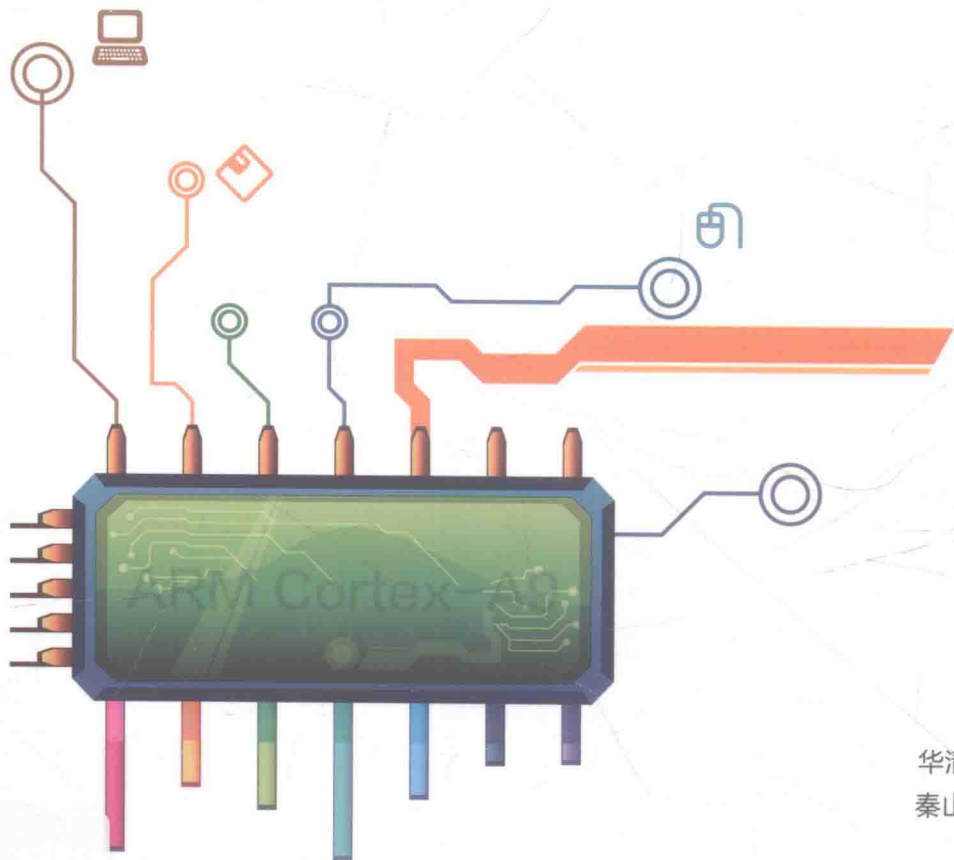


ARM处理器 开发详解

基于ARM Cortex-A9处理器的开发设计

/ 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ARM Cortex-A9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 / +FS4412硬件平台验证 /



华清远见嵌入式学院
秦山虎 刘洪涛 编著



中国工信出版集团



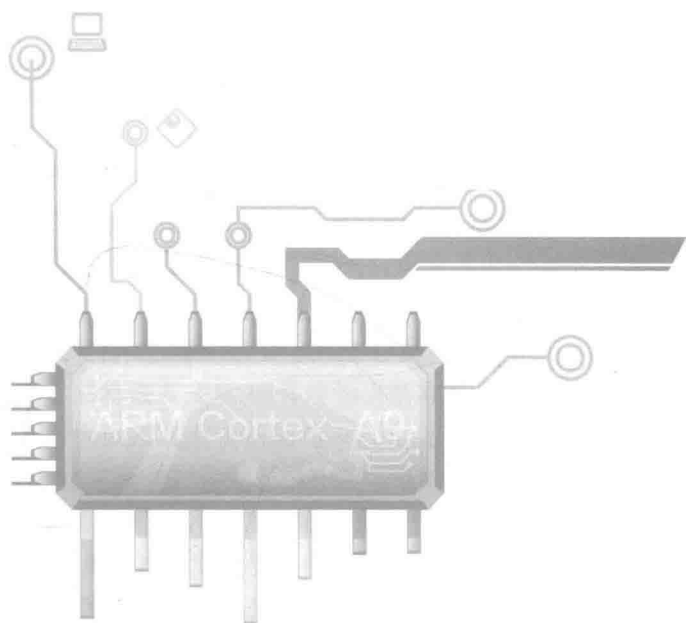
电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

ARM处理器 开发详解

基于ARM Cortex-A9处理器的开发设计

华清远见嵌入式学院

秦山虎 刘洪涛 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 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。

《ARM 处理器开发详解: 基于 ARM Cortex-A9 处理器的开发设计》在全面介绍 Cortex-A9 处理器的体系结构、编程模型、指令系统及开发环境搭建的同时, 以基于 Cortex-A9 的应用处理器——Exynos 4412 处理器为核心, 详细介绍了系统的设计及相关接口技术。接口技术涵盖了 GPIO、GIC、UART、PWM、RTC、WDT、AD、IIC、SPI 等, 并提供了大量的实验例程。

通过阅读本书希望读者掌握 ARM 体系结构和基于 Cortex-A9 核心的 Exynos 4412 处理器常见硬件接口的开发方法。

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-A9 处理器的开发设计 / 华清远见嵌入式学院, 秦山虎, 刘洪涛编著. —北京: 电子工业出版社, 2016.7

高等院校嵌入式人才培养规划教材

ISBN 978-7-121-29044-2

I. ①A… II. ①华… ②秦… ③刘… 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(2016)第 131862 号

策划编辑: 孙学瑛

责任编辑: 徐津平

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 北京京科印刷有限公司

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: 418.5 千字

版 次: 2016 年 7 月第 1 版

印 次: 2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 59.00 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, 88258888。

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

本书咨询联系方式: 010-51260888-819 faq@phei.com.cn。

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。

伴随着基于 Android、IOS 系统的智能硬件应用发展，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，读者需要掌握数字电路、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-A9 核心的 Exynos4412 处理器常见硬件接口的开发方法。

本书以 Exynos4412 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 Cortex-A9 ARM 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 supports Cortex-A9 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 15 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 Exynos 4412 的 GPIO 操作方法。第 7 章为 ARM 异常及中断处理，介绍了 ARM 处理器的异常处理的先关概念和异常处理流程。第 8 章为 FIQ 和 IRQ 中断，着重讲解了编程中最常用的 FIQ 和 IRQ 中断，以及 Exynos4412



ARM 处理器开发详解：基于 ARM Cortex-A9 处理器的开发设计

的中断控制器工作原理和编程方法。第 9 章为串行通信接口，介绍了串行通信的概念及 Exynos4412 串口的操作方法。第 10 章为 PWM 定时器，介绍了定时器的工作原理和 PWM 定时器的操作方法。第 11 章为看门狗定时器，介绍了看门狗定时器接口的操作方法。第 12 章为 RTC 定时器，介绍了 RTC 定时器接口的操作方法。第 13 章为 A/D 转换器，介绍了 A/D 转换器的工作原理及 Exynos4412-A/D 控制器的操作方法。第 14 章为 I2C 接口，结合 MPU6050 姿态传感器，讲解了 I2C 协议和 Exynos44p12 的 I2C 控制器开发方法。第 15 章为 SPI 接口，结合 CAN 控制器芯片 MCP2515，介绍了 SPI 总线协议和 Exynos4412-SPI 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。

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
2016 年 5 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.....	2
1.1.1 嵌入式系统简介.....	2
1.1.2 嵌入式系统的特点.....	3
1.1.3 嵌入式系统的发展.....	4
1.2 嵌入式系统的组成.....	6
1.2.1 嵌入式系统硬件组成.....	6
1.2.2 嵌入式系统软件组成.....	7
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.....	8
1.3.2 开源版嵌入式操作系统.....	8
1.4 嵌入式系统开发概述.....	9
1.5 学好微处理器在嵌入式学习中的重要性.....	15
1.6 本章小结	17
1.7 练习题	17
第 2 章 嵌入式 ARM 技术概论	18
2.1 ARM 体系结构的技术特征及发展.....	19
2.1.1 ARM 公司简介.....	19
2.1.2 ARM 技术特征.....	19
2.1.3 ARM 体系架构的发展.....	20
2.2 ARM 微处理器简介	22
2.2.1 ARM9 处理器系列.....	23
2.2.2 ARM9E 处理器系列.....	23
2.2.3 ARM11 处理器系列.....	24
2.2.4 SecurCore 处理器系列.....	24
2.2.5 StrongARM 和 Xscale 处理器系列.....	24



ARM 处理器开发详解：基于 ARM Cortex-A9 处理器的开发设计

2.2.6	MPCore 处理器系列	25
2.2.7	Cortex 处理器系列	25
2.2.8	最新 ARM 应用处理器发展现状	28
2.3	ARM 微处理器结构	29
2.3.1	ARM 微处理器的应用选型	29
2.3.2	选择 ARM 芯片的一般原则	29
2.3.3	选择一款适合 ARM 教学的 CPU	30
2.4	Cortex-A9 内部功能及特点	33
2.5	数据类型	34
2.5.1	ARM 的基本数据类型	34
2.5.2	浮点数据类型	35
2.5.3	存储器大/小端	35
2.6	Cortex-A9 内核工作模式	36
2.7	Cortex-A9 存储系统	37
2.7.1	协处理器 (CP15)	38
2.7.2	存储管理单元 (MMU)	39
2.7.3	高速缓冲存储器 (Cache)	39
2.8	流水线	40
2.8.1	流水线的概念与原理	40
2.8.2	流水线的分类	41
2.8.3	影响流水线性能的因素	42
2.9	寄存器组织	43
2.10	程序状态寄存器	45
2.11	三星 Exynos4412 处理器介绍	48
2.12	FS4412 开发平台介绍	50
2.13	本章小结	56
2.14	练习题	56
第 3 章	ARM 微处理器的指令系统	57
3.1	ARM 处理器的寻址方式	58
3.1.1	数据处理指令寻址方式	58
3.1.2	内存访问指令寻址方式	59
3.2	ARM 处理器的指令集	62

3.2.1	数据操作指令	62
3.2.2	乘法指令	70
3.2.3	Load/Store 指令	72
3.2.4	跳转指令	78
3.2.5	状态操作指令	82
3.2.6	协处理器指令	84
3.2.7	异常产生指令	88
3.2.8	其他指令介绍	88
3.3	本章小结	91
3.4	练习题	91
第 4 章	ARM 汇编语言程序设计	92
4.1	GNU ARM 汇编器支持的伪操作	93
4.1.1	伪操作概述	93
4.1.2	数据定义 (Data Definition) 伪操作	93
4.1.3	汇编控制伪操作	94
4.1.4	杂项伪操作	97
4.2	ARM 汇编器支持的伪指令	97
4.2.1	ADR 伪指令	97
4.2.2	ADRL 伪指令	98
4.2.3	LDR 伪指令	99
4.3	GNU ARM 汇编语言的语句格式	100
4.4	ARM 汇编语言的程序结构	102
4.4.1	汇编语言的程序格式	102
4.4.2	汇编语言子程序调用	103
4.4.3	过程调用标准 AAPCS	104
4.4.4	汇编语言程序设计举例	105
4.5	汇编语言与 C 语言的混合编程	106
4.5.1	GNU ARM 内联汇编	107
4.5.2	混合编程调用举例	109
4.6	本章小结	111
4.7	练习题	111



第 5 章 ARM 开发及环境搭建	112
5.1 仿真器简介	113
5.1.1 FS-JTAG 仿真器介绍	113
5.1.2 ULINK 介绍	114
5.2 开发环境搭建	115
5.2.1 XP 环境安装 FS-JTAG 工具	115
5.2.2 开发板硬件连接	118
5.2.3 USB 转串口驱动安装	118
5.2.4 Putty 串口终端配置	119
5.3 Eclipse for ARM 使用	121
5.4 在开发环境中添加 FS4412 工程	122
5.5 编译工程	125
5.6 调试工程	126
5.6.1 配置 FS-JTAG 调试工具	126
5.6.2 配置调试工具	126
5.7 本章小结	131
5.8 练习题	131
第 6 章 GPIO	132
6.1 GPIO 功能介绍	133
6.2 Exynos4412-GPIO 控制器详解	133
6.2.1 GPIO 功能描述	133
6.2.2 GPIO 特性	134
6.2.3 GPIO 分组	134
6.2.4 GPIO 常用寄存器分类	135
6.2.5 GPIO 寄存器详解	136
6.2.6 GPIO 寄存器封装	137
6.3 GPIO 的应用实例	140
6.3.1 GPIO 实例内容和原理	140
6.3.2 GPIO 实例硬件连接	140
6.3.3 GPIO 实例软件设计	141
6.3.4 GPIO 实例代码	141
6.3.5 GPIO 实例现象	141

6.4 本章小结	142
6.5 练习题	142
第7章 ARM 异常及中断处理	143
7.1 ARM 异常中断处理概述	144
7.2 ARM 体系异常种类	145
7.3 ARM 异常的优先级	149
7.4 ARM 处理器模式和异常	150
7.5 ARM 异常响应和处理程序返回	151
7.5.1 中断响应的概念	151
7.5.2 ARM 异常响应流程	151
7.5.3 从异常处理程序中返回	152
7.6 ARM 的 SWI 异常中断处理程序设计	154
7.7 本章小结	156
7.8 练习题	156
第8章 FIQ 和 IRQ 中断	157
8.1 ARM 中断控制器简介	158
8.1.1 中断软件分支处理 (NVIC 和 GIC)	158
8.1.2 硬件支持的分支处理 (VIC)	159
8.2 通用中断控制器 (GIC)	161
8.2.1 GIC 功能模块	162
8.2.2 GIC 中断控制器中断类型	163
8.2.3 GIC 中断控制器中断状态	164
8.2.4 GIC 中断处理流程	164
8.3 Exynos4412 中断源	165
8.4 Exynos4412-GIC 寄存器详解	166
8.5 GIC 中断应用实例	171
8.5.1 GIC 中断实例内容和原理	171
8.5.2 GIC 中断实例硬件连接	171
8.5.3 GIC 中断实例软件设计	171
8.5.4 GIC 中断实例代码	173
8.5.5 GIC 中断实例现象	175



8.6	本章小结	175
8.7	练习题	175
第 9 章	通用异步收发 (UART) 接口	176
9.1	通用异步收发 (UART) 接口简介	177
9.1.1	串行通信与并行通信概念	177
9.1.2	异步串行方式的特点	177
9.1.3	异步串行方式的数据格式	177
9.1.4	同步串行方式的特点	178
9.1.5	同步串行方式的数据格式	178
9.1.6	波特率、波特率因子与位周期	178
9.1.7	RS-232C 串口规范	179
9.1.8	RS-232C 接线方式	181
9.2	Exynos4412-UART 控制器详解	181
9.2.1	UART 控制器概述	181
9.2.2	UART 控制器框架图	182
9.2.3	UART 寄存器详解	183
9.3	UART 接口应用实例	188
9.3.1	UART 接口实例内容和原理	188
9.3.2	UART 实例硬件连接	188
9.3.3	UART 实例软件编写	188
9.3.4	UART 实例调试和运行现象	190
9.4	本章小结	191
9.5	练习题	191
第 10 章	PWM 定时器	192
10.1	定时器和 PWM 简介	193
10.1.1	定时器概述	193
10.1.2	脉冲宽度调制 (PWM) 概述	193
10.2	Exynos4412-PWM 定时器详解	194
10.2.1	PWM 定时器概述	194
10.2.2	PWM 定时器寄存器详解	195
10.2.3	PWM 定时器双缓冲功能	198

10.2.4	PWM 信号输出	199
10.3	PWM 定时器应用实例一：定时触发	201
10.3.1	定时触发实例内容和原理	201
10.3.2	定时触发实例硬件连接	201
10.3.3	定时触发软件设计和代码	201
10.3.4	定时触发实例现象	203
10.4	PWM 定时器应用实例二：PWM 输出	203
10.4.1	PWM 输出实例内容和原理	203
10.4.2	PWM 输出实例硬件连接	203
10.4.3	PWM 输出软件设计	204
10.4.4	PWM 输出实例现象	205
10.5	本章小结	205
10.6	练习题	205
第 11 章	看门狗定时器	206
11.1	看门狗简介	207
11.2	Exynos4412 看门狗定时器详解	207
11.2.1	看门狗定时器概述	207
11.2.2	看门狗定时器寄存器详解	208
11.3	看门狗定时器实例	210
11.3.1	看门狗定时器实例内容和原理	210
11.3.2	看门狗定时器实例软件设计	210
11.3.3	看门狗定时器实例代码	210
11.3.4	看门狗定时器实例现象	211
11.4	本章小结	211
11.5	练习题	211
第 12 章	RTC 定时器	212
12.1	RTC 定时器简介	213
12.2	Exynos4412-RTC 定时器详解	213
12.2.1	RTC 定时器概述	213
12.2.2	RTC 定时器寄存器详解	214
12.2.3	BCD 码	215



12.3	RTC 定时器实例.....	216
12.3.1	RTC 定时器实例内容和原理.....	216
12.3.2	RTC 定时器实例软件设计.....	216
12.3.3	RTC 定时器实例代码.....	216
12.3.4	RTC 定时器实例现象.....	217
12.4	本章小结.....	218
12.5	练习题.....	218
第 13 章	A/D 转换器.....	219
13.1	A/D 转换器原理.....	220
13.1.1	A/D 转换基础.....	220
13.1.2	A/D 转换的技术指标.....	220
13.1.3	A/D 转换器类型.....	221
13.1.4	A/D 转换的一般步骤.....	226
13.2	Exynos4412- A/D 转换器概述.....	226
13.2.1	A/D 转换器概述.....	226
13.2.2	A/D 转换器特点.....	227
13.2.3	A/D 转换器寄存器解析.....	227
13.3	A/D 转换器应用实例.....	228
13.3.1	A/D 转换器实例内容和原理.....	228
13.3.2	A/D 转换器实例硬件连接.....	229
13.3.3	A/D 转换器实例软件设计.....	229
13.3.4	A/D 转换器实例代码.....	230
13.3.5	A/D 转换器实例现象.....	231
13.4	本章小结.....	232
13.5	练习题.....	232
第 14 章	I2C 总线.....	233
14.1	I2C 总线协议.....	234
14.1.1	I2C 总线协议简介.....	234
14.1.2	I2C 总线协议内容.....	234
14.2	Exynos4412-I2C 控制器详解.....	238
14.2.1	I2C 控制器概述.....	238

14.2.2	I2C 控制器框架图	238
14.2.3	I2C 控制器寄存器详解	239
14.2.4	I2C 控制器操作流程	241
14.3	I2C 接口应用实例	243
14.3.1	I2C 实例内容和原理	243
14.3.2	I2C 实例硬件连接	243
14.3.3	I2C 实例软件设计	243
14.3.4	I2C 实例代码	244
14.3.5	I2C 实例现象	247
14.4	本章小结	248
14.5	练习题	248
第 15 章	SPI 接口	249
15.1	SPI 总线协议	250
15.1.1	SPI 总线协议简介	250
15.1.2	SPI 总线协议内容	250
15.2	Exynos4412-SPI 控制器详解	253
15.2.1	SPI 控制器概述	253
15.2.2	SPI 控制器时钟源控制	254
15.2.3	SPI 控制器寄存器详解	257
15.3	SPI 接口应用实例	260
15.3.1	SPI 实例内容和原理	260
15.3.2	SPI 实例硬件连接	261
15.3.3	SPI 实例软件设计	261
15.3.4	SPI 实例代码	262
15.3.5	SPI 实例现象	265
15.4	本章小结	266
15.5	练习题	266

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，受到了社会各界的广泛关注，更有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：

- 嵌入式系统概述。
- 嵌入式系统组成。
- 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、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
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。

按照电器工程协会（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。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被广泛使用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，软件硬件可剪裁，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。

根据以上对嵌入式系统的定义，我们可以看出，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/硬件可剪裁可配置

从嵌入式系统的定义可以看出，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，系统不具备通用性。

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，要么是要求其长时间连续运转，因此嵌入式系统应该具有高可靠性、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，所以大多数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，而且使用起来灵活方便，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

在开发一个嵌入式系统时，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