

嵌入式技术系列丛书

嵌入式

QIANRUSHI

实时操作系统及其应用开发

SHISHI CAOZUO XITONG JIQI YINGYONG KAIFA

朱珍民 隋雪青 段 斌 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

嵌入式技术系列丛书

嵌入式实时操作系统 及其应用开发

朱珍民 隋雪青 段 斌 编著



北京邮电大学出版社

·北京·

1338747

内 容 简 介

随着嵌入式处理器和硬件技术的快速发展,实时嵌入式系统的复杂程度在日益提高,这就要求嵌入式系统的设计方法更加成熟,实时性更强和可靠,而且可预见性更高。

本书以理论为核心,以应用为导向,从嵌入式系统的概念及其未来的发展趋势着手,全面地介绍了嵌入式系统的核心部分——嵌入式实时操作系统和应用开发技术。

本书共分13章。前9章介绍嵌入式实时操作系统的基本构成和理论,对任务管理、任务的同步与通信、时钟管理、中断/异常管理、内存管理以及I/O管理等部分进行了详细地论述;特别对任务调度、优先级反转、中断/异常等实时系统中比较重要的问题进行了深入探讨。后4章介绍嵌入式实时系统的开发设计,提供了许多详细的设计实例,包括系统层的开发设计和应用层的开发设计,以及嵌入式硬件的选型和开发,让读者通过示例快捷地掌握嵌入式实时系统开发设计的方法和技巧。

本书实用性较强,可用做高等院校嵌入式实时操作系统课程的教材,也可用做从事嵌入式实时系统设计开发的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式实时操作系统及其应用开发/朱珍民,隋雪青,段斌编著. —北京:北京邮电大学出版社,2006
ISBN 7-5635-1362-0

I. 嵌... II. ①朱... ②隋... ③段... III. 实时操作系统—软件开发 IV. TP316.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 124550 号

书 名: 嵌入式实时操作系统及其应用开发

作 者: 朱珍民 隋雪青 段 斌

责任编辑: 李欣一

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

北方营销中心: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

南方营销中心: 电话: 010-62282902 传真: 010-62282735

E - mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京忠信诚胶印厂

开 本: 787mm×1 092mm 1/16

印 张: 18.25

字 数: 453 千字

印 数: 1-3 000 册

版 次: 2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1362-0/TN·488

定价: 29.00 元

·如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社营销中心联系·

前 言

经过 30 多年的发展,嵌入式系统在我们的日常生活和工作中已经随处可见。各种信息家电产品(冰箱、彩电、空调、洗衣机、手机、电话、MP3、MP4、VCD/DVD、PDA 等)中有嵌入式系统,信息高速公路(各种网络设备,如交换机、路由器和调制解调器等)中有嵌入式系统,汽车电子设备、国防军用产品中也有嵌入式系统。

中国拥有庞大的 IT 从业人员,其中从事嵌入式领域的人员也不少,而且嵌入式系统在我国的市场很大。但是,市场上的嵌入式产品,尤其是一些核心而且关键的部件,由我们自主设计和拥有自主知识产权的还比较少。

值得欣慰的是,国家发展战略中出台了许多优惠政策和相应的措施。近几年来在 IC/SoC、软件等技术已经收获了不错的成果,推出了具有自主控制权的 IT 核心器件,包括多种 IC 芯片和 CPU 芯片,如龙芯 CPU、SoC,中星微多媒体 DSP 芯片等。这为我国嵌入式系统的发展奠定了良好的硬件基础。嵌入式软件也得到了良好的发展,如红旗嵌入式 Linux 操作系统、Hopen 嵌入式操作系统、天脉嵌入式 Linux 操作系统等等。但这些系统软件与自己的硬件芯片的联系还不太密切。如何为“中国芯”定制自己的嵌入式操作系统和开发应用软件,是摆在我们面前的首要任务,同时也是一种挑战。在嵌入式技术人才培养方面,我们的大学里,这几年已经陆续开设了嵌入式系统相关课程,这将为嵌入式领域培养大量的开发设计人才。

笔者在国家 863 计划、北京市科技计划、中科院创新计划的支持下,长期从事嵌入式系统的研究和开发工作,尤其是基于国产芯片进行了大量的嵌入式软硬件系统的设计和产品化工作,取得了一些成功经验。在目前的嵌入式应用中,一般都有实时性要求,因此设计开发嵌入式实时操作系统很基础也很迫切,应北京邮电大学出版社的邀请,决定编写一本嵌入式实时操作系统方面的教材。希望通过本书介绍其中的部分经验,为广大学生和嵌入式系统爱好者“抛



砖引玉”，共同推动我国的嵌入式系统发展。

本书以理论为核心，以应用为导向，从嵌入式系统的概念及其发展趋势着手，全面地介绍了嵌入式系统的核心组成部分——嵌入式实时操作系统，对其中的任务管理、任务同步与通信、时钟管理、中断/异常管理、内存管理以及 I/O 管理等各部分都进行了详细地论述。特别对任务调度、优先级反转、中断/异常等实时系统中比较重要的问题进行了深入探讨。从应用角度出发，讨论了嵌入式系统的软硬件平台及其选择，讲述了嵌入式系统开发的全过程，并给出了基于多种实时操作系统的开发实例。

本书可以用作高等院校嵌入式操作系统课程教材并配备了大量的习题，也可以作为从事嵌入式系统开发和管理的技术人员参考书。

参加本书编写工作的人员很多，主要包括湘潭大学信息工程学院的段斌教授，中科院计算所的隋雪青高级工程师，硕士生苏长宇和罗炜，中科院计算所的何哲、陈援非、郭俊波、罗海勇工程师等。

由于笔者学识浅薄，书中难免出错，希望大家不吝赐教。

作者

2006年9月



目 录

第 1 章 嵌入式系统简介

1.1 嵌入式系统的发展趋势	1
1.1.1 什么是嵌入式系统	1
1.1.2 国内外发展概况	3
1.1.3 市场应用前景	6
1.2 嵌入式系统的特征与分类	8
1.2.1 嵌入式系统的特征	8
1.2.2 嵌入式系统的分类	9
1.3 嵌入式硬件软件简介	10
1.3.1 嵌入式硬件简介	10
1.3.2 嵌入式软件简介	12
1.3.3 嵌入式系统开发简介	13
习题	15

第 2 章 嵌入式实时操作系统概述

2.1 RTOS 的概念	16
2.2 RTOS 的起源和发展	18
2.2.1 RTOS 的起源	18
2.2.2 RTOS 的发展趋势	19
2.3 RTOS 的特征	20
2.4 RTOS 的组成	22
2.4.1 RTOS 内核	22
2.4.2 嵌入式 TCP/IP 网络系统	24
2.4.3 嵌入式文件系统	24
2.5 RTOS 的分类	25
习题	26

第 3 章 任务管理

3.1 RTOS 任务的定义	27
3.2 RTOS 任务状态及转换	28
3.3 RTOS 任务调度	30



3.3.1	概述	30
3.3.2	实时调度算法分类	32
3.3.3	主要调度算法	32
3.4	RTOS 任务的基本操作	34
3.4.1	任务创建	35
3.4.2	任务删除	36
3.4.3	任务挂起	36
3.4.4	任务唤醒	36
3.4.5	任务睡眠	37
3.4.6	关于任务扩展	37
3.5	RTOS 任务的基本数据结构	38
3.5.1	任务控制块	38
3.5.2	任务控制块示例	38
3.6	RTOS 优先级反转	39
3.6.1	优先级反转问题的提出	39
3.6.2	优先级反转问题的解决	40
	习题	41

第4章 同步与通信

4.1	理解同步与通信	43
4.2	信号量	44
4.2.1	信号量定义	44
4.2.2	信号量的数据结构	45
4.2.3	信号量的基本操作	46
4.2.4	信号量应用举例	47
4.3	邮箱	49
4.3.1	邮箱定义	49
4.3.2	邮箱的数据结构	50
4.3.3	邮箱的基本操作	50
4.3.4	邮箱应用举例	51
4.4	消息队列	53
4.4.1	消息队列定义	53
4.4.2	消息队列的数据结构	53
4.4.3	消息队列的基本操作	54
4.4.4	消息队列应用举例	55
4.5	互斥体	56
4.5.1	互斥体定义	56
4.5.2	互斥体的数据结构	57

4.5.3 互斥体的基本操作·····	58
4.5.4 互斥体应用举例·····	59
习题·····	60
第5章 时间管理	
5.1 硬件时钟设备·····	62
5.1.1 实时时钟·····	62
5.1.2 可编程间隔定时器·····	63
5.2 时钟管理·····	64
5.2.1 时钟粒度·····	64
5.2.2 时钟机制·····	64
5.3 定时器管理·····	65
5.4 时钟中断服务程序·····	69
习题·····	70
第6章 中断/异常管理	
6.1 中断/异常的一些基本概念·····	71
6.2 中断系统的硬件结构·····	73
6.2.1 一般的中断硬件结构·····	73
6.2.2 中断硬件结构示例·····	74
6.3 中断处理过程·····	76
6.3.1 中断检测与中断响应·····	76
6.3.2 中断处理·····	77
6.4 用户中断服务程序·····	81
6.5 伪中断·····	82
6.6 中断评价指标·····	83
6.7 嵌入式中断机制特点·····	84
习题·····	85
第7章 内存管理	
7.1 内存管理原理·····	86
7.2 固定尺寸内存池管理·····	87
7.2.1 固定尺寸内存池管理的特点·····	87
7.2.2 固定尺寸内存池管理的数据结构·····	88
7.2.3 固定尺寸内存池管理的基本操作·····	90
7.3 可变大小内存池管理·····	91
7.3.1 可变尺寸内存池管理的特点·····	91
7.3.2 可变尺寸内存池管理的数据结构·····	91



7.3.3 可变尺寸内存池的基本操作	94
习题	95
第8章 I/O 管理	
8.1 I/O 管理的功能	96
8.2 I/O 管理的基本方法	98
8.2.1 使用轮询的直接 I/O	98
8.2.2 中断驱动 I/O	99
8.2.3 存储映射 I/O	100
8.2.4 直接内存访问	101
8.3 I/O 管理系统的实现	101
8.3.1 I/O 管理系统的实现思想	102
8.3.2 VxWorks 下的 I/O 设备驱动实现	103
8.3.3 Linux 下的设备驱动程序实现	106
8.4 常用 I/O 设备	111
8.4.1 串行通信设备	111
8.4.2 顺序访问的存储设备	112
8.4.3 随机存取设备	113
习题	114
第9章 其他子系统	
9.1 文件系统	115
9.1.1 通用文件系统	115
9.1.2 闪存文件系统	116
9.1.3 内存文件系统	121
9.2 图形用户界面	121
9.2.1 基本知识	121
9.2.2 关键技术	122
9.2.3 开发工具	124
9.3 TCP/IP 协议栈	127
9.3.1 TCP/IP 协议简介	127
9.3.2 嵌入式 TCP/IP 协议栈	130
9.4 其他接口	132
9.4.1 Java 虚拟机	132
9.4.2 嵌入式数据库	133
习题	137
第10章 嵌入式硬件介绍	
10.1 嵌入式处理器	138



10.1.1 嵌入式微处理器	139
10.1.2 嵌入式微控制器	147
10.1.3 嵌入式片上系统	147
10.1.4 嵌入式 DSP 处理器	149
10.2 总线	150
10.2.1 ISA	151
10.2.2 PCI	152
10.2.3 I2C	152
10.2.4 CAN	153
10.2.5 AMBA	154
10.3 存储器	154
10.3.1 高速缓存	155
10.3.2 主存	155
10.3.3 外存	156
10.4 通信接口	157
10.4.1 USB 总线	157
10.4.2 IEEE1394 总线	158
10.4.3 IEEE802.11	160
10.4.4 蓝牙	161
10.4.5 IrDA	162
10.5 其他嵌入式设备	162
10.5.1 液晶显示	163
10.5.2 触摸屏	164
10.5.3 语音输入/输出设备	165
10.5.4 键盘	166
习题	168

第 11 章 主流 RTOS 介绍

11.1 TRON	169
11.1.1 概述	169
11.1.2 T-Kernel 与 TRON 的关系	170
11.1.3 T-Engine 的软件构成	170
11.1.4 T-Kernel 的内核概要	171
11.1.5 同步与通信	171
11.1.6 中断/异常处理	172
11.1.7 内存管理	173
11.2 VxWorks	175
11.2.1 概述	175

11.2.2	VxWorks 的特点	175
11.2.3	VxWorks 的体系结构	176
11.2.4	Tonado 集成开发环境	179
11.3	QNX	179
11.3.1	微内核概述	180
11.3.2	资源管理和路径名空间管理	182
11.3.3	QNX 的可维护性	186
11.3.4	QNX 的性能	187
11.4	μ CLinux	187
11.4.1	μ CLinux 的内存管理	188
11.4.2	μ CLinux 的内核结构	189
11.4.3	内存保护	189
11.4.4	编程接口的改变	190
11.4.5	μ CLinux 的应用程序库	191
11.4.6	μ CLinux 的内核运行方式	191
11.4.7	μ CLinux 支持的文件系统	191
11.5	Windows CE	191
11.5.1	Windows CE 的体系结构	192
11.5.2	基于 Windows CE 的产品	195
11.5.3	Windows CE 定制开发	195
11.5.4	应用程序的开发	196
11.5.5	设备驱动程序的开发	196
11.5.6	Windows CE 的内存使用	196
	习题	197

第 12 章 应用开发

12.1	开发工具	198
12.1.1	实时在线仿真系统	198
12.1.2	高级语言编译器	199
12.1.3	源程序模拟器	199
12.1.4	实时多任务操作系统	200
12.1.5	集成开发环境	200
12.2	开发过程	201
12.2.1	选定开发平台	201
12.2.2	选定操作系统	204
12.2.3	系统的开发	207
12.2.4	系统的调试	215
	习题	219

第 13 章 应用开发范例

13.1 系统层开发范例	220
13.1.1 基于 μ CLinux 的内核移植与驱动开发	220
13.1.2 嵌入式 Linux 系统的设计和应用	229
13.1.3 基于 VxWorks 的 DMA 驱动程序开发范例	231
13.1.4 基于 Windows CE 的打印机驱动开发	234
13.1.5 开发具有动态电压调整功能的操作系统	236
13.1.6 基于龙芯-1 号 CPU 的网络终端主板的开发	243
13.1.7 基于龙芯 GS32I 的嵌入式 Linux 系统的开发	246
13.2 应用层开发范例	249
13.2.1 基于 μ C/OS-II 的 IDE 行为状态机的设计与实现	249
13.2.2 嵌入式操作系统中的 IC 卡资源管理器	260
13.2.3 基于 VxWorks 的邮箱通信实现	264
13.2.4 基于 TRON 的应用开发	267
习题	276
参考文献	278

第 1 章 嵌入式系统简介

嵌入式系统是计算机技术、自动控制技术以及现代网络与通信技术等高度融合的产物。嵌入式系统适应于对功能、可靠性、体积、功耗、成本等综合指标具有严格要求的专业计算机应用系统。

随着信息技术的高速进步,嵌入式系统已经在许多领域得到了应用。全过程自动化产品制造、大规模电子商务活动、高度协同科学实验以及现代化家居生活,为嵌入式产品造就了崭新而巨大的商机。嵌入式系统已经广泛地深入人们的日常生活,构建信息高速公路的各种网络设备,如交换机、路由器和调制解调器都属于嵌入式系统;各种汽车电子设备和信息家电(Information Appliances)也大都为嵌入式系统,如移动电话、网络可视电话、网络游戏机、商务通(PDA)、电视机顶盒、DVD 播放机、电子阅读机等。

本章首先介绍嵌入式系统的概念、发展趋势;然后介绍嵌入式系统的特征及其分类;最后介绍嵌入式软件和硬件两个方面的内容。其中,嵌入式硬件中介绍了嵌入式处理器、SoC(System on Chip)与嵌入式外围接口电路和设备接口。嵌入式软件的基本体系结构包括嵌入式实时操作系统 RTOS(Real-Time Operating System)、嵌入式设备驱动程序、嵌入式应用程序编程接口(中间件)和嵌入式应用程序。

1.1 嵌入式系统的发展趋势

1.1.1 什么是嵌入式系统

虽然嵌入式系统已经在人们实际生活中得到了越来越广泛的应用,但是究竟什么是嵌入式系统,这个基本问题的确切定义仍然在争论中。在从事嵌入式系统应用领域的科技工作者中,不少人对什么是嵌入式系统也不甚了解。有些人搞了十几年的单片机应用,但不知道单片机其实就是一个最典型的嵌入式系统;也有些人在解释什么是嵌入式系统时,不是从定义出发,而是列举了嵌入式系统的一些特点,往往不知所云。因此,有必要从现代计算机的发展历史来了解嵌入式系统的由来,从学科建设的角度来探讨嵌入式系统较为准确的定义。

嵌入式系统本身是一个相对模糊的定义。早期的嵌入式系统主要应用于军事、航空、航天等领域,以后逐步地应用到工业控制、仪器仪表、汽车电子、通信和家用消费类等领域。现在的嵌入式系统已经广泛地应用到人们的日常生活之中。但是,人们往往会很少意识到自己已经随身携带了好几个嵌入式系统——MP3、手机或者智能卡,而且他们在与汽车、电梯、厨房设备、电视、录像机以及娱乐系统的嵌入式系统交互时也往往对此毫无察觉。正是“看

不见”这一特性将嵌入式计算机与通用计算机区分开来了。

目前存在多种嵌入式系统的定义,有的是从嵌入式系统的应用定义的,有的是从嵌入式系统的组成定义的,也有的是从其他方面进行定义的,下面给出两种比较常见的定义。

第一种,根据 IEEE(国际电气和电子工程师协会)的定义,嵌入式系统是“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置”(原文为 devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。

可以看出此定义是从应用上考虑的,嵌入式系统是软件和硬件的综合体,还可以涵盖机电等附属装置。

第二种,嵌入式系统是以应用为中心、以计算机技术为基础、软硬件可裁减,对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。广而言之,可以认为凡是带有微处理器的专用软硬件系统都可以称为嵌入式系统。嵌入式系统采用“量体裁衣”的方式把所需的功能嵌入到各种应用系统中,它融合了计算机软硬件技术、通信技术和半导体微电子技术,是信息技术(IT, Information Technology)的最终产品。

嵌入式系统是指将操作系统和功能软件集成于计算机硬件系统之中,简单地说就是系统的软件与系统的硬件一体化,类似于 BIOS 的工作方式,具有软件体积小,高度自动化,响应速度快等特点。

以下是在网络上查询到的“embedded system”英文的定义,这里不做解释,交给读者自己去理解:

① A combination of computer hardware and software, and perhaps additional mechanical or other parts, designed to perform a dedicated function. In some cases, embedded systems are part of a larger system or product, as in the case of an antilock braking system in a car. Contrast with general-purpose computer.

(参见 www.netsilicon.com/support/embeddedglossary.jsp)

② A specialized computer system which is dedicated to a specific task. Embedded systems range in size from a single processing board to systems with operating systems (ex., Linux, Windows®NT Embedded). Examples of embedded systems are medical equipment and manufacturing equipment.

(参见 www.systemsoft.com/1-2/1-3/support-glossary.htm)

③ A computer system that is a component of a larger machine or system. Embedded systems can respond to events in real time. Most digital appliances, such as watches or cars, utilize an embedded system.

(参见 www.keep-talking.net/glossary.htm)

④ Hardware and software that forms a component of some larger system and is expected to function without human intervention. Typically an embedded system consists of a single-board microcomputer with software in ROM, which starts running a dedicated application as soon as power is turned on and does not stop until power is turned off.

(参见 techpubs.sgi.com/library/tpl/cgi-bin/getdoc.cgi)

⑤ An embedded system is some combination of computer hardware and software, either fixed in capability or programmable, that is specifically designed for a particular kind of applica-

tion device. Industrial machines, automobiles, medical equipment, cameras, household appliances, airplanes, vending machines, and toys (as well as the more obvious cellular phone and PDA) are among the myriad possible hosts of an embedded system.

(参见 www.caps-entreprise.com/en/glossaire_contenu.html)

⑥ A phrase that refers to a device that contains computer logic on a chip inside it. Such equipment is electrical or battery powered. The chip controls one or more functions of the equipment, such as remembering how long it has been since the device last received maintenance.

(参见 www.ucsf.edu/y2k/toolkit/gloss.html)

⑦ An embedded system is a special-purpose computer system, which is completely encapsulated by the device it controls. An embedded system has specific requirements and performs pre-defined tasks, unlike a general-purpose personal computer.

(参见 en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system)

1.1.2 国内外发展概况

1. 现代计算机技术发展的两大分支

嵌入式系统起始于微型机时代的嵌入式应用。

让我们先回顾一下计算机的发展历史。1946年诞生了第一台电子数字计算机,在其后近30年的历史进程中,计算机始终被供养在对环境有着特殊要求的机房中,占用几百甚至上千平方米的地盘,实现着比较单一的数值计算。这样的计算机设备本身价格昂贵,供养它同样要付出昂贵的代价。直到20世纪70年代微处理器的出现,计算机的发展才出现了历史性的变化,以微处理器为核心的微型计算机以其小型、价廉、高可靠性等优秀特点,迅速走出机房。基于高速数值解算能力的微型机,表现出的智能化水平引起了控制专业人士的兴趣,要求将微型机嵌入到一个对象体系中,实现对象体系的智能化控制。例如,将微型计算机经电气加固、机械加固,并配置各种外围接口电路,安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态监测系统。这样一来,计算机便失去了原来的形态与通用的计算机功能。为了区别于原有的通用计算机系统,把嵌入到对象体系中,实现对象体系智能化控制的计算机,称作嵌入式计算机系统。因此,嵌入式系统诞生于微型机时代,嵌入式系统的嵌入性本质是将一个计算机嵌入到一个对象体系中去,这些是理解嵌入式系统的基本出发点。

由于嵌入式计算机系统要嵌入到对象体系中,实现的是对象的智能化控制,因此,它有着与通用计算机系统完全不同的技术要求与技术发展方向。

通用计算机系统的技术要求是高速数值计算和海量的存储;技术发展方向是总线速度的无限提升,存储容量的无限扩大。而嵌入式计算机系统的技术要求则是对象的智能化控制能力;技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性。

在嵌入式系统发展初期,人们勉为其难地将通用计算机系统进行改装,在大型设备中实现嵌入式应用。然而,对于众多的小对象系统(如家用电器、仪器仪表、工控单元等),就无法嵌入通用计算机系统,况且嵌入式系统与通用计算机系统的技术发展方向完全不同。因此,必须独立地发展通用计算机系统与嵌入式计算机系统,这就形成了现代计算机技术发展的两大分支。

如果说微型机的出现,使计算机进入到现代计算机发展阶段,那么嵌入式计算机系统的诞生,则标志了计算机进入了通用计算机系统与嵌入式计算机系统两大分支并行、分工和专业化的发展时代。从而也引出了在 20 世纪末、21 世纪初,通用 CPU 和通用计算机系统、SoC 和嵌入式计算机系统的高速发展。

计算机专业领域集中精力发展通用计算机系统的软、硬件技术,不必兼顾嵌入式应用要求,通用微处理器迅速从 286、386、486 到奔腾系列;操作系统则迅速扩张计算机基于高速海量的数据文件处理能力,使通用计算机系统进入到近乎完美的阶段。

嵌入式计算机系统则走上了一条完全不同的道路,这条独立发展的道路就是单芯片化道路。原有的传统电子系统领域的厂家与专业人士,接过起源于计算机领域的嵌入式系统,承担起发展与普及嵌入式系统的历史任务,迅速地将传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统时代。

因此,现代计算机技术发展的两大分支的里程碑意义在于:它不仅形成了计算机发展的专业化分工,而且将发展计算机技术的任务扩展到传统的电子系统领域,使计算机成为进入人类社会全面智能化时代的有力工具。

2. 单片机开创了嵌入式系统独立发展道路

嵌入式系统起源于 20 世纪 70 年代。最早的嵌入式系统是为了满足某些特殊的控制要求而设计的特殊控制系统,一般由单片机及其外围设备构成。单片机的出现具有里程碑意义,它的诞生标志着计算机正式形成了通用计算机系统和嵌入式计算机系统两大分支。单片机作为最典型的嵌入式系统,它的成功应用推动了嵌入式系统的发展。

嵌入式系统虽然起源于微型计算机时代,然而,微型计算机的体积、价位、可靠性都无法满足大量的对象系统对嵌入式应用的要求,因此,嵌入式系统走出了芯片化的独立发展道路。将计算机做在一个芯片上,开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代。

在单片机发展过程中,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减后,集成在一个芯片上,构成单片微型计算机(即单片机);“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、管理模式等。如英特尔公司的 MCS-48、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,MCS-51 又是在 MCS 48 的基础上进行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。

单片机的发展经历了 SCM、MCU、SoC 三大阶段。

SCM(Single Chip Microcomputer)即单片微型计算机阶段,主要是寻求最佳的单片形态嵌入式系统的最佳体系结构。“创新模式”获得成功,奠定了 SCM 与通用计算机完全不同的发展道路。在开创嵌入式系统独立发展道路上,英特尔公司功不可没。

MCU(Micro Controller Unit)即微控制器阶段,其主要的技术发展方向是不断地扩展满足对象系统对嵌入式应用要求的各种外围电路与接口电路,突显其对象的智能化控制能力。由于所涉及的领域都与对象系统相关,因此发展 MCU 的重任就不可避免地落在电气、电子技术厂家身上。在发展 MCU 方面,飞利浦公司发挥了重要作用。

单片机是嵌入式系统的独立发展之路,向 MCU 阶段发展的重要因素就是寻求应用系统在芯片上的最大化解,因此,专用单片机的发展自然形成了 SoC 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得到了较大发展。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。

嵌入式系统有过很长一段的单片机独立发展道路。那时的嵌入式系统基本上是基于 8 位单片机的,实现了最底层的嵌入式系统应用,并且带有明显的电子系统设计模式特点。大多数从事单片机应用开发人员,都是对象系统领域中的电子系统工程师,加之单片机出现时就立即脱离了计算机专业领域,以“智能化”器件身份进入电子系统领域,没有带入“嵌入式系统”概念。因此不少从事单片机应用的人,不了解单片机与嵌入式系统的关系,在谈到“嵌入式系统”领域时,往往把它理解成计算机专业领域的、基于 32 位嵌入式处理器的、从事“网络+通信+多媒体”等内容的应用。这样,“单片机”与“嵌入式系统”形成了嵌入式系统中常见的两个独立的名词。但由于“单片机”是典型的、独立发展起来的嵌入式系统,从学科建设的角度出发,应该把它统一成“嵌入式系统”。考虑到原来单片机的电子系统底层应用特点,可以把嵌入式系统应用分成高端与低端,把原来的单片机应用理解成嵌入式系统的低端应用,含义为它的底层性以及对象系统的紧耦合。总之,单片机的发展和应用,引领了嵌入式系统的发展。

3. 嵌入式系统发展的 4 个阶段

嵌入式系统经历了 30 多年的发展,尤其是近几年来,计算机、通信、消费电子的一体化趋势日益明显,嵌入式技术已成为一个研究热点,嵌入式系统也给众多商家带来了良好商机。纵观嵌入式技术的发展过程,大致经历了以下 4 个阶段。

(1) 第一个阶段

以单芯片为核心的可编程控制器形式的嵌入式系统,具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能。这类系统大部分应用于一些专业性强的工业控制系统中,一般没有操作系统的支持,通过汇编语言编程对系统进行直接控制。这一阶段的嵌入式系统的主要特点是:系统结构和功能相对单一,处理效率较低,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、价格低,早期在国内工业领域应用较为普遍,但是已经远不能适应高效的、需要大容量存储的现代工业控制和新兴信息家电等领域的需求。

(2) 第二个阶段

以嵌入式 CPU 为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。主要特点是:CPU 种类繁多,通用性比较弱;系统开销小,效率高;操作系统达到了一定的兼容性和可扩展性;应用软件较为专业化,但用户界面不够友好。

(3) 第三个阶段

以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。主要特点是:嵌入式操作系统能运行于各种不同类型的微处理器上,兼容性好;操作系统内核小、效率高,并且具有高度的模块化和扩展性;具备文件和目录管理、多任务、网络支持、图形窗口以及用户界面等功能;具有大量的应用程序接口,应用程序开发变得更为简单;嵌入式应用软件也更加丰富。

(4) 第四个阶段

以因特网为标志的嵌入式系统。这是一个正在迅速发展的阶段。目前大多数嵌入式系统还孤立于因特网之外,但随着因特网的发展以及因特网技术与信息家电、工业控制技术结合日益密切,嵌入式设备与因特网的结合将代表嵌入式系统的未来。

综上所述,嵌入式系统技术日益完善,32 位微处理器在该系统中占主导地位,嵌入式操