



Windows CE 项目开发实践丛书

Windows CE

内核定制与驱动程序开发

徐 成 秦云川 刘 彦 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



Windows CE 项目开发实践丛书

Windows CE

内核定制与驱动程序开发

徐 成 秦云川 刘 彦 编著

内 容 提 要

本书以普通软件开发人员的视角,由浅入深地介绍了有关 Windows CE 内核定制与驱动程序开发的相关知识。

本书分四篇共 18 章。第一篇是第 1 ~ 3 章,主要介绍了嵌入式系统的基本概念以及 Windows CE 操作系统的一些基本知识;第二篇是第 4 ~ 9 章,主要介绍了 Windows CE 操作系统定制的机制以及系统运行所依赖的关键组件的移植和开发,包括 BootLoader 和 OAL;第三篇是第 10 ~ 17 章,主要介绍了 Windows CE 操作系统下常见驱动程序的开发知识,包括流接口驱动程序以及其他专用接口驱动程序;第四篇是在前三篇的基础上进行举例说明,主要介绍了一个基于 Windows CE 的鼠标设备的驱动程序开发过程。

本书可作为高等院校电子信息、计算机等专业本科生、研究生学习嵌入式 Windows CE 的参考书目或自学教材,也可供广大从事嵌入式系统开发的工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

Windows CE 内核定制与驱动程序开发 / 徐成, 秦云川, 刘彦
编著. —北京: 中国电力出版社, 2011.6

(Windows CE 项目开发实践丛书)

ISBN 978-7-5123-1746-8

I. ①W… II. ①徐… ②秦… ③刘… III. ①Windows 操作系统-程序设计 IV. ①TP316.7

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第100764号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 8 月第一版 2011 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 25.5 印张 624 千字

印数 0001—3000 册 定价 49.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言



嵌入式系统是随着电子和通信等技术的迅速发展而兴起的一门学科，已成为计算机技术和计算机应用的重要组成部分。生活中所接触的自动取款机、自动售货机需要用到嵌入式系统，包括手机、掌上电脑在内的各种手持设备更是应用嵌入式系统的典型代表，甚至我们家用的微波炉、冰箱、洗衣机、空调等设备内部都有嵌入式系统在执行自动化控制操作。嵌入式系统的应用不胜枚举，已经深入到我们生活中的每个角落。

Windows 操作系统是一个通用型嵌入式计算平台，为实现统一的体验而设计，设备制造商可以使用 Windows CE 这个工具包为不同的非桌面设备构建定制化的操作系统映像。Windows CE 操作系统经过十多年的发展，从 6.0 版本开始具有了支持 32 000 个处理器的并发处理能力，每个处理器有 2GB 虚拟内存寻址空间，同时还能保持系统的实时响应。这使得开发人员可以将大量强大的应用程序融入更智能化、更复杂的设备中。

随着操作系统功能的增强，系统结构也越来越复杂，内核移植与驱动程序开发又涵盖了微电子技术、电子信息技术、计算机软件和硬件等多项技术，所以对于大多数的软件开发人员来说，内核移植与驱动程序开发是一个比较神秘的领域。

本书特点

本书以普通的软件开发人员的视角，首先介绍了嵌入式操作系统和 Windows CE 的一些基本概念，然后以编译一个简单的 Windows CE 操作系统映像为例介绍了 Windows CE 的文件结构、配置方法和编译机制。Windows CE 的 BSP 包括 OAL 和驱动程序两大部分，本书对这两个部分的开发方法进行了着重介绍，并结合实例进行了讲解。

微软的 MSDN 和 Windows CE 源代码是学习该操作系统最佳的参考资料。本书只是通过整理，抛砖引玉，所解释的概念和设计的例子都力求简单易懂，方便广大读者进入 Windows CE 内核移植与驱动程序开发这个充满挑战的世界。希望读者能够通过本书的讲解，揭开内核与驱动程序的神秘面纱，理解整个嵌入式系统的运作机制。

主要内容

本书分四篇共 18 章。第一篇是第 1~3 章，主要介绍了嵌入式系统的基本概念以及 Windows CE 操作系统的一些基本知识；第二篇是第 4~9 章，主要介绍了 Windows CE 操作系统定制的机制以及系统运行所依赖的关键组件的移植和开发，包括 BootLoader 和 OAL；第三篇是第 10~17 章，主要介绍了 Windows CE 操作系统下常见驱动程序的开发知识，包括流接口驱动程序以及其他专用接口驱动程序；第四篇是在前三篇的基础上进行举例说明，主要介绍了一个基于 Windows CE 的鼠标设备的驱动程序开发过程。每章的内容概要如下：

第1章 Windows CE 概述，介绍了嵌入式操作系统的基本概念，Windows CE 操作系统的发展历史和基本特性，最后着重阐述了 Windows CE 6.0 版本的新特性。

第2章建立 Windows CE 映像，以建立一个实际的 Windows CE 执行期映像为线索，介绍了 Platform Builder 的安装过程以及内核定制整个流程。

第3章初识 Windows CE 映像文件，这一章对这个文件的内容和生成映像文件的各种配置文件进行介绍。

第4章内核定制，介绍了 Windows CE 系统源代码的目录结构、内核的定制过程，以及各种编译控制文件的文件格式。

第5章总线与处理器，以一个软件开发人员的角度，对电路板上最为重要的处理器和存储映射的外设之间的关系进行了分析。

第6章深入理解 Windows CE 6.0，介绍了该操作系统的系统结构、内存管理、文件与存储管理，其他重要的子系统的基本机制。

第7章初识 BSP 开发，介绍了 Windows CE 操作系统 BSP 的基本特点、主要组件和基本结构。

第8章 EBOOT 开发实例，介绍 Eboot 开发过程当中的一些主要步骤，包括处理器的简单介绍、EBOOT 引导过程解释、网络接口和 Flash 的操作方法及其驱动程序的开发方法。

第9章 OAL 开发实例，介绍了 OAL 开发的关键步骤，包括存储映像、内核启动过程、硬件抽象功能和配置文件。

第10章流驱动程序，介绍了流接口驱动程序的基本概念、基本接口、加载方式、内存操作方法、注册表访问方法、中断处理方法、电源管理机制。

第11章串口驱动程序，介绍了串口的硬件原理、串口控制器的操作方法、串口驱动程序接口和代码结构。

第12章网络驱动程序，介绍了 EthDbg 和 Miniport 两种 Windows CE 系统下的网络接口驱动程序的相关知识。

第13章显示驱动程序，介绍了使用 GPE 来开发最基本的显示驱动程序的方法。

第14章触摸屏驱动程序，介绍了电阻式触摸屏的基本原理以及 Windows CE 下的触摸屏驱动程序接口，然后通过设计实例介绍了触摸屏驱动程序的实现方法。

第15章 USB 驱动程序，介绍了 USB 接口的体系结构、Windows CE 下 USB 驱动程序的基本结构，然后分别介绍了设备端驱动程序和主机端驱动程序的开发方法。

第16章 SD 总线驱动程序，介绍了 SD 卡接口的基本原理，然后分别对 Windows CE 操作系统下 SD 卡主控制器驱动程序和客户驱动程序进行了讨论，最后以 SD 存储卡为例介绍了 SD 卡客户驱动程序。

第17章驱动程序调试与测试，介绍了 Windows CE 下驱动程序调试的基本技巧和方法。

第18章 HID 设备开发实例，通过工程师小 Q 开发一个 HID 鼠标设备的案例，介绍了驱动程序开发基本过程和调试方法。

致谢

本书由徐成教授主持编写工作，由秦云川、刘彦协助完成了大量整理工作，田峥、王晓栋、谭乃强等完成了书中的实验及大量的资料收集、文本输入和校对工作，李仁发教授更是给予了大量的专业指导，在此对他们的帮助表示感谢。

本书在编写过程中参考了大量的文献资料，一些资料来自互联网和一些非正式出版物，书后的参考文献无法一一列举，在此对原作者表示诚挚的谢意。

限于作者水平，书中难免存在不妥或错误之处，读者朋友若有问题和建议，欢迎发送电子邮件 qinyunchuan@gmail.com 与作者联系。

编 者

目 录



前 言

第 1 篇 基础知识篇

第 1 章 Windows CE 概述	3
1.1 嵌入式系统的概念	3
1.2 嵌入式系统的特点	4
1.3 嵌入式系统基本结构	5
1.4 嵌入式系统发展历程	9
1.5 嵌入式系统的应用	12
1.6 嵌入式操作系统	13
1.7 Windows CE 发展历史	15
1.8 Windows CE 的特点	17
本章小结	20
第 2 章 建立 Windows CE 映像	21
2.1 开发平台的搭建与配置	21
2.2 Windows CE 内核定制流程	22
本章小结	33
第 3 章 初识 Windows CE 映像文件	34
3.1 内核与文件系统	34
3.2 BIN 和 NB0	34
3.3 NK 文件	35
本章小结	42

第 2 篇 内核移植篇

第 4 章 内核定制	45
4.1 Windows CE 6.0 的目录结构	45
4.2 内核的构建过程	50
4.3 系统的配置文件	57
4.4 Catalog Item 文件	59

本章小结	62
第 5 章 总线与处理器	63
5.1 嵌入式处理器	63
5.2 嵌入式处理器构架	65
5.3 存储器与外设接口	73
5.4 静态存储器	79
5.5 动态存储器	81
5.6 虚拟地址与实地址	83
5.7 系统运行机制	86
本章小结	88
第 6 章 深入理解 Windows CE 6.0	89
6.1 系统结构概览	89
6.2 系统内核	91
6.3 内存管理	94
6.4 文件系统与存储管理	99
6.5 设备管理器	104
6.6 图形窗口事件子系统	104
第 7 章 初识 BSP 开发	108
7.1 BSP 概述	108
7.2 Eboot 的基本结构	111
7.3 OAL 层的基本结构	114
第 8 章 EBOOT 开发实例	118
8.1 PXA255 嵌入式处理器	118
8.2 Eboot 引导过程	126
8.3 开发板的网络接口	132
8.4 Eboot 的网络下载代码	147
8.5 开发板的 Flash 芯片	150
8.6 Eboot 烧写 Flash 过程	151
第 9 章 OAL 开发实例	157
9.1 建立存储映射	157
9.2 OAL 的内核启动过程	159
9.3 Production-Quality OAL	167
9.4 OAL 的硬件抽象功能	170
9.5 BSP 的配置文件	182

第10章 流驱动程序	191
10.1 概述	191
10.2 流驱动程序接口	192
10.3 设备管理器	197
10.4 流驱动实例	199
10.5 设备驱动程序的访问注册表	207
10.6 设备驱动程序的内存管理	209
10.7 设备驱动程序的中断处理	212
10.8 Production-Quality Drivers	225
10.9 驱动程序的电源管理	228
第11章 串口驱动程序	235
11.1 硬件原理	235
11.2 内核配置	237
11.3 代码分析	239
本章小结	251
第12章 网络驱动程序	252
12.1 EthDbg 驱动程序	252
12.2 NDIS 微端口驱动	256
12.3 NDIS 驱动开发编程要素	257
12.4 主要功能及相关函数	260
本章小结	266
第13章 显示驱动程序	267
13.1 概述	267
13.2 显示驱动程序的注册键	268
13.3 内核调用中的显示驱动接口	268
13.4 PXA255 LCD 控制器	269
13.5 使用 GPE 实现显示驱动程序	275
13.6 DDI 函数参考	281
本章小结	282
第14章 触摸屏驱动程序	283
14.1 触摸屏的工作原理	283
14.2 触摸屏驱动程序的软件结构	284
14.3 触摸屏驱动的设计实例	288

本章小结	292
第 15 章 USB 驱动程序	293
15.1 USB 的基本原理	293
15.2 USB Function 驱动程序	300
15.3 USB 主机驱动程序	308
15.4 USB 驱动程序情景分析	314
15.5 USB 设备驱动程序实例	321
第 16 章 SD 总线驱动程序	324
16.1 SD 总线概述	324
16.2 MMC/SD 卡设备接口	327
16.3 微软 SD 总线协议栈	331
16.4 SD 总线控制器驱动程序的结构	332
16.5 SD 客户驱动程序	342
本章小结	349
第 17 章 驱动程序调试与测试	350
17.1 断点	350
17.2 控制调试信息的输出	351
17.3 CE 测试套件	356
17.4 硬件辅助测试工具	365
第 4 篇 工程实践篇	
第 18 章 HID 设备开发实例	369
18.1 小 Q 的 HID 设备	369
18.2 搭建开发环境	370
18.3 复制代码	374
18.4 加入驱动程序到系统映像	377
18.5 等待打印机的出现	378
18.6 从打印机到鼠标	379
18.7 清除感叹号	381
18.8 加入应用程序	388
18.9 运行程序	392
本章小结	396
参考文献	397

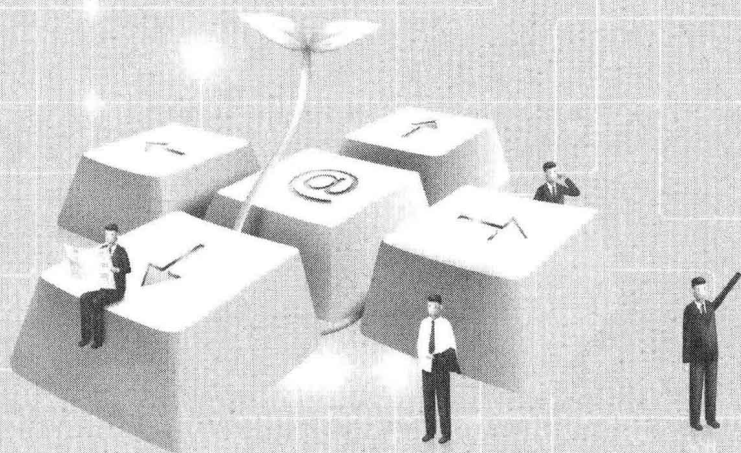
Windows CE

项目
开发实践丛书

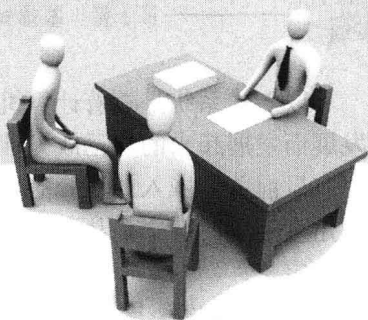
Windows CE内核定制与驱动程序开发

第1篇

基础知识篇



第 1 章



Windows CE 概 述

Windows CE 操作系统是微软公司针对嵌入式系统领域推出的操作系统。嵌入式系统有时候也被人们称之为嵌入式计算机系统，指的是专用计算机系统。嵌入式系统应用于人们工作生活的各个方面，可以说，随着计算机技术的发展，嵌入式系统的应用将无处不在。

本章首先介绍嵌入式系统的一些基本知识，包括嵌入式系统的概念、发展历史、特点、分类等，然后有针对性的讨论 Windows CE 操作系统特点。通过对本章的学习，读者将建立起对 Windows CE 嵌入式系统的初步认识，为以后对 Windows CE 系统的学习和研究打下基础。

1.1 嵌入式系统的概念

嵌入式本身是一个相对模糊的概念，人们很少会意识到自己随身携带了多个嵌入式系统。譬如手机、手表或者智能卡中都嵌有它们，当人们与汽车、电梯、厨房设备、电视、录像机以及娱乐系统等进行交互时，往往不能觉察其中所含的嵌入式系统。嵌入式系统在工业机器人、医药设备、电话系统、卫星、飞行系统等领域扮演了更为重要的角色。正是“看不见”这一个特性将嵌入式计算机与通用 PC 机相区分开。图 1.1 所示为嵌入式系统的应用。

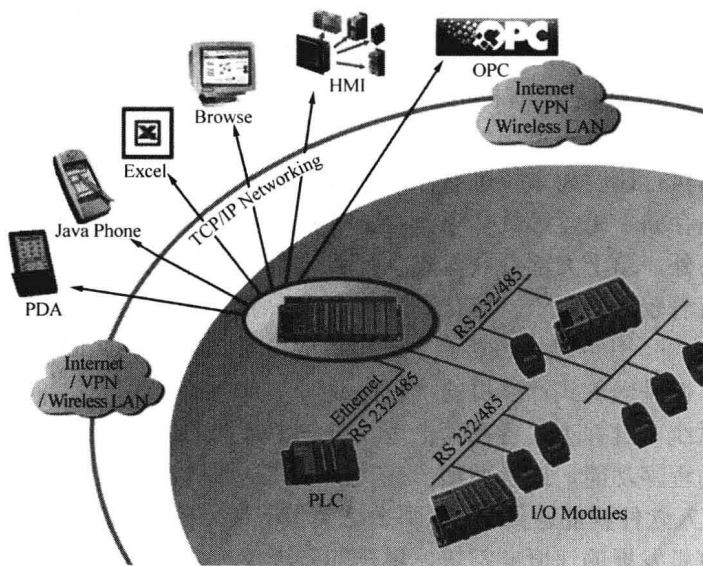


图 1.1 嵌入式系统的应用



嵌入式系统是随着计算机技术、微处理器技术、电子技术、通信技术、集成电路技术的发展而发展起来的,已成为计算机技术及其应用领域的一个重要组成部分。

目前关于嵌入式系统的定义有很多个版本,一般可分为三种定义的方式,其一是从应用的角度定义,其二是从系统的组成定义,还有的是从其他方面定义的。本书给出两种比较常见的定义:

第一种定义:嵌入式系统是以应用研究为中心,以计算机技术为基础,软/硬件可以裁剪,可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。换言之,由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序等四个部分组成,用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。也就是说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”的方式把所需要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 IT 的最终产品。

第二种定义:把基于处理器(通用处理器和嵌入式处理器)的设备称为计算机,可以分成两大类:通用计算机和嵌入式计算机。嵌入式计算机也常被称为嵌入式系统,它不同于通用计算机,是具有专用性质的计算机。



1.2 嵌入式系统的特点

嵌入式系统具有以下特点:

(1) 嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术以及电子技术与各个行业的具体应用相结合的产物,这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

(2) 嵌入式系统通常是面向用户、面向产品、面向特定应用的。嵌入式系统中的 CPU 与通用型 CPU 的最大不同就是前者大多工作在为特定用户群设计的系统中。通常,嵌入式系统 CPU 都具有功耗低、体积小、集成度高等特点,能够把通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部,从而有利于整个系统设计趋于小型化,移动能力也日益增强,与网络的关系也越来越密切。在对嵌入式系统的硬件和软件进行设计时必须重视能耗和效率。

(3) 嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起,其升级换代也是和具体产品同步进行的。因此嵌入式系统产品一旦进入市场,就具有较长的生命周期。

(4) 为了提高执行速度和系统可靠性,嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或单片机中,而不是存储于磁盘等载体中。由于嵌入式系统的运算速度和存储容量仍然存在一定程度的限制,另外,由于大部分嵌入式系统必须具有较高的实时性,因此对程序的质量,特别是可靠性,有着较高的要求。这是因为嵌入式系统多用于工业企业的现场(甚至军用设备中),一旦出现故障,有可能导致整个生产过程的混乱,甚至造成非常严重的后果,所以说嵌入式系统的可靠性是嵌入式计算机的“生命线”。

(5) 嵌入式系统本身并不具备在其上进行进一步开发的能力。在设计完成以后,用户如果需要修改其中的程序功能,或者增加一些功能,可以通过在原有的系统上增加或减少一些构件,或者直接加入软件就能达到目的,那么这类型的嵌入式系统才可跟上时代前进的步伐。

(6) 由于计算机发展的速度非常快,现在的先进技术经过一定的时间就会落后,甚至被新技术和新产品所取代,从而要求嵌入式系统的设计周期尽可能的短,这样也能降低系统的



成本,从而使系统具有相对较高的性价比,这是每一个嵌入式系统设计者所追求的目标。

1.3 嵌入式系统基本结构

嵌入式系统的基本结构一般可分为两个部分:硬件和软件。

1.3.1 嵌入式系统的硬件

嵌入式系统的硬件包括嵌入式核心芯片、存储器系统及外部接口。其中嵌入式核心芯片指 EMPU(嵌入式处理器)、EMCU(嵌入式控制器)、EDSP(嵌入式数字信号处理器)、ESOC(嵌入式片上系统)和 EPSOC(嵌入式可编程片上系统)。嵌入式系统的存储器系统,包括程序存储器(ROM、EPROM、Flash)、数据存储器、随机存储器和参数存储器等。

1. 嵌入式处理器

嵌入式处理器是构成系统的核心部件,系统中的其他部件均在它的控制和调度下工作。处理器通过专用的接口获取监控对象的数据、状态等各种信息,并对这些信息进行计算、加工、分析和判断并做出相应的控制决策,再通过专用接口将控制信息传送给控制对象。嵌入式处理器可以分成下面几类(见图 1.2):

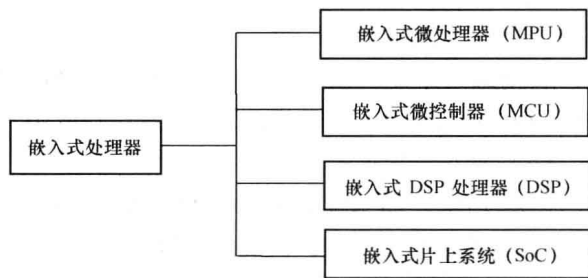


图 1.2 嵌入式处理器的分类

(1) 嵌入式微处理器。

嵌入式微处理器是由通用计算机中的 CPU 演变而来的。它通常是 32 位及其以上的处理器,具有较高的性能,当然其价格也相对较高。但与计算机处理器不同的是,在实际的嵌入式应用中,只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件,去除其他的冗余部分,这样以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。与工业控制计算机相比,嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点。目前主要的嵌入式处理器有 Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM 系列等。

(2) 嵌入式微控制器。

嵌入式微控制器的典型代表是单片机,从 20 世纪 70 年代末单片机出现到今天,虽然已经经历了 20 多年,但这种 8 位的电子器件目前在嵌入式设备中仍然有着极其广泛的应用。单片机芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、看门狗、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要功能和外设。与嵌入式微处理器相比,微控制器的最大特点是单片化,体积大大减小,从而使功耗、成本下降,可靠性提高。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流,微控制器的片上外设资源一般比较丰富,适合于控制,因此称微控制器。

MCU 价格低廉,功能完善,拥有的品种和数量最多,比较具有代表性的有 8051、MCS-251、MCS-96/196/296、P51XA、C166/167、68K 系列以及 MCU 8XC930/931、C540、C541,还有支持 I2C、CAN-Bus、LCD 的专用 MCU 和兼容系列。目前 MCU 占嵌入式系统约 70% 的市场份额。近来 Atmel 出产的 FPSLIC 系列 AVR 单片机由于其集成了 FPGA 等器件,所以具有



很高的性价比，势必将推动单片机获得更好的发展。

(3) 嵌入式 DSP 处理器。

DSP 处理器是专用于信号处理的处理器，其在系统结构和指令算法方面进行了特殊设计，具有很高的编译效率和执行速度。在数字滤波、FFT、谱分析等各种仪器上 DSP 获得了大规模的应用。

DSP 的理论算法在 20 世纪 70 年代就已经出现，但是由于专门的 DSP 处理器还未出现，所以这种理论算法只能通过 MPU 等由分立元件实现。MPU 的处理速度无法满足 DSP 的算法要求，其应用领域仅仅局限于一些尖端的高科技领域。随着大规模集成电路技术的发展，1982 年世界上诞生了首枚 DSP 芯片，其运算速度比 MPU 快了几十倍，在语音合成和编解码器中得到了广泛应用。至 20 世纪 80 年代中期，随着 CMOS 技术的进步与发展，第二代基于 CMOS 工艺的 DSP 芯片应运而生，其存储容量和运算速度都得到成倍提高，成为语音处理、图像硬件处理技术的基础。到 20 世纪 80 年代后期，DSP 的运算速度进一步提高，应用领域也从上述范围扩大到了通信和计算机方面。20 世纪 90 年代后，DSP 发展到了第五代产品，集成度更高，使用范围也更加广泛。

目前最为广泛应用的是 TI 的 TMS320C2000/C5000/C6000/DM6000 系列，另外如 Intel 的 MCS-296 和 Siemens 的 TriCore 也有各自的应用范围。

(4) 嵌入式片上系统。

SOC 追求产品系统最大包容的集成器件，是目前嵌入式应用领域的热门话题之一。SOC 最大的特点是成功实现了软硬件无缝结合，直接在处理器片内嵌入操作系统的代码模块。而且 SOC 具有极高的综合性，在一个硅片内部运用 VHDL 等硬件描述语言，实现一个复杂的系统。用户不需要再像传统的系统设计一样，绘制庞大复杂的电路板，一点点的连接焊制，只需要使用精确的编程语言，综合时序设计直接在器件库中调用各种通用处理器的标准，然后通过仿真之后就可以直接交付芯片厂商进行生产。由于绝大部分系统构件都是在系统内部，整个系统就特别简洁，不仅减小了系统的体积和功耗，而且提高了系统的可靠性，提高了设计生产效率。

6 由于 SOC 往往是专用的，所以大部分都不为用户所知，比较典型的 SOC 产品是 Philips 的 Smart XA。少数通用系列如 Siemens 的 TriCore、Motorola 的 M-Core、某些 ARM 系列器件、Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。

预计不久的将来，一些大的芯片公司将通过推出成熟的、能占领多数市场的 SOC 芯片，在声音、图像、影视、网络及系统逻辑等领域中发挥重要作用。

2. 嵌入式存储器

存储器的类型将决定整个嵌入式系统的操作和性能，因此存储器的选择是一个非常重要的决策。无论系统是采用电池供电还是由市电供电，应用需求将决定存储器的类型（易失性或非易失性）以及使用目的（存储代码、数据或者两者兼有）。另外，在选择过程中，存储器的尺寸和成本也是需要考虑的重要因素。对于较小的系统，微控制器自带的存储器就有可能满足系统要求，而较大的系统可能要求增加外部存储器。为嵌入式系统选择存储器类型时，需要考虑一些设计参数，包括微控制器的选择、电压范围、电池寿命、读写速度、存储器尺寸、存储器的特性、擦除/写入的耐久性以及系统总成本。

按照与 CPU 的接近程度，存储器分为内存储器与外存储器，简称内存与外存。内存储器



又常称为主存储器（简称主存），属于主机的组成部分；外存储器又常称为辅助存储器（简称辅存），属于外部设备。CPU 不能像访问内存那样，直接访问外存，外存要与 CPU 或 I/O 设备进行数据传输，必须通过专门的外存控制器进行。在 ARM9 等高速嵌入式处理器中，还配置了高速缓冲存储器（Cache），这时内存包括主存与高速缓存两部分。对于低速的微控制器，片内的存储器即为内存。考虑到两类存储设备的特点，很多嵌入式系统采用了两级存储层次，优点是：①合理解决速度与成本的矛盾，以获取较高的性价比；②使用 Flash/TF 卡等作为外存，不仅价格便宜，可以把存储容量做得很大，而且在断电时它所存放的信息也不丢失，可以长久保存，且复制、携带都很方便。关于存储器的更多细节后续章节将详细介绍。

3. 常规的外设及其接口

常规外设是指一般的计算设备不能缺少的外设，常规的外设通常包括以下三类：①输入设备，用于数据的输入。常见的输入设备有键盘、鼠标、触摸屏、扫描仪、绘图仪、数码相机、各种各样的媒体视频捕获卡等；②输出设备，用于数据的输出。常见的输出设备有各种显示器、各种打印机、绘图仪、各种声卡、音箱等；③外存储设备，用于存储程序和数据。常见的外存设备有硬盘、软盘、光盘设备、磁带机、存储卡等。通过接口可以将外设连接到计算机上，使外设的信息能够输入到计算机，而计算机的信息能够输出到外设。

4. 专用外设及其接口

在嵌入式系统中，专用外设是指那些为完成用户要求的功能而必须使用的外设。在实际应用中，由于用户功能要求的多样性，实现这些要求的技术途径也非常灵活，使得专用外设的种类繁多，并且不同的用户系统所需要的专用外设也各不相同，在后续章节中，将具体介绍一些最常见的外设及其使用的实例。

1.3.2 嵌入式系统的软件

嵌入式系统的软件与通用计算机类似，包含嵌入式操作系统、应用软件、板载支持包（Board Support Package, BSP），其软件层次结构如图 1.3 所示。

操作系统向上层的应用软件提供应用编程接口（Application Programming Interface, API），BSP 负责与底层硬件交互，屏蔽硬件的差异，从而使嵌入式操作系统的开发不再依赖于某种系统结构的嵌入式硬件，硬件厂商提供适合自己硬件的 BSP 即可。

1. BSP

在嵌入式操作系统中，BSP 是以嵌入式操作系统“驱动程序”的身份出现，在系统启动之初，它所做的工作类似于通用计算机的 BIOS，也是负责系统加电，初始化各种设备、装入操作系统等。BSP 与 BIOS 的主要区别有以下几个方面：

（1）BSP 是与操作系统相适应的；BIOS 却是和所在的主板相适应的，也就是说，BSP 主要是为了让硬件支持某种嵌入式操作系统；而 BIOS 是为了所有操作系统都能够正常的在其生产的硬件上工作。

（2）大多数的 BSP 主要采用高级语言编写，开发软件人员可以对 BSP 做一定的修改，加入自己的想加入的一些东西，比如各类驱动程序；而 BIOS 采用汇编语言较多，修改困难，相对来讲，嵌入式开发人员对于 BSP 的自主性更大。



图 1.3 嵌入式系统软件层次结构