

高职高专机电工程类规划教材

单片机 原理及应用

林春景 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子教案

高职高专机电工程类规划教材

单片机原理及应用

主 编 林春景

副主编 陈立旺 袁俐萍 崔 晓

参 编 杨思维 曾贵娥 苗耀洲 王 滨



机械工业出版社

本书从最基本的基础知识入手,较详细地介绍了常用的 MCS—51 (8 位) 单片机原理及应用技术。

全书共分 7 章,主要内容有:单片机基础知识、MCS—51 单片机结构原理、MCS—51 单片机指令系统及汇编语言程序设计、MCS—51 单片机片内功能接口、单片机扩展与接口技术、单片机应用系统综合设计、单片机实训及附录,每一章的后面均配有本章小结和习题。

本书可作为高职高专院校机电一体化、通信技术、电子技术、自动控制技术等专业的教材,也可作为机电类工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用/林春景主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 1
高职高专机电工程类规划教材
ISBN 978-7-111-25425-6

I. 单… II. 林… III. 单片微型计算机—高等学校: 技术学校—教材 IV. TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 165748 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: 王海峰 责任编辑: 王海峰 王德艳

版式设计: 霍永明 责任校对: 李 婷

封面设计: 马精明 责任印制: 杨 曦

三河市宏达印刷有限公司印刷

2009 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21.75 印张 · 537 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-25425-6

定价: 34.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379211

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是机械工业出版社“十一五”规划教材。在编写过程中，编者融入了多年的教学和科研经验。

本书在编写中力求做到：基本理论以必需、够用为原则，着重介绍单片机实用性技术及实际应用，以操作、使用为主。在内容安排上，主要章节都有一个方便用 PROTEUS 等仿真软件在课堂上演示的实例，以提高学生对单片机学习的兴趣。本书在内容上一方面紧密结合当前单片机新技术迅速发展的形势，减少将逐步淘汰的陈旧的技术内容；另一方面介绍应用上较普及的系统设计和应用技能。本书在叙述上以点带面、深入浅出、通俗易懂，使学生真正学有所用，并从最基本的基础知识入手，较详细地介绍了常用的 MCS—51（8 位）单片机应用技术。

全书共分 7 章。第 1 章讲述单片机的基础知识及其发展；第 2 章介绍单片机内部结构和原理、存储器的配置、并行 I/O 口及时序，以在我国使用很普遍的 MCS—51 系列单片机为例，重点介绍其控制、存储部件及并行 I/O 口，这些都是单片机的重要内容，应该熟练掌握；第 3 章介绍单片机指令系统及汇编语言程序设计，它是基于第 2 章硬件知识之后的软件知识，也是重要的章节；第 4 章讲述了单片机内有关 I/O 口系统，包括中断、定时与计数、串行通信，这此都是微机不可缺少的组成部分，同时又突出体现了“单片”的特点，因此，其重要性是显而易见的；第 5 章是在第 4 章内容基础上的片外扩展，有存储器、键盘输入结构原理、各种显示原理、A/D、D/A 及对应的典型接口芯片，这是开发单片机应用系统的必备知识，第 2、3、4、5 章内容是单片机的精髓；在第 6 章中规范了软硬件开发过程，介绍了开发过程必备的设备、工具、环境及开发过程中应注意的实际问题，并举三个典型应用实例的设计过程，以提高学者的实践能力和创新能力，通过本章的学习，可使单片机应用人员掌握较全面的实践技能；第 7 章讲述了单片机实训。

本书由林春景任主编并负责全书统稿，陈立旺、崔晓、袁俐萍任副主编，第 1 章、第 2 章、附录由林春景编写，第 3 章由曾贵娥、林春景编写，第 4 章由崔晓编写，第 5 章由袁俐萍、杨思维编写，第 6 章由王滨、苗耀洲编写，第 7 章由陈立旺编写。

本书在编写过程中得到了苗耀洲高级工程师、何立居副教授的指导和帮助，同时参考了有关资料，在此表示衷心感谢。由于单片机技术发展迅速，加之编者水平有限，书中难免有疏漏和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 单片机基础知识 1

- 1.1 单片机概述 1
- 1.2 微型计算机中数的表示方法及数制间的转换 8
- 1.3 二进制数的运算 10
- 1.4 微机的码制和编码 13
- 本章小结 15
- 习题 16

第2章 MCS—51 单片机结构原理 17

- 引导演示实验：最小系统实验（彩灯控制1实验） 17
- 2.1 概述 20
- 2.2 MCS—51 单片机的内部结构和引脚 20
- 2.3 MCS—51 单片机存储器配置 24
- 2.4 并行 I/O 口电路结构 30
- 2.5 时钟电路与复位电路 32
- 本章小结 35
- 习题 36

第3章 MCS—51 单片机指令系统及汇编语言程序设计 38

- 引导演示实验：彩灯控制实验（彩灯控制2实验） 38
- 3.1 MCS—51 单片机指令前言 39
- 3.2 寻址方式 42
- 3.3 指令系统 45
- 3.4 汇编语言程序设计基础 72
- 本章小结 86
- 习题 86

第4章 MCS—51 单片机片内功能接口 89

- 引导演示实验1：外部中断与堆栈指令实训（加法计数器与流水灯） 89
- 4.1 中断系统 91

- 引导演示实验2：定时/计数器实训（秒表实训） 107
- 4.2 定时/计数器 109

- 引导演示实验3：串行通信实训（双机通信实训） 120
- 4.3 串行口通信技术 123

- 本章小结 141
- 习题 141

第5章 单片机扩展与接口技术 144

- 5.1 单片机存储器概述 144
- 引导演示实验1：EEPROM 2816A 基本应用 145
- 5.2 并行 I/O 口扩展 169
- 引导演示实验2：将串口扩展为并行 I/O 口 169
- 5.3 单片机与显示器接口 185
- 5.4 单片机与键盘接口 206
- 引导演示实验3：键盘输入及键状态显示 206
- 5.5 D/A 和 A/D 转换器接口 213
- 本章小结 222
- 习题 224

第6章 单片机应用系统综合设计 226

- 6.1 单片机应用系统开发流程 226
- 6.2 应用系统硬件设计 227
- 6.3 应用系统软件设计 228
- 6.4 单片机系统的仿真及调试阶段 229
- 6.5 单片机应用系统的可靠性设计 232
- 6.6 单片机应用系统设计实例 237
- 本章小结 251
- 习题 252

第7章 单片机实训 253

- 7.1 最小系统与开发系统实训 253
- 7.2 基本 I/O 口与流水灯控制实训 256

7.3 外部中断实训	260
7.4 定时/计数器实训	263
7.5 串行通信实训	266
7.6 串行 I/O 口扩展实训	272
7.7 并行 I/O 口扩展实训	274
7.8 多位数码显示实训	278
7.9 A/D 转换实训	283
7.10 键控编程实训	288
7.11 点阵 LED 显示实训	296
7.12 LCD 显示实训	300
7.13 步进电动机控制实训	305
附录	310
附录 1 MedWin 仿真软件的操作使用 方法	310

附录 2 RF—1800 编程器软件的操作 使用方法	319
附录 3 EL-MUL-Ⅲ 型实验箱的 使用方法	323
附录 4 BC-DZX-8051 实验板的 使用方法	323
附录 5 单片机应用系统开发中的常用 芯片	324
附录 6 MCS—51 系列单片机指令表	327
附录 7 MCS—51 系列单片机内部寄存器 和常用接口芯片简明编程指南 ...	330
附录 8 ASCII 码表 (7 位码)	337
参考文献	339

第1章 单片机基础知识

本章从微型计算机系统的基本组成入手，介绍了单片机与微机的关系，简单介绍了单片机的基本组成、特点、用途、三种总线的概念，介绍了单片机的发展趋势和 8031、8051、89C51、89S51、MCS—51 概念的区别。为了学好本课程，本章还介绍了微型计算机中数的表示方法及数制间的转换，二进制数的运算，微机的码制和编码。

1.1 单片机概述

1.1.1 微型计算机及微型计算机系统

微型计算机 (Microcomputer) 简称微机，是计算机的一个重要分类。人们通常按照计算机的体积、性能和应用范围等条件，将计算机分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机等。微型计算机最突出的是它具有体积小、重量轻、功耗低、价格便宜等优点。个人计算机 (Personal Computer) 简称 PC，是微型计算机中应用最为广泛的一种，也是近年来计算机领域中发展最快的一个分支。由于 PC 在性能和价格方面适合个人用户购买和使用，目前，它已经像普通家电一样深入到了家庭和社会生活的各个方面。

微型计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。硬件系统是指构成微机系统的实体和装置，通常由运算器、控制器、存储器、输入接口电路和输入设备、输出接口电路和输出设备等组成。其中，运算器和控制器一般做在一个集成芯片上，统称中央处理单元 (Central Processing Unit)，简称 CPU，是微机的核心部件。CPU 配上存放程序和数据的存储器、输入/输出 (Input/Output，简称 I/O) 接口电路以及外部设备即构成微机的硬件系统。软件系统是微机系统所使用的各种程序的总称，人们通过它对整机进行控制并与微机系统进行信息交换，使微机按照人的意图完成预定的任务。软件系统与硬件系统共同构成完整的微机系统，两者相辅相成，缺一不可。微型计算机系统组成示意图如图 1.1 所示。下面对组成计算机的 5 个基本部件作简单说明。

1. 运算器

运算器是计算机的运算部件，用于实现算术和逻辑运算。计算机的数据运算和处理都在这里进行。

2. 控制器

控制器是计算机的指挥控制部件，它控制计算机各部分自动、协调地工作。运算器和控制器是计算机的核心部分，常把它们合在一起称之为中央处理器，简称 CPU。

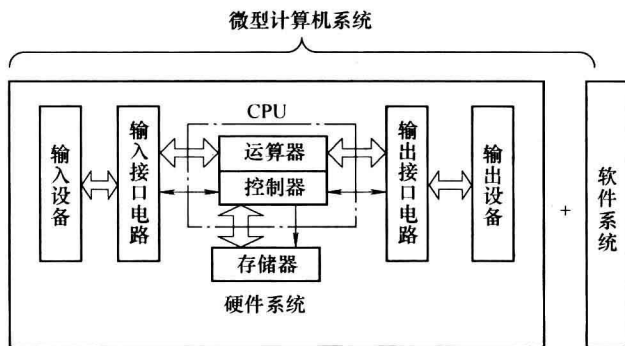


图 1.1 微型计算机系统组成示意图

3. 存储器

存储器是计算机的记忆部件，用于存放程序和数据。存储器又分为内存储器和外存储器。

4. 输入设备

输入设备用于将程序和数据输入到计算机中，如键盘等。

5. 输出设备

输出设备用于把计算机数据计算或加工的结果，以用户需要的形式显示或打印出来，如显示器、打印机等。通常把外存储器、输入设备和输出设备合在一起称之为计算机的外部设备，简称“外设”。

1.1.2 单片微型计算机

单片微型计算机简称单片机，是指集成在一个芯片上的微型计算机，也就是把组成微型计算机的各种功能部件，包括 CPU（Central Processing Unit）、随机存取存储器 RAM（Random Access Memory）、只读存储器 ROM（Read-only Memory）、基本 I/O（Input/Output）接口电路、定时/计数器等部件都制作在一块集成芯片上，构成一个完整的微型计算机，从而实现微型计算机的基本功能。单片机内部结构示意图如图 1.2 所示。

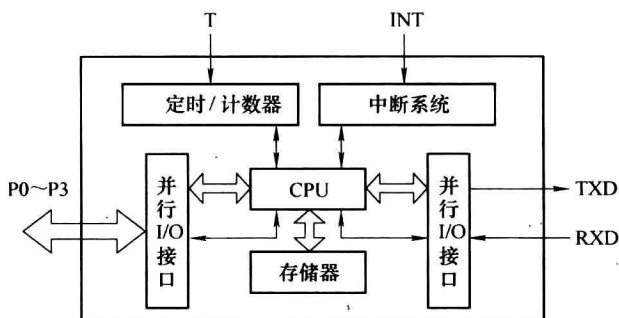


图 1.2 单片机内部结构示意图

单片机实质上是一个芯片。在实际应用中，通常很难将单片机直接和被控对象进行电气连接，必须外加各种扩展接口电路、外部设备、被控对象等硬件和软件，才能构成一个单片机应用系统。

1.1.3 单片机应用系统及组成

单片机应用系统是以单片机为核心，配以输入、输出、显示、控制等外围电路和软件，能实现一种或多种功能的实用系统。单片机开发电路板也是一个单片机的应用系统，它除了有单片机芯片以外，还有许多的外围电路和配备一系列的实验程序，可以完成很多功能，所以说，单片机应用系统是由硬件和软件组成的，硬件是应用系统的基础，软件则在硬件的基础上对其资源进行合理调配和使用，从而完成应用系统所要求的任务，二者相互依赖，缺一不可。单片机应用系统的组成如图 1.3 所示。

由此可见，单片机应用系统的设计人员必须从硬件和软件两个角度来深入了解单片机，并能够将二者有机结合起来，才能形成具有特定功能的应用系统或整机产品。

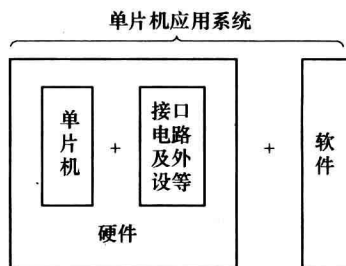


图 1.3 单片机应用系统的组成

1.1.4 单片机及其特点

在中央处理器基础上，将 I/O 接口电路、时钟电路以及一定容量的存储器等部件集成在

同一芯片上，再加上必要的外围器件，如晶体振荡器，就构成了一个较为完整的计算机硬件系统。由于这类计算机系统的基本部件均集成在同一芯片内，因此，被称为单片微控制器（Single-Chip-Micro Controller，简称单片机）或微控制单元（Micro Controller Unit，简称MCU）。

对于通用微处理器来说，其主要任务是数值计算和信息处理，对运算速度和存储容量方面的要求是速度越快越好，容量越大越好，因此，它沿着高速、大容量方向发展：字长由 8 位（如 8085 处理器）、16 位（如 8086、80286），迅速向 32 位（如 80486）、64 位（如 Pentium 系列 CPU，Pentium 系列 CPU 内部数据总线为 32 位，对外数据总线为 64 位，因而，Pentium 还不是真正意义上的 64 位微处理器）过渡，时钟信号的频率由最初的 4.77MHz 向 33MHz、66MHz、100MHz、200MHz、400MHz、600MHz、1GHz、2GHz，甚至更高频率过渡。

而单片机主要面向工业控制，8 位字长已足够（在工业控制中，一般仅需要控制线路的通、断，触点的吸合与释放，有时 4 位单片机也能胜任），尽管也有 16 位、32 位的单片机芯片，但这些高档单片机芯片主要用于语音、图像处理系统，绝对数量不多，时钟信号频率也不高，一般在数十兆以内。

单片机主要发展方向是不断强化控制功能（即将更多的外围电路单元集成到 CPU 内）、低功耗（以便电池供电）、低成本（例如在 CPU 芯片内，按用途分别集成不同的外围电路，形成系列化产品，这样既能满足不同应用领域的需要，又降低了成本）。

单片机芯片作为控制系统的核心部件，它除了具备通用微机 CPU 的数值计算功能外，还必须具有灵活、强大的控制功能，以便实时监测系统的输入量、控制系统的输出量，实现自动控制。由于单片机主要面向工业控制，工作环境比较恶劣，如高温、强电磁干扰，甚至含有腐蚀性气体，在太空中工作的单片机控制系统，还必须具有抗辐射能力，因而，决定了单片机 CPU 与通用微机 CPU 具有不同的技术特征和发展方向：

- 1) 抗干扰性强，工作温度范围宽。
- 2) 可靠性高。
- 3) 控制功能往往很强，数值计算能力较差。
- 4) 指令系统比通用微机系统简单。
- 5) 更新换代速度比通用微处理器慢得多。

1.1.5 微机系统中常用的三种总线

总线（BUS）是计算机各部件之间传送信息的公共通道。微机中有内部总线和外部总线两类，内部总线是 CPU 内部之间的连线；外部总线是指 CPU 与其他部件之间的连线。外部总线有三种：数据总线、地址总线和控制总线。

（1）地址总线（Address Bus，简称 AB）为单向传输线，用于传送地址信息，如图 1.1 中运算器与存储器之间的地址线，地址线的数目决定了可以寻址的存储空间。一根地址线有两种状态，即可以区分两个不同的存储单元，或者说可以寻址两个存储单元；两根地址线有四种状态，可以寻址四个存储单元；……；8 位微处理器通常有 16 根地址线，可以寻址 2^{16} （64 × 1024）种状态，即 64K 个存储单元。一般存储单元的大小为一个字节，因此，该 8 位微处理器的寻址空间大小为 64KB。

(2) 数据总线 (Data Bus, 简称 DB) 一般为双向传输线, 用于 CPU 与存储器、CPU 与外设, 或外设与外设之间的传送数据 (包括实际意义的数据和指令码) 信息。在计算机中, 为了提高处理速度, 总是一次处理由多位二进制数组成的信息, 即在运算器中, 数据线的数目应与待处理的数据位数相同。因此, 运算器数据线的数目往往不止一条, 一般为 4 条、8 条或 16 条。运算器内数据线的多少称为微处理器的“字长”。字长是衡量微处理器功能、运算速度以及精度的重要指标之一, 也是划分微处理器档次的重要依据。根据字长, 可以将微处理器分为 1 位机、4 位机、8 位机、16 位机、32 位机、64 位机等。1 位机的运算器只有一根数据线, 每次只能处理一位二进制数, 工业上常用它取代继电器, 用于控制线路的通和断、设备的开和关; 4 位机有四根数据线, 常用于家用电器, 如电视机、空调机、洗衣机等的控制电路中。8 位机功能强大, 不仅可用于工业控制、家用电器, 也可以作为通用微机系统的中央处理器。

(3) 控制总线 (Control Bus, 简称 CB) 是计算机系统中所有控制信号线的总称, 在控制总线中传送的信息是控制信息。

1.1.6 单片机的应用

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。它的应用遍及各个领域, 主要表现在以下几个方面:

1. 单片机在智能仪表中的应用

单片机广泛地用于各种仪器仪表, 使仪器仪表智能化, 并可以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。

2. 单片机在机电一体化中的应用

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、钻床等。单片机作为产品中的控制器, 能充分发挥它的体积小、可靠性高、功能强等优点, 可大大提高机器的自动化、智能化程度。

3. 单片机在实时控制中的应用

单片机广泛地用于各种实时控制系统中, 例如, 在工业测控、航空航天、尖端武器、机器人等各种实时控制系统中, 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. 单片机在分布式多机系统中的应用

在比较复杂的系统中, 常采用分布式多机系统。多机系统一般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. 单片机在人类生活中的应用

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, 配上单片机后, 提高了智能化程度, 增加了功能, 倍受人们喜爱。单片机将使人类生活更加方便、舒适、丰富多彩。

综上所述, 单片机已成为计算机发展和应用的一个重要方面; 另一方面, 单片机应用的

重要意义还在于，它从根本上改变了传统的控制系统设计思想和设计方法，从前必须由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了。这种软件代替硬件的控制技术也称为微控制技术，是传统控制技术的一次革命。

1.1.7 单片机技术现状及发展趋势

目前，单片机正朝着高性能和多品种方向发展，并将进一步向着 CMOS 化、低功耗、小体积、大容量、高性能、低价格和外围电路内装化等几个方面发展。下面是单片机的主要发展趋势。

1. CMOS 化

近年，由于 CHMOS 技术的进步，大大地促进了单片机的 CMOS 化。CMOS 芯片除了低功耗特性之外，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。这也是今后以 80C51 取代 8051 为标准 MCU 芯片的原因，因为单片机芯片多数是采用 CMOS（金属栅氧化物）半导体工艺生产。CMOS 电路的特点是低功耗、高密度、低速度、低价格。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，CHMOS 和 HMOS 工艺的结合。目前生产的 CHMOS 电路已达到 LSTTL 的速度，传输延迟时间小于 2ns，它的综合优势已高于 TTL 电路，因而，在单片机领域 CMOS 正在逐渐取代 TTL 电路。

2. 低噪声与高可靠性

为提高单片机的抗电磁干扰能力，使产品能适应恶劣的工作环境，满足电磁兼容性方面更高标准的要求，各单片机厂家在单片机内部电路中都采用了新的技术措施。

3. 低电压化

几乎所有的单片机都有 WAIT、STOP 等省电运行方式，允许使用的电压范围越来越宽，一般在 3~6V 范围内工作。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。

4. 低功耗化

单片机的电流已达毫安级，甚至 1 μ A 以下；使用电压在 3~6V 之间，完全适应电池工作。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. 大容量化

以往单片机内的 ROM 为 1~4KB，RAM 为 64~128B，但在需要复杂控制的场合，该存储容量是不够的，必须进行外接扩充。为了适应这种领域的要求，须运用新的工艺，使片内存储器大容量化。目前，单片机内 ROM 最大可达 64KB，RAM 最大为 2KB。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（Million Instruction Per Seconds，即兆指令每秒），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。

6. 小容量、低价格化

与上述相反，以 4 位、8 位机为中心的小容量、低价格化也是发展方向之一，这类单片

机的用途是把以往用数字逻辑集成电路组成的控制电路单片化，可广泛用于家电产品。

7. 外围电路内装化

这也是单片机发展的主要方向。随着集成度的不断提高，有可能把众多的各种外围功能器件集成在片内。除了一般必须具有的 CPU、ROM、RAM、定时/计数器等以外，片内集成的部件还有模/数转换器、DMA 控制器、声音发生器、监视定时器、液晶显示驱动器、彩色电视机和录像机用的锁相电路等。

8. 串行扩展技术

在很长一段时间里，通用型单片机通过三总线结构扩展外围器件，成为单片机应用的主流结构。随着低价位 OTP (One Time Programmable) 及各种类型片内程序存储器的发展，加之外围接口不断进入片内，推动了单片机“单片”应用结构的发展。特别是 I²C、SPI 等串行总线的引入，可以使单片机的引脚设计得更少，单片机系统结构更加简化及规范化。

随着半导体集成工艺的不断发展，单片机的集成度将更高、体积将更小、功能将更强。在单片机家族中，80C51 系列是其中的佼佼者，加之 Intel 公司将其 MCS—51 系列中的 80C51 内核使用权以专利互换或出售形式转让给全世界许多著名 IC 制造厂商，如 Philips、NEC、Atmel、AMD、华邦等，这些公司都在保持与 80C51 单片机兼容的基础上改善了 80C51 的许多特性，这样，80C51 就变成有众多制造厂商支持的、发展出上百品种的大家族，现统称为 80C51 系列。80C51 单片机已成为单片机发展的主流，虽然世界上的 MCU 品种繁多，功能各异，开发装置也互不兼容，但是客观发展表明，80C51 可能最终形成事实上的标准 MCU 芯片。

1.1.8 8031, 8051, 89C51, 89S51, MCS—51 概念的区别

很多初学 51 单片机的人们会有这样的问题：AT89S51、8051、89C51 等有何区别？

MCS—51 单片机是美国 Intel 公司于 1980 年推出的产品，典型产品有 8031（内部没有程序存储器，在实际使用中已经被市场淘汰）、8051（芯片采用 HMOS，功耗是 630mW，是 89C51 的 5 倍，在实际使用中已经被市场淘汰）和 8751 等通用产品，一直到现在，MCS—51 内核系列兼容的单片机仍是应用的主流产品（比如目前流行的 89S51 等），但 MCS—51 单片机可作为代表进行理论基础学习。

8031 片内不带程序存储器 ROM，使用时用户需外接程序存储器和一片逻辑电路 373，外接的程序存储器多为 EPROM 的 2764 系列。用户若想对写入到 EPROM 中的程序进行修改，必须先用一种特殊的紫外线灯将其照射擦除，之后才可写入，写入到外接程序存储器的程序代码没有什么保密性可言。

8051 片内有 4K ROM，无须外接外存储器和 373，更能体现“单片”的简练，但是所编的程序无法烧写写到其 ROM 中，只有将程序交芯片厂代为烧写，并是一次性的，不能改写其内容。

8751 与 8051 基本一样，但 8751 片内有 4K 的 EPROM，用户可以将自己编写的程序写入单片机的 EPROM 中进行现场实验与应用，EPROM 的改写同样需要用紫外线灯照射一定时间擦除后再烧写。

有些文献甚至也将 8051 泛指 MCS—51 系列单片机，8051 是早期的最典型的代表作，由于 MCS—51 单片机影响极深远，许多公司都推出了兼容系列单片机，就是说 MCS—51 内核实际上已经成为一个 8 位单片机的标准，表 1.1 为 MCS—51 系列单片机配置一览表。

表 1.1 MCS—51 系列单片机配置一览表

系 列	片内存储器 (字节)				定时/ 计数器	并行 I/O	串行 I/O	中断源	制造 工艺
	无 ROM	片内 ROM	片内 EPROM	片内 RAM					
MCS—51 子系列	8031	8051 4K	8751 4K	128	2×16 位	4×8 位	1	5	HMOS
	80C31	80C51 4K	87C51 4K	128	2×16 位	4×8 位	1	5	CHMOS
MCS—52 子系列	8032	8052 8K	8752 8K	256	3×16 位	4×8 位	1	6	HMOS
	80C232	80C252 8K	87C252 8K	256	3×16 位	4×8 位	1	7	CHMOS

在众多的 51 系列单片机中, 要算 ATMEEL 公司的 AT89C51、AT89S51 更实用, 因它不但和 8051 指令、管脚完全兼容, 而且其片内的 4K 程序存储器是 FLASH 工艺的, 这种工艺的存储器用户可以用电的方式瞬间擦除、改写, 一般专为 ATMEEL AT89××做的编程器均带有这些功能。显而易见, 这种单片机对开发设备的要求很低, 开发时间也大大缩短。写入单片机内的程序还可以进行加密, 这又很好地保护了设计者的劳动成果。实际上 AT89C51、AT89S51 目前的售价比 8031 还低, 市场供应也很充足。AT89S51、52 是 2003 年 ATMEEL 推出的新型品种, 除了完全兼容 8051 外, 还多了 ISP 编程和 Watchdog 功能。

ATMEEL 公司的 51 系列还有 AT89C2051、AT89C1051 等品种, 这些芯片是在 AT89C51 的基础上将一些功能精简掉后形成的精简版。AT89C2051 取掉了 P0 口和 P2 口, 内部的程序 FLASH 存储器也小到 2K, 封装形式也由 51 的 DIP40 脚改为 20 脚, 相应的价格也低一些, 特别适合在一些智能玩具、手持仪器等程序不大的电路环境下应用; AT89C1051 在 2051 的基础上, 再次精简掉了串口功能等, 程序存储器再次减小到 1K, 当然价格也更低。

2051 和 1051 虽然减掉了一些资源, 但在片内都集成了一个精密比较器, 它为人们测量一些模拟信号提供了极大的方便, 在外加几个电阻和电容的情况下, 就可以测量电压、温度等。表 1.2 为 AT89 系列单片机概况表。

表 1.2 AT89 系列单片机概况

型 号	AT89C51	AT89C52	AT89C1051-	AT89C2051	AT89S8252
档次	标准型		低档型		高档型
Flash	4KB	8KB	1KB	2KB	8KB
片内 RAM	128KB	256KB	64KB	128KB	256KB
I/O	32 条	32 条	15 条	15 条	32 条
定时器	2 个	3 个	1 个	2 个	3 个
中断源	6 个	8 个	3 个	6 个	9 个
串行接口	1 个	1 个	1 个	1 个	1 个
M 加密	3 级	3 级	2 级	2 级	3 级
片内振荡器	有	有	有	有	有
EEPROM	无	无	无	无	无

其他公司的 51 单片机产品都是和 MCS—51 内核兼容的产品而已。同样的一段程序，在各个单片机厂家的硬件上运行的结果都是一样的，如：ATMEL 的 89C51（已经停产）、89S51，PHILIPS（飞利浦）和 WINBOND（华邦）等。常说的已经停产的 89C51 指的是 ATMEL 公司的 AT89C51 单片机，它在原基础上增强了许多特性，如时钟，更优秀的是由 Flash（程序存储器的内容至少可以改写 1000 次）存储器取代了原来的 ROM（一次性写入），AT89C51 的性能相对于 8051 已经算是非常优越的了。

不过在市场化方面，89C51 受到了 PIC 单片机阵营的挑战，89C51 最致命的缺陷在于它不支持 ISP（在线更新程序）功能，必须加上 ISP 功能等新功能才能更好发挥 MCS—51 的优势。89S51 就是在这样的背景下取代 89C51 的，89S51 目前已经成为了实际应用市场上新的宠儿，作为市场占有率第一的 Atmel，目前公司已经停产 AT89C51，将用 AT89S51 代替它。89S51 采用 0.35 新工艺，成本降低，而且功能提升，增加了竞争力。89S $\times\times$ 可以向下兼容 89C $\times\times$ 等 51 系列芯片，同时，Atmel 不再接受 89C $\times\times$ 的订单。

上述类型的单片机应用得较早，影响很大，已成为事实上的工业标准。后来很多芯片厂商以各种方式与 Intel 公司合作，也推出了同类型的单片机，如同一种单片机的多个版本一样，虽都在不断地改变制造工艺，但内核却一样，指令系统完全兼容，绝大多数管脚也兼容，在使用上基本可以直接互换，人们统称这些与 8051 内核相同的单片机为“51 系列单片机”。

1.2 微型计算机中数的表示方法及数制间的转换

数制是人们对事物数量计数的一种统计规律。在日常生活中，最常用的是十进制，但在计算机中，由于其电子元件最易实现的是两种稳定状态——器件的“开”与“关”，电平的“高”与“低”，因此，采用二进制数的“0”和“1”可以很方便地表示机内的数据运算与存储。在编程时，为了方便阅读和书写，人们还经常用八进制数或十六进制来表示二进制数。虽然一个数可以用不同计数制形式表示它的大小，但该数的量值则是相等的。

1.2.1 微型计算机中的常用数制

微型计算机中常用的数制有三种，即十进制数、二进制数和十六进制数。

一般而言，对于用 R 进制表示的数 N ，可以按权展开为

$$N = a_{n-1} \times R^{n-1} + a_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + a_0 \times R^0 + a_{-1} \times R^{-1} + \cdots + a_{-m} \times R^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times R^i$$

式中， a_i 是 0, 1, $\cdots$, $(R-1)$ 中的任一个， m 、 n 是正整数， R 是基数。在 R 进制中，每个数字所表示的值是该数字与它相应的权 R^i 的乘积，计数原则是“逢 R 进一”。

1. 十进制数

当 $R=10$ 时，称为十进位计数制，简称十进制。十进制数是我们最熟悉的一种进位计数制，其主要特点是：

- 1) 它由 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 不同的基本数码符号构成，基数为 10。
- 2) 进位规则是“逢十进一”，一般在数的后面加符号 D 表示十进制数。

因此,同一个数字符号在不同的数位所代表的数值是不同的。如555.5中4个5分别代表500、50、5和0.5,这个数可以写成 $555.5 = 5 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$ 式中的 $R=10$ 称为十进制的基数, 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 称为各数位的权。

2. 二进制数

当 $R=2$ 时,称为二进位计数制,简称二进制。二进制数是计算机内的基本数制,其主要特点是:

1) 任何二进制数都只由0和1两个数码组成,其基数是2。

2) 进位规则是“逢二进一”,一般在数的后面用符号B表示这个数是二进制数。二进制数同样可以用幂级数形式展开。任何一个数 N ,可用二进制表示为

$$N = a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i$$

例如:二进制数 1011.01 可表示为

$$(1011.01)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

3. 十六进制数

当 $R=16$ 时,称为十六进位计数制,简称十六进制。十六进制数是微型计算机软件编程时常采用的一种数制,其主要特点是:

1) 十六进制数由16个数码构成:0、1、2、…、9、A、B、C、D、E、F,其中A、B、C、D、E、F分别代表十进制数的10、11、12、13、14、15,其基数是16。

2) 进位规则是“逢十六进一”,一般在数的后面加一个字母H表示是十六进制数。

例如:(3A8.0D)₁₆可表示为

$$(3A8.0D)_{16} = 3 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 0 \times 16^{-1} + 13 \times 16^{-2}$$

1.2.2 数制间的转换

1. 二进制数与十六进制数的转换

(1) 二进制数转化成十六进制数 采用四位二进制数合成一位十六进制数的方法,以小数点开始分成左侧整数部分和右侧小数部分。

例 1.1 将 $(100101.011)_2$ 转换为十六进制数。

0010 0101 . 0110

2 5 . 6

即

$$(100101.011)_2 = (25.6)_{16}$$

(2) 十六进制数转换成二进制数 将十六进制数的每位分别用四位二进制数码表示,然后把它们连在一起即为对应的二进制数。

2. 二进制数与十进制数间的转换

(1) 二进制数转换成十进制数 将二进制数按权展开后相加,即得到对应的十进制数。

(2) 十进制数转化成二进制数 十进制数的整数部分和小数部分转化成二进制数的方法不同,要将它们分别转换,然后将结果合并到一起即得到对应的二进制数。

1) 十进制整数转成二进制整数的常用方法是“除2取余法”,即用2连续去除要转换的十进制数和所得的商,直到商小于2为止,依次记下各个余数,然后按最先得到的余数为最低位,最后得到的余数为最高位,依次排列,就得到转换后的二进制整数。

2) 十进制小数转换成二进制小数的常用方法是“乘2取整法”，即用2连续去乘要转换的十进制小数部分或前次乘积后的小数部分，依次记下每次乘积的整数部分，直到小数部分为0或满足所需要的精度为止，然后按最先得到的整数为二进制小数的最高位，最后得到的为最低位，依次排列，就得到转换后的二进制小数。

例 1.2 将数 $(10.101)_2$ 转换为十进制。

$$(10.101)_2 = 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = 2.625$$

例 1.3 将 $(168)_{10}$ 转换为二进制数。

2	168	余数	
2	84	...0	↑ 最低位
2	42	...0	
2	21	...0	
2	10	...1	
2	5	...0	
2	2	...1	
2	1	...0	
	0	...1	最高位

$$(168)_{10} = (10101000)_2$$

3. 十六进制数和十进制数间的转换

(1) 十六进制数转换成十进制数 将十六进制数按权展开后相加，即得到对应的十进制数。

(2) 十进制数转换成十六进制数 与二进制相似，十进制整数和小数要分别转换。

1) 十进制整数转换成十六进制整数的方法是“除16取余法”，即用16连续去除要转换的十进制整数和所得的商，直到商小于16为止，依次记下各个余数，然后按最先得到的余数为最低位，最后得到的余数为最高位，依次排列，就得到所转换的十六进制数。

2) 十进制小数转换成十六进制小数的常用方法是“乘16取整法”，即用16连续去乘要转换的十进制小数部分或前次乘积的小数部分，依次记下每次乘积的整数部分，直到小数部分为零或满足所需要的精度为止，然后按最先得到的整数为十六进制小数的最高位，最后得到的为最低位，依次排列，就得到所转换的十六进制小数。

例 1.4 将数 $(2D.A4)_{16}$ 转换为十进制。

$$(2D.A4)_{16} = 2 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2} = 45.64062$$

例 1.5 将 $(168)_{10}$ 转换成十六进制数。

16	168	余数
16	10	...8
	0	...A

$$(168)_{10} = (A8)_{16}$$

1.3 二进制数的运算

二进制的运算有算术运算和逻辑运算。

1.3.1 算术运算

二进制数不仅物理上容易实现，而且算术运算也比较简单，其加、减法遵循“逢2进1”、“借1当2”的原则。以下通过几个例子说明二进制数的加、减、乘、除运算过程。

1. 加法运算

运算规则为： $0+0=0$ ， $1+0=0+1=1$ ， $1+1=10$ （向高位进位）。

例 1.6 求 $11001010B + 11101B$ 。

解 被加数	11001010
加数	11101
进位 +)	00110000
和	11100111

则 $11001010B + 11101B = 11100111B$ 。

由此可见，两个二进制数相加时，每1位有3个数参与运算（本位被加数、加数、低位进位），从而得到本位和以及向高位的进位。

2. 减法运算

运算规则为： $0-0=0$ ， $1-0=1$ ， $1-1=0$ ， $0-1=1$ （向高位借1当作2）。

例 1.7 求 $10101010B - 10101B$ 。

解 被减数	10101010
减数	10101
借位 -)	00101010
差	10010101

则 $10101010B - 10101B = 10010101B$ 。

3. 乘法运算

运算规则为： $0 \times 0 = 0$ ， $0 \times 1 = 1 \times 0 = 0$ ， $1 \times 1 = 1$ 。

例 1.8 求 $110011B \times 1011B$ 。

解 被乘数	110011
乘数 ×)	1011
	110011
	110011
	000000
+)	110011
积	1000110001

4. 除法运算

除法运算是乘法运算的逆运算。与十进制类似，从被除数最高位开始取出与除数相同的位数，减去除数。

例 1.9 求 $100100B \div 101B$ 的值。