

◎ 计算机

“卓越工程师计划”应用型教材



Computer



C51单片机 及应用系统设计（第2版）

C51 Single Chip Microcomputer and
Application System Design
Second Edition

◎ 韩 雁 徐煜明 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

计算机“卓越工程师计划”应用型教材

C51 单片机及应用系统设计

(第2版)

韩 雁 徐煜明 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以目前国内 51 系列单片机中使用最广泛的 AT89S51 为对象,以单片机应用系统设计为主,首先详细介绍了 AT89S51 单片机的基本结构和原理、51 系列汇编语言和 C51 编程技术、定时/计数器、中断系统、串行口和串行通信的知识,接着从应用系统设计出发,讲解系统扩展常用的 I²C 总线、1-Wire、SPI 总线的串行扩展技术和并行总线扩展技术,内容涉及键盘、LED 段码和点阵显示器、液晶显示、模数/数模转换、红外遥控、存储器扩展、CAN 总线和 GSM 模块在单片机中的应用技术等,最后总结了系统设计的流程和步骤及常用软硬件抗干扰技术等内容。本书在编写时力求通俗易懂,硬件原理讲解以“有用、够用”为原则,注重于实例教学,使单片机的原理及应用知识变得简单直观,方便读者掌握单片机的 C 语言编程方法和接口技术,为将来从事单片机系统开发打下坚实基础。

本书适用于高校计算机、通信、电子信息、电子技术、自动化等专业的教学,也是适合工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

C51 单片机及应用系统设计/韩雁,徐煜明编著.—2 版.—北京:电子工业出版社,2016.1

计算机“卓越工程师计划”应用型教材

ISBN 978-7-121-23232-9

I. ①C… II. ①韩… ②徐… III. ①单片微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 100879 号

责任编辑:刘海艳

印 刷:北京京科印刷有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:477 千字

版 次:2009 年 2 月第 1 版

2016 年 1 月第 2 版

印 次:2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数:3000 册 定价:39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

计算机“卓越工程师计划”应用型教材 编委会

主任委员：庄燕滨

名誉主任：杨献春 夏世雄

副主任委员：乐光学 汤克明 严云洋 吴克力 张永常 李存华
邵晓根 陈 荣 赵 梅 徐煜明 顾永根 常晋义

编委会秘书长：陶骏

委员：王文琴 王 刚 刘红玲 何中胜 宋晓宁 张宗杰 张 勇
张笑非 李永忠 杨学明 胡局新 胡智喜 费贤举 徐 君
徐建民 郭小荟 高 尚 黄 旭

序 言

21 世纪是“信息”主导的世纪，是崇尚“创新与个性”发展的时代，体现“以人为本”、构建“和谐社会”是社会发展的主流。然而随着全球经济一体化进程的不断推进，市场与人才的竞争日趋激烈，对于国家倡导发展的 IT 产业，需要培养大量的、适应经济和科技发展的计算机人才。

众所周知，近年来，一些用人单位对部分大学毕业生到了工作岗位后，需要 1~2 年甚至多年的训练才能胜任工作的“半成品”现象反应强烈。从中反映出单位对人才的需求越来越讲求实用，社会要求学校培养学生的标准应该和社会实际需求的标准相统一。对于 IT 业界来讲，一方面需要一定的科研创新型人才，从事高端的技术研究，占领技术发展的高地；另一方面，更需要计算机工程应用、技术应用及各类服务实施人才，这些人才可统称“应用型”人才。

应用型本科教育，简单地讲就是培养高层次应用型人才的本科教育。其培养目标应是面向社会的高新技术产业，培养在工业、工程领域的生产、建设、管理、服务等第一线岗位，直接从事解决实际问题、维持工作正常运行的高等技术应用型人才。这种人才，一方面掌握某一技术学科的基本知识和基本技能，另一方面又具有较强的解决实际问题的基本能力，他们常常是复合性、综合性人才，受过较为完整的、系统的、有行业应用背景的“职业”项目训练，其最大的特色就是有较强的专业理论基础支撑，能快速地适应职业岗位并发挥作用。因此，可以说“应用型人才培养既有本科人才培养的一般要求，又有强化岗位能力的内涵，它是在本科基础之上的以‘工程师’层次培养为主的人才培养体系”，人才培养模式必须吸取一般本科教育和职业教育的长处，兼容并蓄。“计算机科学与技术”专业教学指导委员会已经在研究并指导实施计算机人才的“分类”培养，这需要我们转变传统的教育模式和教学方法，明确人才培养目标，构建课程体系，在保证“基础的前提”下，重视素质的养成，突出“工程性”、“技术应用性”、“适应性”概念，突出知识的应用能力、专业技术应用能力、工程实践能力、组织协调能力、创新能力和创业精神，较好地体现与实施人才培养过程的“传授知识，训练能力，培养素质”三者的有机统一。

在规划本套教材的编写时，我们遵循专业教学委员会的要求，针对“计算机工程”、“软件工程”、“信息技术”专业方向，以课群为单位选择部分主要课程，以计算机应用型人才培养为宗旨，确定编写体系，并提出以下的编写原则。

(1) 本科平台：必须遵循专业基本规范，按照“计算机科学与技术”专业教学指导委员会的要求构建课程体系，覆盖课程教学知识点。

(2) 工程理念：在教材体系编写时，要贯穿“系统”、“规范”、“项目”、“协作”等工程理念，内容取舍上以“工程背景”、“项目应用”为原则，尽量增加一些实例教学。

(3) 能力强化：教学内容的举例，结合实际应用，力争有针对性；每本教材要安排课程实践教学指导，在课程实践环节的安排上，要统筹考虑，提供面向现场的设计性、综合性的实践教学指导内容。

(4) 国际视野：本套教材的编写要做到兼长并蓄，吸收国内、国外优秀教材的特点，人才培养要有国际背景和视野。

本套教材的编委会成员及每本教材的主编都有着丰富的教学经验，从事过相关工程项目（软件开发）的规划、组织与实施，希望本套教材的出版能为我国的计算机应用型人才
的培养尽一点微薄之力。

编委会

第2版前言

自2009年2月由电子工业出版社出版《C51单片机及应用系统设计》初版以来,受到了全国各高校教师、学生的欢迎,并于当年2009年12月第2次印刷,至2014年6月已第6次印刷。经过6年的发展,单片机出现很多新技术,原书以MCS-51为核心来描述单片机的应用系统,而现在MCS公司已不再生产单片机,新版教材的选用以目前市场上流行Atmel公司的AT89S51为主流芯片,同时从应用系统设计出发,将应用系统设计分为总线扩展技术与应用系统单元模块设计来撰写,引进项目驱动的设计思想,增加了目前广泛使用的CAN总线通信技术和GSM通信技术、红外遥控技术,强化串行扩展技术,弱化原书并行总线的扩展技术,同时将全部应用程序全部改成以C51实现,增加程序的可读性和可移植性,以使其工程性、实用性、自学性、创新性大大增强。

同时为方便学生借助口袋板来移动学习单片机,在接口芯片方面,力求与市场发展同步,如A/D、D/A部分强化了串行接口片的应用,淘汰传统并行ADC0809与DAC0832接口芯片等。

本书共11章,第1章简要介绍了单片机的特点、发展概况和应用领域;第2章介绍了AT89S51单片机的内部结构、资源及特性;第3章介绍了MCS-51的指令系统及汇编语言程序的设计方法;第4章介绍了C51程序设计方法;第5章介绍了AT89S51中断系统及中断服务程序的设计方法;第6章介绍了AT89S51/52定时器/计数器的原理及其应用;第7章介绍了串行通信的基本概念及RS-232、RS-422、RS-485串行总线接口标准、单片机在GSM中的应用、CAN总线串行通信技术;第8章介绍了系统扩展的串并行扩展技术,介绍了常用存储器、并行接口芯片8255扩展方法,特别介绍了I²C、SPI、1-Wire串行总线的特性及虚拟接口的设计和编程方法;第9章介绍了键盘、LED段码点阵显示、液晶显示、模数/数模转换、红外遥控等与单片机系统的接口及编程方法;第10章介绍了单片机应用系统设计流程和步骤,常用的软硬件抗干扰技术;第11章介绍了Keil C51集成开发环境的使用。

本教材由韩雁、徐煜明编著,韩雁负责全书的改版工作,徐煜明对全文进行了校对和审核。由于编者学术水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

本书配有免费电子课件。任课教师可到华信教育资源网或与编辑刘海艳(E-mail:lhylhy@phei.com.cn)联系。

编 者

前 言

单片机的诞生标志着计算机正式形成了两大系统,即通用计算机系统和嵌入式系统。进入 21 世纪后,随着计算机科学和微电子集成技术的飞速发展,嵌入式系统得到了迅猛的发展,单片机不断地向更高层次和更大规模发展。单片机应用系统的高可靠性,软、硬件的高利用系数,优异的性能价格比,使它的应用范围由开始传统的过程控制,逐步进入数值处理、数字信号处理及图像处理等高技术领域。同时,世界各大半导体厂商纷至沓来争先挤入这一市场,激烈的市场竞争也促进了单片机迅速更新换代,带来了它们更为广泛的应用,开辟了计算机应用的一个新时代。

学习单片机不但要学习单片机的原理和编程语言,掌握单片机的接口技术和编程方法,还要熟悉单片机的编程器、仿真器等工具。由于单片机种类较多,往往令初学者感到头痛。在众多单片机中,由 51 架构的单片机芯片市场流行已久,技术资料也相对较多,是初学者较好的选择。51 单片机编程语言常用的有两种:汇编语言和 C 语言。汇编语言的机器代码生成效率很高,但可移植性和可读性差;而 C 语言在大多数情况下其机器代码生成效率和汇编语言相当,但可读性和可移植性却远远胜于汇编语言,而且 C 语言还可以嵌入汇编,开发周期短。

编者是多年从事单片机应用系统技术研发和教学的教师,选用 51 单片机编写了本教材,试图向读者较好地解答“什么是单片机?怎样学好单片机?如何应用单片机?”这三个问题,使读者既能掌握单片机的一般原理,又能掌握单片机应用系统的软硬件设计技巧,从而能很快从事嵌入系统开发的工作。

为了便于组织教学,在本教材的编排顺序上采用了循序渐进的策略。本书共 11 章,第 1 章简要介绍了单片机的特点、发展概况和应用领域;第 2 章介绍了 MCS-51 单片机的内部结构、资源及特性;第 3 章介绍了 MCS-51 的指令系统及汇编语言程序的设计方法;第 4 章介绍了单片机 C51 程序设计方法;第 5 章介绍了 MCS-51 中断系统及中断服务程序的设计方法;第 6 章介绍了 MCS-51 定时器/计数器的原理及其应用;第 7 章介绍了串行通信的基本概念及 RS-232、RS-422、RS-485 串行总线接口标准,通过实例介绍了 MCS-51 串行通信接口应用及编程方法;第 8 章从单片机并行和串行总线两个方面,介绍了常用存储器、并行接口芯片 8255 和串行接口芯片 8251 的扩展方法,特别介绍了 I²C、SPI、1-Wire 串行总线的特性及虚拟接口的设计和编程方法;第 9 章介绍了键盘、LED 段码点阵显示、液晶显示、IC 卡、模数/数模转换等与单片机系统的接口及编程方法;第 10 章介绍了单片机应用系统设计流程和步骤,常用的软硬件抗干扰技术;第 11 章介绍了 Keil C51 集成开发环境的使用。

本教材内容丰富、深入浅出,大部分程序代码采用 C 语言编写,使程序的可读性和可移植性较好,读者在应用这些典型模块的程序代码时,只需将程序代码的全部内容作为一个独立模块链接在应用程序之后,统一编译。本教材十分适合应用型高等学校计算机、通信、电子信息、电子技术、自动化及其他相关专业的教学使用,也是一本工程技术人员的参考用书。

本教材由徐煜明编著,韩雁对全文的校对和审核做了大量工作,在编著过程中韩雁、朱宇光、徐强、李春光、王建农、王文宁、赵徐成、陆锦军、黄忠良对全文内容及安排提出了许多宝贵的意见,在此一并表示感谢。由于编者学术水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

本书配有免费电子课件。任课教师可与编辑刘海艳(E-mail:lhy@phei.com.cn)联系。

目 录

第 1 章 绪论	1	3.2.3 寄存器间接寻址	38
1.1 单片机基础知识	1	3.2.4 立即寻址	39
1.1.1 单片机的结构和特点	1	3.2.5 变址寻址	39
1.1.2 单片机的发展	2	3.2.6 相对寻址	39
1.1.3 单片机芯片技术的发展趋势	2	3.2.7 位寻址	40
1.2 单片机应用	4	3.2.8 MCS-51 寻址方式小结	40
1.2.1 单片机应用方向	4	3.3 MCS-51 指令说明	41
1.2.2 单片机应用系统的分类	5	3.3.1 数据传送指令	41
1.3 51 系列单片机	6	3.3.2 算术操作指令	45
1.3.1 MCS-51 系列单片机	6	3.3.3 逻辑操作及移位类指令	49
1.3.2 AT89 系列单片机	7	3.3.4 控制转移指令	52
1.3.3 各种衍生品种的 51 单片机	8	3.3.5 位操作类指令	57
1.4 其他系列单片机	10	3.3.6 访问 I/O 口指令的使用说明	58
1.5 其他嵌入式处理器简介	12	3.4 MCS-51 伪指令	59
习题 1	13	3.5 MCS-51 汇编语言程序设计	61
第 2 章 AT89S51 单片机的结构与组成	14	3.5.1 顺序结构程序设计	61
2.1 AT89S51 单片机的内部结构及信号引脚	14	3.5.2 分支程序设计	62
2.1.1 AT89S51 单片机结构	14	3.5.3 循环程序设计	63
2.1.2 信号引脚	16	3.5.4 子程序设计	66
2.1.3 中央处理器 CPU	17	习题 3	69
2.1.4 存储器	19	第 4 章 C51 程序设计	72
2.1.5 I/O 口及相应的特殊功能寄存器	24	4.1 Keil C51 编程语言	72
2.2 时钟电路与 CPU 时序	27	4.1.1 Keil C51 的函数和程序结构	72
2.2.1 时钟电路	27	4.1.2 C51 和标准 C 的函数差别	74
2.2.2 CPU 时序	27	4.2 C51 的数据类型、运算符、表达式	76
2.3 AT89S51 单片机的复位	29	4.2.1 C51 的基本数据类型	76
2.4 AT89S51 单片机的节电方式	30	4.2.2 C51 变量、常量、指针	77
2.4.1 空闲方式	31	4.2.3 C51 的复杂数据类型	81
2.4.2 掉电方式	31	4.2.4 C51 的运算符和表达式	83
2.5 Flash 的串行编程和三级加密	32	4.3 C51 的程序流控制语句	86
习题 2	34	4.4 编译预处理命令	88
第 3 章 指令与汇编语言程序设计	35	4.4.1 宏定义	88
3.1 指令系统概述	35	4.4.2 条件编译	88
3.1.1 MCS-51 汇编指令的格式	36	4.4.3 文件包含	89
3.1.2 指令中的符号标识及注释符	36	4.4.4 数据类型的重新定义	90
3.2 寻址方式	37	4.5 C51 的编程技巧	90
3.2.1 寄存器寻址	37	4.6 Keil C51 库函数原型列表	91
3.2.2 直接寻址	37	4.7 C51 编程实例	94

4.7.1 基本的输入/输出	94	7.1.2 串行通信的数据通路形式	127
4.7.2 C51 软件延时	95	7.1.3 串行通信的传输速率	127
习题 4	96	7.1.4 串行通信的总线标准与接口	128
第 5 章 AT89S51 中断系统	97	7.2 51 单片机的串行通信接口	132
5.1 中断概述	97	7.2.1 通用的异步接收/发送器 UART	132
5.2 AT89S51 中断系统	98	7.2.2 串行口的控制寄存器	133
5.2.1 AT89S51 中断源	98	7.2.3 串行接口的工作方式	134
5.2.2 AT89S51 中断控制	100	7.2.4 波特率设计	136
5.2.3 中断响应	101	7.3 串行通信应用举例	138
5.3 中断系统的编程	102	7.3.1 方式 0 应用设计键盘显示接口	138
5.3.1 中断服务程序的结构	102	7.3.2 双机、多机通信应用	139
5.3.2 C51 中断函数	102	7.3.3 单片机与微机的串行通信	149
5.3.3 中断应用举例	103	7.3.4 单片机在 GSM 无线通信网络中的 应用	152
5.4 外部中断源的扩展	107	7.4 CAN 总线串行通信技术	157
5.4.1 用定时器 T0、T1 作为外部中断 扩展	107	7.4.1 CAN 总线系统构成	158
5.4.2 用中断与查询相结合的方法扩展 外部中断	107	7.4.2 CAN 总线的报文类型与帧结构	159
习题 5	108	7.4.3 CAN 的总线技术	164
第 6 章 AT89S51/S52 单片机的定时器/ 计数器	109	7.4.4 CAN 控制器 SJA1000	165
6.1 定时器的内部结构	109	7.4.5 CAN 总线收发器 82C50	172
6.1.1 方式寄存器 TMOD	110	7.4.6 CAN 总线系统智能节点	173
6.1.2 控制寄存器 TCON	111	习题 7	175
6.1.3 定时器的工作方式	111	第 8 章 51 单片机系统扩展技术	176
6.2 定时器应用举例	113	8.1 并行总线扩展技术	177
6.2.1 定时控制、脉宽检测	113	8.1.1 并行总线技术	177
6.2.2 电压/频率转换	117	8.1.2 存储器的并行扩展	178
6.3 定时器/计数器 T2	118	8.1.3 I/O 接口的并行扩展	184
6.3.1 T2 的状态控制寄存器 T2CON	119	8.2 串行总线扩展技术	190
6.3.2 T2 的工作方式	119	8.2.1 I ² C 串行总线	190
6.4 监视定时器	123	8.2.2 SPI 总线	196
6.4.1 WDT 的原理	123	8.2.3 1-Wire 单总线	201
6.4.2 AT89S51 内部的 WDT	123	习题 8	208
6.4.3 AT89S51 掉电和空闲状态时的 WDT	123	第 9 章 单片机与外设接口技术	210
6.4.4 WDT 的软件技术	124	9.1 键盘接口技术	210
习题 6	124	9.1.1 键盘的基本工作原理	210
第 7 章 AT89S51 的串行通信及其应用	126	9.1.2 键盘工作方式	212
7.1 概述	126	9.2 显示器接口技术	215
7.1.1 串行通信的字符格式	126	9.2.1 LED 显示器	215
		9.2.2 LCD 点阵液晶显示器及其接口	222
		9.3 D/A 转换接口技术	228
		9.3.1 后向通道概述	228

9.3.2 D/A 转换器的技术指标	229	10.2.3 单片机资源的分配	246
9.3.3 12 位电压输出型串行 D/A 转换器 TLV5616	230	10.2.4 印制电路板的设计	247
9.3.4 电压/电流转换电路设计	232	10.3 单片机软件系统的设计	248
9.4 A/D 转换接口技术	232	10.3.1 任务的确定	248
9.4.1 前向通道概述	232	10.3.2 软件结构的设计	248
9.4.2 A/D 转换器工作原理及分类	233	10.4 单片系统抗干扰技术	248
9.4.3 串行 A/D 转换器 TLC1542 的应用	234	10.4.1 硬件抗干扰措施	248
9.4.4 8 位 A/D 及 D/A 转换器 PCF8591	236	10.4.2 软件抗干扰措施	250
9.5 红外遥控	239	第 11 章 Keil C51 软件的使用	253
9.5.1 红外遥控系统	239	11.1 工程文件的建立及设置	253
9.5.2 遥控发射器及其编码	239	11.1.1 工程文件的建立和编译、连接	253
9.5.3 遥控信号接收	240	11.1.2 设置工程文件的属性	256
习题 9	242	11.2 程序调试	259
第 10 章 系统设计及抗干扰技术	243	11.2.1 常用调试命令	259
10.1 单片机应用系统的开发过程	243	11.2.2 在线汇编	260
10.1.1 技术方案论证	243	11.2.3 断点设置	261
10.1.2 硬件系统的设计	244	11.3 Keil 程序调试窗口	261
10.1.3 应用软件的设计	245	11.3.1 存储器窗口	261
10.1.4 硬件、软件系统的调试	245	11.3.2 观察窗口	262
10.1.5 程序的固化	245	11.3.3 工程窗口寄存器页	262
10.2 单片机硬件系统的设计	245	11.3.4 外围接口窗口	263
10.2.1 元件的选取	245	附录 A MCS-51 指令表	264
10.2.2 硬件电路的设计原则	246	附录 B ASCII 码表	269

第1章

绪 论

1.1 单片机基础知识

1.1.1 单片机的结构和特点

根据美籍匈牙利科学家冯·诺依曼提出的存储原理，一个完整的计算机包括运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大部件。如果把运算器和控制器集成在一块芯片上，就构成了中央处理器（CPU）。若将中央处理单元（CPU）、存储器（RAM、ROM）、并行 I/O、串行 I/O、定时器/计数器、中断系统、系统时钟电路及系统总线等部件集成在一块芯片上，就构成了单片微型计算机（Single Chip Microcomputer），简称单片机。

单片机使用时，通常是处于测控系统的核心地位并嵌入其中，所以国际上通常把单片机称为嵌入式控制器（Embedded MicroController Unit, EMCU）或微控制器（MicroController Unit, MCU）。我国习惯于使用“单片机”这一名称。单片机是计算机技术发展史上的一个重要里程碑，标志着计算机正式形成了通用计算机系统和嵌入式计算机系统两大分支。单片机具有下列特点。

① 体积小、成本低：可嵌入到工业控制单元、机器人、智能仪器仪表、汽车电子系统、武器系统、家用电器、办公自动化设备、金融电子系统、玩具、个人信息终端及通信产品中。

② 高可靠性：单片机把各功能部件集成在一块芯片上，内部采用总线结构，减少了各芯片之间的连线，大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。另外，其体积小，对于强磁场环境易于采取屏蔽措施，适合在恶劣环境下工作。

③ 控制功能强：为了满足工业控制的要求，一般单片机的指令系统中均有极丰富的转移指令、I/O 接口的逻辑操作及位运算指令。单片机的逻辑控制功能及运行速度均高于同一档次的微机。

④ 低功耗、低电压，便于生产便携式产品。

⑤ 外部总线增加了 I²C 及 SPI 等串行总线方式，进一步缩小了体积，简化了结构。

⑥ 单片机的系统扩展和系统配置较典型、规范，容易构成各种规模的应用系统。

单片机根据目前的发展情况，单片机大致可以分为通用型/专用型、总线型/非总线型及工控型/家电型。

① 通用型/专用型：其内部可开发的资源（如存储器、I/O 等各种外围功能部件等）可全部供给用户。用户根据需要，设计一个以通用单片机芯片为核心，再配以外围接口电路及其他外围设备，并编写相应的软件来满足各种不同需要的测控系统。通常所说的和本书介绍的是指通用型单片机。由于特定用途，单片机芯片制造商常与产品厂家合作，设计和生产“专用”的单片机芯片。由于在设计中，已经对“专用”单片机的系统结构最简化、可靠性和成本的最佳化等方面都

做了全面的综合考虑,“专用”单片机具有十分明显的综合优势。例如,为了满足电子体温计的要求,在片内集成 ADC 接口等功能的温度测量控制电路。无论“专用”单片机在用途上有多么“专”,其基本结构和工作原理都是以通用单片机为基础的。

② 总线型/非总线型:总线型单片机普遍设置有并行地址总线、数据总线、控制总线,这些引脚用以扩展并行外围器件。但是,外围器件也可通过串行口与单片机连接,另外,许多单片机已把所需的外围器件及外设接口集成于片内,因此在许多情况下可以不要并行扩展总线,大大降低封装成本和缩小芯片体积,这类单片机称为非总线型单片机。

③ 工控型/家电型:这是按照单片机大致应用的领域进行区分的。一般而言,工控型寻址范围大,运算能力强;用于家电的单片机多为专用型,通常是小封装、低价格,外围器件和外设接口集成度高。

单片机系统以单片机为核心,配以控制、输入/输出、显示等外围电路和相应的控制软件,即由硬件和软件构成。硬件是应用系统的基础,软件是在硬件的基础上合理安排及使用系统资源,实现系统功能,两者缺一不可,相辅相成。由于单片机实质上是一个芯片,在实际应用中大都嵌入到控制系统中,所以单片机系统也称嵌入式系统。

1.1.2 单片机的发展

单片机作为微型计算机的一个重要分支,应用面很广,发展很快。自单片机诞生至今,已发展为上百种系列的近千个机种。如果将 8 位单片机的推出作为起点,那么单片机的发展大致经历了 4 个阶段。

(1) 第一阶段(1976—1978 年):单片机的探索阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。MCS-48 的推出是在工控领域的探索,参与这一探索的公司还有 Motorola、Zilog 等,都取得了满意的效果。这就是 SCM 的诞生年代,“单片机”一词由此而来。

(2) 第二阶段(1978—1982 年):单片机的完善阶段。Intel 公司在 MCS-48 基础上推出了完善的、典型的单片机系列 MCS-51。它在以下几个方面奠定了典型的通用总线型单片机体系结构:

① 完善的外部总线。MCS-51 设置了经典的 8 位单片机的总线结构,包括 8 位数据总线、16 位地址总线、控制总线及具有多机通信功能的串行通信接口。

② CPU 外围功能单元的集中管理模式。

③ 体现工控特性的位地址空间及位操作方式。

④ 指令系统趋于丰富和完善,并且增加了许多突出控制功能的指令。

(3) 第三阶段(1982—1990 年):8 位单片机的巩固发展及 16 位单片机的推出阶段,也是单片机向微控制器发展的阶段。Intel 公司推出的 MCS-96 系列单片机,将一些用于测控系统的模数转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等纳入片中,体现了单片机的微控制器特征。随着 MCS-51 系列的广泛应用,许多电气厂商竞相以 80C51 为内核,将许多测控系统中使用的电路技术、接口技术、多通道 A/D 转换部件、可靠性技术等应用到单片机中,增强了外围电路的功能,强化了智能控制的特征。

(4) 第四阶段(1990 年至今):微控制器的全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面深入的发展和应用,出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机,以及小型廉价的专用型单片机。

1.1.3 单片机芯片技术的发展趋势

目前,单片机的发展趋势将是向大容量、高性能化,外围电路内装化等方面发展,主要表现在以下几个方面。

1. 高性能化

高性能化主要是指进一步改进 CPU 的性能, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集 (RISC) 结构和流水线技术, 可以大幅度提高运行速度。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, 就可以用软件模拟其 I/O 功能, 由此引入了虚拟外设的新概念。

2. 存储器大容量化

(1) 片内程序存储器 ROM 普遍采用闪烁 (Flash) 存储器。可不用外扩展程序存储器, 简化系统结构。目前有的单片机片内程序存储器 ROM 容量可达 128KB 甚至更多。

(2) 加大片内数据存储 RAM 容量, 以满足动态存储的需要。

3. 片内 I/O 的改进

(1) 增加并行口驱动能力, 以减少外部驱动芯片。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 LED 和 VFD (荧光显示器)。

(2) 有些单片机设置了一些特殊的串行 I/O 功能, 为构成分布式、网络化系统提供了方便条件。

(3) 引入数字交叉开关, 改变了以往片内外设与外部 I/O 引脚的固定对应关系。交叉开关是一个大的数字开关网络, 可通过编程设置交叉开关控制寄存器, 将片内的计数器/定时器、串行口、中断系统、A/D 转换器等片内外设灵活配置出现在端口 I/O 引脚。这就允许用户根据自己的特定应用, 将内部外设资源分配给端口 I/O 引脚。

4. CMOS 化、低功耗、低电压

(1) CMOS 化: CMOS 芯片除了低功耗、高密度、低速度、低价格特性之外, 还具有功耗的可控性, 使单片机可以工作在功耗精细管理状态。这也是以 80C51 取代 8051 为标准 MCU 芯片的原因。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, 又出现了 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, 它的综合优势已先于 TTL 电路。因而, 在单片机领域 CMOS 正在逐渐取代 TTL 电路。

(2) 低功耗、低电压: 现在新型单片机的功耗越来越低, 配置有等待、暂停、睡眠、空闲、节电等工作方式。消耗电流仅在 μA 或 nA 量级, 使用电压 3~6V, 完全适应电池工作。低电压供电的单片机电源下限已可达 1~2V。目前 0.8V 供电的单片机已经问世。低功耗化的效应不仅是功耗低, 而且带来了产品的高可靠性、高抗干扰能力以及产品的便携化。

5. 外设电路内装化

众多外围电路集成在片内, 系统的单片化是目前发展趋势之一。例如, 美国 Cygnal 公司的 C8051F020 8 位单片机, 内部采用流水线结构, 大部分指令的完成时间为 1 或 2 个时钟周期, 峰值处理能力为 25MIPS。片上集成有 8 通道 A/D、两路 D/A、两路电压比较器, 内置温度传感器、定时器、可编程数字交叉开关和 64 个通用 I/O 口、电源监测、看门狗、多种类型的串行接口 (两个 UART、SPI) 等。一片芯片就是一个“测控”系统。

6. 编程及仿真的简单化

目前大多数的单片机都支持程序的在线编程, 也称在系统编程 (In System Program, ISP), 只需一条 USB-ISP 串口下载线, 就可以把仿真调试通过的程序从 PC 写入单片机的 Flash 存储器

内,省去编程器。某些机型还支持在线应用编程(IAP),可在线升级或销毁单片机的应用程序,省去了仿真器。

7. 实时操作系统的使用

51 单片机可配置实时操作系统 RTX51。RTX51 是一个针对 8051 系列的多任务内核。从本质上简化了对实时事件反应速度要求较高的复杂应用的系统设计、编程和调试。RTX51 实时内核完全集成到 C51 编译器中,使用简单方便。

8. 单片机应用的可靠性技术发展

近年来,单片机的生产厂家在单片机设计上采用了各种提高可靠性的新技术,这些新技术表现在如下几点。

(1) EFT (Electrical Fast Transient) 技术:在振荡电路的正弦信号受到外界干扰时,其波形上会叠加各种毛刺信号,如果使用施密特电路对其整形,则毛刺会成为触发信号而干扰正常的时钟,EFT 技术交替使用施密特电路和 RC 滤波电路,消除这些毛刺,从而保证系统的时钟信号正常工作,提高了系统可靠性。Motorola 公司的 MC68HC08 系列单片机就采用了这种技术。

(2) 低噪声布线技术及驱动技术:在传统的单片机中,电源及地线是在集成电路外壳的对称引脚上,一般是在左上、右下或右上、左下的两对对称点上,这样会使电源噪声穿过整块芯片,对单片机的内部电路造成干扰。现在,很多单片机都把地和电源引脚安排在两个相邻的引脚上,不仅降低了穿过整个芯片的电流,另外还便于在印制电路板上布置去耦电容,从而降低系统的噪声。

采用“跳变沿软化技术”,降低片内大电流驱动电路所产生的噪声。将多个小管子并联等效一个大管子,并在每个小管子的输出端串联上不同等效阻值的电阻,以降低 di/dt ,从而消除大电流瞬变时产生的噪声。

(3) 采用低频时钟:高频外时钟是噪声源之一,不仅能对单片机应用系统产生干扰,还会对外界电路产生干扰,令电磁兼容性不能满足要求。对于要求可靠性较高的系统,低频外时钟有利于降低系统的噪声。在一些单片机中,内部采用锁相环技术,在外部时钟频率较低时,也能产生较高的内部总线速度,从而提高了速度又降低了噪声。Motorola 公司的 MC68HC08 系列及其 16/32 位单片机就采用了这种技术以提高可靠性。

1.2 单片机应用

1.2.1 单片机应用方向

在日常生活、生产等领域,凡是有自动控制要求的地方,都会有单片机的影子,其应用已经相当普及。单片机的应用有利于系统的小型化、智能化及多功能化,从根本上改变了传统控制系统的设计思想和设计方法。以前必须用模拟电路或数字电路实现的大部分功能,现在已能用单片机通过软件方法来实现。用软件代替部分硬件,使系统软化并提高性能,是传统控制技术的一次革命。

单片机的应用具有软件和硬件相结合的特点,因而设计者不但要熟练掌握单片机的编程技术,还要有较强的单片机硬件方面的知识。由于单片机具有显著的优点,它已成为科技领域的有力工具、人类生活的得力助手。单片机的应用已遍及各个领域,主要表现在以下几个方面。

1. 智能仪表

单片机广泛地用于各种仪器仪表,使仪器仪表智能化,集测量、处理、控制功能于一体,并提高测量的自动化程度和精度,简化仪器仪表的硬件结构,提高其性能价格比。这些特点不仅使传统的仪器仪表发生了根本的变革,也给仪器仪表行业技术改造带来曙光。

2. 机电一体化

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集成机械技术、微电子技术、计算机技术于一体,具有智能化特征的机电产品。例如,微机控制的车床、钻床,采用单片机可提高其可靠性,增强系统功能,降低控制成本。单片机作为机电产品的控制器,能充分发挥其体积小、可靠性高、功能强等优点,大大提高机电产品的自动化、智能化程度。

3. 实时控制

单片机广泛用于各种实时控制的系统中。例如,工业控制系统、自适应控制系统、数据采集系统等各种实时控制系统,都可以用单片机作为控制器。单片机的实时数据处理能力和控制功能,可使系统保持在最佳工作状态,提高系统的工作效率和产品质量。

4. 分布式多机系统

在复杂的控制系统中,常采用分布式多机系统。多机系统由若干台功能各异的单片机组成,各自完成特定的任务,它们之间通过串行通信相互联系、协调工作。单片机在这种系统中往往作为一个终端机,安装在系统的某些节点上,对现场信息进行实时的测量和控制。单片机的高可靠性和强抗干扰能力,使它可以置于恶劣环境的前端工作。

5. 人类生活

自从单片机诞生以后,它就步入了人类生活,如洗衣机、电冰箱、电子玩具、收录机等家用电器。家用电器配上单片机以后,提高了智能化程度,增加了功能,使人类生活更加方便、舒适、丰富多彩。

6. 智能接口

计算机系统有许多外部通信、采集、多路分配管理、驱动控制等接口。这些接口及其所连接的外部设备如果完全由主机进行管理,势必造成主机负担过重,降低运行速度。用单片机进行接口的控制与管理,单片机与主机可并行工作,可大大提高系统的运行速度。

21世纪是全人类进入计算机时代的世纪,许多人不是在制造计算机便是在使用计算机。在使用计算机的人们中,只有从事嵌入式系统应用的人才真正地进入到计算机系统的内部软硬件体系中,才能真正领会计算机的智能化本质并掌握智能化设计的知识。从学习单片机应用技术入手是掌握计算机应用软硬件技术的最佳方法之一。

1.2.2 单片机应用系统的分类

按照单片机系统扩展与系统配置状况,单片机应用系统可分为最小应用系统、最小功耗应用系统、典型应用系统等。

1. 最小应用系统

最小应用系统是指能维持单片机运行的最简单配置的系统,如开关状态的输入/输出控制等。片内有 ROM/EPROM/Flash 的单片机,其最小应用系统即为配有晶振、复位电路、电源、简单的 I/O 设备(开关、发光二极管)及必要的软件组成的单片机系统。若片内无 ROM/EPROM 的单片

机，则除了上述配置外，还应外接 EPROM 或 E²PROM 作为程序存储器，构成单片机系统。

2. 最小功耗应用系统

最小功耗应用系统是指在保证系统正常运行的情况下，使系统的功率消耗最小。设计最小功耗应用系统时，必须使系统内的所有器件、外设都有最小的功耗，而且能运行在 Wait 和 Stop 方式。选择 CMOS 型单片机芯片，为构成最小功耗应用系统提供了必要的条件，这类单片机中都设置了低功耗运行的 Wait 和 Stop 方式。

最小功耗应用系统常用在便携式、手提式等袖珍式智能仪表，野外工作仪表及在无源网络、接口中的单片机工作子站。

3. 典型应用系统

典型应用系统是指以单片机为核心，配以输入/输出、显示、控制等外围电路和软件，实现一种或多种功能的实用系统。由于单片机主要用于工业控制，因此，其典型应用系统应具备前向传感器通道、后向驱动通道及基本的人机对话手段。它包括了系统扩展与系统配置两部分内容。系统扩展是指在单片机中 ROM、RAM 及 I/O 接口等片内部件不能满足系统要求时，在片外扩展相应的部分以弥补单片机内部资源的不足。系统配置是指单片机为满足应用要求时，应配置的基本外部设备，如键盘、显示器等。

1.3 51 系列单片机

1.3.1 MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司生产的单片机的系列符号，MCS-51 系列单片机是 Intel 公司在 MCS-48 系列的基础上于 20 世纪 80 年代初发展起来的，是最早进入我国并在我国应用最为广泛的单片机机型之一，也是单片机应用的主流品种。MCS-51 系列单片机的分类见表 1-1，51 子系列是基本型，而 52 子系列则属于增强型。52 子系列与 51 子系列的异同点见表 1-1。

- (1) 片内 ROM 由 4KB 增加到 8KB;
- (2) 片内 RAM 由 128B 增加到 256B;
- (3) 定时器/计数器由 2 个增加到 3 个;
- (4) 中断源由 5 个增加到 6 个。

表 1-1 MCS-51 系列单片机分类表

系 列	型 号	片内存储器		片外存储器 寻址范围		I/O 接口线		中断源 (个)	定时器/计数器 (个×位)
		ROM	RAM	RAM	EPROM	并行	串行		
51 子系列	8031	无	128B	64KB	64KB	32 位	UART	5	2×16
	8051	4KB ROM							
	8751	4KB EPROM							
52 子系列	8032	无	256B	64KB	64KB	32 位	UART	6	3×16
	8052	8KB ROM							
	8752	8KB EPROM							

20 世纪 80 年代中期以后，Intel 公司已把精力集中在高档 CPU 芯片的研发上，逐渐淡出单片机芯片的开发和生产。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许多半导体芯片生产厂家，如 ATMEL、Philips、Cygnal、ANALOG、LG、ADI、Maxim、