



新世纪高职高专实用规划教材

● 机电·模具·数控系列

嵌入式系统 及单片机应用

QIANRUSHI XITONG JI DANPIANJI YINGYONG

李诚人 高宏洋 刘 淼 边延兵 编 著



清华大学出版社

新世纪高职高专实用规划教材 机电·模具·数控系列

嵌入式系统及单片机应用

李诚人 高宏洋 刘淼 边延兵 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以 MCS-51 系列单片机中的 8051 为基础,以 Keil 公司最新版本的 C51 编译器为核心,阐述在 Windows 环境下采用单片机高级语言 C51 进行应用系统程序设计的基本原理和方法,以及 Keil C51 的集成开发环境 µ Vision51 和软件仿真器 dscope51 的具体使用方法。

全书共分 9 章,内容包括: C 语言、C51 的基础知识, MCS-51 系列单片机的硬件结构、工作原理和指令系统、内部接口、定时器/计数器、中断、串行通信方式以及外部功能的扩展方法,并通过应用实例,介绍利用 C51 进行单片机系统开发的基本方法。各章后附有习题。

本书强调实用性,由浅入深,语言简洁,便于自学,可作为高职、大专院校相关专业的教材和各类单片机应用、开发的技术人员的自学参考用书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统及单片机应用/李诚人,高宏洋,刘淼,边延兵编著. —北京:清华大学出版社,2005.3

(新世纪高职高专实用规划教材 机电·模具·数控系列)

ISBN 7-302-10427-1

I.嵌… II.①李…②高…③刘…④边… III.单片微型计算机—系统设计—高等学校:技术学校—教材 IV.TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 008322 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:林章波

文稿编辑:李春明

封面设计:陈刘源

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:17.25 字数:403 千字

版 次:2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-10427-1/TP·7079

印 数:1~4000

定 价:23.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

《新世纪高职高专实用规划教材》序

编写目的

目前,随着教育的不断深入,高等职业教育发展迅速,进入到一个新的历史阶段。学校规模之大,数量之众,专业设置之广,办学条件之好和招生人数之多,都大大超过了历史上任何一个时期。然而,作为高职院校核心建设项目之一的教材建设,却远远滞后于高等职业教育发展的步伐,以至于许多高职院校的学生缺乏适用的教材,这势必影响高职院校的教育质量,也不利于高职教育的进一步发展。

目前,高职教材建设面临着新的契机和挑战:

(1) 高等职业教育发展迅猛,相应教材在编写、出版等环节需要在保证质量的前提下加快步伐,跟上节奏。

(2) 新型人才的需求,对教材提出了更高的要求,即教材要充分体现科学性、先进性和实用性。

(3) 高职高专教育自身的特点是强调学生的实践能力和动手能力,教材的取材和-content设置必须满足不断发展的教学需求,突出理论和实践的紧密结合。

有鉴于此,清华大学出版社在相关主管部门的大力支持下,组织部分高等职业技术学院的优秀教师以及相关行业的工程师,推出了一系列切合当前教育改革需要的高质量的面向就业的职业技术实用型教材。

系列教材

本系列教材主要涵盖以下领域:

- 计算机基础及其应用
- 计算机网络
- 计算机图形图像处理与多媒体
- 电子商务
- 计算机编程
- 电子电工
- 机械
- 数控技术及模具设计
- 土木建筑
- 经济与管理
- 金融与保险

另外,系列教材还包括大学英语、大学语文、高等数学、大学物理、大学生心理健康等基础教材。所有教材都有相关的配套用书,如实训教材、辅导教材、习题集等。

教材特点

为了完善高等职业技术教育的教材体系,全面提高学生的动手能力、实践能力和职业技术素质,特意聘请有实践经验的高级工程师参与系列教材的编写,采用了一线工程技术人员与在校教师联合编写的模式,使课堂教学与实际操作紧密结合。本系列丛书的特点如下:

- (1) 打破以往教科书的编写套路,在兼顾基础知识的同时,强调实用性和可操作性。
- (2) 突出概念和应用,相关课程配有上机指导及习题,帮助读者对所学内容进行总结和提高。
- (3) 设计了“注意”、“提示”、“技巧”等带有醒目标记的特色段落,使读者更容易得到有益的提示与应用技巧。
- (4) 增加了全新的、实用的内容和知识点,并采取由浅入深、循序渐进、层次清楚、步骤详尽的写作方式,突出实践技能和动手能力。

读者定位

本系列教材针对职业教育,主要面向高职高专院校,同时也适用于同等学历的职业教育和继续教育。本丛书以三年制高职为主,同时也适用于两年制高职。

本系列教材的编写和出版是高职教育办学体制和运作机制改革的产物,在后期的推广使用过程中将紧紧跟随职业技术教育发展的步伐,不断吸取新型办学模式、课程改革的思路和方法,为促进职业培训和继续教育的社会需求奉献我们的力量。

我们希望,通过本系列教材的编写和推广应用,不仅有利于提高职业技术教育的整体水平,而且有助于加快改进职业技术教育的办学模式、课程体系和教学培训方法,形成具有特色的职业技术教育的新体系。

教材编委会

新世纪高职高专实用规划教材

机电·模具·数控系列

编委会名单

主 任 李诚人 曾宪章

副主任 王平章 李 文 于小平 杨广莉

委 员 (排名不分先后):

于 涛	王 晖	王文华	王 培	田莉坤
吴勤保	韩 伟	赵俊武	韩小峰	王 莉
刘华欣	闫华明	李长本	李振东	王华杰
沈 伟	康亚鹏	肖调生	陈文杰	杨峻峰
邵东波	林若森	封逸彬	张信群	张玉英
郭爱荣	王晓江	杨永生	刘 航	关雄飞
王丽洁	张爱莲	王晓宏	郭新玲	高宏洋
甄瑞麟	熊 翔	黄红辉	潘建新	熊立武
王立红	魏 峥	董焕俊	牟 林	李先雄
南 欢	谢 刚			

前 言

嵌入式系统是继 IT 网络技术之后,又一个新的技术发展方向。嵌入式系统具有体积小、功能强、能耗低、可靠性高以及面向行业广泛的突出特征。目前,已经广泛应用于经济和社会发展的各个领域。

在以往的实时控制领域中,常规方式是采用上、下位机的模式。上位机一般采用工业级的 PC 机,下位机一般采用单片机、PLC 或 DSP 微控制器。近年来随着微电子技术、计算机技术以及软件技术的发展,这种模式正逐渐被嵌入式系统所取代。人们可以选用高性能的微控制器(例如单片机)或微处理器,加上嵌入式实时操作系统,面向具体应用编写应用程序,形成完整的实时控制系统。

中国是世界制造业的重要基地,并正在从制造大国向制造强国发展,在以“信息化带动制造业现代化”的过程中,嵌入式技术将发挥日益重要的作用。虽然嵌入式系统是近几年才风靡起来的,但是这个概念并非新近才出现。从 20 世纪 70 年代单片机的出现到今天各式各样嵌入式微处理器、微控制器的大规模应用,嵌入式系统已经有了 30 多年的发展历史。

嵌入式系统最初的应用是基于单片机的。20 世纪 70 年代单片机的出现,使得汽车、家电、工业机器、通信装置以及成千上万种产品可以通过内嵌电子装置来获得更高的使用性能,这些装置已经初步具备了嵌入式应用的特点。但是那时的应用只是采用 8 位机的芯片,执行一些单线程的程序,还谈不上“系统”的概念。

从 20 世纪 80 年代开始,嵌入式系统的程序员开始用商业级的“操作系统”编写嵌入式应用软件,这使得开发人员可以进一步缩短开发周期,降低开发成本,并提高开发效率。1981 年 Ready System 开发出世界上第一个商业嵌入式实时内核 UTRX32,这个实时内核包含了许多传统操作系统的特征,包括任务管理、任务间通信、同步与互斥、中断、内存管理等。此后,一些公司也纷纷推出自己的嵌入式操作系统,例如 ISI 公司的 pSOS, WindRiver 的 VxWorks、QNX 公司的 QNX。

20 世纪 90 年代以后,随着对实时性要求的提高,软件规模不断上升,实时内核逐步发展为实时多任务操作系统 RTOS,并作为一种软件平台逐步成为目前国际嵌入式系统的主流。对于嵌入式系统,目前,国内一个普遍认同的定义是: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、体积、成本、功耗要求的专用计算机控制系统。现在大家谈到嵌入式系统时,某种程度上是指具有实时操作系统的嵌入式系统,本书也沿用这种观点。

本书共分为 9 章,第 1 章为嵌入式系统概述;第 2 章介绍 C51, 51 系列硬件是本书的基础,在编程时以其作为工具;第 3 章到第 7 章主要介绍 51 单片机的硬件结构、接口、扩展以及相应的 C51 程序;第 8 章介绍了源码公开的嵌入式实时内核 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$;第 9 章是嵌入式 51 单片机的一个应用实例,采用源码公开的嵌入式实时内核 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 和 51 硬件开发

的一个实验数控系统，让读者形成一个嵌入式系统的总体概念并了解嵌入式系统的开发过程。

本书内容丰富，叙述清楚，每章中均配有大量经过验证的实例和程序，为了便于学习，还配有习题，以供大家选择。本书第1章至第7章由高宏洋编写，第8章、第9章由刘淼、边延兵编写。李诚人负责全书的统稿工作。

限于编者的水平，加上嵌入式技术的不断发展，有许多问题还有待进一步探讨，可能存在的谬误和不妥之处，恳请读者批评指正。

李诚人

2004年5月 西北工业大学

目 录

第 1 章 嵌入式系统概述.....	1	2.7.3 结构体类型变量的引用.....	54
1.1 嵌入式技术的发展.....	1	2.7.4 结构体变量的初始化.....	55
1.2 单片机发展趋势.....	2	2.7.5 结构体数组	55
1.3 嵌入式操作系统及开发平台.....	4	2.7.6 指向结构体类型	
1.4 嵌入式系统的应用领域.....	6	数据的指针	56
1.5 习题	7	2.7.7 共用体	58
第 2 章 C 语言与 C51.....	8	2.8 位运算.....	59
2.1 C 语言概述.....	8	2.8.1 基本概念	59
2.2 Keil C51 概述.....	9	2.8.2 位运算	60
2.3 数据类型、运算符与表达式.....	10	2.9 预处理功能.....	61
2.3.1 标识符与关键字	10	2.9.1 宏定义	62
2.3.2 数据类型	12	2.9.2 文件包含	63
2.3.3 运算符与表达式	16	2.9.3 条件编译	64
2.4 C51 的控制结构语句.....	21	2.9.4 其他预处理命令.....	65
2.4.1 基本结构	21	2.10 习题.....	66
2.4.2 选择结构流程控制语句.....	22	第 3 章 MCS-51 单片机与 C51 编程	68
2.4.3 循环语句	26	3.1 单片机的硬件结构.....	68
2.5 函数	31	3.1.1 8051 单片机的结构框图.....	68
2.5.1 函数的定义	31	3.1.2 外部引脚	69
2.5.2 函数的调用	32	3.1.3 片内 CPU 功能组件.....	71
2.5.3 变量及其存储模式	37	3.1.4 8051 的存储器结构.....	73
2.6 数组与指针	41	3.1.5 并行输入/输出口电路结构.....	78
2.6.1 数组的定义与引用	41	3.1.6 时序电路	81
2.6.2 数组作为函数的参数	43	3.1.7 MCS-51 工作方式.....	83
2.6.3 指针的概念	44	3.2 汇编语言与 C51	86
2.6.4 数组的指针	47	3.2.1 汇编语言	87
2.6.5 指针的地址计算	48	3.2.2 C51 的库函数.....	92
2.6.6 指针数组和指向指针的指针... 49		3.3 Keil C51 的 Windows 集成	
2.6.7 函数指针	50	开发环境.....	104
2.6.8 返回指针型数据的函数.....	52	3.3.1 Keil C51 的 Windows 集成	
2.7 结构体与共用体.....	52	开发环境的界面功能.....	105
2.7.1 结构体定义	52	3.3.2 μ Vision51 的应用举例.....	109
2.7.2 结构体类型变量的定义.....	53	3.4 习题	114

第4章 C51 程序在 8051 单片机

上的应用116

4.1 定时器/计数器116

4.1.1 模式控制寄存器(TMOD).....117

4.1.2 控制寄存器(TCON).....118

4.1.3 中断允许寄存器(IE).....118

4.1.4 定时器的操作模式及使用.....119

4.1.5 应用编程举例121

4.2 中断系统123

4.2.1 8051 中断系统123

4.2.2 中断允许控制寄存器(IE).....124

4.2.3 中断优先级控制
寄存器(IP).....1254.2.4 中断响应及中断
请求的撤除125

4.2.5 外部中断初始化编程举例.....127

4.3 串行口128

4.3.1 串行口的结构128

4.3.2 串行通信控制寄存器129

4.3.3 串行口工作模式130

4.3.4 串行口应用举例134

4.4 习题135

第5章 外部扩展136

5.1 可编程并行 I/O 接口控制

芯片 8255A.....136

5.1.1 8255A 的外部引脚及
内部结构1375.1.2 8255A 的控制字和
工作方式1395.1.3 8255 与 8051 的
接口和编程143

5.2 用串行口扩展 I/O 端口144

5.2.1 用并入串出 8 位移位寄存器
74LS165 扩展并行输入1445.2.2 用串入并出 8 位移位寄存器
74LS164 扩展并行输出146

5.3 可编程定时器芯片 8253.....147

5.3.1 8253 内部结构和引脚147

5.3.2 8253 的工作方式和控制字 150

5.3.3 8253 与 8051 单片机的
接口和编程 154

5.4 习题 156

第6章 C51 的输入编程 157

6.1 单片机控制系统中的前向通道 157

6.1.1 前向通道的组成和特点 157

6.1.2 数字量输入通道(DI)..... 158

6.1.3 模拟量输入通道(AI)..... 159

6.2 A/D 转换器与单片机接口电路 162

6.2.1 A/D 转换器 162

6.2.2 8 位转换器 ADC0809 与
8051 单片机接口电路 1636.2.3 12 位 A/D 转换器 AD574A
与 8051 单片机接口电路 167

6.3 习题 170

第7章 C51 的输出编程 171

7.1 输出通道的结构 171

7.1.1 数字量输出通道 172

7.1.2 模拟量输出通道 175

7.2 D/A 转换器与单片机接口电路 176

7.2.1 D/A 转换的性能指标 176

7.2.2 DAC0832 简介 177

7.2.3 DAC0832 和 8051 的
接口方法 179

7.2.4 DAC0832 的应用举例 180

7.3 打印输出接口及驱动 181

7.3.1 PP40 接口信号要求及时序 ... 181

7.3.2 命令及绘图方式 182

7.3.3 PP40 与 8051 单片机的
接口 185

7.4 习题 186

第8章 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 实时操作系统 1878.1 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 概述 1878.1.1 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的系统简介 1878.1.2 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的特点 189

8.1.3 源代码结构规则 191

8.2	μC/OS-II 内核结构	192	A.10	OSIntEnter	251
8.2.1	μC/OS-II 的临界区	193	A.11	OSIntExit	251
8.2.2	任务	193	A.12	OSTimeDly	251
8.2.3	任务状态	194	A.13	OSTimeDlyHMSM	251
8.2.4	任务控制块(OS_TCB)	195	A.14	OSTimeDlyResume	252
8.2.5	μC/OS-II 的中断处理	198	A.15	OSTimeGet	252
8.2.6	时钟节拍	200	A.16	OSTimeSet	252
8.3	μC/OS-II 中的数据结构	202	A.17	OSTimeTick	252
8.3.1	μC/OS-II 中的基本数据类型	202	A.18	OSSemCreate	253
8.3.2	μC/OS-II 中的复杂数据类型	203	A.19	OSSemPend	253
8.4	习题	205	A.20	OSSemPost	253
第 9 章 单片机 8051 嵌入式开发实例			A.21	OSSemAccept	253
			A.22	OSSemQuery	254
9.1	嵌入式 x-y 运动工作台控制器系统介绍	206	A.23	OSMboxCreate	254
9.1.1	系统概述	206	A.24	OSMboxPend	254
9.1.2	机床模型简介	208	A.25	OSMboxPost	254
9.2	上位机软件的开发	209	A.26	*OSMboxAccept	255
9.2.1	上位机软件介绍	209	A.27	OSMboxQuery	255
9.2.2	上位机程序介绍	216	A.28	OSQCreate	255
9.3	MCS-51 系统的开发	222	A.29	OSQPend	255
9.3.1	下位机系统设计	222	A.30	OSQPost	256
9.3.2	基于μC/OS-II 实时操作系统下的应用软件介绍	229	A.31	OSQPostFront	256
附录 A μC/OS-II 的库函数			A.32	OSQAccept	256
A.1	OSTaskCreate	247	A.33	OSQFlush	256
A.2	OSTaskCreateExt	248	A.34	OSQQuery	257
A.3	OSTaskStkChk	248	A.35	OSMemCreate	257
A.4	OSTaskDel	249	A.36	OSMemGet	257
A.5	OSTaskChangePrio	249	A.37	OSMemPut	257
A.6	OSTaskSuspend	249	A.38	OSMemQuery	258
A.7	OSTaskResume	250	A.39	OSInit	258
A.8	OSTaskDelReq	250	A.40	OSSchedLock	258
A.9	OSTaskQuery	250	A.41	OSSchedUnlock	258
			A.42	OSStart	258
			A.43	OSStatInit	259
			A.44	OSVersion	259
			参考文献		260

第 1 章 嵌入式系统概述

本章要点:

- 嵌入式技术和嵌入式单片机的发展。
- 目前几种较为流行的嵌入式操作系统及开发平台。
- 嵌入式系统的应用领域。

学习目标:

- 了解嵌入式系统技术的发展。
- 了解单片机的发展趋势以及嵌入式操作系统。
- 了解嵌入式系统在各个领域的应用。

1.1 嵌入式技术的发展

随着电子技术的快速发展,特别是超大规模集成电路的产生,以及微电子工艺水平的不断提高,使嵌入式微控制器技术得到了质的飞跃,从而极大地促进了嵌入式系统的发展,给现代工业控制领域带来了一次新的技术革命。本书将以目前在嵌入式系统领域中应用最广泛的微控制器 8051 系列单片机为例加以阐述。

所谓嵌入式技术,通俗一点讲就是将计算机、自动控制、通信等多项技术综合起来与传统制造业相结合的技术,是针对某一个传统的机电产品或行业,开发出适合该机电产品或行业的智能化产品,实现产品故障诊断、自动报警、本地监控或远程监控,以达到管理的网络化、数字化、信息化和现代化。

嵌入式系统(Embedded System),是一种用于控制、监测或协助特定机器和设备正常运转的计算机。它通常由 3 个部分组成,即嵌入式处理器、相关的硬件支持设备以及嵌入式软件系统。其中,嵌入式处理器是嵌入式系统中的核心部件。按照功能和用途划分,嵌入式系统可以进一步细分为以下几种类型:嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller)、嵌入式微处理器(Embedded Microprocessor)和嵌入式数字信号处理器(Embedded Digital Signal Processor)。

嵌入式技术作为 IT 产业新崛起的一个崭新的分支,正在全球范围内迅猛发展。它的出现是微处理器技术、超大规模集成电路技术、嵌入式软件技术相结合的产物,它面向用户、面向应用、面向产品,它的软硬件可量体裁衣,满足了不同行业应用个性化的需求。伴随着计算机应用的普及、互联网技术的使用以及纳米微电子技术的突破,使嵌入式技术得到了飞速发展,其标志是以 SOC(System-on-Chip)为目标的各种嵌入式系统结构以及与之相应的开发平台和形式多样的嵌入式操作系统的出现。

根据嵌入式计算机系统技术的发展,可将其分为高端领域和低端领域。嵌入式系统应用研究的高端领域指的是计算机专业领域,它依靠嵌入式计算机系统 OEM 方式的硬件环境、嵌入式操作系统的支持以及较成熟的开发平台,使用计算机专业的工程设计方法来完成嵌入式系统的应用开发;而低端领域是以对象为中心,以单片机为核心,实现嵌入式应用系统软、硬件的应用开发。随着因特网技术的成熟、带宽的提高,ICP 和 ASP 在网上提供的信息内容日趋丰富、应用项目多种多样,这有力地推动着 21 世纪工业生产、商业活动、科学实验和家庭生活等领域自动化和信息化进程。以信息家电为代表的互联网时代嵌入式产品,不仅为嵌入式市场展现了美好前景、注入了新的生命,同时也对嵌入式系统技术,特别是软件技术提出了新的挑战。信息家电包括 Web 可视电话、Web 游戏机、Web PDA、WAP 电话手机以及多媒体产品,如 STB(电视机顶盒)、DVD 播放机、电子阅读机等。

嵌入式系统技术的发展是在 20 世纪 70 年代出现的,发展至今已经有 30 多年的历史,它大致经历了以下 4 个发展阶段。

第一阶段是以单芯片为核心的可编程控制器系统,同时这一类型的系统具有检测、伺服、指示设备相配合的功能。它大部分用于专业性极强的工业控制系统中,通过汇编语言对系统进行直接编程控制。其主要特点是:结构和功能相对单一、效率较低、存储容量较小、几乎没有用户接口。由于这种嵌入式系统使用简单、价格便宜,所以以往在工业领域中应用较为普遍。

第二阶段是以嵌入式中央处理器(CPU)为基础,以简单操作系统为核心的嵌入式系统。这一阶段系统的主要特点是:CPU 种类繁多、通用性较弱、系统开销小、操作系统的兼容性和扩展性较差,应用软件较为专业,用户界面不够友好。这种嵌入式系统的主要任务是用来控制系统负载,以及监控应用程序的运行。

第三阶段是以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。这一阶段系统的主要特点是:嵌入式操作系统能够运行于各种不同类型的处理器之上、操作系统内核精巧、效率高、模块化程度高、具有文件和目录管理、支持多任务处理、支持网络操作、具有图形窗口和用户界面等功能、具有大量的应用程序接口、开发程序简单、并且嵌入式应用软件丰富。然而,在通用性、兼容性和扩展性方面仍不理想。

第四阶段是以基于网络操作为标志的嵌入式系统,这是一个正在迅速发展的阶段。随着网络在人们生活中的地位日益重要,越来越多的应用需要采用支持网络功能的嵌入式系统,所以在嵌入式系统中使用网络操作系统将成为今后的发展趋势。

1.2 单片机发展趋势

单片机又称为微控制器(MCU)。它是将 CPU 和计算机外围功能部件集成在一块半导体芯片上的芯片级计算机,即 single chip microcomputer。但单片机无论从功能还是从形态上来说都只是作为控制领域应用的计算机,因而准确反映单片机本质的称谓应该叫微控制器,即 Microcontroller,缩写为 MCU。

1971 年 11 月,Intel 公司成功地把算术运算器和控制器电路集成在一起,推出了世界上第一片微处理器 Intel 4004,其后各厂家推出了许多 8 位、16 位的微处理器,包括 Intel

8080/8085、8086, Motorola 的 6800、68000, Zilog 的 Z80、Z8000 等。由这些微处理器为核心构成的微型计算机 OEM 嵌入式计算机系统, 广泛用于制造仪器仪表、医疗设备、机器人、家用电器等。微处理器的广泛应用形成了一个广阔的嵌入式应用市场, 计算机厂家开始大量地以插件方式向用户提供 OEM 产品, 再由用户根据自己的需要选择一套适合自己应用的 CPU 板、存储器板和各式 I/O 插件板构成专用的嵌入式计算机系统, 并嵌入到自己的系统设备中。

1976 年美国 Intel 公司推出第一个 8 位单片机系列 MCS-48, 成为计算机发展史上的重要里程碑, 其技术特点是采用了专门的结构设计, 片内集成了 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时/计数器、RAM、ROM 等。其指令系统设计面向控制功能要求, 因而具有很强的控制功能。但这一代单片机片内无串行 I/O 口, 中断处理较简单, RAM 和 ROM 容量较小, 且寻址范围小于 4KB。这一代的单片机产品还有 Motorola 公司的 6801 系列和 Zilog 公司的 Z80 系列等。

由于第一代单片机推出并取得了巨大的成功, 因此各大半导体厂商竞相投入开发单片机市场。1978 年, Intel 公司推出了以 MCS-51 系列为代表的第二代单片机, 其技术特点是完善了外部总线, 并确立了单片机的控制功能。外部并行总线规范化为 16 位地址总线, 用以寻址外部 64KB 的程序存储器和数据存储器空间; 8 位数据总线及相应的控制总线, 形成完整的并行三总线结构。同时还提供了多机通信功能的串行 I/O 口, 具有多级中断处理, 16 位的定时/计数器, 片内的 RAM 和 ROM 容量增大, 有的片内还带有 A/D 转换接口。

在确立基本控制功能方面, 指令系统中设置了大量的位操作指令, 它和片内的位地址空间构成了单片机所独有的布尔操作系统, 大大增强了单片机的位操作功能; 指令系统中设置了大量的条件跳转、无条件跳转指令, 增强了指令系统的控制功能。片内设置了特殊功能寄存器(SFR), 建立了计算机外围功能电路的 SFR 集中管理模式, 这种集中管理模式在增添外围功能单元后给使用管理带来了极大方便。这一代单片机结束了计算机单片集成的简单形式, 并真正开创了单片机作为微控制器的发展道路。

20 世纪 80 年代, 随着微电子工艺水平的提高, 一方面不断完善高档 8 位单片机, 改善其结构, 以满足不同用户的需要; 另一方面发展了 16 位单片机及专用单片机。16 位单片机除了 CPU 为 16 位外, 还具有以下特点: 片内 232 字节 RAM 和 8K 字节 ROM, 片内带有高速输入输出部件, 8 路(或 4 路)10 位 A/D 转换部件, 4 个 16 位软件定时器, 8 级中断处理功能。这些使得单片机实时处理能力更强。近年来 32 位单片机已进入了实用阶段。这一代单片机的显著技术特点是全速发展单片机的控制功能, 在未来相当长的时期内 8 位单片机仍是单片机的主流机型。这是因为 8 位廉价型单片机会逐渐侵入 4 位机领域; 另一方面 8 位增强型单片机在速度及功能上向现在的 16 位单片机挑战。因此未来的机型很可能是 8 位机与 32 位机共同发展的时代。当然从应用而言 32 位机在相当长的时间里数量不会很多, 现有的 16 位机仍有相当长的生命周期。

从单片机的结构功能上看, 单片机的发展趋势将向着大容量、高性能、超小型、低功耗、低价格和外围电路内装化等几个方面发展。

- 大容量: 片内存储器容量进一步扩大。目前单片机内部的 ROM 可达 4~8KB, RAM 可达 256B, 有的片内 ROM 可达 12KB, RAM 可达 1MB, 寻址可达 16MB。今后, 随着工艺技术的不断发展, 片内存储器容量将进一步扩大。

- 高性能: CPU 能力加强, CPU 能力加强主要体现在加快指令运算速度、数据处理速度和提高系统控制的精度、可靠性等方面。一般通过以下措施来实现: 增加 CPU 的字长, 扩充硬件, 提高主频, 提高总线速度, 扩充指令系统和提高效率。
- 内部资源增加: 随着集成度的不断提高, 尽可能把众多的各种外围功能器件集成在片内, 即各种类型的存储器和 I/O 端口。程序存储器包括: 掩膜式 ROM、EPROM、E²PROM 或 FLASH。ROM 的容量最大可达到几万字节, RAM 的容量也可达到几千字节。I/O 端口包括并行、串行、定时器/计时器, 并配有 A/D、D/A、PWM、LED、DMA 控制器、声音发生器、监视定时器, LCD 驱动接口等。
- 增强 I/O 口功能: 增加单片机并行口的驱动能力, 有的单片机可直接驱动显示器。为进一步加快 I/O 口的传输速度, 有的单片机还设置了高速 I/O 口, 以最快的速度触发外部设备和响应外部事件。单片机正向着多层次用户、多品种、多规格、高性能的方向发展。
- 超小型, 低功耗, 廉价: 微巨型单片机, 目前已推出了运算速度 1.2 亿次/秒, CPU 字长 32 位, 可运行 64 位浮点运算的单片机。指令系统从复杂指令系统向简易指令系统过渡。单片机开发系统向着多用户、C 编译、在线实时开发方向发展。

综上所述, 单片机发展的前景是非常乐观的, 因此, 单片机成为嵌入式计算机系统异军突起的一支新秀, 其后发展的 DSP 产品则更加提升了嵌入式计算机系统的技术水平, 并且迅速地渗入到消费电子、医用电子、智能控制、通信电子、仪器仪表、交通运输等各种领域。

1.3 嵌入式操作系统及开发平台

在嵌入式系统发展的初期, 还没有出现操作系统的概念, 大部分的功能是用汇编语言来实现的。由于这些汇编程序只能用于某一种特定的处理器, 所以这种嵌入式系统的兼容性、通用性和可扩展性都很差。C 语言的出现使得嵌入式操作系统的开发变得简单、便捷和可靠。所以, 自从 20 世纪 80 年代开始, 出现了各种各样的嵌入式操作系统, 逐步形成了百家争鸣的局面。从嵌入式操作系统发展趋势上可分为两类: 一类是面向高级单片机的, 另一类是面向 8 位、16 位单片机的。目前较为流行的嵌入式操作系统有 VxWorks、eSOS、RTX51、WindowsCE、 μ C/OS 等。

Linux 在全世界范围被广泛注目和应用, 成为最热门的开放式的网络操作系统, 它的出现和成功将嵌入式系统的发展带入了一个新的阶段。Linux 不是由一家公司所拥有、维护开发的, Linux 在市场上有多种发行版本, 所有发行版本都包含一样的 Linux 内核、基本工具和应用, 不同的发行版本主要是在附加的工具链、应用、配置以及各种内核补丁上有所不同。嵌入式 Linux 主要是在实时性增强、内核精简和裁减、支持多种 CPU 结构(如 ARM CPU)等方面做了改进和提高。

VxWorks 是一个功能完善的嵌入式操作系统, 但是它的源代码是不开放的。主要用在通信设备制造方面, 多采用 PowerPC+VxWorks 组合。

WindowsCE 是 Windows 的嵌入式系统版本, 具有类似 Windows 风格的用户界面, 可

以与 Windows 环境下的软件很方便地接口。但是, 它的源代码也是不开放的。

RTX51 是一个用于 8051 系列单片机的多任务实时操作系统。有两个不同的 RTX51 版本。其中 RTX51 Full 使用四个任务优先权完成, 同时存在时间片轮转调度和抢先的任务切换。RTX51 工作在与中断功能相似的状态下, 信号和信息可以通过邮箱系统在任务之间互相传递。可以从存储器中分配和释放内存; 也可以强迫一个任务等待中断、超时, 或者是从另一个任务或中断发出信号。而 RTX51 Tiny 是一个 RTX51 的子集, 可以很容易地在没有任何外部存储器的单片 8051 系统上运转; 但它仅支持时间片轮转任务切换和使用信号进行任务切换(即非抢占式的), 不支持抢占式的任务切换, 不包括消息队列, 没有存储器器分配程序。基于 RTOS 上的 C 语言程序具有极大的可移植性。在 C51 编译器编译时, 生成的代码紧凑、体积小, 且代码完全开放。

μ C/OS-II 是著名的、源码公开的实时内核, 可用于各类 8 位、16 位和 32 位单片机或 DSP。从 μ C/OS 算起, 该内核已有 10 余年应用史, 并在诸多领域得到广泛应用。 μ C/OS-II 是一个完整、可移植、可固化和可剪裁的抢占式实时多任务内核。 μ C/OS-II 是用 ANSI 的 C 语言编写的, 包含一小部分汇编代码, 使之可以供不同架构的微处理器使用。至今, 从 8 位到 64 位, μ C/OS-II 已在超过 40 种不同架构的微处理器上运行。

随着单片机功能的日益增强, 硬件设计技术的日趋成熟, 由实时多任务操作系统(RTOS)、基于嵌入式系统的 C 语言编译器(COMPILER)、实时在线仿真器组成的高性能工具集合, 即单片机开发平台也日趋成熟, 它能充分有效地开发单片机的内部资源, 提高应用系统的性能指标, 使单片机开发走向标准化、产业化, 降低了风险, 提高了效率。

RTOS 主要功能包括: 任务管理、事件管理、定时器管理、报文管理、循环队列管理、固定存储块管理、UART 管理、自动掉电管理。根据各个任务的要求, 进行资源管理、消息管理、任务调度、异常处理等工作。每个任务均有一个优先级, 它以分时方式运行多任务, 看上去好像是多任务“同时”运行。任务之间的切换以优先级为依据。RTOS 体现一种开放式软件框架。工程师在编程序时, 可以分别编写各个任务, 不必同时将所有任务运行的各种可能情况牢记心中, 另外, 修改某一个任务的程序对其他程序影响很小。这就大大减少了程序编写的工作量, 也减少了出错的可能。实时多任务操作系统是一个复杂的任务, 可以由多个工程师同时开发, 各人之间只要制定好规则和协议即可, 这样既缩短了开发时间又减少了软件产品对某个人的依赖性。

RTOS 一般要在 C 编译器下使用。把 C 语言从 PC 移植到嵌入式微控制器会遇到两个问题。其一, 微控制器种类繁多, 一个系列中的品种也很多, 所以对各种微控制器都通用的 C 编译器很少见, 一般是一种 CPU 配一种编译器。其二, 要考虑编译效率, 即为完成同样的任务, 要考虑产生代码的数量、占用系统程序存储器的大小、执行时间等几个指标。嵌入式微控制器一般要用实时性好、存储容量小的 C 编译器, 这样才能保证编译效率。此外, 编译器对不同问题会有不同的效率, 因此往往要用多种程序进行测试, 综合比较, 最后做出一个综合评价。目前, Keil 公司开发的编译器、调试器、实时操作系统及集成开发环境, 全面支持 8051 等单片机。在后面的章节中将阐述 C51 开发平台 μ Vision51 的各种功能和具体使用方法。

当前 8 位、16 位 MCU 的仿真器种类很多, 高中低档都有, 一般通过 PC 机的串行口或并行口与仿真器硬件相连, 不同的仿真器在以下几个问题上差别很大。

- 能否进行实时在线仿真;
- 仿真器占用多少 MCU 资源;
- 对 C/C++ 及 RTOS 的支持程度。

高档的仿真器一般可以实现实时在线仿真,有专用静态 RAM 作为目标系统的存储器映像,使工程师在不干扰目标系统全速运行的情况下观察到存储器中数据的实时变化。此外,仿真器还有跟踪功能,能记录总线执行指令时的所有信号和指令的执行情况,记录的数据存入跟踪存储器中,在调试界面的窗口可看到地址数据、总线状态、外部被跟踪信号以及 I/O 端口数据传送情况等。还可以设置复杂的触发逻辑,给用户提供指令执行报告,指出各程序段的准确执行时间、执行顺序等。

JTAG 技术最初是一种测试技术。它通过一个标准接口,用串行方式来设置和获得元件的输入和输出信号,从而实现对元件初始状态的控制和运行状态的判断。这个标准接口就称之为 JTAG 接口,基本引脚有 4 个。具有 JTAG 接口的元件可以将各自的 JTAG 接口串联起来,最终的接口引脚仍然是 4 个。对于一个单片机,可以为它内部的每一个功能模块各设计一个 JTAG 接口,最终通过 JTAG 接口来实现对芯片内部各功能模块的控制和测试。利用单片机上的 JTAG 接口,可以设置和检查芯片内各个模块的状态,可以在存储器中写入代码。因此,利用 JTAG 技术可以实现嵌入式系统的调试,使用这种方法,对调试设备的要求比较简单,是目前常用的方式,它只需要用一台 PC 机作为调试主机,利用 PC 的打印机接口控制信号,经过逻辑组合来产生直接与嵌入式系统连接的 JTAG 接口。

用 C 语言编译的仿真器、实时操作系统及有关函数库以及相应的开发工具,组成了 8 位、16 位单片开发机的平台,为更好地开发单片机应用系统提供了良好的条件。

1.4 嵌入式系统的应用领域

随着嵌入式单片机各个方面性能的不断提高以及嵌入式操作系统的日趋完善和普及,嵌入式系统的应用正从根本上改变着传统的控制系统设计思想和方法,是对传统的控制技术的一次革命。它不仅用于通信、网络、金融、交通、医疗、消费电子、仪器仪表、制造业控制等领域;而且应用在航天、航空、军事装备领域。根据嵌入式系统的应用可大致分为以下几个方面。

1. 智能产品

嵌入式系统在各方面与传统行业产品相结合,使其产品成为具有智能化特征的电子产品,它不只局限于家电、办公设备,目前已在机床、纺织机械、工业设备等方面得到广泛应用。例如城市路灯照明的数字化节能装置和无线远程监控系统,实现路灯行业管理的网络数字化,并且可节约 20%~30% 电能;又如工业机器人的控制系统是由中央控制器、视觉系统、行走系统、擒拿系统等节点构成的多机网络系统。

2. 智能仪表与集成智能传感器

将 MCU 引入各类仪器仪表,使其向数字化,智能化、多功能化、综合化、柔性化发展。由 MCU 构成的智能仪表集测量、处理、控制功能于一体,简化了仪器仪表的硬件结