



工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高职高专规划教材

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN GUIHUA JIAOCAI

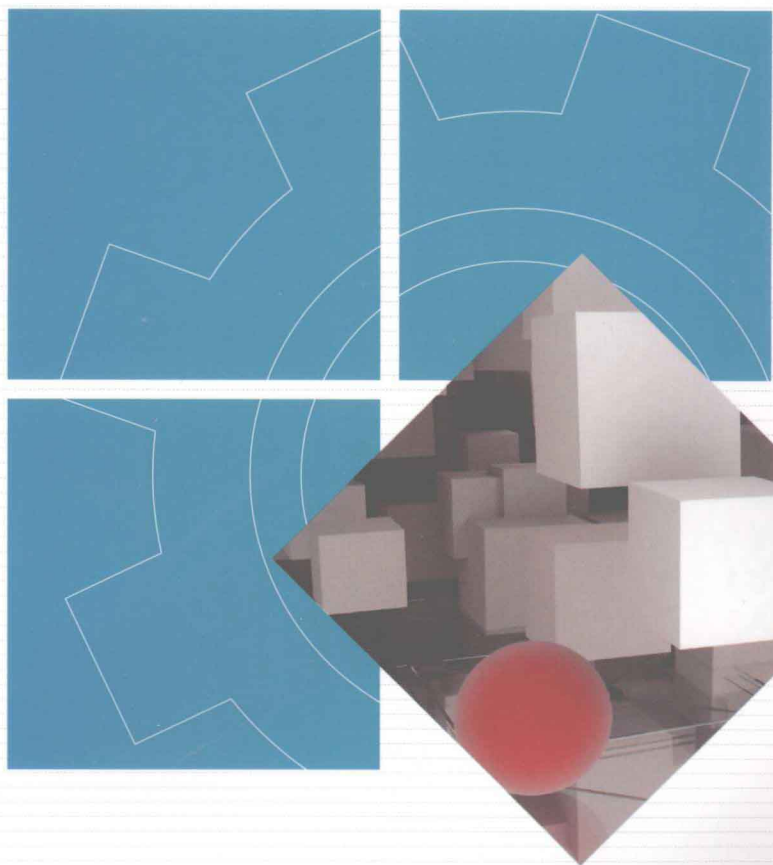
单片机应用技术

(C语言版)



Danpianji Yingyong Jishu
(C Yuyanban)

■ 李文华 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部高职高专“十二五”规划教材立项项目



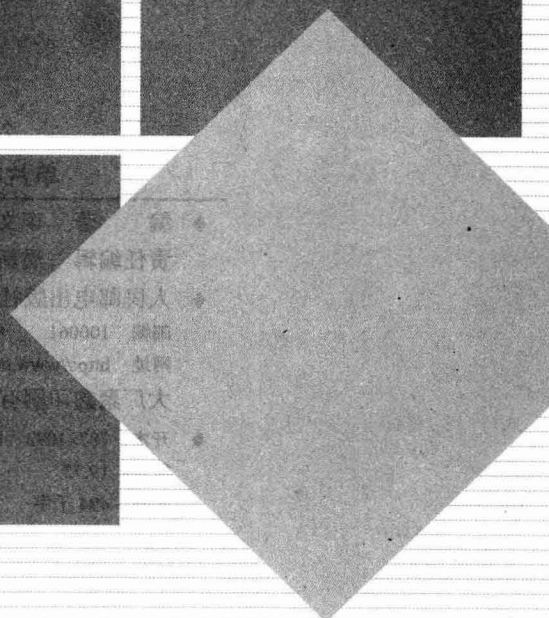
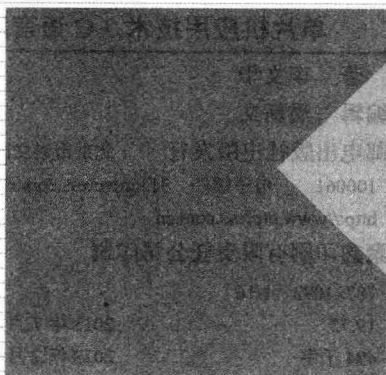
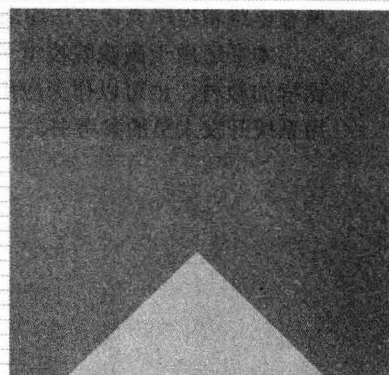
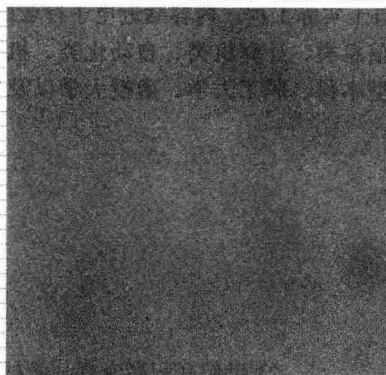
21世纪高职高专规划教材

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN GUIHUA JIAOCAI

单片机应用技术

(C语言版)

■ 李文华 编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

单片机应用技术：C语言版 / 李文华编著. -- 北京：
人民邮电出版社，2011.7(2013.2 重印)
21世纪高职高专规划教材
ISBN 978-7-115-25124-4

I. ①单… II. ①李… III. ①单片微型计算机—高等
职业教育—教材②C语言—程序设计—高等职业教育—教
材 IV. ①TP368.1②TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第076229号

内 容 提 要

本书根据企业对单片机应用系统开发的能力要求，结合目前最新的职业教育改革要求，按照“项目化教学”的原则，以C语言为程序设计语言，整合了C程序设计和单片机原理与接口技术的内容，选用7个项目共19个典型任务，以产品制作为载体，在产品制作的过程中讲解单片机的应用技术。本书以掌握单片机应用技能为目标，打破了知识体系的束缚，将C语言知识、单片机知识拆分在各个任务中讲解，所有电路和程序设计方法均来自于实际工程，内容贴近电子行业的岗位能力要求。

本书适用于高职院校电子信息类、计算机类、自动化类、机电类以及制造类各专业作为单片机技术课程的教材，也可以作为应用型本科、职工大学、函授大学以及单片机技术培训班的教材以及单片机应用系统开发人员的参考书。

21世纪高职高专规划教材

单片机应用技术(C语言版)

-
- ◆ 编 著 李文华
责任编辑 潘新文
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：19.75 2011年7月第1版
字数：494千字 2013年2月河北第2次印刷

ISBN 978-7-115-25124-4

定价：36.00元

读者服务热线：(010)67170985 印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154

前言

随着硬件技术水平的提高，“单片机应用系统开发只能使用汇编语言”的局限性已被打破，“提高开发速度，缩短开发周期，降低开发成本”的客观实际要求单片机应用系统的开发选择高级语言。目前，企业上进行单片机应用系统开发的主流语言是 C 语言。然而，在目前的单片机应用技术类教材中，绝大多数的是汇编语言版的单片机应用技术教材，一方面学习的难度大，另一方面与企业的主体需求有一定的差距。鉴于这种现状以及培养高技能人才的现实需要，我们在湖北省省级精品课程“单片机技术应用与系统开发”的建设和湖北省省级教学改革项目“基于工作过程的‘单片机技术应用与系统开发’的改革”的研究过程中，对长三角、珠三角等区域的企业进行了大量调研，与企业一道认真分析了单片机应用系统开发的能力要求，与浙江温州海融科技有限公司联合编写了本书。本书具有以下特点。

1. 按项目重构课程内容，用实例组织单元教学

本书分为 8 个项目共 19 个任务，讲解了单片机应用系统的开发过程、设计方法和基本技能。全书按项目编排，每一项目包括了若干个任务。单片机应用系统设计所需要的基本知识和基本技能穿插在各个任务完成的过程中讲解，每一个任务则只讲解完成本任务所需要的基本知识、基本方法和基本技能，从而将知识化整为零，降低了学习的难度。全书不仅包含了单片机的全部知识和应用系统扩展常用方法和技术，而且包括了实际产品设计与制作中的许多实用技术。

2. 融“教、学、做”于一体，突出教材的实践性

书中每一个任务都是按以下方式组织编排的：①任务要求，②相关知识，③任务实施，④应用总结与拓展。其中，任务要求是读者实践时的目标要求，后续的各部分都是围绕着任务的实现而展开的。相关知识部分主要供读者在完成时间阅读之用，也是本任务完成后所要掌握的基本知识。任务实施包括硬件电路搭建和软件程序编写，这一部分是读者实践时必须亲手做的事情，其中穿插了相关方法、技能和技巧的介绍。应用总结与拓展主要是进行知识和技能的梳理与总结，并适当进行拓展。本书融“教、学、做”于一体，读者会在完成任务的过程中不知不觉地学会单片机的应用技术。

3. 校企联合打造，内容反映了企业的需求，突出了教材的实用性和实效性

一方面，浙江温州海融科技有限公司的杨文总工程师直接参与了本书的规划和内容的制订；另一方面，本书的作者是单片机应用技术课程的任课教师，又在企业从事过十多年的单片机应用系统开发工作。本书的内容来源于实际产品的设计制作，无论是器件的选型，还是电路的设计以及程序的编写都反映了工程上的实际需求。

在外围扩展方面，强化了串行扩展的运用。现代的单片机应用系统设计中，扩展的主流方向是，以串行扩展为主，并行扩展为辅。书中所介绍的外围扩展主要是串行扩展，结合实例介绍了 SPI、I²C、One-Wire 等总线接口的扩展方法。由于现代的增强型 51 单片机都集成了容量

不等的存储器,如 STC89C58 单片机片内集成有 256B 的片内 RAM、32KB 的 Flash Rom、1280B 的扩展 RAM、16KB 的 EEPROM,STC89C516 中的程序存储器有 64KB,应用系统的设计完全不必扩展外部存储器,书中删除了对片外存储器扩展的讲解,避免读者学习那些在实际工程中基本不用的东西。

在单片机程序的编写上,强化了对工程上的实用方法的介绍,避免了理想化的设计。例如,在键盘处理的各个实例中,我们把键盘处理的知识点放在定时中断服务中进行处理,利用两次定时中断的时差去抖动,不仅介绍了消除按键连击的方法,而且还介绍了加、减键处理中充分利用按键连击的方法,还介绍了一键多功能的处理方法。在数据显示处理中,我们介绍了扫描显示时消隐处理方法和多个数码管静态和闪动混合显示处理方法。在系统程序设计过程中,不仅介绍系统功能的实现问题,还详细地介绍硬件抗干扰和软件抗干扰方法,不仅介绍单个状态的应用系统的设计,更重要的是用实例讲解具有多个状态的应用系统的设计方法。所有这些,既是以往课程中很少涉及的问题,又是工程实际中不可回避的问题。

4. 采用 C 语言编程,贴近职业岗位的需求

单片机的应用程序开发可以选择汇编语言,也可以选择 C 语言。但是,汇编语言编程难度大,程序的可移植性差,学生很难掌握,目前企业一般不采用汇编语言开发单片机应用系统。与之相反的是,C 语言编程难度相对容易,开发速度快,可移植性好,是当今单片机应用系统开发的主流语言。本书选用 C 语言作为编程语言,以单片机的应用为主线,以产品制作为载体,把 C 语言的基本知识穿插在各个工作任务中讲解,让读者在实践训练中体会 C 语言的运用,逐步掌握 C 程序的设计方法,避免了以往将 C 语言作为单独一门课程讲解,致使学生难以学以致用。采用 C 语言作为单片机应用技术的编程语言,更贴近职业岗位的需求。

5. 突出了虚拟接口与虚拟器件的思想

虚拟接口与虚拟器件是目前单片机应用系统设计的一大特色,采用这一思想,可以利用单片机的软件资源实现一些接口和器件的功能,给应用系统设计带来了极大的灵活性。本书在编写中充分地反映了这一特点。例如,在串行扩展中,我们给出 SPI、I²C、One-Wire 等多种串行通信的模拟软件包,应用这些软件可以灵活地扩展出各种串行接口。

6. 提供了配套的实训平台,避免了教材与实训系统相互脱节

单片机技术是一门实践性非常强的课程,除了要加课堂学习之外,还需要强有力的实践性环节与之配合。因此,我们研制并推出了“MFSC-1 实训平台”、“MFSC-2 实训平台”、“MFSC-3 实训平台”三种不同类型的实训平台。“MFSC-3 实训平台”适用于课堂教学实训,“MFSC-2 实训平台”是一个经济型的实训平台,它是 MFSC-3 的简化版,适合于读者课外训练,“MFSC-1 实训平台”用于课程设计、毕业设计、实习和实际动手实训等多种实践环节。实训系统和本教材配套,避免了以往出现的教材与实训系统相互脱节,真正做到课堂内外相互统一。如果使用本教材的院校在搭建实训平台时有困难,可以与作者联系 (E-mail: lizhuqing_123@163.com)。

7. 提供了丰富的教学资源,方便教师备课和读者学习

本书提供了 5 种教学资源:①19 个任务的目标文件(hex 文件),②19 个任务的源程序文件,③书中所有芯片的 pdf 文档,④书中所有习题的解答,⑤单片机应用系统开发中的常用工具软件。其中,各任务的目标文件供读者学习前观察任务的实现效果之用,源程序供读者学习借鉴之用,各芯片的 pdf 文档供读者学习查阅之用,常用的工具软件可以节省读者收集开发工

具的时间。所有资源可直接从人民邮电出版社网站上下载，也可以向作者索取。

在使用本书时，建议采用“教、学、做”一体化的方式组织教学，最好是在具有实物投影的单片机实训室内组织教学。教学时，建议先按书中所给的电路图搭建好硬件电路，将我们所提供的目标文件（也可以由源程序文件编译连接生成）上载至单片机中，让学生观看实际效果并体会任务要求的真实含义，以便激发学生的学习兴趣。然后引导学生边学边做，直至任务完成，让学生在“做”中体会和总结单片机的应用。本书的项目1至项目6是单片机基本应用项目，项目7是单片机应用系统扩展项目，项目8是复杂的单片机应用系统开发项目。如果学时不多，建议选取项目1至项目6进行学习，这一部分包括了开发工具的使用方法、单片机的基本功能的应用和C语言程序设计的基本技能。

本书成稿的过程中，曾得到过许多同仁和朋友的帮助和支持。浙江温州海融科技有限公司的杨文总工程师参与了本书的规划和内容的制定。长江大学的徐爱钧教授、湖北第二师范学院的焦启民教授、深圳职业技术学院的王晓春教授、湖北仙桃职院的徐国洪教授、浙江工商职业技术学院的黄崇本教授、武汉铁道职业技术学院的郑毛祥教授、上海理工大学的李凯、长江职业技术学院的邓柳、河北衡水职业技术学院的曹月珍、湖北黄冈职院的郭福州等多位老师对本书的编写提出了许多积极宝贵的意见并给予极大的关心和支持。刘长秀、李凯、杨威、罗改龙等为本书的有关资料的收集和整理做了大量的工作，朱开坤绘制本书的插图。没有他们就没有这本书的出版，谨此表示感谢！

尽管我们在本书的编写方面做了许多努力，但由于编者的水平有限，加之时间紧迫，错误不当之处难免，恳请各位读者批评指正，并将意见和建议及时反馈给我们，以便下次修订时改进。所有意见和建议请发往：lizhuqing_123@163.com。

编者

2011年2月

目 录

项目 1 单片机应用系统开发入门实践	1	习题	35
任务 1 控制 1 只发光二极管闪烁显示	1	任务 3 控制楼梯灯	37
【任务要求】	1	【任务要求】	37
【相关知识】	1	【相关知识】	37
1. 单片机的引脚功能	1	1. 关系运算	37
2. 单片机的内部结构	2	2. 逻辑运算	38
3. 单片机的存储组织结构	4	3. 表达式语句与复合语句	39
4. 单片机的最小系统	7	4. if 分支结构	40
5. C51 程序的特点	9	5. 并行端口 P2 的应用特性	41
【任务实施】	10	6. 并行端口 P3 的应用特性	41
1. 搭建电路	10	【任务实施】	42
2. 建立 keil 工程	11	1. 搭建硬件电路	42
3. 配置工程	14	2. 编写软件程序	42
4. 编译、连接	17	【应用总结与拓展】	43
5. 调试程序	18	文件包含	43
6. 用 ISP 工具上载 Hex 文件至 单片机中	22	习题	43
【应用总结与拓展】	23	任务 4 制作跑马灯	45
习题	24	【任务要求】	45
项目 2 单片机的并行 I/O 口应用实践	26	【相关知识】	45
任务 2 显示开关量的输入状态	26	1. 算术运算	45
【任务要求】	26	2. 位操作运算	46
【相关知识】	26	3. 循环结构	48
1. C51 中的数据类型	26	【任务实施】	51
2. 常量与变量	27	1. 搭建硬件电路	51
3. 赋值运算	28	2. 编写软件程序	51
4. 特殊功能寄存器的定义	29	【应用总结与拓展】	53
5. 并行端口 P0 的应用特性	30	1. C51 中的内嵌函数	53
6. 并行端口 P1 的应用特性	32	2. 在 C51 程序中嵌入汇编程序	53
【任务实施】	32	习题	56
1. 搭建电路	32	任务 5 制作流水灯	58
2. 编写程序	33	【任务要求】	58
【应用总结与拓展】	34	【相关知识】	58
宏定义	34	1. 函数	58
		2. C51 中变量的存储类型	61
		3. 一维数组	61

4. 查表程序	63	【任务要求】	90
【任务实施】	63	【相关知识】	90
1. 搭建硬件电路	63	1. 定时/计数器的组成结构	90
2. 编写软件程序	64	2. 控制定时/计数器运行的特殊 功能寄存器	91
【应用总结与拓展】	65	3. 定时/计数器的工作方式	93
1. 全局变量与局部变量	65	4. 计数初值的装入	95
2. 二维数组	66	5. 定时/计数器的编程方法	96
3. 字符数组	66	【任务实施】	100
习题	68	1. 搭建硬件电路	100
项目 3 单片机的中断与低功耗工作 方式应用实践	70	2. 编写软件程序	100
任务 6 显示按键按下的次数	70	【应用总结与拓展】	103
【任务要求】	70	习题	103
【相关知识】	70	扩展实践	105
1. 单片机的中断系统结构	70	任务 9 制作简易频率计	106
2. 中断系统中的特殊功能寄存器	71	【任务要求】	106
3. C51 中的中断编程方法	74	【相关知识】	106
【任务实施】	75	1. 定时/计数器作计数器使用	106
1. 搭建硬件电路	75	2. 测量频率的方法	107
2. 编写软件程序	76	【任务实施】	108
【应用总结与拓展】	78	1. 搭建硬件电路	108
习题	79	2. 编写软件程序	108
扩展实践	80	【应用总结与拓展】	110
任务 7 睡眠 CPU	80	1. 共用体	110
【任务要求】	80	2. 枚举型	112
【相关知识】	80	习题	113
1. C51 中的复合赋值运算	80	扩展实践	114
2. 电源管理特殊功能寄存器 PCON	81	项目 5 显示与键盘扩展实践	115
3. 低功耗工作方式的设置方法	82	任务 10 制作用数码管显示的秒表	115
4. 解除低功耗工作方式的解除 方法	82	【任务要求】	115
【任务实施】	82	【相关知识】	115
1. 搭建硬件电路	82	1. 数码管的结构及其显示原理	115
2. 编写软件程序	82	2. 数码管的静态显示	117
【应用总结与拓展】	85	3. 数码管的动态扫描显示	118
结构体	85	4. switch/case 分支结构	120
习题	88	【任务实施】	121
项目 4 单片机的定时/计数器应用 实践	90	1. 搭建硬件电路	121
任务 8 制作简易秒表	90	2. 编写软件程序	122
		【应用总结与拓展】	124
		习题	124
		扩展实践	125
		任务 11 控制秒表的启停与清零	125

【任务要求】	125	1. 搭建硬件电路	166
【相关知识】	125	2. 编写软件程序	167
1. 循环结构中的 break 语句与 continue 语句	125	【应用总结与拓展】	170
2. 键盘处理的流程	127	1. 二维数组的指针与指向二维 数组的指针变量	170
3. 独立式键盘接口	127	2. 指向结构体类型数据的指针 变量	173
4. 矩阵式键盘接口	131	习题	176
【任务实施】	133	扩展实践	177
1. 搭建硬件电路	133	项目 7 并行与串行扩展实践	178
2. 编写软件程序	133	任务 14 制作交通指示灯	178
【应用总结与拓展】	138	【任务要求】	178
习题	138	【相关知识】	178
扩展实践	139	1. 单片机的三总线	178
项目 6 单片机的串口应用实践	140	2. C51 对外部端口的访问方法	181
任务 12 实现单片机与单片机的通信	140	3. 可编程并行接口芯片 8255A 的 使用方法	181
【任务要求】	140	【任务实施】	187
【相关知识】	140	1. 搭建硬件电路	187
1. 指针变量的定义	140	2. 编写软件程序	188
2. 一般指针变量与基于存储器的 指针变量	141	【应用总结与拓展】	190
3. 与指针变量相关的运算符	142	习题	191
4. 一维数组的指针与指向一维数 组的指针变量	142	扩展实践	192
5. 串行通信的基本知识	144	任务 15 制作数字电压表	193
6. MCS-51 单片机串行口的结构	145	【任务要求】	193
7. 与串口相关的特殊功能寄存器	145	【相关知识】	193
8. 串行口的工作方式	147	1. A/D 转换器的基本知识	193
9. 串行口的编程方法	150	2. SPI 接口芯片 TLC1549 的 应用特性	193
【任务实施】	154	3. 滑动平均值滤波	198
1. 搭建硬件电路	154	4. 标度转换	199
2. 编写软件程序	156	【任务实施】	200
【应用总结与拓展】	159	1. 搭建硬件电路	200
用 T2 作串口的波特率发生器	159	2. 编写软件程序	201
习题	162	【应用总结与拓展】	204
扩展实践	164	SPI 总线接口	204
任务 13 用 PC 控制秒表的启停与清 0	164	习题	207
【任务要求】	164	扩展实践	208
【相关知识】	165	任务 16 制作波形发生器	208
1. PC 的串行口	165	【任务要求】	208
2. MAX232 接口芯片	165	【相关知识】	208
【任务实施】	166	1. D/A 转换器的基础知识	208

2. 带有 SPI 接口的 D/A 转换器	电路	250
MAX515 的使用特性		209
【任务实施】		213
1. 搭建硬件电路		213
2. 编写软件程序		213
【应用总结与拓展】		218
1. 无参数传递的混合编程		218
2. 有参数传递的混合编程		223
3. 有返回值的混合编程		226
习题		228
扩展实践		228
任务 17 保存设定数据		229
【任务要求】		229
【相关知识】		229
1. I ² C 总线		229
2. AT24C02 的应用特性		236
【任务实施】		242
1. 搭建硬件电路		242
2. 编写软件程序		243
【应用总结与拓展】		247
习题		248
扩展实践		249
任务 18 制用数字温度计		249
【任务要求】		249
【相关知识】		249
1. DS18B20 的引脚功能		250
2. 单片机与 DS18B20 的接口		
3. DS18B20 的内部结构		251
4. DS18B20 的操作时序		252
5. DS18B20 的访问命令		258
6. DS18B20 的访问方法		258
【任务实施】		260
1. 搭建硬件电路		260
2. 编写软件程序		260
【应用总结与拓展】		264
习题		265
扩展实践		265
项目 8 制作多功能数字钟		266
【任务要求】		266
【相关知识】		267
1. 实时钟芯片 HT1380		267
2. 连击键的处理方法		276
3. 控制数码管闪动显示		278
4. 系统程序的设计方法		280
【任务实施】		282
1. 搭建硬件电路		282
2. 编写软件程序		283
【应用总结与拓展】		302
习题		303
附录 1 C51 中的运算符与结合性		304
附录 2 MFSC-2 实验平台简介		306

项目 1

单片机应用系统开发入门实践

任务 1

控制 1 只发光二极管闪烁显示

【任务要求】

搭建一个单片机控制一只发光二极管闪烁显示的电路，新建一个 Keil 工程，将给定的发光二极管闪烁显示控制程序添加到 Keil 工程中，编译生成单片机可执行的十六进制文件，然后将此十六进制文件上载至单片机应用系统中，观察发光二极管的显示效果。

【相关知识】

完成本任务所需要的知识主要有单片机的引脚功能、单片机的存储组织结构、C51 程序的特点、Keil 开发工具的使用方法等。

1. 单片机的引脚功能

MCS-51 系列单片机有许多种类，不同种类的内核相同。STC89C51 是 MCS-51 单片机的一个品种，它有 DIP-40、PLCC-44、TQFP-44 等几种封装形式。其中 DIP-40 封装形式的外形如图 1-1 所示，各引脚的配置如图 1-2 所示，引脚的功能如表 1-1 所示。

【说明】

① P0、P2、P3 3 个并行端口除了可作并行口外，还具有其他功能，这 3 个口的具体功能将在后面的项目中介绍。

② 识别 DIP 封装芯片的引脚方法是，引脚向外，缺口朝上时，左上方第 1 个引脚为 1 脚，依逆时针方向数，依次为 1、2、3…最后一个脚位于右上角。

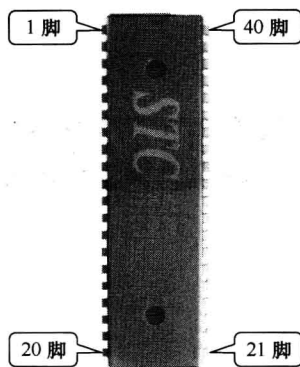


图 1-1 STC89C51 外形

1	P10	V _{CC}	40
2	P11	P00	39
3	P12	P01	38
4	P13	P02	37
5	P14	P03	36
6	P15	P04	35
7	P16	P05	34
8	P17	P06	33
9	RST	P07	32
10	RXD/P30	EA	31
11	TXD/P31	ALE	30
12	INT0/P32	PSEN	29
13	INT1/P33	P27	28
14	T0/P34	P26	27
15	T1/P35	P25	26
16	WR/P36	P24	25
17	RD/P37	P23	24
18	XTAL2	P22	23
19	XTAL1	P21	22
20	GND	P20	21

图 1-2 STC89C51 引脚配置

表 1-1

单片机的引脚功能

引 脚	功 能
V _{CC} (40 脚)	+ 5V 电源脚
GND (20 脚)	接地引脚
XTAL2 (18 脚)	内部振荡电路的输出端
XTAL1 (19 脚)	内部振荡电路的输入端
RST (9 脚)	复位信号输入端, 用于外接复位电路
EA (31 脚)	程序存储器选择控制端。该脚接高电平, 系统从片内程序存储器中开始执行程序。该脚接地, 系统从片外程序存储器中开始执行程序
PSEN (29 脚)	外部程序存储器读选通信号输出引脚
ALE (30 脚)	地址锁存控制信号输出引脚
P0.0~P0.7	双向 8 位并行端口 P0
P1.0~P1.7	双向 8 位并行端口 P1
P2.0~P2.7	双向 8 位并行端口 P2
P3.0~P3.7	双向 8 位并行端口 P3

2. 单片机的内部结构

单片机是在单一芯片上构成的微型计算机, MCS-51 单片机的内部结构示意图如图 1-3 所示。

(1) 振荡器

振荡器是外接晶振和微调电容构成单片机的时钟电路, 用来产生单片机内部各部件同步工作的时钟信号。

(2) CPU

(CPU 中央处理器) 是单片机的核心, 由运算器和控制器组成。控制器主要完成指令的读取、指令的译码和指令的执行等工作, 并协调单片机内部各部分工作, 运算器主要完成算术运算和逻辑运算。在控制器和运算器内部还包含 PC、A、B、DPTR、PSW、SP 等几个寄存器。它们的功能如下。

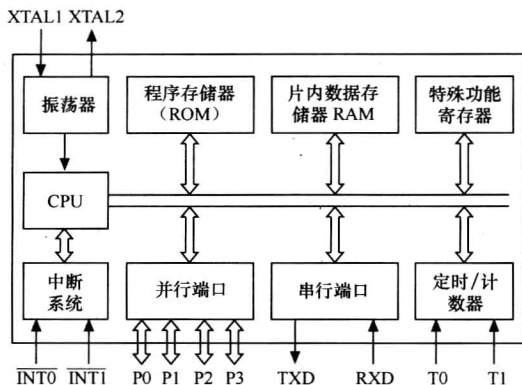


图 1-3 MCS-51 单片机内部结构

- ① PC: 程序计数器。用来存放 CPU 要执行的下一条指令在程序存储器中的地址。
- ② A: 累加器。在算术运算和逻辑运算中用来存放参加运算的一个操作数和运算结果。
- ③ B: B 寄存器。在乘除法运算中用来存放参加运算的另一个操作数, 同时用来保存部分运算结果。
- ④ DPTR: 数据指针寄存器。在访问扩展 RAM 或程序存储器时, 用来存放 16 位的地址。
- ⑤ PSW: 程序状态字。用来记录指令执行后的状态。PSW 的 D3 位、D4 位为 RS0、RS1, 用来选择 CPU 的当前工作寄存器组。当前工作寄存器组的设置方法详见片内 RAM 中介绍。
- ⑥ SP: 堆栈指针寄存器。用来记录堆栈的栈顶位置。

MCS-51 单片机的堆栈有以下特点。

对堆栈的操作包括压入 (PUSH) 和弹出 (POP) 2 种, 并遵循“先加后压, 先弹后减”的操作原则。

堆栈只能定义在片内数据存储器中 (idata 区中), 由 SP 记录栈顶位置, 堆栈区域沿地址增大方向生成。

设 SP 的值为 m , 则堆栈位于 idata 区中, 堆栈区的首地址为 $m + 1$, idata 区中地址 $m + 1$ 、 $m + 2$ 、 $m + 3 \cdots$ 单元为堆栈区, 第 1 个压入堆栈中的数据存放在 idata 区 $m + 1$ 单元中。

堆栈主要作用是, 在程序被打断时存放程序返回的地址和断点的现场。例如, 在调一个函数时需要将程序的返回地址压入堆栈中, 还要将 PSW、ACC 等特殊功能寄存器的值压入堆栈中等, 在函数返回之前还要把相关值弹出至相关寄存器中, 以便程序正确返回并从断点处继续执行原来的程序。

用 C51 开发单片机应用程序时, 堆栈操作的代码由 C51 编译器自动生成, 用户不必深究, 用户只需在初始化程序中通过设置 SP 的值来定义堆栈区的起始地址。例如, 将堆栈定义在片内 RAM 从 0x70 开始的区域中的程序代码如下, 有关堆栈区的定义具体原则和方法我们在后续的任务中结合具体的实例介绍。

```
SP = 0x6f; //将堆栈区定义在片内 RAM 从 0x70 开始的区域中
```

【说明】

A、B、DPTR、SP、PSW 在特殊功能寄存器中都有对应的映射特殊功能寄存器 (见表 1-3)。对于基于 C51 的单片机应用的用户而言, 这些寄存器主要是供 C51 编译器使用, 用户只需了解这些寄存器的大致功能, 不必深究如何使用这些寄存器。

(3) 中断系统

MCS-51 单片机有 5 个中断源, 2 个来自外部, 3 个来自内部, 具有 2 级中断优先级。

(4) 并行端口

MCS-51 单片机有 4 个 8 位并行输入/输出端口 (P0、P1、P2、P2)，可以实现数据的并行输入/输出。

(5) 串行端口

MCS-51 单片机有一个全双工的串行口，可以实现单片机与其他计算机之间进行串行数据通信，也可以作为同步移位器使用，用于扩展外部输入/输出端口。

(6) 定时/计数器

MCS-51 单片机内部有 2 个 16 位的定时/计数器，用于产生各种时间间隔或者记录外部事件的数量。

(7) 程序存储器

程序存储器用于保存用户程序和用户表格数据。

(8) 片内数据存储器

片内数据存储器用于存放运算的中间结果。

(9) 特殊功能寄存器

特殊功能寄存器用于设置单片机内部电路的运行方式，记录单片机的运行状态。

3. 单片机的存储组织结构

MCS-51 单片机有 4 个存储空间：①片内数据存储器 (片内 RAM)、②特殊功能寄存器 (SFR)、③扩展数据存储器 (扩展 RAM)、④程序存储器 (ROM)。这 4 个存储空间具有不同的功能。

(1) 片内数据存储器 (片内 RAM)

标准的 MCS-51 单片机 (如 8051) 片内 RAM 只有 128 字节，其地址范围为 0x00~0x7f，增强型的 MCS-51 单片机 (如 STC89C52) 的片内 RAM 有 256 字节，地址范围为 0x00~0xff，MCS-51 单片机的片内 RAM 的结构如图 1-4 所示。

地址 0x00~0x1f 的区域为工作寄存器组区。这 32 个字节单元分为 4 组，每组 8 个字节，称为一个工作寄存器组。任何时刻 CPU 都只能使用其中的某一组工作寄存器。CPU 正在使用的工作寄存器组称为当前工作寄存器组，依次用 R0、R1…R7 表示，主要用来传递参数或者临时存放数据。在 C51 中可以用以下 2 种方式选择当前工作寄存器组：

① 定义函数时，在函数后面使用 “using n”。其中，using 为 C51 的关键字，n 为寄存器组的编号，其值为 0~3。这样设置后，单片机在运行函数期间自动选择第 n 组工作寄存器组作为当前工作寄存器组，函数运行完毕，单片机自动地恢复使用原来的工作寄存器组作为当前工作寄存器组。也就是说，“using n” 相当于为函数临时选择当前工作寄存器组。

② 在程序中，通过设置特殊功能寄存器 PSW (程序状态字) 的 RS1、RS0 两位的值来选择当前工作寄存器组。这样设置后，后续程序均采用所选择的工作寄存器作为当前工作寄存器组，除非重新选定工作寄存器组。也就是说，设置 RS1、RS0 的值相当于为后续整个程序选择了当前工作寄存器组。

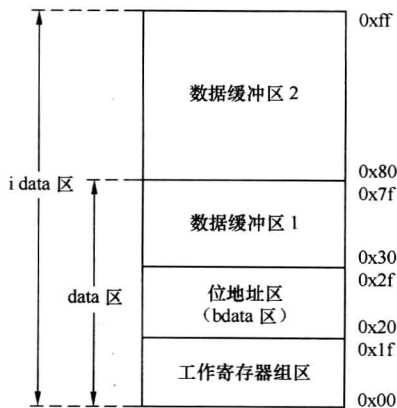


图 1-4 片内 RAM 结构示意图

当前工作寄存器组的选择如表 1-2 所示。

表 1-2 当前工作寄存器组

using n	RS1	RS0	当前工作寄存器组	R0~R7 的地址
using 0	0	0	第 0 组工作寄存器组	0x00~0x07
using 1	0	1	第 1 组工作寄存器组	0x08~0x0f
using 2	1	0	第 2 组工作寄存器组	0x10~0x17
using 3	1	1	第 3 组工作寄存器组	0x18~0x1f

例如，单片机在执行下列函数之前，当前工作寄存器组是第 0 组工作寄存器组：

```
void display(void)      using 1
{
    .....
}
```

单片机执行函数 display()时会自动地选择第 1 组工作寄存器组作为当前工作寄存器组。如果 display 函数中使用了 R7，则 R7 的地址为 0x0f。display 运行完毕后，单片机会自动恢复选用第 0 组工作寄存器组作为当前工作寄存器组。

通过设置 RS1、RS0 的值来选择第 2 组工作寄存器组作为当前工作寄存器组的程序段如下：

```
RS0=0;      //RS0 位清 0
RS1=1;      //RS1 位置 1
```

【说明】

用 C51 开发单片机应用程序时，一般只在中断服务函数中使用“using n”为中断服务函数的执行选择当前工作寄存器组。

地址 0x20~0x2f 的区域为位地址区，共 16 个字节，在 C51 中称这一区域为 bdata 区，其特点是，每个字节都分配有一个位地址，共 128 位，每一位都可以单独访问，从 0x20 单元的最低位到 0x2f 的最高位各位的位地址依次为 0x00、0x01…0x7f。bdata 区常用作位变量的存储器。

地址 0x30~0x7f 的区域为数据缓冲区 1，用来存放运算过程中的中间值。

地址 0x80~0xff 的区域为数据缓冲区 2，也是用来存放运算过程中的中间值。

【说明】

① 在 C51 中，idata 区是指整个片内 RAM 区(0x00~0xff 区)，data 区是指 0x00~0x7f 区，bdata 区是指 0x20~0x2f 的位地址区。

② 标准的 MCS-51 单片机中只有 0x00~0x7f 区域，其 data 区与 idata 区重合，增强型 MSC-51 单片机 RAM 的范围为 0x00~0xff，共 256 字节。

(2) 特殊功能寄存器 (SFR)

标准的 MCS-51 单片机有 21 个 SFR，不连续地分配在 0x80~0xff 地址区中，用来设置单片机内部电路的运行方式，记录单片机的运行状态，以及实现 I/O 端口的读写操作。21 个 SFR 的地址分配及其功能如表 1-3 所示。

表 1-3 MCS-51 单片机的 SFR

符 号	地 址	功 能
P0	0x80	P0 口映射 SFR。对 P0 读/写，可实现对 P0 端口的输入/输出操作
SP	0x81	CPU 内部的堆栈指针寄存器的映射特殊功能寄存器
DPL	0x82	数据指针寄存器 DPTR 的低字节映射特殊功能寄存器
DPH	0x83	数据指针寄存器 DPTR 的高字节映射特殊功能寄存器
PCON	0x87	电源控制寄存器
TCON	0x88	定时/计数器的控制寄存器

续表

符 号	地 址	功 能
TMOD	0x89	定时/计数器的模式控制寄存器
TL0	0x8a	定时/计数器 T0 的计数器低字节
TL1	0x8b	定时/计数器 T1 的计数器低字节
TH0	0x8c	定时/计数器 T0 的计数器高字节
TH1	0x8d	定时/计数器 T1 的计数器高字节
P1	0x90	P1 口映射 SFR。对 P1 读/写, 可实现对 P1 端口的输入/输出操作
SCON	0x98	串行端口控制寄存器
SBUF	0x99	串行端口数据缓冲器
P2	0xa0	P2 口映射 SFR。对 P2 读/写, 可实现对 P2 端口的输入/输出操作
IE	0xa8	中断允许控制寄存器
P3	0xb0	P3 口映射 SFR。对 P3 读/写, 可实现对 P3 端口的输入/输出操作
IP	0xb8	中断优先级控制寄存器
PSW	0xd0	程序状态字寄存器, 用来记录程序运行的状态
ACC	0xe0	累加器 A 的映射特殊功能寄存器
B	0xf0	B 寄存器的映射特殊功能寄存器

【说明】

① 增强型 MCS-51 单片机除了具有表中 21 个 SFR 外, 还新增了若干个 SFR, 不同单片机的 SFR 数量并不一定相同, SFR 越多, 单片机的功能越强大, 各单片机新增的 SFR 请查阅其数据手册。

② 字节地址能被 8 整除的 SFR 的每一位都分配有位地址, 可以单独访问其中的位。

③ SFR 的地址与片内 RAM 的高 128 字节单元的地址虽然相同, 但它们是不同的存储空间, 具有不同的功能, 访问方式也不同, SFR 与片内 RAM 的关系如图 1-5 所示。

④ 特殊功能寄存器 SP、PSW、ACC、B 分别是 CPU 内部的 SP、PSW、A、B 四个寄存器的映射特殊功能寄存器, DPL、DPH 是寄存器 DPTR 的映射特殊功能寄存器。用汇编语言编写单片机应用程序时经常使用这 6 个寄存器以及前面介绍的 R0~R7 进行数据运算和存储单元的访问, 用户必须透彻地掌握这些寄存器的结构、功能和用法。用 C51 编写单片机应用程序时, 数据运算和存储单元访问操作的代码由 C51 编译器生成, 这 6 个寄存器以及 R0~R7 主要是供 C51 编译器使用, 除了在定义堆栈时需要直接设置 SP 的值外, C51 程序中一般不直接使用这 6 个寄存器以及 R0~R7, 否则程序中将会出现一些意想不到的后果。

(3) 扩展数据存储器 (扩展 RAM)

扩展数据存储器也叫外部数据存储器, 用来存放运算过程中的中间值, 通过在单片机外部扩展 RAM 芯片来实现。MCS-51 单片机具有 16 根地址线, 单片机外部最多可以扩展 64KB 的外部数据存储器, 地址范围为 0x0000~0xffff。在 C51 中, 扩展数据存储器叫做 xdata 区, 其中高 8 位地址相同的 256 字节的区域为 pdata 区。

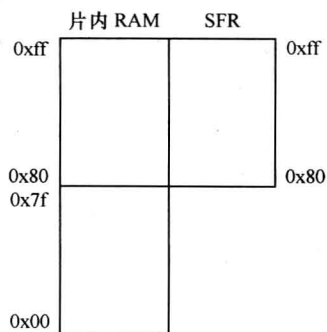


图 1-5 片内 RAM 与 SFR

【说明】

有些 MCS-51 单片机的片内也集成有一定容量的扩展 RAM，例如，STC89C51RC 单片机的片内集成有 256B 的扩展 RAM，STC89C54RD 单片机集成有 1280B 的扩展 RAM，用户完全可以通过适当选择单片机的型号来避免在单片机的外部扩展 RAM 芯片。

(4) 程序存储器 (ROM)

程序存储器共 64KB 的空间，地址范围为 0x0000~0xffff，通过外接 ROM 芯片来实现，用来存放用户程序和用户表格数据，C51 中称程序存储器为 code 区。

MCS-51 单片机内部一般都集成有一定数量的程序存储器，片内的程序存储器位于从 0x0000 开始的地址低端。例如，STC89C51 单片机内就集成有 4KB 的程序存储器，地址范围为 0x0000~0x0fff，其程序存储器的结构如图 1-6 所示，图中阴影部分为 CPU 实际访问的程序存储器。

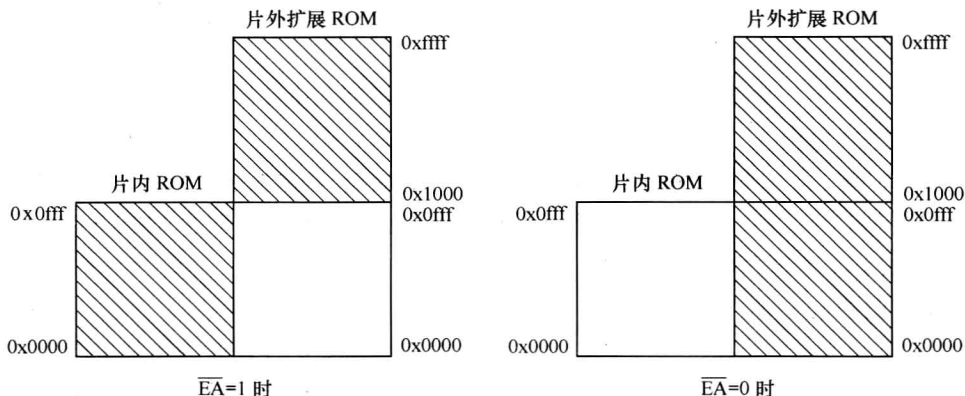


图 1-6 程序存储器结构示意图

$\overline{EA} = 0$ (\overline{EA} 引脚接地) 时，CPU 只访问片外扩展程序存储器，所有的程序和用户表格数据必须固化在片外扩展的程序存储器中。

$\overline{EA} = 1$ (\overline{EA} 引脚接高电平) 时，CPU 在访问 0x0000~0x0fff 范围内的程序存储器时，访问片内程序存储器而不访问片外的程序存储器，地址范围超过 0x0fff 后 CPU 自动访问片外程序存储器。

【说明】

① 不同单片机片内程序存储器的大小不同。例如，STC89C58 片内有 32KB 的程序存储器，STC89C516 片内有 64KB 的程序存储器，用户可以根据程序的大小适当选择单片机来避免片外扩展程序存储器。此时，用户程序和表格数据固化在内部程序存储器中，单片机的 \overline{EA} 引脚接高电平。

② 扩展 RAM 与程序存储器的地址范围均为 0x0000~0xffff，但它们属于不同的存储空间，单片机通过 \overline{WR} 、 \overline{RD} 引脚选择扩展 RAM，通过 \overline{PSEN} 引脚选择程序存储器。

4. 单片机的最小系统

单片机的最小系统是指保证单片机能独立工作所必须要的外部电路，包括时钟电路、复位电路、存储器电路和电源电路。

(1) 时钟电路

时钟电路用来产生时钟脉冲信号，单片机缺少了时钟信号就无法工作。MCS-51 单片机常用的