

高职高专“十二五”规划教材

单片机控制技术与应用

 DANPIANJI
KONGZHI JISHU
YU YINGYONG

刘 靖 李云梅 主编



化学工业出版社

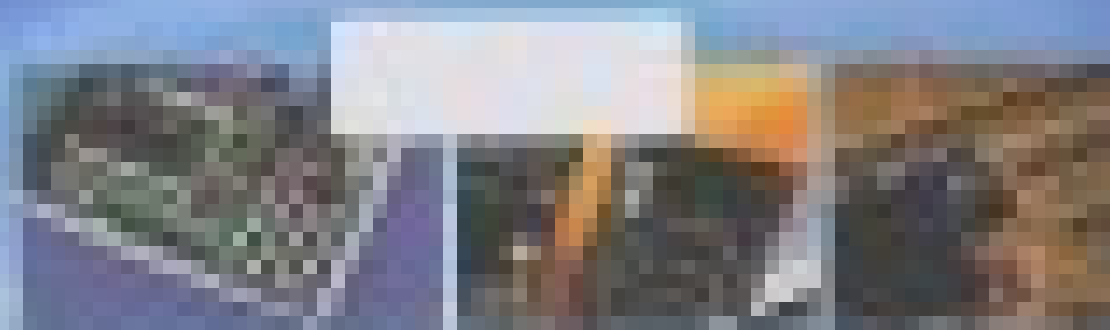
高等院校“十三五”规划教材

单片机控制技术与应用



清华大学出版社
Tsinghua University Press

主 编 李 强 副主编 王 强



清华大学出版社
Tsinghua University Press

高职高专“十二五”规划教材

单片机控制技术与应用

刘 靖 李云梅 主 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书从单片机 51 系列入手,系统介绍了单片机的知识,包括单片机的内部结构、指令系统、中断系统、定时器/计数器、模拟量输入与实时控制输出等,进而介绍了单片机控制技术。本书遵循以工作任务(项目)为导向的教学方法,每个学习情境中都设有若干个具体工作任务,通过这些任务的完成,使学生对单片机知识有总体的了解。

本书可作为高职高专院校机电一体化、电气自动化、新能源等相关专业的教材,也可作为中职学校机电一体化、电气自动化、新能源等相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

单片机控制技术与应用/刘靖,李云梅主编. —北京:
化学工业出版社, 2012. 8
高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-14988-6

I. ①单… II. ①刘…②李… III. ①单片微型计算机-计算机控制-高等职业教育-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 172959 号

责任编辑:刘 哲 张建茹
责任校对:吴 静

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 11 字数 282 千字 2012 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

前言

单片机控制技术与应用
DANPIANJI KONGZHI JISHU YU YINGYONG

“单片机控制技术”是机电一体化、电气自动化、新能源等相关专业的专业基础课程。本书从基础的单片机 51 系列入手,与电工基础、电工电子技术、电力电子技术等前序课程紧密结合,系统地介绍了单片机控制系统的知识。本书遵循以工作任务(项目)为导向的教学方法,每个学习情境都设有若干个具体工作任务,通过这些任务的完成,使学生对单片机知识有总体的了解,也使学生增强了学习兴趣。通过本教材的学习,能够对单片机技术的应用建立清晰的认知,掌握其实用技术,具备在实践中进一步应用的能力。

本书借鉴国内外计算机科学与技术学科和计算机基础课程体系的研究成果,努力反映计算机科学技术最新成果和发展趋势,强调理论与实践紧密结合,注重能力和综合素质的培养,通过实例讲解原理和方法,引导学生掌握理论方法的实际运用。

《单片机控制技术与应用》编写组的全体成员感谢天津市单片机协会给予的大力支持,为本书编写提供了大量的资料和实例,并感谢化学工业出版社的鼎力支持。

本书可以作为高职高专院校机电一体化、电气自动化、新能源等相关专业的教材及参考书,也可作为中职学校机电一体化、电气自动化、新能源等相关专业的教材及参考书,并对光电子、电气自动化、机电等相关领域的工程技术人员有一定的参考价值。

本书由刘靖、李云梅任主编,刘靖负责全书规划及统稿等工作,李娜完成情境一、二的编写,周树青、刘靖完成情境三、四的编写,翟永琨完成情境五、六的编写,张润华完成情境七的编写,刘靖完成情境八、十的编写,刘晓英完成情境九的编写,李云梅、孟秩颖完成部分审校和修改工作。

由于编者水平所限,书中定有不少疏漏和不当,恳请广大读者不吝赐教。

《单片机控制技术与应用》编写组

2012 年 6 月

目 录

单片机控制技术与应用
DANPIANJI KONGZHI JISHU YU YINGYONG

学习情境一 单片机的发展和应用领域 1

1.1 初识单片机	1
1.1.1 什么是单片机	1
1.1.2 单片机发展历史与高速 SOC 单片机 C8051F	2
1.1.3 Cygnal C8051F 系列单片机特点	2
1.1.4 有关 C8051 系列 CPU	3
1.2 单片机介绍	4
1.2.1 MCS-51 单片机基本功能介绍	4
1.2.2 CIP-51 单片机基本功能介绍	5
1.3 相关知识	7
1.3.1 数制和编码	7
1.3.2 逻辑运算	8
1.3.3 真值与机器数	9
1.3.4 原码、反码、补码	9
1.3.5 BCD 码	10
思考题	11

学习情境二 单片机内部结构 12

2.1 MCS-51 单片机基本组成及引脚功能	12
2.1.1 单片机的基本组成	12
2.1.2 单片机的引脚及其功能	13
2.1.3 MCS-51 单片机的存储器	15
2.2 CIP-51 单片机基本功能介绍	22
2.3 单片机复位	23
2.3.1 上电复位	23
2.3.2 掉电复位	24
2.3.3 外部复位	25
2.3.4 软件强制复位	25
2.3.5 时钟丢失检测器复位	25
2.3.6 比较器 0 复位	25

2.3.7 外部 CNVSTR 引脚复位	25
2.3.8 看门狗定时器复位	25
思考题	26

学习情境三 单片机指令系统 27

3.1 指令	27
3.2 程序设计语言	27
3.3 Cygnal (80C51) 单片机指令	28
3.4 汇编语言的特点	32
3.5 汇编指令的格式	32
3.6 指令系统符号的意义	33
3.7 寻址方式	33
3.8 Cygnal 系列单片机指令	34
3.8.1 数据传送和交换类指令	34
3.8.2 算术操作类指令 (24)	37
3.8.3 逻辑运算指令	40
3.8.4 控制转移类指令	41
3.8.5 位操作指令	43
思考题	44

学习情境四 实现交通灯自动控制 47

4.1 汇编语言程序设计概述	48
4.2 伪指令	48
4.3 单片机汇编语言程序的基本结构形式	49
4.4 Cygnal 单片机汇编语言程序设计举例	54
思考题	61

学习情境五 在电机控制中应用中断 62

5.1 中断系统的概述	62
5.1.1 中断原理介绍	62
5.1.2 使用中断的好处	63
5.2 单片机中断系统结构	64
5.2.1 中断源	64
5.2.2 中断控制系统中的特殊功能寄存器 (SFR)	65
5.3 中断响应	68
5.3.1 中断响应条件	68
5.3.2 中断响应过程	68
5.3.3 中断响应时间	68
5.4 外部中断方式的选择	69
5.4.1 电平触发方式	69

5.4.2 脉冲触发方式	69
5.5 中断程序设计	69
5.5.1 中断初始化程序	69
5.5.2 中断服务程序	70
思考题	71

学习情境六 单片机定时器/计数器 73

6.1 定时器/计数器工作原理及结构	73
6.1.1 定时器/计数器结构	74
6.1.2 定时器/计数器控制寄存器	75
6.2 定时器/计数器工作方式	76
6.2.1 方式0: 13位定时器/计数器	76
6.2.2 方式1: 16位定时器/计数器	77
6.2.3 方式2: 8位自动重载的定时器/计数器	77
6.2.4 方式3: 两个8位定时器/计数器(仅定时器0)	78
6.2.5 定时器/计数器的定时/计数范围	79
6.3 单片机定时器/计数器的应用	79
6.3.1 定时器/计数器的编程和使用方法	79
6.3.2 定时器/计数器的应用实例	80
6.4 门控位的应用	84
思考题	86

学习情境七 模拟量输入与实时控制输出 88

7.1 模拟量与数字量概述	88
7.2 A/D转换原理	89
7.3 A/D转换器及参数指标	90
7.4 典型A/D转换器芯片ADC0809	93
7.4.1 ADC0809的内部结构及工作原理	93
7.4.2 ADC0809典型应用	95
7.4.3 应用举例	97
7.5 D/A转换接口电路	100
7.5.1 D/A转换器的技术性能指标	100
7.5.2 典型D/A转换器芯片DAC0832	101

学习情境八 PWM波输出 103

8.1 PWM波的产生原理	104
8.2 PWM波变频控制原理	104
8.2.1 PWM脉宽调制基本知识	105
8.2.2 软件产生PWM波的调速原理	105
8.2.3 实现任务的软件方式之一	106

8.3 Cygnal 可编程计数器阵列	108
8.4 Cygnal 的 PCA 计数器/定时器	109
8.5 Cygnal 的捕捉/比较模块	110
8.5.1 边沿触发的捕捉方式	111
8.5.2 软件定时器(比较)方式	112
8.5.3 高速输出方式	112
8.5.4 频率输出方式	113
8.5.5 8 位脉宽调制器方式	114
8.5.6 16 位脉宽调制器方式	114
8.6 PCA0 寄存器说明	115
思考题	118

学习情境九 串行外设通信SPI0与UART 120

9.1 串行通信基础知识	120
9.2 MCS-51 单片机串行口结构及工作方式	122
9.3 串行口的应用	126
9.4 串行外设接口总线(SPI0)	132
9.4.1 信号说明	132
9.4.2 SPI0 操作	133
9.4.3 串行时钟时序	135
9.4.4 SPI 特殊功能寄存器	135
9.5 UART0	138
9.5.1 UART0 工作方式	138
9.5.2 多机通信	142
9.5.3 帧错误和传输错误检测	143
9.5.4 UART0 特殊功能寄存器	144
思考题	145

学习情境十 集成开发环境 147

10.1 系列单片机下载使用	147
10.1.1 ByteBlaster 下载线电路	147
10.1.2 AT89S 系列的 ISP 方法	147
10.2 AVR 系列的 ISP 方法	149
10.3 工具箱	150
10.4 硬件连接	150
10.5 软件安装	150
10.6 Silabs 集成开发环境	151
10.6.1 系统要求	151
10.6.2 汇编程序和连接程序	151
10.6.3 评估版 C51C 编译器	151

10.6.4	在 Silabs IDE 上使用 Keil 8051 软件工具	151
10.6.5	源程序实例	152
10.6.6	寄存器定义文件 (头文件)	152
10.7	目标板	152
10.7.1	系统时钟源	152
10.7.2	按键和发光二极管	153
10.7.3	串口 J5	153
10.7.4	模拟输入输出 J11 和 J20	153
10.7.5	外扩 I/O 连接器 (J24)	154
10.7.6	电源检测器禁止跳线器 J23	155
10.7.7	目标板 JTAG 接口 J4	155
10.7.8	I/O 接口连接器 (J12~J19)	155
10.7.9	VREF 连接器 (J22)	156
10.8	串行适配器	156
10.9	U-EC5 操作指南	156
10.9.1	U-EC5 调试适配器操作说明	157
10.9.2	应用专用软件 (U-EC5 中文编程软件) 快速烧录 C8051FMCU 操作说明	161
10.10	在 5V 系统中应用 3.3V Cygnal 单片机解决方案	166
10.10.1	电源选择	166
10.10.2	用 5V 输出驱动 3V 输入	166
10.10.3	用 3V 输出驱动 5V 输入	166
参考文献		168

单片机的发展和应用领域



项目描述

通过调研单片机市场情况，区分各种类型单片机的特点并写出调研报告，了解第一代单片机在实际应用中受到一定限制以及第二代单片机逐渐成为工业应用领域中主要使用的控制器之一的原因，了解哪些单片机是主要使用的趋势，学习单片机应用领域情况及其内外部基本结构。



项目分析

了解 SOC (System On Chip) 系列单片机的特点和 Cygnal 系列单片机的组成；学习单片机的相关基础知识。



知识点

- ① 单片机的定义。
- ② 单片机的发展过程及应用领域。
- ③ Cygnal 系列单片机的特点及组成。
- ④ 二进制、十进制、十六进制之间的关系及相关知识。

1.1 初识单片机

1.1.1 什么是单片机

随着电子技术的飞速发展，计算机已融入到人们生活的各个方面，影响着整个社会的发展过程，改变着人类的生活方式。

根据规模大小，计算机可分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机。微型计算机向着两个不同的方向发展：一是向着高速度、大容量、高性能的高档 PC 方向发展；二是向着稳定可靠、体积小、成本低廉的单片机方向发展。

所谓单片机，通俗来讲，就是把中央处理器 CPU (Central Processing Unit)、存储器 (Memory)、定时器、I/O (Input/Output) 接口电路等一些计算机的主要功能部件集成在一块集成电路芯片上的微型计算机。单片机又称为“微控制器 MCU”。中文“单片机”这一称呼是由英文名称“Single Chip Microcomputer”直接翻译而来的。



(1) 单片机的主要分类

① 按应用领域可分为家电类、工控类、通信类、个人信息终端类等单片机。

② 按通用性可分为通用型单片机和专用型单片机。

通用型单片机的主要特点是：内部资源比较丰富，性能全面，而且通用性强，可满足多种应用要求。所谓资源丰富是指功能强。性能全面、通用性强是指可以应用于非常广泛的领域。通用型单片机的用途很广泛，使用不同的接口电路及编制不同的应用程序可完成不同的功能，小到家用电器仪器仪表，大到机器设备和整套生产线，都可用单片机来实现自动化控制。

专用型单片机的主要特点是：针对某一种产品或某一种控制应用专门设计，设计时已使结构最简，软硬件应用最优，可靠性及应用成本最佳。专用型单片机用途比较专一，出厂时程序已经一次性固化好，不能再修改。例如电子表里的单片机就是其中的一种，其生产成本很低。

③ 按总线结构可分为总线型单片机和非总线型单片机。

(2) 应用领域

单片机可应用于工业、消费、汽车、医疗等领域。

1.1.2 单片机发展历史与高速 SOC 单片机 C8051F

1971 年 INTEL 公司研制出世界上第一个 4 位的微处理器；1973 年 INTEL 公司研制出 8 位的微处理器 8080；1976 年 INTEL 公司研制出 MCS-48 系列 8 位的单片机，这也是单片机的问世。20 世纪 80 年代初，INTEL 公司在 MCS-48 单片机基础上，推出了 MCS-51 单片机。

基于半导体集成技术突飞猛进的发展，各种类型的单片机正日新月异地涌向市场，为单片机技术的应用人员供了极大的方便。Cygnal C8051F 系列单片机是集成的混合信号片上系统 SOC (System on chip)，具有与 MCS-51 内核及指令集完全兼容的微控制器。除了具有标准 8051 的数字外设部件之外，片内还集成了数据采集和控制系统中常用的模拟部件和其他数字外设及功能部件。

Cygnal C8051F 系列单片机的功能部件包括模拟多路选择器可编程增益放大器 ADC/DAC、电压比较器、电压基准、温度传感器、SMBus/I2C、UART、SPI、可编程计数/定时器阵列 (PCA)、定时器、数字 I/O 端口、电源监视器等。所有器件都有内置的 FLASH 存储器和 256B 的 RAM，有些器件还可以访问外部数据存储器 RAM，即 XRAM。

Cygnal C8051F 系列单片机是真正能独立工作的片上系统 SOC。CPU 有效地管理模拟和数字外设，可以关闭单个或全部外设以节省功耗。Flash 存储器还具有在线重新编程的能力，既可用作程序存储器，又可用作于非易失性数据存储。应用程序可以使用 MOVC 和 MOVX 指令对 Flash 进行读或改写。

1.1.3 Cygnal C8051F 系列单片机特点

(1) 片内资源

① 8~12 位多通道 ADC。

② 1~2 路 12 位 DAC。

③ 1~2 路电压比较器。

④ 内部或外部电压基准。

⑤ 内置温度传感器 ($\pm 3^{\circ}\text{C}$)。



- ⑥ 16 位可编程定时/计数器阵列 (PCA) 可用于 PWM 等。
- ⑦ 3~5 个通用 16 位定时器。
- ⑧ 8~64 个通用 I/O 口。
- ⑨ 带有 I2C/SMBus、SPI、1~2 个 UART 多类型串行总线。
- ⑩ 8~64KB Flash 存储器。
- ⑪ 256~4KB 数据存储器 RAM。
- ⑫ 片内时钟源, 内置电源监测、看门狗定时器。

(2) 主要特点

- ① 高速的 (20~25MIPS) 与 8051 全兼容的 CIP——51 内核。
- ② 内置 Flash 存储器可实现在线系统编程, 既可作程序存储器, 也可作非易失性数据存储。
- ③ 工作电压为 2.7~3.6V, 典型值为 3V。I/O、RST、JTAG 引脚均允许 5V 电压输入。
- ④ 全系列均为工业级芯片 ($-45\sim+85^{\circ}\text{C}$)。
- ⑤ 片内 JTAG 仿真电路提供全速的电路内仿真, 不占用片内用户资源, 支持断点、单步、观察点、运行和停止等调试命令, 支持存储器和寄存器校验和修改。

1.1.4 有关 C8051 系列 CPU

(1) 与标准 8051 完全兼容

Cygnal C8051F 系列单片机采用 CIP51 内核 (Cygnal 专利) 与 MCS-51 指令系统全兼容, 可以使用标准 805x 的汇编器和编译器开发编译 C8051F 系列单片机的程序。

(2) 高速指令处理能力

标准的 8051 一个机器周期要占用 12 个系统时钟周期, 执行一条指令最少要一个机器周期。Cygnal C8051F 系列单片机指令处理, 采用流水线结构, 机器周期由标准的 12 个系统时钟周期降为 1 个系统时钟周期, 指令处理能力比 MCS-51 大大提高。CIP-51 内核 70% 的指令执行是在 1 个或 2 个系统时钟周期内完成, 只有 4 条指令的执行需 4 个以上时钟周期。CIP-51 指令与 MCS-51 指令系统全兼容, 共有 111 条指令。

表 1-1 为指令个数所对应的时钟周期数。

表 1-1 时钟周期数表

指令个数	26	50	5	16	7	3	1	2	1
时钟周期	1	2	2/3	3	3/4	4	4/5	5	8

图 1-1 为几个典型 MCU 指令执行速度对照表。

(3) 增加了中断源

标准的 8051 只有 7 个中断源, Cygnal C8051F 系列单片机扩展了中断处理, 这对于实时多任务系统的处理是很重要的。扩展的中断系统向 CIP-51 提供 22 个中断源, 允许大量的模拟和数字外设中断, 一个中断处理需要较少的 CPU 干预, 却有更高的执行效率。

(4) 增加了复位源

标准的 8051 只有外部引脚复位, Cygnal C8051F 系列单片机增加了如下 7 种复位源, 使系统的可靠性大大提高, 每个复位源都可以由用户用软件禁止。

- ① 片内电源监视。
- ② WDT (看门狗定时器)。

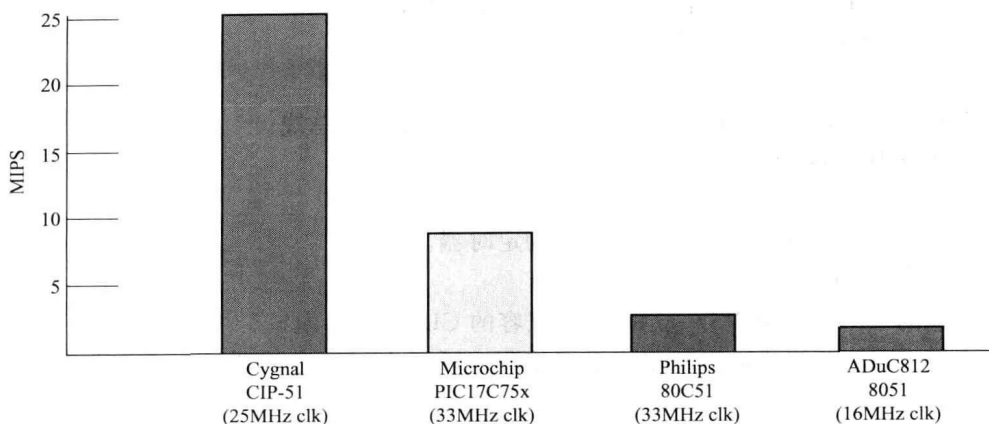


图 1-1 典型 MCU 指令执行速度对照表

- ③ 时钟丢失检测器。
- ④ 比较器 0 输出电平检测。
- ⑤ 软件强制复位。
- ⑥ CNVSTR (AD 转换启动)。
- ⑦ 外部引脚 RST 复位 (可双向复位)。

(5) 提供内部时钟源

标准的 8051 只有外部时钟, Cygnal C8051F 系列单片机有内部独立的时钟源 (C8051F300/F302 提供的内部时钟误差在 2% 以内)。在系统复位时默认内部时钟。如果需要, 可接外部时钟并可在程序运行时使用。另外, C8051F02X 系列除了内部有扩展 4KB 数据 RAM 外片外, 还可扩展至 64KB 数据。

1.2 单片机介绍

MCS-51 系列单片机分为两大系列, 即 51 子系列与 52 子系列。

51 子系列 基本型。根据片内 ROM 的配置, 对应的芯片为 8031、8051、8751、8951。

52 子系列 增强型。根据片内 ROM 的配置, 对应的芯片为 8032、8052、8752、8952。

这两大系列单片机的主要硬件特性如表 1-2 所示。

表 1-2 51 系列和 52 系列硬件特性对比

片内 ROM 型式			ROM 大小	RAM 大小	寻址范围	I/O 特性		中断源数量
无	ROM	EPROM				计数器	并行口	
8031	8051	8751	4KB	128B	64KB	2×16	4×8	5
80C31	80C51	87C51	4KB	128B	64KB	2×16	4×8	5
8032	8052	8752	8KB	256B	64KB	3×16	4×8	6
80C32	80C52	87C52	8KB	256B	64KB	3×16	4×8	6

1.2.1 MCS-51 单片机基本功能介绍

MCS-51 单片机在物理结构上有四个存储空间:

- ① 片内程序存储器;
- ② 片外程序存储器;



- ③ 片内数据存储器；
- ④ 片外数据存储器。

但在逻辑上，即从用户的角度看，8051 单片机有三个存储空间：

- ① 片内外统一编址的 64KB 的程序存储器地址空间；
- ② 256B 的片内数据存储器的地址空间；
- ③ 64KB 片外数据存储器的地址空间。

在访问三个不同的逻辑空间时，应采用不同形式的指令（具体在后面的指令系统学习时讲解），以产生不同的存储器空间的选通信号。

1.2.2 CIP-51 单片机基本功能介绍

(1) 数据存储器

CIP-51 具有标准 8051 的程序和数据地址配置，它包括 256B 的 RAM，其中高 128B 用户只能用直接寻址访问 SFR 地址空间，低 128B 用户可用直接或间接寻址方式访问。前 32B 为 4 个通用工作寄存器区，接下来的 16B 既可以按字节寻址也可以按位寻址。

(2) 程序存储器

C8051F 系列单片机程序存储器为 8~64KB 的 Flash 存储器。该存储器可按 512B 为一扇区编程，可以在线编程，且不需在片外提供编程电压。该程序存储器未用到的扇区均可由用户按扇区作为非易失性数据存储器使用。

(3) JTAG 调试和边界扫描

C8051F020 系列具有片内 JTAG 边界扫描和调试电路，通过 4 脚 JTAG 接口，并使用安装在最终应用系统中的产品器件，就可以进行非侵入式、全速的在系统调试。该 JTAG 接口完全符合 IEEE1149.1 规范，为生产和测试提供完全的边界扫描功能。

Silicon Labs 的调试系统支持观察和修改存储器和寄存器，支持断点、观察点、堆栈指示器和单步执行。不需要额外的目标 RAM、程序存储器、定时器或通信通道。在调试时所有的模拟和数字外设都正常工作。当 MCU 单步执行或遇到断点而停止运行时，所有外设（ADC 和 SMBus 除外）都停止运行，以保持与指令执行同步。

开发套件 C8051F020DK 具有开发应用代码所需要的全部硬件和软件，并可对 C8051F020/1/2/3MCU 进行在系统调试。开发套件中包括开发者工作室软件和调试器、一个集成的 8051 汇编器和一个 RS-232 转换到 JTAG 的串行适配器。套件中还有一个目标应用板，上面有对应的 MCU 和一大块样机区域。套件中还包括 RS-232 和 JTAG 电缆及一个墙装电源。开发套件需要一个运行 Windows 95/98/Me/NT 并有一个可用 RS-232 串口的计算机。如图 1-2 所示，PC 机通过 RS-232 与串行适配器连接。一条 6in (1in=25.4mm) 的扁平电缆将串行适配器和用户的应用板连接起来，连接 4 个 JTAG 引脚和 V_{DD} 及 GND。串行适配器从应用板获取其电源，在 2.7~3.6V 时其电源电流大约为 20mA。对于不能从目标板上获取足够电流的应用，可以将套件中提供的电源直接连到串行适配器上。

对于开发和调试嵌入式应用来说，该系统的调试功能比采用标准 MCU 仿真器要优越得多。标准的 MCU 仿真器要使用在板仿真芯片和目标电缆，还需要在应用板上有 MCU 的插座。Silicon Labs 的调试环境既便于使用，又能保证精确模拟外设的性能。

(4) 可编程数字 I/O 和交叉开关

Cygnal C8051F 系列单片机具有标准的 8051 I/O 口，除 P0、P1、P2、P3 之外，还有更多的扩展的 8 位 I/O 口，每个端口 I/O 引脚都可以设置为推挽或漏极开路输出，这为低功

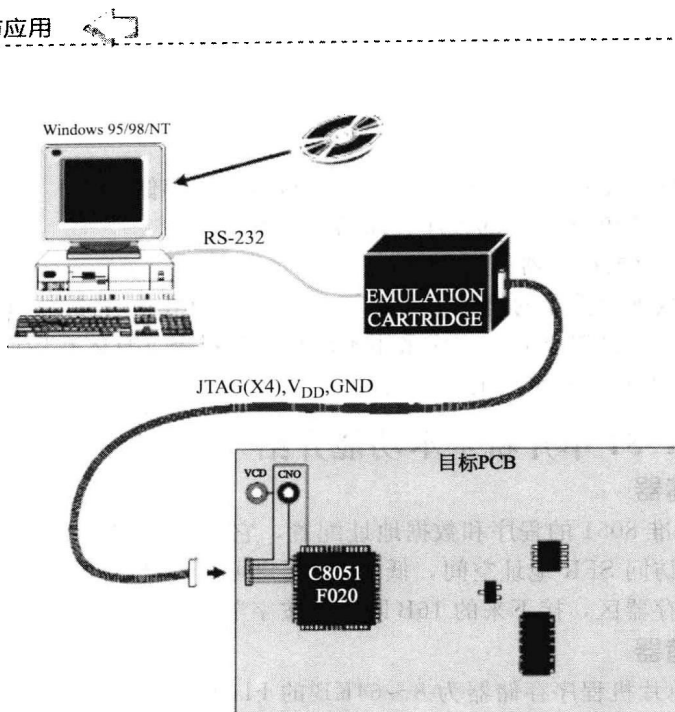


图 1-2 集成开发环境 (Silicon Labs)

耗应用提供了进一步节电的能力。

最为独特的是增加了 (C8051F2xx 除外) “Digital Crossbar” (数字交叉开关), 它可将内部数字系统资源定向到 P0、P1 和 P2 端口的 I/O 引脚, 并可将定时器串行总线外部中断源、AD 输入转换、比较器输出都通过设置 Crossbar 开关控制寄存器定向到 P0、P1、P2 的 I/O 口, 这就允许用户根据自己的特定应用选择通用 I/O 端口和所需数字资源的组合。

(5) 模数/数模转换器

① 模数转换器 C8051F 系列内部都有一个 ADC 子系统 (除 C8051F230/1/6 之外), 由逐次逼近型 ADC 多通道模拟输入选择器和可编程增益放大器组成。ADC 工作在 100kbps 的最大采样速率时可提供真正的 8 位、10 位或 12 位精度。ADC 完全由 CIP-51 通过特殊功能寄存器控制系统, 控制器还可以关断 ADC 以节省功耗。C8051F00x/01x/02x 还有一个 1.5×10^{-5} 的基准电压和内部温度传感器, 并且 8 个外部输入通道都可被配置为两个单端输入或一个差分输入。

可编程增益放大器的增益可以用软件设置, 从 0.5~16 以 2 的整数次幂递增。当不同 ADC 输入电压信号范围差距较大或需要放大一个具有较大直流偏移的信号时, 可编程增益放大器是非常有用的。A/D 转换可以有 4 种启动方式: 软件命令、定时器 2 溢出、定时器 3 溢出或外部信号输入。允许用软件事件、硬件信号触发转换或进行连续转换。一次转换完成后产生一个中断或者用软件查询来判断转换是否结束。在转换完成后, 数据字被锁存到特殊功能寄存器中, 对于 10 位或 12 位 ADC, 可以用软件控制数据字为左对齐或右对齐格式。除了 12 位的 ADC 子系统 ADC0 之外, C8051F02x 还有一个 8 位 ADC 子系统, 即 ADC1 有一个 8 通道输入多路选择器和可编程增益放大器, 该 ADC 工作在 500kbps 的最大采样速率时可提供真正的 8 位精度。ADC1 的基准电压可以在模拟电源电压 (AV+) 和外部 V_{REF} 引脚之间选择, 用户可以用软件将 ADC1 置于关断状态以节省功耗。ADC1 的可编程增益放大器的增益可以被编程为 0.5、1、2 或 4。ADC1 也有灵活的转换控制机制, 允许用软件命令、定时器溢出或外部信号输入启动 ADC1 转换; 用软件可以使 ADC1 与 ADC0 同步转换。

② 数模转换器 C8051F 系列内有两路 12 位 DAC、两个电压比较器 CPU，通过 SFERS 控制数模转换和比较器 CPU，可以将任何一个 DAC 置于低功耗关断方式。DAC 为电压输出模式，与 ADC 共用参考电平，允许用软件命令和定时器 2、定时器 3 及定时器 4 的溢出信号更新 DAC 输出片。

Cygnal 提供基于 Windows 集成的在线开发调试环境，包括 IDE 软件与串口适配器 EC2、调试目标板，可实现存储器和寄存器的校验和修改；设置断点、观察点、堆栈；程序可单步运行、全速运行、停止等。在调试时，所有数字和模拟外设都能正常工作，实时反映真实情况。IDE 调试环境可做 Keil C 源程序级别的调试。对于开发和调试嵌入式应用来说，与传统的专用仿真芯片、目标电缆及仿真头的仿真器相比，Cygnal 更具优越性能，更能真实“在片”仿真实时信息。Cygnal 的调试环境既便于使用，又能保证精确模拟外设的性能。Cygnal C8051F 系列单片机开发工具既突破了昂贵开发系统的旧模式，又创立了低价位仿真的新思路。

1.3 相关知识

1.3.1 数制和编码

(1) 进位计数制

常见的计数制有以下几种。

① 十进制数。由 0~9 共 10 个数码组成，以 10 为基数，逢十进位。用来表示数时在数码后加 D (Decimal)，如 58D。因为十进制数应用广泛，所以在应用时可以省略“D”。

例如： $53478 = 5 \times 10^4 + 3 \times 10^3 + 4 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 8 \times 10^0$ ，对应于：

	万	千	百	十	个
十进制	5	3	4	7	8
	10^4	10^3	10^2	10^1	10^0

② 二进制数 只有 0、1 两个数码，以 2 为基数，逢二进位。用来表示数时在数码后加 B (Binary)，如 10101100B。二进制是按“逢二进一”的原则进行计数的。二进制数的基为“2”，二进制数的权是以 2 为底的幂。

例如： $10110100 = 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$ ，对应于：

二进制	1	0	1	1	0	1	0	0
	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0

③ 十六进制数。有 0~9 及 A、B、C、D、E、F 共 16 个数码，其中 A、B、C、D、E、F 分别对应十进制的 10、11、12、13、14、15。以 16 为基数，逢十六进位。用 H (Hexadecimal) 结尾来表示，如 ACH。为防止十六进制数与其他字符混淆，若十六进制数的第一位不是 0~9，则必须在其前面加“0”以示区别，例如前面的数合理表示方式应为 0ACH。十六进制的权为以 16 为底的幂。

例如： $4F8E = 4 \times 16^3 + F \times 16^2 + 8 \times 16^1 + E \times 16^0 = 20366$ ，对应于：

十六进制	4	F	8	E
	16^3	16^2	16^1	16^0

(2) 3 种进制数直接互相转换

① 三种进制数对应关系如表 1-3 所示。