

ARM处理器 开发详解

基于ARM Cortex-A8处理器的开发设计

第2版

华清远见嵌入式学院 刘洪涛 甘炜国 编著



本书特色:

- 关注理论知识结构完整性, 重视实践前瞻性环节
- 内容基于流行的Cortex-A8内核处理器
- 丰富实用的项目开发案例
- 所有实验均可通过FS-JTAG仿真器+FS210硬件平台验证

```
printf("second child, parent pid = %d\n", getppid()); struct inode * (*alloc_inode)(struct super_block *sb)
```



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

 高等院校嵌入式人才培养规划教材

ARM处理器 开发详解

基于ARM Cortex-A8处理器的开发设计

第2版

华清远见嵌入式学院 刘洪涛 甘炜国 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京•BEIJING

内 容 简 介

作为一种 32 位高性能、低成本的嵌入式 RISC 微处理器, ARM 目前已经成为应用最广泛的嵌入式处理器。目前 Cortex-A 系列处理器已经占据了大部分中高端产品市场。

本书在全面介绍 Cortex-A8 处理器的体系结构、编程模型、指令系统及开发环境的同时,以基于 Cortex-A8 的应用处理器——S5PV210 为核心,详细介绍了系统的设计及相关接口技术。接口技术涵盖了 I/O、中断、串口、存储器、PWM、A/D、DMA、IIC、SPI、Camera、LCD 等,并提供了大量的实验例程。

本书可以作为高等院校电子、通信、自动化、计算机等专业的 ARM 体系结构、接口技术课程的教材,也可作为嵌入式开发人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

ARM 处理器开发详解:基于 ARM Cortex-A8 处理器的开发设计 / 刘洪涛,甘炜国编著.—2 版.—北京:电子工业出版社,2014.6

高等院校嵌入式人才培养规划教材

ISBN 978-7-121-23161-2

I. ①A… II. ①刘… ②甘… III. ①微处理器—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 092846 号

策划编辑:孙学瑛

责任编辑:徐津平

特约编辑:赵树刚

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:448 千字

版 次:2012 年 9 月第 1 版

2014 年 6 月第 2 版

印 次:2014 年 6 月第 1 次印刷

定 价:55.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

随着消费群体对产品要求的日益提高,嵌入式技术在机械器具制造业、电子产品制造业、信息通信业、信息服务业等领域得到了大显身手的机会,并被越来越广泛地应用。ARM 作为一种 32 位的高性能、低成本的嵌入式 RISC 微处理器,已得到最广泛的应用。目前,Cortex-A 系列处理器已经占据了嵌入式处理器大部分的中高端产品市场,尤其是在移动设备市场上,几乎占据了绝对垄断的地位。

伴随着 Android 系统的发展,ARM 也越来越被大家所了解和接受,企业对 ARM 技术人才的需求也越来越大。各高校也已经认识到了这一点,并设置了相关课程。但建立一套完整的嵌入式教学课程,是一项非常复杂的工作,尤其是如何和企业需求相结合,更是高校所需要面临的重大问题。目前市场上的嵌入式开发相关书籍大多是针对研发人员编写的,并不太适合高校教学使用。北京华清远见科技信息有限公司长期以来致力于嵌入式培训,为市场输送了大量的嵌入式人才。为了普及嵌入式技术,公司计划着手针对高职院校的特点编写一套嵌入式教材。教材的内容涵盖 ARM 体系结构、接口技术、Linux 操作系统、Linux C 语言及 Linux 应用开发实训。本书重点讲解 ARM 体系结构及接口技术部分。

在学习本书之前,读者需要具有数字电路、C 语言等基础知识。通过本书的学习,读者可以掌握 ARM 体系结构和基于 Cortex-A8 核心的 S5PV210 处理器常见硬件接口的开发方法。

本书以 S5PV210 处理器为平台,介绍了嵌入式系统开发的各个主要环节。本书侧重实践,辅以代码加以讲解,从分析的角度来学习嵌入式开发的各种技术。本书使用的工具是 FS-JTAG 仿真器。FS-JTAG 是华清远见研发中心为了推进 ARM Cortex-A8 处理器的教学,提高合作企业及合作院校广大技术爱好者和培训学员的学习效率,研发出的低价的 can 支持 Cortex-A8 的 ARM 仿真器。

本书将嵌入式软/硬件理论讲解和嵌入式实验实践融合在一起,全书共 16 章。其中,第 1 章为嵌入式系统基础知识,介绍了嵌入式系统的组成及嵌入式开发概述。第 2 章为 ARM 技术概述,讲解了 ARM 体系结构、应用选型及编程模型等。第 3 章为 ARM 微处理器的指令系统,重点介绍了 ARM 指令集。第 4 章为 ARM 汇编语言程序设计,主要介绍了 GNU ARM 汇编伪操作、GNU ARM 汇编支持的伪指令、汇编语言与 C 语言的混合编程。第 5 章为 ARM 开发环境搭建,包括 Eclipse 环境介绍、FS-JTAG 仿真器使用等。第 6 章为 GPIO 编程,介绍了 GPIO 的概念及 S5PV210 的 GPIO 操作方法。第 7 章为 ARM 异常及中断处理,介绍了 ARM 处理器的异常处理及 S5PV210 的中断控制器工作原理。第 8 章为串行通信接口,介绍了串行通信的概念及 S5PV210 串口的操作方法。第 9 章为存储器接口,介绍了 NAND Flash 存储器的操作方法。第 10 章为定时器与 RTC,介绍了定时器的工作原理及 S5PV210 定时器接口的操作方法。第 11 章为 A/D 转换器,介绍了 A/D 转换器的工作原理及 S5PV210 A/D 控制器的操作方法。第 12 章为 DMA (PL330) 控制器,介绍了 ARM 公司最新的 PL330



DMA 控制器的开发方法和 PL330 指令。第 13 章为 LCD 接口设计,介绍了 S5PV210 的 LCD 控制器的工作原理。第 14 章为 CAMIF 接口技术,结合 OV9650 摄像头,介绍了 S5PV210 CAMIF 控制器的开发方法。第 15 章为 SPI 接口,结合 CAN 控制器,介绍了 SPI 总线协议和 S5PV210 SPI 控制器开发方法。第 16 章为 I2C 接口,结合 EEPROM 存储器,讲解了 I2C 协议和 S5PV210 的 I2C 控制器开发方法。

本书的出版要感谢华清远见嵌入式培训中心的无私帮助。本书的前期组织和后期审校工作都凝聚了培训中心几位老师的心血,他们认真阅读了书稿,提出了大量中肯的建议,并帮助纠正了书稿中的很多错误。

全书由刘洪涛、邹南承担了书稿的编写及全书的统稿工作,参与本书编写的人员有刘洪涛、包文俊、田雨溪、谭翠君、李福亭、张晓平、王利丽、张志华、蔡蒙、任佳、张丹、甘炜国、杨胜利、季久峰、贾燕枫。

由于作者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。对于本书的批评和建议,可以发表到 www.farsight.com.cn 技术论坛。

编 者
2014 年 2 月

目 录

第 1 章 嵌入式系统基础知识	1
1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.1 嵌入式系统简介	1
1.1.2 嵌入式系统的特点	2
1.1.3 嵌入式系统的发展	3
1.2 嵌入式系统的组成	5
1.2.1 嵌入式系统硬件组成	5
1.2.2 嵌入式系统软件组成	6
1.3 嵌入式操作系统举例	7
1.3.1 商业版嵌入式操作系统	7
1.3.2 开源版嵌入式操作系统	7
1.4 嵌入式系统开发概述	8
1.5 学好微处理器在嵌入式学习中的重要性	14
1.6 本章小结	15
1.7 思考题	16
第 2 章 ARM 技术概述	17
2.1 ARM 体系结构的技术特征及发展	17
2.1.1 ARM 公司简介	17
2.1.2 ARM 技术特征	18
2.1.3 ARM 体系架构的发展	19
2.2 ARM 微处理器简介	20
2.2.1 ARM9 处理器系列	21
2.2.2 ARM9E 处理器系列	22
2.2.3 ARM11 处理器系列	22
2.2.4 SecurCore 处理器系列	23
2.2.5 StrongARM 和 Xscale 处理器系列	23
2.2.6 MPCore 处理器系列	23
2.2.7 Cortex 处理器系列	24
2.2.8 ARM 应用处理器的最新发展现状	26
2.3 ARM 微处理器结构	27
2.4 ARM 微处理器的应用选型	27
2.4.1 ARM 芯片选择的一般原则	28
2.4.2 选择一款适合 ARM 教学的 CPU	28



2.5	Cortex-A8 内部功能及特点	31
2.6	数据类型	32
2.6.1	ARM 的基本数据类型	32
2.6.2	浮点数据类型	33
2.6.3	存储器大/小端	33
2.7	Cortex-A8 内核工作模式	34
2.8	Cortex-A8 存储系统	35
2.8.1	协处理器（CP15）	36
2.8.2	存储管理单元（MMU）	37
2.8.3	高速缓冲存储器（Cache）	37
2.9	流水线	37
2.9.1	流水线的概念与原理	37
2.9.2	流水线的分类	38
2.9.3	影响流水线性能的因素	40
2.10	寄存器组织	40
2.11	程序状态寄存器	43
2.12	三星 S5PC210 处理器介绍	46
2.13	FS_S5PC210 开发平台介绍	47
2.14	本章小结	49
2.15	练习题	50
第 3 章	ARM 微处理器的指令系统	51
3.1	ARM 处理器的寻址方式	51
3.1.1	数据处理指令寻址方式	51
3.1.2	内存访问指令寻址方式	53
3.2	ARM 处理器的指令集	55
3.2.1	数据操作指令	55
3.2.2	乘法指令	62
3.2.3	Load/Store 指令	65
3.2.4	跳转指令	71
3.2.5	状态操作指令	74
3.2.6	协处理器指令	76
3.2.7	异常产生指令	80
3.2.8	其他指令介绍	81
3.3	本章小结	83
3.4	思考题	83



第 4 章 ARM 汇编语言程序设计	85
4.1 GNU ARM 汇编器支持的伪操作	85
4.1.1 伪操作概述	85
4.1.2 数据定义 (Data Definition) 伪操作	85
4.1.3 汇编控制伪操作	87
4.1.4 杂项伪操作	89
4.2 ARM 汇编器支持的伪指令	89
4.2.1 ADR 伪指令	89
4.2.2 ADRL 伪指令	90
4.2.3 LDR 伪指令	91
4.3 GNU ARM 汇编语言的语句格式	92
4.4 ARM 汇编语言的程序结构	94
4.4.1 汇编语言的程序格式	94
4.4.2 汇编语言子程序调用	95
4.4.3 过程调用标准 AAPCS	95
4.4.4 汇编语言程序设计举例	97
4.5 汇编语言与 C 语言的混合编程	98
4.5.1 GNU ARM 内联汇编	98
4.5.2 混合编程调用举例	100
4.6 本章小结	102
4.7 思考题	102
第 5 章 ARM 开发及环境搭建	103
5.1 仿真器简介	103
5.1.1 FS-JTAG 仿真器介绍	103
5.1.2 ULINK 介绍	104
5.2 开发环境搭建	105
5.3 Eclipse for ARM 使用	108
5.4 编译工程	109
5.5 调试工程	110
5.5.1 配置 FS-JTAG 调试工具	110
5.5.2 配置调试工具	111
5.6 本章小结	114
5.7 练习题	114
第 6 章 GPIO 编程	115
6.1 GPIO 功能介绍	115



6.2	S5PV210 芯片的 GPIO 控制器详解	115
6.2.1	特性	115
6.2.2	GPIO 分组预览	116
6.2.3	S5PV2100 的 GPIO 常用寄存器分类	116
6.2.4	GPIO 功能描述	117
6.2.5	S5PV210 I/O 接口常用寄存器详解	118
6.2.6	GPIO 数据寄存器	118
6.3	S5PV210 GPIO 的应用	118
6.3.1	电路连接	119
6.3.2	寄存器设置	119
6.3.3	程序编写	119
6.4	本章小结	120
6.5	练习题	120
第 7 章	ARM 异常及中断处理	121
7.1	ARM 异常中断处理概述	121
7.2	ARM 体系异常种类	122
7.3	ARM 异常的优先级	127
7.4	ARM 处理器模式和异常	127
7.5	ARM 异常响应和处理程序返回	128
7.5.1	中断响应的概念	128
7.5.2	ARM 异常响应流程	128
7.5.3	从异常处理程序中返回	129
7.6	ARM 的 SWI 异常中断处理程序设计	131
7.7	FIQ 和 IRQ 中断	133
7.7.1	中断分支	133
7.7.2	S5PV210 中断机制分析	135
7.7.3	S5PV210 中断处理程序实例	138
7.8	本章小结	141
7.9	练习题	141
第 8 章	串行通信接口	142
8.1	串行通信概述	142
8.1.1	串行通信与并行通信概念	142
8.1.2	异步串行方式的特点	142
8.1.3	异步串行方式的数据格式	143
8.1.4	同步串行方式的特点	143
8.1.5	同步串行方式的数据格式	143

8.1.6	比特率、比特率因子与位周期.....	144
8.1.7	RS-232C 串口规范	144
8.1.8	RS-232C 接线方式	146
8.2	S5PV210 异步串行通信	146
8.2.1	S5PV210 串口控制器概述	146
8.2.2	UART 寄存器详解.....	148
8.3	接口电路与程序设计	152
8.3.1	电路连接.....	152
8.3.2	程序编写	153
8.3.3	调试与运行结果	154
8.4	本章小结	155
8.5	练习题	155
第 9 章	存储器接口	156
9.1	Flash ROM 介绍	156
9.2	NAND Flash 操作	158
9.2.1	芯片介绍.....	158
9.2.2	读操作过程.....	159
9.2.3	擦除操作过程.....	160
9.2.4	写操作过程.....	161
9.3	S5PV210 中 NAND Flash 控制器的操作	161
9.3.1	S5PV210 NAND Flash 控制器概述	161
9.3.2	S5PV210 NAND Flash 控制器寄存器详解.....	162
9.4	S5PV210 NAND Flash 接口电路与程序设计	164
9.4.1	K9F2G080U 和 S5PV210 的接口电路.....	164
9.4.2	S5PV210 控制 K9F2G080U 的程序设计.....	164
9.5	本章小结	168
9.6	练习题	168
第 10 章	定时器与 RTC	169
10.1	S5PV210 PWM 定时器	169
10.1.1	PWM 定时器概述.....	169
10.1.2	PWM 定时器的特点.....	170
10.1.3	PWM 定时器的寄存器.....	171
10.1.4	PWM 定时器操作示例.....	176
10.2	S5PV210 看门狗定时器.....	177
10.2.1	S5PV210 看门狗定时器概述	177
10.2.2	看门狗定时器寄存器	178



10.2.3	看门狗定时器程序编写	179
10.3	RTC	181
10.3.1	RTC 介绍	181
10.3.2	RTC 控制器	182
10.3.3	RTC 控制器寄存器详解	182
10.3.4	RTC 测试例子	184
10.4	本章小结	185
10.5	练习题	185
第 11 章	A/D 转换器	186
11.1	A/D 转换器原理	186
11.1.1	A/D 转换基础	186
11.1.2	A/D 转换的技术指标	187
11.1.3	A/D 转换器类型	188
11.1.4	A/D 转换的一般步骤	192
11.2	S5PV210 A/D 转换器	192
11.2.1	S5PV210 A/D 转换器概述	192
11.2.2	S5PV210 A/D 控制器寄存器	193
11.3	A/D 转换器应用举例	195
11.3.1	电路连接	195
11.3.2	程序编写	195
11.3.3	调试与运行结果	196
11.4	本章小结	197
11.5	练习题	197
第 12 章	DMA (PL330) 控制器	198
12.1	PL330 原理概述	198
12.1.1	DMAC 简述	198
12.1.2	S5PV210 下的 DMAC 模型	199
12.1.3	PL330 简述	200
12.2	PL330 详解	202
12.2.1	PL330 指令集	202
12.2.2	相关寄存器详解	207
12.3	S5PV210 PL330 测试例子	209
12.4	本章小结	213
12.5	练习题	213

第 13 章 LCD 接口设计	214
13.1 LCD 控制器	214
13.1.1 LCD 控制器介绍	214
13.1.2 S5PV210 的 LCD 控制器介绍	215
13.1.3 S5PV210 的 LCD 控制器操作	216
13.1.4 LCD 控制器寄存器	218
13.2 LCD 控制器实例	223
13.3 本章小结	227
13.4 练习题	227
第 14 章 CAMIF 接口技术	228
14.1 OV9650 介绍	228
14.1.1 芯片功能描述	228
14.1.2 OV9650 物理参数	229
14.1.3 OV9650 寄存器详解	230
14.2 SCCB 总线	232
14.2.1 SCCB 协议介绍	232
14.2.2 SCCB 的总线编程	233
14.3 CAMIF 接口详解	234
14.3.1 基于 S5PV210 的 CAMIF 接口介绍	234
14.3.2 S5PV210 CAMIF 寄存器详解	236
14.3.3 CAMIF 操作案例	239
14.4 本章小结	243
14.5 练习题	243
第 15 章 SPI 接口	244
15.1 SPI 总线协议理论	244
15.1.1 协议简介	244
15.1.2 协议内容	244
15.2 SPI 控制器详解	246
15.2.1 S5PV210 的 SPI 控制器简介	246
15.2.2 时钟源控制	247
15.2.3 寄存器详解	247
15.3 SPI 开发例子	249
15.4 本章小结	255
15.5 练习题	255



第 16 章 I ² C 接口	256
16.1 I ² C 总线	256
16.1.1 I ² C 总线介绍	256
16.1.2 I ² C 总线术语	256
16.1.3 I ² C 总线位传输	257
16.1.4 I ² C 总线数据传输	257
16.1.5 I ² C 总线寻址方式	258
16.1.6 快速和高速模式	259
16.2 I ² C 总线控制器	260
16.2.1 S5PV210 下的 I ² C 控制器介绍	260
16.2.2 I ² C 总线控制寄存器详解	260
16.3 I ² C 总线的实际应用	262
16.3.1 应用分析	262
16.3.2 代码实现	266
16.4 本章小结	267
16.5 练习题	267
参考文献	268

第 1 章 嵌入式系统基础知识

嵌入式系统已成为当前最为热门的领域之一，它无处不在，受到了社会各方面的广泛关注，越来越多的人开始学习嵌入式系统开发。本章将向读者介绍嵌入式系统的基本知识，主要内容如下：

- 嵌入式系统的概述。
- 嵌入式系统的组成。
- 嵌入式系统开发举例。
- 嵌入式系统开发概述。

1.1 嵌入式系统概述

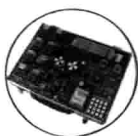
1.1.1 嵌入式系统简介

嵌入式系统已经广泛地渗透到人们的学习、工作、生活中，我们可以看到，嵌入式系统已经应用在科学研究、工程设计、军事技术、各类产业、商业文化艺术、娱乐业及人们的日常生活等方方面面。表 1-1 列举了嵌入式系统应用的部分领域。

表 1-1 嵌入式系统应用领域举例

领 域	应 用
消费电子	信息家电、智能玩具、通信设备、移动存储、视频监控
工业控制	工控设备、智能仪表、汽车电子、电子农业
网 络	网络设备、电子商务、无线传感器
医务医疗	医疗电子
军事国防	军事电子
航空航天	各类飞行设备、卫星等
物 联 网	追溯系统、仓库存储

随着数字信息技术和网络技术的飞速发展，计算机、通信、消费电子的一体化趋势日益明显，这必将培育出一个庞大的嵌入式应用市场。嵌入式系统技术也成了当前关注、学习研究的热点。大家可能会问究竟什么是嵌入式系统呢？嵌入式系统本身是一个相对模糊的定义，不同的组织对其定义也略有不同，但大意是相同的，我们来看一下嵌入式系统的相关定义。



按照电气电子工程师学会（IEEE）的定义，嵌入式系统是用来控制、监控，或者辅助操作机器、装置、工厂等大规模系统的设备（devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants）。这个定义主要是从嵌入式系统的用途方面来进行定义的。

更具一般性且在多数书籍资料中使用较多的关于嵌入式系统的定义如下：嵌入式系统是指以应用为中心，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。

根据以上嵌入式系统的定义，可以看出，嵌入式系统是由硬件和软件相结合组成的具有特定功能、用于特定场合的独立系统。其硬件主要由嵌入式微处理器、外围硬件设备组成；其软件主要包括底层系统软件 and 用户应用软件。

1.1.2 嵌入式系统的特点

1. 专用、软/硬件可裁剪可配置

从嵌入式系统定义可以看出，嵌入式系统是面向应用的，和通用系统最大的区别在于嵌入式系统功能专一。根据这个特性，嵌入式系统的软、硬件可以根据需要进行精心设计、量体裁衣、去除冗余，以实现低成本、高性能。也正因如此，嵌入式系统采用的微处理器和外围设备种类繁多，系统不具通用性。

2. 低功耗、高可靠性、高稳定性

嵌入式系统大多用在特定场合，要么是环境条件恶劣，要么要求其长时间连续运转，因此嵌入式系统应具有高可靠性、高稳定性、低功耗等特点。

3. 软件代码短小精悍

由于成本和应用场合的特殊性，通常嵌入式系统的硬件资源（如内存等）都比较少，因此对嵌入式系统设计也提出了较高的要求。嵌入式系统的软件设计尤其要求高质量，要在有限的资源上实现高可靠性、高性能的系统。虽然随着硬件技术的发展和成本的降低，在高端嵌入式产品上也开始采用嵌入式操作系统，但其和 PC 资源比起来还是少得可怜，所以嵌入式系统的软件代码依然要在保证性能的情况下，占用尽量少的资源，保证产品的高性价比，使其具有更强的竞争力。

4. 代码可固化

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本身中，而不是存储于磁盘中。

5. 实时性

很多采用嵌入式系统的应用具有实时性要求，所以大多嵌入式系统采用实时性系统。但需要注意的是，嵌入式系统不等于实时系统。



6. 弱交互性

嵌入式系统不仅功能强大，而且要求使用灵活方便，一般不需要键盘、鼠标等。人机交互以简单方便为主。

7. 嵌入式系统软件开发通常需要专门的开发工具和开发环境

在开发一个嵌入系统时，需要事先搭建开发环境及开发系统，如进行 ARM 编程时，需要安装特定的 IDE，如 MDK、IAR 等，如果需要交叉编译时，除了特定的宿主系统外，还要有目标交叉工具链，之所以这样是因为嵌入式系统不具有通用系统那样的单一性，嵌入式系统具有多样性，因此，不同的目标就要为其准备不同的开发环境。

8. 要求开发、设计人员有较高的技能

嵌入式系统是将先进的计算机技术、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。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，从事嵌入式系统开发的人才也必须是复合型人才。

1.1.3 嵌入式系统的发展

1. 嵌入式系统主要经历的 4 个阶段

第 1 阶段是以单芯片为核心的可编程控制器形式的系统。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，软件通过汇编语言编写。这一阶段系统的主要特点是：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，因此以前在国内工业领域应用较为普遍，但是现在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。

第 2 阶段是以嵌入式 CPU 为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。其主要特点是：CPU 种类繁多，通用性比较弱；系统开销小，效率高；操作系统达到一定的兼容性和扩展性；应用软件较专业化，用户界面不够友好。

第 3 阶段是以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。其主要特点是：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，支持多任务，支持网络应用，具备图形窗口和用户界面；具有大量的应用程序接口（API），开发应用程序较简单；嵌入式应用软件丰富。

第 4 阶段是以物联网为标志的嵌入式系统。这是一个正在迅速发展的技术。物联网拥有业界最完整的专业物联产品系列，覆盖从传感器、控制器到云计算的各种应用。物联网一方面可以提高经济效益，大大节约成本；另一方面可以为全球经济的复苏提供技术动力。目前，美国、欧盟等都在投入巨资深入研究探索物联网。我国也正在高度关注、重视物联网的研究，工业和信息化部会同有关部门，在新一代信息技术方面正在开展研究，以形成支持新一代信息技术发展的政策措施。



2. 未来嵌入式系统的发展趋势

1) 小型化、智能化、网络化、可视化

随着技术水平的提高和人们生活的需要，嵌入式设备正朝着小型化便携式和智能化的方向发展。如果携带笔记本电脑外出办事，肯定希望它轻薄小巧，甚至可能希望有一种更便携的设备来替代它，目前的 PAD、智能手机，便携投影仪等都是应类似的需求而出现的。对嵌入式而言，可以说是已经进入了嵌入式互联网时代（有线网、无线网、广域网、局域网的组合），嵌入式设备和互联网的紧密结合，更为我们的日常生活带来了极大的方便和无限的想象空间。除此之外，人工智能、模式识别技术也将在嵌入式系统中得到应用，使得嵌入式系统更具人性化、智能化。

2) 多核技术的应用

人们需要处理的信息越来越多，这就要求嵌入式设备运算能力更强，因此需要设计出更强大的嵌入式处理器，多核技术处理器在嵌入式中的应用将更为普遍。

3) 低功耗（节能）、绿色环保

嵌入式系统的硬件和软件设计都在追求更低的功耗，以求嵌入式系统能获得更长的可靠工作时间。例如：手机的通话和待机时间、mp3 听音乐的时间等。同时，绿色环保型嵌入式产品将更受人们青睐，在嵌入式系统设计中也会更多地考虑如辐射和静电等问题。

4) 云计算、可重构、虚拟化等技术被进一步应用到嵌入式系统中

简单讲，云计算是将计算分布在大量的分布式计算机上，这样只需要一个终端，就可以通过网络服务来实现我们需要的计算任务，甚至是超级计算任务。云计算（Cloud Computing）是分布式处理（Distributed Computing）、并行处理（Parallel Computing）和网格计算（Grid Computing）的发展，或者说是这些计算机科学概念的商业实现。在未来几年里，云计算将得到进一步发展与应用。

可重构性是指在一个系统中，其硬件模块或（和）软件模块均能根据变化的数据流或控制流对系统结构和算法进行重新配置（或重新设置）。可重构系统最突出的优点就是能够根据不同的应用需求，改变自身的体系结构，以便与具体的应用需求相匹配。

虚拟化是指计算机软件在一个虚拟的平台上而不是真实的硬件上运行。虚拟化技术可以简化软件的重新配置过程，易于实现软件标准化。其中 CPU 的虚拟化可以单 CPU 模拟多 CPU 并行运行，允许一个平台同时运行多个操作系统，并且都可以在相互独立的空间内运行而互不影响，从而提高工作效率和安全性，虚拟化技术是降低多内核处理器系统开发成本的关键。虚拟化技术是未来几年最值得期待和关注的关键技术之一。

随着各种技术的成熟与在嵌入式系统中的应用，将不断为嵌入式系统增添新的魅力和发展空间。

5) 嵌入式软件开发平台化、标准化、系统可升级，代码可复用将更受重视

嵌入式操作系统将进一步走向开放、开源、标准化、组件化。嵌入式软件开发平台化也将是今后的一个趋势，越来越多的嵌入式软/硬件行业标准将出现，最终的目标是使嵌入式软件开发简单化，这也是一个必然规律。同时随着系统复杂度的提高，系统可升级和代码复用技术在嵌入式系统中得到更多的应用。