

# 单片机应用及 C51程序设计

第2版

陈涛 编著

- 简介 AT 系列和 STC 系列的 51 单片机
- 介绍面向 51 单片机的软硬件开发工具和实验平台
- 从标准 C 起步学习 C51
- 介绍 C51 提供的库函数和头文件
- 介绍 C51 的程序处理及混合编程、多任务编程
- 介绍  $\mu$  Vision 下的程序调试和调试资源
- 提供约占全书一半篇幅的实践项目和程序实例



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 单片机应用及 C51 程序设计

第 2 版

陈 涛 编著



机械工业出版社

本书第2版以目前广泛应用的AT系列和STC系列的51单片机、Keil C51编译器和 $\mu$ Vision集成开发环境为背景,并结合作者设计的单片机硬件实验装置,较全面地介绍了C51程序设计和程序处理方面的内容,其突出的特点是资料丰富、内容紧凑、讲解透彻,面向实践性教学环节,面向实际应用。

全书共分4篇。第1篇介绍51单片机的背景知识、典型芯片、开发环境和软硬件工具;第2篇介绍C51程序设计(包括混合编程和实时操作系统支持下的多任务编程)、库函数/头文件和程序的编译处理;第3篇为 $\mu$ Vision的典型操作和程序调试;第4篇为C51程序设计的实践项目和程序实例。

本书的特色:(1)面向学习和一般应用,介绍51单片机的典型芯片、常用开发工具和开发手段,特别是对 $\mu$ Vision下的调试资源和调试操作进行了较详细的描述;(2)从标准C起步学习C51,适合短学时的C51授课;(3)提供了较多的参考资料,并较多地采用了表格的描述形式,内容比较浓缩精炼;(4)设计了31个大的实践项目,并提供60多个从易到难可直接运行演示的程序实例;(5)每个程序实例都有详细的说明和注释,演示内容饶有趣味,其中许多C函数可以作为模块资源来加以利用。

本书可以用做高等院校、中等职业技术学校的教材和参考书,在单片机教学、实验、实训、课程设计和毕业设计等环节发挥作用;或者用做培训机构的单片机培训教材;或者供具有一定基础的读者自学。

本书也可从事单片机开发和嵌入式应用的工程技术人员提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机应用及C51程序设计/陈涛编著.—2版.—北京:机械工业出版社,2010.9

ISBN 978-7-111-31485

I. ①单… II. ①陈… III. ①单片微型计算机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第151331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:李馨馨

责任编辑:李馨馨 赵东旭

责任印制:乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2011年1月第2版·第1次印刷

184mm×260mm·29.75印张·736千字

0001-3500册

标准书号:ISBN 978-7-111-31489-9

定价:49.00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

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

## 第2版前言

本书于2008年元月初次出版,但围绕它的许多前期工作,实可追溯到2005年的年中。当时国内使用较多的51单片机还是Atmel公司的AT89S51/52(40脚)和AT89C1051/2051/4051(20脚);而且介绍它们的书籍资料也比较多,所以作者在时隔几年再次接手单片机课程时,选择了以AT89S51/52和C51编程语言作为该课程及实验的背景和工具,并设计了相应的实验装置,后来还编写了相应的实验指导书。这本面向单片机实践环节的教科书,就是在这一情况下产生的。

2007年,作者在指导学生毕业设计的过程中,开始了解到市面上有一种新的51单片机,即宏晶公司的STC89系列,它与AT89S51/52完全兼容,但在资源和性能上的表现则更为优越;特别是片中的Flash-ROM,具有更长的擦写寿命,并能提供4KB、8KB、13KB、16KB、20KB、32KB、61KB等不同的容量,而且其片内已经固化有支持“在线编程”(ISP)的引导程序,通过片上两线的UART串口即可进行程序下载,因此可直接在作者设计的实验装置中使用,而不需要另外配置编程器。只是当时收集的资料有限,所以直到付梓前才匆忙将少量内容加写到书稿中。此外,关于 $\mu$ Vision下的程序调试和调试资源,原来也计划写到书中,但因为内容实在偏多而时间又偏紧,所以最后未能如愿。

现在的第2版在一定程度上弥补了以上缺憾,除了修订原书中存在的错误,并重新对所有文字进行梳理外,新版书在编排和内容上有以下变化:

### (1) 全书编排由3篇调整为4篇

- 第1篇由第1~4章(共4章)构成。主要介绍51单片机的背景知识、常用芯片,以及它的开发环境和开发工具,大致相当于原书的上篇。其中,新版书用3.3.1节(廉价编程下载装置概述)取代了原来的3.2.1节(简易编程装置),并增加了1.4、3.1和3.4等几节。
- 第2篇由第5~9章(共5章)构成。主要讲述C51程序设计方法、程序处理过程、系统提供的代码资源和头文件资源,相当于原书的中篇,内容上变化不大。
- 第3篇由第10、11章构成。主要讲述 $\mu$ Vision的典型设置和典型操作,以及 $\mu$ Vision下的程序调试和调试资源。其中第10章由原书的下篇挪到了这里。这一篇的大部分内容都是新写的,包括篇幅很大的第11章和10.7节中的主要内容。
- 第4篇由第12~14章(共3章)构成。其中提供了一大批单片机应用的实践项目和程序实例,分别对应着软件模拟实验、针对实验主板的硬件实验和针对实验扩展板的硬件实验等3大类,相当于原书下篇中的最后3章,但增加了两个实践项目和几个程序实例。

### (2) 增写了以下内容

- 介绍了当前常用的51单片机——宏晶公司的STC89/90系列和STC10/11/12系列,内容包括芯片的品种、性能、资源和封装。并将STC单片机及其开发应用作为本书的又一条写作主线,除了介绍用STC-ISP工具实现在线下载外,还增加了用ISD51软件进行在线调试的内容。
- 介绍了 $\mu$ Vision编辑器的辅助功能和使用经验。
- 用较大篇幅详细介绍了 $\mu$ Vision提供的众多调试资源和调试手段,如存储器映射、断点操作、 $\mu$ Vision表达式、 $\mu$ Vision的调试命令和调试函数等,并给出4个综合运用各种手段进行软件模拟调试的程序实例。
- 增加了两个很有用的实践项目:“单片机操作U盘文件和目录”和“汉字菜单、数码输入和

键盘功能的典型配置”。

- 增加了若干程序实例。

此外,还有以下情况需要向读者说明:

- 书中介绍的实验装置在设计时使用了 Protel 99SE 软件工具,所以书中的所有电路图也用该软件来绘制,其中有些元器件的符号采用了早期使用的传统画法,与当前国家标准不同,请读者参考附录 D 中的对照表。
- $\mu$ Vision 提供的操作命令包括预处理命令、编译控制命令、连接定位命令、库管理命令和调试命令等几个大类。本书按可能的使用情况对它们做了不同的处理:对预处理命令(见 7.1 节)、编译控制命令(见 7.2 节)和调试命令(见 11.6 节)介绍得比较详细,对库管理命令(见 13.18 节)介绍得比较简单,至于连接定位命令则基本没有涉及,如果需要,读者可自行查阅相关资料。
- 受篇幅所限,本书再版时还是未能就某些内容进行展开——主要是指书中涉及到的电子器件和几种串行总线的原理及使用。有关这些内容,读者可参看其他教科书或直接到网上查阅。

作者曾长期从事第一线的教学工作,范围涉及大学本、专科,成人教育和研究生教育,深感对于一个工科学生来说,其动手能力的培养和锻炼十分重要,尤其是像单片机和嵌入式应用这样直接面向前沿应用的课程,更需要加强它的实践教学环节,希望本书能在这方面发挥一些作用。当然,也希望这本书能对那些已经从事单片机开发或将要从事这方面工作的同志提供一些帮助。

如有需要,读者可通过以下方式联系到作者:

电子邮箱:chentao@zzu.edu.cn

手机/电话:13663713070/0371-67755853

图书专栏:<http://www.eefocus.com/html/09-09/4155081108072Akj.shtml>

陈 涛

2010 年 8 月于郑州

# 第 1 版前言

本书是一本面向单片机应用和 C51 程序设计的学习指导教材,指导读者在 ANSI C 的基础上学习 C51,并依托具体的开发工具和实验装置,以实验与实例相结合的方式,介绍 51 单片机的应用及 C51 程序设计。

书中,背景芯片选了 Atmel 公司和 STC 公司的 51 单片机系列,集成开发环境选了 Keil 公司的  $\mu$ Vision,仿真调试工具选了 Keil 仿真器(用 SST 公司 SST89E564/516 芯片和 SoftICE 固件实现),编程工具选了简易的编程下载装置,硬件实验平台为本书作者设计的实验主板和扩展实验板。采用以上这些选择,是考虑到它们具有廉价和通用易得的特点,可以满足学校教学和个人自学的一般性需要。

指导读者学习和运用 C51 是本书的首要任务。C51 是一种面向 51 单片机的 C 语言,它把数据的分配、调度和运算等许多细节交由编译器来处理,从而提高了程序设计的抽象层次,减轻了程序员的劳动强度。与汇编程序相比,C 程序有两条突出的优点:① 容易阅读、理解和维护,② 模块化程度高、可重用性好、可移植性好。

当前,许多工科学生都学过 C。在此基础上,用较少时间从标准 C 过渡到 C51,应该是较好的学习方法。所以本书没有将整个 C51 从头再讲一遍,而是拿它与标准 C 相比较,着重介绍它们的差异、应用中的注意事项、程序的处理过程和系统提供的软件资源。实践表明,在单片机和嵌入式应用课程中引入 C,并向学生提供若干程序实例和模块资源,可大大降低学习难度、提高学习兴趣、加快学习和工作的进度。

除介绍 C51 外,本书在两个地方也涉及到汇编语言,一处是第 8 章,介绍 C51 和汇编语言的混合编程,目的是利用汇编语言在运行高效和定时准确方面的优势;另一处是第 12 章,对汇编语言和 C51 进行编程实例的比对,目的是让读者体会 C51 编程的特点和总体优势,尽快从汇编编程转到 C51 编程上来。

与本书配套的实验主板,由作者在 2005 年 11 月设计实现,并在作者执教的河南工业大学首先使用。该实验装置具有以下特点:

- 采用小板结构,可就近放在 PC 旁使用。
- 同时支持 51 单片机的总线应用和 I/O 应用。
- 同时提供并行连接和串行连接的实验资源。
- 通过外扩 8 KB RAM,支持 C51 的全部编译模式 (Small/Compact/Large)。
- 努力降低实验门槛,使学生容易上手。这一点主要体现在人机交互环节。例如,采用并口连接来支持 16 位 LED 显示、8 键键盘和 8 位开关量输入,采用串行同步移位传输来支持 6 位数码静态显示——其操控和编程都相对简单。如果键盘改用逐行扫描识别、数码显示改用动态扫描,虽能节约硬件开销,但学生难以掌握运用,特别是在学习的初期。
- 提供较丰富的实验资源。除了人机交互手段外,还提供了外部 SRAM、E<sup>2</sup>PROM 等存储手段,RS-232、RS-485 等通信联网手段,脉宽调制、D/A、A/D 等现场应用手段,同步移位、SPI、I<sup>2</sup>C 和 1-Wire 等串行传输手段。
- 通过配置较多的敏感器件(磁敏/光敏/热敏)、输出执行机构(无刷直流风扇/有源蜂鸣器/无源蜂鸣器/高亮 LED)和动态数据源(实时时钟、实测温度、实测风扇转速、实测 A/D 数据、实测光照强度等),提高实验的表现力、趣味性和实用性。

- 在实验主板上提供常用实验资源,通过主板上的总线插座连接不同的扩展板,将那些造价较高、利用率较低的实验资源安排在扩展板上实现。这样做,可实现系统的灵活配置,降低设备的成本和功耗,也为学生进行硬件设计、综合性设计以及创新活动提供了较大的操作空间。

2006年4月,作者编写了与该实验设备配套的实验/课程设计指导书(约120页),在校内印刷使用。本书就是在它的基础上,经进一步修改扩充而形成。

该套实验装置及教材,通过几届学生在课内实验、课程设计和毕业设计等教学环节的使用,取得了较好的效果,并已推向市场。此外,作者还通过指导毕业设计等环节,设计了一批实验扩展板,其中有一部分内容已反映在本书最后一章中。

在编排上,本书分上、中、下3篇,一共13章。

上篇主要讲51单片机的背景知识、开发环境和开发工具,一共4章。其中:第1章介绍51单片机的背景知识和AT89S51/52芯片;第2章介绍 $\mu$ Vision集成开发环境,包括其操作界面和操作手段;第3章介绍Keil仿真器和简易的编程下载装置;第4章介绍与本书硬件实验配套的实验主板,包括其电路结构和使用方法。

中篇主要讲C51程序设计方法、程序处理过程和系统提供的代码资源,一共5章。其中:第5章介绍在标准C的基础上学习C51;第6章介绍Keil C51提供的库函数和头文件;第7章介绍Keil C51的编译预处理和编译控制;第8章介绍C51和汇编语言的混合编程;第9章介绍RTX51-Tiny实时操作系统及多任务编程。

下篇是C51编程实践和实例,一共4章。其中:第10章介绍实验中 $\mu$ Vision的典型操作和典型设置;第11章介绍不需要任何硬件支持的软件模拟实验,含6个实践项目和20个程序实例,第12章介绍在实验主板上进行的硬件实验,含19个实践项目和30个程序实例,第13章介绍4种扩展实验板及针对它们的硬件实验,含4个实践项目和11个程序实例。所有程序实例都有比较详细的说明和注释,可供读者学习、理解、模仿或直接进行模块调用。

由于本书内容较多,所以书中省略了对所用芯片、器件和串行总线的介绍和描述。好在现在上网十分方便,这些资料可以轻松地从网上获得。

在本书成书过程中,我的同事李国平、金广锋、廉飞宇等给予了积极的支持,并在他们的教学实践中采用了相关的设备和教材,我的学生付振波、付韶峰、刘磊、张义亮、张鹏、陈浪等协助我完成了部分扩展板、编程器和实验编程方面的工作。在此我向他们再次表示感谢。

由于受作者水平和时间的限制,书中的错误和遗漏在所难免,敬请各位读者批评指正。作者的联系方式是:电话:0371-66971217 或 13663713070,电子邮箱:ct@ha.edu.cn 或 chentao@zzu.edu.cn。

编 者

2007年8月于郑州

# 目 录

## 第2版前言

## 第1版前言

## 第1篇 51 单片机开发的背景、环境和工具

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 第1章 单片机与 51 单片机 .....              | 1  |
| 1.1 单片机概述 .....                    | 1  |
| 1.2 51 单片机概述 .....                 | 2  |
| 1.3 Atmel 公司的 51 单片机 .....         | 4  |
| 1.4 宏晶公司的 51 单片机 .....             | 7  |
| 1.4.1 STC89 和 STC90 系列 .....       | 8  |
| 1.4.2 STC10 和 STC11 系列 .....       | 9  |
| 1.4.3 STC12 系列 .....               | 11 |
| 第2章 $\mu$ Vision 集成开发环境 .....      | 17 |
| 2.1 $\mu$ Vision 的配置方案和安装目录 .....  | 17 |
| 2.2 $\mu$ Vision 的主要构成 .....       | 18 |
| 2.3 $\mu$ Vision 中的主要软件工具 .....    | 19 |
| 2.3.1 项目管理器 .....                  | 19 |
| 2.3.2 编辑器 .....                    | 19 |
| 2.3.3 宏汇编器 .....                   | 20 |
| 2.3.4 C51 编译器 .....                | 20 |
| 2.3.5 连接定位器 .....                  | 21 |
| 2.3.6 调试器和软件模拟器 .....              | 22 |
| 2.3.7 仿真监控程序和高级 GDI 界面 .....       | 22 |
| 2.3.8 文件转换器 .....                  | 24 |
| 2.3.9 库管理器 .....                   | 24 |
| 2.4 $\mu$ Vision 中的其他资源 .....      | 24 |
| 2.4.1 函数库 .....                    | 24 |
| 2.4.2 头文件 .....                    | 25 |
| 2.4.3 RTX51 多任务实时操作系统 .....        | 25 |
| 2.4.4 样例程序 .....                   | 26 |
| 2.4.5 说明和帮助文件 .....                | 27 |
| 2.5 $\mu$ Vision 的两种工作状态 .....     | 27 |
| 2.6 菜单和 $\mu$ Vision 的其他操作手段 ..... | 29 |
| 2.7 工具栏和工具按钮 .....                 | 31 |
| 2.8 主要工作窗口和对话框 .....               | 33 |
| 2.8.1 项目工作区及其中的 5 个页面 .....        | 34 |

|              |                              |           |
|--------------|------------------------------|-----------|
| 2.8.2        | 用户区、源文件窗口和反汇编窗口 .....        | 35        |
| 2.8.3        | 输出窗口及其中的 3 个页面 .....         | 36        |
| 2.8.4        | 项目/文件组/文件选项设置对话框 .....       | 37        |
| 2.8.5        | 源浏览窗口 .....                  | 39        |
| 2.8.6        | 存储器窗口 .....                  | 40        |
| 2.8.7        | 监视与堆栈调用窗口 .....              | 41        |
| 2.8.8        | 外围设备对话框 .....                | 42        |
| 2.8.9        | 串口窗口 .....                   | 43        |
| 2.8.10       | 符号窗口 .....                   | 44        |
| 2.8.11       | 代码覆盖分析窗口 .....               | 45        |
| 2.8.12       | 性能分析器窗口 .....                | 45        |
| 2.8.13       | 逻辑分析仪窗口 .....                | 46        |
| <b>第 3 章</b> | <b>单片机应用系统的开发及工具 .....</b>   | <b>47</b> |
| 3.1          | 概述 .....                     | 47        |
| 3.2          | Keil 仿真器 .....               | 50        |
| 3.2.1        | Keil 仿真器的结构与使用 .....         | 51        |
| 3.2.2        | 仿真芯片及其中的固件 .....             | 52        |
| 3.2.3        | 在实验板上直接使用仿真芯片 .....          | 54        |
| 3.3          | 编程下载装置 .....                 | 54        |
| 3.3.1        | 廉价编程下载装置概述 .....             | 54        |
| 3.3.2        | 在实验板上直接用 STC 单片机进行程序下载 ..... | 56        |
| 3.4          | ISD51 在线调试器及其使用方法 .....      | 59        |
| 3.4.1        | ISD51 在线调试概述 .....           | 59        |
| 3.4.2        | ISD51 在线调试的工作机制 .....        | 60        |
| 3.4.3        | ISD51 提供的调试函数和调试实现步骤 .....   | 61        |
| 3.4.4        | ISD51 在线调试举例 .....           | 64        |
| 3.5          | STC 仿真器 .....                | 67        |
| <b>第 4 章</b> | <b>51 实验板介绍 .....</b>        | <b>68</b> |
| 4.1          | 板上的实验资源 .....                | 68        |
| 4.2          | 总体结构和元器件布局 .....             | 69        |
| 4.3          | 各跳线器和插孔的功能 .....             | 70        |
| 4.4          | 各单元电路的结构及使用 .....            | 72        |
| 4.4.1        | CPU 及周边电路 .....              | 72        |
| 4.4.2        | 存储器资源 .....                  | 75        |
| 4.4.3        | LED 显示 .....                 | 76        |
| 4.4.4        | 数码显示 .....                   | 76        |
| 4.4.5        | 按键和开关输入 .....                | 77        |
| 4.4.6        | 一些串行连接的芯片 .....              | 78        |
| 4.4.7        | 输出机构 .....                   | 80        |
| 4.4.8        | 两种串行异步通信电路及其接口 .....         | 82        |
| 4.4.9        | 外引总线 .....                   | 83        |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 4.4.10 供电 .....         | 84 |
| 4.5 实验板的常态设置和使用注意 ..... | 84 |

## 第2篇 C51 程序设计及程序处理

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第5章 从标准 C 到 C51 .....             | 86  |
| 5.1 C51 与标准 C 的简单比较 .....         | 86  |
| 5.2 C51 扩展的关键字 .....              | 87  |
| 5.3 C51 中的代码和数据 .....             | 88  |
| 5.3.1 存储区域和访问方式 .....             | 88  |
| 5.3.2 编译模式 .....                  | 90  |
| 5.3.3 数据的分类和构成 .....              | 91  |
| 5.3.4 定义变量的绝对地址 .....             | 94  |
| 5.3.5 指针 .....                    | 94  |
| 5.4 C51 中的函数 .....                | 97  |
| 5.4.1 函数定义的一般形式 .....             | 98  |
| 5.4.2 函数参数与返回值的传递 .....           | 99  |
| 5.4.3 工作寄存器组的使用 .....             | 102 |
| 5.4.4 中断函数 .....                  | 103 |
| 5.4.5 可重入函数 .....                 | 104 |
| 5.4.6 代码优化 .....                  | 105 |
| 第6章 库函数和头文件 .....                 | 107 |
| 6.1 概述 .....                      | 107 |
| 6.2 在头文件中定义的数据和数据类型 .....         | 109 |
| 6.2.1 头文件 REG52. H .....          | 109 |
| 6.2.2 头文件 ABSACC. H .....         | 110 |
| 6.2.3 头文件 STDARG. H .....         | 110 |
| 6.2.4 头文件 FLOAT. H .....          | 112 |
| 6.2.5 头文件 STDDEF. H .....         | 112 |
| 6.2.6 头文件 ASSERT. H .....         | 112 |
| 6.3 头文件 CTYPE. H 和字符操作函数 .....    | 113 |
| 6.4 头文件 STRING. H 和串操作函数 .....    | 114 |
| 6.5 头文件 STDIO. H 和标准输入/输出函数 ..... | 116 |
| 6.5.1 scanf() 函数 .....            | 118 |
| 6.5.2 printf() 函数 .....           | 119 |
| 6.5.3 _getkey() 函数 .....          | 120 |
| 6.5.4 putchar() 函数 .....          | 120 |
| 6.6 头文件 STDLIB. H 和标准杂函数 .....    | 121 |
| 6.7 头文件 MATH. H 和数学函数 .....       | 123 |
| 6.8 头文件 INTRINS. H 和内联函数 .....    | 125 |
| 6.9 头文件 SETJMP. H 和全程跳转函数 .....   | 126 |
| 6.10 C51 的启动文件和初始化文件 .....        | 127 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 6.10.1 启动文件 STARTUP. A51 .....      | 127 |
| 6.10.2 初始化文件 INIT. A51 .....        | 129 |
| <b>第7章 编译预处理和编译控制</b> .....         | 134 |
| 7.1 编译预处理 .....                     | 134 |
| 7.2 编译控制 .....                      | 136 |
| 7.2.1 编译的文件产物 .....                 | 136 |
| 7.2.2 编译控制命令的分类和实现 .....            | 137 |
| 7.2.3 编译控制命令的具体描述 .....             | 138 |
| <b>第8章 混合编程</b> .....               | 145 |
| 8.1 C51 程序的制作过程 .....               | 145 |
| 8.2 段的属性和段名前缀 .....                 | 146 |
| 8.3 数据目标 .....                      | 146 |
| 8.4 程序目标 .....                      | 147 |
| 8.4.1 程序目标中的3种段 .....               | 147 |
| 8.4.2 程序目标中的函数参数 .....              | 148 |
| 8.5 在C51程序中插入汇编行 .....              | 148 |
| 8.6 编写带有C51接口的汇编模块 .....            | 153 |
| 8.6.1 一个具体的例子 .....                 | 153 |
| 8.6.2 汇编模块制作方法讨论 .....              | 155 |
| <b>第9章 RTX51 实时操作系统及其使用方法</b> ..... | 160 |
| 9.1 多任务系统概述 .....                   | 160 |
| 9.2 任务的状态和任务的调度 .....               | 162 |
| 9.3 RTX51-Tiny 提供的主要文件 .....        | 163 |
| 9.4 RTX51-Tiny 提供的功能函数 .....        | 164 |
| 9.4.1 任务管理函数 .....                  | 165 |
| 9.4.2 事件等待函数和事件 .....               | 165 |
| 9.4.3 信号控制函数和信号 .....               | 166 |
| 9.5 RTX51-Tiny 的系统配置 .....          | 167 |
| 9.6 RTX51-Tiny 的应用举例 .....          | 168 |

### 第3篇 $\mu$ Vision 下的典型操作和程序调试

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| <b>第10章 <math>\mu</math>Vision 下的典型设置和典型操作</b> ..... | 172 |
| 10.1 项目的创建、打开和关闭 .....                               | 172 |
| 10.2 项目选项的设置 .....                                   | 173 |
| 10.3 项目中的文件及文件操作属性的设置 .....                          | 177 |
| 10.4 项目制作 .....                                      | 178 |
| 10.5 项目调试 .....                                      | 178 |
| 10.6 项目管理 .....                                      | 178 |
| 10.7 编辑器配置和编辑辅助功能 .....                              | 179 |
| 10.7.1 编辑器配置 .....                                   | 179 |
| 10.7.2 $\mu$ Vision 提供的编辑辅助功能 .....                  | 180 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第 11 章 $\mu$ Vision 中的程序调试           | 184 |
| 11.1 两种调试模式的应用特点及适用范围                | 184 |
| 11.2 存储器映射                           | 186 |
| 11.2.1 $\mu$ Vision 提供的仿真存储空间        | 187 |
| 11.2.2 映射方案及映射项目的访问属性                | 187 |
| 11.2.3 存储器映射对话框及其操作                  | 190 |
| 11.3 程序运行控制及断点操作                     | 190 |
| 11.3.1 $\mu$ Vision 对程序运行的控制         | 190 |
| 11.3.2 断点分类及到达断点时的判断和操作              | 191 |
| 11.3.3 断点对话框及其操作                     | 192 |
| 11.4 基于图形界面的调试操作                     | 194 |
| 11.5 $\mu$ Vision 表达式、表达式命令及其构成      | 199 |
| 11.5.1 常量                            | 199 |
| 11.5.2 符号概述                          | 200 |
| 11.5.3 地址与地址符号                       | 202 |
| 11.5.4 系统定义的变量和符号                    | 202 |
| 11.5.5 用户定义的变量和符号                    | 206 |
| 11.5.6 运算符及其操作属性                     | 206 |
| 11.5.7 表达式命令及其应用                     | 206 |
| 11.6 $\mu$ Vision 中的调试命令             | 207 |
| 11.6.1 调试命令的分类概述                     | 208 |
| 11.6.2 断点命令及其应用                      | 209 |
| 11.6.3 程序命令及其应用                      | 211 |
| 11.6.4 存储器命令及其应用                     | 214 |
| 11.6.5 监视点命令及其应用                     | 216 |
| 11.6.6 一般命令及其应用                      | 217 |
| 11.7 $\mu$ Vision 中的调试函数             | 224 |
| 11.7.1 调试函数概述                        | 224 |
| 11.7.2 调试命令与调试函数的比较                  | 227 |
| 11.7.3 调试函数与用户程序中 C 函数的比较            | 228 |
| 11.7.4 调试函数的编辑、编译和运行                 | 228 |
| 11.7.5 调试函数中的预定义函数                   | 230 |
| 11.7.6 调试函数中的信号函数                    | 233 |
| 11.7.7 调试函数中的用户函数                    | 237 |
| 11.8 在 $\mu$ Vision 中调用外部程序并向它传递参数   | 239 |
| 11.8.1 在 $\mu$ Vision 中何时会用到对外部程序的调用 | 239 |
| 11.8.2 通过命令行中的键序列向外部程序传递参数           | 241 |
| 11.8.3 通过自定义工具菜单访问外部程序               | 242 |
| 11.8.4 通过安装配置 VSS 6.0 实现软件版本控制       | 243 |
| 11.9 调试手段综合应用举例                      | 246 |
| 11.9.1 软件模拟调试——串口输入/输出               | 246 |
| 11.9.2 软件模拟调试——并口输入/输出               | 249 |
| 11.9.3 软件模拟调试——定时/计数器操作和外中断操作        | 251 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 11.9.4 软件模拟调试——用 A/D 转换通道作键盘接口 .....                           | 253 |
| <b>第 4 篇 C51 程序设计实践与实例</b>                                     |     |
| <b>第 12 章 软件模拟实验</b> .....                                     | 257 |
| 12.1 实验 R1——代码转换 .....                                         | 258 |
| 【例 R1-1】 分离多字节压缩 BCD 码(汇编) .....                               | 259 |
| 【例 R1-2】 采用直接地址访问分离多字节压缩 BCD 码(C51) .....                      | 259 |
| 【例 R1-3】 采用变量操作分离多字节压缩 BCD 码(C51) .....                        | 260 |
| 【例 R1-4】 分离多字节压缩 BCD 码并用标准 I/O 函数输入/输出(C51) .....              | 260 |
| 12.2 实验 R2——多字节数加减 .....                                       | 261 |
| 【例 R2-1】 3 字节二进制数相加(汇编) .....                                  | 261 |
| 【例 R2-2】 3 字节 BCD 码数相加(汇编) .....                               | 262 |
| 【例 R2-3】 3 字节 BCD 码数相减(C51) .....                              | 262 |
| 12.3 实验 R3——批量数据的统计和排序 .....                                   | 263 |
| 【例 R3-1】 统计批量数据中的正数、零和负数(汇编) .....                             | 263 |
| 【例 R3-2】 统计批量数据中的正数、零和负数(C51) .....                            | 264 |
| 【例 R3-3】 将一批单字节无符号数从小到大进行排序(汇编) .....                          | 265 |
| 【例 R3-4】 将一批单字节无符号数从小到大进行排序(C51) .....                         | 265 |
| 12.4 实验 R4——查表程序 .....                                         | 266 |
| 【例 R4-1】 用指令 <code>movc a,@a+dptr</code> 查单字节表求菲波那奇数(汇编) ..... | 266 |
| 【例 R4-2】 用指令 <code>movc a,@a+pc</code> 查单字节表求菲波那奇数(汇编) .....   | 267 |
| 【例 R4-3】 查双字节表求正弦函数(汇编) .....                                  | 267 |
| 【例 R4-4】 查双字节表求正弦函数(C51) .....                                 | 268 |
| 12.5 实验 R5——软件延时及子程序调用 .....                                   | 269 |
| 【例 R5-1】 编写延时为 10 ms 的子程序并对其进行调用(汇编) .....                     | 269 |
| 【例 R5-2】 编写延时函数并对其进行调用(C51) .....                              | 270 |
| 12.6 实验 R6——定时器计数和外中断事件的软件模拟 .....                             | 270 |
| 【例 R6-1】 用软件仿真模拟定时器的计数操作(汇编) .....                             | 271 |
| 【例 R6-2】 用软件仿真模拟定时器的计数操作(C51) .....                            | 272 |
| 【例 R6-3】 用软件仿真模拟外中断事件(C51) .....                               | 272 |
| <b>第 13 章 针对实验主板的硬件实验</b> .....                                | 273 |
| 13.1 实验 Y1——单个 I/O 引脚的输入和输出 .....                              | 273 |
| 【例 Y1-1】 用 INT1 按键控制有源蜂鸣器的鸣响(C51) .....                        | 274 |
| 【例 Y1-2】 令发光数码管循环显示十六进制数码 0~F(C51) .....                       | 274 |
| 13.2 实验 Y2——P0 口操作和 LED 显示 .....                               | 275 |
| 【例 Y2-1】 用 P0 口 I/O 操作实现 8 位 LED 左流水点亮(C51) .....              | 276 |
| 【例 Y2-2】 用总线操作方式实现 16 位 LED 右流水点亮(C51) .....                   | 276 |
| 13.3 实验 Y3——开关量输入和键盘操作 .....                                   | 276 |
| 【例 Y3-1】 用 LED 显示拨动开关的状态(C51) .....                            | 277 |
| 【例 Y3-2】 带换档功能的 8 键键盘的识别(C51) .....                            | 278 |
| 13.4 实验 Y4——外部 SRAM 芯片的读写操作 .....                              | 279 |
| 【例 Y4-1】 读写外部扩展的静态 RAM 芯片 6264(C51) .....                      | 280 |
| 13.5 实验 Y5——中断应用 .....                                         | 281 |

|           |                                                                    |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 【例 Y5-1】  | 用外中断按键 INT1 改变 LED 流水显示的方向(C51)                                    | 281 |
| 【例 Y5-2】  | 使用外中断 INT1 键和 INTO 键分别进行计数和清 0 操作(C51)                             | 282 |
| 13.6      | 实验 Y6——定时器应用                                                       | 283 |
| 【例 Y6-1】  | 用查询定时器溢出标志的方法控制流水灯显示的节奏(C51)                                       | 287 |
| 【例 Y6-2】  | 用定时器中断控制流水灯显示的节奏(C51)                                              | 287 |
| 【例 Y6-3】  | 用定时器和无源蜂鸣器演奏新疆民歌《美丽的姑娘》(C51)                                       | 288 |
| 【例 Y6-4】  | 用无源蜂鸣器演奏带半音的转调乐曲《在银色的月光下》(C51)                                     | 290 |
| 13.7      | 实验 Y7——串口应用                                                        | 292 |
| 【例 Y7-1】  | 通过实验板上的 RS-232 串口实现串行数据的自发自收(C51)                                  | 293 |
| 【例 Y7-2】  | 通过 RS-232 串口实现 PC 与实验板之间的双向通信(C51)                                 | 295 |
| 13.8      | 实验 Y8——用脉宽调制实现 D/A 转换                                              | 297 |
| 【例 Y8-1】  | 利用 PWM 原理实现分档键控 D/A 转换(C51)                                        | 297 |
| 【例 Y8-2】  | 利用 PWM 原理实现近似的锯齿波输出(C51)                                           | 299 |
| 13.9      | 实验 Y9——直流风扇转速的测量和控制                                                | 300 |
| 【例 Y9-1】  | 通过霍尔器件和 INTO 中断测试直流风扇的每秒转数(C51)                                    | 301 |
| 【例 Y9-2】  | 用按键实现对直流风扇转速的分档控制(C51)                                             | 302 |
| 【例 Y9-3】  | 采用简单控制策略将风扇转速控制在设定值(C51)                                           | 305 |
| 13.10     | 实验 Y10——脉冲参数的测量                                                    | 307 |
| 【例 Y10-1】 | 测试由霍尔器件产生的脉冲的周期、高电平持续时间和占空比(C51)                                   | 307 |
| 13.11     | 实验 Y11——串口实时时钟芯片 DS1302 的使用                                        | 310 |
| 【例 Y11-1】 | 对串口实时时钟芯片 DS1302 进行多种操作(C51)                                       | 310 |
| 【例 Y11-2】 | 利用 16 键扩展键盘设置 DS1302 中的时间数据(C51)                                   | 315 |
| 13.12     | 实验 Y12——I <sup>2</sup> C 口 E <sup>2</sup> PROM 芯片 AT24C02 的使用      | 320 |
| 【例 Y12-1】 | 对带 I <sup>2</sup> C 口的 E <sup>2</sup> PROM 芯片 AT24C02 进行写/读操作(C51) | 321 |
| 13.13     | 实验 Y13——SPI 口 E <sup>2</sup> PROM 芯片 AT93C46 的使用                   | 324 |
| 【例 Y13-1】 | 对带 SPI 口的 E <sup>2</sup> PROM 芯片 93C46 进行 8 位写/读操作(C51)            | 325 |
| 13.14     | 实验 Y14——SPI 口 A/D 转换芯片 ADC0832 的使用                                 | 330 |
| 【例 Y14-1】 | 对带 SPI 串口的 A/D 转换芯片 ADC0832 进行操作(C51)                              | 331 |
| 13.15     | 实验 Y15——单总线数字测温芯片 DS18B20 的使用                                      | 334 |
| 【例 Y15-1】 | 对一片单总线数字测温芯片 DS18B20 进行相关操作(C51)                                   | 335 |
| 【例 Y15-2】 | 对一片 DS18B20 进行设置数据、读取数据和 CRC 校验操作(C51)                             | 337 |
| 【例 Y15-3】 | 搜索总线上所有的 DS18B20 并进行测温和数据输出(C51)                                   | 341 |
| 13.16     | 实验 Y16——键控数字钟                                                      | 346 |
| 【例 Y16-1】 | 用 4 个按键实现键控 24 小时整点报时数字钟(C51)                                      | 347 |
| 13.17     | 实验 Y17——C51 与汇编语言的混合编程                                             | 350 |
| 【例 Y17-1】 | 在程序中嵌入汇编行(混合)                                                      | 351 |
| 【例 Y17-2】 | 在程序中嵌入汇编模块,实现 RS-485 单工通信(混合)                                      | 352 |
| 13.18     | 实验 Y18——自建函数库及其使用                                                  | 355 |
| 【例 Y18-1】 | 用自建函数库实现“带换档功能的 8 键键盘的识别”(C51)                                     | 356 |
| 13.19     | 实验 Y19——实时操作系统 RTX51-Tiny 及多任务编程                                   | 359 |
| 【例 Y19-1】 | 蜂鸣器奏乐、数码管循环显示、LED 流水显示的并行操作(C51)                                   | 360 |
| 【例 Y19-2】 | 用 RTX51-Tiny 和多任务编程实现键控整点报时数字闹钟(C51)                               | 362 |

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 第 14 章 针对扩展板的硬件实验 .....                               | 371 |
| 14.1 实验 K1——8255/矩阵键盘/数码动态显示扩展板实验 .....               | 372 |
| 【例 K1-1】 8255 扩展板上 8 个数码管的动态扫描显示(C51) .....           | 374 |
| 【例 K1-2】 8255 扩展板上 16 键键盘的逐行扫描识别和键值显示(C51) .....      | 375 |
| 14.2 实验 K2——液晶显示扩展板实验 .....                           | 376 |
| 【例 K2-1】 通过 I/O 访问在 1602A 液晶屏上显示西文字符(C51) .....       | 380 |
| 【例 K2-2】 通过总线访问在 1602A 液晶屏上显示动态的时间数据(C51) .....       | 383 |
| 【例 K2-3】 通过总线访问在 12232A 液晶屏上显示粗细不断变化的线条(C51) .....    | 386 |
| 【例 K2-4】 通过 I/O 访问在 12864C 液晶屏上显示汉字和动态测温数据(C51) ..... | 388 |
| 14.3 实验 K3——语音录放扩展板实验 .....                           | 393 |
| 【例 K3-1】 用 APR9600 随机存取模式进行 8 段键控录音和放音(C51) .....     | 396 |
| 【例 K3-2】 用 APR9600 录音带模式实现顺序录音和顺序放音(C51) .....        | 399 |
| 【例 K3-3】 用 ISD1420 和两个程序分别实现录音及语音播报当前温度(C51) .....    | 402 |
| 【例 K3-4】 用 ISD4002 实现录音和语音播报直流风扇的每秒转数(C51) .....      | 408 |
| 14.4 实验 K4——步进电机扩展板实验 .....                           | 412 |
| 【例 K4-1】 两相微型步进电机的 4 拍驱动和 8 拍驱动(C51) .....            | 414 |
| 14.5 实验 K5——单片机操作 U 盘文件和目录 .....                      | 418 |
| 【例 K5-1】 单片机对 U 盘文件/目录的管理和操作(C51) .....               | 421 |
| 14.6 实验 K6——汉字菜单、数码输入和键盘功能的典型配置 .....                 | 429 |
| 【例 K6-1】 一个演示汉字菜单、数码输入和键盘功能典型配置的程序(C51) .....         | 433 |
| 附录 .....                                              | 451 |
| 附录 A 51 单片机分类指令表 .....                                | 451 |
| 附录 B 7 位 ASCII 码表 .....                               | 455 |
| 附录 C 系统配置及检测/演示芯片的使用 .....                            | 455 |
| 附录 D 关于本书电路图的几点说明 .....                               | 458 |
| 参考文献 .....                                            | 460 |

# 第 1 篇 51 单片机开发的背景、 环境和工具

## 第 1 章 单片机与 51 单片机

本章前两节介绍单片机和 51 单片机的背景情况，后两节分别介绍 Atmel 公司和宏晶公司的 51 单片机系列（分别以“AT”和“STC”作为其产品标识），由于它们价格低廉，品种多样，可以满足不同用户的不同需求，所以成为目前国内市场上应用较多的 51 单片机品种。其中，40 脚 DIP 封装的 AT89S51/52 和 STC89/90/12 系列中的相应产品被选为本书的背景芯片，以配合本书所介绍的实验装置。这些芯片均支持串行“在线编程”——也称“在系统编程”（In-System Program, ISP），其区别仅仅在于，AT 芯片的串行“在线编程”通过片上 3 线制的同步串口（SPI）进行，而 STC 芯片的串行“在线编程”通过片上二线制的异步串口（UART）进行。

### 1.1 单片机概述

单片机，国外通称它为“微控制器”（Microcontroller），是一类面向控制的微处理器芯片。芯片中除中央处理器（CPU，包括控制器和运算器）外，一般还包括只读存储器（ROM）、随机存取存储器（RAM）、定时/计数控制器、中断控制器、串行和并行 I/O 端口等，有的单片机还可能拥有更多的硬件资源。

除存储器外，所有这些片内资源可分为以下 3 类，它们均通过单片机内部的特殊功能寄存器（SFR）来进行管理和操控。

1) 对 CPU 的支持功能——指增强 CPU 的控制能力、运算能力、及时响应能力和保证它正常工作的一些功能和机制，如中断系统、硬件乘法器、看门狗定时器（WDT）、多种复位机制、内部上电延时（避免在系统还未稳定时就开始工作）、掉电检测（在掉电刚发生时保存现场数据以便后期恢复）、时钟切换（低频时钟有利于系统节能）、锁相环（PLL）倍频电路（使 CPU 和外围电路采用不同的时钟频率）等。

2) 内置的外围设备——指拥有独立功能的片内设备，如定时计数器、模拟比较器、数/模转换器（DAC）、模/数转换器（ADC）、可编程计数阵列（PCA）、高速 I/O（计数器捕捉/比较）、脉宽调制输出（PWM）、液晶显示（LCD）驱动电路、直接存储器存取（DMA）控制器等。

3) 数据传输和通信接口——指连接外界的各种数据通道和通信接口，如并行数据口、UART 口、SPI 口和 I<sup>2</sup>C 口、CAN 总线接口、USB 总线接口、红外和射频通信接口等。

单片机通过嵌入到某个宿主应用系统，并成为其控制中心来发挥作用，具有面向控制、嵌入应用的特点，具体表现为以下一些特征：

- 价格敏感。
- 强调适用对路，并不一味追求高指标。
- 需要借助专门的开发工具来进行开发，不能自举开发。
- 面对众多的单片机品种，设计者在选型使用上存在一定的惯性。

除价格因素外，设计者考虑的其他因素有：字长和运算精度、适用工作电压和温度范围、工作频率和运行速度、片内资源、I/O 引脚的数目和驱动能力、芯片封装和体积、芯片的抗干扰能力及功耗，围绕该芯片的开发工具及自己的熟悉程度等。

单片机按处理字长可分为 4 位机、8 位机、16 位机和 32 位机等。其中，用途最广、产量最大的是 8 位机，被大量用于各种智能产品和集散控制系统。近年来，32 位机（如 ARM 系列）也得到了飞速的发展，产值已与 8 位机相当，其应用特点是普遍采用嵌入式操作系统，可支持复杂的人机操作界面和提供精度更高、速度更快的数据处理，主要应用于各种高端场合和大型设备。

正是由于单片机应用环境和应用目标的广泛性和多样性，以及较低的行业进入门槛，使得单片机在全球拥有众多的生产厂商，其产品种类繁多（几千种或者更多），产能巨大（全球销量每年达几十亿片、我国达几亿片），并且各有各的特色，也各有各的市场。例如，有的单片机品种已有较长的生产历史，但今天依然销售得很好，这与通用微处理器和通用微机不断更新换代的情况形成了非常鲜明的对照。

## 1.2 51 单片机概述

51 单片机起源于 20 世纪 80 年代初，当时，Intel 公司继 MCS-48 系列之后推出了新的单片机系列，其中，8051 是最典型的一款，因此，该系列遂被命名为 MCS-51 系列。其实，该系列中包含有 51 和 52 两个子系列，其主要型号及特征如表 1-1 所示。

表 1-1 MCS-8051 单片机系列

| 型 号  | ROM/KB    | RAM/B | 定时器      | 中断             | UART 串口 | I/O 引脚 |
|------|-----------|-------|----------|----------------|---------|--------|
| 8051 | 4（掩膜 ROM） | 128   | 16 位，2 个 | 5 个中断源，2 级优先结构 | 1       | 8×4    |
| 8031 | 无         | 128   | 16 位，2 个 | 5 个中断源，2 级优先结构 | 1       | 8×4    |
| 8751 | 4（EPROM）  | 128   | 16 位，2 个 | 5 个中断源，2 级优先结构 | 1       | 8×4    |
| 8052 | 8（掩膜 ROM） | 256   | 16 位，3 个 | 6 个中断源，2 级优先结构 | 1       | 8×4    |
| 8032 | 无         | 256   | 16 位，3 个 | 6 个中断源，2 级优先结构 | 1       | 8×4    |
| 8752 | 8（EPROM）  | 256   | 16 位，3 个 | 6 个中断源，2 级优先结构 | 1       | 8×4    |

MCS-51 单片机最初采用 HMOS 工艺（高性能 NMOS），后来改用更为省电的 CHMOS 工艺（产品名中加有字符“C”，如 80C51），并衍生出一批采用同一内核的单片机品种，比如用于网络通信的 8044、8344、8744 等。

MCS-51 单片机字长 8 位，采用 ROM 空间和 RAM 空间分置的结构，其 ROM 空间和片外 RAM（含 I/O）的寻址能力都是 64 KB。由于采用同一系统总线和不同的指令来进行代码和数据的访问，所以严格地说，它还不是典型的“哈佛（Harvard）结构”。

MCS-51 单片机使用 1.2~12 MHz 的系统时钟，其指令系统内含 111 条指令，支持位寻址和布尔运算。此外，芯片有 4 个 8 位宽度的输入输出端口（32 个可独立控制的 I/O 引脚），并内置若干外围设备，这些硬件资源均通过片内的特殊功能寄存器（SFR）来进行管理和操控。以上这些特点，使得它适合用于各种控制场合，很快便赢得了人们的青睐。