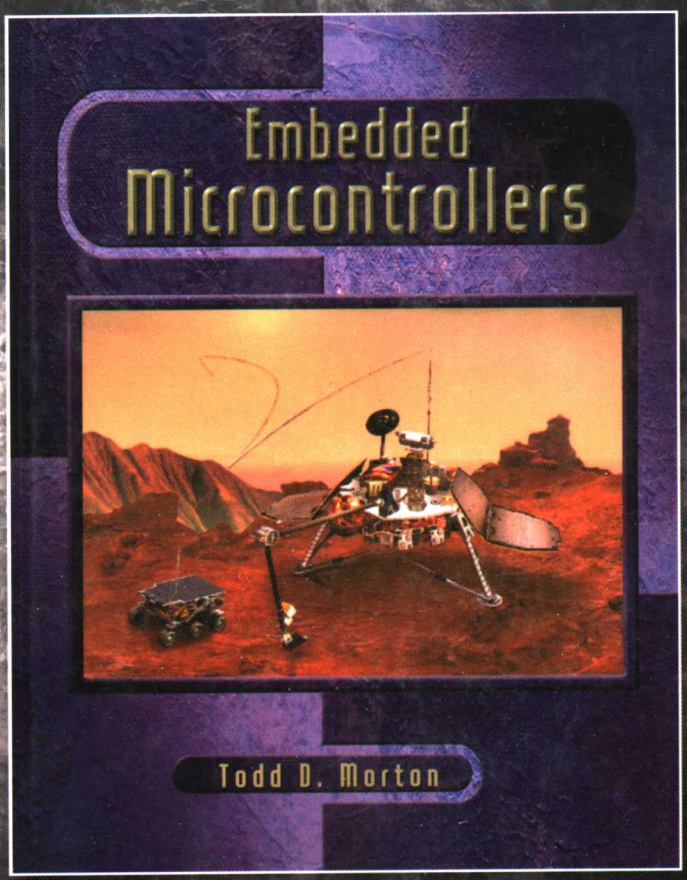
PEARSON Prentice Hall

计 算 机 科 学 丛 书

嵌入式微控制器

(美) Todd D. Morton 著　　严隽永 译



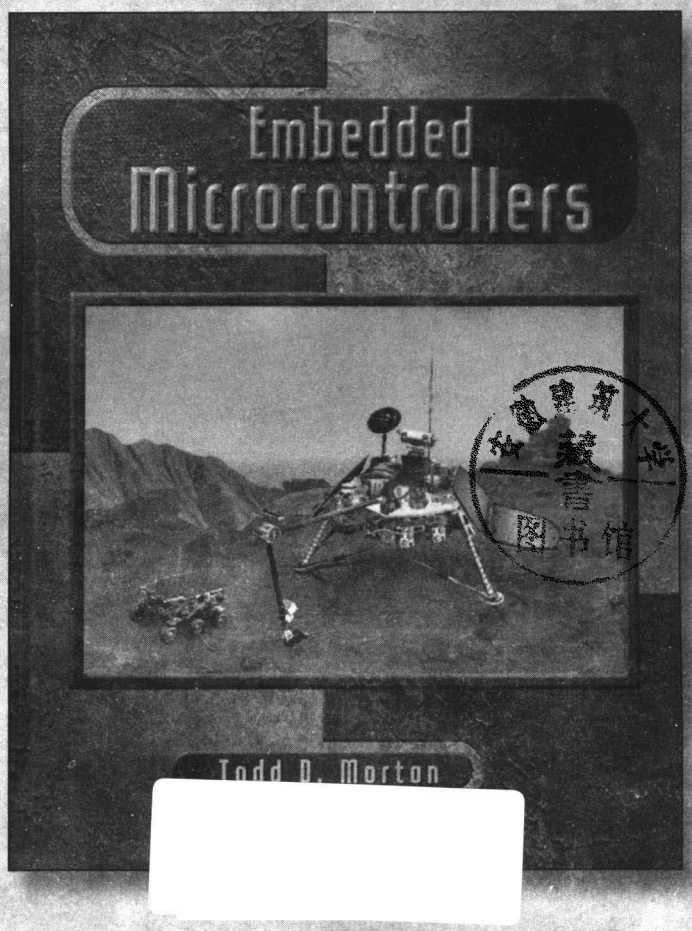
Embedded Microcontrollers

机械工业出版社
China Machine Press

计 算 机 科 学 丛

嵌入式微控制器

(美) Todd D. Morton 著　　严隽永 译



Embedded Microcontrollers

机械工业出版社
China Machine Press

本书对于嵌入式系统进行全面而深入的讨论。以 Motorola MC68HC12 微控制器族为例，讲解了嵌入式系统的开发、设计、建造，直至最终产品的形成。本书并不拘泥于具体器件，而是分析一般性概念和方法，理论与实际相结合，阐述了汇编语言编程方法，并采用伪 C 语言描述；而且还以相当篇幅讨论 C 的编程方法。本书每章后包含大量习题，方便读者巩固重点知识。

本书可作为高等院校相关专业的教材或教学参考书，也可供专业技术人员参考。

本书版权登记号：图字：01-2003-1985

图书在版编目（CIP）数据

嵌入式微控制器/(美)莫顿(Morton,T.D.)著；严隽永译. －北京：机械工业出版社，2005.9
(计算机科学丛书)
书名原文：Embedded Microcontrollers
ISBN 7-111-16706-6

Ⅰ.嵌…　Ⅱ.①莫…　②严…　Ⅲ.微控制器　Ⅳ.TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 057653 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：吴　怡
北京中兴印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm 1/16 · 32 印张
印数：0 001-4 000 册
定价：65.00 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，不仅擘划了研究的范畴，还揭橥了学术的源变，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、从业人员较少的现状下，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图文信息有限公司较早意识到“出版要为教育服务”。自 1998 年开始，华章公司就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过几年的不懈努力，我们与 Prentice Hall，Addison-Wesley，McGraw-Hill，Morgan Kaufmann 等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从它们现有的数百种教材中甄选出 Tanenbaum，Stroustrup，Kernighan，Jim Gray 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、研究及庋藏。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，有的还专诚为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近百个品种，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，为进一步推广与发展打下了坚实的基础。

随着学科建设的初步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步入一个新的阶段。为此，华章公司将加大引进教材的力度，在“华章教育”的总规划之下出版三个系列的计算机教材：除“计算机科学丛书”之外，对影印版的教材，则单独开辟出“经典原版书库”；同时，引进全美通行的教学辅导书“Schaum's Outlines”系列组成“全美经典学习指导系列”。为了保证这三套丛书的权威性，同时也为了更好地为学校和老师们服务，华章公司聘请了中国科学院、北京大学、清华大学、国防科技大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、中国科技大学、哈尔滨工业大学、西安交通大学、中国人民大学、北京航空航天大学、北京邮电大学、中山大学、解放军理工大学、郑州大学、湖北工学院、中国国家信息安全测评认证中心等国内重点大学和科研机构在计算机的各个领域的著名学者组成“专家指导委员会”，为我们提供选题意见和出版监督。

这三套丛书是响应教育部提出的使用外版教材的号召，为国内高校的计算机及相关专业的教学度身订造的。其中许多教材均已为 M. I. T.，Stanford，U.C. Berkeley，C. M. U. 等世界名牌大学所采用。不仅涵盖了程序设计、数据结构、操作系统、计算机体系结构、数据库、编译原理、软件工程、图形学、通信与网络、离散数学等国内大学计算机专业普遍开设的核心课程，而且各具特色——有的出自语言设计者之手、有的历经三十年而不衰、有的已被全世界的几百所高校采用。在这些圆熟通博的名师大作的指引之下，读者必将在计算机科学的宫殿中由登堂而入室。

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，但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。教材的出版只是我们的后续服务的起点。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方法如下：

电子邮件：hzedu@hzbook.com
联系电话：(010)68995264
联系地址：北京市西城区百万庄南街 1 号
邮政编码：100037

专家指导委员会

（按姓氏笔画顺序）

尤晋元	王　珊	冯博琴	史忠植	史美林
石教英	吕　建	孙玉芳	吴世忠	吴时霖
张立昂	李伟琴	李师贤	李建中	杨冬青
邵维忠	陆丽娜	陆鑫达	陈向群	周伯生
周克定	周傲英	孟小峰	岳丽华	范　明
郑国梁	施伯乐	钟玉琢	唐世渭	袁崇义
高传善	梅　宏	程　旭	程时端	谢希仁
裘宗燕	戴　葵			

译 者 序

本书是不可多得的一本关于中小型嵌入式系统的好书，也是一本适合用于相关专业教学的教科书。它既适合作为本科必修课程的教材，也适合作为研究生选修课程的教材或参考书。对于多数工程师也很有参考价值。

本书在理论与实际方面结合得很好。作者在这一领域具有丰富的实践经验。这本有价值的著作填补了该方面教科书和参考书的空白。无论对于初学者，还是有经验者，本书均提供了基本的和最新的有关信息，并联系实际应用提出了一些有用的启示。

本书对嵌入式微控制器进行了全面而深入的讨论。嵌入式微控制器是一种专门的集成器件，它用于各种各样的应用。它将存储器、微处理器和 I/O 接口组成为一体。本书乃是第一批基于 Motorola MC68HC12 微控制器族的书。

本书虽然以 Motorola 的 CPU12(也提及 CPU11)微控制器族为主讨论嵌入式微控制器系统的开发、设计、建造，直至最终产品的形成，但并不拘泥于具体器件，而是从中得出一般性概念和方法，这些也可应用于其他厂商的产品。本书在编程技术方面，不仅阐述了汇编语言编程，并采用伪 C 语言描述；而且还以相当篇幅讨论了 C 的编程方法，并指出与通用计算机程序开发之间的差异，这在一般 C 语言书籍中往往是不涉及的。人们知道，汇编语言不独立于硬件，而 C 语言是独立于硬件的，所以不失一般性。本书不仅研讨在开发工具监控程序控制下的应用开发技术，而且还阐述最终自立系统的开发和构筑，以及如何从前者过渡到后者。书中列举的实例，既可作为概念与方法的展示，也可用于实际系统开发的参考。

本书后部介绍了嵌入式核的开发与使用。有两类核：协同性核与抢占性核。讨论了自己开发核控程序的方法，还介绍了利用现成核产品 MicroC/OS 作为预编译库并裁制成产品所需的基本技术。

本书的写作风格严谨、细致，非常易于理解。但由于术语众多，内容广泛，翻译过程颇费斟酌，有时添加一些注释。译者尽可能使译文文字流畅，易于阅读理解，并做到术语前后一致且不失其惯用用法。但是译者水平有限，时间紧迫，不免有疏漏和失误之处，恳望读者不吝赐正。

在此也要感谢机械工业出版社华章分社的同仁和朋友们的积极支持与辛勤劳动，终将本书中译本完成出版。期望本书中译本对于我国的教学科研和生产实践有所裨益。

严雪永
2005 年 2 月 22 日于法国格勒那勃
jyyan@dhu.edu.cn
henry.yan@smartwintech.com

前　言

本书适合所有希望掌握中小型嵌入式系统技术的读者，原先本书是为电子工程技术专业学生而撰写的，但也适用于大多数工程专业的学生和实践工程师。目前本书正用作电子工程技术专业中两门一学期课程的教材。第一门是基于微处理器的应用方面的低年级必修课程；第二门是嵌入式系统方面的高年级选修课程。第一门只运用汇编语言编程；第二门则运用C语言。

学习本书的先修课程是电子电路、基本数字逻辑，及C语言基础编程。C语言编程课程仅对本书第四和第五部分是必要的。本书并没有包含C语言编程基础内容，因此读者需具有C或C++方面的基础知识，书中只讨论基于微控制器的嵌入式系统所必需的C语言概念和方法。

本书所用软件与硬件

在撰写关于嵌入式系统的书籍时，是强调硬件软件的某种具体产品，还是强调不偏于实践的一般原理，乃是难以权衡处理的问题。本书作者力图强调设计与调试中所用到的概念、过程、规范及方法。

本书重点使用Motorola的M68HC12微控制器，但也已成功地用于使用M68HC11系列的课程。本书旨在对供应商的文档资料加以补充，而不是替代。作者希望学生握有他们所用MCU和开发板的完整资料。若使用M68HC12，学生应有《CPU12参考手册》和相应部件的技术规格书。若使用M68HC11，著名的《M68HC11参考手册》也是必要的。

全书所用的开发硬件是Motorola 68HC912B32 EVB。本书前半部分只需要用单板机开发，所有代码都加载入RAM。书的后半部分则需用后台调试系统，代码加载入目的机闪存(Flash ROM)。这要求或者使用两个EVB；或者使用一个EVB作为目的机，以及一个68HC12 BDM调试槽，诸如Noral 68HC12 BDM调试器。有关于调试过程和测试技术的概念应当适用于大多数现代开发系统。

书中所用的开发软件是Introl-CODE开发系统。除了具体讨论使用Introl-CODE系统进行开发的那些章节不使用C以外，书中还讨论使用C代码进行开发，C代码是符合ANSI-C标准的，所以若使用别的C编译器，也是可以的。

本书所用的实时核是Micro C/OS-II。它使用得很广泛，也容易获得它的源代码。其中许多概念也适用于其他种类的核，尤其是对典型核服务的应用。

内容梗概

本书分为五部分。书的前半部强调汇编代码，后半部则集中于C代码。全书都涉及硬件，尤其在第三部分。由于从第6章起使用了伪C代码，因此内容以强调C为主而非汇编也是合理的。

第一部分　引言。这部分向读者介绍学习有关嵌入式系统所需的背景知识及展望。

第二部分　汇编语言编程。这部分介绍汇编语言编程，涉及CPU12编程模型和程序的设计。学生在学完第3章后应当能够对预先编写的程序实施建造，并且在学完第6章后能编写由RAM中D-Bug12监控程序所执行的完整程序。第7章包含适合使用汇编程序的某些基本应用。

第三部分　微控制器硬件与I/O。这里介绍实时概念与I/O硬件，包括中断与基本多任务机制。除BDLC未作介绍外，68HC912B32所有I/O资源均作介绍。第10章和第11章讨论用于自立系统且具有总线扩展的MCU配置。

第四部分　微控制器C编程。其中包括实时嵌入式系统C编程的相关概念。重点放在适用于小型MCU的存储器运用和程序效率问题。

第五部分　实时多任务核。本部分涉及结合使用MicroC/OS-II(一个成品的核)的基本多任务设计。

致谢

若无如下所列人们的帮助，本书可能无法完成。他们是：Introl 公司的 Rich Pennington，Motorola 大学和 Austin 社区学院的 Jim Sibigtroth，Micrium 的 Jean Labrosse，Motorola 的 Tony Plutino 和 Dave Hyder，惠普公司的 Marsh Faber 和 Mel Downs，Noral Micrologics 的 Phil Meek 和 Harry Erickson，Prentice-Hall 出版公司的 Dave Garza 及其同仁，WWU 的 Kathleen Kitto 和 Andrew Pace，ITT 技术学院的 George Sweiss，英国哥伦比亚理工学院的 Malvern Phillips，Motorola 68HC11 与 68HC12 资料的提供者，以及我的所有学生。

目　录

附 录

第一部分 引 言

第 1 章 微控制器引言

众所周知，微处理器（microprocessor）使人们的日常生活发生了革命性变化。最明显的事例可算是台式计算机和因特网了。而这场革命的另一事例却鲜为人知，这就是嵌入式系统。嵌入式系统属于电子系统，包括微处理器或微控制器（microcontroller，MCU）[⊖]，但人们并不把嵌入式系统看作一般的计算机，它们是隐藏或嵌入在各种系统中的计算机。例如，嵌入式系统有汽车、工业控制器、仪器仪表、网络路由器以及家用电器，甚至电饭煲和烤面包机。美国家庭中，平均每家有 30 到 40 个微处理器，而只有 45% 的家庭有台式计算机。这些微处理器绝大多数用在嵌入式系统中。

本书主要讨论市场上最广泛流行的嵌入式系统——小系统。这类系统需用 8 或 16 位微处理器或微控制器。图 1-1 是一个典型系统——数字式温度计。其中有温度传感器，连接着模数转换器（ADC）、微处理器（CPU）、RAM、ROM、芯片选择逻辑电路和液晶显示器（LCD）模块。

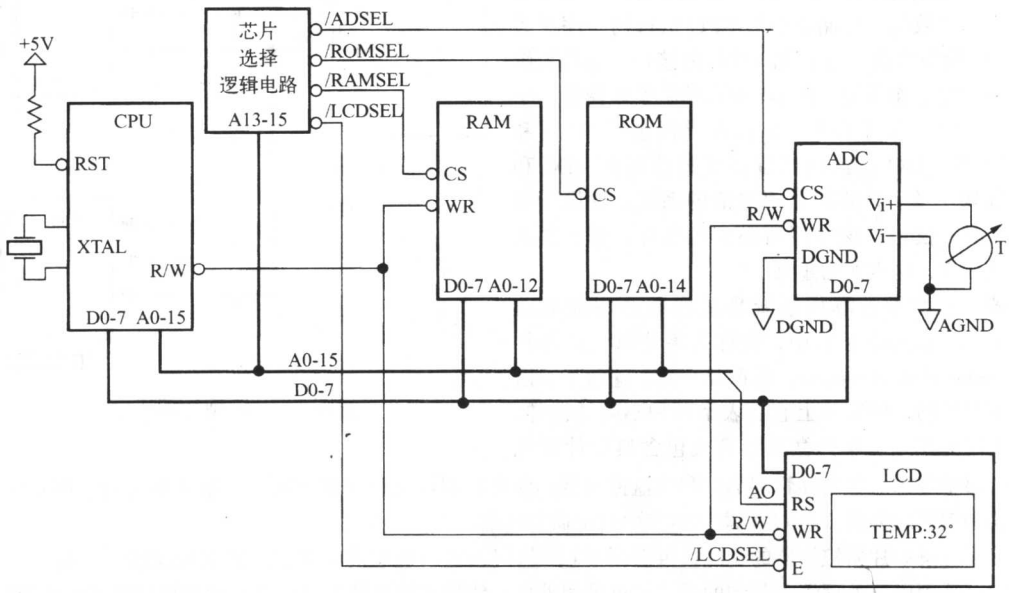


图 1-1 典型的小嵌入式系统——数字温度计

如果说，嵌入式系统具有两个最基本的设计特点的话，那就是成本敏感性和设计多样性。例如，红外线遥控器和无人航天器两者不会用同样的系统。显而易见，嵌入式系统极其宽广的复杂性，引导着嵌入式系统技术的进展。除了这种多样性之外，还有一点就是要求成本尽可能低。倘若一个视频游戏系统要卖 1 000 美元，那很可能无人问津。然而用在视频游戏系统和台式 PC 机中的处理器技术却是差不多的。设计嵌

⊖ 此词往往被译为“单片机”，但译为“微控制器”更确切。——译者注

入式系统，不能千篇一律。嵌入式系统的硬件软件设计，需根据应用不同而异，即需要所谓针对具体应用的（application-specific）硬件与软件设计。

嵌入式系统开发的另一个特点是需要各种各样的设计方法与技术。在图 1-1 所示的简例中，涉及各种技术，如下所列：

- CPU 需要用到软件设计和微处理器接口方面的技术。
- 芯片选择逻辑电路需要用到数字逻辑技术。
- 模数转换器和温度传感器需要用到模拟电路设计与抽样理论。还可能要用到基础物理学知识，以理解传感器特性。
- 液晶显示器（LCD）需要懂得用户界面技术和 LCD 的光学特性。

此外，系统可能联网工作；可能采用不同种类的电源；也可能在恶劣环境中运行。某些嵌入式系统的设计可能涉及很广，以至于需要将它们分解成若干专业设计任务。然而理解或至少有兴趣去学习所涉及的各种技术是很有用的。由于所需技术极为广泛，工程技术人员会感到这是一个极具吸引力并值得研究的领域。

1
2

1.1　微型计算机

首先，讨论嵌入式系统的心脏——微型计算机（microcomputer）。如图 1-2 所示，微型计算机由 CPU、存储器（memory）、输入输出设备（I/O device）及总线系统（bus system）所组成。

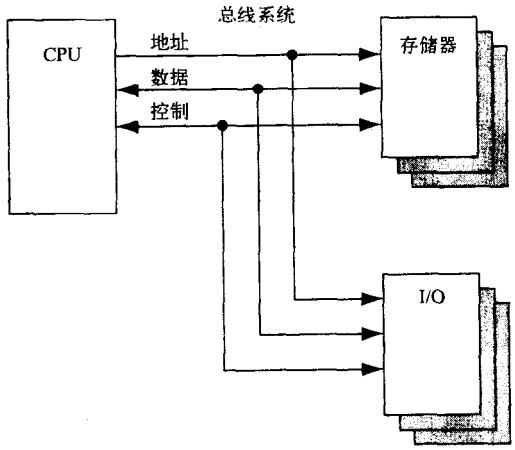


图 1-2　微型计算机

微处理器也称为 CPU 或中央处理器。它控制着系统并处理数据。存储器存放 CPU 执行的程序及数据。I/O 设备提供同外部世界连接的接口。总线系统提供灵活的互连系统。图 1-1 所示的温度计便是一个微型计算机。它有 CPU，它的存储器包括 RAM 和 ROM 器件，I/O 包括连接着温度传感器的 ADC 和 LCD 模块。微型计算机是很灵活的系统。在设计具体应用时，仅包括该应用所必需的器件，对于嵌入式系统而言，这点尤为重要。

若一个微型计算机系统集成在单个集成电路（integrated circuit，IC）中，便称为单片微型计算机（single-chip microcomputer）或微控制器。这两个术语往往交替使用，但实际上它们表示两种不同的器件，用于不同的用途。单片微型计算机包含典型计算机所用的那些资源，如内存管理部件和磁盘控制器。而微控制器则包含典型嵌入式系统所用的那些资源，如定时器和模数转换器（ADC）。本书将集中讨论微控制器。

为了理解单片微控制器的功能，再看图 1-1 所示嵌入式系统的简单例子。要实现这设计，有多种可选途径。可采用以微处理器为基础的系统；可采用外部总线模式的微控制器；也可采用单片模式的微控制器。

若采用以微处理器为基础来实现设计，图 1-1 中的方块都是分离的集成电路。这就需要至少五块集成电路，再加上温度传感器和 LCD 模块。因为大多数集成电路都用总线相连，它们便有大量引脚，所以外形较大。这就需用较大的印制电路板（PCB），成本也高些。

3

另一种是采用扩展模式的微控制器。扩展模式（expanded mode）指总线系统是在微控制器集成电路外部的，即外部总线模式。若微控制器包含芯片选择逻辑电路、RAM 和 ADC，则系统就只要两块集成电路，即 MCU 和 ROM。印制电路板减小，成本降低。这是折中设计。集成电路数目少了，而外部总线所提供的灵活性依然存在。但仍然需要大的 ROM 器件，功耗也仍较大。

第三种选择便是采用单片模式的微控制器。单片模式 MCU 并没有外部连接所用的总线。这样，节省

引脚，可以缩小集成电路封装尺寸，或者这些多余引脚可作为添加额外 I/O 之用。如图 1-3 所示，这是单片解决方案。只需加入 LCD 模块和温度传感器电路。因此性价比高，设计紧凑。

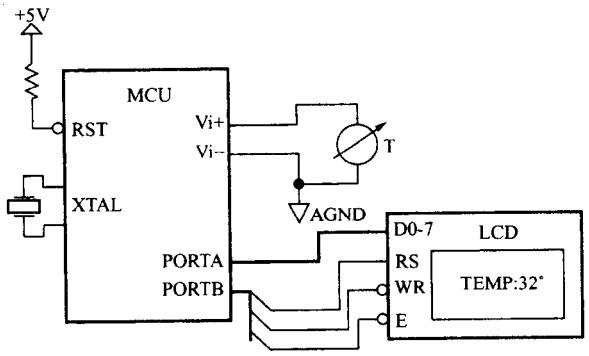


图 1-3　基于微控制器的系统

1.1.1　微处理器

微处理器或 CPU 乃是微型计算机系统的控制器。它控制着总线的所有活动，实施计算并作出决策。微处理器是可编程的，即其操作由指令序列所控制。指令有三种通用类型：数据传送指令，算术与逻辑运算指令及程序控制指令。微处理器的指令序列称为*程序*或*软件*。

将可编程 CPU 和总线系统组合起来，构成极为灵活的系统，很容易将它们定制成适合于给定的应用。在嵌入式系统中，这种灵活性用来创建针对具体应用的（application-specific）硬件，其中执行针对具体应用的单一程序。

微处理器用于嵌入式系统，比用于台式计算机要相对简单些。当前最大量的微控制器是采用 8 位 CPU。为嵌入式系统选择微控制器，封装小和性价比高是指导性因素。在电视机遥控器或烤面包器里，没有必要采用昂贵的 32 位 CPU。在市场上确有嵌入式系统采用功能强大的 32 位 CPU。但这些器件是用于需要高速传送大量数据的系统，或用于需要进行大量复杂计算的系统。视频游戏机、激光打印机、网络路由器以及汽车发动机控制系统等普遍应用这种微控制器。本书主要讨论中间范围的 8 位和 16 位微控制器，以及这种器件的典型设计约束条件。书中有些内容确实适用于最小的 4 位和 8 位设计，而另一些内容则适合于较大的 32 位设计。

1.1.2　总线系统

微型计算机的*总线系统*（bus system）提供 CPU、存储器、以及和 I/O 设备之间交换数据的灵活机制。总线之所以是灵活的，因为它是共享的。欲将存储器或外围设备加入系统，只需将它们接到总线系统上，并加入必要的解码逻辑电路即可。CPU 控制着总线系统，方法是将设备地址送到地址总线上，将总线的控制信号送到控制总线上，以提供传送方向和定时设定。于是，总线系统便在数据总线上向设备递送（写）数据或从设备抽取（读）数据。

地址总线。地址总线传送 CPU 送出的源位置和目的位置的信息，以便传送数据。对指定单元的存取，是在两级层次上进行控制的。首先是芯片选择逻辑电路，对总线地址进行解码，从而确定存取哪个存储器或外围设备。然后是设备的解码逻辑电路，对地址进行解码，以确定存取该设备中的具体单元。这同邮政系统类似，首先根据目的地址将信件送到目的地邮局，然后再由目的地邮局将信件送到地址所指的具体收信箱。

大多数小型微控制器的地址空间是线性的。*线性地址空间*是这样的：指令所引用的每个地址直接对应于存储器中的一个单元。这种寻址类型运用最简便，但 CPU 的利用效率差些。分页存储器系统能够提高 CPU 效率，但运用较困难。在分页系统中，地址总线传送当前地址*页面*（page）中的单元信息。*CPU 必须*另有寄存器用于当前页面的选择。

地址总线宽度决定 CPU 能直接存取的单元总数。每个单元必须有一个唯一地址，地址字可能的唯一组合有多少，就决定了可能存取的单元个数有多少。因此，N 位宽度地址总线就有 2^N 个可能的地址。

［例题 1-1］　16 位地址总线的可寻址空间

68HC11 微控制器具有 16 位地址总线，这是小型微控制器的典型总线宽度。试问可直接存取的最多单元数是多少？

＜解＞：

16 位地址总线可对应 $2^{16}=65\,536$ 个单元。通常这称为可对应 64 K㊀B 存储空间（1 KB=2^{10} B=1 024 B）。

5 注意：这不是 10^3！

这种单位经常用于表示可寻址空间或存储器的大小。但也采用如下单位：

$$1\ \text{M}㊁\text{B}=2^{20}\ \text{B}=1\,048\,576\ \text{B}$$

$$1\ \text{G}㊂\text{B}=2^{30}\ \text{B}=1\,073\,741\,824\ \text{B}$$

也应注意这些定义：1 MB 在讲到可寻址设备时是指 2^{20} B，而在另外一些场合可能指 10^6。例如，在讲到磁盘驱动器时通常采用 10^6 的定义，但这并非总是如此㊃。

■

数据总线。数据总线传送一组信号，其中包含 CPU 与存储器或 I/O 设备之间所要传递的数据。数据总线必须是双向的，因为 CPU 必须能读数据，也必须能写数据。当 CPU 从外围设备读取数据时，其数据线设置为输入。当 CPU 向外围设备写入数据时，其数据线设置为输出。

当用到术语“n 位微控制器”时，n 是指数据总线的大小或宽度。例如，68HC11 具有 8 位数据总线宽度，所以称为“8 位微控制器”。68HC12 是 16 位微控制器，因为其内部数据总线为 16 位宽。

数据总线的宽度决定每单个总线周期能够传送多少数据。台式计算机系统必须传送非常大量的数据，要用 32 位或 64 位微处理器。但是大多数嵌入式系统并不需要传送大量数据，所以较小的数据总线是可接受的，这样性价比也较好。

本书所讨论的小系统只需要 8 位 CPU。但有时也可能需要 16 位 CPU，即使传送的数据很少。因为，16 位总线能使 CPU 在单周期中提取较长的指令，或提取一个指令连同一个操作数。这样，在 16 位数据总线上执行指令，比在 8 位数据总线上执行指令所需的周期数要少。

总线控制信号。除了地址和数据总线上的信号以外，总线上其余的信号就是用于总线控制的信号。最少有如下两种功能的控制信号：

- 数据读写方向。在 Motorola 微控制器中，是 R/$\overline{\text{W}}$信号。
- 总线同步。在 68HC11 和 68HC12 中，是 E-时钟（E-clock）。

还可能有其他功能的控制信号，例如：

- 附加的总线连锁㊄（latch）信号，用于复用总线（multiplexed bus）。在 68HC11 族中，是 AS 信号。
- 用于请求分立的存储器和 I/O 的空间的信号。这在较早的 Intel 类型的处理器上是常用的。
- 总线共享信号，诸如总线请求（bus request）和总线回执（bus acknowledge）。这些用于共享性总线
6 系统，其中一个以上处理器或外围设备共享对总线的控制。
- 数据回执信号，用于异步总线系统。在 68 000 族微处理器中，是/DTACK。

㊀ K——来源于希腊词头 kilo，在十进制中其意为“千”，即 10^3。——译者注

㊁ M——来源于希腊词头 mega，中文读作“兆”，在十进制中其意为百万，即 10^6。——译者注

㊂ G——来源于希腊词头 giga，中文可读作“千兆”，在十进制中其意为十亿，即 10^9。有时根据 G 的谐音，译成“吉”。——译者注

㊃ 计算机技术采用二进制，多数情况下都用 2 为底的幂计数。磁盘驱动器也不例外。——译者注

㊄ 或译成“抓住”。本书中两种译名交替使用。——译者注