



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

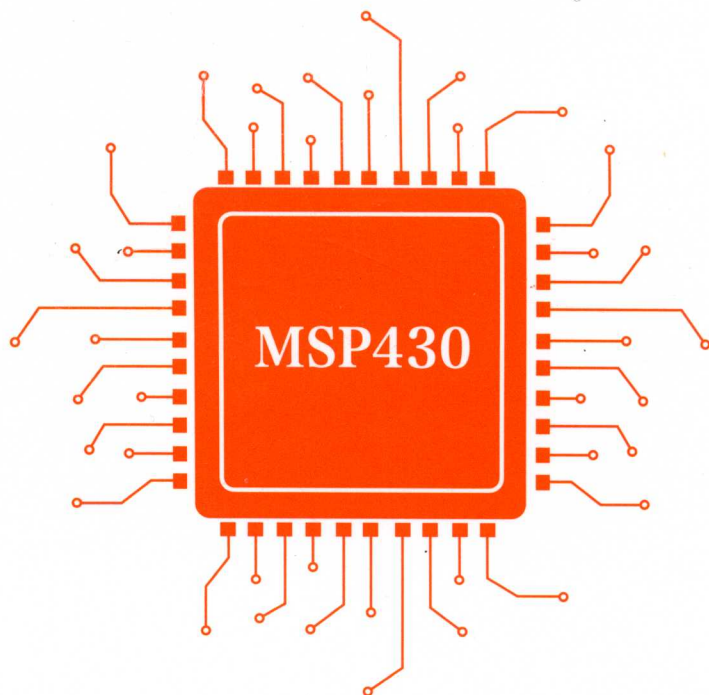
嵌入式与工业控制技术

P rinciple and Application of MSP430 Microcontroller

MSP430单片机 原理与应用

王兆滨 马义德 孙文恒 编著

Wang Zhaobin Ma Yide Sun Wenheng



清华大学出版社



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Principle and Application of MSP430 Microcontroller

MSP430单片机 原理与应用

王兆滨 马义德 孙文恒 编著

Wang Zhaobin Ma Yide Sun Wenheng

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以 MSP430F261x 系列单片机为平台,详细阐述了 MSP430 单片机的内、外部结构组成以及常用片上外设模块的基本工作原理。本书在对基本指令、寻址方式和汇编语言等底层控制原理讲解的基础上,使用 C 语言作为各个片上模块的程序设计语言,这样既能使读者体会汇编语言的高效,也能使他们感觉到高级语言的方便快捷;内容组织上不贪大求全,而是尽量做到把最常用、最能反映单片机精髓的知识讲细、讲精、讲透,以达到让读者触类旁通的目的;力求做到内容组织独具匠心、理论讲解深入浅出、实例设计简单易懂、习题练习丰富有趣。

本书可以作为高等院校计算机专业、电子信息科学与技术专业、通信工程专业、自动化专业、物联网专业以及其他相关专业本科生的单片机课程教材,也可供广大从事单片机应用系统开发的相关工程技术人员参考使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

MSP430 单片机原理与应用/王兆滨,马义德,孙文恒编著. —北京:清华大学出版社,2017
(高等学校电子信息类专业系列教材)
ISBN 978-7-302-46053-4

I. ①M… II. ①王… ②马… ③孙… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材
IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 004888 号

责任编辑:郑寅堃 薛 阳

封面设计:李召霞

责任校对:时翠兰

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:26.25

字 数:633 千字

版 次:2017 年 7 月第 1 版

印 次:2017 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:59.00 元

高等学校电子信息类专业系列教材

顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋峰	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	靳伟	香港理工大学
	苑立波	哈尔滨工程大学		
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

MSP430 单片机是美国德州仪器(Texas Instruments, TI)于 1996 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗单片机,它具有极低功耗、高性能、丰富的片上外设和通信接口等特点。由于将多个不同功能的模拟电路、数字电路模块和微处理器集成在一个芯片上,所以又称之为混合信号处理器。

MSP430 单片机不但具有传统单片机的特征,还具有一些片上系统的特点。因此,国内外很多高等院校已将 MSP430 系列单片机作为单片机相关课程的讲授对象。

利用该单片机进行嵌入式系统教学具有以下特点。

1. 结构简单、资源丰富、使用方便

MSP430 单片机使用的是 16 位 RISC CPU,存储结构上采用冯·诺依曼结构。各个片上外设均挂载在内部总线上,但外设与外设之间、外设与 CPU 之间都是独立工作的,外设与 CPU 通过中断机制联系在一起。MSP430 单片机内嵌有 JTAG 逻辑部件,便于下载和在线仿真。

MSP430 单片机组织结构简洁、便于理解,其核心部件主要包括时钟系统、RISC CPU、Flash、RAM 和相关 I/O 端口,其他片上外设都是对该类单片机自身的扩展和增强。

MSP430 系列单片机种类丰富多样。目前,MSP430 单片机涵盖 F1xx、F2xx、G2xx、F4xx、F5xx、F6xx 共 6 大系列,还有集成有无线收发功能的 CC430 系列等合计约有 600 种,能够满足大多数工程应用场合的需求。

2. 有利于减少外围电路设计

MSP430 单片机中集成大量的片上外围设备,例如看门狗、模拟比较器、定时器、串行通信接口、硬件乘法器、液晶驱动器、10 位/12 位 ADC、16 位 Σ - Δ ADC、DMA、I/O 端口、基本定时器、实时时钟和 USB 控制器等。充分利用这些片上外设,可以减少嵌入式系统外围电路设计、简化设计流程、节约成本、提高系统可靠性、缩小 PCB 和产品体积。

3. 有利于开展更高层次的学习

MSP430 单片机的内核是 16 位 RISC CPU。在整个单片机系列中,属于中端单片机。在高端 32 位单片机中,一般是采用 RISC 核,如 Cortex M 系列单片机。在掌握了 MSP430 单片机原理及其开发技术后,再学习 32 位的高端单片机难度将大为降低。当然,在熟悉 MSP430 单片机的基础上学习其他类型的单片机(如 51 单片机)会更加容易。

4. MSP430 单片机的市场逐渐扩大

在美国德州仪器公司多年来不懈的努力下,MSP430 单片机的市场份额在不断增加,在 16 位单片机市场中独占鳌头。即便是在 8 位单片机市场中,也已对传统的 51 单片机形成了强烈冲击。

5. 符合目前及未来节能降耗的要求

随着世界能源危机日趋严重,迫切需要节能环保的产品。MSP430 单片机与其他单片机相比在低功耗方面有着不可比拟的优势,推广使用 MSP430 单片机符合“节能降耗”的时代主题。

尽管 MSP430 单片机具有众多的技术优势,也是目前嵌入式系统应用开发所必需的,但是目前能够用于 MSP430 单片机教学的图书较少。尽管这些图书在编写上各有所长,但就课堂教学来说,仍存在一些不足:①有些图书内容大多直接翻译 TI 提供的用户指南和数据手册,并未做进一步加工或整合;②有些图书完全工程化的讲解方式对工程师或具有一定单片机基础的人有参考价值,不适合初学者。因为这些图书直接讲述单片机的工程应用,对工作原理讲解较少,读者从这些书中获取的信息,只是知其然,而不知其所以然,难以激发创新思维。

为此,我们在编写过程中尽量弥补这些不足,同时融合了我们多年在嵌入式系统方面的科研积累与教学改革经验,使得本书具有以下鲜明特色。

(1) 在内容组织上打破了传统的参考书式的讲解方式,对各个知识点的内容重新划分整合。然后再按照由浅入深、循序渐进的思路进行重新组织,使之容易被学生接受。

(2) 在实例选择上尽量做到先易后难、先部分后整体,考虑到初学者的特点,力求使实例做到简单易懂。首先让学生通过学习简单的例子激发和培养学生的学习兴趣 and 探索欲望,然后再逐步提高难度、提升水平。先是单个功能、单个模块的学习,逐步转换成对整个系统的分析和设计。

(3) 秉承“理论学习是认识单片机的起点,设计单片机系统是最终落脚点”的理念。在理论讲解的基础上,通过实例让学生对单片机的认识形象化,配合丰富有趣的习题练习使学生对于单片机的理解硬件化或产品化。

本书以 MSP430F261x 单片机为例,全面而翔实地介绍了 MSP430 单片机的结构组成、工作原理以及常用模块的使用方法。内容组织上不贪大求全,而是尽量做到把最常用、最能反映单片机精髓的知识讲细、讲精、讲透,以达到让读者触类旁通的目的。在组织结构上,全书共分为 12 章,第 1 章介绍了与嵌入式系统相关的基本知识;第 2 章介绍了 MSP430 单片机的内部结构和外部组成,并简要介绍了 MSP430 单片机寻址方式、指令系统;第 3 章主要回顾了 MSP430 单片机 C 程序设计的相关知识;第 4~11 章分别讲述了 MSP430 单片机的输入输出端口及常用接口设计、时钟系统、定时器、模数转换器、数模转换器、通用串行通信接口、存储器、DMA 等常用片上模块的工作原理及使用方法;第 12 章介绍了 MSP430 单片机应用系统设计基础。

书中各章节的知识点都提供了简单易懂的例程,本书所有例程均在 IAR Embedded Workbench For MSP430 v5 和 TI CCSv5 中调试通过。每章附有大量习题供学生课下巩固本章内容,部分习题可以训练学生的创新思维能力。

总之,全书结构紧凑、布局合理,具有一定的通用性、系统性和实用性。内容叙述力求简洁、凝练。力求做到深入浅出的理论讲解、简单易懂的实例设计、丰富有趣的习题练习、独具匠心的知识体系。为了便于学习和阅读 TI 公司提供的相关原始数据资料,本书使用的逻辑电路符号与公司官方资料中使用的符号保持一致。

在本书的编写和出版过程中得到了兰州大学信息科学与工程学院电路与系统研究所田

毅、张燕、孙晓光、李剑、郭丽杰、杨泽坤、陈丽娜、张垚、赵继鹏等研究生,以及兰州大学信息科学与工程学院电子信息科学与技术专业和通信工程专业部分本科生的协助。感谢他们在资料搜集、书稿整理、程序调试、后期校稿等方面所做的工作。此外,书中例题参考了 TI 官方网站提供的大量例程,个别例题及部分内容也参考了互联网上的有关资料,在此向这些资料的作者一并表示诚挚的感谢。

需要特别指出的是,本教材的出版得到了兰州大学教材建设基金资助和兰州大学信息科学与工程学院教材建设基金资助。感谢美国德州仪器公司大学计划给予兰州大学 MSP430 & Cortex M 单片机联合实验室的持续支持。

由于作者水平所限,书中难免存在部分疏漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正!

编者

2017年3月于兰州大学

目录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.1 嵌入式系统的定义	1
1.1.2 嵌入式系统的构成	1
1.1.3 嵌入式系统的特点	2
1.1.4 嵌入式系统的发展	3
1.1.5 嵌入式系统的应用	4
1.2 嵌入式微处理器	5
1.2.1 嵌入式处理器分类	5
1.2.2 嵌入式处理器的体系结构	6
1.2.3 常见嵌入式处理器	9
1.2.4 嵌入式处理器的发展	11
1.3 MSP430 单片机	12
1.3.1 典型特点	13
1.3.2 命名规则	14
1.3.3 产品系列概况	16
1.3.4 应用场合	20
习题	21
第 2 章 MSP430 单片机结构组成	23
2.1 内部结构	23
2.1.1 中央处理器	24
2.1.2 存储空间组织结构	27
2.1.3 单片机复位过程	28
2.2 外部结构	29
2.2.1 封装类型	29
2.2.2 引脚说明	31
2.2.3 MSP430 单片机最小系统	33
2.3 指令系统	34
2.3.1 指令集	35
2.3.2 寻址方式	37
2.3.3 指令周期	40
2.3.4 指令集扩展	40
习题	43

第3章 MSP430 单片机 C 语言程序设计基础	45
3.1 单片机程序设计基础	45
3.1.1 程序流程图	45
3.1.2 单片机程序设计语言	46
3.1.3 单片机程序设计的一般步骤	46
3.2 MSP430 单片机 C 语言程序设计	48
3.2.1 数据类型与运算符	48
3.2.2 常见程序结构	51
3.2.3 数组	56
3.2.4 函数	57
3.2.5 指针类型	60
3.2.6 预处理	63
3.2.7 typedef 定义类型	65
3.2.8 规范化编程	66
3.3 集成开发环境快速入门	68
3.3.1 IAR EW430 快速入门	68
3.3.2 TI CCS 快速入门	73
习题	77
第4章 MSP430 单片机中断系统与输入输出接口	79
4.1 中断系统	79
4.1.1 中断系统基本概念	79
4.1.2 中断类型	83
4.1.3 中断响应过程	84
4.1.4 中断函数	86
4.2 数字 I/O 端口	87
4.2.1 控制寄存器	88
4.2.2 内部结构	90
4.2.3 电气特性	93
4.3 端口应用	96
4.3.1 普通 I/O 端口	97
4.3.2 外部中断	98
4.3.3 总线模拟	101
习题	103
第5章 MSP430 单片机时钟系统与休眠模式	105
5.1 时钟系统	105
5.1.1 时钟系统结构	105
5.1.2 时钟失效处理	115
5.2 休眠模式	119
5.2.1 休眠模式与低功耗	119
5.2.2 休眠唤醒与退出	122
5.2.3 休眠模式的应用	123
习题	125

第 6 章 MSP430 单片机定时器	126
6.1 定时器 A	126
6.1.1 定时计数部件	126
6.1.2 捕获/比较部件	134
6.2 定时器 B	145
6.2.1 逻辑结构	145
6.2.2 定时计数部件	147
6.2.3 捕获/比较部件	147
6.3 看门狗	150
6.3.1 逻辑结构	150
6.3.2 定时模式	153
6.3.3 看门狗模式	155
习题	155
第 7 章 MSP430 单片机常用接口设计	157
7.1 LED 显示接口设计	157
7.1.1 LED 发光原理	157
7.1.2 LED 数码管	158
7.1.3 点阵 LED	164
7.2 LCD 接口设计	167
7.2.1 LCD 显示原理	167
7.2.2 段式 LCD	170
7.2.3 点阵 LCD	173
7.3 键盘接口设计	173
7.3.1 独立式键盘	173
7.3.2 矩阵式键盘	180
7.3.3 触摸按键	186
习题	189
第 8 章 MSP430 单片机模拟信号处理	191
8.1 模拟信号处理概述	191
8.1.1 自动控制系统	191
8.1.2 单片机控制系统	192
8.1.3 MSP430 单片机集成的模拟设备	193
8.2 模数转换模块	194
8.2.1 模数转换概述	194
8.2.2 ADC12 模块	197
8.2.3 ADC12 工作过程	206
8.2.4 转换模式	209
8.3 数模转换模块	217
8.3.1 数模转换概述	217
8.3.2 DAC12 模块	219
8.3.3 应用举例	226
习题	230

第 9 章	MSP430 单片机异步串行通信	232
9.1	异步串行通信概述	232
9.1.1	串行通信基本概念	232
9.1.2	常见异步串行通信	235
9.1.3	MSP430 的串行通信模块	236
9.2	异步串行通信	237
9.2.1	UART 工作原理	238
9.2.2	多机通信模式	250
9.2.3	带有自动波特率检测的 UART	256
9.2.4	红外通信	258
9.2.5	软件模拟 UART 通信	263
习题		266
第 10 章	MSP430 单片机同步串行通信	268
10.1	同步串行通信概述	268
10.1.1	同步方式	268
10.1.2	常见同步串行通信	269
10.2	I ² C 通信	271
10.2.1	I ² C 概述	271
10.2.2	I ² C 逻辑结构	273
10.2.3	中断与初始化	278
10.2.4	工作模式	281
10.2.5	软件模拟 I ² C 通信	292
10.3	SPI 通信	297
10.3.1	SPI 总线及工作原理	297
10.3.2	SPI 模块	298
10.3.3	SPI 连接方式	302
10.3.4	软件模拟 SPI 通信	306
习题		309
第 11 章	MSP430 单片机存储系统	310
11.1	存储器概述	310
11.1.1	半导体存储器	310
11.1.2	Flash 存储原理	312
11.1.3	FRAM 存储原理	313
11.2	MSP430 单片机存储系统	314
11.2.1	地址空间划分及访问方式	314
11.2.2	数据存储器	315
11.2.3	程序存储器	316
11.3	Flash 控制器及应用	319
11.3.1	Flash 控制器	319
11.3.2	Flash 的操作	324
11.4	MSP430 单片机存储器的扩展	329
11.4.1	存储器扩展	329

11.4.2	SD卡的应用	332
11.5	直接存储器存取	335
11.5.1	DMA 模块的结构与工作原理	335
11.5.2	DMA 传输模式	337
11.5.3	DMA 触发源	340
习题		345
第 12 章	MSP430 单片机应用系统设计基础	347
12.1	单片机应用系统设计概述	347
12.1.1	单片机应用系统设计一般步骤	347
12.1.2	基于 MSP430 单片机的应用系统设计	349
12.2	单片机应用系统的抗干扰与低功耗设计	359
12.2.1	抗干扰技术	359
12.2.2	低功耗设计技术	361
12.3	嵌入式操作系统的应用	362
12.3.1	嵌入式操作系统基础	362
12.3.2	$\mu\text{C}/\text{OS II}$ 在 MSP430 单片机上的移植	366
12.3.3	基于 $\mu\text{C}/\text{OS II}$ 的单片机系统开发	372
习题		376
附录 A	中断向量速查表	378
附录 B	端口功能速查表	380
附录 C	寄存器速查表	385
参考文献		400

1.1 嵌入式系统概述

从计算机发展的历程来看,嵌入式系统诞生于微型计算机时代。微型计算机以其体积小、价位低、性能可靠的特点迅速发展、广泛应用。与此同时,大型机电设备的智能化控制要求日益强烈,因此将微型计算机嵌入到大型机电设备中以实现设备的智能化控制成为必然趋势。这样微型计算机就成为嵌入到特定机电系统中的专用计算机,最早的嵌入式系统也就应运而生。嵌入式系统经过几十年的不断创新和探索,已进入高速发展和普及时期,其发展惠及小至日常生活、大至国防航天。嵌入式系统的迅速发展表明,它正朝着更智能、更方便、更高效、更安全、更可靠的方向发展。

1.1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统(Embedded System)是一个具有特定功能的专用计算机系统,因此与常见的通用计算机相比有所不同。嵌入式系统通常是在一个大系统中用于特定功能的控制,并且还具有一定的实时性要求。目前,由于嵌入式系统的内涵与外延较广、涉及内容较多,很难给它下一个严格的定义。即便是现有定义也“仁者见仁、智者见智”。例如,美国电气和电子工程师协会(IEEE)对嵌入式系统给出的定义是:“devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants”,即嵌入式系统是可用于控制、监视、辅助装备、机器或设备运行的装置。该定义反映出嵌入式系统涵盖软硬件范畴,既有硬件平台也有软件支持。

目前国内普遍认同的一个定义是:嵌入式系统是以应用为中心、以计算机技术为基础、软硬件可裁剪、适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

1.1.2 嵌入式系统的构成

与计算机系统一样,嵌入式系统也由硬件部分和软件部分组成。具体地说,嵌入式系统一般由嵌入式处理器、操作系统、应用程序和输入输出设备等部分组成,如图 1.1 所示。

嵌入式处理器是整个嵌入式系统的真正核心,犹如人的大脑。由于超大规模集成电路的迅速发展,嵌入式处理器中大都具有丰富的资源。以 MSP430 单片机为例,只需要在一片嵌入式处理器上添加电源电路就构成了一个嵌入式核心控制单元。



图 1.1 嵌入式系统组成框图

嵌入式处理器与通用处理器的最大区别是，嵌入式处理器大多工作于专门设计的应用场合，它将许多外接辅助设备集成到芯片上成为其内部资源。因此，嵌入式系统可以设计得比较小巧，同时兼有高效率和高可靠性。

信息的输入输出设备是嵌入式处理器与外界进行信息交换的必经之地。它首先将获取的外界信息传输给嵌入式处理器进行分析处理，然后再将处理后的结果输出到外界。例如，在温控系统中，首先将温度传感器感知到的温度变化信息传输给处理器，处理器分析处理后，再将是否需要启用继电器的信号传输给外部的继电器。

硬件部分为嵌入式系统搭建好了运行的平台，软件部分才是台上的主角，也是整个嵌入式系统的灵魂。嵌入式系统软件由操作系统和应用软件组成。

在早期的嵌入式系统或较简单的嵌入式系统中一般没有操作系统，而是直接在硬件平台上开发并运行应用程序。但随着嵌入式系统的软硬件资源越来越多，整个系统资源的有效管理和利用成为一个突出问题。嵌入式操作系统的出现解决了这一系列问题。

嵌入式操作系统是一种支持嵌入式系统应用的操作系统软件。它能够有效管理越来越复杂的系统资源；能够把硬件虚拟化，使得开发人员从繁忙的驱动程序移植和维护中解脱出来；可以提供库函数、标准设备驱动程序以及工具集等。通常包括与硬件相关的底层驱动软件、系统内核、设备驱动接口、通信协议、图形界面、标准化浏览器等。

1.1.3 嵌入式系统的特点

嵌入式系统应用领域多、形态各异。结构组成上，嵌入式系统是集软硬件于一体的、可独立工作的计算机系统；外观上，嵌入式系统又是一个“可编程”的逻辑器件；从功能上，它还是能对宿主对象进行“智能”控制的控制器。相对于通用计算机系统而言，嵌入式系统具有以下特点。

1. 专用性

嵌入式系统是针对某一领域的特定应用而设计的，不具有通用性。例如，路由器中的嵌入式系统与移动手机的嵌入式系统完全是两码事。嵌入式系统的硬件和软件都是为特定应用对象而设计的，它通常具有某种专用性的特征。

2. 实时性

工业控制、数据通信、数据采集等是嵌入式系统的重要应用领域。在这些领域中对嵌入式系统的实时性均有较高的要求，这就需要从软硬件方面进行精心设计。例如，软件上通过精心设计可以使嵌入式系统快速地响应外部事件，硬件上通过特殊设计与布局可使系统响应时间缩短，进而提升整个系统的实时性。

当然，随着嵌入式系统在消费性电子产品的广泛应用，它们对实时性的要求相对较宽

松,像目前十分流行的智能数码产品如移动电话、PDA、MP3、飞机、舰船、数码相机等。它们对实时性的要求不高,只要能够满足人的需求即可。但总体来说,实时性是对嵌入式系统的普遍要求。

3. 低功耗

嵌入式系统的应用环境决定了低功耗是嵌入式系统追求的目标之一。尤其对于便携式设备而言,它们由于不可能配备容量较大的电源,因此降低功耗是延长工作时间的最主要手段。目前有些处理器的功耗已降至毫瓦甚至微毫瓦级。为了降低系统功耗,通常一方面选择使用低功耗的嵌入式处理器,另一方面采用降低系统功耗的设计方法,如将嵌入式系统的相关软件固化在存储器中。

4. 可靠性

可靠性是对嵌入式系统的基本要求,特别是在产品质量、人身安全、国家机密以及无人值守等场合。一旦出现不可靠情况,将会造成很大危害。所以与普通系统相比较,对嵌入式系统可靠性的要求极高。

5. 资源受限

由于嵌入式系统对成本、体积、功耗有严格要求,使得嵌入式系统的资源与通用计算机相比相当紧缺。因此,在软硬件设计时都需精细设计以充分利用有限的资源。

另外,绝大多数嵌入式系统本身不具备自举开发能力,必须通过特定的开发工具和环境才能完成系统应用软件的开发和修改。普通用户一般不可以对其中的程序功能进行修改。

1.1.4 嵌入式系统的发展

嵌入式系统的发展与嵌入式处理器的发展密不可分,可以说,没有嵌入式处理器也就没有嵌入式系统。随着嵌入式处理器的飞速发展,嵌入式系统也大致经历4个发展阶段。

(1) 单片机时代。该阶段以4位或8位嵌入式处理器为核心进行嵌入式系统的设计与开发。其主要特点是结构与功能相对单一、效率低、存储容量小,主要用于专业性极强的工业控制领域。该系统上一般没有操作系统。但是该类系统使用简单、开发方便、价格便宜。目前在工业控制领域仍被广泛应用。

(2) 微控制器时代。该阶段以8位或16位嵌入式处理器为核心进行应用系统开发。该类系统中一般具有简单的操作系统。该阶段的嵌入式系统主要用于提升应用对象的自动化及智能化水平,最典型的是在智能仪器仪表和智能家电等方面的应用。

(3) 以32位嵌入式处理器为基础,配合嵌入式操作系统的应用为标志的嵌入式系统。该阶段嵌入式处理器性能大幅提升和存储容量持续增大,使嵌入式操作系统得到广泛使用。这些方面的改善让嵌入式系统越来越像缩小版的PC。它可以具有PC的很多常用功能,如音/视频播放、娱乐、上网,以及简单的文档编辑。该阶段的嵌入式系统最贴近人们的生活,最典型的应用是在消费类电子领域,如智能手机、上网本、数码相机、便携式摄像机、MP3/MP4、GPS、数码相框等产品。

(4) 以互联网接入为标志的嵌入式系统。在该阶段嵌入式产品间的联网成为必然趋势。新一代的嵌入式系统不但具备内嵌网络接口,还应支持除TCP/IP之外的IEEE 1394、USB、CAN、Bluetooth或IrDA等通信接口。软件方面支持网络模块,在设备上嵌入Web浏览器,真正实现随时随地上网。随着物联网、云计算的发展,使得嵌入式系统接入互联网