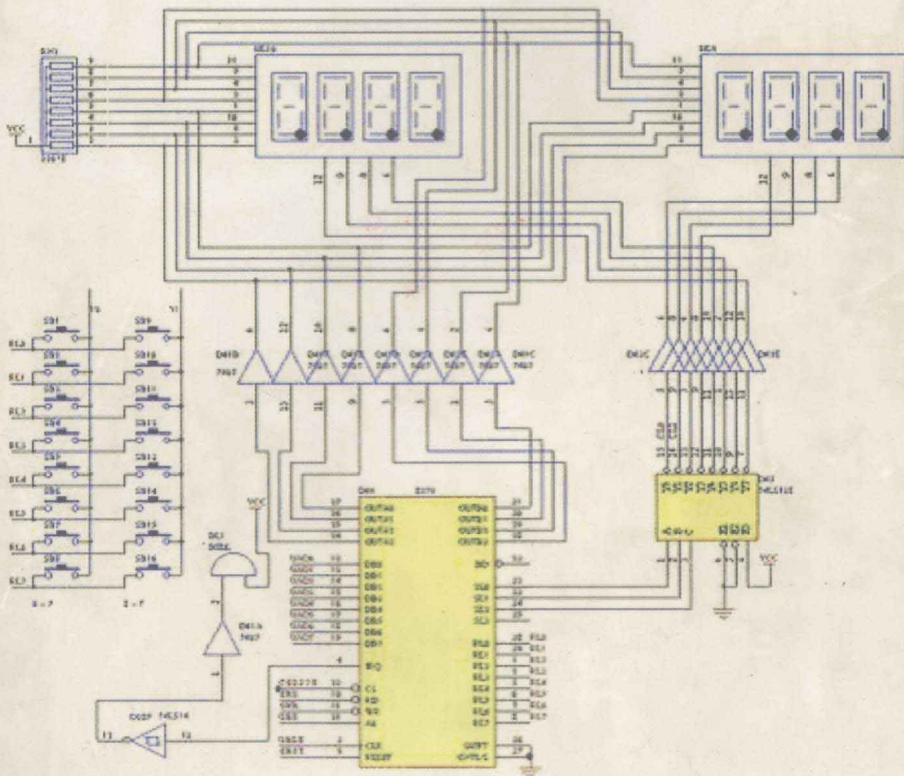


# 基于 C51 语言编程的

# MCS-51 单片机实用教程

刘文涛 周辉 龚健 编著



# 基于 C51 语言编程的 MCS-51 单片机实用教程

刘文涛 周辉 龚健 编著

原子能出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

基于 C51 语言编程的 MCS-51 单片机实用教程/刘文涛, 周辉, 龚健编著. —北京: 原子能出版社, 2004. 7

ISBN 7-5022-3199-4

I. 基... II. ①刘... ②周... ③龚... III. 单片微型计算机, MCS-51—教材 IV. TP368.1  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 068184 号

## 内 容 简 介

本书是一本基于 C51 语言编程的、介绍 MCS-51 单片机基本原理以及应用的教程。本书详细地介绍了 MCS-51 系列单片机的硬件结构, 指令系统及采用 C51 编程的方法, 内部功能及接口, 系统外部功能的扩展, 单片机系统开发及应用实例, 最后介绍了串行总线以及开发单片机不可缺少的电源技术。

书中通过大量的例题和由浅入深的单片机应用实例, 引导读者逐步了解和掌握 MCS-51 系列单片机的开发, 在本书的最后给出了单片机的上机实验指导。

本书思路清晰, 概念准确, 层次结构分明, 注重知识的内在联系与规律, 可作为高校非自动化专业的单片机课程教材, 也可作为广大开发单片机的专业人员以及爱好者的入门指导。

## 基于 C51 语言编程的 MCS-51 单片机实用教程

---

出版发行 原子能出版社 (北京市海淀区阜成路 43 号 100037)

责任编辑 刘朔

印 刷 北京天竺颖华印刷厂

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

字 数 505 千字

印 张 24

版 次 2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5022-3199-4/TP·3

定 价 35.00 元

---

版权所有 侵权必究

# 前 言

目前，单片机技术在各个领域正得到越来越广泛的应用，世界上许多集成电路生产厂家相继推出了各种类型的单片机。在单片机家族的众多成员中，MCS-51 系列单片机以其优越的性能、成熟的技术、高可靠性和高性价比，成为国内单片机应用领域中的主流。与其配套的 MCS-51 系列单片机的各类开发系统、各类软件也越来越完善，可以极方便地利用现有资源，开发出用于不同目的的各类应用系统。尤其是当 Keil C51 出现后，使得开发 MCS-51 系列单片机变得更加容易。

Keil C51 交叉编译器是一个基于 ANSI C 标准的针对 8051 系列 MCU 的 C 编译器，生成的可执行代码快速、紧凑，在运行效率和速度上可以和汇编程序得到的代码相媲美。

本书重点讲述基于 C51 语言开发的 MCS-51 系列单片机系统，包括 MCS-51 系列单片机的结构和指令系统、中断系统、定时器、串行口以及单片机系统设计中必不可少的键盘、显示器和打印机接口等，同时详尽地讨论了与单片机系统设计相关的传感器技术、A/D 转换技术、D/A 转换技术。

现代社会离不开网络，因此单片机中串行通信的地位越来越重要，本书在第 7 章串行口中特别对单片机与单片机之间的单机、多机通信，单片机与 PC 机之间的单机通信、多机通信做了详细的论述。

在本书的最后部分，提供了上机实验指导。单片机是实际操作性很强的学科，因此，进行必要的实验才能很好地了解和掌握单片机系统知识

本书的编者都是单片机技术开发、研究和教学工作的专家、学者，他们根据在单片机应用开发第一线所积累的实际经验编写了本书，使本书具有资料全面、结构严谨、实例众多、通俗易懂等特点。本书可作为高校非自动化专业的单片机课程教材，也可作为广大开发单片机的专业人员以及爱好者的入门指导。

编者

2004 年 6 月 18 日

# 目 录

<b>第 1 章 MCS-51 单片机概述</b> .....	1
1.1 单片机发展历史.....	1
1.2 MCS-51 系列单片机.....	2
1.3 单片机应用系统的硬件设计.....	3
1.4 应用系统的软件设计.....	3
1.5 单片机最新进展.....	4
1.5.1 数字单片机的技术发展.....	5
1.5.2 以单片机为核心的嵌入式系统.....	6
1.5.3 单片机应用的可靠性技术发展.....	7
<b>第 2 章 硬件结构和指令系统</b> .....	9
2.1 MCS-51 功能.....	9
2.2 管脚概述.....	10
2.3 I/O (输入/输出) 端口结构.....	12
2.3.1 P0 口.....	13
2.3.2 P1 口.....	14
2.3.3 P2 口.....	15
2.3.4 P3 口.....	15
2.3.5 端口的负载能力和接口要求.....	17
2.4 8051 存储器配置.....	17
2.4.1 程序存储器地址空间.....	18
2.4.2 数据存储器地址空间.....	19
2.4.3 PSW.....	24
2.5 复位.....	25
2.5.1 复位信号和复位状态.....	25
2.5.2 常用的几种复位电路.....	26
2.6 MCS-51 单片机工作时序.....	26
2.6.1 片内振荡器及时钟信号的产生.....	26
2.6.2 机器周期和指令周期.....	27
2.6.3 CPU 取指令、执行指令周期时序.....	28
2.6.4 访问片外 ROM 的操作时序.....	29
2.6.5 访问片外 RAM 的操作时序.....	29
2.7 MCS-51 指令系统.....	31
2.7.1 指令系统综述.....	31
2.7.2 寻址方式.....	32
2.7.3 数据传送类指令.....	33
2.7.4 算术运算类指令.....	35

2.7.5 逻辑操作类指令 .....	38
2.7.6 控制转移类指令 .....	40
2.7.7 布尔操作类指令 .....	43
<b>第3章 C51 程序设计 .....</b>	<b>45</b>
3.1 C51 程序设计基础 .....	45
3.1.1 C51 的标识符 .....	45
3.1.2 C51 的关键字 .....	45
3.1.3 变量与常量 .....	48
3.1.4 数据类型 .....	49
3.1.5 变量的作用域 .....	53
3.1.6 const 修饰符 .....	56
3.1.7 C51 的分隔符 .....	57
3.1.8 运算符 .....	58
3.1.9 表达式 .....	65
3.2 C51 语句 .....	68
3.2.1 说明语句 .....	69
3.2.2 表达式语句 .....	69
3.2.3 复合语句 .....	69
3.2.4 条件语句 .....	70
3.2.5 开关与跳转语句 .....	73
3.2.6 循环语句 .....	76
3.2.7 函数调用语句 .....	80
3.2.8 空语句 .....	81
3.2.9 C51 语句的流程与控制 .....	81
3.3 C51 函数 .....	84
3.3.1 函数的定义 .....	84
3.3.2 函数的调用和返回 .....	85
3.3.3 函数作用范围 .....	90
3.3.4 函数的变量作用域 .....	90
3.3.5 main 函数 .....	90
3.4 C51 数据结构 .....	92
3.4.1 C51 结构 .....	92
3.4.2 数组 .....	95
3.4.3 联合与枚举 .....	101
3.4.4 类型说明 .....	103
3.4.5 指针 .....	104
3.5 预处理 .....	114
3.5.1 文件包含指令 .....	114
3.5.2 宏定义 .....	115

3.5.3 预处理指令 .....	116
3.5.4 C51 头文件 .....	120
<b>第 4 章 最小应用系统设计 .....</b>	<b>123</b>
4.1 AT89C51 单片机性能介绍 .....	123
4.2 MCS-51 最小应用系统设计 .....	126
4.3 C51 应用开发初步 .....	126
4.3.1 延时程序 .....	127
4.3.2 P1I/O 口的声明 .....	127
4.3.3 控制 LED 指示灯的源程序 .....	129
<b>第 5 章 中断系统 .....</b>	<b>131</b>
5.1 中断的概念 .....	131
5.2 8051 中断控制 .....	133
5.2.1 中断控制寄存器 .....	134
5.2.2 中断响应过程及响应时间 .....	137
5.3 C51 中断函数 .....	138
5.3.1 中断函数的定义 .....	138
5.3.2 内部中断函数的使用 .....	139
5.3.3 外部中断函数的使用 .....	140
5.3.4 扩展外部中断函数的使用 .....	141
5.3.5 使用中断函数要注意的问题 .....	142
<b>第 6 章 定时器/计数器 .....</b>	<b>144</b>
6.1 定时器/计数器简介 .....	144
6.2 定时器/计数器的设置 .....	145
6.2.1 工作模式寄存器 TMOD(89H) .....	145
6.2.2 控制寄存器 TCON(88H) .....	146
6.3 定时器/计数器的四种工作模式 .....	147
6.3.1 模式 0 .....	147
6.3.2 模式 1 .....	148
6.3.3 模式 2 .....	148
6.3.4 模式 3 .....	149
6.4 定时器/计数器的编程和应用 .....	150
6.4.1 模式 0 的应用 .....	150
6.4.2 模式 1 的应用 .....	151
6.4.3 模式 2 的应用 .....	152
6.4.4 模式 3 的应用 .....	152
6.4.5 运行中读定时器/计数器 .....	152
6.4.6 门控制位 GATE 的功能和使用方法 .....	153
6.5 定时器应用综合实例 .....	153
6.5.1 简介 .....	154

6.5.2 工作原理 .....	154
6.5.3 电路原理图 .....	154
6.5.4 程序 .....	155
<b>第7章 串行口 .....</b>	<b>162</b>
7.1 概述 .....	162
7.1.1 并行和串行 .....	162
7.1.2 串行通信的方式 .....	163
7.1.3 同步通信和异步通信 .....	163
7.1.4 波特率(Baud rate) .....	164
7.2 8051 串行口 .....	164
7.2.1 结构 .....	165
7.2.2 串行口控制寄存器 .....	165
7.2.3 串行通信工作方式 .....	167
7.2.4 波特率设计 .....	169
7.3 单片机双机通信技术 .....	171
7.3.1 中断方式双机通信软件设计 .....	172
7.3.2 通信软件的调试及故障排除 .....	173
7.4 单片机多机通信技术 .....	174
7.4.1 多机通信接口设计 .....	174
7.4.2 多机通信原理 .....	174
7.4.3 多机通信的软件协议 .....	175
7.4.4 主机、从机构成中断方式的多机通信软件实例 .....	176
7.5 PC 机与单片机的通信技术 .....	177
<b>第8章 人机交互设计 .....</b>	<b>203</b>
8.1 I/O 口的使用 .....	203
8.1.1 I/O 口的直接输入/输出 .....	203
8.1.2 开关电路及驱动电路接口 .....	208
8.2 键盘接口技术 .....	211
8.2.1 矩阵键盘工作原理 .....	213
8.2.2 按键的识别方法 .....	213
8.2.3 键盘的编码 .....	215
8.3 显示器接口技术 .....	215
8.3.1 LED 显示器接口技术 .....	215
8.3.2 显示器结构原理 .....	215
8.3.3 LED 显示器接口及显示方式 .....	216
8.3.4 16×2 字符液晶显示(LCD)程序 .....	218
<b>第9章 A/D 与 D/A 转换 .....</b>	<b>222</b>
9.1 传感器 .....	222
9.2 A/D 与 D/A 转换技术 .....	223



9.2.1 D/A 转换.....	223
9.2.2 A/D 转换器接口技术.....	230
9.3 MCS51 系列单片机 AD $\mu$ C812.....	234
9.3.1 AD $\mu$ C812 工作原理.....	234
9.3.2 控制 ADC 工作的特殊功能寄存器.....	236
9.3.3 ADC 的工作模式.....	237
<b>第 10 章 MCS-51 单片机系统的扩展.....</b>	<b>240</b>
10.1 外部 I/O 的扩展.....	240
10.1.1 I/O 口扩展概述.....	240
10.1.2 I/O 地址译码技术.....	240
10.2 扩展程序存储器.....	242
10.2.1 扩展总线.....	243
10.2.2 扩展 8K 字节 EPROM.....	243
10.2.3 扩展 16K 字节 EPROM.....	245
10.3 扩展数据存储器.....	245
10.3.1 扩展总线.....	246
10.3.2 8051 扩展 2K 字节 RAM.....	246
10.4 程序存储器与数据存储器同时扩展.....	247
10.4.1 8051 外扩 32K EPROM 和 32K RAM.....	247
10.4.2 译码法扩展大容量存储器.....	247
10.5 采用 8279 扩展键盘与显示接口.....	249
10.5.1 8279 可编程键盘/显示器接口芯片.....	249
10.5.2 8279 基本启动程序.....	252
10.6 采用芯片 8255 进行扩展.....	254
10.6.1 8255 管脚功能.....	254
10.6.2 8255 三种工作方式.....	255
10.6.3 8255 与 8051 单片机的连接.....	256
10.6.4 8255 扩展实例.....	256
10.7 8051 存储结构.....	257
10.7.1 8051 存储单元.....	257
10.7.2 数据类型.....	259
10.7.3 存储器类型.....	260
10.7.4 存储器模式.....	263
<b>第 11 章 单片机实用技术.....</b>	<b>264</b>
11.1 I <sup>2</sup> C 总线.....	264
11.1.1 I <sup>2</sup> C 总线特点.....	264
11.1.2 I <sup>2</sup> C 总线工作原理.....	264
11.1.3 总线基本操作.....	265
11.1.4 实例: X24C04 与 MCS-51 单片机软硬件的实现.....	266

11.1.5 实例程序.....	267
11.2 电源设计要注意的问题.....	269
11.3 抗干扰设计.....	274
11.3.1 硬件考虑.....	274
11.3.2 软件考虑.....	277
<b>第 12 章 C51 编译方法.....</b>	<b>281</b>
12.1 Keil 的编译环境 $\mu$ Vision2.....	282
12.1.1 $\mu$ Vision2 窗口与菜单.....	283
12.1.2 编译检查工具 PC-Lint.....	293
12.1.3 开发工具选项.....	294
12.1.4 调试工具选项.....	300
12.2 Keil C51 编译器的控制指令.....	301
12.2.1 源文件控制类.....	301
12.2.2 目标文件(Object)控制类.....	301
12.2.3 列表文件(listing)控制类.....	301
12.3 编译过程.....	302
12.3.1 A51 宏汇编器.....	303
12.3.2 映像文件.....	305
12.3.3 LIB51 库管理器.....	305
12.3.4 OC51 分段目标文件转换器.....	306
12.3.5 OH51 目标代码到 HEX 文件的转换器.....	306
12.4 代码优化.....	306
12.4.1 代码优化.....	306
12.4.2 对 8051 的特殊优化.....	306
12.4.3 代码生成选项.....	307
12.5 混合编译.....	307
12.5.1 项目目标和文件组.....	307
12.5.2 浏览项目窗口中的文件和文件组的属性.....	308
12.5.3 用户上电初始化程序 STARTUP.A51 简介.....	309
12.5.4 与汇编语言的接口.....	312
12.5.5 和 PL/M-51 的接口.....	319
12.6 $\mu$ Vision2 其他功能.....	319
12.6.1 多个文件中查找.....	320
12.6.2 资源浏览器.....	320
12.7 出错信息.....	321
<b>第 13 章 上机实验指导.....</b>	<b>322</b>
13.1 实验 1 ——用 C51 编写简单程序.....	322
13.1.1 实验要求.....	322
13.1.2 实验目的.....	322

13.1.3 部分参考程序 .....	322
13.2 实验2 —— 中断实验 .....	322
13.2.1 实验要求 .....	322
13.2.2 实验目的 .....	323
13.2.3 实验电路及连线 .....	323
13.2.4 实验说明 .....	323
13.2.5 实验程序框图 .....	324
13.2.6 部分源程序 .....	324
13.3 实验3 —— 定时器实验 .....	325
13.3.1 实验要求 .....	325
13.3.2 实验目的 .....	325
13.3.3 实验电路及连线 .....	325
13.3.4 实验说明 .....	326
13.3.5 实验程序框图 .....	326
13.3.6 部分代码 .....	326
13.4 实验4 —— 计数器实验 .....	327
13.4.1 实验要求 .....	327
13.4.2 实验目的 .....	327
13.4.3 实验电路及连线 .....	327
13.4.4 实验说明 .....	327
13.4.5 实验程序框图 .....	328
13.4.6 部分实验程序 .....	329
13.5 实验5 —— 单片机串行口实验 .....	329
13.5.1 实验要求 .....	329
13.5.2 实验目的 .....	329
13.5.3 实验电路及连线 .....	329
13.5.4 实验说明 .....	329
13.6 实验6 —— P1 口控制直流电机实验 .....	330
13.6.1 实验要求 .....	330
13.6.2 实验目的 .....	330
13.6.3 实验电路及连线 .....	330
13.6.4 实验说明 .....	331
13.6.5 实验程序框图 .....	331
13.7 实验7 —— LCD 显示实验 .....	332
13.7.1 实验要求 .....	332
13.7.2 实验目的 .....	332
13.7.3 实验电路及连线 .....	332
13.7.4 实验说明 .....	332
13.7.5 实验程序框图 .....	333

13.7.6 实验程序 .....	333
13.8 实验8—— A/D 转换实验 .....	337
13.8.1 实验要求 .....	337
13.8.2 实验目的 .....	337
13.8.3 实验电路及连线 .....	337
13.8.4 实验说明 .....	338
13.8.5 实验程序框图 .....	338
13.9 实验9 ——D/A 转换实验 .....	339
13.9.1 实验要求 .....	339
13.9.2 实验目的 .....	339
13.9.3 实验电路及连线 .....	339
13.9.4 实验说明 .....	340
13.9.5 实验程序框图 .....	340
13.10 实验10—— 扩展存储器读写实验 .....	341
13.10.1 实验要求 .....	341
13.10.2 实验目的 .....	341
13.10.3 实验电路及连线 .....	341
13.10.4 实验说明 .....	341
13.10.5 实验程序框图 .....	342
<b>附录 A 致命错误信息 .....</b>	<b>343</b>
<b>附录 B 语法和语义错误信息 .....</b>	<b>346</b>
<b>附录 C 警告信息 .....</b>	<b>361</b>
<b>附录 D MCS-51 汇编指令集 .....</b>	<b>365</b>
<b>附录 E C51 库函数 .....</b>	<b>369</b>

# 第 1 章 MCS-51 单片机概述

## 1.1 单片机发展历史

单片机的全称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)，它是把组成微型计算机的各功能部件，如中央处理器 CPU、随机存取存储器 RAM、只读存储器 ROM、I/O 接口电路、定时/计数器，以及串行通信接口等部件制作在一块集成芯片中，构成一个完整的微型计算机。

随着技术的发展，现在已经出现很多型号的单片机。例如：

- 采用双 CPU 结构以提高处理能力的 R65C29；
- 增加数据总线宽度的  $\mu$  PD-7800，内部采用 16 位数据总线；
- 采用流水线结构的 SM-812；
- 串行总线结构的 SCC84C4；
- 浮点运算能力非常强的数字信号处理器；
- 其他专项处理能力的单片机。

单片机出现的历史并不长，它的产生与发展和微处理器的产生与发展大体上同步，也经历了以下四个阶段。

第一阶段是 1971-1974 年。1971 年 11 月，美国 Intel 公司首先设计成集成度为 2 000 只晶体管/片的 4 位微处理器 Intel 4004，并且配有随机存取存储器 RAM，只读存储器 ROM 和移位寄存器等芯片，构成第一台 MCS-4 微型计算机。1972 年 4 月，Intel 又研制成了功能较强的 8 位微处理器 Intel 8008，在此期间 Fairchild 公司研制成 F8 微处理器。这些微处理器虽说还不是单片机，但从此拉开了研制单片机的序幕。

第二阶段是 1974-1978 年，初级单片机阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。这个系列的单片机内集成有 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时器/计数器，寻址范围不大于 4K，且无串行口。

第三阶段是 1978-1983 年，高性能单片机阶段。在这一阶段推出的单片机普遍带有串行口，有多级中断处理系统、16 位定时器/计数器，片内 RAM、ROM 容量加大，且寻址范围可达 64K 字节，有的片内还带有 A/D 转换器接口。这类单片机有 Intel 公司的 MCS-51，Motorola 公司的 6801 和 Zilog 公司的 Z8 等。由于这类单片机的应用领域极其广泛，各公司正大力改进其结构与性能。所以，这个系列的各类产品是目前国内外产品的主流。其中 MCS-51 系列产品，由于其优良的性价比，特别适合我国的国情。

第四阶段是 1983 年至今，8 位单片机巩固发展及 16 位单片机推出阶段。此阶段一方面发展 16 位单片机及专用单片机；另一方面不断完善高档 8 位单片机，改善其结构，以满足不同的用户需要。

目前，单片机已发展到许多行业中，单片机是智能化的基础，哪里有智能化的东西，哪里就有单片机的应用。如在航天、军事、消防、民用家电、工业控制、农业、办公领域等都能看到单片机应用的实例。按应用分类，单片机的应用主要在以下方面。

#### (1) 测控系统

用单片机可以构成各种工业控制系统、自适应控制系统、数据采集系统等。例如，温室人工气候控制、水闸自动控制、电镀生产线自动控制、汽轮机调节系统、车辆检测系统、机器人轴处理器等。

#### (2) 智能仪表

用单片机改造原有的测量、控制仪表，能促进仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化、柔性化发展。如温度、压力、流量、浓度显示、控制仪表等。通过采用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。

#### (3) 机电一体化产品

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，构成新一代的机、电一体化产品。例如，在电传打字机的设计中由于采用了单片机，取代了近千个机构部件；在数控机床的简易控制机中，采用单片机可提高可靠性及增强功能，降低控制机成本。

#### (4) 智能接口

计算机系统，特别是较大型的工业测控系统中，如果用单片机进行接口的控制管理，单片机与主机可并行工作，可以大大提高系统的运行速度。例如，在大型数据采集系统中，用单片机对模/数转换接口进行控制不仅可提高采集速度，还可对数据进行预处理，如数字滤波、线性化处理、误差修正等。

## 1.2 MCS-51 系列单片机

MCS-51 是 Intel 公司与 1980 年最先推出一种 8 位单片机系列的名称。属于这一系列的单片机芯片有许多种，如 8051、8031、8751、AT89C51 等，它们的基本组成、基本性能和指令系统都是相同的。为了叙述方便，今后如不作说明，则常用 8051 代表 51 系列单片机。

目前，MCS-51 系列单片机有很多种产品，生产的公司也发展包括 Philips 和 Analog 等许多家。而最常用的 MCS-51 系列单片机是 8051 和 AT89C51 等。

AT89C51 具有片内 EEPROM，是真正的单片机，由于不需要外接 EPROM，所以应用非常普遍。

8051 (8031) 片内没有 EPROM，但它在市场上价格很低，所以用得也非常广泛，目前开发 MCS-51 的产品绝大多数用 8051 (8031) 和 AT89C51。

## 1.3 单片机应用系统的硬件设计

单片机应用系统是指以单片机为核心，由硬件部分和软件部分组成，配以一定的外围电路和软件，能实现某几种功能的应用系统。硬件是系统的基础，软件则是在硬件的基础上对其合理的调配和使用，从而完成应用系统所要完成的任务。一般来讲，应用系统所要完成的任务不同，相应的硬件配置和软件配置也就不同。因此，单片机应用系统的设计应包括硬件设计和软件设计两大部分。

一个单片机应用系统的硬件设计包括两大部分内容：一是单片机系统的扩展部分设计，它包括存储器扩展和接口扩展。存储器的扩展指 EPROM、EEPROM 和 RAM 的扩展，接口扩展是指 8255、8155、8279 以及其他功能器件的扩展。二是各功能模块的设计。如信号测量功能模块、信号控制功能模块、人机对话功能模块、通信功能模块等，根据系统功能要求配置相应的 A/D、D/A、键盘、显示器、打印机等外围设备。

在进行应用系统的硬件设计时，首要问题是确定电路的总体方案，并需进行详细的技术论证。所谓硬件电路的总体设计，即是为实现该项目全部基本功能所需要的所有硬件的电气连线原理图。初次接触这方面工作的设计人员，往往急于求成而在设计总体方案上不愿花更多的时间，过于急促地开始制版和调试。这种方法不仅不妥当，而且往往是得不偿失。因为就硬件系统来讲，电路的各部分都是紧密相关、互相协调的，任何一部分电路考虑不充分，都会给其他部分带来难以预料的影响，轻则使系统整体结构受破坏，重则导致硬件总体大返工，由此造成的后果是可想而知的。所以，我们希望设计者不要吝啬在总体方案上所花的时间。从时间上看，硬件设计的绝大部分工作量往往在最初方案的设计阶段，一个好的设计方案往往会有事半功倍的效果。一旦总体方案确定下来，下一步的工作就会很顺利进行，即使需要作部分修改，也只是在此基础上进行一些完善工作，而不会造成整体返工。

在硬件设计的过程中要用到 PROTEL 等印制板辅助设计软件，先用 PROTEL 将硬件连线原理图画好，然后再用 PROTEL 将原理图转换为印制板图即 PCB 图，检查无误后将 PCB 图交给印制板生产厂家，印制板生产好后，将元器件焊接到印制板上就完成了硬件系统的设计。在硬件系统设计过程中，一定要仔细检查原理图是否正确，生产厂家提供的印制板是否合格。

## 1.4 应用系统的软件设计

在进行应用系统的总体设计时，软件设计和硬件设计应统一考虑，结合进行。当系统电路设计定型后，软件的任务也就明确了。

系统中的应用软件是根据系统功能要求设计的。一般地讲，软件的功能可分为两大类：一类是执行软件，它能完成各种实质性的功能，如测量、计算、显示、打印、输出控制等；另一类是监控软件，它专门用来协调各执行模块和操作者的关系。

一个单片机应用系统经过总体设计、硬件设计、软件设计、制板、元器件安装后，在系统的程序存储器中放入编制好的应用程序，系统即可运行。但一次性成功几乎是不可能的，多少会出现一些硬件、软件上的错误，这就需要通过调试来发现错误并加以改正。由于单片机在执行程序时人工是无法控制的，为了能调试程序，检查硬件、软件运行状态，就必须借助某种开发工具模拟用户实际的单片机，并且能随时观察运行的中间过程而不改变运行中的数据性能和结果，从而进行模仿现场的真实调试。完成这一仿真工作的开发工具就是单片机仿真器。

单片机仿真器必须具有以下基本功能。

- (1) 能输入和修改用户的应用程序；
- (2) 能对用户系统硬件电路进行检查与诊断；
- (3) 能将用户源程序编译成目标码并固化到 EPROM 中去；
- (4) 能以单步、断点、连续方式运行用户程序，正确反映用户程序执行的中间结果。

对于一个完善的仿真系统，为了方便用户调试，提高产品的开发效率，还应具备以下特点。

- (1) 不占用用户单片机的任何资源，包括 8031 内部 RAM、特殊功能寄存器、I/O 口、串行口及中断源等；
- (2) 能提供给用户足够的仿真 RAM 空间作为用户的程序存储器(最好是从零地址开始)，并提供用户足够的 RAM 空间作为用户的数据存储器作用；
- (3) 可以单步、断点、全速断点、连续方式运行仿真 ROM 或样机 EPROM 内的用户程序；
- (4) 有较齐全的开发工具。如配备有交叉汇编软件，将用户用汇编语言编制的应用程序生成可执行的目标文件；具有丰富的子程序库，汇编时连同用户设计的程序一起编译成目标程序，装入仿真 RAM 供调试和固化；具有高级语言编译系统，用户可用 BASIC 语言或 C51 语言进行编程；具有反汇编功能，对目标程序反汇编的结果可以打印或写入磁盘等。

单片机应用系统的设计包括下述几个步骤。

- (1) 总体设计；
- (2) 系统硬件设计(用 PROTEL)；
- (3) 系统软件设计(用仿真机软件)；
- (4) 仿真调试硬件和软件(用仿真机)；
- (5) 固化应用程序(用仿真机)；
- (6) 脱机运行(用户系统)。

## 1.5 单片机最新进展

计算机系统的发展已明显地朝三个方向发展。这三个方向就是：巨型化，单片化，网络化。以解决复杂系统计算和高速数据处理的仍然是巨型机在起作用，故而，巨型机目前在朝高速及处理能力的方向努力。单片机在出现时，Intel 公司就为其单片机取名为嵌入



式微控制器(embeddedmicrocontroller)。单片机的最明显的优势,就是可以嵌入到各种仪器、设备中。这一点是巨型机和网络不可能做到的。

### 1.5.1 数字单片机的技术发展

数字单片机的技术进步反映在内部结构、功率消耗、外部电压等级以及制造工艺上。在这几方面,较为典型地说明了数字单片机的水平。在目前,用户对单片机的需要越来越多,但是,要求也越来越高。下面分别就这四个方面说明单片机的技术进步状况。

#### (1) 内部结构的进步

单片机在内部已集成了越来越多的部件,这些部件包括一般常用的电路,例如:定时器,比较器,A/D转换器,D/A转换器,串行通信接口,Watchdog电路,LCD控制器等。

有的单片机为了构成控制网络或形成局部网,内部含有局部网络控制模块CAN。例如,Infineon公司的C505C,C515C,C167CR,C167CS-32FM,81C90;Motorola公司的68HC08AZ系列等。特别是在单片机C167CS-32FM中,内部还含有2个CAN。因此,这类单片机十分容易构成网络。特别是在控制,系统较为复杂时,构成一个控制网络十分有用。

为了能在变频控制中方便使用单片机,形成最具经济效益的嵌入式控制系统。有的单片机内部设置了专门用于变频控制的脉宽调制控制电路,这些单片机有Fujitsu公司的MB89850系列、MB89860系列;Motorola公司的MC68HC08MR16,MR24等。在这些单片机中,脉宽调制电路有6个通道输出,可产生三相脉宽调制交流电压,并内部含死区控制等功能。

特别引人注目的是,现在有的单片机已采用所谓的三核(TnCore)结构。这是一种建立在系统级芯片(Systemonachip)概念上的结构。这种单片机由三个核组成:一个是微控制器和DSP核,一个是数据和程序存储器核,最后一个外围专用集成电路(ASIC)。这种单片机的最大特点在于把DSP和微控制器同时做在一个片上。

虽然从结构定义上讲,DSP是单片机的一种类型,但其作用主要反映在高速计算和特殊处理如快速傅立叶变换等上面。把它和传统单片机结合集成大大提高了单片机的功能。这是目前单片机最大的进步之一。这种单片机最典型的有Infineon公司的TC10GP;Hitachi公司的SH7410,SH7612等。这些单片机都是高档单片机,MCU都是32位的,而DSP采用16或32位结构,工作频率一般在60MHz以上。

#### (2) 功耗、封装及电源电压的进步

现在新的单片机的功耗越来越小,特别是很多单片机都设置了多种工作方式,这些工作方式包括等待、暂停、睡眠、空闲及节电等工作方式。Philips公司的单片机P87LPC762是一个很典型的例子,在空闲时,其功耗为1.5mA,而在节电方式中,其功耗只有0.5mA。而在功耗上最令人惊叹的是TI公司的单片机MSP430系列。它的低功耗方式有LPM1、LPM3以及LPM4三种。电源为3V时,如果工作于LMP1方式,即使外围电路处于活动,由于CPU不活动,振荡器处于1~4MHz,这时功耗只有50 $\mu$ A。在LPM3时,振荡器处于32kHz,这时功耗只有1.3 $\mu$ A。在LPM4时,CPU、外围及振荡器32kHz都不活动,则功耗只有0.1 $\mu$ A。

现在单片机的封装水平已大大提高,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方式出现,以大量减少体积。在这种形势中,Microchip公司推出的8