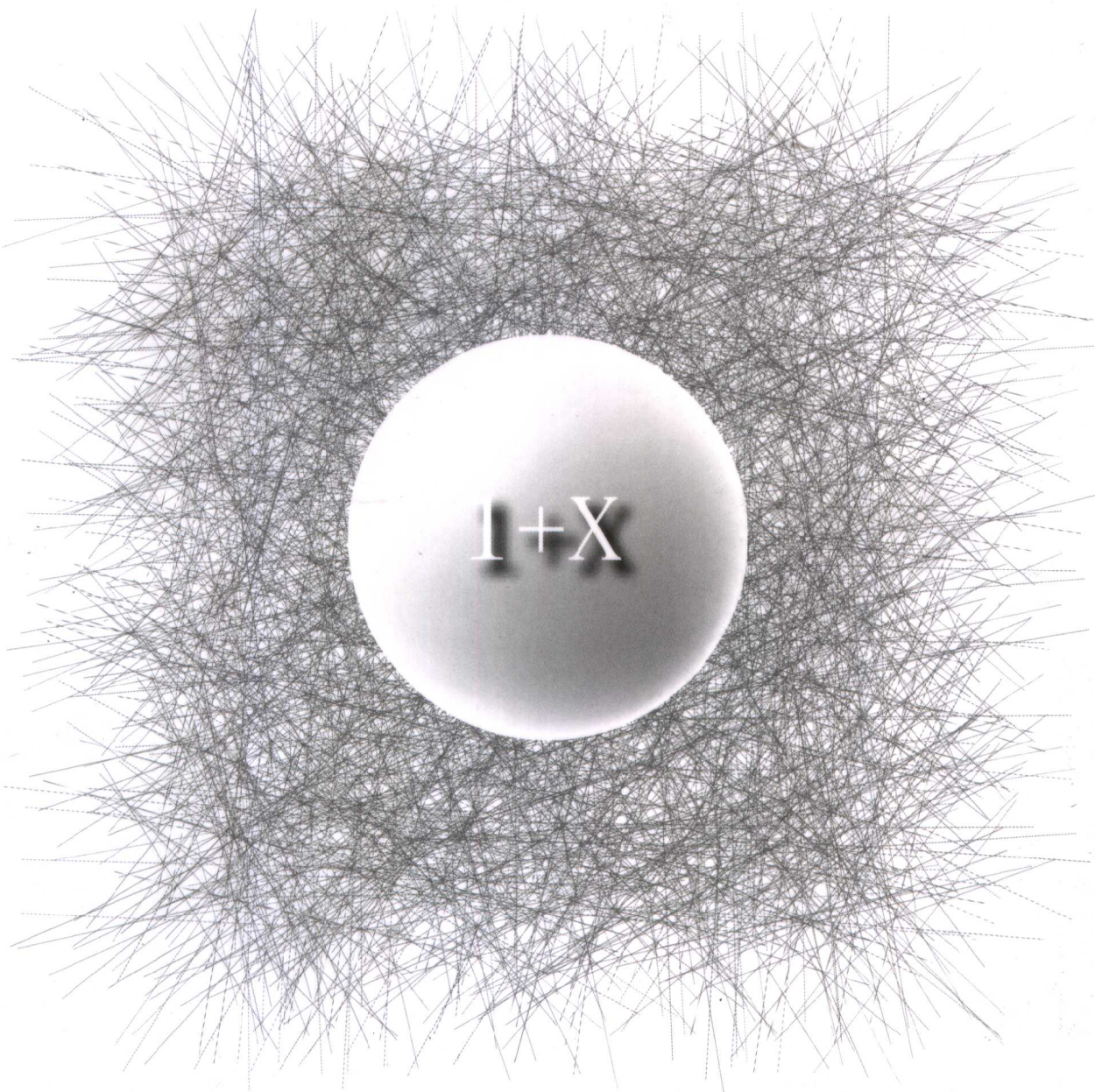


大学计算机基础教育规划教材

单片机及嵌入式系统

李伯成 编著



1+X

清华大学出版社



大学计算机基础教育规划教材

单片机及嵌入式系统

李伯成 编著

1+X

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍国内应用最为广泛的单片机,并在此基础上描述嵌入式系统的特点,特别强调系统的实时性、可靠性的具体措施。书中阐明了以 MCS-51 单片机为基础的嵌入式系统的基本概念、基本思路和基本方法。侧重于学生的工程思维能力的培养。通过本书的学习,学生可以掌握设计一个小型的嵌入式系统的基本方法。

本书可作为高校理工科学生的教学用书,也可供一般工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

单片机及嵌入式系统/李伯成编著. —北京:清华大学出版社, 2005.2

(大学计算机基础教育规划教材)

ISBN 7-302-10185-X

I. 单… II. 李… III. 单片微型计算机-系统设计-高等学校-教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 137984 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 张 民

文稿编辑: 王冰飞

封面设计: 孟繁聪

印 装 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印 张: 23.75 字 数: 558 千字

版 次: 2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-10185-X/TP·6964

印 数: 1~5000

定 价: 29.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704

序

大学计算机基础教育规划教材



进入 21 世纪, 社会信息化不断向纵深发展, 各行各业的信息化进程不断加速。我国的高等教育也进入了一个新的历史发展时期, 尤其是高校的计算机基础教育, 正在步入更加科学、更加合理、更加符合 21 世纪高校人才培养目标的新阶段。

为了进一步推动高校计算机基础教育的发展, 教育部高等学校非计算机专业计算机基础课程教学指导分委员会近期提出了《关于进一步加强高校计算机基础教学的几点意见》(以下简称《意见》)。《意见》针对计算机基础教学的现状与发展, 提出了计算机基础教学改革指导思想; 按照分类、分层次组织教学的思路, 《意见》的附件提出了计算机基础课教学内容的知识结构与课程设置。《意见》认为, 计算机基础教学的典型核心课程包括: 大学计算机基础、计算机程序设计基础、计算机硬件技术基础(微机原理与接口、单片机原理与应用)、数据库技术与应用、多媒体技术与应用、网络技术与应用。附件中介绍了上述六门核心课程的主要内容, 这为今后的课程建设及教材编写提供了重要的依据。在下一步计算机课程规划工作中, 建议各校采用“1+X”的方案, 即: “大学计算机基础”+ 若干必修/选修课程。

教材是实现教学要求的重要保证。为了更好地促进高校计算机基础教育的改革, 我们组织了国内部分高校教师进行了深入的讨论和研究, 根据《意见》中的相关课程教学基本要求组织编写了这套“大学计算机基础教育规划教材”。

本套教材的特点如下:

(1) 体系完整, 内容先进, 符合大学非计算机专业学生的特点, 注重应用, 强调实践。

(2) 教材的作者来自全国各个高校, 都是教育部高等学校非计算机专业计算机基础课程教学指导委员会推荐的专家、教授和教学骨干。

(3) 注重立体化教材的建设, 除主教材外, 还配有多媒体电子教案、习题与实验指导, 以及教学网站和教学资源库等。

(4) 注重案例教材和实验教材的建设, 适应教师指导下的学生自主学习的教学模式。

(5) 及时更新版本, 力图反映计算机技术的新发展。

本套教材将随着高校计算机基础教育的发展不断调整，希望各位专家、教师和读者不吝提出宝贵的意见和建议，我们将根据大家的意见不断改进本套教材的组织、编写工作，为我国的计算机基础教育的教材建设和人才培养做出更大的贡献。

“大学计算机基础教育规划教材”丛书主编
教育部高等学校非计算机专业计算机基础课程教学指导分委员会主任委员

冯博琴

2004年8月



前言

片机及嵌入式系统



本书是为高校理工科专业教学及一般工程技术人员学习和掌握以单片机为基础的嵌入式计算机系统而编写的。

嵌入式计算机系统是当前的热门课程。本书在编写过程中特别关注如何学习并掌握有关的概念与知识，并用所学知识去解决具体的工程问题。嵌入式系统技术发展异常迅速，它可以由不同的硬件构成。就处理器而言，各种类型的通用 CPU、单片微型计算机、数字信号处理器（DSP）、可编程逻辑控制器（PLC）、片上系统（SOC）、可编程逻辑器件（CPLD、FPGA）以及专用处理器芯片等，均可构成嵌入式系统。

如何学习并最终掌握嵌入式系统的基本概念，并能达到设计一个小型的嵌入式系统的目的呢？作者认为可以采取从特殊到一般的学习方法，即选择某一种典型的处理器（CPU、单片机或 DSP），认真学习并掌握其中的基本概念和基本方法。一种典型的处理器学好了，再遇到其他型号的处理器必然很容易掌握它们。因为它们的基本概念、基本思路和基本方法都是相同的。

为此，在本书中以应用广泛的 MCS-51 单片微型计算机为对象，通过该单片机将嵌入式计算机系统的基本问题描述清楚。选择 MCS-51 单片机主要从 3 个方面来考虑：其一是 MCS-51 单片机在国内外应用十分广泛，现有多个厂家生产与之兼容的单片机产品，选择该型号很具代表性；其二是 MCS-51 单片机结构简单且具有较强的指令系统，利用它可以解释有关计算机系统的复杂的概念（太复杂的处理器不太适宜时间较短的课堂教学）；其三是 MCS-51 单片机也在不断发展，新的 MCS-51 单片机的速度已提高了几十倍到上百倍，其内部集成了闪速存储器、A/D、D/A、各种 I/O 接口，现已成长为 SOC。

编写本书的目的在于培养学生的工程思维能力，内容包括 MCS-51 单片机的结构、指令系统及各组成部件的功能。在此基础上，详细描述中断概念与技术、各种典型外设的接口技术、嵌入式操作系统及用户软件的开发、系统的可靠性设计、嵌入式系统的设计步骤及系统调试方法等一系列重要的概念和基本方法。在描述清楚基本概念的基础上，侧重于解决具体工程应用问题。要求读者能利用所学的基本概念，提出解决工程问题的思路和方法，掌握分析具体工程问题和解决问题的能力。

在编写本书的过程中，作者力求使书的内容融入作者数十年来的教学和科研工作中的实例与经验。由于水平及时间的限制，错误不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

作者

2004 年 11 月

读者意见反馈

亲爱的读者：

感谢您一直以来对清华版计算机教材的支持和爱护。为了今后为您提供更优秀的教材，请您抽出宝贵的时间来填写下面的意见反馈表，以便于我们更好地对本教材做进一步的改进。同时如果您在使用本教材的过程中遇到了什么问题，或者有什么好的建议，也请您来信告诉我们。

地址：北京市海淀区双清路学研大厦 A 座 517（100084） 市场部收

电话：62770175-3506

电子邮件：jsjjc@tup.tsinghua.edu.cn

教材名称：单片机及嵌入式系统

ISBN：7-302-10185-X/TP·6964

个人资料

姓名：_____ 年龄：_____ 所在院校/专业：_____

文化程度：_____ 通信地址：_____

联系电话：_____ 电子信箱：_____

您使用本书是作为：☐指定教材 ☐选用教材 ☐辅导教材 ☐自学教材

您对本书封面设计的满意度：

☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意 改进建议_____

您对本书印刷质量的满意度：

☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意 改进建议_____

您对本书的总体满意度：

从语言质量角度看 ☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意

从科技含量角度看 ☐很满意 ☐满意 ☐一般 ☐不满意

本书最令您满意的是：

☐指导明确 ☐内容充实 ☐讲解详尽 ☐实例丰富

您认为本书在哪些地方应进行修改？（可附页）

您希望本书在哪些方面进行改进？（可附页）

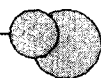
电子教案支持

敬爱的教师：

为满足本课程的教学需要，本教材有配套的电子教案，我们将向使用本教材进行教学的教师免费赠送电子教案，希望有助于教学活动的开展。相关信息请拨打电话 62770175-3506 或发送电子邮件至 jsjjc@tup.tsinghua.edu.cn 咨询，也可以到清华大学出版社主页（<http://www.tup.com.cn>）上查询。



目 录



片机及嵌入式系统

第 1 章 MCS-51 单片机基本结构	1
1.1 MCS-51 单片机的结构	1
1.1.1 MCS-51 单片机家族	1
1.1.2 MCS-51 单片机的内部结构简介	2
1.1.3 MCS-51 单片机外部引线	3
1.2 MCS-51 单片机的内部结构	4
1.2.1 MCS-51 的 CPU	4
1.2.2 MCS-51 单片机的存储器组织	6
1.2.3 MCS-51 的输入输出接口	9
1.2.4 MCS-51 的中断系统	12
1.2.5 MCS-51 的定时/计数器	12
1.2.6 MCS-51 的串行接口	12
1.3 MCS-51 单片机的工作时序	13
1.3.1 MCS-51 的 3 种周期	13
1.3.2 指令执行时序	13
1.4 MCS-51 单片机的相关问题	16
1.4.1 复位	16
1.4.2 时钟电路	17
1.4.3 编程和校验	17
1.5 MCS-51 的总线扩展	18
1.5.1 最小系统	18
1.5.2 MCS-51 的总线扩展内容	18
习题	21
第 2 章 MCS-51 指令系统及汇编语言程序设计	22
2.1 概述	22
2.1.1 MCS-51 的指令编码	22
2.1.2 指令系统中用到的符号	23

2.2 指令寻址方式	23
2.2.1 立即寻址	23
2.2.2 直接寻址	23
2.2.3 寄存器寻址	24
2.2.4 寄存器间接寻址	24
2.2.5 相对寻址	24
2.2.6 基址加变址寻址	25
2.2.7 位寻址	25
2.3 MCS-51 的指令系统	26
2.3.1 传送指令	26
2.3.2 算术运算指令	30
2.3.3 逻辑及移位指令	32
2.3.4 控制指令	35
2.3.5 位操作指令	40
2.4 汇编语言程序设计	42
2.4.1 汇编语言的语句格式	42
2.4.2 伪指令	43
2.4.3 基本的程序设计方法	46
2.4.4 汇编语言程序的开发过程	55
习题	57
第 3 章 MCS-51 单片机的中断系统	59
3.1 概述	59
3.1.1 外设接口的编址方式	59
3.1.2 外设接口的基本模型	60
3.2 程序控制输入输出	61
3.2.1 无条件传送方式	61
3.2.2 查询方式	63
3.3 中断方式	67
3.3.1 中断的基本概念	67
3.3.2 MCS-51 的中断系统	71
3.3.3 中断控制器 8259	76
习题	90
第 4 章 MCS-51 单片机系统部件	91
4.1 MCS-51 单片机构成的最小系统	91
4.1.1 MCS-51 单片机直接构成最小系统	91
4.1.2 利用外接 ROM 构成最小系统	92

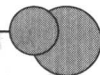
4.2	MCS-51 的外部存储器	93
4.2.1	存储器的分类	93
4.2.2	存储器的主要性能指标	94
4.2.3	RAM 的连接使用	95
4.3	MCS-51 定时/计数器	108
4.3.1	工作方式	108
4.3.2	定时/计数器的控制寄存器	110
4.3.3	定时/计数器的应用	111
4.4	MCS-51 的串行接口	114
4.4.1	概述	114
4.4.2	MCS-51 单片机串行口的控制寄存器	114
4.4.3	串行口的工作方式	117
4.4.4	串行口的应用	118
	习题	121
第 5 章	总线及接口技术	123
5.1	总线概述	123
5.1.1	总线的分类与标准	123
5.1.2	内总线	124
5.1.3	外总线	124
5.2	总线驱动与控制	125
5.2.1	总线竞争的概念	125
5.2.2	负载的计算	126
5.2.3	总线驱动与控制的实现	128
5.3	MCS-51 的总线扩展	133
5.3.1	概述	133
5.3.2	扩展总线的形成	133
5.4	MCS-51 扩展总线上的典型外设接口	135
5.4.1	可编程并行接口 8255	135
5.4.2	键盘接口	146
5.4.3	打印机接口	151
5.4.4	显示器接口	155
5.4.5	光电隔离输入输出接口	158
5.4.6	数模转换器接口	164
5.4.7	模数转换器接口	172
5.4.8	电机接口	184
	习题	194

第 6 章 嵌入式计算机系统软件	198
6.1 嵌入式系统软件概述	198
6.1.1 最小系统	198
6.1.2 驻留监控程序	199
6.2 嵌入式系统实时操作系统内核开发	201
6.2.1 嵌入式操作系统的特点	201
6.2.2 实时内核所涉及的概念	202
6.2.3 实时内核的开发	206
6.2.4 嵌入式操作系统的移植	216
6.3 用户程序的开发	218
6.3.1 用户程序的基本要求	218
6.3.2 用户程序的开发过程	220
6.3.3 高级语言与汇编语言混合编程	225
习题	234
第 7 章 嵌入式系统的可靠性设计	236
7.1 概述	236
7.1.1 可靠性的基本指标	236
7.1.2 故障因素	239
7.2 故障检测技术	240
7.2.1 嵌入式系统的脱机自检	240
7.2.2 嵌入式系统的在线故障检测	248
7.3 硬件可靠性设计	267
7.3.1 硬件故障	267
7.3.2 影响硬件可靠性的因素	268
7.3.3 硬件可靠性措施	273
7.4 软件可靠性设计	280
7.4.1 软件故障的特点	280
7.4.2 软件可靠性指标	281
7.4.3 软件错误的来源	281
7.4.4 软件可靠性模型	283
7.4.5 提高软件可靠性的方法	285
7.5 系统的抗干扰设计	289
7.5.1 抗干扰的三要素	289
7.5.2 干扰的来源及耦合方式	289
7.5.3 系统的抗干扰措施	291
7.6 总线的有关问题	303

7.6.1 总线上的交叉串扰·····	303
7.6.2 总线的延时·····	305
7.6.3 总线上的反射与终端网络·····	306
7.7 可靠性的总体设计·····	308
7.7.1 设计过程·····	308
7.7.2 可靠性的分配方法·····	309
习题·····	313
第8章 系统调试与维修·····	316
8.1 测试仪器简介·····	316
8.1.1 静态测试仪器·····	316
8.1.2 动态测试仪器·····	318
8.2 传统的调试方法·····	328
8.2.1 静态调试·····	328
8.2.2 动态调试·····	329
8.3 系统故障的检测与维护·····	335
8.3.1 故障的诊断方法概述·····	336
8.3.2 人工诊断·····	337
8.3.3 自动诊断·····	343
8.4 嵌入式计算机系统概要说明·····	347
8.4.1 嵌入式计算机系统的定义·····	347
8.4.2 嵌入式计算机系统的构成·····	347
8.5 嵌入式计算机系统的设计要求和设计步骤·····	350
8.5.1 系统设计的基本要求·····	350
8.5.2 系统设计步骤·····	352
8.5.3 系统设计中应注意的问题·····	358
习题·····	359
附录A MCS-51 单片机指令系统表·····	361
参考文献·····	365

第 1 章

MCS-51 单片机基本结构



本章将介绍 MCS-51 单片机的外部引线功能、内部各功能模块以及 MCS-51 的工作时序。MCS-51 单片机是最早进入中国且应用最为广泛的单片机，它是由多种机型构成的一个单片机系列。在后面的叙述中将以 8051 为主加以说明。

1.1 MCS-51 单片机的结构

1.1.1 MCS-51 单片机家族

1. MCS-51 单片机系列的基本性能

国内应用最多的、历史最悠久的单片机首推 Intel 公司的 8 位单片机。早期的功能比较差的 MCS-48 系列产品今天已不再使用。这里仅就 MCS-51 系列加以说明。MCS-51 系列产品有多种型号，又可细分为两个子系列：MCS-51 子系列和 MCS-52 子系列。它们的基本性能列于表 1-1 上。

表 1-1 MCS-51 系列单片机内部基本配置

系 列		ROM	EPROM	RAM	定时器/计数器/位	串行口	并行口/位	中断源
MCS-51 子系列	8031	无	无	128	2×16	1	4×8	5
	8051	4KB	无	128	2×16	1	4×8	5
	8751	无	4KB	128	2×16	1	4×8	5
	80C31	无	无	128	2×16	1	4×8	5
	80C51	4KB	无	128	2×16	1	4×8	5
	87C51	无	4KB	128	2×16	1	4×8	5
MCS-52 子系列	8032	无	无	256	3×16	1	4×8	6
	8052	8KB	无	256	3×16	1	4×8	6
	8752	无	8KB	256	3×16	1	4×8	6
	80C232	无	无	256	3×16	1	4×8	7
	80C252	8KB	无	256	3×16	1	4×8	7
	87C252	无	8KB	256	3×16	1	4×8	7

2. MCS-51 单片机制造工艺

从制造工艺来看, MCS-51 单片机基本上分为两种制造工艺: HMOS 工艺和 CMOS 工艺。MCS-51 单片机型号中带有“C”字的为 CMOS 工艺; 不带“C”字的为 HMOS 工艺。

CMOS 工艺的 MCS-51 单片机最大的特点是低功耗。例如, 在掉电方式下, 供电电流仅 $10\mu\text{A}$ 。但在工作过程中, 对电平的要求比较高, 高电平应 $\geq 4.5\text{V}$, 低电平应 $\leq 0.45\text{V}$ 。

HMOS 工艺的 MCS-51 单片机功耗较大, 但对工作电平要求比较低, 高电平应 $\geq 2.0\text{V}$, 低电平应 $\leq 0.8\text{V}$ 。

3. MCS-51 单片机的发展

从 MCS-51 单片机诞生以来, 世界范围内有诸多生产厂家生产多种与其兼容的产品。有的从外部引线到内部结构、指令系统均完全兼容; 有的只在指令码上兼容; 也有的在 MCS-51 单片机的基础上, 硬件及软件上均有很大的改进。例如, 最近的 C8051F330/331 片上系统、 $\mu\text{PSD}3200$ 片上系统系列产品、P89C51 $\times\times\times$ 系列产品等。

新的与 MCS-51 单片机兼容的片上系统 (SOC) 在各项性能指标上都比本书上描述的有极大的改进和提高。这也是本书选择 MCS-51 单片机为典型实例来介绍有关单片机及嵌入式系统的原因。

1.1.2 MCS-51 单片机的内部结构简介

由表 1-1 可以看到, 在 MCS-51 单片机系列中, 不同的型号之间在硬件构成上略有不同, 用以适应不同用户的需求。下面以 8051 为例来说明其内部结构。8051 单片机的内部结构是由如图 1-1 所示的若干功能模块集成在一块 IC 芯片上构成的。下面分别列出这些功能模块。

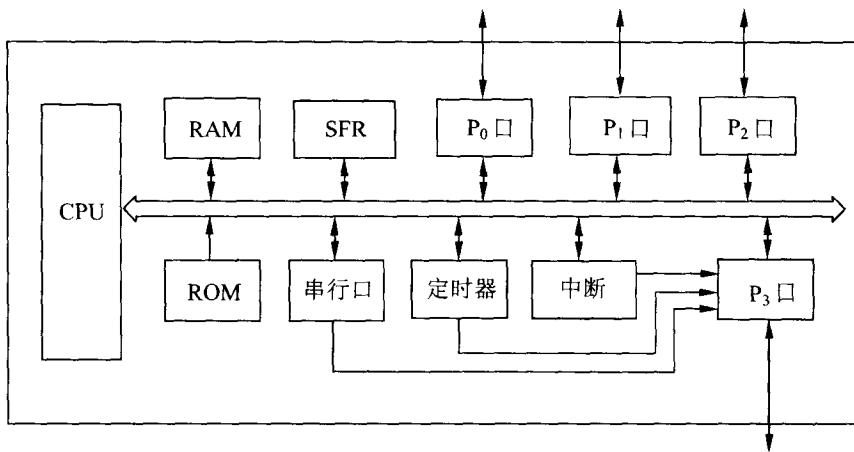


图 1-1 MCS-51 (8051) 单片机内部结构框图

① 一个 8 位的中央处理单元 (CPU)，它能实现后面章节要说明的各种算术、逻辑运算及判断控制功能。

② 片内 RAM 共 128B，用以存放数据，称之为片内数据存储器。

③ 片内 ROM 为 4KB，只有 8051 才有。8031 没有片内的 ROM；而 8751 片内有 4KB 的 EPROM。

④ 特殊功能寄存器 (SFR) 是一批特殊性用途的寄存器。8051 (31) 共有 21 个这样的寄存器，每个寄存器占一个存储单元。

⑤ 4 个 8 位的双向的输入输出 (I/O) 端口 $P_0 \sim P_3$ 。

⑥ 两个 16 位的定时器。

⑦ 一个全双工串行通信接口。

⑧ 五级中断的中断系统。

以上仅仅是通过图 1-1 使读者认识到 MCS-51 内部集成了这些主要的功能模块。至于它们的细节将在后续的章节中再做详细说明。

1.1.3 MCS-51 单片机外部引线

MCS-51 单片机中，8051 的外部引线如图 1-2 所示。其引线共有 40 条，分为端口线、控制线和电源线三类。而且，从图 1-2 中可以看到，许多引线是复用的，即某种情况下，引线功能是这样的，而在另外的情况下，同一引线的功能就变成另一种样子。

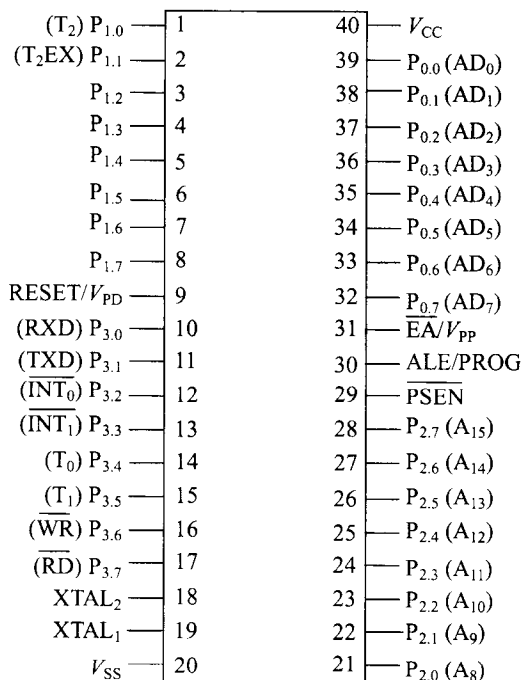


图 1-2 单片机 8051 的外部引线图

1. 端口线

8051 单片机上, 有 4 个双向的并行端口 P_0 口、 P_1 口、 P_2 口和 P_3 口, 每个端口都有 8 条引线。它们除了可以作为数据的 I/O 口之外, 尚有复用功能。具体细节下面将详细加以说明。

2. 控制线

① $\overline{ALE}/\overline{PROG}$: 地址锁存/编程信号线。当 P_0 口工作在第二功能时, 从该端口可复用工作, 某一时刻该端口可以送出地址信号 $A_0 \sim A_7$, 而另外的时刻, 该端口传送的是数据信号 $D_0 \sim D_7$ 。利用 $\overline{ALE}$ 可以将地址信号 $A_0 \sim A_7$ 锁存在地址锁存器上。8051 不需要 $\overline{PROG}$, 此功能是, 当对 8751 编程时, 在此引线上需加上负的编程脉冲。

② $\overline{EA}/V_{PP}$: 该控制信号线也具有双重功能, 是允许访问片外 ROM/编程高电压引线。若 $\overline{EA}=1$, 可读片内的 ROM; 若 $\overline{EA}=0$, 允许读片外的 ROM。当使用 8031 时, $\overline{EA}$ 恒接低电平。

在对 8751 编程时, 应在此端接 V_{PP} 高电压 21V。

③ $\overline{PSEN}$: 片外 ROM 选通信号, 常用作片外 ROM 的读控制信号, 低电平有效。

④ $\overline{RESET}/V_{PD}$: 复位/备用电源引线。当该端加上超过 24 个时钟周期的高电平时, 可使 8051 复位。

若在该引线上接+5V 备用电源, 则当 V_{CC} 掉电时, 该备用电源可保护片内 RAM 中的信息不会丢失。

⑤ $XTAL_1$ 和 $XTAL_2$: 外部晶体连线, 片外石英晶体连于此两端与片内电路构成振荡器, 产生片内 CPU 的工作时钟。

当 8051 (31) 采用外部振荡器时, 对 HMOS 的单片机可将 $XTAL_1$ 接地, 外部时钟由 $XTAL_2$ 输入。若是 CHMOS 工艺的单片机, 就将外部时钟接 $XTAL_1$ 而将 $XTAL_2$ 浮空。

3. 电源线

$V_{CC} + 5V$ 电源输入, 而 V_{SS} 接地。

1.2 MCS-51 单片机的内部结构

本节将逐一介绍 MCS-51 的各功能模块。使读者能够在上一节对 MCS-51 概略了解的基础上逐步深入了解该芯片。

1.2.1 MCS-51 的 CPU

MCS-51 集成了一个 8 位的 CPU, 下面仅从应用角度说明 CPU 的结构。

1. 算术逻辑单元

MCS-51 的算术逻辑单元可以实现加、减、乘、除四则运算, 也可以实现与、或、非、