列的电磁辐射很小。

1.5 单片机的应用

单片机是世界上数量最多的计算机,具有体积小、控制功能强、功耗低、环境适应能力强、扩展灵活、使用方便、技术成熟、易于产品化等特点,已渗透到我们生活的各个领域,几乎很难找到没有单片机踪迹的领域。从导弹的导航装置、飞机上各种仪表的控制、自动控制领域的机器人、计算机的网络通信与数据传输、工业自动化过程的实时控制和数据处理到广泛使用的各种智能 IC 卡、民用豪华轿车的安全保障系统等,这些都离不开单片机。

1. 仪器仪表

单片机构成的智能仪器仪表集测量、处理、控制功能于一体,具有各种智能化功能,如存储、数据处理、查找、判断、联网和语音等功能。通过单片机软件编程技术,使长期以来测量仪表中的误差修正、线性化处理等难题迎刃而解。结合不同类型的传感器,可实现诸如电压、电流、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、