

HZ BOOKS
华章教育

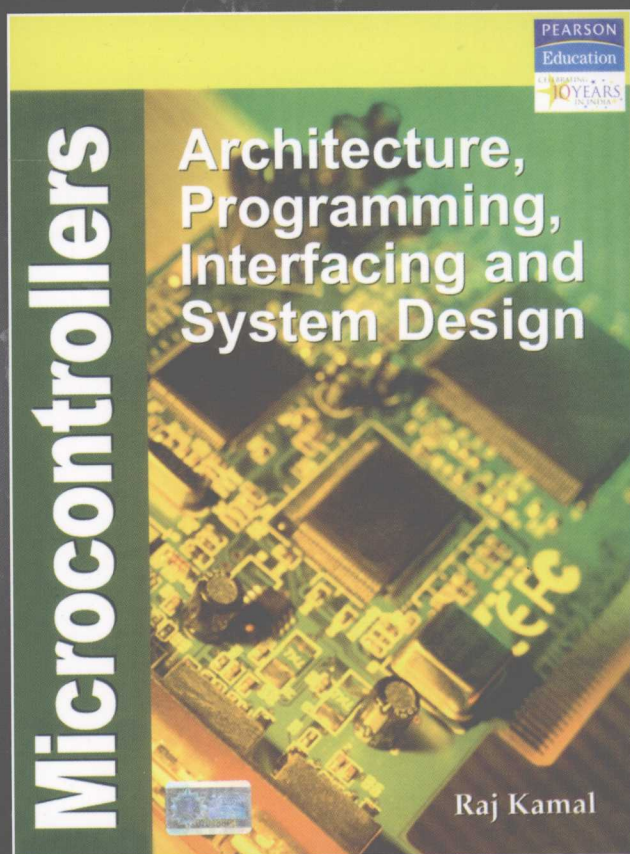
PEARSON
Education

计 算 机 科 学 丛 书

微控制器

架构、编程、接口和系统设计

(印) Raj Kamal 著 张炯 周密 吕紫旭 黄琼 等译



Microcontrollers

Architecture, Programming, Interfacing and System Design



机械工业出版社
China Machine Press

计 算 机 科 学 丛 书

微控制器

架构、编程、接口和系统设计

(印) Raj Kamal 著 张炯 周密 吕紫旭 黄琼 等译

7
45
Microcontrollers

Architecture, Programming, Interfacing and System Design



机械工业出版社
China Machine Press

本书全面介绍各种主流微处理器、控制与通信接口、嵌入式系统编程、嵌入式实时操作系统以及开发调试工具和系统设计等内容，系统完整地讨论了嵌入式系统开发的相关技术和知识，适合电学、电子学、计算机科学专业的本科生阅读。对嵌入式系统设计感兴趣的软件工程师和对单片机交互感兴趣的硬件工程师而言，本书也是难得的软硬件兼备的优秀参考书。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Microcontrollers: Architecture, Programming, Interfacing and System Design*, 9788131706974 by Raj Kamal, published by Dorling Kindersley (India) Pvt. Ltd., publishing as Pearson Education, Copyright © 2007 Dorling Kindersley (India) Pvt. Ltd..

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Chinese edition published by Pearson Education Asia Ltd., and China Machine Press. Copyright © 2009.

This edition is manufactured in the People's Republic of China, and is authorized for sale and distribution in the People's Republic of China exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

本书封面贴有Pearson Education（培生教育出版集团）激光防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号：图字：01-2009-1150

图书在版编目（CIP）数据

微控制器：架构、编程、接口和系统设计/（印）卡莫（Kamal, R.）著；张炯等译。—北京：机械工业出版社，2009.9

（计算机科学丛书）

书名原文：Microcontrollers: Architecture, Programming, Interfacing and System Design

ISBN 978-7-111-27030-0

I. 微… II. ①卡… ②张… III. 微控制器—高等学校—教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第068322号

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037）

责任编辑：刘立卿

北京市荣盛彩色印刷有限公司印刷

2009年9月第1版第1次印刷

184mm × 260mm · 28.75印张

标准书号：ISBN 978-7-111-27030-0

定价：75.00元

凡购本书，如有倒页、脱页、缺页，由本社发行部调换
本社购书热线：（010）68326294

出版者的话

文艺复兴以降，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的传统，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅筹划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起到积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章分社较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，华章分社就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与Pearson, McGraw-Hill, Elsevier, MIT, John Wiley & Sons, Cengage等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从他们现有的数百种教材中甄选出Andrew S. Tanenbaum, Bjarne Stroustrup, Brain W. Kernighan, Dennis Ritchie, Jim Gray, Alfred V. Aho, John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman, Abraham Silberschatz, William Stallings, Donald E. Knuth, John L. Hennessy, Larry L. Peterson等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力襄助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专程为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近两百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也被越来越多实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着计算机科学与技术专业学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章分社欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方式如下：

华章网站：www.hzbook.com

电子邮件：hzsj@hzbook.com

联系电话：(010) 88379604

联系地址：北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码：100037



译者序

嵌入式系统无疑是近年来计算机及各种信息技术应用的热点，其应用领域日益广泛，给人以无处不在的印象。在我的“嵌入式系统设计”课堂上，学生们很早就被告之在一个普通的消费电子产品、一辆汽车甚至一栋楼房里都实实在在地安装了几个甚至几十个嵌入式处理器，形成多个不同功能的嵌入式计算子系统，实现各种功能，甚至保护人的安全。于是他们很有兴趣，也很好奇，究竟需要在相机、微波炉、电冰箱、汽车内何处设置何种嵌入式处理器系统，又在何时进行何种计算和控制呢？

要了解、掌握和精通这些知识，需要在实验室里做实验，尤其是做较复杂的综合实验才能做到，进而才能在实际工程项目中准确、灵活地应用这些知识。随着技术和需求的发展，嵌入式系统的设计往往需要了解多种嵌入式计算硬件体系结构和软件开发过程，所以有一本比较全面而且软硬兼备的参考书就很有必要。幸运的是，由Raj Kamal教授编写的《微控制器：架构、编程、接口和系统设计》一书恰恰是这样一本全面介绍各种主流微处理器、控制和通信接口、嵌入式系统编程、嵌入式实时操作系统、开发调试工具和系统设计等内容的讨论嵌入式系统开发相关技术和知识的佳作。相信对嵌入式系统感兴趣的读者一定会从中有所收获，同时本书对于嵌入式系统设计相关的技术人员和工程师也是一本很好的手册和参考书。

参与本书翻译的除我本人之外还包括多位在读博士生和硕士生，他们是周密、黄琼、吕紫旭、胡彦彦和吕孟轩。鉴于本书篇幅巨大，很多技术细节部分内容琐碎，在翻译过程中难免出现一些错误，希望各位嵌入式系统学术界和工业界的朋友多多斧正。

张炯

2008年10月于北京航空航天大学



电子邮箱: hzjsj@ertongbook.com
联系电话: (010) 88379604
联系地址: 北京市西城区百万庄南街1号
邮政编码: 100037

前言

本书为电学、电子学、计算机科学工程专业的大学生而写，也为对系统设计感兴趣的软件工程师和对单片机交互感兴趣的硬件工程师而写。本书首先介绍经典的8051单片机的内容，然后阐述设计嵌入式系统所必须了解的一些概念。

第1章首先介绍8051的体系结构，然后讲述其指令系统、中断服务结构、编程和交互方法。这些概念的学习将便于我们开发基于像8051、80x96、68HC11/12/16，还有最新基于ARM的高性能低功耗的单片机的系统。

各章的组织如下：

第1章介绍了单片机的类型，列出了多种流行的单片机及其应用程序实例。

第2章描述了单片机的总体结构，并介绍了单片机硬件片上资源，例如内存，端口，定时设备，脉宽调制器，IO串口通信设备，数模转换器和模数转换器。

第3章通过三步法解释了8051单片机家族的结构。描述了8051片上资源——专用函数寄存器（SFR）和内部存储器地址、单个位地址、内部程序和数据地址、外部程序和数据地址、内存映射的片上端口、内部定时器、串口通信和通用异步接收发送器（UART）。同时也描述了8051的中断资源以及内部和外部设备中断的特殊的服务特征。还会介绍一种外部8051的变体和Philips novel 8051MX的变体。

第4章描述了8051的指令集。解释了数据传输指令、数据和位操作指令、算数和逻辑运算指令、程序流控制和中断控制指令等多种指令的使用。

第5章是微处理器和单片机中有关中断结构的创新性的展现。本章详细阐明了中断向量、优先级和中断屏蔽的概念以及来自多个内部和外部中断源的多种中断服务的方式。

第6章涉及单片机定时器、时钟对比、输入捕获和内部时钟程序的内容。本章也阐述了中断延迟、密度和限制。这些概念在单片机定时器设备应用程序编程中得到了广泛的使用。这些软件定时器和真实的时钟中断也会详细讨论。

第7章讲述了同微处理器和单片机交互的外围芯片，涉及8251、8255、7257、8259。本章也解释了模数转换和数模转换控制器线路、接口以及一些其他概念。

第8章涉及同键盘和显示设备进行交互时非常重要的一个方面——移动电话、掌上电脑和PDA用户。它从一个基本的按键和按键弹回的交互开始。进一步包括了LCD控制器以及在工业控制系统、仪器和机器人技术中涉及的许多重要的接口。

第9章描述了编程框架，包括寄存器、汇编器以及（以汇编语言和C语言构成的）结构化的汇编程序、决策块、控制结构等。

第10章给出了用于创建一个强大编程框架的软件编译块的概念。关键词解析的问题也将得到阐述。

第11章描述了实时操作系统的概念和例子。一个重要的方面是抢先和轮循机制以及多任务同步机制的介绍。

第12章讨论了开发工具，包括IDE的使用，ICE，目标系统，设备编程，代表性的代码生产和调试工具。

第13章讲述了Motorola 单片机68HC11的结构、内部存储和设备。其强大的定时器和简单的中断结构是本章描述的重点。

第14章描述了Intel 80x96单片机、其16位结构、内部存储和设备。同时也谈到了强大的高速输出和输入，在页0内存区域的垂直和水平窗口。

第15章讨论了最新的高性能、低功耗的32位单片机ARM。它有着创新性的RISC结构和指令集。还讨论了一个全新的指令子集——Thumb指令集。本章介绍了最新的基于Philips、STElectronics、Samsung单片机的ARM结构。这些单片机促进了高速路由和掌上电脑的发展。

附录给出了重要的8051基本汇编程序，以及在8051上编译数据。参考文献帮助读者进一步理解和学习多个同单片机相关的主题。

Raj Kamal

本书共分15章，第1章介绍了单片机的组成和各部分的功能，第2章介绍了单片机的内部结构，第3章介绍了单片机的指令系统，第4章介绍了单片机的中断系统，第5章介绍了单片机的并行接口，第6章介绍了单片机的串行接口，第7章介绍了单片机的实时时钟，第8章介绍了单片机的温度传感器，第9章介绍了单片机的模数转换器，第10章介绍了单片机的数模转换器，第11章介绍了单片机的通信接口，第12章介绍了单片机的应用，第13章介绍了单片机的结构、内部存储和设备，第14章介绍了单片机的结构、内部存储和设备，第15章介绍了单片机的结构、内部存储和设备。附录给出了重要的8051基本汇编程序，以及在8051上编译数据。参考文献帮助读者进一步理解和学习多个同单片机相关的主题。

目 录

出版者的话	1	实践练习	14
译者序	1	多项选择题	15
前言	1	第2章 微控制器的体系结构和资源概述	16
第1章 微控制器的种类、选择和应用	1	本章目标	16
1.1 本章目标	1	2.1 微控制器体系结构	16
1.1.1 微控制器	1	2.1.1 8048和8049微控制器体系结构的 功能概述	16
1.1.1.1 中央处理单元	1	2.1.2 8048系列微计算机的管脚和信号	18
1.1.1.2 微处理器	1	2.2 系列成员	19
1.1.1.3 微计算机	2	2.3 微控制器资源	20
1.1.1.4 计算机系统	2	2.3.1 总线宽度	20
1.1.1.5 微控制器	3	2.3.2 程序和数据存储器	21
1.1.1.6 嵌入式处理器	3	2.3.3 并口	23
1.2 微控制器的种类	4	2.3.4 EEPROM和Flash	24
1.2.1 8位、16位、32位微控制器	4	2.3.5 脉宽调制输出	25
1.2.2 全内嵌式和带外部存储器的 微控制器	5	2.3.6 使用PWM或者定时器的片上 D/A转换	26
1.2.3 CISC和RISC结构微控制器	5	2.3.7 片上A/D转换	26
1.2.4 哈佛和普林斯顿存储结构 微控制器	6	2.3.8 复位电路	27
1.3 主流微控制器概览	6	2.3.9 看门狗定时器设备	28
1.3.1 8051、扩展8051XA和8051MX 系列	6	2.3.10 灵活位处理能力	29
1.3.2 MC68HC11/68HC12系列	7	2.3.11 节电模式	29
1.4 微控制器的选择	8	2.3.12 定时器	30
1.4.1 所需特性列表及需要考虑的因素	8	2.3.13 实时时钟	31
1.4.2 处理器和处理器系列的选择	9	2.3.14 异步和同步串行通信接口	32
1.4.3 基于片上资源的选择	9	2.4 高级和下一代微控制器中的资源	32
1.4.4 软件构建块的选择	9	本章小结	33
1.4.5 基于开发工具的选择	9	关键技术语	33
1.5 应用实例	9	问题回顾	35
1.5.1 自动加工控制	10	实践练习	36
1.5.2 仪器应用	11	多项选择题	37
本章小结	12	第3章 8051/8031系列的体系结构	39
关键技术语	13	本章目标	39
问题回顾	14	3.1 8051微控制器	39
		3.1.1 硬件	39

3.1.2 端口和电路的IO管脚	48	4.6.1 周期延迟 (NOP) 指令	96
3.2 内部和外部存储器	52	4.6.2 长跳转、绝对跳转和短跳转	96
3.3 计数器和定时器	57	4.6.3 条件相对短跳转	97
3.4 Intel 8051的同步串行和异步串行通信 接口	62	4.6.4 递减然后根据是否为0进行条件 跳转	98
3.4.1 串行同步通信	64	4.6.5 比较后跳转	98
3.4.2 串行异步模式通信	65	4.6.6 例程调用——无条件返回和从例程 中返回	99
3.4.3 与RS232连接	66	4.7 中断控制流程 (RETI指令)	100
3.5 中断	67	本章小结	101
本章小结	70	关键术语	101
关键术语	71	问题回顾	103
问题回顾	73	实践练习	104
实践练习	74	多项选择题	105
多项选择题	75	第5章 实时控制: 中断	107
第4章 8501系列微控制器指令集	77	本章目标	107
本章目标	77	5.1 MCU的中断处理结构	107
4.1 基本汇编语言编程	77	5.1.1 例程、中断和中断服务例程	108
4.1.1 机器码	77	5.1.2 8051中的中断服务	109
4.1.2 指令中的操作码和操作数	77	5.1.3 中断源的标识	109
4.1.3 指令周期	80	5.1.4 中断服务例程的地址	110
4.1.4 指令执行时间	80	5.2 中断等待时间和中断最终期限	113
4.1.5 作为指令集合的程序和例程	80	5.3 多重中断源	113
4.1.6 寻址模式	80	5.4 不可屏蔽中断源	114
4.1.7 指令集的指令分类	81	5.5 中断源的使能(解除屏蔽)或者禁用	115
4.2 数据传送指令	82	5.6 轮询来确定中断源及其优先级分配	116
4.2.1 MOV指令	83	5.6.1 轮询更高优先级中断源的优点	118
4.2.2 MOVC类型指令	84	5.6.2 在ISR结束时轮询更高优先级待 响应中断源的优点	118
4.2.3 MOVX类型指令	85	5.7 Intel 8051中的中断结构	120
4.2.4 应用SP来使用堆栈区域的PUSH和 POP指令	86	本章小结	121
4.2.5 XCH类型指令	87	关键术语	122
4.3 数据和位处理指令	88	问题回顾	123
4.3.1 字节数据处理(清除、求补、循环 移位和交换)指令	88	实践练习	123
4.3.2 布尔变量(位)处理和布尔处理 指令	89	多项选择题	124
4.4 算术指令	91	第6章 实时控制: 定时器	126
4.5 对寄存器、内部RAM和SFR字节进行 逻辑操作的指令	93	本章目标	126
4.6 程序流控制指令	95	6.1 MCU中的可编程定时器	126
		6.1.1 编程特性	126
		6.1.2 溢出事件	129

6.2 自由运行计数器和实时控制	130	8.1 开关、小键盘和键盘接口	187
6.2.1 使用输出比较寄存器以及作为自由运行计数器运行的定时器	131	8.1.1 单键按键(开关)及其接口	187
6.2.2 使用输入采集寄存器	133	8.1.2 按键阵列和它的接口	189
6.2.3 实时钟中断	136	8.1.3 小键盘或者键盘(按键矩阵)和它的接口	192
6.2.4 软件定时器	138	8.2 LED和LED阵列	194
6.3 中断间隔和密度、约束	138	8.2.1 LED和LED信号器	194
6.3.1 中断服务延迟	138	8.2.2 LED或信号器的阵列	194
6.3.2 中断服务间隔	141	8.2.3 7段十六进制数字的LED阵列	195
6.3.3 中断密度	141	8.3 键盘/显示器控制器(8279)	197
6.3.4 中断约束	141	8.4 文字数字式设备——显示系统和它的接口	204
本章小结	142	8.4.1 16段数码显示器	204
关键术语	143	8.4.2 点阵显示器	205
问题回顾	143	8.4.3 LCD显示器	205
实践练习	144	8.4.4 LCD显示器控制器	206
多项选择题	144	8.4.5 LCD显示控制器的接口连接	208
第7章 系统设计: 外设与接口	146	8.4.6 Hitachi 44780、Optrex DMC 16xx、DMC 16xxx、DMC 20xxx和DMC 24xxx系列兼容LCD控制器的编程	209
本章目标	146	8.5 打印机接口	213
7.1 8251串行IO USART通信接口	146	8.5.1 并行接口来连接打印机中的打印控制器	213
7.1.1 8251的编程	150	8.5.2 串行RS232C接口来连接打印机中的打印控制器	213
7.1.2 处理器和DCE的连接	154	8.6 使用IEEE 488 (GPIB) 总线来实现可编程指令接口	214
7.2 8255并行端口接口	155	8.7 与Flash存储器连接的接口	216
7.2.1 8255编程	160	8.8 其他一些接口	217
7.2.2 连接8255到处理器	163	8.8.1 将MCU端口IO管脚与连接的物理系统光隔离	217
7.3 8257可编程DMA控制器	163	8.8.2 与线圈的接口	217
7.3.1 IO事务的方法	163	8.8.3 与扩音器的接口	217
7.3.2 8257编程	166	8.8.4 在音乐播放盒中与小键盘和扬声器的接口	219
7.3.3 连接到8086、8085、8096和86HC11/12	169	8.8.5 在机器人、打印机或工业驱动器中与步进电机的接口	219
7.4 可编程中断控制器8259	170	8.9 与大功率设备连接的接口	221
7.5 ADC电路接口	173	8.9.1 与输入和输出模块连接的接口	221
7.6 DAC电路接口	177	8.9.2 与大功率电机和加热器连接的	221
7.7 内部集成电路接口 (I ² C总线标准)	179		
本章小结	181		
关键术语	182		
问题回顾	183		
实践练习	184		
多项选择题	185		
第8章 系统设计: 数字和模拟接口方法	187		
本章目标	187		

接口	222	9.1.9 CPU寄存器结构的考虑	258
8.9.3 使用高级微控制器来与功率器件连接的接口	223	9.1.10 指令和寻址模式	259
8.10 模拟输入接口	223	9.2 CPU寄存器和内部RAM的结构	259
8.11 模拟输出接口	224	9.3 汇编语言编程	260
8.11.1 DC电机控制	224	9.4 汇编程序	262
8.11.2 伺服电机控制	225	9.5 在中断期间保持CPU状态	265
8.12 光学电机转轴编码器	226	9.6 传递参数	266
8.12.1 增量式转动编码器	226	9.6.1 传递参数	266
8.12.2 旋转绝对角度编码器	227	9.6.2 将参数传递到堆栈中	267
8.13 工业控制	229	9.7 控制结构	268
8.13.1 控制应用	229	9.7.1 N路分支(决策块)	268
8.13.2 基于MCU的刻度尺	229	9.7.2 循环	269
8.14 工业过程控制系统	230	9.8 运行时计算分支转移目的地	270
8.15 基于MCU测量仪表的原型	232	9.9 C语言编程和使用GNU工具	270
8.16 机器人和嵌入式控制	235	9.9.1 用C语言编程	271
8.17 数字信号处理和数字滤波器	236	9.9.2 内嵌代码	272
8.17.1 数字信号处理	236	9.9.3 参数传递	273
8.17.2 数字滤波器	237	9.9.4 程序编译过程和开发工具	273
本章小结	237	9.9.5 GNU工具	274
关键术语	238	本章小结	274
问题回顾	241	关键术语	275
实践练习	242	问题回顾	277
多项选择题	244	实践练习	278
第9章 编程框架: 汇编语言和C语言编程	246	多项选择题	279
本章目标	246	第10章 编程框架: 软件构建模块	281
9.1 编程基础	246	本章目标	281
9.1.1 寄存器	246	10.1 堆栈	281
9.1.2 Intel 8051 8位PSW(程序状态字)	252	10.2 队列	286
9.1.3 Intel 80x96 16位PSW(程序状态字)	253	10.3 表	292
9.1.4 Motorola 8位68HC11 CCR(状态寄存器条件码)	253	10.3.1 表数据和软件构建模块	292
9.1.5 累加器	253	10.3.2 查询表	298
9.1.6 指向内存的寄存器(变址寄存器和基址寄存器)	255	10.3.3 Hash表	300
9.1.7 通用数据/地址寄存器和临时内存或寄存器文件	256	10.4 字符串	301
9.1.8 位可访问寄存器	257	10.4.1 字符串作为可变长度的字符串数组	302
		10.4.2 将字符串作为程序存储中的常量使用	305
		10.5 状态机	306
		10.6 按键处理	308
		10.6.1 实际使用中的按键处理	308

10.6.2 监控按键事件并查找按键字符	309	12.4.2 C51编译器	344
本章小结	311	12.4.3 A51汇编器	346
关键术语	312	12.4.4 LIB51库管理器	347
问题回顾	314	12.4.5 BL51链接器/定位器	347
实践练习	314	12.4.6 OC51分块目标文件转换器和OH51	
多项选择题	315	目标文件到Hex文件转换器	347
第11章 系统设计中的实时操作系统	317	12.5 仿真器和在线仿真器	348
本章目标	317	12.6 目标板	349
11.1 实时操作系统	317	12.7 设备编程器	350
11.1.1 多任务系统	317	本章小结	351
11.1.2 多任务系统中的任务定义	319	关键术语	351
11.1.3 多任务系统中的任务特性	319	问题回顾	353
11.1.4 实时操作系统	320	实践练习	354
11.2 Keil RTX51 实时操作系统	322	多项选择题	354
11.2.1 RTX51的典型功能特性及其循环		第13章 16位微控制器8096 80196系列	357
调度的使用	322	本章目标	357
11.2.2 RTX51全功能版中的抢占式调度	324	13.1 硬件	357
11.2.3 RTX51版本	325	13.1.1 80196系列MCU的CPU、地址和	
11.2.4 RTX51精简版例程	326	数据总线概述	357
11.2.5 RTX51全功能版例程	327	13.1.2 80196系统结构	359
11.3 设计中RTOS的使用	328	13.2 Intel 80196系列MCU系统的存储器	
本章小结	331	映射	362
关键术语	331	13.2.1 片内RAM	362
问题回顾	332	13.2.2 片内ROM/EPROM	365
实践练习	333	13.2.3 外部程序/数据存储空间	
多项选择题	333	(PROM/RAM)	366
第12章 微控制器应用程序开发工具	335	13.3 IO端口	366
本章目标	335	13.4 可编程定时器及高速输出和输入	
12.1 基于系统的微控制器开发阶段	335	捕获	367
12.2 软件开发周期和应用程序	336	13.5 中断	368
12.3 软件开发工具	337	13.5.1 不可屏蔽和可屏蔽中断源	368
12.3.1 集成开发环境	338	13.5.2 中断服务	369
12.3.2 RTOS	340	13.6 指令	369
12.3.3 宏汇编器和反汇编器	340	本章小结	371
12.3.4 编译器	340	关键术语	371
12.3.5 库和库管理器	340	问题回顾	372
12.3.6 链接器/定位器和生成hex文件	340	实践练习	373
12.3.7 调试器和模拟器	341	多项选择题	373
12.4 来自Keil公司的典型IDE版本和工具	341	第14章 Motorola MC68HC11系列	375
12.4.1 IDE μ Vision2	341	本章目标	375

14.1 体系结构375

14.1.1 内部架构和硬件概述375

14.1.2 68HC11的架构378

14.1.3 256字节地址空间内的寄存器片内
RAM380

14.1.4 存储器映射383

14.2 寻址方式和指令383

14.2.1 指令集使用的寻址方式383

14.2.2 指令384

14.3 接口方法386

14.3.1 通用并行IO接口386

14.3.2 存储器接口和附加IO端口389

14.3.3 IO接口390

14.3.4 串行IO设备390

14.3.5 RS232和RS485391

14.4 中断391

14.4.1 不可屏蔽和可屏蔽中断源及复位391

14.4.2 中断向量和优先级391

14.4.3 中断服务392

14.5 可编程定时器392

14.5.1 时序信号的产生和度量392

14.5.2 输入捕获393

14.5.3 输出比较393

14.5.4 频率度量394

14.5.5 脉冲累加器计数器394

14.6 模拟接口应用394

本章小结395

关键术语395

问题回顾397

实践练习397

多项选择题397

第15章 ARM 32位MCU: 架构、编程和
开发工具399

本章目标399

15.1 16/32位处理器简介399

15.2 ARM体系结构和组织400

15.3 ARM/THUMB编程模式404

15.4 ARM/THUMB指令集406

15.4.1 32/16位ARM指令集406

15.4.2 32位指令格式410

15.4.3 Thumb指令集扩展411

15.4.4 ARM异常处理415

15.4.5 汇编和C编程 (GNU工具)417

15.4.6 ARM/Thumb配合工作418

15.5 开发工具418

本章小结421

关键术语422

问题回顾423

实践练习424

多项选择题424

附录A426

附录B428

附录C431

附录D433

附录E434

附录F435

附录G437

多项选择题答案442

参考文献444

第 1 章 微控制器的种类、选择和应用

本章目标

- 介绍微控制器；
- 了解各种微控制器；
- 探讨各种微控制器的选择标准；
- 列出和定义微处理器的一些应用。

1.1 微控制器

1.1.1 中央处理单元

在一台计算机中CPU集中获取和处理指令。它通过处理指令来进行算术和逻辑操作、位处理和数据转移操作、输入和输出操作，程序流控制，程序顺序执行，以及监视系统行为。

CPU能够处理的指令集合是由它的特定指令集所确定的。每种CPU的指令集是唯一的。CPU由下述基本部件构成：

1) 程序流控制部件 (FPCS)，它的功能有

- 从内存或IO设备中获取指令和数据；
- 控制某一给定命令或者指令的处理；
- 与系统其他部分进行通信。

2) 指令执行部件 (IES) 和最重要的单元——算术逻辑单元 (ALU)。ALU按照它的设计和可实现

- 加减乘除运算或者比较运算；
- 逻辑非操作或者从一种形式到另一种形式的转化，又或者对目标的增减或者迁移；
- 与、或、异或者其他逻辑操作；
- 其他算术或者逻辑操作，或者诸如左移、右移、循环左移、循环右移等位操作。

图1-1描述了一个包含有内存、IO设备以及用来获取指令、数据和进行系统内通信的总线的计算机系统（嵌入式系统）中的CPU。嵌入式系统可以被定义为一个嵌入软件和操作系统的计算机系统，该系统用于提供特定产品或者提供特定应用的部分产品。总线是在系统内的两个活动部件或者活动子部件之间进行信号传递的并行线的集合。

1.1.2 微处理器

图1-2展示了一个处理器的结构。微处理器是一个超大规模集成电路 (VLSI)。该电路包括CPU和其他诸如寄存器组、寄存器文件、寄存器窗口、高速缓存、多指令流水及并行ALU等结构化部件。这些结构化部件可以用来增强和显著加速系统中指令的执行和处理。例如，一条流水线能够同时处理五条指令。当第一条指令处在处理的最后阶段时，第二条指令就处于倒数第二个处理阶段，第三条则处于倒数第三个阶段，以此类推。

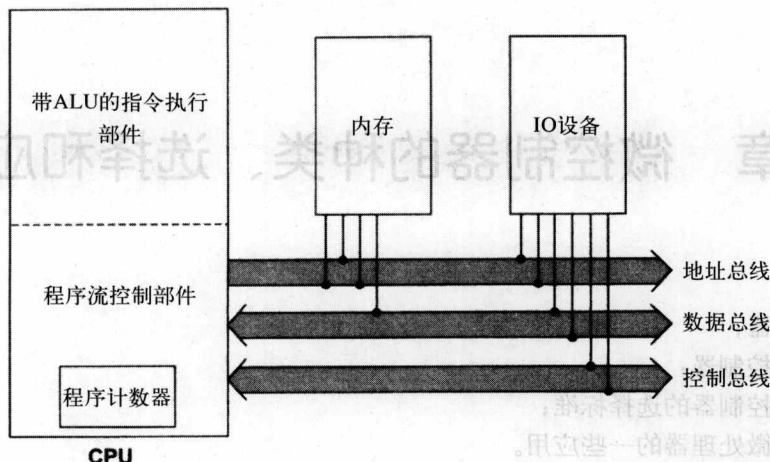


图1-1 在一个包含有内存、IO设备以及用来获取指令、数据和进行系统内通信的总线的计算机系统（嵌入式系统）中的CPU

每个微处理器有一个时钟（内部或外部）。该时钟监视处理器和系统中所有的内部和外部功能单元。时钟频率可以从250ns（4MHz）到0.025ns ~ 0.25×10^{-10} s（4GHz）。

每个微处理器有一个复位电路（内部或外部）。该电路使处理器进入上电状态或者一个预先定义好的初始状态，指令处理将从此初始状态开始。

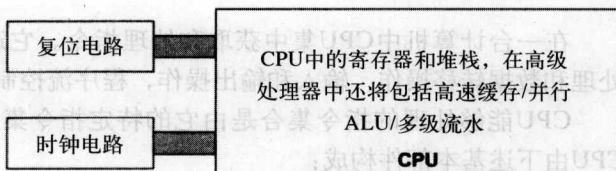


图1-2 微处理器芯片的结构或者带有时钟和复位电路的VLSI核

1.1.3 微计算机

图1-3显示了微计算机电路的结构。微计算机是一个可被用来作为计算机的电路或者VLSI核，至少由下述部件组成。VLSI核是VHDL或者Verilog文件格式的IP核，它将被集成到SOC（片上系统）或者ASIC（专用集成电路）中。此核文件也被称作单元库。它的组成部件有：

- 微处理器；
- 用于保存数据（位、字节和字）和堆栈的存储器；
- 用于存储特定程序和子程序的存储器；
- 外部存储器和IO设备之间的接口电路；
- 用于处理系统中断的中断处理电路/单元；
- 用于系统时钟和其他时间相关用途的时钟电路/单元。

1.1.4 计算机系统

一个典型的计算机系统是一个特定的通用处理器系统，它包含下列硬件：

- 微计算机电路/单元；
- 大型存储器包括主存（可快速访问的半导体存储器）和辅存（CD-ROM中的光存储器和硬盘中的磁性存储器）；

- IO端口和设备，例如串口，键盘接口和用在诸如数码相机、数字仪和扫描仪等系统中的USB IO设备；
- 输出端口和视频监视器和打印机等设备；
- 诸如网络接口单元和调制解调器等IO设备。

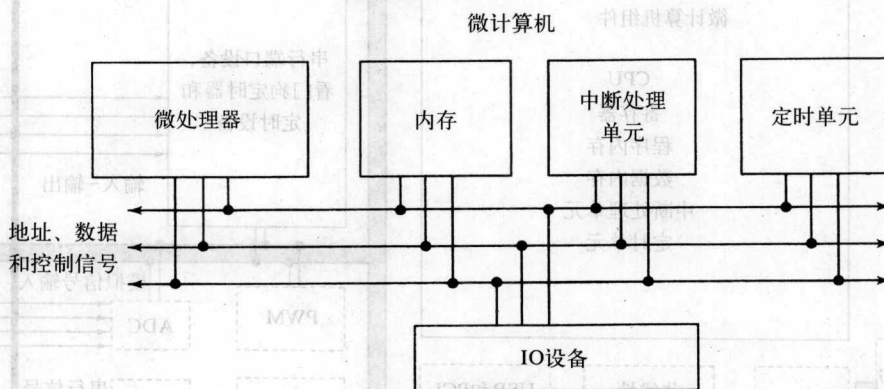


图1-3 微计算机电路、芯片或者VLSI核的结构

1.1.5 微控制器

微控制器是集成在单芯片或者VLSI核中的微计算机，其他一些面向应用的设备也包括其中。它是一个实时控制系统或者通信系统中被集成的部分。它具备专门的计算能力和增强的IO操作能力。为方便起见后面微控制器将简称为MCU。

MCU（见图1-4）包含一个能够在节电模式和空闲模式下运行的微计算机电路。它还包括下列设备。

- 能够响应CPU的位操作指令的端口设备，这些指令使能对接口延迟和切换的控制；
- 同步和异步串行IO设备；
- 用于系统时钟、实时钟、软件定时器、事件或者信号实时监测（时间比较或者截取事件发生时的时间）的定时设备，及看门狗定时器设备；
- 脉宽调制（PWM）设备；
- 模数转换（ADC）设备；
- 调制解调设备；
- 数字信号处理（DSP）端口，相应地CPU中存在DSP指令处理电路；
- 带非线性控制器CPU处理指令的端口；
- 带网络接口及网络处理相关CPU处理指令的端口；
- 带移动和无线接口以及对应CPU处理指令的端口；
- USB/PCI/I2C/CAN/JTAG/GPIB接口设备。

1.1.6 嵌入式处理器

嵌入式处理器是一个面向快速、精确、复杂计算及复杂实时应用的专用微处理器。它提供快速上下文切换能力及解决共享数据相关问题的方法，并且让嵌入式软件使用RISC核来处理快速、高精度、密集的计算。与微控制器一样，嵌入式处理器也可以内嵌片上资源。

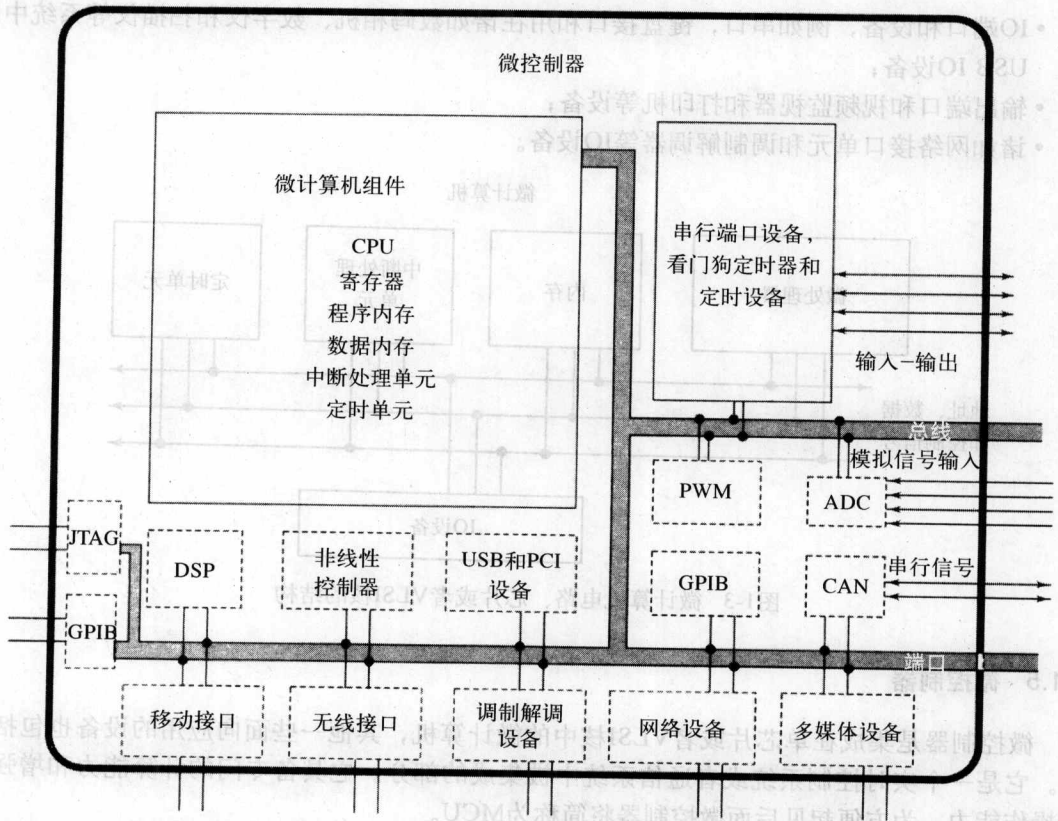


图1-4 微控制器的组成单元 (实心边框表示基本组成单元, 虚线边框表示可选单元)

1.2 微控制器的种类

图1-5分别按照内部总线宽度、嵌入式微控制器、指令集、存储结构、IC芯片或者VLSI核文件 (VHDL或Verilog)、系列等列出了微控制器的种类。对于同一系列的微控制器, 它也可能有不同的来源。下面将分别描述这些分类。

1.2.1 8位、16位、32位微控制器

1. 8位微控制器

如果MCU的内部总线是8位并且MCU按照字节来对单条指令进行算术和逻辑操作, 则称该MCU为8位微控制器。Intel 8031/8051系列和MC68HC11系列就是8位微控制器。

2. 16位微控制器

如果MCU的内部总线是16位并且MCU按照16位字来对单条指令进行算术和逻辑操作, 则称该MCU为16位微控制器。重要的16位MCU有扩展8051XA, Intel8096系列 (第15章) 和Motorola MC68HC12及MC68332系列。这些微控制器相比8位MCU可提供更高的精度和更强的性能。

3. 32位微控制器

如果MCU用于数据传输的内部总线是32位并且MCU按照32位字来对单条指令进行算术和逻辑操作, 则称该MCU为32位微控制器。重要的32位MCU有Intel/Atmel 251系列, Intel