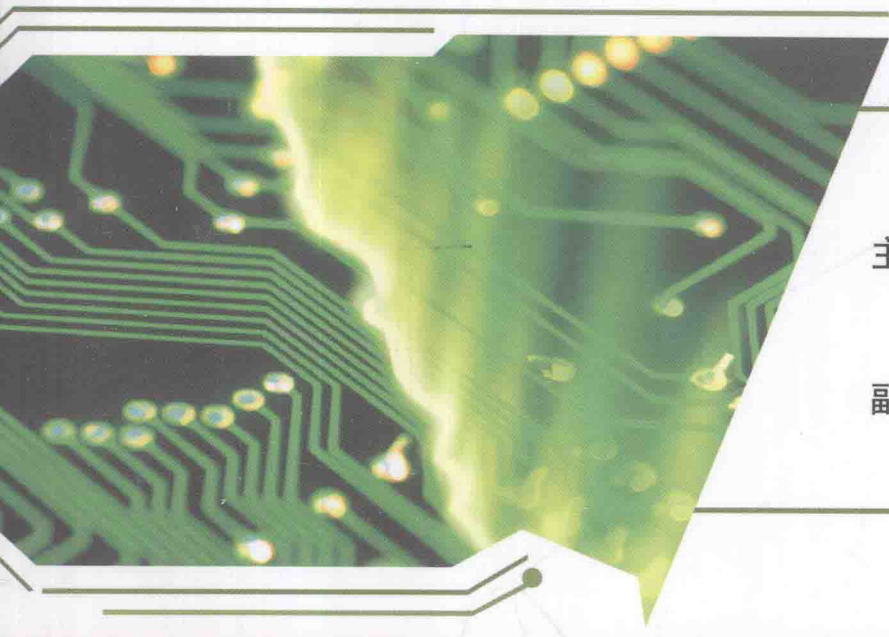


MSP430

单片机入门与提高

—— 全国大学生电子设计竞赛实训教程



主 编 施保华 赵 娟

田裕康

副主编 郑恭明 高 云



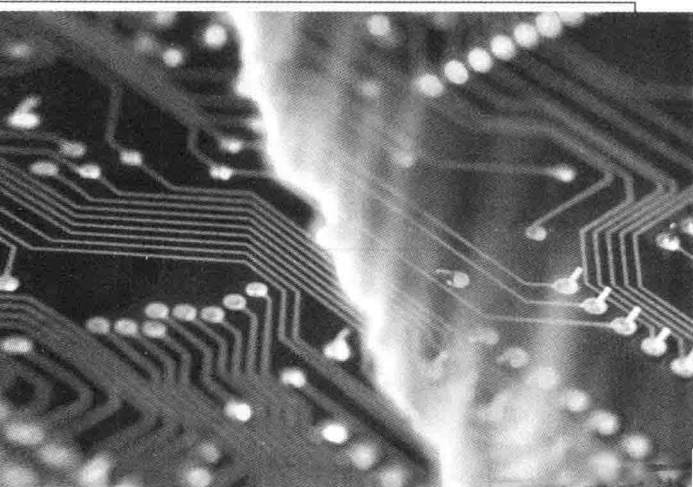
华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

MSP430

单片机入门与提高

—— 全国大学生电子设计竞赛实训教程



主 编 施保华 赵 娟

田裕康

副主编 郑恭明 高 云



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书以 TI 公司的 MSP430 系列单片机为例,详细介绍了该系列超低功耗单片机的结构特点和基本工作原理。书中注重由浅入深、学以致用、理论与实践紧密集合的学习原则,以综合资源丰富、性能优异的 MSP430F249 为例,在 IAR for MSP430 集成开发环境中讲述用 C 语言进行结构化程序设计的方法。全书面向工程实践,以目前流行的单片机硬件仿真软件 Proteus 为核心,通过大量实例,对初学者进行单片机软硬件综合设计能力的培养。

全书主要内容包括:MSP430 单片机的基本原理、单片机 C 语言开发环境、I/O 端口程序设计方法、定时器/计数器、模数转换器、通用串口和单片机最小系统设计。

本书既可以作为全国大学生电子设计竞赛单片机平台培训教程,也可以作为高等院校计算机应用、电子信息工程、自动化、电气工程等相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

MSP430 单片机入门与提高——全国大学生电子设计竞赛实训教程/施保华,赵娟,田裕康 主编.
—武汉:华中科技大学出版社,2013.7

ISBN 978-7-5609-9271-6

I. ①M… II. ①施… ②赵… ③田… III. ①单片微型计算机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 170161 号

MSP430 单片机入门与提高——全国大学生电子设计竞赛实训教程

施保华 赵娟 田裕康 主编

策划编辑:王红梅

责任编辑:王红梅

封面设计:三禾

责任校对:刘竣

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:华中理工大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:19

字 数:448千字

版 次:2013年11月第1版第1次印刷

定 价:39.80元

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言

由于单片机芯片的体积小、硬件成本低,并且面向控制的设计,使得它作为智能控制的核心器件被广泛地应用于工业控制、智能仪器仪表、家用电器、电子通信产品等各个领域。可以说,由单片机为核心构成的单片机嵌入式系统已成为现代电子系统中的电子设备和电子产品最重要的组成部分。目前,单片机(嵌入式系统)技术已经渗透到社会生活的各个领域。

国内高等院校的单片机技术课程的教学与研究已经历了 20 多年,随着科学技术的迅猛发展,单片机技术课程的教学内容和形式也进行了大量革新。到目前为止,理工科类的很多专业都开设了这门课,由此可以看出这门课的重要性与应用前景。

传统的单片机技术课程的教学内容主要分为三个方面:某款单片机的工作原理、硬件外围电路的设计和相关的软件开发。但是,很多“学习过”单片机技术这门课程的大学生,面对实际应用还是无从下手、无法应对工程实践的需求。单片机(嵌入式系统)技术课程的教学绝不能纸上谈兵,学生不动手是学不会的!注重实践动手能力的培养是由本门课程的性质所决定的。用纸上谈兵的方法去教学,让学生用不动手的方法去学习,学生就会越学习越觉得枯燥、越学习越觉得没有信心。

本书以 IAR for MSP430 软件开发环境和 Proteus 硬件仿真环境为依托,以综合资源丰富、性能优异的 MSP430F249 单片机为主要学习对象,在介绍单片机的基本体系结构、内部资源的应用、外部器件的扩展应用和 C 语言编程基础上,以实例展开教学,以阶段任务为主线,目标明确、可操作性强、趣味性强。

关于单片机的学习实践有两种方法可以选择,一种是购买一块单片机的学习板或制作单片机的最小系统板,另一种是在 Proteus 硬件仿真环境中实践。建议初学者暂时不用购买单片机学习板,首先采用计算机仿真方法进行初步学习,有台电脑就可以做单片机仿真实验。随着现代科学技术的发展,计算机仿真实验已经很接近实物实践效果了。而且,在随后做单片机实际课题或项目前,先在计算机上完成设计、仿真,往往会少走弯路、事半功倍。

全书共分为 9 章。第 1 章 MSP430 单片机入门第一例,在介绍单片机的基本概念、单片机软件开发环境和硬件仿真环境的基础上,以实例的形式介绍单片机程序开发方法,并在 Proteus 硬件仿真环境中实现单片机入门第一例——跑马灯;第 2 章 MSP430 单片机原理与 C 语言基础,较详细地介绍了 MSP430 单片机的基本结构和工作原理,重点介绍 MSP430 单片机的 C 语言基础及单片机程序设计的特点;第 3 章 MSP430 单片机通用 I/O 端口,介绍单片机通用 I/O 端口基本结构和工作原理,以实例的形式介绍单片机程序设计方法,主要实例包括彩灯控制、数码管静态显示和动态显示等;第 4 章键盘和显示器的应用,介绍按键输入和 LED 点阵显示,主要实例包括独立按键输入、矩阵键盘输入、LCD 字符液晶显示、LED 点阵显示原理和汉字显示;第

5 章 MSP430 单片机的定时器/计数器,介绍了定时器基本结构和工作寄存器配置,主要实例包括定时器定时模式应用、比较模式应用、PWM 模式应用、脉冲捕捉和分频电路设计;第 6 章 A/D、D/A 转换器的应用,介绍 D/A、A/D 转换器的工作原理,实例包括三角波发生器、正弦波发生器、简易数字电压表、多路模拟电压巡检;第 7 章 通用串口的应用,介绍通信的基本概念、MSP430F249 的通用串口基本结构,实例包括大量串口通信实验 UART、I2C、SPI 等;第 8 章 MSP430F249 单片机最小系统,介绍单片机最小系统硬件设计、ISP 程序调试、下载工具的制作;第 9 章 应用实例。

参与本书编写工作的有三峡大学施保华、中国地质大学(武汉)赵娟、华中农业大学高云、武汉纺织大学田裕康、长江大学郑恭明。其中,第 1 章、第 2 章(部分内容)由高云编写;第 3 章、第 4 章由赵娟编写;第 5 章、第 6 章、第 2 章(部分内容)和第 9 章(部分内容)由施保华编写;第 7 章由郑恭明编写;第 8 章、第 9 章(部分内容)由田裕康编写。本书的编写综合了单片机技术同类教材的长处,参考了相关网站技术资料,在此表示由衷的感谢!

一本书的编写,更是一种教学方法的革新:以理论教学为引导,以实践动手为主,培养卓越工程师。本书作者都是多年来参与指导全国大学生电子设计竞赛并取得优异成绩的老师及教练。本书历经多年磨炼,是电子大赛教练们呕心沥血、集体智慧的结晶。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,诚请读者批评指正。

编 者

2013 年 5 月

目 录

1	MSP430 单片机入门第一例	(1)
1.1	单片机简介	(1)
1.2	MSP430 单片机的开发环境	(3)
实例 1.1	单片机入门第一例——跑马灯	(23)
	思考与练习	(27)
2	MSP430 单片机原理与 C 语言基础	(28)
2.1	MSP430F249 单片机基本结构与原理	(28)
2.2	MSP430 单片机的 C 语言基础	(35)
	思考与练习	(49)
3	MSP430 单片机通用 I/O 端口	(50)
3.1	通用 I/O 端口	(51)
3.2	LED 彩灯控制	(54)
实例 3.1	彩灯控制	(55)
实例 3.2	花样彩灯控制	(61)
实例 3.3	带按键选择的花样灯	(66)
实例 3.4	16 个花样灯控制	(69)
3.3	LED 数码管显示	(77)
实例 3.5	单个数码管显示	(78)
实例 3.6	2 位数码管加减计数	(80)
实例 3.7	2 位一体数码管倒计时	(85)
实例 3.8	4 位一体数码管静态显示	(88)
实例 3.9	8 位一体数码管动态显示时钟	(91)
	思考与练习	(94)
4	键盘和显示器的应用	(95)
4.1	键盘输入	(95)
实例 4.1	独立按键编号显示	(96)
实例 4.2	矩阵键盘编号显示	(99)
4.2	LED 点阵显示	(104)
实例 4.3	8×8 LED 点阵数字显示	(106)
实例 4.4	16×64 LED 点阵汉字显示	(114)
4.3	LCD 液晶显示器的应用	(118)
实例 4.5	1602 液晶显示字符	(123)
	思考与练习	(126)
5	MSP430 单片机的定时器/计数器	(127)
5.1	看门狗定时器	(127)
实例 5.1	看门狗定时器的应用	(130)

5.2 定时器 A	(131)
实例 5.2 定时器 A 定时 1 s	(139)
实例 5.3 定时器 A 产生 4 路周期信号	(141)
实例 5.4 定时器 A 产生两路 PWM 信号	(142)
实例 5.5 定时器 A 精确测量输入信号的周期	(144)
5.3 定时器 B	(147)
实例 5.6 定时器 B 产生 8 路周期信号	(154)
实例 5.7 定时器 B 产生 6 路 PWM 信号	(156)
实例 5.8 定时器 B 精确测量某输入信号的脉冲宽度	(158)
思考与练习	(163)
6 A/D、D/A 转换器的应用	(164)
6.1 A/D、D/A 转换器的工作原理	(164)
实例 6.1 D/A 转换器应用一:锯齿波、三角波和方波发生器	(168)
实例 6.2 D/A 转换器应用二:正弦波发生器	(171)
6.2 MSP430F249 的 A/D 转换器	(173)
实例 6.3 简易数字电压表	(179)
实例 6.4 A/D 采样:数字滤波算法	(182)
实例 6.5 A/D 采样:多路电压信号巡检	(186)
思考与练习	(190)
7 通用串口的应用	(191)
7.1 串行通信的基本知识	(191)
7.2 MSP430F249 的 UART 通信模式	(192)
实例 7.1 UART 收发一字节(低频模式)	(198)
实例 7.2 UART 收发一字节(过采样模式)	(200)
实例 7.3 红外线遥控器编码/解码通信	(202)
实例 7.4 UART 数据通信,中断方式	(207)
7.3 MSP430F249 的 SPI 通信模式	(214)
实例 7.5 SPI 应用	(216)
实例 7.6 SPI 模式 AD 电压采集	(221)
7.4 MSP430F249 的 I2C 通信模式	(228)
实例 7.7 I2C 模式铁电存储器的读写	(235)
思考与练习	(244)
8 MSP430F249 单片机最小系统	(245)
8.1 MSP430 单片机下载方式	(245)
8.2 BSL 编程器原理	(246)
8.3 JTAG 下载器电路	(248)
8.4 MSP430F149 单片机最小系统设计	(250)
9 应用实例	(261)
9.1 直流电动机的应用	(261)
实例 9.1 直流电动机的单片机控制	(263)

9.2 舵机的单片机控制	(266)
实例 9.2 舵机的单片机控制	(267)
9.3 LED 点阵汉字显示屏应用实例	(270)
实例 9.3 LED 点阵汉字移动显示	(271)
9.4 简易流量计	(274)
实例 9.4 简易流量计的设计	(275)
9.5 简易计算器	(279)
实例 9.5 简易计算器的设计	(280)
附录	(293)
参考文献	(296)

1

MSP430 单片机入门第一例

1.1 单片机简介

单片微型计算机简称单片机,是典型的嵌入式微控制器(micro controller unit),常用缩写 MCU 表示单片机。单片机是一种集成电路芯片,采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器 CPU、随机存储器 RAM、只读存储器 ROM、多种 I/O 端口和中断系统、定时器/计时器等功能(可能还包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A/D 转换器等电路)集成到一块硅片上构成的一个小而完善的微型计算机系统。单片机已广泛地应用于军事、工业、家用电器、智能玩具、便携式智能仪表和机器人制作等领域。

目前,常用的单片机有 Intel 8051 系列单片机、C8051F 系列单片机、ATMEL 公司的 AVR 系列单片机、TI 公司的 MSP430 系列单片机、Motorola 单片机、PIC 系列单片机、飞思卡尔系列单片机、STM32 系列单片机、ARM 系列嵌入式单片机,等等。单片机种类繁多,不同品种的单片机有着不同的硬件特性和软件特征,做产品设计时单片机的选型是一项重要工作。

对于初学者而言,学习的时候千万不要贪多求全,最好的学习方法是选择一款单片机进行深入学习,学好这一款单片机后再触类旁通、举一反三,可以方便自己选择最合适的单片机完成实际工程任务。

1.1.1 超低功耗的 MSP430 单片机

MSP430 系列单片机是 TI(Texas Instruments,美国德州仪器)公司近年来推出的一系列优秀的混合型微处理器产品。MSP430 单片机是一种基于 RISC(精简指令集计算机)的 16 位混合信号处理器,专为满足超低功耗需求而精心设计的单片机,同时具备很好的数字/模拟信号处理能力,具有智能外设、易用性、低成本、业界最低功耗等优异特性,能满足仪器仪表、工业自动化、国防、家居智能化、医疗保健、智能农业等多方面的需求环境。

MSP430 总体结构如图 1.1 所示,可分为以下八个部分。

(1) CPU: MSP430 的 CPU 运行正交的精简指令集,采用 16 位的 ALU(运算器)、指令控制逻辑和 16 个 16 位寄存器、27 条内核指令及 7 种寻址模式。16 个寄存

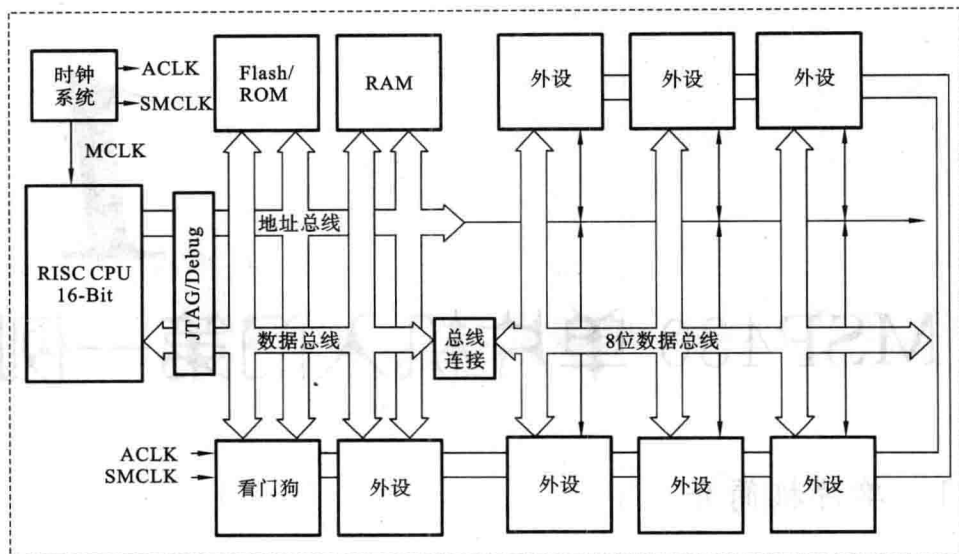


图 1.1 MSP430 总体结构

器中的 4 个具有特殊用途,即程序计数器 R0/PC,堆栈指针 R1/SP,状态寄存器和常数发生器 R2/SR/CG1、R3/CG2;其他 12 个寄存器可以作为通用寄存器,用于所有的指令操作。

(2) 程序存储器:对于程序代码总是以字形式取得,而对于数据可以用字或字节指令进行访问。每次访问需要 16 位数据总线(MDB)和访问当前存储器模块所需要的地址总线(MAB)。Flash 存储器的顶部(0FFFFH~0FFE0H)保留用作复位及中断的向量地址。

(3) 数据存储器:其访问形式与程序存储器相同,经地址总线(MAB)和数据总线(MDB)与 CPU 相连。

(4) 外围模块:外围模块经 MAB、MDB 和中断服务及请求线与 CPU 相连。0100H~01FFH 为 16 位的外围模块保留,这些模块的访问采取字操作模式;如果使用字节操作,则只有偶地址是被允许的。010H~0FFH 为 8 位的外围模块保留。

(5) 时钟系统:MSP430 具有两个外部晶体振荡器接口,一个是低频晶振,专门为低功耗而设计;一个是高频晶振。除了可外接晶体振荡器外,其内部有一个数控 RC 振荡器(DCO),可以实现数字控制及频率调节。

(6) 看门狗:在发生软件问题后可执行受控系统重启。如果达到设定的时间间隔,将重新生成系统。如果应用不需要监控功能,则模块可配置为内部定时器,并在设定的时间间隔生成中断。

(7) 接口:MSP430 器件拥有多达 10 个数字 I/O 端口:P1~P10。每个端口均有 8 个 I/O 引脚。每个 I/O 引脚均可配置为输入或者输出,并可被独立地读取或者写入。P1 与 P2 端口都具备中断能力。MSP430F2××,5××以及部分 4××器件拥有可单独配置的内置上拉或下拉电阻。

(8) JTAG 接口:所有 MSP430 器件都支持通过 JTAG 编程。芯片内部专用的嵌入式仿真逻辑(EEL)通过 JTAG 接口实现芯片的在系统开发。安全保险丝的熔断用于切断 JTAG 的访问,并防止逆向工程。

1.1.2 MSP430 单片机的命名规范

MSP430 系列单片机的命名规范如图 1.2 所示,说明如下。

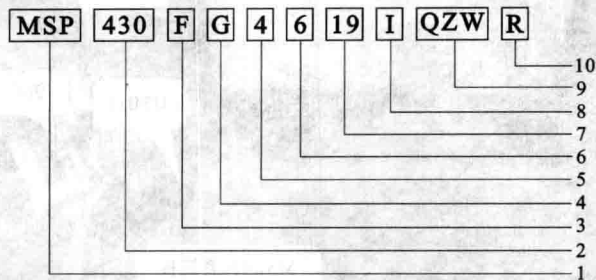


图 1.2 MSP430 的命名规范

- 1——混合信号处理器类型;MSP 为标准型,MSX 为实验型,PMS 为原始型。
- 2——430 单片机平台中的一员。
- 3——存储器类型;C 代表 ROM,P 代表 OTP,F 代表 Flash,E 代表 Eprom,U 代表 User。
- 4——特殊功能(可选项);G 代表医药,E 代表仪表,W 代表水表。
- 5——产品代数,如 1XX、2XX、3XX、4XX、5XX。
- 6——相似功能分类。
- 7——家族分类(存储容量大小或外配置)。
- 8——温度范围;I 表示 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$,T 表示 $-40^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ 。
- 9——封装类型。
- 10——编带(可选项)。

1.2 MSP430 单片机的开发环境

所有 MSP430 单片机都包含一个嵌入式仿真模块(EEM),此模块可实现通过易于使用的开发工具进行高级调试和编程。要对 MSP430 系统进行开发,需要配备合适的硬件环境和软件环境。本书以 MSP430F249 为例进行介绍,其他产品的开发过程与此类似。

1.2.1 MSP430 硬件环境

MSP430 系统开发的硬件环境非常简单,只需要一台 PC 机、一个 JTAG 仿真器和 MSP430 系统开发板就够了。由于目前的 PC 机一般不配备并口,因此优选 USB 口的 JTAG 仿真器进行下载和仿真。图 1.3 所示为 MSP430 系统开发设备图。图中 USB 口的 JTAG 仿真器通过 USB 口与 PC 机相连,仿真器的另一端连接到 MSP430 最小系统板的 JTAG 接口上。下载程序进行调试时,通过 PC 机上安装的 IAR 软件平台将程序下载到单片机的 Flash 中,并在 IAR 软件平台下通过 JTAG 接口读取芯片信息并控制程序运行,从而达到程序开发的目的。

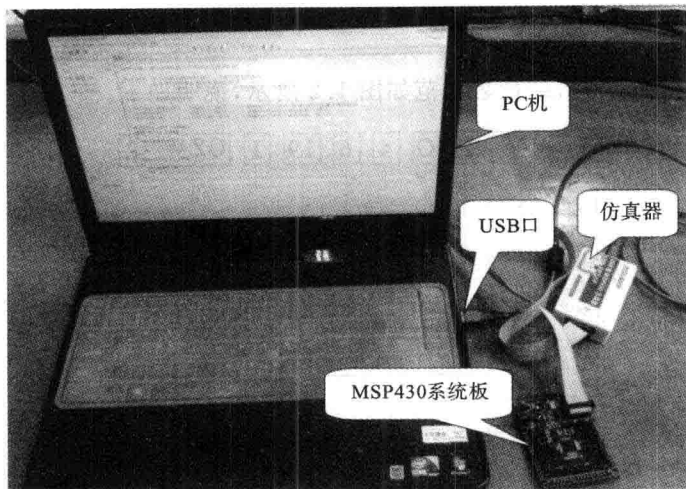


图 1.3 MSP430 单片机开发设备图

1.2.2 MSP430 软件开发环境

1. IAR 软件介绍

国内普及的 MSP430 开发软件种类不多,主要有 IAR 公司的 Embedded Workbench for MSP430 和 AQ430。成立于 1983 年的 IAR 公司是全球领先的嵌入式系统开发工具和服务的供应商,提供的产品和服务涉及嵌入式系统的设计、开发和测试的每一个阶段,包括带有 C/C++ 编译器和调试器的集成开发环境 (IDE)、实时操作系统和中间件、开发套件、硬件仿真器以及状态机建模工具。本书中用 IAR Embedded Workbench for MSP430 V5.10 为例,介绍该软件的基本操作。

1) 软件组成

IAR Embedded Workbench For MSP430 V5.10 的关键组成包括如下内容。

- (1) 带项目管理器和编辑器的集成开发环境。
- (2) 高度优化的 MSP430 C/C++ 编译器。
- (3) 集成所有 MSP430 芯片,包括 MSP430X 的配置文件。
- (4) 带完整源代码的 Run-time 库。
- (5) MSP430 汇编器。
- (6) 链接器和库工具。
- (7) 带 MSP430 模拟器和 RTOS 内核识别调试插件的 C-SPY 调试器。
- (8) MSP430 代码例程。

2) V5.10 版本的特色

- (1) MSP430X 的新数据模式。
- (2) 更改了 Calling Convention。
- (3) 支持新的芯片 Support for New Devices。
- (4) 支持 Elprotronic 和 Olimex 的调试模块。

2. IAR 软件的安装

IAR EW430 软件可在 IAR 的官方网站 (www.iar.com) 上下载,下载位置位于

Service Center 目录下的 Downloads 栏中。选择 MSP430 的对应软件,进入软件说明对话框中下载。

双击安装文件夹中图标为 、文件名为 EW430-EV-Web-5104.exe 的文件,出现如图 1.4 所示的安装对话框。

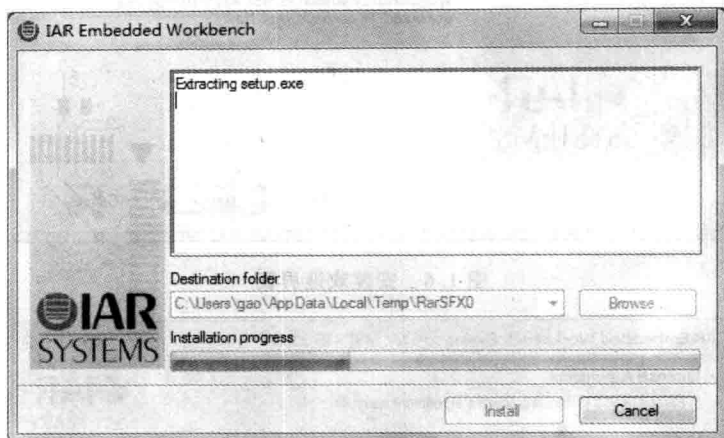


图 1.4 安装对话框

等待图 1.4 中任务条走完,将出现图 1.5 所示的对话框。

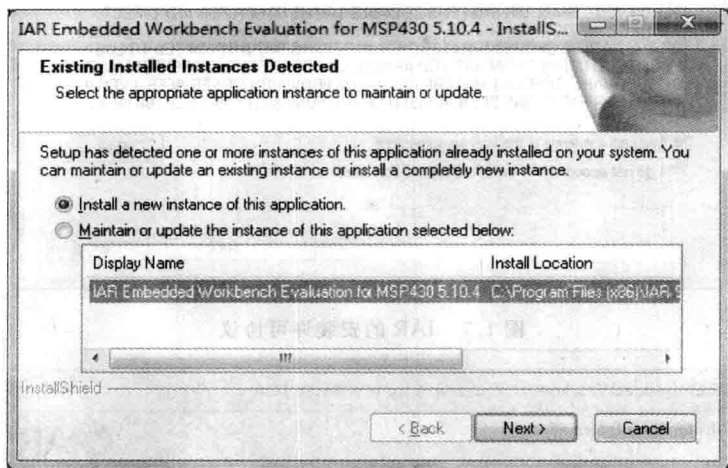


图 1.5 选择安装新软件

选择 Install a new instance of this application 项,表示要安装新的软件。点击 Next 按钮进入下一步,如图 1.6 所示。

图 1.6 所示为 IAR 软件的安装欢迎界面,点击 Next 按钮,继续进入下一个对话框,如图 1.7 所示。

图 1.7 所示是 IAR 软件安装许可协议,选择 I accept the terms of the license agreement 项,点击 Next 按钮,进入下一个对话框。

如图 1.8 所示为许可证输入对话框,输入相关信息,其中 License 可从光盘上获得,或通过 e-mail 注册获得。输入完成后,点击 Next 按钮。

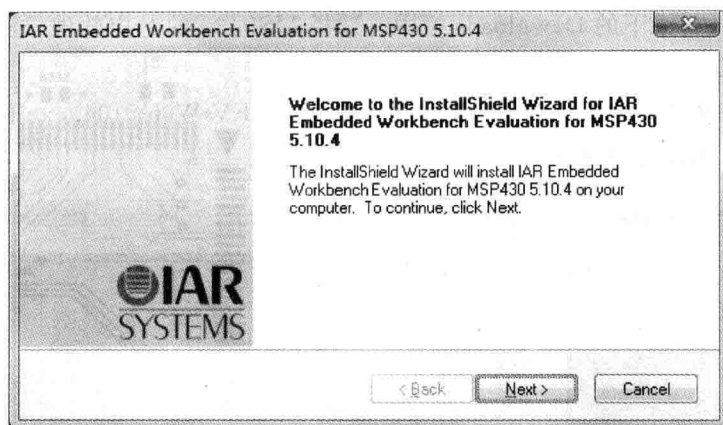


图 1.6 安装欢迎界面

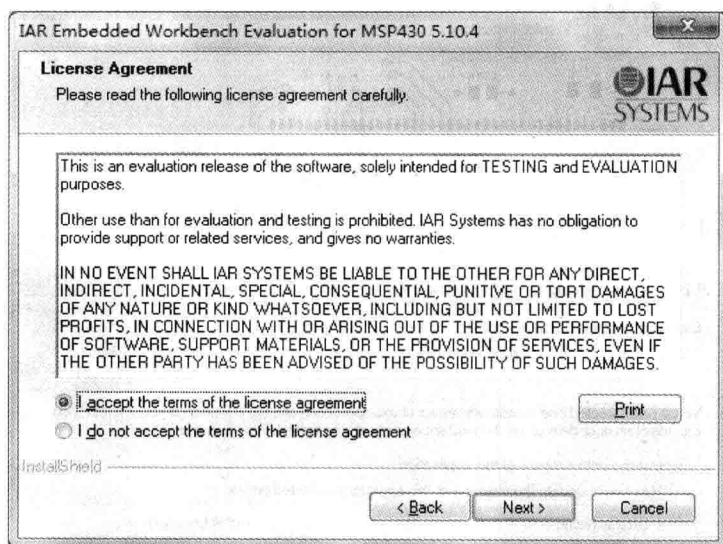


图 1.7 IAR 的安装许可协议

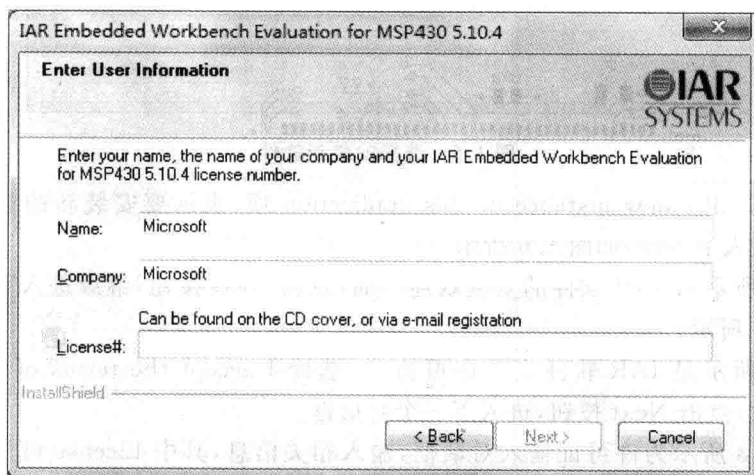


图 1.8 许可证输入对话框

在图 1.9 所示的 License Key 框内输入邮箱注册后获得的许可密钥,也可通过点击 Browse... 按钮选择 License.lic 文件,完成后,点击 Next 按钮。

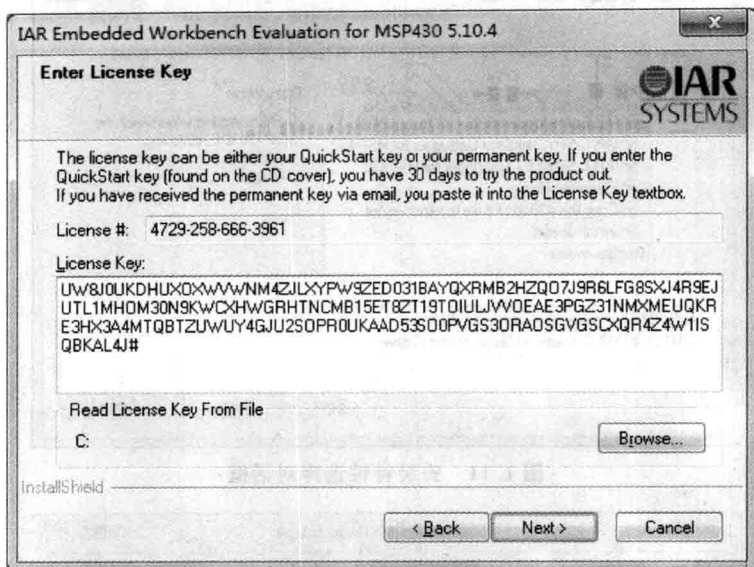


图 1.9 许可密钥输入

图 1.10 所示为安装类型选择对话框,选择 Complete,所有的程序特性都会被安装;选择 Custom,则需要选择你想安装的程序特性。选择 Custom 后,点击 Next 按钮,将进入图 1.11 所示的特性选择对话框;选择 Complete 后,则直接进入图 1.12 所示的安装路径选择对话框。

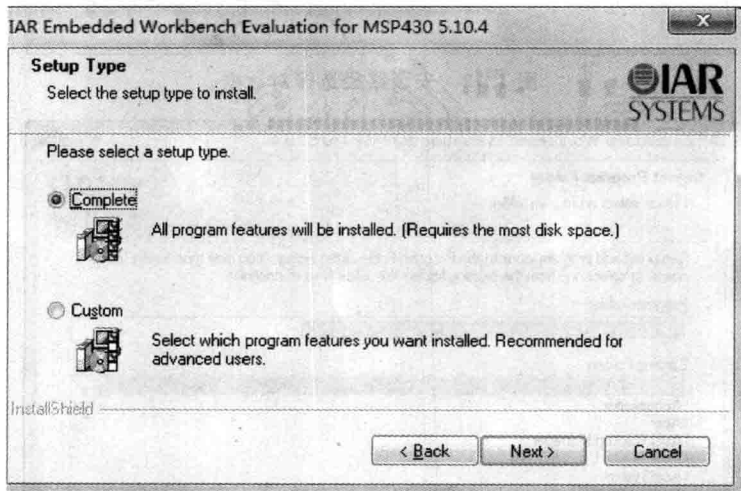


图 1.10 安装类型选择

在图 1.12 中点击 Change... 按钮,可以选择软件的安装路径,默认安装路径为:C:\Program Files\IAR Systems\Embedded Workbench 6.0 Evaluation_2。点击 Next 按钮,进入创建图标对话框,如图 1.13 所示。

选择程序启动图标的安装目录,这里的默认选择为 IAR Embedded Workbench

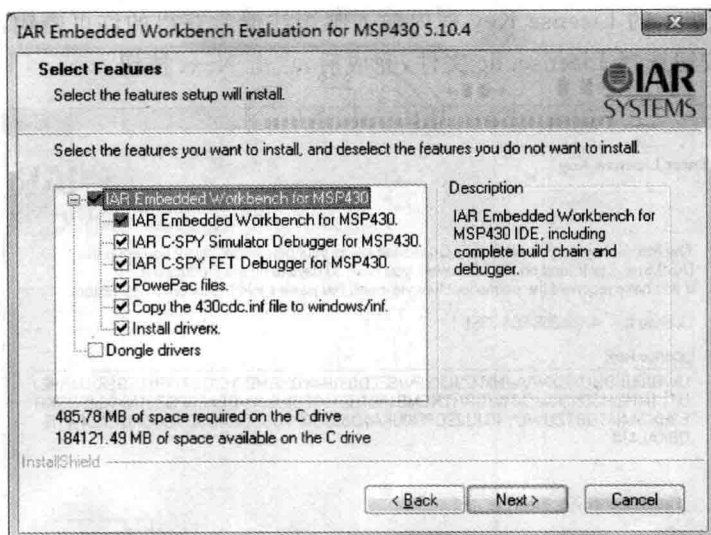


图 1.11 安装特性选择对话框

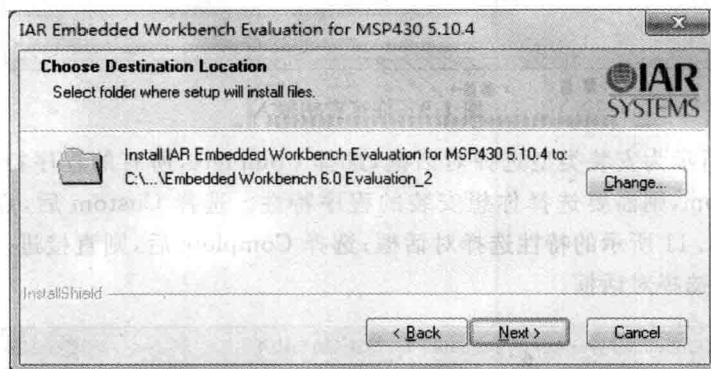


图 1.12 安装路径选择对话框

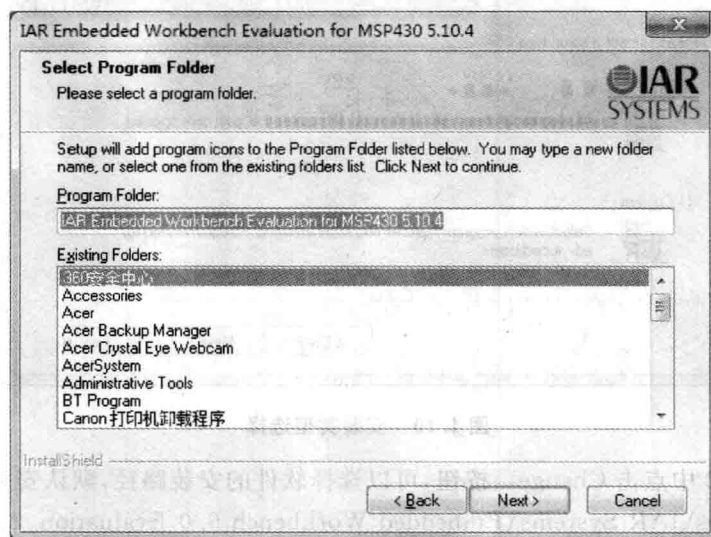


图 1.13 图标创建目录选择

Evaluation for MSP430 5.10.4, 点击 Next 按钮, 进入图 1.14 所示对话框。

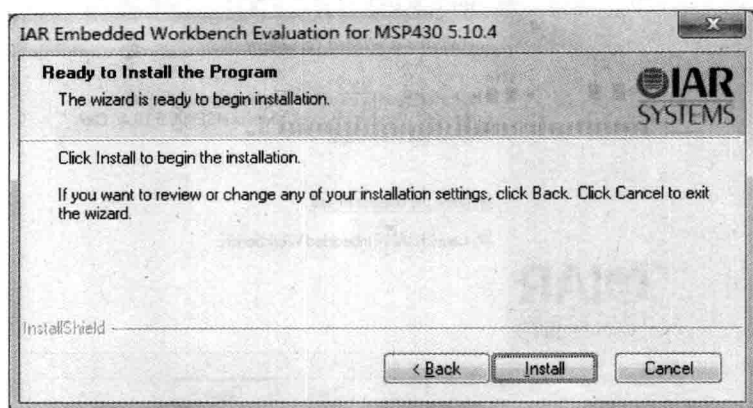


图 1.14 准备安装界面

进入到准备安装界面, 如果前面的选项没有需要修改的内容, 则选择 Install 按钮, 开始安装; 否则点击 Back, 退回到前面的对话框, 修改选择。点击 Install 按钮后, 进入图 1.15 所示的安装界面对话框, 等待安装结束。

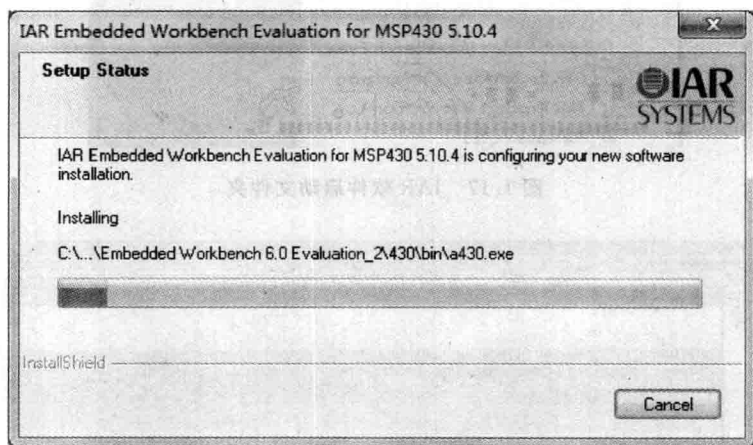


图 1.15 程序安装界面

在安装过程中, 点击 Cancel 可退出安装。最后显示安装完成界面, 如图 1.16 所示; 点击 Finish 按钮, 安装完成。上述安装过程若在 WIN7 操作系统下安装, 安装程序和注册机都要用管理员权限运行, 否则会导致破解失败。

3. IAR 软件的使用简介

IAR for MSP430 是目前最常用的 MSP430 单片机开发平台, 该软件使用方便快捷。一个 MSP430 工程的开发需要经过创建、编辑、编译、连接、下载、调试过程。

1) 创建新的工程

安装完成后, 在“开始”菜单的“所有程序”中可以看到安装好的 IAR 软件启动文件夹, 如图 1.17 所示。

点击图 1.17 中所示的 IAR Embedded Workbench 选择打开 IAR 软件, 出现图 1.18 所示界面。