



河南职业技术学院

国家示范性高职院校建设项目成果

单片机应用 系统设计与制作



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件等

河南职业技术学院
国家示范性高职院校建设项目成果

单片机应用系统设计与制作

主 编	肖 龙	屈芳升
副主编	李小强	周炯亮
参 编	孙雷明	季小榜
主 审	周 淳	许圣英

机 械 工 业 出 版 社

本书依据教育部制定的相关专业高技能人才培养的要求,根据高职教育的教学要求和办学特点,突破传统学科教育对学生应用能力培养的局限,以情境构建教学体系,以任务驱动教学内容,介绍了现行单片机应用系统的基本制作和单片机开发的应用技术。

全书分为单片微型计算机的初步认知、指令系统的学习及应用、中断和定时/计数器的应用、单片机串行通信的实现和 MCS-51 系统扩展与接口技术的应用 5 个情境。每个情境都包含了若干个任务。任务从提出学习目的和要求开始,设定训练内容,同时结合所用到的知识点,辅以必要的理论分析,理论指导实践,在任务的技能能力部分明确操作步骤和评分标准,给出教学量化参考,使学生通过本书能对单片机应用系统的设计与制作技术有一个较全面的了解。

本书可作为高职高专院校电子信息工程技术专业、应用电子技术专业、通信技术专业、电气专业、自动化专业、计算机应用专业等的单片机实践训练及理论教学用书,也可作为从事单片机应用技术开发的有关技术人员的参考用书。

为方便教学,本书配有免费电子课件、习题解答等,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电或邮件索取,咨询电话:010-88379564 或邮箱:cmpqu@163.com。有任何技术问题也可通过以上方式联系。

图书在版编目(CIP)数据

单片机应用系统设计与制作/肖龙,屈芳升主编. —北京:机械工业出版社,2010.12

河南职业技术学院. 国家示范性高职院校建设项目成果

ISBN 978-7-111-32815-5

I. ①单… II. ①肖…②屈… III. ①单片微型计算机-系统设计-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 251931 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:曲世海 责任编辑:曲世海 常建丽 崔占军

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·420 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-32815-5

定价:30.00 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

序

三载寒暑，数易其稿，我院国家示范性高职院校建设成果之一——工学结合的系列教材终于付梓了，她就像一簇小花，将为我国高职教育园地增添一抹春色。我院入选国家示范性高职院校建设单位以来，以强化内涵建设为重点，以专业建设为龙头，以精品课程和教材建设为载体，与行业企业技术、管理专家共同组建专业团队，在课程改革的基础上，共同编著了30余部教材，涵盖了我院的机电一体化技术、电子信息工程技术、汽车检测与维修技术、烹饪工艺与营养四个专业的30余门专业课程。在保证知识体系完整性的同时，体现基于工作过程的基本思想，是本批教材探讨的重点。

本批教材是学院与行业企业共同开发的，适应区域、行业经济和社会发展的需要，体现行业新规范、新标准，反映行业企业的新技术、新工艺、新材料。教材内容紧密结合生产实际，融“教、学、做”为一体，力求体现能力本位的现代教育思想和理念，突出高职教育实践技能训练和动手能力培养的特色，注重实用性、先进性、通用性和典型性，是适合高职院校使用的理论和实践一体化教材。

本批教材由我院国家示范性重点建设专业的专业带头人、骨干教师与相关行业企业的技术、管理专家合作编写，这些同志大都具有多年从事职业教育和生产管理一线的实践经验。合作团队中既有享受国务院政府特殊津贴的专家、河南省“教学名师”，又有河南省教育厅学术技术带头人、国家技能大赛优胜者等。学院教师长期工作在高职教育教学一线，熟悉教学方法和手段，理论方面有深厚功底，行业企业专家具有丰富的实践经验，能够把握教材的广度和深度，设定基于工作过程的教学任务，两者结合，优势互补，体现“校企合作、工学结合”的主要精髓。相信这批教材的出版，将会为我国高职教育的繁荣发展做出一定贡献。

河南职业技术学院院长 王爱群

前 言

根据教育部、财政部关于确立“国家示范性高等院校建设计划”2008年度立项建设院校的通知（教高函【2008】17号），河南职业技术学院被确立为立项建设院校。本教材所属课程是该院中央财政支持的重点建设专业电子信息工程技术的专业核心课程之一。

本书以基于单片机控制的实际电子产品的设计与制作为最终目标，注重实践，将完成电子产品设计制作的工作过程整合成工作任务。以任务驱动教学，从提出“教学目的”开始，在完成工作任务的过程中，突出制作工艺要领和操作技能的培养；在每个任务的“知识能力”部分，将本任务中涉及的理论知识进行梳理，努力使实训时脱离理论教材，实现理论实训一体化；在“技能能力”部分，将工作过程进行教学描述，设计出“任务单”，要求学生从资讯、决策、计划、实施、检查、评价6个方面开放学习，并在每个任务后面给出“考核标准”，对训练过程进行记录，并相应地给出量化参考标准，最后，通过“技能测试”巩固学习成果。

本书由河南职业技术学院的肖龙和屈芳升担任主编，其中，肖龙编写了任务1.1并负责统稿，屈芳升编写了任务1.2、任务1.3、任务1.4及前言部分。河南职业技术学院的李小强和周炯亮担任副主编，其中，李小强编写了情境2和附录部分，周炯亮编写了情境3。本书参编有河南职业技术学院的孙雷明和季小榜，其中，孙雷明编写了情境4，季小榜编写了情境5。全书由中国船舶工业总公司第七一三研究所周淳和郑州正星科技股份有限公司许圣英担任主审，对本书内容提出了许多可行性建议。

为方便教学，本书配有免费电子课件、习题解答等，凡选用本书作为授课教材的学校，均可来电或邮件索取，咨询电话：010-88379564或邮箱：cmpqu@163.com。有任何技术问题也可通过以上方式联系。

书中某些元器件符号及其参数标注采用的是Proteus软件中的标准，与国家标准不符，具体对应关系请参阅有关资料，在此特别提醒读者注意。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有疏漏、不妥之处，恳请读者指正。

编 者

目 录

序

前言

情境 1 单片微型计算机的初步认知	1
任务 1.1 单片机的初步认知	1
任务 1.2 LED 单灯闪烁电路的设计与制作	23
任务 1.3 单片机最小应用系统的设计与制作	39
任务 1.4 基于 Proteus 的单片机仿真系统认知	48
情境 2 指令系统的学习及应用	67
任务 2.1 流水彩灯的设计与制作	67
任务 2.2 简单交通灯模拟控制系统的设计与制作	91
情境 3 中断和定时/计数器的应用	122
任务 3.1 多故障显示监控系统的设计	122
任务 3.2 电子琴的设计与制作	134
情境 4 单片机串行通信的实现	160
任务 4.1 单片机串口控制数码管电路的设计与制作	160
任务 4.2 单片机串行通信电路的设计与制作	173
情境 5 MCS-51 系统扩展与接口技术的应用	188
任务 5.1 存储器扩展电路的设计与制作	188
任务 5.2 I/O 接口扩展电路的设计与制作	207
任务 5.3 键盘接口电路的设计与制作	218
任务 5.4 显示器接口电路的设计与制作	230
任务 5.5 电平显示电路的设计与制作	244
附录	258
附录 A MCS-51 系列单片机指令系统表	258
附录 B ASCII 表	262
附录 C 常用 EPROM 固化电压参考表	263
参考文献	266

情境 1 单片微型计算机的初步认知

任务 1.1 单片机的初步认知

教 学 目 的

知识能力：了解单片机的发展概况和发展趋势，常用单片机的种类，单片机的数制、码制，单片机应用系统的特点及半导体存储器。

技能能力：通过本次学习任务的实施，能够了解常用单片机的种类，熟练掌握单片机的数制、码制及编码，了解单片机应用系统的特点及半导体存储器的分类和特点。

社会能力：培养学生的自主学习能力和爱岗敬业、吃苦耐劳、团队协作的精神。

► 知识能力

1.1.1 单片机的发展和应用

单片微型计算机（Single-Chip Microprocessor）是微型计算机（Microcomputer，简称微机）的一个重要分支，是一种应用广泛、颇具生命力的机种。单片微型计算机简称单片机，特别适用于工业控制领域，因此又称为微控制器（Microcontroller）。

通常，单片机由单块集成电路芯片构成，内部包含有计算机的 4 大基本功能部件：控制器、运算器、存储器和 I/O 接口电路。因此，单片机只需要和适当的软件及外部设备相结合，便可成为一个单片机控制系统。

1. 单片机的发展概况

1971 年微处理器的研制成功不久，就出现了单片微型计算机，即单片机，但最早的单片机是 1 位的，处理能力有限。

单片机的发展历史可分为以下 4 个阶段：

第 1 阶段（1974 ~ 1976 年）：单片机初级阶段。受工艺限制，单片机采用双片的形式，而且功能比较简单。例如，美国仙童公司生产的 F8 单片机，实际上只包括了 8 位 CPU、64B 的 RAM 和 2 个并行口。

第 2 阶段（1976 ~ 1978 年）：低性能单片机阶段。以 Intel 公司制造的 MCS-48 系列单片机为代表，该系列单片机片内集成有 8 位 CPU、8 位定时/计数器、并行 I/O 口、RAM 和 ROM 等，但是最大的缺点就是无串行口，中断处理比较简单，而且片内 RAM 和 ROM 容量较小，且寻址范围不大于 4KB。

第 3 阶段（1978 ~ 1983 年）：高性能单片机阶段。这个阶段推出的单片机普遍带有串行口，多级中断系统，16 位定时/计数器，片内 ROM、RAM 容量加大，且寻址范围可达 64KB，有的片内还带有 A/D 转换器。这类单片机的典型代表是 Intel 公司的 MCS-51 系列的

8031, Motorola 公司的 6801 和 Zilog 公司的 Z8 等。由于这类单片机的性能价格比高, 所以仍被广泛应用, 是目前应用数量较多的单片机。

第 4 阶段 (1983 年至今): 8 位单片机巩固发展阶段以及 16 位单片机、32 位单片机推出阶段。此阶段的主要特征是一方面发展 16 位单片机、32 位单片机及专用型单片机; 另一方面不断完善高档 8 位单片机, 改善其结构, 增加片内器件, 以满足不同的用户需要。16 位单片机的典型产品如早期的 Intel 公司生产的 MCS-96 系列单片机, 片内带有多通道 10 位逐次逼近比较式 A/D 转换器和高速输入/输出部件 (HSI/HSO), 实时处理能力很强; 再如, 近些年 TI 公司推出的 MSP430 系列低功耗的 16 位单片机, 更是降低了功耗, 可采用 1.8 ~ 3.6V 电压供电, 并集成了更丰富的片内资源。而 32 位单片机除了具有更高的集成度外, 其晶振频率已达 20MHz, 这使 32 位单片机的数据处理速度比 16 位单片机快很多, 性能比 8 位、16 位单片机更加优越, 能处理较复杂的图形和声音数据。

2. 单片机的发展趋势

8051 处理器内核自从诞生之日 (20 世纪 70 年代末到 80 年代) 起就基本停滞不前, 而软件及外围电路的设计却并非如此, 系统设计者不断地对基于 8051 的应用进行着改进和升级。这种“性能爬升”将现有的 8051 性能推向了极限。然而, 对于 8051 内核的改进却一直没有跟得上, 这样看来, 系统的设计者似乎不得不转向其他处理器, 并花费昂贵的代价去重新设计和更新系统。性能的瓶颈在于过时的内核设计。尽管外部晶振的频率最高可以达到 40MHz, 传统的 8051 仍然需要 12 个时钟周期才能运行一个机器周期。每条指令需要 1 ~ 4 个机器周期, 这意味着执行一条指令就需要少则 12 个、多则 48 个时钟周期。这样, 即便是运行像 NOP 这样的单周期指令, 吞吐率也被限制于仅有 3MIPS (Million Instructions Per Second)。

从 20 世纪 90 年代初开始, 购买了 Intel 公司 8051 内核的各个大厂商都开始积极地分析 8051 设计上的缺陷, 并重新设计。而且设计的原则基本上都是按照一条绝对不变的准则——指令集必须保持和 8051 指令集操作码的兼容性。再重新设计之后, 各个大公司相继于 90 年代末推出了一系列完全符合 51 指令集的高性能 8 位单片机, 有的只需要 4 个时钟周期就能运行一个机器周期, 这样在晶振不变的情况下, 吞吐率为原来的 3 倍。大多数新型号芯片内部都集成了大量的功能器件, 极大地提升了 51 内核单片机的应用范围, 并减少了老产品改进的成本。

总之, 单片机的发展趋势是向大容量、高性能化, 外围电路内装化等方面发展。为满足不同用户的要求, 各公司竞相推出能满足不同需要的产品。

下面从不同角度介绍一下单片机的发展趋势。

(1) CPU 的改进 主要是提高 CPU 的处理字长或提高时钟频率。采用双 CPU 结构, 可以提高处理能力, 还有一些改进了系统的设计, 提升了系统速度。高性能单片机增加了数据总线宽度, 内部采用 16 位或 32 位数据总线, 这样其数据处理能力明显优于一般的 8 位单片机。16 位和 32 位单片机大多采用了流水线结构, 指令以队列形式出现在 CPU 中, 且具有很快的运算速度, 尤其适合于作数字信号处理用。大多数单片机的总线接口采用串行总线结构, 如 I²C 总线 (也称 I2C 总线)。该总线是用 3 条数据线代替现行的 8 位数据总线, 从而大大地减少了单片机引线, 降低了单片机的成本。目前许多公司都在积极地开发此类产品。

(2) 存储器的发展 主要是存储容量的扩展。现在的半导体技术更新越来越快, 早期

使用的 EEPROM 已被 Flash 型存储器所替代, 这样不仅大大提高了程序固化的速度, 而且程序的擦写次数也高达 10 万次。51 内核单片机片内程序存储容量可达 1 ~ 64KB, 甚至部分单片机内部程序存储器的容量超过 128KB, 这也简化了外围电路的设计。对于 16 位和 32 位单片机来说, 只要制造条件允许, 就可以集成更多的程序存储器。

(3) 片内 I/O 的改进 一般单片机都有较多的并行口, 以满足外围设备、芯片扩展的需要, 并配有串行口, 以满足多机通信功能的要求。

1) 增加并行口的驱动能力。这样可减少外部驱动, 例如, 有的单片机能直接输出大电流和高电压, 以便直接驱动 LED 和 LCD (液晶显示器)。

2) 增加 I/O 口的逻辑控制功能。大部分单片机的 I/O 都能进行逻辑操作。中、高档单片机的位处理系统能够对 I/O 口进行位寻址及位操作, 大大地加强了 I/O 口控制的灵活性。

3) 有些单片机设置了一些特殊的串行接口功能, 为构成网络化系统提供了方便条件。

(4) 外围电路内装化 随着集成度的不断提高, 有可能把众多的外围功能器件集成在片内, 这也是单片机发展的重要趋势。除了一般必须具有的 ROM、RAM、定时/计数器、中断系统外, 随着单片机档次的提高, 以适应检测、控制功能更高的要求, 片内集成的部件还有模/数 (A/D) 转换器、数/模 (D/A) 转换器、DMA 控制器、中断控制器、锁相环、频率合成器、字符发生器、声音发生器、CRT 控制器和译码驱动器等。

随着集成电路技术及工艺不断发展, 能装入片内的外围电路也可以是大规模的, 把所需的外围电路全部装入单片机内, 即系统的单片化是目前单片机的发展趋势之一。

(5) 低功耗化 MCS-51 系列的 8031 推出时功耗达 630mW, 而现在的单片机普遍都在 100mW 左右。随着对单片机功耗要求越来越低, 现在的单片机制造商基本都采用了 CMOS (互补金属氧化物半导体) 工艺。如 80C51 就采用了 HMOS (高密度金属氧化物半导体) 工艺和 CHMOS (互补高密度金属氧化物半导体) 工艺。CMOS 虽然功耗较低, 但由于其物理特征决定其工作速度不够高, 而 CHMOS 则具备了高速和低功耗的特点, 更适合于要求低功耗 (如电池供电) 的应用场合。所以, 这种工艺将是今后一段时期单片机发展的主要途径。

目前, 8 位单片机中有一半的产品已 CMOS 化, 这类单片机普遍配有 Wait 和 Stop 两种工作方式。例如, 采用 CHMOS 工艺的 MCS-51 系列单片机 80C31/80C51/87C51 在正常运行 (5V、12MHz) 时, 工作电流为 16mA。同样条件下, 在 Wait 方式工作时, 工作电流为 3.7mA; 在 Stop (2V) 方式工作时, 工作电流仅为 50nA。

纵观单片机几十年的发展历程, 单片机的发展方向将向多功能、高性能、高速度、低电压、低功耗、低价格、外围电路内装化以及片内存储器容量增加和 Flash 存储器化方向发展。但其位数不一定会继续增加, 尽管现在已经有了 32 位单片机, 但应用不广泛。可以肯定, 今后单片机的功能更强、集成度和可靠性更高, 而功耗更低, 使用更方便。

此外, 专用化也是单片机的一个发展方向, 针对单一用途的专用单片机将会越来越多。

1.1.2 单片机的特点及应用

1. 单片机的特点

1) 小巧灵活、成本低、易于产品化。它能方便地组装成各种智能测控设备及各种智能仪器仪表, 并且易于产品的升级。

2) 可靠性好, 适应温度范围宽。单片机芯片本身是按工业测控环境要求设计的, 因此

能适应各种恶劣的环境。MCS-51 系列单片机的温度使用范围也较微处理器芯片宽, 其温度范围是民用级为 $0 \sim 70^{\circ}\text{C}$; 工业级为 $-40 \sim 85^{\circ}\text{C}$; 军用级为 $-65 \sim 125^{\circ}\text{C}$ 。

3) 内部集成度高、外围电路易扩展, 很容易构成各种规模的应用系统, 控制功能强。单片机的逻辑控制功能很强。指令系统有各种控制功能的指令。

4) 可以很方便地实现多机和分布式控制系统。

2. 单片机的应用

单片机的应用范围很广, 并在以下各个领域得到了广泛的应用。

(1) 工业自动化 在自动化技术中, 无论是过程控制技术、数据采集技术, 还是测控技术, 都离不开单片机。在工业自动化领域中, 机电一体化技术将发挥愈来愈重要的作用, 在这种集机械、微电子和计算机技术为一体的综合技术 (如机器人技术、数控技术等) 中, 单片机将发挥非常重要的作用。特别是近年来, 随着计算机技术的发展, 工业自动化也发展到了一个新的高度, 出现了无人工厂、机器人作业和网络化工厂等, 不仅将人从繁重、重复和危险的工业现场解放出来, 还大大提高了生产效率, 降低了生产成本。

(2) 智能仪器仪表 目前对仪器仪表的自动化和智能化要求越来越高。在自动化测量仪器仪表中, 单片机应用十分普及。单片机的使用有助于提高仪器仪表的精度和准确度, 简化结构, 减小体积而且易于携带和使用, 加速仪器仪表向数字化、智能化、多功能化方向发展。

(3) 消费类电子产品 该应用主要反映在家电领域。目前, 家电产品的一个重要发展趋势是不断提高其智能化程度。例如, 电子游戏机、照相机、洗衣机、电冰箱、空调机、电视机、微波炉、手机、IC 卡、汽车电子设备等。在这些设备中使用了单片机后, 其功能和性能大大提高, 并实现了智能化和最优化控制。

(4) 通信方面 较高档的单片机都具有通信接口, 因而为单片机在通信设备中的应用创造了很好的条件。例如, 在微波通信、短波通信、载波通信、光纤通信、程控交换等通信设备和仪器中都能找到单片机的应用。例如, 程控交换机是计算机技术和通信技术相结合的产物, 即计算机通信网, 不仅成为现代化通信的重要手段, 且其本身也表明了近代通信与计算机技术密不可分的关系。

(5) 武器装备 在现代化的武器装备中, 如飞机、军舰、坦克、导弹、鱼雷制导、航天飞机导航系统, 都有单片机的应用。

(6) 终端及外部设备控制 计算机网络终端设备 (如银行终端等) 以及计算机外部设备, 如打印机、硬盘驱动器、绘图机、传真机和复印机等, 都使用了单片机。

1.1.3 典型单片机简介

到目前为止, 单片机的制造厂商有很多, 如荷兰的 Philips、中国台湾的 Winbond、美国的 Motorola 半导体部现改为 Freescale Semiconductor、Microchip、TI、Zilog、Maxim [Dallas]、Analog Devices、ATMEL、Fairchild Semiconductor、National Semiconductor 等。很多设计厂商不仅有自己的专利产品, 也常常购买其他公司设计的单片机内核, 生产兼容型的其他内核的单片机, 这也极大地丰富了单片机的类型。即使是同一内核的产品, 可供挑选的数量也十分庞大。

这里主要介绍 PHILIPS 公司、ATMEL 公司和 Winbond 公司生产的部分 51 内核单片机的

性能。表 1-1、表 1-2 和表 1-3 列出了这些公司部分型号产品的芯片特性，更详细的内容可以参阅各个公司的芯片资料。

表 1-1 PHILIPS 公司的部分 51 内核单片机

型号	存储器容量			ISP/IAP	定时/计数器				L/O 数	串行接口	中断 (外部)	A/D 转换器	最大频率/MHz
	OTP /KB	Flash /KB	RAM		#	PWM	PCA	WDT					
P87C5 × X2	4 ~ 32		128 ~ 256B		3				32	UART	6(2)		33
P89C5 × X2		4 ~ 32	128 ~ 256B		3				32	UART	6(2)		33
P89V51RD2		64	512B ~ 1KB		3	✓	✓	✓	32	UART、SPI	7(2)		40
P89C66 ×		16 ~ 64	1 ~ 8KB	Y/Y	4	✓	✓	✓	32	UART、I ² C	8(2)		33
P8 × C591	16		512B		3	✓		✓	32	UART、I ² C、CAN	15(2)	6CH-10bit	16
P89C51R × +		32 ~ 64	512B ~ 1KB		4	✓	✓	✓	32	UART	7(2)		33

表 1-2 ATMELE 公司的部分 51 内核单片机

型号	存储器容量			ISP/IAP	定时/计数器				L/O 数	串行接口	中断 (外部)	最大频率/MHz
	OTP	Flash /KB	RAM		#	PWM	PCA	WDT				
AT89S52		8	256B	Y/Y	3			✓	32	UART	6(2)	33
AT89C51RD2		64	2KB	Y/Y	3		✓	✓	48/32	UART	9(2)	60
AT89LS52		8	256B	Y/Y	3			✓	32	UART	8(2)	16
AT89S2051		2	256B	Y/Y	2	✓			15	UART	6(2)	24

表 1-3 Winbond 公司的部分 51 内核单片机

型号	存储器容量			ISP/IAP	定时/计数器				L/O 数	串行接口	中断 (外部)	最大频率/MHz
	OTP	Flash /KB	RAM		#	PWM	PCA	WDT				
W781RD2		64	1KB + 256B	Y/Y	3	✓	✓	✓	32/36	UART	9(4)	25
W78E58		32	256B		3				32	UART	8(4)	40
W79E532		128	1KB + 256B	Y/Y	3	✓		✓	32/36	UART	7(2)	40
W78E516B		64	512B	Y/Y	3				32/36	UART	8(4)	24
W78E51B		4	128B		2			✓	32/36	UART	5/7 (2/4)	40

注：1. SPI (Serial Peripheral Interface) 为串行外设接口。

2. PCA (Programmable Counter Array) 为可编程计数器阵列。

3. ISP (In-System Programming) 为在系统编程。

4. IAP (In-Application Programming) 为在应用编程。

5. “#” 为此种单片机拥有的定时/计数器个数。

6. “6CH-10bit” 为 6 通道、10 位。

现在 ATMEL 公司生产的 AT89S52 应用较广泛。AT89S52 是一种低电压、高性能的 CMOS 8 位微处理器,它带有 8KB 可在线编程 (ISP) 的 Flash 存储器。该器件使用了 ATMEL 公司的高密度、非易失性存储器技术,并且完全兼容工业标准的 80C51 指令集和引脚。芯片内的 Flash 存储器可以在线对程序内容重新编程,或者通过普通的非易失性存储器编程器重新编程。把这个通用的 8 位 CPU 和可在线编程 Flash 存储器结合到一个芯片上。AT89S52 功能更加强大,可应用到很多高性能、低功耗的嵌入式控制产品中。AT89S52 有如下特性:8KB Flash 片内存储器可以进行 1000 次擦/写循环并可以进行 3 级加密,工作电压范围为 4.0 ~ 5.5V,晶振频率最高可达 33MHz,有 256B 片内 RAM、32 根可编程 I/O 口线、一个看门狗定时器、两个数据指针、3 个 16 位定时/计数器、6 个向量两级优先级的中断系统、一个全双工串行口、片内振荡器和时钟电路。此外,AT89S52 被设计成在工作频率降到零时能支持静态逻辑,并且支持两个软件可选择的节电模式:一个是空闲模式;另一个是掉电模式。空闲模式停止了 CPU 工作,但是允许 RAM、定时/计数器、串口和中断系统继续工作。掉电模式保存了 RAM 的内容,但是冻结了晶振,禁用了其他功能,直到有中断唤醒,或硬件复位。此外,AT89S52 还拥有关电源标志。

相比较而言,存储器容量的大小,特别是内部程序存储器的容量已经不是很重要的参数,因为 Flash 存储器技术的提高,使得芯片内就可以拥有 64KB 的容量。不过,考虑到很多时候程序并不是很大,各大公司在这方面的提高并没有改变产品的市场占有率。内部器件的增多对于 8 位单片机用户来说则是一件好事,不但节约了设计外围电路的成本,也使系统的可靠性提高了很多。

PHILIPS 的 P89V51RD2 就是一款带有 64KB Flash 程序存储器和 1KB 内部数据存储器的 C51 内核的单片机。其中一个重要特性就是它的 X2 模式选项。设计者可以选择自己的应用程序运行在传统的 80C51 时钟频率下(每个机器周期由 12 个时钟周期组成),或者选择 X2 模式(每个机器周期由 6 个时钟周期组成),这样在相同的时钟频率下吞吐率可达到原来的两倍。由这个特性获得的另外一个好处是,在将时钟频率减到原来的一半后保持了同样的性能,而大大减少了电磁干扰。芯片内的可编程 Flash 存储器支持并行编程和串行的在线编程。并行编程模式可以高速成组编程,减少了编程的花费和时间。在软件的控制下,ISP 可以对最终产品设备进行再编程。这极大地提高了人们更新产品固件的能力,大大提高了产品应用的范围。P89V51RD2 也支持 IAP,可以在系统运行时对 Flash 存储器中的程序重新配置。

虽然现在有很多公司生产了不同型号 51 内核的单片机,但是它们的通用性并没有改变,产品之间依然能够互换,所以在产品型号选择的时候可供人们选择的范围越来越大。

在我国引进的单片微型计算机系列中,美国 Intel 公司的单片机产品占主导地位,其主要代表系列有 MCS-48、MCS-51 和 MCS-96 等。

1) MCS-48 系列单片机是 Intel 公司 1976 年以后开发出来的第一代 8 位单片机系列产品,它拥有 96 条指令,其中 70% 为单字节指令,其余为双字节指令。每个机器周期为 2.5 μ s,所有指令的执行时间为 1~2 个机器周期。MCS-48 系列单片机的主要特性见表 1-4。

2) MCS-51 系列单片机属于 8 位高档单片机,它在 MCS-48 系列单片机基础上扩大了片内存储器容量、片外寻址空间、并行 I/O 口,增加了全双工串行 I/O 口、中断源、中断优先级处理及寻址功能、乘/除法运算和位操作,特别是它的布尔处理器,对于处理逻辑控制具

有突出的优点。

表 1-4 MCS-48 系列单片机的主要特性

型号	片外存储器		I/O 线	定时/计数器	片外寻址空间	
	程序存储器	数据存储器			程序存储器/KB	数据存储器/B
8048	1KB ROM	64B RAM	27	1 个 8 位	4	256
8748	1KB EPROM	64B RAM	27	1 个 8 位	4	256
8035	无	64B RAM	27	1 个 8 位	4	256
8049	2KB ROM	128B RAM	27	1 个 8 位	4	256
8749	2KB EPROM	128B RAM	27	1 个 8 位	4	256
8039	无	128B RAM	27	1 个 8 位	4	256
8050	4KB ROM	256B RAM	27	1 个 8 位	4	256
8750	4KB EPROM	256B RAM	27	1 个 8 位	4	256
8040	无	256B RAM	27	1 个 8 位	4	256

MCS-51 系列单片机一般采用 HMOS（8051）和 CHMOS（80C51）两种工艺制造，但由这两种工艺制造的单片机完全兼容。MCS-51 系列单片机的主要特性见表 1-5。

表 1-5 MCS-51 系列单片机的主要特性

型号	片外存储器		I/O 线	定时/计数器	片外寻址空间		串行通信
	程序存储器	数据存储器			程序存储器/KB	数据存储器/KB	
8051	4KB ROM	128B RAM	32	2 个 16 位	64	64	UTAR
8751	4KB ROM	128B RAM	32	2 个 16 位	64	64	UTAR
8031	无	128B RAM	32	2 个 16 位	64	64	UTAR
80C51	4KB ROM	128B RAM	32	2 个 16 位	64	64	UTAR
80C31	无	128B RAM	32	2 个 16 位	64	64	UTAR
8052	8KB ROM	256B RAM	32	2 个 16 位	64	64	UTAR
8032	无	256B RAM	32	2 个 16 位	64	64	UTAR
8044	4KB ROM	192B RAM	32	2 个 16 位	64	64	SDLC
8744	4KB ROM	192B RAM	32	2 个 16 位	64	64	SDLC
8344	无	192B RAM	32	2 个 16 位	64	64	SDLC

3) MCS-96 系列单片机是 Intel 公司推出的 16 位高性能单片机。它有两个显著的特点：

① 集成度高。它除了内部具有常规的 I/O 口、定时/计数器、全双工串行口外，还具有高速 I/O 部件、多路 A/D 转换、脉宽调制输出及监视定时器。

② 运算速度快。它具有丰富的指令系统、先进的寻址方式和带符号运算功能，不但可以对字或字节操作，还可以进行带符号或不带符号数的乘除运算。

MCS-96 系列单片机的主要特性见表 1-6。

目前，MCS-48 系列单片机在性能价格比上已没有明显的优势，正逐步被高档 8 位机 MCS-51 系列所取代。MCS-96 系列单片机由于价格偏高等原因，目前在国内市场还未广泛应用。因此，MCS-51 系列单片机在国内获得了广泛应用。本书以 MCS-51 为例进行介绍。

表 1-6 MCS-96 系列单片机的主要特性

型号	片外存储器		I/O 线	定时/计数器	片外寻址空间 /KB	串行通信	A/D 转换
	程序存储器	数据存储器					
8094	无	232B RAM	32	2 个 16 位	64	UTAR	无
8795	无	232B RAM	32	2 个 16 位	64	UTAR	4 路 10 位
8096	无	232B RAM	48	2 个 16 位	64	UTAR	无
8097	无	232B RAM	48	2 个 16 位	64	UTAR	4 路 10 位
8394	8KB ROM	232B RAM	32	2 个 16 位	64	UTAR	无
8395	8KB ROM	232B RAM	32	2 个 16 位	64	UTAR	4 路 10 位
8396	8KB ROM	232B RAM	48	2 个 16 位	64	UTAR	无
8397	8KB ROM	232B RAM	48	2 个 16 位	64	UTAR	8 路 10 位

1.1.4 单片机的数制、码制与编码

1. 进位计数制

进位计数制是计数方法的统称,是人们利用符号计数的一种科学方法。数制是人类在长期的实践中逐步形成的。数制有很多种,如日常生活中,月份采用十二进制计数。微型计算机中常用的数制有二进制、八进制、十进制和十六进制等。习惯上最常用的是十进制计数制。

(1) 十进制 (Decimal) 十进制是大家最熟悉的进位计数制,它由 0、1、2、3、4、5、6、7、8 和 9 十个数字符号组成。这十个数字符号又称为数码,每个数码在数中最多可有两个值的概念。例如,十进制数 34 中的数码 3,其本身的值为 3,但它实际代表的值为 30。在数学上,数制中数码的个数定义为基数,故十进制的基数为 10。

十进制是一种科学的计数方法,由它表示的数的范围可以从无限小到无限大。十进制数通常具有以下两个主要特点:

1) 它有 0~9 十个不同的数码,这是构成所有十进制数的基本符号。

2) 它是逢十进位的。在计数过程中,当十进制数的某位计满 10 时,就要向它邻近高位进一。

因此,任何一个十进制数不仅和构成它的每个数码本身的值有关,而且还和这些数码在数中的位置有关。也就是说,任何一个十进制数都可以展开成幂级数形式。例如:

$$123.45 = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

式中, 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 在数学上称为权,10 为它的基数;整数部分中每位的幂是该位位数减 1;小数部分中每位的幂是该位小数的位数。

一般地,任意一个十进制数 $N(a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m})$ 均可表示为

$$N = \pm [a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m}]$$

即

$$N = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i$$

式中, i 表示数中的任一位,是一个变量; a_i 表示第 i 位的数码; n 为整数部分的位数; m 为小数部分的位数。

(2) 二进制 (Binary) 二进制数是随着计算机的发展而发展起来的。二进制数也有以

下两个主要特点:

- 1) 它有 0 和 1 两个数码, 任何二进制数都是由这两个数码组成的。
- 2) 二进制数的基数为 2, 进位计数为逢二进一。

因此, 二进制数同样也可以展开成幂级数形式, 不过内容有所不同罢了。例如:

$$\begin{aligned} 11010.11 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 26.75 \end{aligned}$$

式中, 指数 2^4 、 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 和 2^{-2} 为权, 2 为基数, 其余和十进制时相同。

为此, 任何二进制数 $N(a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m})$ 的通式为

$$N = \pm (a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m})$$

即

$$N = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i$$

式中, a_i 为第 i 位数码, 可取 0 或 1; n 为整数部分的位数; m 为小数部分的位数。

(3) 十六进制 (Hexadecimal) 十六进制是人们学习和研究计算机中二进制数的一种工具, 它是随着计算机的发展而广泛应用的。十六进制数也有两个主要特点:

1) 它有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 16 个数码, 任何一个十六进制数都是由其中的一些或全部数码构成。

2) 十六进制数的基数为 16, 进位计数为逢十六进一。

十六进制数也可展开成幂级数形式。例如:

$$51C.B1H = 5 \times 16^2 + 1 \times 16^1 + C \times 16^0 + B \times 16^{-1} + 1 \times 16^{-2} = 1308.6914$$

其通式为

$$\begin{aligned} N &= \pm (a_{n-1} \times 16^{n-1} + a_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + a_0 \times 16^0 + a_{-1} \times 16^{-1} \\ &\quad + a_{-2} \times 16^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 16^{-m}) \end{aligned}$$

即

$$N = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 16^i$$

式中, a_i 为第 i 位数码, 取值为 0 ~ F 中任一个; n 为整数部分的位数; m 为小数部分的位数。

(4) 八进制 (Octal) 八进制有两个主要特点:

1) 它有 0、1、2、3、4、5、6、7 共 8 个数码, 任何一个八进制数都是由其中的一些或全部数码构成。

2) 八进制数的基数为 8, 进位计数为逢八进一。

八进制数也可展开成幂级数形式。例如:

$$(207.2)_8 = 2 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 2 \times 8^{-1} = 135.25$$

其通式为

$$N = \pm (a_{n-1} \times 8^{n-1} + a_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + a_0 \times 8^0 + a_{-1} \times 8^{-1} + a_{-2} \times 8^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 8^{-m})$$

即

$$N = \pm \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 8^i$$

式中, a_i 为第 i 位数码, 取值为 0 ~ F 中任一个; n 为整数部分的位数; m 为小数部分的位数。

部分十进制、二进制和十六进制数的对照见表 1-7。

表 1-7 部分十进制、二进制和十六进制数的对照

整 数			小 数		
十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0	0	0	0	0
1	1	1	0.5	0.1	0.8
2	10	2	0.25	0.01	0.4
3	11	3	0.125	0.001	0.2
4	100	4	0.0625	0.0001	0.1
5	101	5	0.03125	0.00001	0.08
6	110	6	0.015625	0.000001	0.04
7	111	7	0.0078125	0.0000001	0.02
8	1000	8	0.00390625	0.00000001	0.01
9	1001	9			
10	1010	A			
11	1011	B			
12	1100	C			
13	1101	D			
14	1110	E			
15	1111	F			
16	10000	10			

在微型计算机内部，数的表示形式是二进制数，这是因为二进制数只有 0 和 1 两个数码，人们采用晶体管的导通和截止、脉冲的高电平和低电平等可以很容易地表示出来。此外，二进制数运算简单，用电子电路实现起来很方便，但是书写时却很麻烦，因此人们采用十六进制数表达，这样可以大大减轻阅读和书写二进制数时的负担。例如：

$$11011011\text{B} = \text{DBH}$$

$$1001001111110010\text{B} = 93\text{F2H}$$

显然，采用十六进制数描述一个二进制数十分简洁，尤其在被描述的二进制数位数较长时，更令读者感到方便。

在阅读和书写不同数制的数时，必须在每个数上外加一些辨认标记，否则就会相互混淆而无法分清。通常，标记方法有两种：一种是给数加上方括号，并在方括号右下角标注数制代号，如 $[101]_{16}$ 、 $[101]_2$ 和 $[101]_{10}$ 分别表示十六进制、二进制和十进制数；另一种是用英文字母标记，放在被标记数的后面，分别用 B、D 和 H 字母表示二进制、十进制和十六进制数，如 56H 为十六进制数、101B 为二进制数等。其中，十进制数中的 D 标记可以省略。

2. 数制转换

人们习惯于使用十进制数，但微型计算机采用二进制数操作，这就要求机器能自动对不同数制的数进行转换。

(1) 二进制数和十六进制数间的转换

1) 二进制数转换成十进制数。二进制数转化成十进制数只要把要转换的数按权展开，之后相加即可，也可以从小数点开始向左或向右每 4 位一组，按十六进制的权展开并相加。例如：

$$10010.01\text{B} = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-2} = 18.25$$

或者 $11110.01\text{B} = 1\text{E}.4\text{H}$

2) 十进制数转换成二进制数。本转换过程是上述转换过程的逆过程，但十进制整数和

小数转换成二进制整数和小数的方法是不相同的，现分别进行介绍。

① 十进制整数转换成二进制整数。十进制整数转换成二进制整数的方法是“除2取余法”。“除2取余法”的法则是：用2连续去除要转换的十进制数，直到商小于2为止，然后把各次余数按最后得到的为最高位，最早得到的为最低位依次排列起来，所得到的数便是所求的二进制数，现举例加以说明。

【例1-1】 试求出十进制数189的二进制数。

解：把189连续除以2，直到商数小于2，相应的竖式为

2	189	余1	最低位
2	94	余0	
2	47	余1	
2	23	余1	
2	11	余1	
2	5	余1	
2	2	余0	
	1	余1	最高位

把所得余数按箭头方向从高到低排列起来，便可得到：

$$189 = 10111101\text{B}$$

② 十进制小数转换成二进制小数。十进制小数转换成二进制小数通常采用乘2取整法。“乘2取整法”的法则是：用2连续去乘要转换的十进制小数，直到所得积的小数部分为0或满足所需精度为止，然后把各次整数按最先得到的为最高位，最后得到的为最低位依次排列起来，所对应的数便是所求的二进制小数，现举例加以说明。

【例1-2】 试把十进制小数0.6879转换为二进制小数。

解：把0.6879不断地乘2，取每次所得到乘积的整数部分，直到乘积的小数部分满足所需精度，相应的竖式为

×	0.6879		
	2		
×	1.3758	取得整数1	最高位
	0.3758		
×	0.7516	取得整数0	
	0.5032		
×	1.0064	取得整数1	最低位

把所得整数按箭头方向从高位到低位排列后得到：

$$0.6879\text{D} \approx 0.1011\text{B}$$

对同时有整数和小数两部分的十进制数，其转换成二进制数的方法可以把它的整数和小数部分分开转换后，再合并起来。例如，把例1-1和例1-2合并起来便可得到：

$$189.6879 \approx 10111101.1011\text{B}$$

应当指出，任何十进制整数都可以精确转换成一个二进制整数，但十进制小数却不一定可以精确转换成一个二进制小数，如例1-2。

(2) 十六进制数和十进制数间的转换