

嵌入式技术系列丛书

嵌入式系统设计

QIANRUSHI XITONG SHEJI

邓中亮 段大高 崔岩松 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

嵌入式技术系列丛书

嵌入式系统设计

邓中亮 段大高 崔岩松 编著

北京邮电大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书是作者在多年来从事嵌入式技术及应用研究的基础上撰写而成。全书共 10 章,分别介绍了 ARM 处理器、Windows CE、NET 系统、嵌入式 BSP 环境的搭建、集成开发环境、基于 Windows CE、NET 的设备驱动程序开发、串口驱动程序设计、基于 Windows CE、NET AC'97 音频驱动设计、USB 主控制器驱动设计、LCD 控制器驱动程序设计、系统测试和调试技术等。详细分析了操作系统的建立、启动、运行和调试的整个过程,深入探讨了内核结构、系统原理,并以 SHARP LH7A404 为例详细介绍了驱动程序和应用程序的开发技术与方法。

本书可以作为高等学校有关专业本科生和研究生的教材,也可供从事嵌入式系统开发的技术工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计/邓中亮,段大高,崔岩松编著. —北京:北京邮电大学出版社,2008

ISBN 978-7-5635-1630-8

I. 嵌… II. ①邓…②段…③崔… III. 微型计算机-系统设计 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 129236 号

书 名: 嵌入式系统设计

作 者: 邓中亮 段大高 崔岩松

责任编辑: 方 瑜

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(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市梦宇印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 18.25

字 数: 450 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-1630-8

定价: 31.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

嵌入式系统是计算机、通信电子、多媒体及数据传输处理等技术与具体对象相结合的产物。嵌入式系统通常由嵌入式芯片、嵌入式操作系统、嵌入式软件及嵌入式系统开发工具等4个基本部分组成。随着信息化、智能化、网络化的不断深入发展,嵌入式系统技术也必将获得更为广阔的发展空间,向着功能密集、网络连接灵活、移动应用和多媒体信息处理轻便的方向发展。Microsoft Windows CE 是一个简洁的、高效率的多平台操作系统。Windows CE 有着许多嵌入式系统开发人员梦寐以求的特性,如支持蓝牙无线通信技术、对多媒体的普遍支持、使用 IE 浏览器以及丰富的开发工具等,同时其开发公司 Microsoft 拥有强大的支持力量,因此 Windows CE 已经获得众多软、硬件厂商的支持,有许多第三方工具可供使用。

本书的主要内容包括:ARM 处理器体系结构与 LH7A404 处理器;Windows CE. NET 系统,包括系统模型、任务管理、内存管理与存储器管理、设备管理、中断处理与实时能力等;嵌入式 BSP 环境的搭建,包括 LH7A404 平台 Windows CE. NET 系统 BSP 开发和调试环境的搭建等;基于 Windows CE. NET 的设备驱动程序开发,包括设备驱动中断机制与中断处理等;串口驱动程序设计;基于 Windows CE. NET AC'97 音频驱动;USB 主控制器驱动;LCD 控制器驱动程序设计;系统测试和调试等。

本书由北京邮电大学的邓中亮和崔岩松、北京工商大学的段大高等编著,潘莉、周俊、陈俊勇、谢德山等为本书编写提供了支持和帮助。

由于作者水平有限,编写时间仓促,书中可能存在不少的缺点和错误,恳请读者批评指正。

作 者

2008 年 7 月

目 录

第 1 章 绪论

1.1 嵌入式系统定义	1
1.2 嵌入式操作系统	2
1.3 嵌入式系统的基础架构	5
1.4 嵌入式系统的发展	6

第 2 章 ARM 处理器

2.1 ARM 处理器	9
2.2 ARM 体系结构	10
2.3 LH7A404 处理器	12
2.3.1 LH7A404 处理器特点	12
2.3.2 内核和数据通道	15
2.4 总线	19
2.4.1 高性能总线	19
2.4.2 高级外围总线	24
2.4.3 AHB 到 APB 的桥	24
2.5 DMA 控制器	25
2.6 引导存储器	25
2.7 静态存储控制器	28
2.7.1 工作原理	28
2.7.2 PCMCIA 与 CF 的使用	30
2.8 同步动态存储控制器	30
2.8.1 SDMC 操作	31
2.8.2 外部硬件系统设计	31
2.8.3 SDMC 编程	38
2.8.4 初始化 SDRAM 设备	40
2.8.5 引导模式编程	41
2.9 时钟和状态控制器	42
2.10 矢量中断控制器	47
2.10.1 中断优先权	48
2.10.2 中断分配	48
2.10.3 存储映射	50
2.11 直接存储器存取控制器	51

2.11.1 DMA 外部接口信号	52
2.11.2 DMA 数据传输大小	55
2.12 I/O 设备和静态存储控制器的接口	55
2.13 在 LH7A4xx 系列设备上实现自动唤醒	58
2.14 SHARP LH7A404 SoC 开发板	60

第 3 章 Windows CE. NET 嵌入式操作系统

3.1 系统分层模型和模块化组织	62
3.2 进程与线程	67
3.2.1 进程	67
3.2.2 线程	68
3.2.3 同步	69
3.2.4 消息队列	73
3.3 任务管理	74
3.4 内存管理和存储器管理	75
3.4.1 ROM 和 RAM	75
3.4.2 系统内存映射	75
3.4.3 堆和栈	77
3.5 设备管理	78
3.5.1 注册表	78
3.5.2 设备管理器	78
3.5.3 I/O 资源管理器	79
3.5.4 设备驱动程序	79
3.6 中断处理	79
3.6.1 IST 中断初始化	82
3.6.2 IST 中断服务线程	83
3.6.3 嵌套中断	84
3.6.4 中断滞后时间	85
3.7 实时特性	86
3.8 文件系统管理	86
3.8.1 文件系统	87
3.8.2 配置文件	89

第 4 章 嵌入式 BSP 分析及开发环境

4.1 集成开发环境 Platform Builder 4.20	91
4.2 定制 Windows CE 的流程	93
4.3 Platform Builder 中的配置文件	94
4.3.1 镜像配置文件	94
4.3.2 源码配置文件	95
4.3.3 设置环境变量	96

4.4 嵌入式系统 BSP	97
4.4.1 BSP 概念	97
4.4.2 Windows CE. NET 系统架构	97
4.4.3 BSP 结构及组成	98
4.4.4 OAL 结构及内核启动顺序	98
4.4.5 OAL 主要开发内容	99
4.4.6 基于 LH7A404 开发板的 OAL 层程序开发设计	105
4.5 启动程序 BootLoader 的开发设计	106
4.5.1 BootLoader 的功能	106
4.5.2 BootLoader 的组成	106
4.5.3 BootLoader 启动过程	107
4.5.4 BootLoader 实现	108
4.6 创建操作系统镜像	116
4.7 LH7A404 平台 Windows CE. NET 系统 BSP 开发	118
4.7.1 系统启动后的执行过程	118
4.7.2 LH7A404 开发平台下 BSP 的开发设计	118
4.8 开发和调试环境的搭建	119
4.8.1 嵌入式系统软件的开发和调试	119
4.8.2 开发调试环境的搭建	120

第 5 章 基于 Windows CE 设备驱动框架

5.1 Windows CE 设备驱动架构	122
5.1.1 本地设备驱动和流设备驱动	122
5.1.2 流设备驱动	124
5.1.3 与流设备驱动模块相关的配置文件	124
5.1.4 系统流设备驱动程序框架	125
5.1.5 Windows CE 设备驱动程序实现方式	128
5.2 设备驱动中断机制分析	130
5.2.1 ISR 部分处理	130
5.2.2 IST 部分处理	130
5.2.3 中断处理组件及作用过程	132
5.3 驱动程序开发步骤	132
5.4 电源管理	134
5.5 可扩展固件接口	139

第 6 章 串口驱动程序设计

6.1 串口通信的基本概念	147
6.2 Windows CE 下的串口驱动	151
6.2.1 串口驱动模型分析	151
6.2.2 串行通信端口初始化	155

6.2.3	串行通信端口的打开与关闭	163
6.2.4	启停分发线程与中断处理	170
6.2.5	读写串行通信端口	178
6.2.6	串口电源开关控制	187
6.2.7	串口输入与输出控制 COM_IOCTL	188
6.2.8	退出线程 ProcessExiting	189
6.2.9	等待通信事件 WaitCommEvent	192
6.2.10	建立串口特性配置数据结构	194
6.3	LH7A404 串口驱动程序设计	202
6.3.1	LH7A404 开发板串口硬件测试	203
6.3.2	串口驱动注册信息	203
6.3.3	基于框架的串口驱动设计	204

第 7 章 基于 Windows CE.NET 的 AC'97 音频驱动设计

7.1	AC'97 音频数据传输协议	211
7.1.1	AC'97 控制器与连接	212
7.1.2	AC-link 数字接口	214
7.1.3	AC'97 的工作模式	218
7.2	音频 DMA 传输模式	219
7.2.1	DMAC 的功能	219
7.2.2	DMAC 工作状态	220
7.3	基于 Windows CE.NET 的音频驱动设计	222
7.3.1	音频系统硬件框架	223
7.3.2	AC'97 音频驱动设计	224
7.3.3	AC'97 音频驱动注册信息	227

第 8 章 USB 主控制器驱动

8.1	概述	228
8.2	USB 系统拓扑结构	230
8.3	USB 通信层次模型	235
8.4	USB 包的类型	238
8.5	OHCI 规范	242
8.6	设备配置信息	244
8.7	设备的探测和连接	245
8.7.1	客户启动传输	246
8.7.2	USB 驱动程序和客户程序	248
8.8	LH7A404 的 USB 主机控制器	249
8.9	Windows CE 下 USB 主机控制器驱动程序	250
8.9.1	HCD 驱动程序编写工作分析	250
8.9.2	PDD 层调用的 MDD 层函数	250

8.9.3 PDD 层向 MDD 层提供的 DDSI 函数	251
8.9.4 其他文件编写	252

第 9 章 基于 LCD 驱动程序设计

9.1 LH7A404 LCD 控制器	254
9.1.1 LH7A404 CLCDC 设置参数	254
9.1.2 LH7A404 CLCDC 操作原理	255
9.1.3 CLCDC 帧缓冲器存储像素格式	257
9.1.4 开启和关闭 LCD 的电源次序	257
9.1.5 LH7A404 CLCDC 时隙图	258
9.2 Windows CE.NET 显示设备驱动概述	262
9.2.1 显示设备驱动框架及接口	262
9.2.2 显示设备缓冲区的格式	264
9.3 Windows CE.NET 显示设备驱动设计	267

第 10 章 系统测试和调试

10.1 概述	270
10.2 硬件测试	270
10.3 内核调试	271
10.4 驱动调试	273
10.4.1 搭建测试环境	274
10.4.2 功能测试	274
10.4.3 性能分析与驱动程序优化	275
10.4.4 经验总结	278

参考文献	279
------------	-----

第1章 绪 论

21 世纪是信息经济时代,计算机技术从 PC 时代进入后 PC 时代后,计算机和网络已全面渗透到日常工作和生活的方方面面。同时,一种新型的系统正在各种各样的领域应用,小到 mp3、PDA 等微型数字化产品,大到网络家电、智能家电、车载电子设备;而在工业和服务领域中,这样新型系统在数字机床、智能工具、工业机器人、服务机器人中应用,也正逐渐改变传统的工业和服务方式,这种新型的系统就是嵌入式系统。

1.1 嵌入式系统定义

所谓嵌入式系统就是指以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统,它将操作系统和功能软件集成于计算机硬件系统之中。

嵌入式系统也可定义为嵌入到对象体系中的专用计算机系统。而嵌入性、专用性与计算机系统是嵌入式系统的 3 个基本要素。对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。

嵌入式系统是计算机、通信电子、多媒体及数据传输处理等技术与具体对象相结合的产物。嵌入式系统通常由嵌入式芯片、嵌入式操作系统、嵌入式软件及嵌入式系统开发工具等 4 个基本部分组成。嵌入式芯片包括嵌入式微处理器、嵌入式微控制器、嵌入式数字信号处理器以及嵌入式片上系统(System on Chip),随着 RISC(精简指令集计算机)技术和微电子技术的迅速发展,嵌入式芯片的功能已愈来愈强,尺寸也愈来愈小。

目前,嵌入式系统正受到广泛的关注并蓬勃的发展着,而在未来的几年内,随着信息化、智能化、网络化的不断深入发展,嵌入式系统技术也必将获得更为广阔的发展空间,向着功能密集、网络连接灵活、移动应用和多媒体信息处理轻便的方向发展,成为后 PC 时代的擎天之柱。

为了使嵌入式系统开发更加方便和快捷、提高代码的可重用性和可靠性,出现了专门负责管理存储器分配、中断处理、任务调度等功能的软件模块——嵌入式操作系统。目前,常用的嵌入式操作系统有 Palm OS、Windows CE、VxWorks、Linux。其中,Windows CE 是微软公司专门为信息终端、移动设备、消费类电子产品、嵌入式应用等非 PC 领域而全新设计的战略性嵌入式操作系统。

1.2 嵌入式操作系统

嵌入式操作系统与普通计算机操作系统如 Windows 2000、Windows XP 等不同,它不需要安装在硬盘中,而是可以装入存储器中。嵌入式操作系统要求结构紧凑,其功能一般相对简单,资源占用较小。

嵌入式操作系统具有以下特性:

- 可裁剪性:提供多种可选功能,应用开发者根据自己的性能、功耗、体积等选择某些功能,开发规模适中的应用产品;
- 开放性:提供管理者和维护平台的基本途径;
- 可移植性:提供一个良好的编程模型,使平台可根据应用要求适应多种体系结构需要。

其中,可移植性是嵌入式操作系统最重要的特性。

目前国内外常用的嵌入式操作系统有以下几种:

(1) Windows CE

Microsoft Windows CE 是一个简洁的、高效率的多平台操作系统。它不是削减的 Windows 95 版本,而是从整体上为有限资源的平台设计的多线程、完整优先权、多任务的操作系统。它的模块化设计允许它对于从掌上电脑到专用的工业控制器的用户电子设备进行定制。操作系统的基本内核需要至少 200 KB 的 ROM。从 SEGA 的 DreamCast 游戏机到现在大部分的高价掌上电脑,都采用了 Windows CE,但是无奈价格太高,使得整个产品的成本急剧上升。

(2) VxWorks

2002 年 VxWorks 所在的公司 WindRiver 兼并了 pSOS 的 ISI 公司,使得该公司现在有两套 RTOS 系统。VxWorks 是目前嵌入式系统领域中使用最广泛,市场占有率最高的系统。它支持多种处理器,如 x86、i960、Sun Sparc、Motorola MC68xxx、MIPS RX000、Power PC 等。使用和 UNIX 不兼容的环境,大多数的 VxWorks API 是专有的。采用 GNU 的编译和调试器。

(3) pSOS

ISI 公司已经被 WindRiver 公司兼并,现在是属于 WindRiver 公司的产品。这个系统是一个模块化、高性能的实时操作系统,专为嵌入式微处理器设计,提供一个完全多任务环境,在定制的或是商业化的硬件上提供高性能和高可靠性。可以让开发者将操作系统的功能和内存需求定制成每一个应用所需的系统。开发者可以利用它来实现从简单的单个独立设备到复杂的、网络化的多处理器系统。

(4) QNX

QNX 是一个实时的、可扩充的操作系统,它遵循 POSIX.1 (程序接口)和 POSIX.2 (Shell 和工具)、部分遵循 POSIX.1b(实时扩展)。它提供了一个很小的微内核以及一些可选的配合进程。其内核仅提供 4 种服务:进程调度、进程间通信、底层网络通信和中断处理,

其进程在独立的地址空间运行。所有其他 OS 服务都实现为协作的用户进程,因此 QNX 内核非常小巧(QNX4.x 大约为 12 KB)而且运行速度极快。这个灵活的结构可以使用户根据实际的需求将系统配置成微小的嵌入式操作系统或是包括几百个处理器的超级虚拟机操作系统。

(5) Palm OS

3Com 公司的 Palm OS 在 PDA 市场上占有很大的市场份额,它有开放的操作系统应用程序接口(API),开发商可以根据需要自行开发所需要的应用程序。目前已经有总共 3 500 多个应用程序可以运行在 Palm Pilot 上,其中大部分应用程序均为其他厂商和个人所开发,使得 Palm Pilot 的功能得以不断增多。这些软件包括计算器、各种游戏、电子宠物、地理信息等。在开发环境方面,可以在 Windows 95/98、Windows NT 以及 Macintosh 下安装 Palm Pilot Desktop;PlamPilot 可以与流行的 PC 平台上的应用程序(如 Word、Excel 等)进行数据交换。

(6) OS-9

Microware 的 OS-9 是为微处理器的关键实时任务而设计的操作系统,广泛应用于高科技产品中,包括消费电子产品、工业自动化、无线通讯产品、医疗仪器、数字电视/多媒体设备中。它提供了很好的安全性和容错性。与其他的嵌入式系统相比,它的灵活性和可升级性非常突出。

(7) LynxOS

Lynx Real-time Systems 的 LynxOS 是一个分布式、嵌入式、可规模扩展的实时操作系统,它遵循 POSIX.1a、POSIX.1b 和 POSIX.1c 标准。LynxOS 支持线程概念,提供 256 个全局用户线程优先级;提供一些传统的、非实时系统的服务特征;包括基于调用需求的虚拟内存,一个基于 Motif 的用户图形界面,与工业标准兼容的网络系统以及应用开发工具。

表 1-1 和表 1-2 是 Windows CE 和其他几种常用的嵌入式操作系统的比较情况。

表 1-1 PDA 上嵌入式操作系统比较

名称	开发公司与市场占有率	占用存储空间大小	内容及可操作性	配置要求	其 他
Windows CE	Microsoft 公司,市场占有率大	<10 MB	预装 Word、Excel、IE、E-Mail 拨号器、约会安排、联系人、任务列表、记事本及速记等,内容丰富、功能全面,显得臃肿,操作方便。	配置要求高,PC 的延伸应用软件大小一般小于 10 MB。	使用 C 语言编写,方便与 PC 的交互。
Palm OS	3Com 公司,市场占有率中	<1 MB	预装基本应用程序、通讯录、日程表、记事本、任务安排及简单的配置程序,操作简单。	较低,操作系统 100 KB 左右。	移动计算方便、省电、速度快。
EPOC	Symbian 公司,市场占有率少	很小	应用软件较少。	—	灵活性、可伸缩性较好,处理全方位无线应用协议,使用 Java 语言,可与 IE 和服务器良好合作。

表 1-2 非 PDA 上几种嵌入式操作系统比较

名称	开发公司与市场占有率	源码开放性和结构	内核与效率	支持 CPU 范围	开发调试工具	应用开发
Windows CE	Microsoft 一般	非开放, 版权费适中。基于模块化和组件结构。	最小内核约 200 KB, 效率较低。	支持 ARM、MIPS、x86、PowerPC 等数十种 32 位微处理器。	具有丰富的开发工具、有着高效明晰的图形化开发调试平台——Platform Builder。	支持蓝牙无线通信技术、对多媒体普遍支持; 平台向导提供 IP 电话、网管、移动电话等 12 个预建配置, 应用开发简便快捷; Win32 位应用编程接口、类 Windows 的 API。
Linux	一般不断发展	公开源码。注释丰富, 模块化结构。Linux 爱好者遍布全球。	内核小效率高	跨平台系统支持 20~30 种 CPU	核心调试工具不全, 没有很好的图形用户界面。	开发难度高, 需要技术实力, 有些应用程序需要虚拟内存, 并非所有 Linux 应用程序都可以应用运行在嵌入式系统。
VxWorks	WindRiver 使用最广泛、市场占有率最高。	不开放, 版权费用高。很多 API 为系统独有模块化结构。	最小内核 8 KB, 效率高。	支持 x86、SPARC、SH、ARM、ColdFire、C16X、MIPS 等多种处理器。	高效明晰的图形化开发调试平台——Tornado。	超过 1800 个可供选择的应用编程接口 (API), 超过 320 家的合作伙伴公司的第三方产品。

可见, Windows CE 有着许多嵌入式系统开发人员梦寐以求的特性, 如支持蓝牙无线通信技术、广泛的 CPU 选择、对多媒体的普遍支持、使用 IE 浏览器以及丰富的开发工具等, 同时其开发公司 Microsoft 拥有强大的力量, 因此 Windows CE 已经获得众多软硬件厂商的支持, 有许多第三方工具可供使用。现在, Windows CE 以其快速的开发流程、灵活的软硬件选择和强壮的最终产品特性成为越来越多嵌入式产品开发操作系统的首选, 而且我们更有理由相信在未来的嵌入式道路上, Windows CE 必将越走越远、越走越宽。

另外, 嵌入式开发还是一种与硬件平台密切相关的开发, 除了选择了一种合适的嵌入式操作系统, 开发者往往还根据自己的应用方向、性能要求、成本要求等选择不同的硬件平台, 而在不同的硬件平台上的嵌入式系统实现往往千差万别, 因此如何使嵌入式操作系统在特定的硬件平台上实现就成为一切嵌入式开发的基础和重点, 对平台开发板的提供商来说, 这尤为重要。通常, 为嵌入式操作系统提供可移植性支持的是板级支持包 (BSP, Board Support Package), 它向操作系统提供对硬件的抽象和统一接口, 操作系统使用这些接口就可以对它们进行操作。可见, BSP 是直接向嵌入式操作系统提供服务的, 因此, 有时也直接称其为操作系统的驱动。

BSP 的出现是嵌入式系统开发的又一里程碑, 它为扩大嵌入式应用, 让更多的嵌入式项目能够采用嵌入式实时操作系统提供了便利。目前, Windows CE 已经提供了一系列广泛的 BSP, 但随着 CPU 的发展以及面对很多开发商自己设计开发的硬件平台, 研制与

需求并不一致,因此创建、编写自己的 BSP,使其在新目标板上安装 WinCE 是一项具有挑战性的工作。

1.3 嵌入式系统的基础架构

嵌入式系统通常包括硬件和软件两部分,基础架构如图 1-1 所示。其中,中间层为编程模型平台。

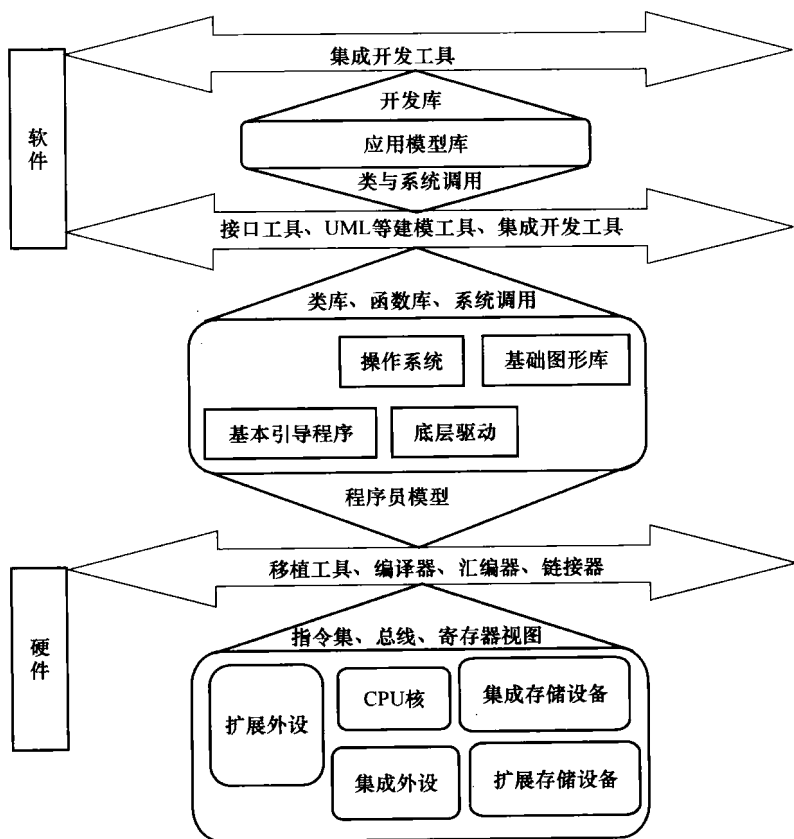


图 1-1 嵌入式系统基础架构

对下:以编译器、汇编器、连接器为接口工具,通过指令系统、总线和寄存器视图操作 CPU;

对上:以类库、函数库、系统调用规范为接口,为上层应用模型提供基本支持。

如果再进一步简化掉体系结构和应用模型平台,突出编程模型平台,嵌入式系统基础架构则清楚地显出嵌入深度上的三级视图,如图 1-2 所示。

从嵌入式系统基础架构可以看出,只需对直接访问硬件的底层引导程序和驱动进行适当修改,就可实现嵌入式系统的可移植性,同时,底层引导程序、驱动程序和基础图形库也是

实现移植性的关键环节。其中,底层引导程序和驱动程序是 BSP 包的组成部分,后面章节将进行详细分析设计。

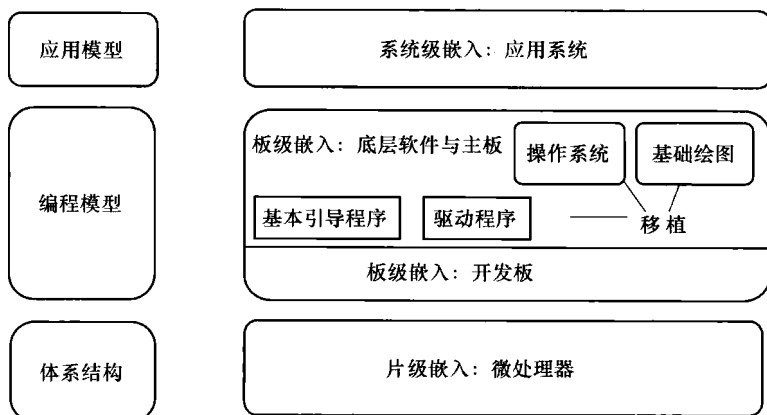


图 1-2 嵌入式系统基础架构——嵌入深度的三级视图

1.4 嵌入式系统的发展

从 20 世纪 60 年代后期开始,嵌入式的概念已经存在,从单片机到今天的各种嵌入式微处理器、微控制器等已有三十多年的历史。根据嵌入式操作系统来分,嵌入式系统的发展大致可分为 4 个阶段。

1. 直接编程控制阶段

早在 20 世纪 60 年代后期,通信领域里就出现了“存储程序控制”系统,以可编程控制器形式为主,这是早期的嵌入式系统,计算机做在一个芯片上,从而开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代,没有操作系统,利用汇编或 C 语言对系统直接编程控制,对系统资源通过编程直接管理,可以完成一些单线程的工作,已开始具有嵌入式的部分基本特征。通常应用在设备控制、伺服驱动、监控系统等。这时的计算机是被定制的(或面向应用的),它们是一些专用指令引擎以及与其集成在一起的 I/O 输入输出设备。软件是由存储在内存的程序和路由信息等组成。如 Intel 公司的 MCS-48、MCS-51 就是一种可编程的单片形态的嵌入式系统(单片微型计算机)。MCS-51 是在 MCS-48 研究的基础上,进行完善的一种嵌入式系统。

这一阶段的特点是系统的结构和功能相对单一,存储容量少,处理效率较低。

2. 简单操作系统阶段

到了 20 世纪 80 年代,微电子工艺技术有了较大的提高,集成电路制造商已经能够将微处理器、I/O 接口、存储器、通信控制接口等集成在一个大规模集成电路上。与此同时,开发人员开始开发适应该系统的简单操作系统,从而大大缩短了开发周期,提高了工作效率。这一阶段的特点是出现了大量的高可靠、低功耗的嵌入式 CPU,如 DRAGONBALLEZ328/VZ328、PowerPC 等。多种简单的操作系统发展迅速,并具有初步的兼容性和可扩充性。

内核容量小,占用资源少,运行效率高。对 CPU 的要求低。

3. 实时操作系统阶段

20 世纪 90 年代,数字化通信、信息家电、分布式控制需求迅速发展,数字信号处理器 DSP 向着高精度、高速度、低功耗方向发展。操作系统软件功能不断增强、实时性能要求也愈来愈高,从而形成了多任务实时性的嵌入式操作系统,如 Vxworks、Psos、Neculeus、Windows CE、女娲 Hopen 和各种嵌入式 Linux 等。

操作系统的实时性有了很大的提高,并且可以适应多种不同的微处理器。实行多任务并发管理、多线程作业、提供图形用户界面(GUI)和应用程序接口(API),使开发工作变得容易了。

在硬件方面,专用单片机的发展自然形成了 SoC 化趋势。1985 年开始有了基于 ARM 芯片的第一个基于 RISC 指令集,采用了典型的 32 位 RISC 体系结构,1990 年在 ARM7 中,将 ARM 体系结构完全扩展到 32 位(原来的 ARM 处理器只有 26 位的地址空间),并将主频提升到 40 MHz,另外还集成了一个 8 KB 的 Cache。1996 年,StrongARM SA-110 问世了,并成为嵌入式微处理器设计的一个里程碑。StrongARM SA-110 可以工作在 200 MHz,而能耗不到 1 W。在体系结构上,1997 年,ARM9 内核采用了与 StrongARM 相同的五级流水线。

4. 面向网络的嵌入式系统

在网络高速发展的今天,嵌入式系统已经被广泛应用到各种网络环境中,如通信系统、信息家电等,嵌入式系统与 Internet 的结合变得十分紧密。嵌入式操作系统既具有很强的多任务实时管理功能,又具有很强的联网通信功能。许多通用计算机上使用的新技术与新概念都应用在嵌入式软件系统中。相应地,嵌入式软件涉及的面也愈发扩大。它不仅包括嵌入式操作系统等系统软件,还包括一系列支撑软件,如数据库、调试软件、网络通信协议、用户界面系统等,当然也包括各种应用软件。目前,多种 ARM 系列芯片和 DSP 芯片已经被广泛地应用于移动电话、手持式计算机以及各种各样的嵌入式应用领域,成为世界上销量最大的 32 位微处理器。

嵌入式系统在目前的发展形势下,表现出以下五大趋势。

(1) 可靠性及应用水平越来越高和互联网连接已是一种明显的走向。嵌入式产品将成为互联网的主要终端之一,网上将出现大量的服务于嵌入式产品的软件,并有专门服务于嵌入式产品的内容。

(2) 所集成的部件越来越多,功能上具有很广泛的适应能力。随着微电子技术的快速发展,芯片功能更加强大,SoC(System on Chip)已成趋势,这不但能降低成本,缩小产品体积,还将增强产品的可靠性。同时,软件硬件紧密结合,嵌入式软件与硬件功能界线更加模糊,嵌入式软件硬件化,从而提高系统的实时性,增强可维护性。另外,功耗越来越低,和模拟电路结合越来越多。

(3) 通信产品特别是无线通信产品将成为嵌入式软件的重要应用领域。一方面,已有嵌入式产品将借助芯片技术和软件技术来提高嵌入式产品性能;另一方面,当前许多嵌入式产品都有可能增加通信功能。因此,在未来几年中,多种通信技术、人工智能技术会与嵌入式软件相互促进,共同发展,使更多的产品具有智能通信功能,更好地为用户服务。

(4) 嵌入式操作系统会与嵌入应用软件协同发展。嵌入式系统中的重要角色包括嵌入式应用软件,嵌入式系统应用领域千差万别,只有充分重视应用软件的发展,才能满足丰富多彩的应用要求。

(5) 随着嵌入式系统的深入广泛应用,信息交换、资源共享机会迅速增多,与此相关的设计与应用标准问题将日渐突出,如何建立起相关设计与应用标准成为业界关注的重要问题。