

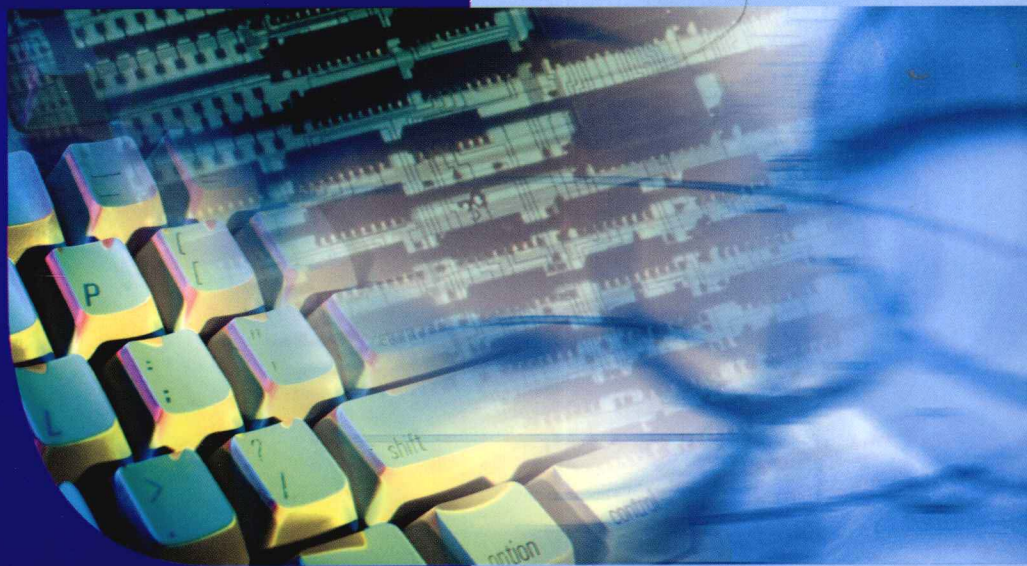


普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

单片机原理与 C51 基础

◎ 赵丽清 惠鸿忠 主编

DANPIANJI YUANLI YU C51 JICHU



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

单片机原理与 C51 基础

主 编 赵丽清 惠鸿忠
副主编 李绍静 涂 艳 王至秋
参 编 姜秋鹏 刘立山



机械工业出版社

本书以 80C51 系列单片机为对象, 共分为 11 章的内容。为方便读者选择, 前 7 章主要围绕单片机芯片本身的引脚、结构、指令及功能来讲解, 它们是学习单片机的基础, 适合少学时课程使用; 后 4 章主要讲解单片机芯片的常用外围接口, 方便多学时课程的安排。

本书第 1 章主要围绕单片机的发展历史、课程地位、学习方法及学习这些课程必备的基础知识进行介绍。第 2 章从应用者的视角讲解了单片机的结构和引脚功能, 着重讲解了“怎样使用”的问题。第 3 章利用大量的图表讲解了 80C51 系列单片机的汇编语言指令功能等内容。第 4 章利用典型实例介绍了 80C51 系列单片机汇编语言的顺序、分支、循环及子程序设计的方法。第 5 章介绍了中断的概念、中断相关的特殊功能寄存器、中断的编程方法和实例。第 6 章介绍了单片机定时/计数器的组成结构及应用实例。第 7 章介绍了串行通信的相关概念, 80C51 系列单片机的串行接口、通信模式及其应用实例。第 8 章介绍了存储器及并行口的扩展方法, 详细地讲解了外扩芯片的编址技术。第 9 章介绍了键盘、数码管及 ADC0809 和 DAC0832 的接口方法和实例。第 10 章以读者具有一定标准 C 语言基础为前提, 介绍了 C51 的语法、结构等知识, 同时给出了前述章节中典型例题的 C 语言程序, 方便读者进行对比学习。第 11 章介绍了单总线、SPI 总线及 I²C 总线等串行总线扩展技术。

本书以应用者的角度对“单片机原理与应用”这门课程进行了全新的解读, 内容精炼, 教辅材料齐全, 适合各大专院校学生及老师选用。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与 C51 基础/赵丽清等主编. —北京: 机械工业出版社, 2012. 8

普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

ISBN 978-7-111-38914-9

I. ①单… II. ①赵… III. ①单片微型计算机—C 语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP368.1②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 163185 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 于苏华 责任编辑: 于苏华 王 琪

版式设计: 霍永明 责任校对: 任秀丽

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·421 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-38914-9

定价: 37.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

20 世纪 70 年代, 单片机应军事及工业装备的控制需求而问世。目前单片机在智能仪器仪表 (数字电压表、数字示波器、医学分析仪器)、家用电器 (洗衣机、空调等)、军事装置 (夜视仪、导航仪)、实时工业控制 (电镀生产线、工业机器人) 等诸多领域应用广泛。各种机械设备及装置一旦采用单片机控制, 产品的附加值迅速上升。

从本质上讲, 单片机和计算机属于同祖同宗。单片机追求的是在满足特定功能的基础上, 体积要足够小, 终极目标是将尽量多的外设集成到芯片内部; 计算机追求的则主要是高速运算、海量存储, 对体积没有特别的要求。单片机系统的价格是一般计算机的数百、数千分之一。

自单片机诞生以来, 美国 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机在各领域应用最为广泛。后来 Intel 公司致力于高端 CPU 技术, 将 MCS-51 核心技术以专利或技术交换的形式转让给许多国际上著名的半导体芯片生产厂家, 形成了目前占有市场份额最多的 80C51 系列单片机。

本书的主编赵丽清副教授有多年的企业工作经验, 自 2003 年开始从事单片机原理课程教学工作。近 3 年来主持国家重点科研项目 1 项, 主持省级课题两项, 在研经费 230 余万元。作者团队致力于大学生第二课堂创新教育的研究, 近 3 年指导学生获得了多项国家及省级竞赛奖励。本书融入了该团队多年来从事单片机原理课程教学工作以及科研工作的经验体会, 在编写时重点考虑了如下问题:

1) 学生是教学环节的核心, 因此一门课程要想取得相应的教学成果, 首先应该解决“为什么学”和“怎样学”两个问题。本书通过“主编寄语大学生”内容让学生深入体会单片机的课程地位及学习意义, 从而引发学生对单片机这一领域的学习兴趣。本书第 1 章还详细介绍了单片机学习所需要的硬件设备、软件工具及入门方法等具体问题。

2) 教师是教学环节的另一主体, 因此本书编写的宗旨是内容精炼, 适于教师课堂讲授。现在的单片机教材有越编越厚的趋势, 编者总想把更多的知识传递给读者, 可是对于一个刚刚接触该课程的学生, 如果老师会略过大约 30% 甚至更多的教材内容, 学生的感受可想而知, 因此这样的教材并不适合初学者阅读。

3) 书中融入了作者团队多年的教学方法。例如: 对于 ROM、RAM 的容量及地址这一教学的难点, 采用将其类比为大学的宿舍楼和教学楼的方法。这样的类比贴近大学生活, 生动有趣, 学生更易理解。

4) 本书把在单片机课程学习中必须掌握的电子技术基础知识作为课程的知识点融入教材中, 无论对教师的授课还是学生的学习都更加方便。

5) 本书教辅材料丰富、全面。围绕本书提供了独立运营的网站 (<http://danpianji.web-200.com/>)、教学课件、标准化试题及答案、课后所有习题的标准答案等内容。

本书由赵丽清老师和惠鸿忠老师担任主编, 李绍静老师、徐艳老师担任副主编, 姜秋鹏老师、刘立山老师参加了编写。全书由赵丽清老师统稿。

由于时间紧迫, 书中错误及疏漏之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 单片机	1
1.1.1 单片机的概念	1
1.1.2 单片机的发展历史及产品近况	3
1.1.3 嵌入式处理器家族	5
1.1.4 单片机课程的地位及学习方法	6
1.2 单片机开发所需软硬件介绍	8
1.2.1 关于 Keil C51 及其集成开发环境 Keil μ Vision3	9
1.2.2 仿真技术和仿真器	10
1.2.3 编程器和下载软件	11
1.2.4 Protel 与单片机	11
1.2.5 关于 Proteus 软件	12
1.2.6 字模提取软件与串口调试助手	13
1.3 数字电路基础	14
1.3.1 二进制的逻辑运算	14
1.3.2 数字电路中 0 与 1 的定义	15
1.4 数制与编码的简单回顾	16
1.4.1 数制	16
1.4.2 编码	18
1.4.3 计算机中带符号数的表示	18
思考题	20
第2章 80C51 系列单片机基本结构及原理	22
2.1 80C51 系列单片机的内部结构	22
2.1.1 80C51 系列单片机的 CPU	23
2.1.2 ROM 和 RAM 的区别	23
2.1.3 单片机时序及有关概念	24
2.2 80C51 系列单片机的引脚功能	25
2.2.1 80C51 系列单片机的引脚	25
2.2.2 单片机的最小系统	27
2.2.3 三总线结构	28
2.3 80C51 系列单片机的存储器	28
2.3.1 存储器的空间地址	28

2.3.2 程序存储器	30
2.3.3 数据存储器	30
2.3.4 80C51 系列单片机的特殊功能寄存器 (SFR)	32
2.4 并行 I/O 口及其应用	36
2.4.1 P0 口	36
2.4.2 P1 口	38
2.4.3 P2 口	38
2.4.4 P3 口	39
2.4.5 I/O 口驱动发光二极管	39
2.5 单片机的复位、掉电保护和低功耗设计	44
2.5.1 单片机的复位	44
2.5.2 掉电保护和低功耗设计	46
思考题	47
第3章 80C51 系列单片机的寻址方式和指令系统	49
3.1 汇编语言的指令格式及其常用符号	50
3.1.1 汇编语言的指令格式	50
3.1.2 机器码的三种格式	50
3.1.3 指令中常用符号说明	51
3.2 80C51 系列单片机的寻址方式	52
3.2.1 立即寻址	52
3.2.2 直接寻址	53
3.2.3 寄存器寻址	53
3.2.4 寄存器间接寻址	54
3.2.5 变址寻址	55
3.2.6 相对寻址	55
3.2.7 位寻址	56
3.3 数据传送类指令	57
3.3.1 内部 RAM 数据传送指令	57
3.3.2 访问外部 RAM 的数据传送指令 MOVX	61
3.3.3 读取 ROM 中常数表的查表指令 MOVC	62
3.3.4 数据交换指令	63
3.3.5 堆栈操作指令	64

3.4 算术运算类指令	65	5.2.4 中断请求的撤除	114
3.4.1 加法指令	66	5.3 中断服务子程序的设计	115
3.4.2 减法指令	69	5.3.1 单个中断源设计举例	115
3.4.3 乘、除法指令	71	5.3.2 多个中断源设计举例	117
3.5 逻辑运算及移位类指令	72	思考题	118
3.5.1 逻辑与运算指令	72	第6章 定时/计数器	120
3.5.2 逻辑或运算指令	73	6.1 定时/计数器 T0 和 T1	120
3.5.3 逻辑异或运算指令	73	6.1.1 定时/计数器的结构及功能	120
3.5.4 累加器清零、取反指令	74	6.1.2 定时/计数器 T0 和 T1 的模式 选择和状态控制寄存器	121
3.5.5 循环移位指令	74	6.2 T0 和 T1 的 4 种工作模式	123
3.6 控制转移类指令	75	6.2.1 模式 0	123
3.6.1 无条件转移指令	75	6.2.2 模式 1	124
3.6.2 条件转移指令	77	6.2.3 模式 2	124
3.6.3 子程序调用及返回指令	79	6.2.4 模式 3	125
3.6.4 空操作指令	81	6.3 定时/计数器的应用	125
3.7 位操作类指令	81	6.3.1 定时/计数器模式 0 的应用	126
3.7.1 位变量传送指令	82	6.3.2 定时/计数器模式 1 的应用	126
3.7.2 位置位、清零指令	82	6.3.3 定时/计数器模式 2 的应用	128
3.7.3 位逻辑运算指令	82	6.3.4 定时/计数器门控位 GATE 的应用	129
3.7.4 位控制转移指令	83	6.3.5 运行中读定时/计数器	130
思考题	84	思考题	131
第4章 汇编语言程序	89	第7章 80C51 系列单片机的串行 通信	132
4.1 汇编语言程序概述	89	7.1 串行通信基础知识	132
4.1.1 源程序的编辑和汇编	89	7.1.1 并行通信与串行通信	132
4.1.2 伪指令	90	7.1.2 串行通信的通信方式	133
4.1.3 汇编语言程序设计步骤	92	7.1.3 串行通信的数据传送方向	134
4.2 汇编语言程序设计	93	7.1.4 通信中的误码问题	134
4.2.1 顺序程序设计	93	7.2 80C51 系列单片机的串行接口	135
4.2.2 分支程序设计	94	7.2.1 串行接口的结构	135
4.2.3 循环程序设计	96	7.2.2 串行接口的控制寄存器	136
4.3 子程序及其调用	99	7.2.3 串行通信的波特率设计	139
4.3.1 子程序的设计注意事项	99	7.3 串行接口的工作方式	142
4.3.2 参数传递	100	7.3.1 方式 0	142
思考题	104	7.3.2 方式 1	143
第5章 中断系统	107	7.3.3 方式 2	144
5.1 80C51 系列单片机的中断系统	107	7.3.4 方式 3	145
5.1.1 什么是中断	107	7.4 串行通信应用举例	145
5.1.2 80C51 系列单片机的中断源	109	7.4.1 串行接口方式 0 的应用	145
5.1.3 80C51 系列单片机的中断控制	110	7.4.2 串行接口方式 1 的应用	147
5.2 中断处理过程	111		
5.2.1 中断响应	111		
5.2.2 中断处理	113		
5.2.3 中断返回	113		

VI 单片机原理与 C51 基础

7.4.3 串行接口方式 2 的应用	148	9.2.1 数码管显示原理	202
7.4.4 串行接口方式 3 的应用	148	9.2.2 数码管动态显示	204
7.5 串行通信实用技术	149	9.3 A/D 转换接口技术	206
7.5.1 双机串行通信的硬件连接	149	9.4 D/A 转换接口技术	210
7.5.2 80C51 系列单片机的多机通信	151	思考题	216
7.5.3 双机串行通信软件编程	152	第 10 章 单片机 C51 程序设计	217
7.5.4 PC 与单片机的点对点串行通信 接口设计	158	10.1 C51 程序设计基础	217
7.5.5 PC 与多个单片机的串行通信 接口设计	158	10.1.1 C51 中的基本数据类型	217
思考题	160	10.1.2 C51 中扩充的数据类型	218
第 8 章 80C51 系列单片机并行系统		10.1.3 C51 中的运算符	219
扩展技术	161	10.1.4 C51 中的语句及程序结构	221
8.1 80C51 系列单片机的并行系统		10.1.5 C51 中的头文件	222
扩展概述	161	10.2 C51 程序设计	222
8.1.1 80C51 系列单片机的并行系统		10.2.1 定时/计数器初始化程序设计 举例	223
扩展能力	161	10.2.2 点亮发光二极管实现流水灯 程序	227
8.1.2 地址的锁存	161	10.2.3 单个中断系统设计举例	233
8.1.3 存储器空间地址	163	10.2.4 定时器程序设计举例	235
8.2 外部存储器的扩展方法	167	10.2.5 串行通信程序设计举例	236
8.2.1 程序存储器的扩展	167	思考题	237
8.2.2 数据存储器的扩展	171	第 11 章 串行扩展技术	238
8.2.3 数据存储器 and 程序存储器的 统一编址	177	11.1 单总线串行扩展	238
8.3 外部 I/O 接口的扩展方法	178	11.2 SPI 总线串行扩展	240
8.3.1 简单并行 I/O 接口扩展	178	11.3 I ² C 总线扩展	243
8.3.2 81C55 可编程 I/O 接口及 扩展技术	179	11.3.1 I ² C 总线基础	243
8.3.3 82C55 可编程接口电路的扩展	186	11.3.2 80C51 系列单片机的 I ² C 总线时序 模拟	246
思考题	193	11.3.3 80C51 系列单片机与 AT24C02 的接口	248
第 9 章 单片机的接口技术	194	思考题	252
9.1 单片机键盘接口技术	194	附录	254
9.1.1 单片机的键扫描方式	194	附录 A ASC II 表	254
9.1.2 独立键盘	195	附录 B MCS-51 系列单片机指令系统表	255
9.1.3 矩阵式键盘	197	主编寄语大学生	260
9.2 数码显示器接口电路	202	参考文献	266

第1章 绪 论

【学习纲要】

本章首先要理解单片机是芯片级计算机的表述,掌握单片机芯片内部的构成,理解单片机系统相较同功能的集成电路芯片系统的优势,了解单片机的应用领域,理解单片机与计算机的区别;理解 MCS-51 系列、8051 系列及 80C51 系列单片机的区别和联系,掌握 8 位单片机的主要类型和 16 位单片机的典型机型及其应用领域;掌握目前嵌入式处理器家族的四大类型及其主要应用领域;理解单片机的课程地位,初学者机型选择方法、学习方法和必要的装备;重点理解 keil μ Vision3 软件在单片机开发中的地位及功能,掌握仿真器与编程器在单片机开发中的作用,理解 Protel、Proteus、串口调试助手和字模提取软件在单片机开发中的作用;掌握二进制逻辑运算规则及图形符号;掌握单片机系统中高电平“1”和低电平“0”的电压范围。

1.1 单片机

1.1.1 单片机的概念

1. 何谓单片机

“单片机”的称呼由英文名称“Single Chip Microcomputer”直接翻译而来,缩写为 SCM。所谓单片机就是一种集成电路芯片,是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器(CPU)、随机存储器(RAM,内存)、只读存储器(ROM,硬盘)、I/O 接口、中断系统、定时/计数器和串行接口等功能(可能还包括 A/D 转换器电路、脉宽调制电路、显示驱动电路、模拟多路转换器)集成到一块芯片上构成的一个小而完善的计算机系统。虽然单片机只是一个芯片,但从组成和功能上看,它已具有了微型计算机系统的含义,因此也经常称其为微控制器(Micro Control Unit, MCU)、嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller Unit, EMCU),它是一个芯片级的计算机。

单片机因为体积小,通常都藏在被控设备的“肚子”里,这种设计理念被称为嵌入式。单片机在整个装置中,起着类似人类大脑的作用,它一旦出现问题,整个装置即瘫痪。

单片机是依靠开发者植入的程序才拥有了灵魂,程序可以被反复修改。假设一个不是很复杂的控制功能如果用美国于 20 世纪 50 年代开发的 74 系列集成电路芯片,或者 60 年代的 CD4000 系列集成电路芯片这些纯硬件芯片来设计的话,电路一定是一块大 PCB。如果使用单片机,结果将会是天壤之别,因为单片机通过合理的硬件设计及软件程序设计可以具有体积小、功能强的特点。图 1-1 是目前单片机业界较主流产品之一,深圳宏晶公司出品的 STC89 系列单片机的芯片照片,图 1-1a 是双列直插式封装(DIP),图 1-1b 是贴片式封装。

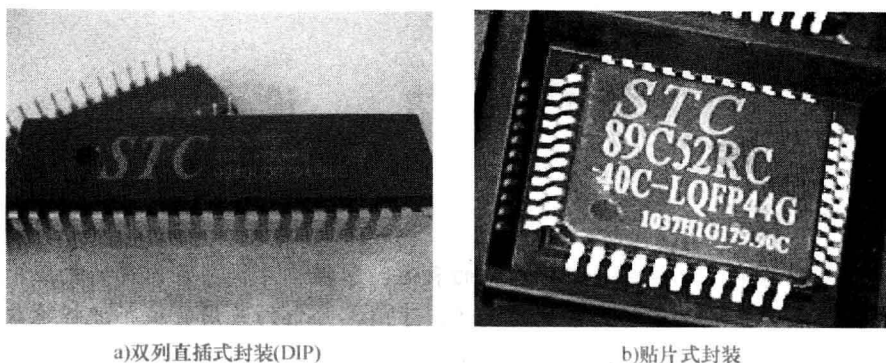


图 1-1 STC89 系列不同分装形式的单片机外形

2. 单片机的应用领域

单片机的应用领域已十分广泛，如智能仪表（各类检测仪表、数字电压表、数字示波器）、家用电器（洗衣机、空调等）、军事装置（夜视仪、导航仪）、实时工业控制（电镀生产线、工业机器人），在系统中主要起到测量和控制的作用。各种机械装置一旦用上了单片机，就能使得产品升级换代，并会将其名称冠以“微电脑控制”、“智能型”标志。图 1-2 是单片机在仪表、家电、火箭领域的应用图片。其中最左侧的仪表是由本书主编指导本科学子自主研发的水体化合物分析仪器，它能够在线检测水体中氨氮及亚硝氮等化合物的含量，是单片机和分析化学原理相结合的跨学科成果。



图 1-2 单片机应用领域

3. 单片机与计算机的区别

从本质上讲，单片机和计算机（PC）属于同祖同宗，单片机追求的是在满足特定功能的基础上，体积要足够小，终极目标是将尽量多的外设集成到芯片内部；计算机则追求的主要是高速运算、海量存储，对体积没有显著要求。单片机与普通微型计算机的不同之处在于其将 CPU、ROM 和 RAM 三部分，通过内部总线连接在一起，集成于一块芯片上。单片机系统的价格是一般计算机的数百、数千分之一。单片机相对于计算机的 CPU 来说，技术门槛低，几个人就有可能设计出一款单片机。由于各种电子产品对单片机的需求不同，于是单片机体系结构纷繁复杂，形成大公司走高端、小公司创特色的局面。例如某些单片机专用芯片仅提供发声功能，价格不到 1 美元。但是也应该看到另外一种现象，目前高端 32 位单片机正逐步向计算机方向发展。典型例子就是 20 世纪 90 年代出现的 ARM 公司，专门给其他公司提供类似计算机 CPU 功能的内核设计方案，这些公司在 CPU 内核外围将计算机公司在主

板上实现的功能进行扩展,区别是计算机在主板上扩展,高端单片机在芯片内扩展。

计算机体系结构分为两种形式,分别是冯·诺依曼结构和哈佛结构。冯·诺依曼结构是一种经典的体系结构,采用程序代码存储器与数据存储器合并在同一存储器里的方式,但程序代码存储器地址与数据存储器地址分别指向不同的物理地址。程序指令宽度与数据宽度一样;数据总线和地址总线共用。哈佛结构是哈佛大学提出的一种新结构,这种结构采用数据存储器与程序代码存储器分开的方式,各自有自己的数据总线与地址总线,但这需要 CPU 提供大量的数据线,因而一般很少使用哈佛结构作为 CPU 外部构架。但是对于 CPU 内部,通过使用不同的数据和指令,可以有效地提高指令执行的效率,因而目前大部分计算机体系都采用 CPU 内部的哈佛结构 + CPU 外部的冯·诺依曼结构。有人把 51 系列单片机归为冯·诺依曼结构,原因是 51 系列单片机的 RAM 和 ROM 的总线复用,笔者认为这样不足取,应该是按照空间是否完全重合来辨别。比如 PC 机的代码空间和数据空间是同一空间,所以是冯·诺依曼结构;51 系列单片机的 I/O 接口不够,所以采用了总线复用的形式,但代码空间和数据空间是分开的,所以还是哈佛结构。

1.1.2 单片机的发展历史及产品近况

1. 51 系列单片机的诞生

(1) **第一阶段 (1974 ~ 1976): 单板机的产生** 单板机是单片机的前身。单片机的设计理念来源于对控制器体积和价格要求严格的工业智能装备领域,例如某工业装备只需要 1s 检测一下环境温度,并能实时显示,如果采用 PC 机,很明显体积和成本均过高。1976 年美国 Zilog (齐洛格) 公司的 Z80 是最早按照这种思想设计的处理器,但限于电子线路工艺的发展水平,其 RAM、ROM、I/O 接口仍不能集成于芯片内部,一般将它们与 Z80 做在一块 PCB 上,因此还不能称其为单片机,一般称为单板机。20 世纪 80 年代风靡我国,由北京工业大学研发、生产的 TP801 单板机就是以 Z80 为内核设计的。具有代表性的单板机还有美国 Fairchild (仙童) 公司的 F8 系列。

(2) **第二阶段 (1976 ~ 1978): 单片机的低性能阶段** 最早的单片机是由美国 Intel (英特尔) 公司 1976 年推出的 MCS-48 系列,它早已退出历史舞台。

(3) **第三阶段 (1978 ~ 1983): 单片机的基本发展阶段** 这一时期 Intel 公司的 8031 单片机因为其简单可靠、性能良好而获得了广泛的好评。此后 Intel 公司发展出 MCS-51 系列单片机系统 (“MCS” 代表了 Intel 公司的产品。), 其中基本型产品是 8031、8051、8751 (对应的低功耗型号是 80C31、80C51、87C51) 和增强型的 8032、8052、8752 单片机。该系列单片机的时钟频率一般在 12MHz 以内。其中 8031 内部还不能集成 ROM, 需要外部扩展; 8051 内部集成了 4KB 的 ROM, 但其 ROM 只能一次性写入程序, 不可反复修改擦写; 8751 的内部集成了 4KB 的 EPROM, 其中的程序可以被紫外线擦除, 反复修改。8751 的出现终结了 8031 的时代, 因为 8751 的价格与外扩一片 4KB 的 EPROM 的价格是相同的。

MCS-51 系列单片机的典型产品是 8051 单片机。其他单片机都是在 8051 功能的基础上进行增减的。20 世纪 80 年代中后期, Intel 公司已经把精力集中在高档 CPU 芯片的开发研制上, 逐渐淡出单片机芯片的开发和生产。由于 MCS-51 系列单片机设计上的成功和较高的市场占有率, Intel 公司以专利转让或技术交换的形式把 8051 的内核技术转让给了世界许多半导体芯片厂家, 如 Atmel (爱特梅尔)、PHILIPS (飞利浦)、LG、ADI。这些厂家生产的兼

容机与 8051 的内核结构与指令系统相同，并在此基础上不断完善其性能，形成了后来称做“8051 系列单片机”的庞大体系。

2. 51 系列单片机的发展

8051 系列和 80C51 系列单片机通常简称为 51 系列单片机。从 1983 年至今，8 位 51 系列单片机不断自我发展，形成了常盛不衰的局面。这时 8 位单片机追求更低的功耗，从而 8051 系列中的大部分产品已经发展成为 80C51，其字符“C”表示了单片机内部集成电路工艺的 CMOS 化，其功耗更低。更多的外围电路被装入单片机内部，“单片化”设计思想被更大、更广地应用于单片机芯片设计中。在我国市场上曾经风靡的机型有台湾华邦（Winbond）公司的 W78 系列，美国 Atmel 公司的 AT89C5×系列以及 AT89S5×系列单片机，其中 AT89C51、AT89S51、AT89C52、AT89S52 在我国单片机市场上占有较大份额。AT89C51 的时钟频率可达 24MHz，AT89S51 的时钟频率可达 33MHz，它们与 MCS-51 系列中的 87C51 相比，单片机内部采用了 4KB 电写入、电擦除，擦写次数可达上万次的 FlashROM 存储器，取代了 87C51 片内的 EPROM。即便今天，基于 51 设计理念的单片机仍然常盛不衰，并且仍在不断翻新。其中深圳宏晶科技公司对 51 系列单片机进行超强抗干扰、超级加密等一系列完善设计后目前成为中国本土 MCU 的领航者，并且成为世界主要 51 系列单片机供应商之一，其典型的代表是 STC89 系列，它内部设计采用 CMOS 工艺、功耗更低，内核仍然是 51 系列，但功能更强大，成为当今很多电子工程师的首选。

3. AVR、PIC 进入 8 位机主流市场

目前 8 位单片机市场上占有率高的除了采用复杂指令集（CISC）的 51 系列，还有 AVR 和 PIC（Peripheral Interface Controller）系列单片机。其中 AVR 单片机是 1997 年美国 Atmel 公司挪威设计中心的 A 先生与 V 先生共同研发出的，所以就简称 AVR，其第三个字母 R 代表了该芯片 CPU 的精简指令（RISC）结构。目前在相同的振荡频率下，AVR 单片机的执行速度是 8 位单片机中最快的。虽然指令的条目数比 51 系列的 111 条还略多，但是 AVR 单片机大部分指令都为单周期指令，且在一个周期内既可执行本指令功能，同时还能完成下一条指令的读取，因此表现出高速和高效率的优势。目前该单片机的使用数量迅速上升，大有超过 51 系列芯片的趋势。PIC 单片机是美国 Microchip（微芯）公司的产品，PIC 单片机的 CPU 亦属精简指令结构，分别有 33、35、58 条指令。其种类多，芯片抗干扰能力强，也是可以 51 系列单片机抗衡的单片机。其他如 Motorola（摩托罗拉）单片机、SIEMENS（西门子）单片机、EPSON（爱普生）等诸多公司的单片机也在 8 位单片机市场占有自己的位置。PIC 系列芯片及 Atmel 公司的 AVR 系列单片机也属于哈佛结构。

4. 16 位和 32 位高档单片机的推出

20 世纪 90 年代初，随着工业控制领域要求的提高，各大公司都开始推出 16 位单片机，但因为性价比不理想并未得到很广泛的应用。但 TI（美国德州仪器）公司出品的 MSP430 系列以其超低功耗的特性在仪器仪表及手持设备领域占有绝对优势。

进入 21 世纪，32 位单片机迅速取代 16 位单片机的高端地位，并且进入主流市场，其中 ARM7 是典型代表。ARM（Advanced RISC Machines）既可以认为是一个公司的名字，也可以认为是对一类微处理器的通称，还可以认为是一种技术的名字。1991 年 ARM 公司成立于英国剑桥，主要出售芯片设计技术的授权。作为知识产权供应商，本身不直接从事芯片生产，靠转让设计许可由合作公司生产各具特色的芯片，世界各大半导体生产商从 ARM 公司

购买其设计的 ARM 微处理器核, 根据各自不同的应用领域, 加入适当的外围电路, 从而形成自己的 ARM 微处理器芯片进入市场。当代高端 32 位单片机系统已经不再只在裸机环境下开发和使用, 大量 PC 所用的 Windows 和 Linux 操作系统被广泛应用于以 32 位高端单片机为内核的智能手机和掌上电脑系统中。

总之, 目前市场以 8 位低端和 32 位高端单片机齐头并进的形式存在和发展。8 位单片机的性能得到了飞速提高, 处理能力比起 20 世纪 80 年代提高了数百倍, 其主要应用在工业控制领域。32 位单片机的主频已经超过 300MHz, 性能直追 90 年代中期的个人计算机 CPU, 主要应用在高端智能通信设备领域。

1.1.3 嵌入式处理器家族

具有各种不同体系结构的处理器构成了嵌入式处理器家族, 它们是嵌入式系统的核心部件。据不完全统计, 全世界嵌入式处理器的品种数已经超过 1000 种, 按其体系结构主要分为如下四类: 单片机 (嵌入式微控制器)、嵌入式数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP)、嵌入式微处理器 (Embedded Microprocessor Unit, EMPU) 以及片上系统 (System On Chip, SOC)。

单片机在前面已经做了比较详细的介绍, 下面来简单介绍一下 DSP、EMPU、SOC, 以及它们之间的关系。

1. 嵌入式数字信号处理器

嵌入式数字信号处理器 (DSP) 是非常擅长高速实现各种数字信号处理运算 (如数字滤波 FFT、频谱分析等) 的嵌入式处理器。由于无线通信、各种网络通信、实时语音解压系统、数字图像处理等智能化算法一般都运算量较大, 尽管 DSP 技术已达到较高的水平, 但在一些实时性要求很高的场合, 单片 DSP 的处理能力还是不能满足要求。它与通用微处理器相比, 其他通用功能相对较弱。由于 ARM 等微处理器的实时控制能力强, 但信号处理能力弱, 在互联网和多媒体领域常采用二者融合于系统的双核设计取长补短。Intel 公司的介入将加快数字信号处理器与通用 CPU 二者之间性能的融合。

1981 年, 美国 TI (Texas Instruments) 公司研制出了著名的 TMS320 系列, 首片低成本、高性能的 DSP 处理器芯片 TMS320C10, 使 DSP 从概念走向了产品。到 20 世纪 90 年代中期, 这种可编程的 DSP 器件已广泛应用于数据通信、海量存储、语音处理、消费类音视频产品中, 其最为辉煌的成就是在数字蜂窝电话中的成功。这时, DSP 业务也一跃成为美国 TI 公司最大的业务。21 世纪 DSP 发展进入第三个阶段, 市场竞争更加激烈, TI 及时调整 DSP 发展战略全局规划, 并以全面的产品规划和完善的解决方案, 加之全新的开发理念, 深化产业化进程。成就这一进展的前提就是 DSP 每秒处理的百万条指令数 (Million Instructions Per Second, MIPS) 价格目标已设定为几个美分或更低。

2. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器 (EMPU) 的基础是通用计算机中的 CPU, 即 EMPU 是由通用计算机中的 CPU 演变而来的。与计算机处理器不同的是, 在实际嵌入式应用中, EMPU 只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件, 去除其他的冗余功能部分, 这样就以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。和工业控制计算机相比, EMPU 具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点。但是, 嵌入式微处理器在功能方面与标准的微处理器基本上是一样的。嵌入

式处理器目前最成功的就是 32 位 ARM 系列,其性能已经与几年前的便携式计算机相当,主要有 ARM7、ARM9、ARM11 以及最新的 ARM Cortex 系列。

以 EMPU 为核心的嵌入式系统能够运行实时多任务系统,因此其在多媒体手机、机顶盒、数字电视等领域都应用广泛。

“嵌入式系统”这个名词在业界已经应用很久,但是对它的定义仍然存在很多争论。广义上讲,凡是系统中嵌入了嵌入式的微处理器,如:单片机、DSP EMPU,都称为嵌入式系统。但还是有人仅把嵌入了 EMPU 的系统称为嵌入式系统。目前人们所说的嵌入式系统多指后者。

3. 片上系统

片上系统(SOC)技术始于 20 世纪 90 年代中期,随着半导体工艺和超大规模集成电路(VLSI)设计技术的飞速发展,在一个硅片上可实现一个更为复杂的系统,这就是片上系统(System On Chip, SOC)。SOC 的核心思想就是把整个应用电子系统(除无法集成的电路)全部集成在一个芯片中,避免了大量的 PCB 设计及板机的调试工作。在 SOC 设计中,设计者面对的不再是电路及芯片,而是根据所设计系统的固件特性和功能要求,把各种通用处理器内核以及各种外围功能部件模块作为 SOC 设计公司的标准库,与许多其他嵌入式系统外部设备一样,成为 VLSI 设计中的一种标准器件,用标准的 VHDL 等语言描述,存储在器件库中。用户只需定义出整个应用系统,仿真通过后就可以将设计图交给半导体器件厂商制作样品。除个别无法集成的器件以外,整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中,应用系统的电路板将变得很简洁,这对于减小体积和功耗、提高可靠性非常有利。SOC 使系统设计的技术发生了革命性变化,标志着一个全新时代的到来。

SOC 是在集成电路(IC)向集成系统(IS)转变的大方向下产生的。在单一集成电路芯片上就可以实现一个复杂的电子系统,诸如手机芯片、数字电视芯片、DVD 芯片等。在未来几年内,上亿个晶体管、几千万个逻辑门都可望在单一芯片上实现。

1.1.4 单片机课程的地位及学习方法

1. 单片机课程的地位

单片机是大学电气工程、自动化及其相关专业的一门专业课,有些学校把它列为选修课,在众多课程中,没有显出它有多么重要,为什么要学习它呢?电气工程、自动化类相关专业有很多专业课,这些专业课非常重要,是各个专业存在的必需课程,学完这些课程可以使学习者成为大学者的继承人,但市场对学者继承人的需求太少,大量需要的是产品的研发者,而学习单片机课程就可以成为一个实用的研发工程师。

另外,即使是在校期间,如果单片机实践动手能力强,学生可以参加国内认知度极高的国家级大学生第二课堂创新赛事,比较有代表性的有“全国大学生电子设计大赛”、“挑战杯全国大学生课外学术科技作品竞赛和创业计划大赛”、“全国大学生智能汽车大赛”等。另外还可以参加各省教育厅举办的各类赛事,如山东省规模最大的大学生赛事是“机电产品大赛”,另外,山东省“机器人大赛”的发展也方兴未艾。

据统计,我国的单片机年容量已达 1~3 亿片,且每年以大约 16% 的速度增长,但对于世界市场,我国的占有率还不到 1%。这说明单片机应用在我国才刚刚起步,有着广阔的前景。培养单片机应用人才,特别是在工程技术人员中普及单片机知识有着重要的

现实意义。

2. 单片机课程的学习方法

学习单片机课程与学习其他理论课程不一样,不能只在课后做作业,而是要实际使用单片机。那又该如何入手呢?下面就单片机的学习方法作一些总结。

(1) 51 系列单片机是初学者的最佳选择 51 系列单片机经过多年的发展,图书、资料丰富,相应的网站多,答疑解惑都比较容易。初学者选择 51 系列单片机开始,是非常明智的选择。近两年比较典型的 51 系列单片机有:AT89C(S) 51 和宏晶公司的 STC89C51 芯片。学好 51 单片机,再去学习 AVR、PIC、MSP430 将会触类旁通,也会为 ARM、DSP 等高级可编程硬件设备的学习打下很好的基础。如果在学会单片机的基础上,学会 CPLD 和 FPGA 的开发以及硬件描述语言,就可以在高速产品的开发方面获得一杯羹。一般来说本科生能够熟练掌握除 51 系列单片机外的另外一种单片机或熟悉 ARM 就已经很优秀了,其他留在工作或研究生阶段学习是比较现实的。大家可以参考图 1-3 所示嵌入式硬件技术体系来理解自动化及相关专业的嵌入式学习历程。

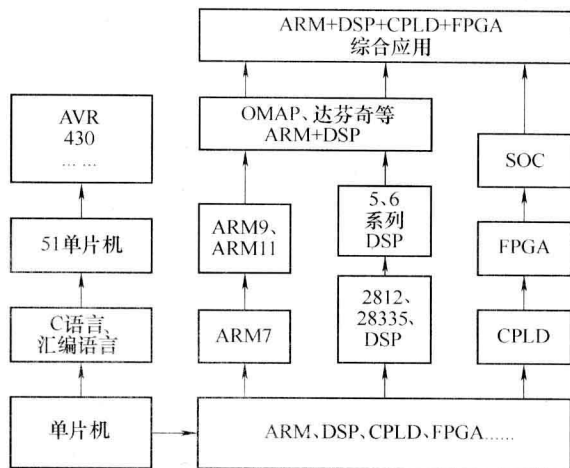


图 1-3 嵌入式硬件技术体系

(2) 扎实掌握单片机内部结构及原理十分必要 现在有一种观点是只要掌握 C 语言,只需对具体单片机结构及原理稍作了解,就能开发单片机应用系统。实际上由于单片机的硬件资源极其有限,因此只有真正了解单片机内部的结构、时序和寄存器的特点,才能开发出执行效率高、误码率少的代码。当你真正开发项目时就能感到硬件基础扎实的意义。汇编语言的学习可以使学习者更扎实地理解单片机的内部结构和原理,但一定是边动手编程、边学习理论,而不是等到把知识掌握得滚瓜烂熟才开始动手。

(3) 学习过程应突出主要矛盾,分层次推进 学习过程的第一步应该购买现成的单片机学习板,这样只要代码写错,肯定就是软件的错误,从而不需要去怀疑硬件有问题。学完学习板配套的程序后,就应该用万能板焊接单片机的外围电路,按学习板原理图焊接好电路后,运行已经编好的程序,出了问题肯定是硬件的原因,这样才算是真正入门了。接下来需要学习的是怎么处理多任务,这才是工作中真正用到的,包括时间片的概念、状态机的概念,学会上述知识后,你已经是一名优秀的专业本科生了。

(4) 初学时的必要装备 单片机是一门动手能力要求极高的课程,因此不建议使用 Proteus 等虚拟软件来学习,一定要真正的调试、焊接电路板。现在学习单片机的成本已经极低了,下面列出初学单片机的必要装备。

首先,一定要有一台个人计算机,无论是台式计算机还是便携式计算机都可以,一般的配置对于单片机学习来说足矣,如果是便携式计算机尽量购买带 RS232 串行接口的,以后你会感到拥有它还是很方便的。

其次,需要购买一块单片机学习板(开发板),最好具备在线调试(仿真)功能,带学

习视频更好。初学忌买功能全而复杂的学习板，只买基本功能的板子，其电路简单、容易上手。这样的学习板整套价位在 100 ~ 200 元的属合理。学习板套件包括：学习板（开发板）一块、下载线（一般是 USB 下载线，用来连接计算机和学习板，是程序烧录必备的硬件条件，其还用于将计算机 USB 的 5V 电源提供给学习板）、编程软件（实现程序的编辑、编译、软件仿真功能等，一般卖家提供 Keil C51）、下载软件（烧写程序需要使用，在计算机上运行，卖家也免费提供）。图 1-4 是价格在 100 元左右的 51 系列单片机学习板。

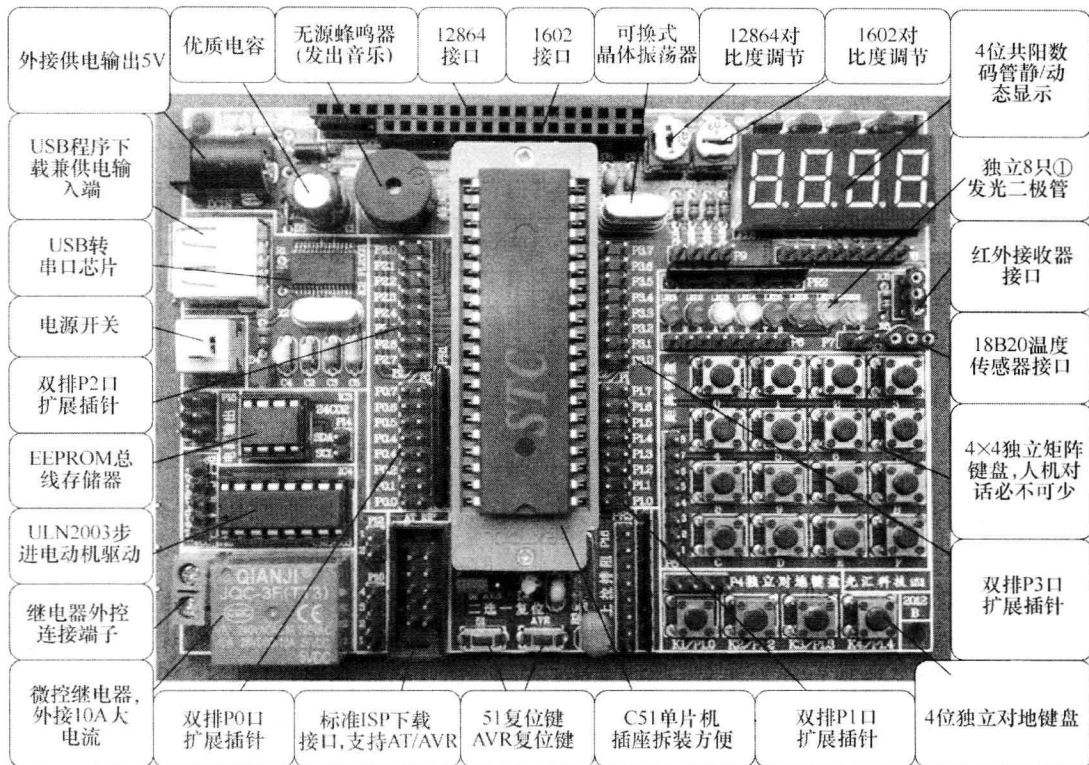


图 1-4 51 系列单片机学习板图片

第三，要有一块万用表，买国产四位半的即可，价格在 150 元左右，经济条件有限的买三位半的也可，价格一般在 80 元以内。

有的人说必备项里应该有示波器，如果加上这一条那恐怕 90% 以上的学生都会放弃尝试，因为即使国产 50MHz 的示波器价格也要上千元了。对于入门级学习有这三条是能够基本满足需求的，要想进一步学习，通过参加各类大赛进入学校实验室，就能够享有更好的学习环境和硬件设备条件，示波器、逻辑分析仪、信号发生器、仿真器、编程器等实验室一般都有配置。

1.2 单片机开发所需软硬件介绍

单片机的开发过程包括硬件电路设计、程序编写（编辑）、编译、仿真调试、烧写（烧录、固化、下载）等过程。程序的编辑是指利用 C 语言或汇编语言在个人计算机上完成程

序的书写过程，一般的文本编辑器如 Word 及 Windows 自带的文本编辑器都可以提供程序书写环境，但由于其不具备语法错误识别功能，因此开发者一般都选用专用的单片机程序编辑软件。编译是指将编程语言翻译成单片机能够识别的二（十六）进制代码的过程。烧写是指把编译好的二（十六）进制代码下载到单片机程序存储器（ROM）的过程。仿真调试包括软件仿真和硬件仿真，是指程序不可能一次编写成功，需要借助专业的软、硬件仿真调试工具，利用单步、断点、运行到光标处等功能实现对程序中各变量中间结果的监测。以上的功能都需要专用的软、硬件来完成。51 系列单片机常用的编辑、编译、仿真软件主要是 Keil μ Vision3，其他还有各大学采购的单片机实验箱厂家开发的简易软件；AVR 单片机有 Atmel AVR Studio，PIC 系列的有 MPLAB，MSP430 系列的有 IAR 等。程序的烧写工作由编程器或下载线来完成，它们都需要在个人计算机上运行下载软件配合其实现功能，该下载软件一般由编程器或下载线供应商免费提供。硬件仿真需要利用专业的单片机仿真器或仿真芯片来完成。编程器和仿真器价格昂贵，专业的要几千元，初学没有购买必要。初学者购买的学习板一般采用 ISP 下载线实现烧写功能，带仿真功能的学习板采用仿真芯片实现硬件仿真，但仿真功能相对专用仿真器弱很多。

1.2.1 关于 Keil C51 及其集成开发环境 Keil μ Vision3

Keil C51 是德国 Keil software 公司开发的用于 51 系列单片机的 C51 语言开发软件。它具有 Windows 风格的可视化操作界面（见图 1-5）；支持汇编语言、C51 语言以及两者混合编程等多种方式的单片机设计；能够完成 51 系列单片机以及和 51 系列兼容的绝大部分类型单片机的程序设计和仿真。

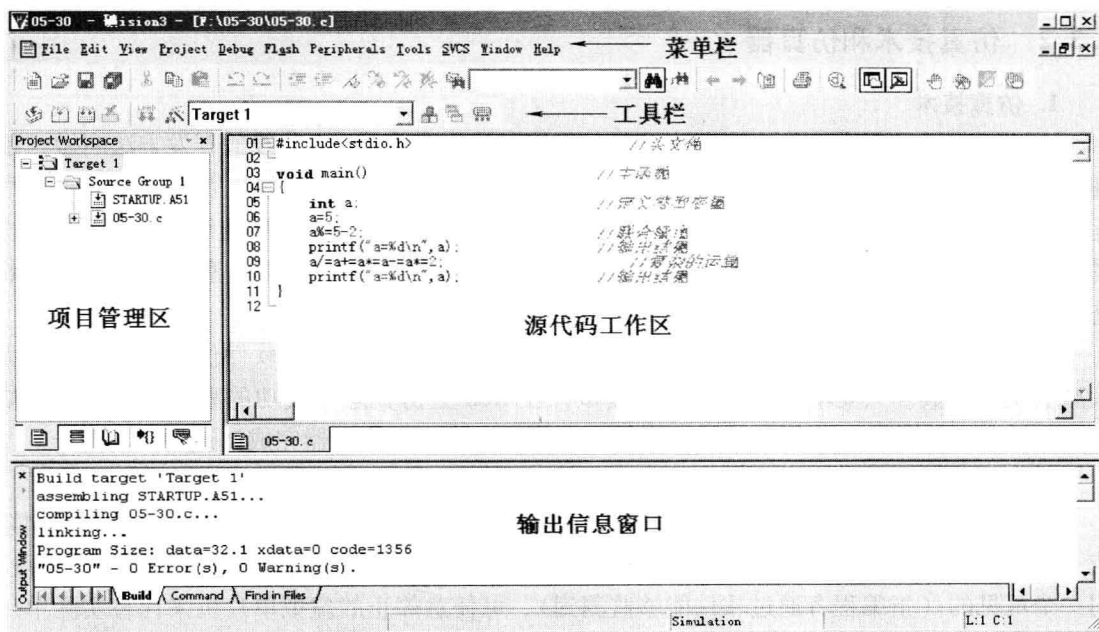


图 1-5 Keil μ Vision3 集成开发环境界面

Keil C51 在兼容标准 C 语言的基础上, 又增加了很多与 51 系列单片机硬件相关的编译特性, 其生成的程序代码运行速度快, 所需要的存储器空间小, 编译后的代码效率几乎可以和汇编语言相媲美。

现在, Keil C51 已被完全集成到一个功能强大的全新集成开发环境 (IDE) μ Vision3 中, 该开发环境下集成了文件编辑处理、编译链接、项目 (Project) 管理、窗口、工具引用和仿真软件模拟器等多种功能, 所有这些功能均可在 Keil μ Vision3 提供的开发环境中极为简便地进行操作。 μ Vision3 的主要功能是: 首先, 可以自动识别用汇编语言编写的程序 (扩展名为 *.ASM) 或用 C 语言编写的程序 (扩展名为 *.C) 的语法错误; 其次, 最重要的是能够将上述两类源文件编译为二进制机器语言代码 (扩展名为 *.HEX), 编译效率极高。另外, μ Vision3 的软件调试仿真功能也很强大, 能够在没有目标板硬件 (如学习板) 的情况下, 脱离硬件单独调试程序员编写的软件程序, 并能通过单步、设置断点等功能让编程者了解 CPU 正在运行的那条程序, 并能监控各寄存器及各变量是否符合编程者的要求。

在学习中应区别 Keil C51 和 Keil μ Vision3 两个术语。Keil C51 一般简称为 C51, 指的是 51 系统单片机编程所用的 C 语言; 而 Keil μ Vision3, 可简称为 μ Vision3, 指的是用于 51 系统单片机的 C51 程序编写、调试的集成开发环境。

Keil 公司开发的最新版本为 Keil C51 V9.00 版 (即 μ V4), 已经在编译、仿真 ARM 系列。

Keil 公司是由德国慕尼黑的 Keil Elektronik GmbH 和美国德克萨斯的 Keil Software Inc 两家私人公司联合运营。Keil 公司以制造和销售种类广泛的单片机软件开发工具著称, 其 Keil C51 编译器软件自 1988 年进入市场以来成为事实上的行业标准, 并支持超过 500 种 8051 单片机变种; 支持 C 语言和汇编语言编程。Keil C51 6.0 以上的版本将编译和仿真软件统一为 μ Vision, 目前主要使用的是 μ V3 版本。

1.2.2 仿真技术和仿真器

1. 仿真技术

单片机开发过程中没有中间调试过程, 仅使用编程器或 ISP 下载线的开发方法叫做“崩溃一烧写”模式。这种模式只能从最终结果检验硬件设计和软件编程是否正确; 如果程序运行结果错误, 只能改动程序后擦除芯片重新烧写, 为了调试一个程序连续烧写芯片数十次是很正常的事情, 这样不但麻烦, 还会缩短芯片使用寿命, 而且无法观察程序运行中的状态。

在单片机开发中一般简单的程序利用 Keil μ Vision3 本身就有的软件仿真功能, 可以大大减少烧写次数。只要不涉及外部扩展接口, 在 Keil 上仿真运行成功的程序, 绝大部分烧写以后都能正常运行, 对于大型复杂的程序必须使用单片机仿真器完成调试。

2. 仿真器

单片机是不停高速运行且内部不可见的智能芯片, 因此为其编写的程序或设计的应用系统一般总会存在问题, 仿真器 (ICE) 为用户应用系统软硬件排错提供了高效的技术手段。用一个可见的 (指编程者通过软件能够监测到)、可任意停止的虚拟单片机来代替实际单片机运行就是仿真器设计的初衷。仿真器插头一般和实际单片机的引脚数、引脚排列完全一致, 用其插头代替实际单片机装到应用系统硬件电路中, 运行效果与实际单片机完全一致。

仿真器是指以调试单片机软件为目的而专门设计制作的一套专用的硬件装置。最早的单