

高等院校嵌入式系统通用教材·ARM嵌入式技术系列教程

# ARM嵌入式技术 原理与应用

——基于XScale处理器及VxWorks操作系统

刘尚军 张志兵 编著  
赵 敏 曹重华



北京航空航天大学出版社

高等院校嵌入式系统通用教材·ARM 嵌入式技术系列教程

# ARM 嵌入式技术 原理与应用

——基于 XScale 处理器及 VxWorks 操作系统

刘尚军 张志兵 编著  
赵敏 曹重华

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书是《ARM 嵌入式技术系列教程》之一,以采用 XScale 处理器的 CVT-PXA270 教学实验系统为硬件平台,围绕 VxWorks 操作系统安排基础知识内容,并安排了大量的实验。基础知识包括:ARM 嵌入式开发模式和基本开发流程,ARM 体系结构,ARM 系统硬件设计,VxWorks 软件开发流程,VxWorks BSP 的移植过程,VxWorks 驱动程序、应用程序以及图形用户界面的编写方法等。实验包括:VxWorks 软件仿真,VxWorks 系统移植及内核定制,BSP 调试,VxWorks 应用程序、驱动程序编程,中断编程,WindML 基本绘图,WindML 视窗应用程序等。最后介绍嵌入式系统的综合设计方法,包括 GPS 车辆跟踪系统和 ZIGBEE 无线对等网络的硬件和软件的实现方法。

本书可作为高等院校计算机、电子、电信等专业进行嵌入式系统教学的理论和实践教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

ARM 嵌入式技术原理与应用:基于 XScale 处理器及 VxWorks 操作系统/刘尚军等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2007.9

ISBN 978-7-81124-206-5

I. A… II. 刘… III. 微处理器, ARM—教材 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 124962 号

## ARM 嵌入式技术原理与应用

### ——基于 XScale 处理器及 VxWorks 操作系统

刘尚军 张志兵 编著  
赵 敏 曹重华  
责任编辑 王慕冰 朱胜军

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

Http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:26.75 字数:599 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-206-5 定价:39.00 元

# 前 言

随着嵌入式技术的普及,嵌入式技术的教学实践课程被越来越多的高等院校列为计算机、电子、电信等专业的基础课程。嵌入式技术融合了计算机软/硬件技术、通信技术和半导体微电子技术,覆盖面非常广,这便造成嵌入式教学过程中课程设置的一些障碍。

从 2003 年开始,国内陆续有多个厂家推出了各种型号的嵌入式技术教学的实验设备和教材,形成了以 32 位 ARM 微处理器为核心,包含硬件接口、接口编程实验、操作系统实验等的教学格局。其中,ARM 微处理器依据性能从 ARM7、ARM9 到 XScale 系列(ARM7 多采用三星公司的 S3C44B0 处理器,ARM9 多采用三星公司的 S3C2410 处理器,Intel XScale 则采用高端的 PXA270 处理器),形成了低、中、高 3 个不同的档次。操作系统实验在嵌入式技术的教学中是一个非常重要的方向,目前各个公司提供的能够应用于教学的操作系统非常多,包括 VxWorks、Linux、Windows CE 和  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  等,由于课时限制,对于操作系统的教学必须有选择地进行,而如何选择操作系统则是目前教学过程中的一个重要问题。

从目前的应用情况看,笔者认为必须根据不同的专业方向及学生的基础进行选择。Linux 是一个非常有潜力的操作系统,其开源的特点受到越来越多人的追捧,但是它对学生的基础要求比较高,必须掌握 C 语言以及 PC 机上 Linux 操作系统的基本操作。这对于已经开始相关基础课程的计算机专业学生是一个比较好的选择,而对于其他专业的学生课程开设难度比较大。Windows CE 则以 Microsoft 一贯的人机界面优势在手持设备中占有一席之地,适合于偏向人机界面及其上层应用软件教学的相关课程;但是,对于偏向于实时系统及工业数据采集和控制等方向的课程,如果选择 Windows CE 则不是一个明智的选择。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  刚刚被国人接受的时候确实被许多人选择作为学习嵌入式操作系统原理的理想平台,课程开设难度

较低;但是随着应用的深入,其有限的功能、开发环境不统一以及很少的成功案例制约了它在嵌入式技术教学中的进一步推广。目前  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  主要被应用于计算机专业讲授操作系统原理。VxWorks 以优良的实时性能、友好的集成开发环境已经在国内外嵌入式领域被广泛采用,也越来越多地被众多高等院校采纳作为嵌入式技术教学的首选操作系统,是目前学生就业的一个重要方向。它非常适合面向计算机、电子、电信等专业学生开设相关课程。由于它具有 Windows 下的友好的集成开发环境,因此课程开设难度很低。目前美国风河系统公司正在国内进行推广 VxWorks 的大学计划,并授权武汉创维特信息技术有限公司在中国境内进行全面推广工作。

本书是《ARM 嵌入式技术系列教程》的最后一本,也是嵌入式技术的理论和实践相结合的教材。它采用 Intel XScale 系列处理器,全书可结合武汉创维特信息技术有限公司的 CVT-PXA270 系列教学实验系统进行实验,部分内容也可以直接采用软件仿真方式进行。

本书共分 10 章,各章内容介绍如下:

第 1 章介绍嵌入式系统的基础知识,内容包括嵌入式系统的基本概念、发展历程、ARM 微处理器、嵌入式操作系统及其应用领域和嵌入式系统的未来发展趋势。

第 2 章介绍 ARM 嵌入式开发模式和基本开发流程,是刚接触 ARM 的读者必读的内容。

第 3 章简单介绍 ARM 体系结构的相关知识,并安排了简单的实验以加深读者的印象。对于刚接触 ARM 的读者建议先从该章开始,如果需要进一步深入地了解 ARM 体系结构知识,请参考 ARM 相关的数据手册。

第 4 章以 CVT-PXA270 教学实验系统为例介绍了 ARM 系统的硬件设计方法,后续章节的许多硬件相关的内容都与该章节有关。在 4.2 节详细列举了 CVT-PXA270 的地址分配信息、扩展接口定义、I/O 定义和 GPIO 定义等硬件资源,供后续章节阅读时查阅,也可以给在 CVT-PXA270 上进行二次开发的读者提供参考。

第 5 章介绍 VxWorks 的软件开发流程。首先简单介绍了其集成开发环境 Tornado,然后以实验的方式介绍了如何在 Tornado 中进行软件仿真,最后介绍了在 CVT-PXA270 教学实验系统中进行系统移植及内核定义和应用程序编程的过程。对于有 CVT-PXA270 教学实验系统的读者,可以依次进行实验;如果没有该设备,也可根据 5.2 节内容学习 VxWorks 的软件开发流程。本章是 VxWorks 操作系统的基础知识,在阅读后续章节之前必须充分理解本章的内容。

第 6 章介绍 VxWorks BSP 的移植过程。在 6.4 节安排了相关实验,该实验必须有第 5 章的基础。

第 7 章介绍 VxWorks 驱动程序的编写方法,包括字符设备、块设备、串口设备、网络设备等驱动编写方法以及文件系统。本章安排了众多实验,建议在学习过程中多进行实践操作,这些实验必须有第 5 章的基础。

第 8 章介绍 VxWorks 应用程序的设计方法,包括任务管理、任务通信、看门狗定时器管

理、任务间通信和同步、中断管理、网络通信等内容。其中安排了众多实验,建议在学习过程中多进行实践操作,这些实验必须有第 5 章的基础。

第 9 章介绍 VxWorks 图形用户界面的设计方法,详细分析了 WindML 驱动程序和应用程序的编程方法。其中安排了众多实验,建议在学习过程中多进行实践操作,这些实验必须有第 5 章的基础。

第 10 章以 GPS 车辆跟踪系统和 ZIGBEE 无线对等网络为例介绍了嵌入式系统的综合设计方法,包括硬件和软件实现。该方法适合于相关课程设计和毕业设计。

阅读本书之前要求读者具有一定的 C 语言基础,如果有一定的接口技术或者单片机技术的基础,则能更加容易理解。如果从来没有接触过 ARM 或者嵌入式技术,建议从第 1 章开始按顺序阅读;如果有一定的 ARM 嵌入式技术基础而只是想了解 VxWorks 相关内容,建议首先仔细阅读第 5 章内容,并按照该章的内容进行实验,然后再阅读第 6~9 章的内容。在阅读过程中,尽量通过实践验证,对于驱动部分请结合第 4 章硬件原理图进行理解。书中的实验有许多是必须在 CVT-PXA270 教学实验系统上进行的,但是如果没有目标硬件,5.3 节以及第 8 章的多数实验也可在 VxSim 模拟器上运行,而不需要目标硬件。

由于嵌入式技术知识比较新,有许多英文词汇的翻译并没有被统一起来,因此,在本书的编写过程中,对于这些词汇采用中文和英文相结合的方式,以中文为主,在中文后的括号内标注其英文或英文简写。

本文遵从如下书写格式:

### 1. 重点标识的提示信息

在本书中,笔者将研发过程以及教学实践过程中的一些经验和知识点以下面的形式标识出来。例如:



由于时间仓促,书中难免出现错误以及用词不当的地方,恳请同行批评指正。

### 2. u-boot 提示信息

u-boot 启动后在 DNW 超级终端中打印的信息和从 DNW 接收的输入信息以下面的格式表示,其中“CVT-PXA270 #”为 u-boot 命令行提示符号,其后的黑斜体字为用户在 DNW 中输入的命令。

```
CVT-PXA270 # tftp a 0010000 vxworks. bin
```

### 3. VxWorks WindSh 和控制台提示信息

VxWorks 启动后在 WindSh 或 DNW 超级终端中打印的信息和接收的输入信息以下面

的格式表示,其中“->”为 VxWorks 命令行提示符号,其后的黑斜体字为用户在 WindSh 或 DNW 超级终端中输入的命令,如果没有特殊声明,则缺省为从 WindSh 接收的输入命令。

```
-> c:\win[Ctrl+D]
```

参与本书编写工作的有:武汉创维特信息技术有限公司的刘尚军、刘铁刚、杨磊,武汉科技大学信息科学与工程学院的赵敏,江西财经大学软件学院的张志兵和曹重华,中山职业技术学院的隋明祥。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不足之处,敬请读者谅解,并真诚欢迎读者及同行提出宝贵的意见和建议。

编者

2007年6月

# 目 录

---

<b>第 1 章 ARM 嵌入式系统基础</b> .....	1
1.1 嵌入式系统的概念 .....	1
1.2 嵌入式系统的发展历程 .....	2
1.3 ARM 微处理器 .....	4
1.4 嵌入式操作系统 .....	5
1.4.1 常用嵌入式操作系统 .....	6
1.4.2 嵌入式操作系统的实时性 .....	10
1.5 嵌入式系统的应用领域 .....	11
1.6 嵌入式系统的未来发展趋势 .....	13
<b>第 2 章 ARM 嵌入式开发模式和基本开发流程</b> .....	15
2.1 ARM 嵌入式开发模式 .....	15
2.1.1 在线仿真模式 .....	16
2.1.2 驻留监控模式 .....	17
2.2 ARM 嵌入式开发流程 .....	18
2.2.1 需求分析 .....	18
2.2.2 硬件设计、调试 .....	20
2.2.3 系统移植 .....	20
2.2.4 应用程序设计调试 .....	27
2.3 ARM 嵌入式系统控制界面 .....	28



<b>第 3 章 ARM 体系结构</b> .....	30
3.1 ARM 微处理器结构 .....	30
3.1.1 RISC 体系结构 .....	30
3.1.2 ARM 微处理器的寄存器结构 .....	31
3.1.3 ARM 微处理器的指令结构 .....	31
3.2 ARM 微处理器的工作状态 .....	32
3.3 ARM 体系结构的存储器格式 .....	32
3.4 指令长度及数据类型 .....	33
3.5 处理器模式 .....	33
3.6 寄存器组织 .....	33
3.6.1 ARM 状态下的寄存器组织 .....	34
3.6.2 Thumb 状态下的寄存器组织 .....	36
3.6.3 程序状态寄存器 .....	37
3.7 异常 .....	39
3.7.1 ARM 体系结构所支持的异常类型 .....	39
3.7.2 对异常的响应 .....	40
3.7.3 从异常返回 .....	40
3.7.4 各类异常的具体描述 .....	41
3.7.5 异常向量表 .....	42
3.8 ARM 汇编语言程序设计 .....	43
3.8.1 ARM 指令的分类与格式 .....	43
3.8.2 指令的条件域 .....	44
3.8.3 ARM 指令的寻址方式 .....	44
3.8.4 ARM 指令集 .....	47
3.8.5 Thumb 指令及应用 .....	63
3.9 C 语言与汇编语言混合编程实验 .....	64
<b>第 4 章 ARM 系统硬件设计</b> .....	67
4.1 PXA270 微处理器简介 .....	67
4.2 CVT-PXA270 硬件资源简介 .....	70
4.3 ARM 最小系统设计 .....	76
4.3.1 电源电路 .....	77
4.3.2 时钟电路 .....	78
4.3.3 复位电路 .....	79
4.3.4 存储器电路 .....	79

4.3.5 JTAG 调试接口电路	81
4.4 PXA270 片内接口电路设计	81
4.4.1 GPIO 接口电路	81
4.4.2 外部中断接口电路	82
4.4.3 UART 异步串行接口电路	83
4.4.4 LCD 显示接口电路	83
4.4.5 I <sup>2</sup> C 接口电路	84
4.4.6 PCMCIA/CF 接口电路	85
4.5 PXA270 片外扩展接口电路设计	85
4.5.1 四线电阻式触摸屏接口电路	86
4.5.2 AC97 音频接口电路	86
4.5.3 A/D 接口电路	86
4.5.4 矩阵扫描式键盘接口电路	87
4.5.5 100 Mbps 以太网接口电路	88
4.5.6 PS/2 键盘/鼠标接口电路	88
4.5.7 CAN 总线接口电路	89
<b>第 5 章 VxWorks 软件开发流程</b>	91
5.1 Tornado 集成开发环境简介	91
5.2 VxWorks 软件仿真实验	94
5.2.1 编写、编译程序	94
5.2.2 下载目标文件	100
5.2.3 调试命令行解释器	101
5.2.4 调试器	105
5.2.5 目标机浏览器	109
5.2.6 软件逻辑分析器	114
5.3 VxWorks 系统移植及内核定制实验	116
5.3.1 新建工程	116
5.3.2 生成目标代码	120
5.3.3 加载 VxWorks 到目标机	122
5.3.4 配置内核	125
5.4 VxWorks 应用程序编程实验	128
5.4.1 创建和编译工程	128
5.4.2 启动 VxWorks 内核	130
5.4.3 配置和启动目标服务器	131

5.4.4	下载并调试应用程序	133
5.4.5	将应用程序添加到内核	134
<b>第 6 章</b>	<b>VxWorks BSP 的移植过程</b>	<b>136</b>
6.1	VxWorks 内核的特点及 BSP 简介	136
6.1.1	VxWorks 内核的特点	136
6.1.2	VxWorks 的主要功能和结构	137
6.1.3	VxWorks BSP 简介	139
6.1.4	VxWorks BSP 的文件组织	140
6.2	VxWorks 的引导过程	141
6.2.1	VxWorks 内核类型	141
6.2.2	VxWorks 内核的引导过程	143
6.3	VxWorks BSP 移植	145
6.3.1	Makefile 文件	146
6.3.2	VxWorks BSP 内核配置文件	149
6.3.3	VxWorks BSP 内核前期初始化	152
6.3.4	系统定时器处理	162
6.3.5	VxWorks BSP 中断处理	167
6.4	BSP 调试实验	170
<b>第 7 章</b>	<b>VxWorks 驱动程序的编写</b>	<b>172</b>
7.1	VxWorks 设备驱动分类及特点	172
7.2	字符设备驱动	178
7.2.1	字符设备驱动程序	178
7.2.2	PS/2 鼠标接口驱动程序实验	182
7.3	块设备驱动	196
7.3.1	块设备驱动程序	196
7.3.2	RAMDISK 驱动程序编写实验	199
7.4	串口设备驱动	207
7.4.1	串口设备驱动程序	207
7.4.2	ttyDrv 的层次结构	208
7.4.3	CVT-PXA270 串口驱动的编写	210
7.5	网络设备驱动	223
7.5.1	BSD 网络设备驱动程序	224
7.5.2	END 网络设备驱动程序	225
7.5.3	网络驱动程序编写实验	227

---

7.6 文件系统介绍 .....	240
7.6.1 TSFS .....	240
7.6.2 dosFS .....	242
7.6.3 TrueFFS .....	245
<b>第8章 VxWorks 应用程序设计 .....</b>	<b>251</b>
8.1 任务管理 .....	251
8.1.1 任 务 .....	251
8.1.2 任务调度 .....	253
8.1.3 任务操纵 .....	254
8.1.4 共享代码和可重入代码 .....	264
8.1.5 系统任务 .....	265
8.1.6 注意事项 .....	266
8.2 任务通信 .....	267
8.2.1 共享存储区及实验 .....	267
8.2.2 互 斥 .....	268
8.2.3 信号量 .....	269
8.2.4 消息队列 .....	277
8.2.5 管 道 .....	281
8.3 看门狗定时器管理 .....	281
8.4 任务间通信和同步、看门狗定时器综合实验 .....	283
8.5 中断管理 .....	285
8.6 网络通信 .....	289
8.6.1 网络协议 .....	289
8.6.2 套接字的使用 .....	291
8.6.3 网络通信实验 .....	292
8.7 异常捕捉和错误处理 .....	295
<b>第9章 VxWorks 图形用户界面设计 .....</b>	<b>299</b>
9.1 VxWorks 图形用户界面设计方案 .....	299
9.2 WindML 简介 .....	300
9.2.1 WindML 的功能 .....	300
9.2.2 WindML 的结构 .....	300
9.2.3 WindML 的文件组织 .....	302
9.2.4 WindML 库的配置和编译 .....	304
9.2.5 WindML 编程实验 .....	307

9.3	WindML 驱动程序编程 .....	309
9.3.1	图形设备驱动 .....	310
9.3.2	输入设备驱动 .....	319
9.4	WindML 应用程序编程 .....	328
9.4.1	WindML 应用程序基本操作 .....	328
9.4.2	二维图形 API .....	331
9.4.3	消息和输入服务 .....	346
9.4.4	视 窗 .....	350
9.4.5	视窗类 .....	356
9.4.6	视窗管理器 .....	357
9.4.7	视窗应用程序 .....	359
9.4.8	WindML 应用程序编程实验 .....	360
<b>第 10 章</b>	<b>嵌入式系统综合设计实例 .....</b>	<b>375</b>
10.1	GPS 车辆跟踪系统设计 .....	375
10.1.1	GPS、GSM 和 GPRS 技术 .....	375
10.1.2	GPS 全球定位应用方案 .....	376
10.1.3	GPS 车辆跟踪系统 .....	377
10.1.4	GPS 车辆跟踪系统硬件设计 .....	378
10.1.5	GPS 车辆跟踪系统软件设计 .....	378
10.2	ZIGBEE 无线对等网络设计 .....	395
10.2.1	ZIGBEE 技术 .....	395
10.2.2	ZIGBEE 技术应用方案 .....	396
10.2.3	ZIGBEE 无线对等网络硬件系统设计 .....	400
10.2.4	ZIGBEE 无线对等网络软件系统设计 .....	401
<b>参考文献</b>	.....	<b>415</b>

# 第 1 章

## ARM 嵌入式系统基础

嵌入式系统无处不在,它已经全面渗透到我们日常生活的每一个角落。任何一个普通人都可能拥有从大到小的各种使用嵌入式技术的电子产品,小到 MP3 播放器、PDA、手机、数码相机等微型数字化产品,大到车载电子以及正在兴起的网络家电、智能家电等。本章将讲述嵌入式系统以及 ARM 微处理器的基本概念、嵌入式系统的发展历程,并介绍几种常用的嵌入式操作系统。

### 1.1 嵌入式系统的基本概念

嵌入式系统是将计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物,是一门综合技术学科。在对其概念的理解上有许多不同的版本。

根据 IEEE(国际电机工程师协会)的定义,嵌入式系统是“控制、监视或者辅助控制机器和设备运行的系统”(原文为 devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。这主要是从应用的角度出发给出的定义,从中可以看出,嵌入式系统是软件和硬件的综合体,同时还涵盖机械等附属装置。

如果从技术的角度看,广义上可以认为,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。作为系统核心的微处理器又包括 3 类:微控制器(MCU)、数字信号处理器(DSP)和嵌入式微处理器(MPU)。因此,也可以简单地说:嵌入式系统就是指操作系统和功能软件集成于计算机硬件系统中的设备的简称。也有人认为,嵌入式系统就是以应用为中心,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、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

可以说,嵌入式系统是一个非常广泛的概念,但是我们还是可以为它归纳以下一些特点:

## 1. 专用性

系统的功能非常明确,仅仅包含一些必需的功能,这一点与传统 PC 有很大区别,在传统 PC 机或者小型机、大型机上,安装不同的软件就可以构成不同的系统,而嵌入式系统则要求功能非常明确。按照这个特点,一个嵌入式系统的资源,无论是硬件还是软件以及整个系统的体积、功耗等,都应该是高度精简和严格控制的。嵌入式系统面向用户、面向产品、面向应用,它必须与具体应用相结合才会具有生命力,才更具有优势。也正是这个原因,必须结合实际系统需求进行合理的裁剪。

## 2. 嵌入性

系统和被控制的对象是紧密连接的,一般不需要人为干预。从这一点上来说,也就对嵌入式系统的环境适应性、稳定性、可靠性等提出了一些要求,在进行软件和硬件设计时必须考虑这些要求。

## 3. 智能性

嵌入式系统需要有一个中央处理器单元(CPU)来实现对对象的智能控制,而这种中央处理单元的种类很多,有 8/16 位的单片机、32 位的处理器、DSP、ARM 等。从这点上看,嵌入式系统与计算机技术是密不可分的。

因此,嵌入式系统首先是计算机系统;其次是专用的计算机系统,这种系统有别于通用的个人电脑(PC);最后由于其专用的特点决定了其软硬件必须能够进行定制,必须能够进行裁剪。

单片机也属于嵌入式系统的范畴。但由于历史的原因,单片机和嵌入式系统被许多人区分开来对待。嵌入式系统更多地被理解为使用 ARM 等 32 位嵌入式微处理器的计算机系统,这样的系统与 8 位、16 位单片机系统相比,除了表现在 CPU 处理速度更快、存储器容量更大、接口功能更强大外,更重要的是表现在软件/系统支持能力的提高上。

单片机系统一般采用单任务程序或简单的多任务内核。例如  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  操作系统,一般应用于一些小型应用系统中,该系统仍然而且将在后续一段时间内继续在小型应用系统领域保持其优势。而 ARM 嵌入式系统除了支持单任务程序或简单的多任务内核之外,还能够很轻松地运行 Linux、Windows CE、VxWorks 等复杂的操作系统,与单任务系统和  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  操作系统相比,这些系统对外部设备支持能力更强,系统扩展能力也更强,而且硬件设计和软件设计处于松耦合状态,比较适合于设计大型应用系统,并适合由多人或多个项目组协调开发。本文描述的 ARM 系统就是这样的系统。

## 1.2 嵌入式系统的发展历程

虽然“嵌入式系统”这一名词在最近几年才成为流行语,但早在 20 世纪 80 年代,国际上就

有一些 IT 组织、公司,开始进行商用嵌入式系统和专用操作系统的研发。从硬件方面讲,32 位、64 位微处理器是目前嵌入式系统的核心,它们的使用同样也是未来发展的一大趋势。为了抢占这个无限广阔的市场,各大硬件厂商竞相推出产品,包括 Intel、Motorola、Philips、AMD 等公司都不甘示弱,几乎每个月都有新产品出现。市场竞争日益激烈,同时也给嵌入式技术的发展带来了无限活力。从 20 世纪 70 年代单片机的出现到今天各式各样的嵌入式微处理器、微控制器的大规模应用,嵌入式系统已经有了近 30 年的发展历史。纵观嵌入式技术的发展过程,大致经历了 4 个阶段。

### 1. 无操作系统的嵌入式算法阶段

这一阶段的嵌入式系统是以单芯片为核心的系统,具有与一些监测、伺服、指示设备相配合的功能。一般没有明显的操作系统支持,而是通过汇编语言编程对系统进行直接控制。主要特点是:系统结构和功能都相对单一,针对性强,无操作系统支持,几乎没有用户接口。

嵌入式系统的出现最初是基于单片机的。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佳的使用性能:更容易使用、更快、更便宜。这些装置已经初步具备了嵌入式的应用特点,但是这时的应用只是使用 8 位的芯片,执行一些单线程的程序,还谈不上“系统”的概念。

最早的单片机是 Intel 公司的 8048,它出现在 1976 年,在随后的时间里,其他公司也相继推出了自己的单片机处理器,如 Motorola 公司推出了 68HC05,Zilog 公司推出了 Z80 系列等。这些早期的单片机一般会包含一些必备的资源,如大约 256 字节的 RAM、4 KB 的 ROM、4 个 8 位并口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时器。之后在 20 世纪 80 年代初,Intel 公司又进一步完善了 8048,在它的基础上研制成功了 8051,这在单片机的历史上是值得纪念的一页。迄今为止,51 系列的单片机仍然是最为成功的单片机,在各种产品中有着非常广泛的应用,特别是在一些价格敏感而性能又无严格要求的场合。这些曾经风光一时的处理器都可以算是嵌入式处理器的鼻祖。

### 2. 简单监控式的实时操作系统阶段

这一阶段的嵌入式系统主要以嵌入式处理器为基础、以简单监控式操作系统为核心。系统的特点是:处理器种类繁多,通用性比较弱,开销小,效率高;一般配备系统仿真器,具有一定的兼容性和扩展性;用户界面不够友好,主要用来控制系统负载以及监控应用程序运行。

从 20 世纪 80 年代早期开始,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,这使得可以获取更短的开发周期、更低的开发资金和更高的开发效率,“嵌入式系统”真正出现了。确切地说,这个时候的操作系统是一个实时内核,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、同步与相互排斥、中断支持、内存管理等功能。其中比较著名的有 Ready System 公司的 VRTX、ISI(Integrated System Incorporation)公司的 PSOS、风河公司的 VxWorks 和 QNX 公司的 QNX 等。这些嵌入式操作系统都具有嵌



入式的典型特点：它们均采用抢占式调度策略，响应的时间很短，任务执行的时间可以确定；系统内核很小，具有可裁剪、可扩充和可移植性，可以移植到各种处理器上；实时性和可靠性较强，适合嵌入式应用。这些嵌入式实时多任务操作系统的出现，使得应用开发人员从小范围的开发中解放出来，同时也促使嵌入式操作系统有了更为广阔的应用空间。

### 3. 通用的嵌入式实时操作系统阶段

以通用型嵌入式实时操作系统为标志的嵌入式系统(如 VxWorks、PSOS、Windows CE)是这一阶段的典型代表。这一阶段嵌入式系统的特点是：能运行在各种不同的微处理器上；具有强大的通用型操作系统功能，例如具备了文件和目录管理、多任务、设备驱动支持、网络支持、图形用户视窗以及用户界面等功能；具有丰富的 API 和嵌入式应用软件。

20 世纪 90 年代以后，随着对实时性要求的提高，软件规模不断扩大，实时内核逐渐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。这时更多的公司看到了嵌入式系统的广阔发展前景，开始大力发展自己的嵌入式操作系统。除了上述几家老牌公司以外，还出现了 Palm OS、嵌入式 Linux、Lynx、Nucleus 以及国内的 Hopen 和 DeltaOS 等嵌入式操作系统。随着嵌入式技术的发展前景日益广阔，相信会有更多的嵌入式操作系统软件出现。

这一阶段嵌入式系统不仅反映在操作系统上面的发展，与之相对应的硬件系统也处于飞速发展状态，总线宽度从 8 位到 16 位再到现在主流的 32 位，RAM、ROM 从几千字节到现在的几十兆甚至几百兆字节。在高端的嵌入式微处理器领域中也产生了一个新的霸主——ARM。ARM 是目前 32 位嵌入式微处理器中应用最为广泛的微处理器。

### 4. 以 Internet 为标志的嵌入式系统

随着通用型嵌入式实时操作系统的发展，面向 Internet 网络和特定应用的嵌入式操作系统正日益引起人们的重视，成为重要的发展方向。嵌入式系统与 Internet 的真正结合及嵌入式操作系统与应用设备的无缝结合，代表着嵌入式操作系统发展的未来。

## 1.3 ARM 微处理器

ARM(Advanced RISC Machines)，既可以认为是一个公司的名字，也可以认为是对一类微处理器的通称，还可以认为是一种技术的名字。1991 年 ARM 公司成立于英国剑桥，主要出售芯片设计技术的授权。目前，采用 ARM 技术知识产权(IP)核的微处理器，即我们通常所说的 ARM 微处理器，已遍及工业控制、消费类电子产品、通信系统、网络系统、无线系统、军用系统等各类产品市场，基于 ARM 技术的微处理器应用占据了 32 位 RISC 微处理器 70% 以上的市场份额。ARM 技术正在逐步渗入到我们生活的各个方面。