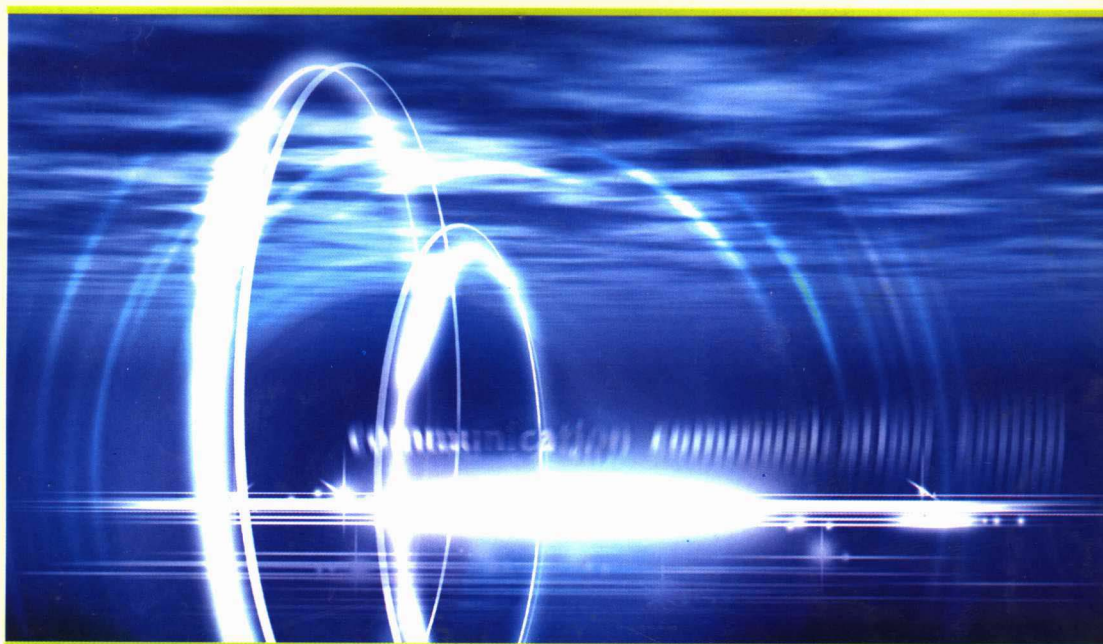


8051单片机的C语言 应用程序设计与实践



刘昌华 易达 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TP312/2573D

2007

8051 单片机的 C 语言应用程序设计与实践

刘昌华 易 逵 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书结合目前应用非常广泛的C语言及KeilC51编译器,全面介绍了最新版本Cx51编译器新增加的控制命令,给出了全部Cx51运行库函数及其应用范例,详细介绍了Keil Cx51软件包中的各种应用工具。uVision2已经将调试器功能集成于其中,用户可以在单一环境下完成从源程序编写、编译、连接定位一直到目标文件的仿真调试等全部工作,书中详细介绍了uVision2的各种功能和应用,包括软件模拟调试和硬件目标板实时在线仿真。

全书共分6章及2个附录,收集并整理了许多实用的采用Cx51单片机开发的程序,这些程序既可以开拓思路,提供参考,又是实际的开发程序,通过本书的学习可以进一步了解和掌握Cx51编程的思路和方法。

本书条理清晰、叙述简洁,可作为大专院校师生课程设计、毕业设计和全国大学生电子设计竞赛的参考教材,也可作为从事单片机项目开发与应用的技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

8051单片机的C语言应用程序设计与实践/刘昌华,易
逵编著. —北京:国防工业出版社,2007.9
ISBN 978-7-118-05326-5

I. 8... II. ①刘... ②易... III. ①单片微型计算机—程
序设计②C语言—程序设计 IV. TP368.1 TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第124948号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)
天利华印刷装订有限公司印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 10 1/4 字数 242千字
2007年9月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 25.00元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

单片机因其独特的优点而广泛应用于各行各业,越来越多的企业也把掌握单片机技术作为招聘技术人员的标准之一。8051 是 Intel 公司开发的一款相当成功的单片机,现已普遍应用于工业生产中,目前很多半导体公司制造出了与 8051 兼容的单片机,他们构成了所谓的 51 系列单片机。

目前介绍 51 单片机应用的书籍很多,但基本上是基于汇编语言的,与汇编语言相比,C 语言在功能、结构、可读性及可维护性上有明显的优势,易学易用,因此出现了专门用于 8051 系列的单片机编程 C 语言。采用 C 语言编程不必对单片机和硬件接口的结构有很深入的理解,编译器可以自动完成变量的存储单元的分配,设计者可以专注于应用软件的设计,大大加快系统的开发速度。

Keil 公司 C51 编译器 DOS 版本曾通过美国 Franklin 公司在市场上销售多年,最早传入我国并得到广泛使用的是 FranklinC51 V3.2 版本。随着时间的推移,Keil 公司的产品不断升级,V5.0 以上版本的 C51 编译器就配有基于 Windows 的 uVision 集成开发环境和 dScope 软件模拟调试程序,现在 Keil 公司的编译器有支持经典 8051 及其派生产品的版本,统称为 Cx51。新版本 uVision2 把 uVision1 用的模拟调试器 dScope 与集成开发环境无缝结合起来,界面友好,使用方便,支持的单片机品种多。

本书详细介绍了 Keil Cx51 V7.0C 语言编译器和全新 Windows 集成开发环境 uVision2 的强大功能和具体使用方法。全面介绍了最新版本 Cx51 编译器新增加的控制命令,给出了全部 Cx51 运行库函数及其应用范例,详细介绍了 Keil Cx51 软件包中的各种应用工具。

本书的特点是强调先进性和实用性,结合笔者项目开发的实际经验,给出了大量程序实例,由于篇幅有限,开发软件部分放入本书附送的光盘中。本书中的 C 语言是针对 8051 特有结构描述的,即使是无编程基础的人,也可通过本书学习单片机的 C 语言编程。

本书凝聚了作者多年教学及单片机应用系统开发的经验,也是湖北省教育厅教学研究项目“计算机学科教育中的分级实践教学模式研究(20050343)”的研究成果之一,其内容丰富,结构完整,概念清楚,通俗易懂,可读性、可操作

性强。不仅可以作为大专院校师生、培训班师生和全国大学生电子设计竞赛的教材,也可作为从事单片机应用的技术人员的参考用书。

全书共分6章,第1章介绍了MCS51单片机的基本原理、内外部结构、工作方式及C语言程序设计概述;第2章介绍了uVision2(Keil C51 v6. xx的版本)集成开发环境的特点和使用方法、Keil C51交叉编译器、A51宏汇编器;第3章介绍了Cx51程序设计的基本语法、基本语句、函数、指针等;第4章介绍了C51语言程序设计的一些基本技巧,并对定时器、串并口编程举了几个实例;第5章介绍了单片机与PC之间通信的问题,并举了几个实例;第6章举了几个具体的应用实例。

本书由刘昌华、易远编写,刘昌华负责统稿,由于编者水平有限,时间仓促,难免会有不足和错误,敬请各位专家批评指正。有关本书相关问题请通过网站“www.whpu.edu.cn”或电子邮件 liuch@whpu.edu.cn 与作者联系。

编著者

2007年5月于汉口常青花园

目 录

第 1 章 MCS-51 单片机介绍	1
1.1 单片机概述	1
1.1.1 微型计算机与单片机	1
1.1.2 单片机的历史与发展趋势	3
1.2 单片机的内部、外部结构	9
1.2.1 8051 单片机内部结构	9
1.2.2 8051 单片机的外部引脚	11
1.3 单片机的工作方式	13
1.3.1 复位方式	13
1.3.2 程序执行方式	15
1.3.3 节电和掉电方式	15
1.3.4 编程、校验和加密方式	16
1.4 MCS-51 的 C 语言程序设计概述	17
1.4.1 MCS-51 单片机 C 语言——C51	17
1.4.2 单片机 C51 程序设计的流程和规范	19
1.5 互联网上的单片机资源	21
第 2 章 开发工具	22
2.1 uVision2 集成开发环境	23
2.1.1 开发环境	24
2.1.2 菜单、工具条和快捷键	24
2.2 C51 优化的 C 语言交叉编译器	30
2.2.1 C51 语言的扩展	30
2.2.2 数据类型	30
2.2.3 存储器类型	31
2.2.4 存储模式	33
2.2.5 指针	34
2.2.6 重入函数	36
2.2.7 中断服务程序	36
2.2.8 参数传递	37

2.2.9	函数返回值	37
2.2.10	寄存器优化	37
2.2.11	对实时操作系统的支持	38
2.2.12	和汇编语言的接口	38
2.2.13	和 PL/M-51 的接口	39
2.2.14	代码优化	39
2.2.15	C51 对 8051 的特殊优化	40
2.2.16	代码生成选项	40
2.2.17	调试	40
2.2.18	库函数	40
2.2.19	内连的库函数	41
2.2.20	编译器的调用	41
2.3	A51 宏汇编器	41
2.3.1	源码级调试	41
2.3.2	功能一览	41
2.3.3	列表文件	42
2.4	BI.51 具有代码分段功能的连接/重定位器	43
2.4.1	数据地址管理	43
2.4.2	代码分段	43
2.4.3	映像文件	44
2.5	OC51 分段目标文件转换器	44
2.6	OH51 目标代码到 HEX 文件的转换器	45
2.7	事例:建立工程	45
第 3 章	Cx51 程序设计基础	54
3.1	标识符与关键字	54
3.2	单片机 Cx51 的数据类型	54
3.3	Cx51 程序设计的基本语法	58
3.3.1	常量	58
3.3.2	变量	62
3.3.3	用 typedef 重新定义的数据类型	64
3.3.4	运算符和表达式	65
3.4	Cx51 程序的基本语句	74
3.4.1	表达式语句	74
3.4.2	复合语句	76
3.4.3	C51 流程控制语句	77
3.5	函数	82

3.5.1	函数的分类与定义	82
3.5.2	函数的调用	83
3.6	数组与指针	84
3.6.1	数组	84
3.6.2	指针	85
3.6.3	结构	85
3.7	C51 应用编程实例	86
第 4 章	编程技巧与应用实例	93
4.1	C51 语言程序设计的基本技巧	93
4.1.1	编写 C51 应用程序的基本原则	93
4.1.2	C51 程序设计中容易出错的地方	97
4.1.3	有关 C51 的若干实际应用技巧	99
4.2	8051 单片机的片内定时器应用编程	101
4.2.1	内置定时/计数器	101
4.2.2	定时器实例	104
4.3	8051 单片机的片内串行口应用编程	104
4.3.1	内置 UART	104
4.3.2	串行口编程实例	106
4.3.3	利用 8051 串行口实现多机通信	110
4.4	8051 单片机并行接口扩展应用编程	112
4.4.1	打印输出接口及其驱动程序	112
4.4.2	用可编程芯片 8155 实现 I/O 接口扩展	115
第 5 章	单片机与 PC 机通信	131
5.1	RS-232 通信	131
5.1.1	RS-232 接口电路	131
5.1.2	8051 串行接口	132
5.2	单片机双机通信	135
5.2.1	通信接口设计	135
5.2.2	单片机双机通信程序设计	135
5.3	基于 RS-485 总线的 PC 与多单片机间的串行通信	139
5.3.1	通信系统的硬件设计	139
5.3.2	通信协议的设计	140
5.3.3	通信系统的软件设计	141
第 6 章	单片机应用系统实例	143
6.1	单片机驱动标准 PC 机键盘的 C51 程序	143

6.2	高精度实时时钟——SD2310AS	145
6.3	简易智能电动车	147
6.3.1	方案比较、选择与论证	148
6.3.2	系统总体方案设计	148
6.4	I ² C 串行总线标准驱动程序	153
6.4.1	I ² C 总线概述	153
6.4.2	I ² C 总线的组成及 I ² C 总线性能	153
6.4.3	I ² C 总线在单片机 8031 中的实现	155
附录 A	光盘说明	158
附录 B	Cx51 库函数	159
参考文献	163

第 1 章 MCS-51 单片机介绍

1.1 单片机概述

单片机又称单片微控制器,它不是完成某一个逻辑功能的芯片,而是把一个计算机系统集成到一个芯片上。概括地讲:一块芯片就成了一台计算机。它的体积小、质量轻、价格便宜,为学习、应用和开发提供了便利条件。

1.1.1 微型计算机与单片机

单片机是微型计算机的一个重要分支,也是一种非常活跃且颇具生命力的机种。为便于了解单片机的基本概念,应首先了解微型计算机的结构和原理。

1. 微型计算机的结构

微型计算机由微处理器(CPU)、一定容量的内部存储器(包括 ROM、RAM)、输入/输出接口电路组成,各功能部件之间通过总线有机地连接在一起,其基本结构如图 1-1 所示。

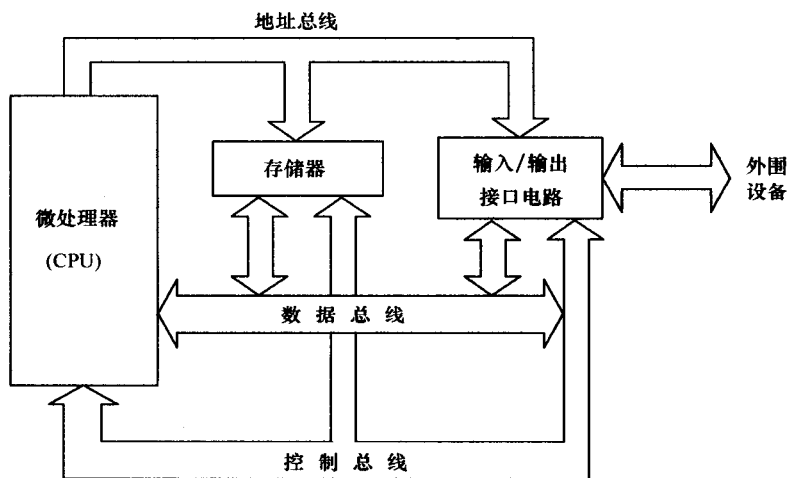


图 1-1 微型计算机基本结构

微处理器具有算术运算、逻辑运算和控制操作的功能,是整个微型计算机的核心部件;内部存储器,按照读写方式的不同,分为 ROM 和 RAM 两种类型,其主要功能是存放程序和数据,程序是计算机操作的依据,数据是计算机操作的对象,不管是程序还是数据,在存储器中都用二进制的 0 或 1 表示(统称为信息),为实现自动计算,这些信息必须预先放在存储器中,存储器被划分为许多小单元(称为存储单元),每个存储单元相当于一个缓冲寄存器,向存储单元存放、取出信息称为访问存储器;输入/输出接口电路是外围设备与

微型计算机之间的连接电路,在两者之间进行信息交换的过程中,起暂存、缓冲、类型变换及时序匹配的作用;总线是 CPU 与其他各功能部件之间进行信息传输的通道,按所传送信息的类型不同,总线可以分为数据总线(Data Bus, DB)、地址总线(Address Bus AB)和控制总线(Control Bus, CB)三种类型,其中数据总线是负责传输数据的信号线,地址总线是负责传输数据的存储位置或输入/输出接口中寄存器单元地址的信号线,控制总线是在传输与交换数据时起管理控制作用的一组信号线。

2. 微型计算机的工作原理

微处理器、存储器、输入/输出接口电路、外围设备构成计算机的硬件,仅有这些硬件还只是具有了计算的可能,计算机真正进行计算还必须有多种程序的配合。程序是实现既定任务的指令序列,指令是对计算机发出的一条条工作命令,其中的每条指令都规定计算机执行的一种基本操作,计算机按程序安排的顺序执行指令,就可以完成既定任务。

指令必须满足两个条件,一是指令的形式是计算机能够理解的,即采用与数据一样的二进制数字编码形式;二是指令规定的操作必须是计算机能够执行的,即每条指令的操作均有相应的电子线路实现。各种类型的计算机指令都有自己的格式和具体的含义,但必须指明操作性质(如加、减、乘、除等)和参加操作的有关信息(如数据或数据存放的地址等)。指令的不同组合可以构成完成不同任务的程序,一台机器的指令种类是有限的,但通过设计,实现信息处理任务的程序可以无限多,计算机严格忠实地按照程序安排的指令顺序,有条不紊地执行规定的操作,完成预定任务。为实现自动连续地执行程序,必须先把程序和数据送到具有记忆功能的存储器中保存起来,然后由控制器和 ALU 依程序中指令的顺序周而复始地取出指令、分析指令、执行指令,直到完成全部指令操作为止。这就是计算机的基本工作原理。

3. 单片机的产生

可以说,20 世纪跨越了三个“电”的时代,即电气时代、电子时代和现已进入的电子计算机时代。在很长的时间内,电子计算机都是以发展海量数值计算为主,但是电子计算机表现出来的逻辑运算、处理、控制能力,吸引了自动控制领域的专家,要求发展能满足控制对象要求,实现嵌入式应用的计算机系统。通常将以海量数据处理为主的计算机系统称为通用计算机系统,而把嵌入到对象体系(如录像机、摄像机、雷达、飞机等)中的计算机系统称为嵌入式计算机。显然,两者技术的发展方向是不同的,前者以海量数据存储、吞吐,高速数据处理分析及传输为主;而后者是以在对象环境中能可靠运行,对外部物理参数能高速采集及逻辑分析处理,对外部对象的快速控制为主要目的。在 20 世纪 70 年代,科学家完全按照电子系统计算机嵌入式应用的要求,将一个微型计算机的基本系统——微处理器(CPU)、存储器(RAM、ROM、EPROM)、输入/输出接口电路(定时器、计数器、并行 I/O 端口、A/D 等)集成在一片集成电路中,即产生了最早的单片机(Single Chip Micro-computer)。

单片机由单块集成电路芯片构成,内部包含有计算机的基本功能部件。因此,单片机只需要有适当的软件和外部设备,便可组成为一个单片机控制系统。特别适用于控制领域,故又称为微控制器(Micro Controller Unit, MCU)。单片机完全是按照嵌入式系统要求设计的,因此单片机是最典型的嵌入式系统,这种计算机的最小系统只用了一片集成电

路,即可进行简单运算和控制。它体积小,通常都藏在被控机械的“肚子”里。它在整个装置中起着有如人类头脑的作用,它出了毛病,整个装置就瘫痪了。

因此,单片机是依工业控制系统数字化、智能化的迫切要求而提出的。超大规模集成电路的出现,通用 CPU 及其外围电路技术的成熟发展,为单片机的诞生和发展提供了可能。

现在,这种单片机的使用领域已十分广泛,从家用电器、智能仪表、实时工控到通信设备、火箭导航系统等高科技领域,单片机都发挥着十分重要的作用。

1.1.2 单片机的历史与发展趋势

1. 单片机的发展历史

从 1976 年 8 位单片微机诞生到现在,30 年以来,已发展有 16 位单片微机、32 位单片微机,但至今一直以 8 位单片微机为主流机型,这是由单片机的嵌入式应用的特殊需求所决定的。如果以 Intel 公司的 8 位单片微机为主线来介绍单片微机的发展历史的话,其发展历史分为以下 4 个阶段:

1) 第一阶段:单片机启蒙阶段

单片机启蒙阶段开始于 20 世纪 70 年代后期,主要是探索计算机单芯片集成的方法,1975 年美国 TI 公司发布了 TMS-1000 型的 4 位单片机,这是世界上第一台完全单片化的微机。1976 年 9 月 Intel 公司推出了 MCS-48 系列单片机,这是世界上第一台完整的 8 位单片机。

该阶段的单片机芯片,使用 NMOS 工艺(速度低、功耗大、集成度低),并存在以下两种单片机的集成体系结构,即通用 CPU 模式和专用 CPU 模式。

(1) 通用 CPU 模式。采用通用 CPU 和通用外围单元电路的集成模式,其典型芯片为 Motorola 公司的 MC6801,它将通用 CPU、增强型的 6800 和 6875(时钟)、6810(RAM)、2X6830(ROM)、1/26821(并行 I/O)、1/36840(定时器/计时器)、6850(串行 I/O)集成在一片芯片上,使用 6800CPU 的指令系统。

(2) 专用 CPU 模式。采用专门为嵌入式系统要求设计的 CPU 与外围电路集成的模式,其典型芯片为 Intel 公司的 MCS-48,其 CPU、存储器、定时器/计数器、中断系统、I/O 端口、时钟以及指令系统都是按嵌入式系统应用要求而设计的。

通用 CPU 模式与通用 CPU 构成的通用计算机兼容,应用系统开发方便,成为后来嵌入式微处理器的发展模式;专用 CPU 模式能满足嵌入式应用的要求,成为现代单片机发展的主要体系结构模式。

2) 第二阶段:单片机完善阶段

20 世纪 80 年代初,Intel 公司推出 MCS-51 系列单片机,MCS-51 是完全按照嵌入式应用而设计的单片机,其体系结构具有以下特点:

(1) 面向对象、突出控制功能、满足嵌入式应用的专用 CPU 及 CPU 外围电路体系结构。

(2) 寻址范围规范为 16 位和 8 位的寻址空间。

(3) 规范的总线结构,有 8 位数据总线、16 位地址总线及多功能的异步串行接口通用异步收发器 URAT(移位寄存器方式、串行通信方式及多机通信方式)。

- (4) 独特功能寄存器的集中管理模式。
- (5) 设置位地址空间,提供位寻址及位操作功能。
- (6) 指令系统突出控制功能(如位操作指令、I/O 管理指令和转移指令)。

以上特点奠定了 MCS-51 在单片机领域的地位,形成了事实上的单片机标准结构。时至今日,世界上许多知名的半导体厂家(如 Intel 公司、AMD 公司、ATMEL 公司、WINBOND 公司、Philips 公司、ISSI 公司、LG 公司、NEC 公司、SIEMENS 公司等)都生产兼容的 MCS-51 芯片,并以 MCS-51 中的 8051 为核,发展出许多新型的 80C51 单片机结构,这样就保证了 MCS-51 单片机的先进性,这也是本书选择 MCS-51 作为教学机型的理由。

3) 第三阶段:MCU 形成阶段

MCU 形成阶段为高性能单片机阶段。在实际面对测控对象的操作中,不仅要求有完善的计算机体系结构,还要有许多面对测控对象的接口电路和外围电路,如 A/D 变换、D/A 变换、高速 I/O 口、计数器的捕捉与比较、程序监视定时器(WDT),保证高速数据传输的直接存储器访问(DMA)等。因此为满足测控系统的嵌入式应用要求,该阶段单片机技术发展方向是增强外围电路,MCU 一词就诞生在这一阶段,成为国际上对单片机的标准称谓。

该阶段单片机代表系列为 80C51,其技术发展的主要特征有:

- (1) 在技术上,由可扩展总线型向纯单片型发展,即只能工作在单片方式。
- (2) 为满足串行外围电路的扩展要求,MCU 的扩展方式从并行总线型发展出各种串行总线,如 SPI、I²C、BUS、Microwire、1-Wire 等。
- (3) 将多个 CPU 集成到一个 MCU 中。
- (4) 在降低功耗、提高可靠性方面,MCU 工作电压已降至 3.3V。
- (5) 出现了满足分布式系统、突出控制功能的现场总线接口 CAN 总线。

4) 第四阶段:MCU 发展阶段

单片机 Flash ROM 的使用,为最终取消外部程序存储器奠定了基础,使 MCU 技术进入了第四代。嵌入式系统普遍采用 Flash ROM 技术,Flash ROM 的使用加速了单片机技术的发展。基于 Flash ROM 的 ISP/IAP 技术,极大地改变了单片机应用系统的结构模式以及开发和运行条件;而在单片机中最早实现 Flash ROM 技术的是 ATMEL 公司的 AT89Cxx 系列。MCS-51 典型的体系结构以及极好的兼容性,对于 MCU 不断扩展的外围来说,形成了一个良好的嵌入式处理器内核的结构模式。

当前嵌入式系统应用进入片上系统(System On Chip, SoC)模式,从各个角度,以不同方式向 SoC 进军,形成了嵌入式系统应用热潮。在这个技术潮流中,8051 又扮演了嵌入式系统内核的重要角色。在 MCU 向 SoC 过渡的数、模混合集成的过程中,ADI 公司推出了 AD u C8xx 系列,而 Cygnal 公司则实现了向 SoC 的 C8051F 过渡;在 PLD 向 SoC 发展过程中,Triscend 公司在可配置系统芯片 CSoC 的 E5 系列中便以 8052 作为处理器内核。

20 世纪 80 年代以来,单片机的发展非常迅速,其产品已占整个微机产品的 80% 以上,其中 8 位单片机的产量又占整个单片机产量 60% 以上,因此,8 位单片机在工业检测和控制应用等方面将继续占有一定的地位。

2. MCS-51 单片机的分类

MCS-51 单片机是国内最早引进的单片机系列,具有种类多、应用广、可替换性强等特点,Intel 公司于 1980 年推出的 MCS-51 奠定了嵌入式应用单片微型计算机的经典复杂指令集 CISC(Complex Instruction Set Computer)体系结构,其种类很多,如果按存储器配置状态,可划分为:片内 ROM 型,如 80(C)5x;片内 EPROM 型,如 87(C)5x;片内 Flash EPROM 型,如 89(C)5x;片内无 EPROM 型,如 87(C)3x。根据其功能特点可将其划分为以下几种类型。

1) 基本型

基本型包括 8031、8051、8031AH、8751、89C51 和 89S51 等,后期的基本型产品均采用 HMOS 制造工艺。

基本型典型代表产品是 8051,其基本特点有:具有适用于控制的 8 位 CPU 和指令系统;128B(1B 即 1 字节)的片内 RAM;21 个特殊功能寄存器;32 线并行 I/O 接口;2 个 16 位定时/计数器;一个全双工串行接口;5 个中断源、2 个中断优先级的中断结构;4KB 片内 ROM;一个片内时钟振荡器和时钟电路;片外可扩展 64KB ROM 和 64KB RAM。因此,基本型单片机本身就是一个功能强大的 8 位微型处理器,其指令系统和硬件结构形成了 MCS-51 类型单片机核心,由此而派生的基于 MCS-51 的其他各类单片机的指令系统和硬件结构都是一样,不一样的只是功能单元的多少,部件所采用的器件形式。

2) 增强型

增强型有 8052、8032、8752 和 89S52 等,此类型单片机内的 ROM 和 RAM 容量比基本型的增大一倍,同时把 16 位定时/计数器增为 3 个。87C54 内部 ROM 为 16KB,87C58 增加到 32KB,89C55 内部 ROM 为 20KB。

3) 低功耗型

低功耗型有 80C5x、80C3x、87C5 和 89C5x 等。此类型号单片机中采用 CHMOS(互补高密度金属氧化物半导体)工艺,其特点是功耗低。

4) 高级语言型

8052AH-BASIC 芯片内固化有 MCS BASIC52 解释程序,其 BASIC 语言可与汇编混用。

5) A/D 型

此类单片机增加了下述功能:带有 8 路 8 位 A/D 转换器及半双工同步串行接口;拥有 16 位监视定时器;扩展了 A/D 中断和串行接口中断,使中断源达到 7 个;可进行振荡器失效检测。该类产品有 83C51GA、80C51GA、87C51GA 等。

6) DMA 型

一类是 DMA、GSC 型,如 83C152JA、80C152JB 等,此类单片机由新的特殊功能寄存器支持,具有 DMA 目的地址、DMA 源地址、DMA 字节计数等 58 个特殊功能寄存器。它们除了具有局部串行通道 LSC 外,还有一个全局串行通道 GSC(多规程、高性能的串行接口)。另一类是 DMA、FIFO 型,如 83C452、80C452、87C452P 等,此类单片机新增加的功能是:128B 的双向 FIFO(先进先出)RAM 阵列,采用环形指针管理读和写;有两个相同的 DMA 通道,允许从一个可写入的存储器到另一个写入的存储器的高速数据传输,特殊功能寄存器增至 34 个;增加了先进先出人机接口、DMA0 和 DMA1 三个中断源。

7) 多并行接口型

此类单片机如 83C451C、80C451 是在 80C51 基础上,增加了与 P1 相同的两个 8 位准双向接口 P4 和 P5;还增加了一个特殊的内部具有上拉电阻的 8 位双向接口 P6,它既可以作为标准的输入输出接口,也可以进行选通方式操作。

8) 在系统可编程(ISP)型

ATMEL 公司所生产 AT89 系列单片机(如 AT89S51、AT89S52)是与 8051 兼容、且内部含有 Flash 存储器的单片机,它是一种源于 8051 而又优于 8051 的系列,是目前主流的 MCS-51 单片机系列。其 S 系列产品的最大特点就是具有在系统可编程功能,用户只要连接好下载电路,就可以在不拔下 51 芯片的情况下,直接在系统中进行编程,但编程期间系统不能运行程序。

9) 在现场可编程(IAP)型

在现场可编程(IAP)比在系统可编程(ISP)又更进一步。IAP 型单片机允许应用程序在运行时通过自己的程序代码对自己进行编程,一般是达到更新程序的目的,通常在系统芯片中采用多个可编程的程序存储区来实现这一功能。

Flash 存储器的使用加速了单片机技术的发展,基于 Flash 存储器的 ISP/IAP 技术,极大地改变了单片机应用系统的结构模式以及开发和运行条件,是 8051 单片机技术发展的一次重大飞跃。

10) 内核化 SoC 型

Cygnal 公司推出 C8051F 系列,把 80C51 系列推上了一个崭新高度,将单片机从 MCU 时代带入了 SoC 时代。C8051F 系列单片机是集成的数、模混合信号 SoC 系统,具有与 MCS-51 内核及指令集完全兼容的微控制器。C8051F 系列单片机采用具有专利的 CIP-51 内核,其指令系统与 MCS-51 完全兼容,使得 MCS-51 单片机焕发了新的活力,运行速度高达 25MIPS(兆[条]指令/s),除具有标准 8051 的数字外设部件外,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。

与 MCS-51 相比较,80C51 已有很大发展。然而,当前 Cygnal 公司发展的 C8051F 系列,在许多方面已超出当前 8 位单片机水平,并具有以下新的技术特点:

(1) 采用 CIP-51 内核大力提升 CISC 结构运行速度。Cygnal 公司在提升 8051 速度上采取了新的途径,即设法在保持 CISC 结构及指令系统不变的情况下,对指令运行实行流水作业,推出了 CIP-51 的 CPU 模式。在这种模式中,废除了机器周期的概念,指令以时钟周期为运行单位。平均每个时钟可以执行完一条单周期指令,从而大大提高了指令运行速度。即与 8051 相比,在相同时钟下单周期指令运行速度为原来的 12 倍;整个指令集平均运行速度为原来 8051 的 9.5 倍,使 8051 兼容机系列进入了 8 位高速单片机行列。

(2) I/O 端口从固定方式到交叉开关配置。迄今为止,I/O 端口大都是固定为某个特殊功能的输入/输出口,可以是单功能或多功能。I/O 端口可编程选择为单向/双向以及上拉、开漏等。固定方式的 I/O 端口,既占用引脚多,配置又不够灵活。为此,Scenix 公司在推出的 8 位 SX 单片机系列中,采取虚拟外设的方法将 I/O 端口的固定方式转变为软件设定方式。而在 Cygnal 公司的 C8051F 中,则采用开关网络以硬件方式实现 I/O 端口的灵活配置。在这种通过交叉开关配置的 I/O 端口系统中,单片机外部为通用 I/O 端口,如 P0 口、P1 口和 P2 口。内有输入/输出的电路单元通过相应的配置寄存器控制的交

叉开关配置到所选择的端口上。

(3) 从系统时钟到时钟系统。早期单片机都是用一个时钟控制片内所有时序。进入 CMOS 时代后,由于低功耗设计的要求,出现了在一个主时钟下 CPU 运行速度可选择在不同的时钟频率下操作;或设置成高、低两个主时钟,按系统操作要求选择合适的时钟速度,或关闭时钟。而 Cygnal 公司的 C8051F 则提供了一个完整而先进的时钟系统,在这个系统中,片内设置有一个可编程的时钟振荡器(无需外部器件),可提供 2MHz、4MHz、8MHz 和 16MHz 时钟的编程设定。外部振荡器可选择 4 种方式。当程序运行时,可实现内外时钟的动态切换。编程选择的时钟输出 CYSCLK 除供片内使用外,还可从随意选择的 I/O 端口输出。

(4) 从传统的仿真调试到基于 JTAG 接口的在系统调试。C8051F 在 8 位单片机中率先配置了标准的 JTAG 接口(IEEE1149.1)。引入 JTAG 接口将使 8 位单片机传统的仿真调试产生彻底的变革。在上位机软件支持下,通过串行的 JTAG 接口直接对产品系统进行仿真调试。C8051F 的 JTAG 接口不仅支持 Flash ROM 的读/写操作及非侵入式在系统调试,它的 JTAG 逻辑还为在系统测试提供边界扫描功能。通过边界寄存器的编程控制,可对所有器件引脚、SFR 总线和 I/O 端口弱上拉功能实现观察和控制。

(5) 从引脚复位到多源复位。在非 CMOS 单片机中,通常只提供引脚复位的一种方法。迄今为止的 80C51 系列单片机仍然停留在这一水平上。为了系统的安全和 CMOS 单片机的功耗管理,对系统的复位功能提出了越来越高的要求。Cygnal 公司的 C8051F 把 80C51 单一的外部复位发展成多源复位。C8051 的多复位源提供了上电复位、掉电复位、外部引脚复位、软件复位、时钟检测复位、比较器 0 复位、WDT 复位和引脚配置复位。众多的复位源为保障系统的安全、操作的灵活性以及零功耗系统设计带来极大的好处。

(6) 最小功耗系统的最佳支持。在 CMOS 系统中,按照 CMOS 电路的特点,其系统功耗 WS 为

$$WS=CV^2f$$

式中:C 为负载电容;V 为电源电压; f 为时钟频率。

C8051F 是 8 位机中首先摆脱 5 V 供电的单片机,实现了片内模拟与数字电路的 3 V 供电(电压范围 2.7V~3.6 V),大大降低了系统功耗;完善的时钟系统可以保证系统在满足响应速度要求下,使系统的平均时钟频率最低;众多的复位源使系统在掉电方式下,可随意唤醒,从而可灵活地实现零功耗系统设计。因此,C8051F 具有极佳的最小功耗系统设计环境。C8051F 虽然摆脱了 5 V 供电,但仍可与 5 V 电路方便地连接。所有 I/O 端口可以接收 5 V 逻辑电平的输入,在选择开漏加上拉电阻到 5 V 后,也可驱动 5 V 的逻辑器件。

MCS-51 从单片微型计算机(SCMC)到微控制器(MCU)再到片上系统(SoC)内核,显示了嵌入式系统硬件体系典型的变化过程。在嵌入式系统 SoC 的最终体系中,MCS-51 以 8051 处理器内核的形式延续下去。这对于国内外从事 MCS-51 教学和科研的广大人士来说,无论是过去、现在和未来,都能感受它带来的好处。

3. 单片机的发展趋势

可以说现在单片机是百花齐放、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,大致有:

(1) 低功耗 CMOS 化。MCS-51 系列的 8031 推出时的功耗达 630mW,而现在的单片机普遍都在 100mW 左右,随着对单片机功耗要求越来越低,现在的各个单片机制造商基本都采用了 CMOS(互补金属氧化物半导体)工艺。像 80C51 就采用了 HMOS(高密度金属氧化物半导体)工艺和 CHMOS(互补高密度金属氧化物半导体)工艺。CMOS 虽然功耗较低,但由于其物理特征决定其工作速度不够高,而 CHMOS 则具备了高速和低功耗的特点,这些特征更适合于在要求低功耗(如电池)供电的应用场合。所以这种工艺将是今后一段时期单片机发展的主要途径。

(2) 微型单片化。现在常规的单片机普遍都是将中央处理器(CPU)、随机存取数据存储单元(RAM)、只读程序存储器(ROM)、并行和串行通信接口、中断系统、定时电路、时钟电路集成在一块单一的芯片上,增强型的单片机集成了 A/D 转换器、PMW(脉宽调制电路)、WDT(看门狗)等,有些单片机将 LCD(液晶)驱动电路都集成在单一的芯片上,这样单片机包含的单元电路就更多,功能就越强大。单片机厂商甚至可以根据用户的要求量身定做,制造出具有自己特色的单片机芯片。

此外,现在的产品普遍要求体积小、质量轻,这就要求单片机除了功能强和功耗低外,还要求其体积要小。现在的许多单片机都具有多种封装形式,其中 SMD(表面封装)越来越受欢迎,使得由单片机构成的系统正朝微型化方向发展。

(3) 主流与多品种共存。现在虽然单片机的品种繁多,各具特色,但仍以 80C51 为核心的单片机占主流,兼容其结构和指令系统的有 PHILIPS 公司的产品,ATMEL 公司的产品和中国台湾的 WINBOND 系列单片机。所以 C8051 为核心的单片机占据了半壁江山。而 Microchip 公司的 PIC 精简指令集(RISC)也有着强劲的发展势头,中国台湾的 HOLTEK 公司近年的单片机产量与日俱增,以其低价质优的优势,占据一定的市场份额。此外还有 MOTOROLA 公司的产品,日本几大公司的专用单片机。在一定的时期内,这种情形将得以延续,将不存在某个单片机一统天下的垄断局面,走的是依存互补、相辅相成、共同发展的道路。

探索单片机的发展道路有过两种模式,即“ Σ 模式”与“创新模式”。“ Σ 模式”本质上是通用计算机直接芯片化的模式。它将通用计算机系统的基本单元进行裁剪后,集成在一个芯片上,构成单片微型计算机。“创新模式”则完全按嵌入式应用要求设计全新的、满足嵌入式应用要求的体系结构、微处理器、指令系统、总线方式及管理模式等。Intel 公司的 MCS-48 和 MCS-51 就是按照创新模式发展起来的单片形态的嵌入式系统(单片微型计算机)。MCS-51 是在 MCS-48 的基础上经过了全面完善的嵌入式系统。历史证明,“创新模式”是嵌入式系统独立发展的正确道路,MCS-51 的体系结构也因此成为单片嵌入式系统的典型结构体系。

单片机从出现至今已经有 30 多年的历史了,嵌入式技术也历经了几个发展阶段。进入 20 世纪 90 年代后,以计算机和软件为核心的数字化技术取得了迅猛发展,不仅广泛渗透到社会经济、军事、交通、通信等相关行业,而且也深入到家电、娱乐、艺术、社会文化等各个领域,并掀起了一场数字化技术革命。多媒体技术与 Internet 的应用迅速普及,消费类电子产品(Consumptive Electron)、计算机(Computer)、通信(Communication),即 3C