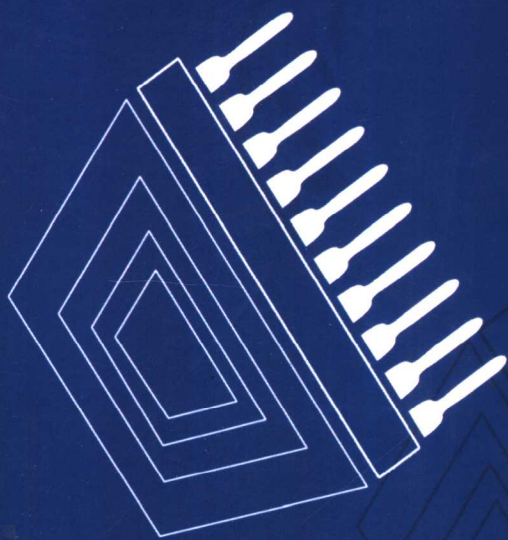


21

世 纪 高 等 学 校 规 划 教 材

C8051F单片机原理及应用

鲍可进 主编



中国电力出版社
www.infopower.com.cn

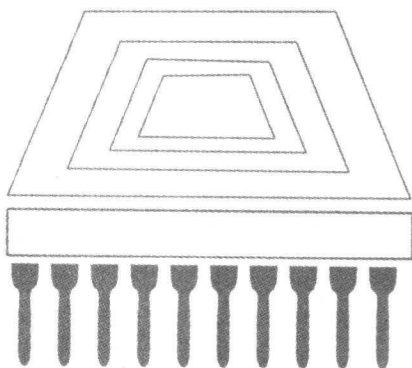
21

世纪高等学校规划教材

C8051F 单片机原理及应用

鲍可进 主 编

赵念强 申屠浩 陈向益 副主编



中国电力出版社

www.infopower.com.cn

内容提要

本书以 C8051F020 为例全面系统地讲述了 C8051F 系列单片机的原理及应用, 该系列单片机是完全集成的混合信号系统级芯片 (SOC), 具有与 MCS-51 完全兼容的指令内核。书中详细地介绍了该单片机的基本结构、指令系统、C51 编程语言、片内资源的编程方法、C8051F 单片机的开发应用及实验设备等方面的内容。大部分章节附有习题, 以供读者练习。附录中列出了 C8051F020 的技术资料等内容。全书内容自成体系, 语言通俗流畅, 结构合理紧凑。既可作为高等院校单片机课程的教材, 也可作为相关电子技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

C8051F 单片机原理及应用 / 鲍可进主编. —北京: 中国电力出版社, 2006.1

21 世纪高等学校教材

ISBN 7-5083-3881-2

I.C... II.鲍... III. 单片微型计算机, C8051F 系列—高等学校—教材 IV.TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 140121 号

丛 书 名: 21 世纪高等学校规划教材

书 名: C8051F 单片机原理及应用

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市三里河路 6 号

邮政编码: 100044

电 话: (010) 68358031 (总机)

传 真: (010) 68316497, 88383619

本书如有印装质量问题, 我社负责退换

服务电话: (010) 88515918 (总机)

传 真: (010) 88518169

E-mail: infopower@cepp.com.cn

印 刷: 利森达印务有限公司

开本尺寸: 185×260

印 张: 22.5

字 数: 552 千字

书 号: ISBN 7-5083-3881-2

版 次: 2006 年 1 月北京第 1 版

印 次: 2006 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 0001—4000 册

定 价: 32.00 元

版权所有, 翻印必究

前 言

单片微型计算机简称单片机,是典型的嵌入式微控制器。单片机具有集成度高、功能强、结构简单、易于掌握、应用灵活、可靠性高、价格低廉等优点,在工业控制、机电一体化、通信终端、智能仪表、家用电器等诸多领域中得到了广泛应用,已成为传统机电设备向智能化机电设备转变的重要手段。因此高等理工科院校师生和工程技术人员了解并掌握单片机的原理及应用技术是十分必要的。

目前单片机已经形成很多种类,集成的外围电路更是多种多样,例如 A/D、D/A 转换器、I²C、CAN、SPI 总线接口等。系统时钟不断加快,有些单片机甚至可以达到 100MHz,而且价格很低。C8051F 系列单片机就是一种典型的高性能单片机,是 Cygnal 公司开发的产品,该公司于 2003 年并入 Silicon Laboratories 公司。C8051F 系列单片机是完全集成的混合信号系统级芯片(SOC),具有与 MCS-51 完全兼容的指令内核,采用流水线处理技术,不再区分时钟周期和机器周期,能在执行指令期间预处理下一条指令,提高了指令的执行效率。大部分 C8051F 单片机具备控制系统所需的模拟和数字外设,包括看门狗、ADC、DAC、电压比较器、电压基准输出、定时器、PWM、定时器捕捉和方波输出等,并具备多种总线接口,包括 UART、SPI、SMBus(与 I²C 兼容)总线以及 CAN 总线等。C8051F 系列单片机采用 Flash ROM 技术,集成 JTAG,支持在线编程和调试。C8051F 系列单片机诸多特点和优越性,深受单片机系统设计工程师的青睐,成为很多测控系统设计的首选机型。

本书以 C8051F020 为介绍对象,是因为该单片机为 C8051F 系列单片机中功能较全,最具有代表性的一款。熟悉了 C8051F020 单片机的工作原理和编程方法后,可较快地对 C8051F 系列的其他单片机上手编程。事实上模拟和数字外设以及各种总线具有共性,因此本书也可作为其他厂商单片机的参考资料,书中程序稍加修改,即可应用于其他单片机。而且本书全部代码采用 C51 语言编写,这也是单片机应用的发展方向,同时增强了程序的可读性和可移植性。

书中 C51 语言的介绍着重在与标准 C 语言的不同之处,读者应该在具备一定 C 语言编程知识的基础上来阅读本书内容。书中大部分章节附有习题,以供读者练习。附录中列出了有关 C8051F020 单片机的技术资料等内容,供读者参考。

本书第 1 章、第 2 章、第 5 章由鲍可进编写,第 4 章由赵念强编写,第 3 章由赵念强、申屠浩共同编写,第 6 章、第 7 章由陈向益编写,第 8 章由申屠浩、赵念强、鲍可进共同编写。全书由鲍可进统一整理。赵德安教授认真审阅了部分书稿,提出了指导性的建议和中肯的意见。

在编写过程中,参考了有关书刊、资料,在此对有关作者一并表示感谢。

由于水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2005 年 9 月

目 录

前 言

第 1 章 概述.....	1
1.1 单片机的发展概况.....	1
1.2 单片机的应用及发展趋势.....	8
习题 1.....	12
第 2 章 C8051F 单片机的结构与原理.....	13
2.1 C8051F 系列单片机的总体结构.....	13
2.2 C8051F020 存储器组织.....	16
2.3 CIP-51 的指令介绍.....	29
2.4 中断系统.....	37
2.5 端口输入/输出.....	47
2.6 电源管理方式.....	65
习题 2.....	67
第 3 章 51 单片机编程语言.....	68
3.1 单片机的编程语言概述.....	68
3.2 汇编语言.....	68
3.3 C51 语言.....	80
习题 3.....	123
第 4 章 C8051F 单片机的片内功能部件.....	125
4.1 定时器/计数器.....	125
4.2 可编程计数器阵列.....	142
4.3 UART 通信接口.....	153
4.4 SMBus.....	178
4.5 SPI 总线.....	189
习题 4.....	199
第 5 章 模/数和数/模转换器.....	200
5.1 模/数转换器.....	200
5.2 数/模转换器.....	228
5.3 电压基准.....	235

习题 5	237
第 6 章 C8051F020 芯片的其他资源	238
6.1 比较器	238
6.2 复位源	242
6.3 振荡器	248
6.4 JTAG 接口	254
习题 6	259
第 7 章 C8051F 系列单片机应用系统的开发	260
7.1 Silicon Laboratories IDE 集成开发环境简介	260
7.2 软件的基本操作	268
7.3 C8051F 单片机实验系统介绍	276
7.4 片上资源配置工具 Config 的应用	278
7.5 在 Keil uVision2 中进行 C8051F 系列单片机的软件开发和调试	286
习题 7	291
第 8 章 应用举例	292
8.1 用 SMBus 实现串行 Flash 芯片的读写	292
8.2 日历时钟与键盘显示	299
8.3 用过采样和求均值提高 ADC 的分辨率	313
8.4 电压谐波监测	318
附录 A CIP-51 指令集	334
附录 B C8051F020 的引脚定义及封装	338
附录 C C8051F020 的极限参数与电气参数	345
附录 D Keil C 的包含文件	350
参考文献	353

第 1 章 概 述

1.1 单片机的发展概况

1971 年 Intel 公司制造出第一片微型机芯片 4004 之后,开始了微型机时代。将微处理器、存储器和外围设备集成到一块芯片上,这就是单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer),简称单片机。单片机是应工业测控而诞生的,它的结构与指令功能都是按照工业控制要求设计的,故也叫单片微控制器 SCM (Single Chip Microcontroller),它在控制领域大显身手,被装入到各种智能化产品之中,所以又称为嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller),有的文献中也称为微控制器单元 MCU (Microcontroller Unit)。

1.1.1 单片机的发展历史

从最初的单片机到如今的新一代单片机,其发展历史大致可以分为 4 个阶段。

第一阶段 (1974 年~1976 年) 单片机的初级阶段。因受工艺技术的限制,单片机的结构和功能都很简单。例如仙童公司生产的 F8 单片机,内部仅有 8 位 CPU, 64 字节 RAM 和两个并行通信口,还需要一些其他的芯片才能组合成一台完整的微型机。

第二阶段 (1976 年~1978 年) 低性能单片机阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。该系列单片机内集成有 8 位 CPU、并行 I/O 接口、一个 8 位的定时器/计数器、片内 64 或 128 字节 RAM,程序存储空间最大可达 4KB,但无串行通信口,不宜多机使用。

第三阶段 (1978 年~1983 年) 高性能单片机阶段。这一阶段推出的单片机虽然仍采用 8 位 CPU,但均有多级中断功能、串行通信接口、16 位的定时器/计数器,而且片内的 ROM、RAM 容量加大,寻址空间范围可达 64KB,有的片内还带有 A/D 转换器接口。这一阶段单片机的生产厂商众多,系列产品也特别多,主要的有 Intel 公司的 MCS-51, Motorola 公司的 6801 和 Zilog 公司的 Z8 等。这类产品具有优异的性能价格比,因此获得了极其广泛的应用。尤其是 MCS-51 系列单片机,特别适合于控制应用,在我国教育和经济建设等各个领域大显身手,经久不衰,是我国单片机应用的主流系列。

第四阶段 (1983 年至今) 暂且称为新一代单片机阶段。这一阶段单片机的最重要标志是单片机的含义已发生了根本改变。目前大家仍然保留单片机这一习惯叫法,但大家也都明白它是指 SingleChip Microcontroller。新一代单片机有如下几方面特点。

(1) 内部 CPU 仍然以 8 位为主流,并不断完善。另一方面发展了 16 位、32 位的单片机。早期单片机多使用 CISC (Complex Instruction Set Computer) 系统结构,近来 RISC (Reduced Instruction Set Computer) 单片机已大力发展起来。在 RISC 单片机中,除了指令集精简外,一般都用单字长指令和流水线的操作方法,大大加快了单片机的指令运行速度。

(2) 片内程序存储器有 ROM (Read Only Memory) 型、EPROM (Erasable Programmable

Read Only memory) 型、无 ROM (Romless) 型和低成本的 OTP (One Time Programmable) ROM 型、E²PROM (Electrically Erasable Programmable Read Only memory) 型。近年来, Flash ROM 已获得了普遍的发展。由于 Flash ROM 可在线多次写入, 有些公司称之为 MTP (M-Time Programmable) ROM。Flash ROM 的普遍使用, 也导致了在线可编程 (ISP, In-System Programmable) 技术的迅速发展。可扩展容量有的已突破 64KB, 达到 2MB 以上。片内 RAM 已有 2KB 以上的产品, 可扩展容量也可达到 2MB 以上。

(3) 日趋复杂化、多样化、产品专用化。单片机在原来微型机的结构基础上, 集成嵌入了一些外设和外设驱动单元, 如通用接口、看门狗 (Watchdog)、A/D 和 D/A 转换器、LCD 驱动单元、遥控键盘、语音接口、串行总线 I²C, 甚至通用串行总线 USB (Universal Serial Bus)、控制器局域网 CAN (Controller Area Network) 等。某些公司把数字信号处理器 DSP (Digital Signal Processor) 也嵌入了单片机内。

(4) 多采用 CMOS 工艺, 出现双时钟、低电压单片机, 大大降低了系统功耗。时钟速度大幅度提高, 有的已达 100MHz 以上。芯片引脚数过去多为 40PIN, 现在已向两个方向发展——多引脚 (100PIN 以上) 和少引脚 (20PIN 以下)。封装形式多样化, 有 DIP、SH-DIP、OFP、SQFP、HQFP、TQFP、PGA、BGA 和 PLCC 等。

纵观单片机的发展历程, 单片机已经由纯粹的单片微型机发展到增加一定接口以适用于一般控制应用而成为单片微控制器。为了适应不同用户各种各样的专门应用, 在普通的 CPU 内核之外又增加了相应功能的外设驱动器, 单片机又发展成了嵌入式微控制器。

1.1.2 典型的 8 位单片机产品

世界上单片机的生产厂商众多, 单片机的型号更多, 目前常用单片机的位数有 8 位、16 位和 32 位不同的产品, 本节介绍一些著名的半导体厂商典型的 8 位单片机产品, 以使读者对目前的 8 位单片机产品有个大概的了解, 在开发单片机应用系统时, 为读者选择单片机提供参考。

1. Intel 公司的单片机

Intel 公司是最早推出单片机的大公司之一, 其产品有 MCS-48、MCS-51 和 MCS-96 三大系列几十个型号的单片机。MCS-51 系列单片机包括 3 个基本型, 8031 (无 ROM 型)、8051 (ROM 型)、8751 (EPROM 型), 以及对应的低功耗型号 80C31、80C51、87C51, 因而 MCS-51 特指 Intel 的这几种型号。目前 Intel 公司已不再推出新品种的单片机, 但 MCS-51 系列单片机的结构为其他一些大公司所采纳, 他们推出了许多适用于不同场合的新型 51 系列单片机, 使这个系列的单片机仍被广泛应用, 8051 是世界上产量排名第二的著名单片机 CPU。表 1-1 列出了 Intel 公司 MCS-51 单片机产品的特性。

表 1-1 Intel 公司 MCS-51 单片机的特性

型 号	ROM/ EPROM (KB)	RAM (B)	时钟 频率 (MHz)	I/O 口线	定时 器/计 数器	串行 口	中断 源	PCA 通道	A/D 通 道	省电 方式
8031AH	—	128	12	32	2	1	5	0	0	—
8051AH	4	128	12	32	2	1	5	0	0	—
8051AHP	4	128	12	32	2	1	5	0	0	—

续表

型 号	ROM/ EPROM (KB)	RAM (B)	时钟 频率 (MHz)	I/O 口线	定时 器/计 数器	串行 口	中断 源	PCA 通道	A/D 通 道	省电 方式
8051H	4	128	12	32	2	1	5	0	0	—
8051BH	4	128	12	32	2	1	5	0	0	—
8032AH	—	256	12	32	3	1	6	0	0	—
8052AH	8	256	12	32	3	1	6	0	0	—
8752BH	8	256	12	32	3	1	6	0	0	—
80C31BH	—	128	12、16	32	2	1	5	0	0	√
80C51BH	4	128	12、16	32	2	1	5	0	0	√
80C51BHP	4	128	12、16	32	2	1	5	0	0	√
87C51	4	128	12~24	32	2	1	5	0	0	√
80C32	—	256	12~24	32	3	1	6	0	0	√
80C52	8	256	12~24	32	3	1	6	0	0	√
87C52	8	256	12~24	32	3	1	6	0	0	√
80C54	16	256	12~24	32	3	1	6	0	0	√
87C54	16	256	12~24	32	3	1	6	0	0	√
80C58	32	256	12~24	32	3	1	6	0	0	√
87C58	32	256	12~24	32	3	1	6	0	0	√
80L52	8	256	12~20	32	3	1	6	0	0	√
87L52	8	256	12~20	32	3	1	6	0	0	√
80L54	18	256	12~20	32	3	1	6	0	0	√
87L54	16	256	12~20	32	3	1	6	0	0	√
80L58	32	256	12~20	32	3	1	6	0	0	√
87L58	32	256	12~20	32	3	1	6	0	0	√
80C51FA	—	256	12、16	32	3	1	7	5	0	√
83C51FA	8	256	12、16	32	3	1	7	5	0	√
87C51FA	8	256	12~24	32	3	1	7	5	0	√
83C51FB	16	256	12~24	32	3	1	7	5	0	√
87C51FB	16	256	12~24	32	3	1	7	5	0	√
83C51FC	32	256	12~24	32	3	1	7	5	0	√
87C51FC	32	256	12~24	32	3	1	7	5	0	√
80L51FA	—	256	12~20	32	3	1	7	5	0	√
83L51FA	8	256	12~20	32	3	1	7	5	0	√
87L51FA	8	256	12~20	32	3	1	7	5	0	√
83L51FB	16	256	12~20	32	3	1	7	5	0	√
87L51FB	16	256	12~20	32	3	1	7	5	0	√
83L51FC	32	256	12~20	32	3	1	7	5	0	√
87L51FC	32	256	12~20	32	3	1	7	5	0	√
80C51GB	—	256	12、16	48	3	1	15	10	8	√

续表

型 号	ROM/ EPROM (KB)	RAM (B)	时钟 频率 (MHz)	I/O 口线	定时 器/计 数器	串行 口	中断 源	PCA 通道	A/D 通 道	省电 方式
83C51GB	8	256	12、16	48	3	1	15	10	8	√
87C51GB	8	256	12、16	48	3	1	15	10	8	√
80C152JA	—	256	16.5	40	2	1	11	0	0	√
80C152JB	—	256	16.5	56	2	1	11	0	0	√
83C152JA	8	256	16.5	40	2	1	11	0	0	√
80C51SL-BG	—	256	16	24	2	1	10	0	4	√
81C51SL-BG	8	256	16	24	2	1	10	0	4	√
83C51SL-BG	8	256	16	24	2	1	10	0	4	√
80C51SLAH	—	256	16	24	2	1	10	0	4	√
81C51SLAH	16	256	16	24	2	1	10	0	4	√
83C51SLAH	16	256	16	24	2	1	10	0	4	√
87C51SLAH	16	256	16	24	2	1	10	0	4	√
80C51SLAL	—	256	16	24	2	1	10	0	4	√
81C51SLAL	16	256	16	24	2	1	10	0	4	√
83C51SLAL	16	256	16	24	2	1	10	0	4	√
87C51SLAL	16	256	16	24	2	1	10	0	4	√

2. Atmel 公司的单片机

Atmel 公司——1984 年成立于美国加利福尼亚州的圣何塞，专门生产各类非易失性存储器，即 EPROM、E²PROM 等。为了进入单片机市场，Atmel 公司于 1994 年以 E²PROM 技术与 Intel 公司的 80C31 单片机核心技术进行交换，从而取得 80C31 核的使用权。Atmel 公司将自身的优势，即先进的 Flash 技术和 80C31 核相结合，生产出具有 8051 结构的 Flash 型和 E²PROM 型单片机（尤其是 89C51 和 89C52），由于与 Intel 的 MCS-51 系列单片机中的典型产品完全兼容、开发和使用简便，在我国得到了广泛的应用。表 1-2 列出了 Atmel 公司 8051 结构单片机主要产品的特性。

表 1-2 Atmel 公司 8051 结构单片机的特性

型 号	程序存储器 (KB)	RAM (B)	时钟 频率 (MHz)	I/O 口线	定时 器/计 数器	串行 口	中断 源	WDT	A/D 通道	ISP	工作电压 (V)	省电 方式
AT80F51	4 (OTP)	128	12	32	2	1	5	—	—	—	5	√
AT80F52	8 (OTP)	256	20	32	3	1	8	—	—	—	5	√
AT89C1051U	1 Flash	64	24	15	2	1	6	—	—	—	2.7~6	√
AT89C2051	2 Flash	128	24	15	2	1	6	—	—	—	2.7~6	√
AT89C4051	4 Flash	128	24	15	2	1	6	—	—	—	2.7~6	√
AT89C51	4 Flash	128	24	32	2	1	6	—	—	—	5	√
AT89C52	8 Flash	256	24	32	3	1	8	—	—	—	5	√

续表

型 号	程序存储器 (KB)	RAM (B)	时钟 频率 (MHz)	I/O 口线	定时 器/计 数器	串行 口	中断 源	WDT	A/D 通道	ISP	工作电压 (V)	省电 方式
AT89C55	20 Flash	256	33	32	3	1	8	—	—	—	5	√
AT89LV51	4 Flash	128	12	32	2	1	6	—	—	—	2.7~6	√
AT89LV52	8 Flash	256	12	32	3	1	8	—	—	—	2.7~6	√
AT89S53	12 Flash	256	24	32	3	1+SPI	9	√	—	—	4~6	√
AT89S8252	8 Flash、 2E ² PROM	256	24	32	3	1+SPI	9	√	—	—	4~6	√
AT87F51	4 Flash	128	24	32	2	1	6	—	—	—	5	√
AT87F52	8 Flash	256	24	32	3	1	8	—	—	—	5	√
AT87F51RC	32 Flash	512	24	32	3	1	8	√	—	—	4~6	√
AT89LV55	20 Flash	256	12	32	3	1	8	—	—	—	2.7~6	√
AT89LS53	12 Flash	256	12	32	3	1+SPI	9	√	—	—	2.7~6	√
AT89LS8252	8 Flash、 2E ² PROM	256	12	32	3	1+SPI	9	√	—	—	2.7~6	√
AT89S4D12	132 Flash	256	12	5	2	SPI	5	—	—	—	3.3	√
AT89C51ED2	64 Flash、 2E ² PROM	2048	60	50/34	3	1+SPI	9	√	—	√	2.7~5.5	√
AT89C51IC2	32 Flash	1280	60	34	3	1+SPI	10	√	—	√	2.7~5.5	√
AT89C51ID2	64 Flash、 2E ² PROM	2048	60	50/34	3	1+SPI	10	√	—	√	2.7~5.5	√
AT89C51RB2	16 Flash	1280	60	32	3	1+SPI	9	√	—	√	2.7~5.5	√
AT89C51RC	32 Flash	512	33	32	3	1	8	√	—	—	4.0~6.0	√
AT89C51RC2	32 Flash	1280	60	32	3	1+SPI	9	√	—	√	2.7~5.5	√
AT89C51RD2	64 Flash、 2E ² PROM	2048	60	50/34	3	1+SPI	9	√	—	√	2.7~5.5	√
T89C5115	16 Flash、 2E ² PROM	512	40	20	3	1+SPI	14	√	√	√	3.0~5.5	√
T89C51AC2	32 Flash、 2E ² PROM	1280	40	34	3	1+SPI	14	√	√	√	3.0~5.5	√
AT89C51CC03	64 Flash、 2E ² PROM	2048	40	36	3	1+SP、 CAN	14	√	√	√	3.0~5.5	√
AT89C5131	32 Flash、 4E ² PROM	1280	48	34	3	1+SPI、 USB	14	√	—	√	3.0~3.6	√
AT89C5132	64 Flash	2304	20	44	2	1+SPI、 USB、I ² C	14	√	√	√	3.0	√

3. Silicon Laboratories 公司的单片机

C8051F 系列单片机是一种典型的高性能单片机,原是 Cygnal 公司的产品。该公司于 2003 年并入 Silicon Laboratories 公司。C8051F 系列是完全集成的混合信号系统级芯片(SOC System of Chip),具有与 MCS-51 完全兼容的指令内核。该系列单片机采用流水线处理技术,不再区

分时钟周期和机器周期,能在执行指令期间预处理下一条指令,提高了指令执行效率。而且大部分 C8051F 单片机具备控制系统所需的模拟和数字外设,包括看门狗、ADC、DAC、电压比较器、电压基准、定时器、PWM、定时器捕捉和方波输出等,并具备多种总线接口,包括 UART、SPI、SMBUS(与 I²C 兼容)总线以及 CAN 总线。C8051F 系列单片机采用 Flash ROM 技术,集成 JTAG,支持在线编程。C8051F 系列单片机的诸多特点和优越性,使其广受单片机系统设计工程师的青睐,成为很多测控系统设计的首选机型。这种单片机的调试系统支持存储器和寄存器的检查与修正、设置断点、观察点、单步、运行和停止命令。Silicon Laboratories 开发工具能够实现全速及非插入式在线调试。表 1-3 列出了 Silicon Laboratories 公司的部分 C8051F 系列单片机的主要特性。

表 1-3 Silicon Laboratories 公司 C8051F 系列单片机的主要特性

型号	MIPS (峰值)	Flash 存储器 (KB)	RAM (B)	外部存储器接口	CAN2.0B	SMB/I ² C	SPI	UART	定时器 (16 位)	可编程计数器阵列 (PCA)	内部振荡器精度 (%)	数字端口 I/O	ADC 分辨率 (位)	ADC 最大速度 (ksps)	ADC 输入	电压基准	温度传感器	DAC 分辨率 (位)	DAC 输出	电压比较器	封装
C8051F000	20	32	256	—	—	√	√	1	4	5	20	3	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F001	20	32	256	—	—	√	√	1	4	5	20	16	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP48
C8051F002	20	32	256	—	—	√	√	1	4	5	20	8	12	100	4	√	√	12	2	1	LQFP32
C8051F005	25	32	2304	—	—	√	√	1	4	5	20	32	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F006	25	32	2304	—	—	√	√	1	4	5	20	16	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP48
C8051F007	25	32	2304	—	—	√	√	1	4	5	20	8	12	100	4	√	√	12	2	1	LQFP32
C8051F010	20	32	256	—	—	√	√	1	4	5	20	32	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F011	20	32	256	—	—	√	√	1	4	5	20	16	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP48
C8051F012	20	32	256	—	—	√	√	1	4	5	20	8	10	100	4	√	√	12	2	1	TQFP32
C8051F015	25	32	2304	—	—	√	√	1	4	5	20	32	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F016	25	32	2304	—	—	√	√	1	4	5	20	16	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP48
C8051F017	25	32	2304	—	—	√	√	1	4	5	20	8	10	100	4	√	√	12	2	1	LQFP32
C8051F018	25	16	1280	—	—	√	√	1	4	5	20	32	10	100	8	√	√	—	—	2	TQFP64
C8051F019	25	16	1280	—	—	√	√	1	4	5	20	16	10	100	8	√	√	—	—	2	TQFP48
C8051F020	25	64	4352	√	—	√	√	2	5	5	20	64	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP100
C8051F021	25	64	4352	√	—	√	√	2	5	5	20	32	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F022	25	64	4352	√	—	√	√	2	5	5	20	64	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP100
C8051F023	25	64	4352	√	—	√	√	2	5	5	20	32	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F040	25	64	4352	√	√	√	√	2	5	6	2	64	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP100
C8051F041	25	64	4352	√	√	√	√	2	5	6	2	32	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F042	25	64	4352	√	√	√	√	2	5	6	2	64	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP100
C8051F043	25	64	4352	√	√	√	√	2	5	6	2	32	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64

续表

型号	MIPS (峰值)	Flash 存储器 (KB)	RAM (B)	外部存储器接口	CAN20B	SMB/I ² C	SPI	UART	定时器 (16 位)	可编程计数器阵列 (PCA)	内部振荡器精度 (%)	数字端口 I/O	ADC 分辨率 (位)	ADC 最大速度 (ksps)	ADC 输入	电压基准	温度传感器	DAC 分辨率 (位)	DAC 输出	电压比较器	封装
C8051F060	25	64	4352	√	√	√	√	2	5	6	2	59	12	1000	1	√	√	12	2	3	TQFP100
C8051F061	25	64	4352	—	√	√	√	2	5	6	2	24	12	1000	1	√	√	12	2	3	TQFP64
C8051F120	100	128	8448	√	—	√	√	2	4	6	2	64	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP100
C8051F121	100	128	8448	√	—	√	√	2	4	6	2	32	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F122	100	128	8448	√	—	√	√	2	4	6	2	64	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP100
C8051F123	100	128	8448	√	—	√	√	2	4	6	2	32	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F124	50	128	8448	√	—	√	√	2	5	6	2	64	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP100
C8051F125	50	128	8448	√	—	√	√	2	5	6	2	32	12	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F126	50	128	8448	√	—	√	√	2	5	6	2	64	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP100
C8051F127	50	128	8448	√	—	√	√	2	5	6	2	32	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F130	100	128	8448	√	—	√	√	2	5	6	2	64	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP100
C8051F131	100	128	8448	√	—	√	√	2	5	6	2	32	10	100	8	√	√	12	2	2	TQFP64
C8051F206	25	8	1280	—	—	—	√	1	3	—	20	32	12	100	32	—	—	—	—	2	TQFP48
C8051F220	25	8	256	—	—	—	√	1	3	—	20	32	8	100	32	—	—	—	—	2	TQFP48
C8051F221	25	8	256	—	—	—	√	1	3	—	20	22	8	100	22	—	—	—	—	2	LQFP32
C8051F226	25	8	1280	—	—	—	√	1	3	—	20	32	8	100	32	—	—	—	—	2	TQFP48
C8051F230	25	8	256	—	—	—	√	1	3	—	20	32	—	—	—	—	—	—	—	2	TQFP48
C8051F231	25	8	256	—	—	—	√	1	3	—	20	22	—	—	—	—	—	—	—	2	LQFP32
C8051F236	25	8	1280	—	—	—	√	1	3	—	20	32	—	—	—	—	—	—	—	2	TQFP48
C8051F300	25	8	256	—	—	√	—	1	3	3	2	8	8	500	8	—	√	—	—	1	QFN 11
C8051F301	25	8	256	—	—	√	—	1	3	3	2	8	—	—	—	—	—	—	—	1	QFN 11
C8051F302	25	8	256	—	—	√	—	1	3	3	20	8	8	500	8	—	√	—	—	1	QFN 11
C8051F303	25	8	256	—	—	√	—	1	3	3	20	8	—	—	—	—	—	—	—	1	QFN 11
C8051F310	25	16	1280	—	—	√	√	1	4	5	2	29	10	200	21	—	√	—	—	2	LQFP32
C8051F311	25	16	1280	—	—	√	√	1	4	5	2	25	10	200	17	—	√	—	—	2	QFN28
C8051F320	25	16	2304	—	USB	√	√	1	4	5	1.5	25	10	200	17	—	√	—	—	2	LQFP32
C8051F321	25	16	2304	—	USB	√	√	1	4	5	1.5	25	10	200	13	—	√	—	—	2	LQFP28
C8051F330	25	8	768	—	—	√	√	1	4	3	2	17	10	200	16	—	√	10	1	1	QFN20
C8051F331	25	8	768	—	—	√	√	1	4	3	2	17	—	—	—	—	—	10	1	1	QFN20
C8051F350	50	8	768	—	—	√	√	1	4	3	2	17	24	1	8	√	√	8	2	1	LQFP32
C8051F351	50	8	768	—	—	√	√	1	4	3	2	17	24	1	8	√	√	8	2	1	QFN28
C8051F352	50	8	768	—	—	√	√	1	4	3	2	17	16	1	8	√	√	8	2	1	LQFP32
C8051F353	50	8	768	—	—	√	√	1	4	3	2	17	16	1	8	√	√	8	2	1	QFN28

4. 其他著名公司的 8 位单片机

(1) Motorola 公司的单片机品种特别多, 8 位机主要有 68HC05、68HC08 和 68HC11 几种。68HC05 是 Motorola 公司推出的一种采用 HCMOS 技术的 8 位单片机, 是世界上产量排名第一的著名单片机 CPU。它的典型代表为 MC68HC705C8A, 它有 8 位 CPU、8KB EPROM、304B RAM、16 位多功能定时器、34 根 I/O 线 (31 根双向 I/O 线、3 根中断和定时器输入/输出线)、串行通信口、串行扩展口、看门狗、5 个中断向量 (9 个中断源)。68HC05 有几十种型号, 它们的程序存储器 (ROM、EPROM) 和 RAM 容量、引脚封装、存储空间分配、I/O 功能各不相同, 以适应各种应用场合的不同需要。68HC08 系列单片机的主要特点是提供便于开发, 价格低廉的 Flash 型单片机产品, 拥有 16 位多功能定时模块, 并行口具有拉高、开路、键中断、大电流驱动等功能, 还有 UART、SPI、A/D 等特殊 I/O 部件。

(2) 东芝公司的单片机具有功能强、可靠性高、价格低等特点, 特别适合于空调、电冰箱等家电产品。东芝公司有 TLCS-470 系列 4 位单片机, TLCS870、TLCS870/X、TLCS870/C、TLCS-900 系列 8 位单片机, TLCS-900 系列 16/32 位单片机。这些单片机的 CPU 及指令功能强, 而且拥有丰富的外围部件。

(3) Philips 公司生产 8051 结构的 80C51 系列 8 位单片机, 采用 8051 结构的 16 位单片机和以 68000 为核的 16 位单片机。其中 80C51 系列 8 位单片机品种多、片内资源丰富、容易开发应用产品, 因此得到广泛的应用。80C51 系列单片机的特点是具有便于开发的 Flash 型单片机, 具有 I²C 串口、8~10 位 A/D 转发器、CAN BUS 接口, 程序存储器和数据存储器容量大。

除此以外, 著名的单片机厂商还有 Hitachi、Siemens、NS、三菱、Microchip、Zilog 等公司, 产品型号众多, 并不断有新产品问世。可用于各种应用场合和不同的应用需求。如今, 凡是读者能想到的行业和领域都能看到单片机的应用例子, 科技的发展和社会的需求促使计算机的嵌入式应用在近年来得到迅速发展, 并且这种发展的势态将越来越迅猛。

1.2 单片机的应用及发展趋势

1.2.1 单片机的应用

单片机具有体积小、重量轻、价格便宜、功耗低、控制功能强及运算速度快等特点, 因而在国民经济建设、军事及家用电器等各个领域均得到了广泛的应用。对各个行业的技术改造和产品的更新换代起重要的推动作用。

1. 单片机在智能仪表中的应用

单片机广泛地应用于电力系统、交通运输工具、计量等各种仪器仪表之中, 使仪器仪表智能化。提高它们的测量精度, 加强其功能, 简化仪器仪表的结构, 使其便于使用、维护和改进。例如智能电参数仪表, 出租车计价器, 电阻、电容、电感测量仪, 船舶航行状态记录仪, 烟叶水分测试器和智能超声波测厚仪等。

2. 单片机在机电一体化中的应用

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、自

动化技术和计算机技术于一体,具有智能化特征的机电产品。例如数控铣床、车床、钻床、磨床等。单片机的出现促进了机电一体化,它作为机电产品中的控制器,能充分发挥其体积小、可靠性高、功能强、安装方便等优点,大大强化了机器的功能,提高了机器的自动化、智能化程度。

3. 单片机在实时控制中的应用

单片机也广泛应用于各种实时控制的系统中,如对工业上各种窑炉的温度、酸度、化学成分的控制。汽车电子中微型控制器的使用越来越多。将测量技术、自动控制技术和单片机技术相结合,充分发挥数据处理和实时控制功能,使系统工作于最佳状态,提高系统的生产效率和产品的质量。在航空航天、通信、遥控、遥测等各种实时控制系统中都可以用单片机作为控制器。

4. 单片机在分布式多机系统中的应用

分布式多机系统具有功能强、可靠性高的特点。在比较复杂的系统中,都采用分布式多机系统。系统中有若干台功能各异的计算机,各自完成特定的任务,它们又通过通信接口相互联系、协调工作。单片机在这种多机系统中,往往作为一个终端机,安装在系统的某些节点上,对现场信息进行实时的测量和控制。高档的单片机多机通信(并行或串行)功能很强,它们在分布式多机系统中将发挥巨大的作用。

5. 单片机在家用电器等消费类领域中的应用

许多日常产品都包含用户完全意识不到的嵌入式智能。有研究表明在经济发达的地区,一般的消费者每天中午前接触到的物品中就包含近 100 个嵌入式单片机。从烤面包机、吹风机、无绳电话、安全系统、微波炉、洗衣机到汽车等众多产品都加入了嵌入式智能器件来增强可靠性、改善能效、保证安全、提高产品灵活性或简化用户接口。单片机应用到消费类产品之中,能大大提高它们的性能价格比,因而受到用户的青睐,提高产品在市场上的竞争力。目前家用电器几乎都是单片机控制的电脑产品,例如空调、电冰箱、洗衣机、微波炉、电视机、音响、家庭报警器、电子宠物、手机、MP3 等。

1.2.2 单片机的发展趋势

现在可以说单片机是在百花齐放,百家争鸣的时期,世界上各大芯片制造公司都推出了自己的单片机,从 8 位、16 位到 32 位,数不胜数,应有尽有,有与主流 C51 系列兼容的,也有不兼容的,但它们各具特色,互成互补,为单片机的应用提供了广阔的天地。纵观单片机的发展过程,可以预示单片机的发展趋势,大致包含如下几方面。

1. 低成本高度集成的单片机片上系统

单片机发展的一个重要趋势是寻求应用系统在芯片上的最大化解决。因此,专用单片机的发展自然形成了 SOC (System On Chip) 化趋势。随着微电子技术、IC 设计、EDA 工具的发展,基于 SOC 的单片机应用系统设计会有较大的发展。因此,对单片机的理解可以从单片微型计算机、单片微控制器延伸到单片应用系统。目前单片机可集成越来越多的内置部件。常用的部件有存储器类,包括程序存储器 ROM/OTPROM/EPROM/E²PROM/Flash 和数据存储器 SRAM/SDRAM/SSRAM; 有串行接口类,包括 UART、SPI、I²C、CAN、IR、Ethernet、HDLIC; 有并行接口类,包括 Centronics、PCI、IDE、GPIO 等; 有定时和时钟类,包括

Timer/Counter、RTC、看门狗、Clock out; 有专用和外围接口类, 包括 Comparer (比较器)、ADC、DAC、LCD 控制器、DMA、PWM、PLL、MAC、温度传感器等。甚至有的公司已把语音、图像部件也集成到单片机中, 目的就是在单个器件中集成所有所需要用到的部件, 形成片上系统 (SOC)。由于 Silicon Laboratories 公司推出的 C8051F 系列单片机在一个芯片中集成了构成数据采集系统或控制系统需要的几乎所有的数字和模拟外围接口及功能部件, 所以这种混合信号芯片被称为 SOC。

2. 8 位单片机的市场份额依然领先

如果单片机的总体需求在不断增长, 那么 8 位单片机是否能够保持出货量最大的地位, 答案是肯定的。因为有几个因素都表明了这一趋势。首先, ASCII 字符本身就是 8 位数据类型, 并且可容易地扩展为多个字节, 而不会增加结构的复杂性 (如大多数 32 位系统中的边界对齐或部分字操作)。“让事情尽可能简单”的原则有助于更快地完成系统设计、验证并投入生产, 同时减少潜在问题。

许多使用 32 位单片机作为中央处理器的应用通常都采用一个 8 位单片机作为协处理器来处理外围任务, 这样可以使主处理器集中处理核心任务。

将所有复杂的软件和硬件都集中到单个处理器可能会延长开发时间, 并且几乎肯定会延长设计验证周期。软件开发的一条理论表明开发时间并不与软件规模成正比。如果软件规模加倍 (代码行数是常用的基准), 那么由于系统验证的关系, 开发时间肯定会是原来的两倍或更长。由于有许多相互依赖关系需要测试才能保证正常工作, 所以验证周期将延长。更好的方法可能是对每种任务采用较小规模的专用处理器, 将系统划分为多个更小、更好管理的部分, 从而使软件规模更小且更容易验证。大型的 32 位处理器在通信应用中起到重要的作用, 但 8 位单片机仍然可提供关键的外围功能。

3. 处理器的多核结构

随着嵌入式应用的深入, 特别是在数字通信和网络中的应用, 对处理器提出了更高的要求。为适应这种情况, 现在已出现多核结构的处理器。Motorola 公司研发的 MPC8260 PowerQUICC II 就是一种先进的为电信和网络市场而设计的集成通信微处理器。它融合了两个 CPU——嵌入式 PowerPC 内核和通信处理模块 (CPM)。由于 CPM 分担了嵌入式 PowerPC 内核的外围工作任务, 这种双处理器体系结构的功耗反而要低于传统体系结构的处理器。Infineon 公司推出的 TC10GP 和增强型 TC1130 都是三核 (TriCore) 结构的微处理器。它同时具备 RISC、CISC 和 DSP 功能, 是一种建立在 SOC 概念上的结构。这种单片机由 3 个核组成: 微控制器和 DSP 核、数据和程序存储器核、外围专用集成电路 (ASIC)。这种单片机的最大特点是把 DSP 和微控制器融合成一个单内核, 大大提高了微控制器的功能。具有类似结构的还有 Hitachi 公司的 SH7410、SH7612 等。它们用于既需要 SCM 又需要 DSP 功能的场合, 比使用单独 SCM 和 DSP 的组合提供了更优越的性能。

4. 功耗更低

现在新推出的单片机功耗越来越小, 很多单片机都有多种工作方式, 包括等待、暂停、休眠、空闲、节电等工作方式。例如 Philips 公司的 P87LPC762, 空闲状态下的电流为 1.5mA, 而在节电状态下电流只有 0.5mA。很多单片机还允许在低振荡频率下以极低的功耗工作。例如, P87LPC764 在 32.768 kHz 低频下, 正常工作电流仅为 $I_{dd}=16\mu A$ ($V_{DD}=3.6V$), 空闲状态

下 $I_{dd}=7\mu A$ ($V_{DD}=3.6V$)。

5. 电压范围更宽

扩大电源电压范围以及在较低电压下仍然能工作是现在新推出的单片机的一个特点。目前一般单片机都可以在 3.3~5.5V 的范围内工作,有些产品则可以在 2.2~6V 的范围内工作。例如, Fujitsu 公司的 MB8919X、MB8912X 和 MB89130 系列以及 F2MC-8L 系列 MCU, 绝大多数工作电压范围都为 2.2~6V; 而 TI 公司 MSP430X11X 系列的工作电压可以低至 2.2V。Motorola 公司针对长时间处在待机模式的装置所设计的超省电 HCS08 系列单片机, 已经把可工作的最低电压降到了 1.8V。

6. 工艺更先进和封装更小

现在单片机的封装水平已大大提高, 有越来越多的单片机采用了各种贴片封装形式, 以满足便携式手持设备的需要。Microchip 公司推出了目前世界上体积最小的 6 引脚 PIC10F2XX 系列单片机。为了适应各种应用的需要, 减少驱动电路, 很多单片机的输出能力都有了很大提高, Motorola 公司单片机的 I/O 口灌电流可达 8mA 以上, 而 Microchip 公司的单片机可达 20~25mA, 其他如 AMD、Fujitsu、NEC、Infineon、Hitachi、Atmel、东芝等都在 8~20mA 之间。

7. 开发形式、手段和工具

随着开发对象复杂度的提高, 硬件和软件设计比例发生了巨大变化。软件开发的比重越来越大, 复杂系统的设计已不可能由一个设计师包揽硬件和软件, 而必须由一个团队来分工合作完成。由此也推动了开发形式、手段和工具的发展, 特别是硬件/软件协同设计和验证技术、设计管理技术(如版本管理软件)和各种嵌入式系统设计工具软件的发展。过去, 几乎所有 4/8/16 位 MCU 的开发都必须要有用于实时调试的专用在线仿真器(ICE), 其开发过程总是先设计、制作和调试好硬件, 同时进行软件编程, 在调试好硬件电路板之前, 对软件最多仅能进行关于纯逻辑和计算的调试。只有在已调试好的硬件基础上, 才能进行系统应用软件的调试, 所有可以提供的程序库或应用软件包都是专用的。对于 32 位嵌入式处理器来说, 随着时钟频率越来越高(50~400MHz 以上), 加上复杂的封装形式(如 BGA), ICE 已经越来越难胜任开发工具的工作。目前替代的基本方法是借助于 JTAG 接口构成 JTAG 调试器, 直接从 CPU 获取调试信息而使得产品的设计简化, 从而使得开发工具的价格反而要低于 ICE。实际上 8 位单片机的开发也已经采用该技术, 如 Silicon Laboratories 公司推出的 C8051F 系列单片机。软件和硬件工程师并行工作是一种发展潮流。通过协同设计, 特别是协同验证技术, 软件工程师能尽早真实硬件上测试, 而硬件工程师也能尽早原型设计周期中验证他们的设计。

因为嵌入式系统的复杂性和多样性, 不可能有一个统一的完整解决方案, 所以不同的 EDA 供应商推出了各种商用嵌入式系统设计环境。如有 Synopsys 公司的 Co-Centric System Studio、Cadence 公司的虚拟元件协同设计(VCC)、CoWare 公司的 CoWare N2C 等, 还有世界各地的大学也为嵌入式系统设计开发出各种用于特定应用的免费工具。开发平台能让产品可靠和迅速上市是嵌入式系统的普遍要求。为了提高时效, 过去“一切自行设计”的模式已逐渐被“尽量采用具有 IP 的产品”所代替。这又推动了标准实时操作系统(RTOS)和相应的调试技术的发展。由于 32 位结构的 MPU/MCU 资源丰富, 指令集相对庞大, 而且系统软