

高等学校计算机科学与技术教材

- ④ 原理与技术的完美结合
- ④ 教学与科研的最新成果
- ④ 语言精炼，实例丰富
- ④ 可操作性强，实用性突出

# 嵌入式系统的设计与开发

□ 陈连坤 编著



清华大学出版社

● 北京交通大学出版社

高等学校计算机科学与技术教材

# 嵌入式系统的设计与开发

陈连坤 编著

清华大学出版社

北京交通大学出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书的主要特点是注重理论与实践相结合, 书中所举的大量实例均为作者实际开发工作经验的总结, 并提供了大量的硬件电路图和源程序。

本书分为 1、2 两篇。第 1 篇介绍了嵌入式系统的基本概念和嵌入式系统的设计与开发原理及方法。内容涉及嵌入式系统软硬件的组成及特点, 系统的设计原则和方法, 嵌入式系统的开发工具、系统集成和测试方法。第 2 篇介绍了高速 C8051F 混合信号微控制器的原理和基于该微控制器的嵌入式系统的设计和开发实例。通过大量的实例, 详细地介绍了各种编程方法和编程技巧、开发工具使用方法和使用技巧, 以及硬件系统设计的详细过程和硬件系统的工作原理。

通过阅读本书, 可使读者全面了解嵌入式系统的设计与开发原理及方法; 大量的实例可帮助读者尽快地掌握应用 C8051F 混合信号微控制器的方法和技巧。

本书可作为研究生课程的教材, 也可作为相关专业高年级本科生和工程技术人员的参考用书。

版权所有, 翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术, 用户可通过在图案表面涂抹清水, 图案消失, 水干后图案复现; 或将表面膜揭下, 放在白纸上用彩笔涂抹, 图案在白纸上再现的方法识别真伪。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

嵌入式系统的设计与开发/陈连坤编著. — 北京: 清华大学出版社; 北京交通大学出版社, 2005.7

(高等学校计算机科学与技术教材)

ISBN 7-81082-546-1

I. 嵌… II. 陈… III. 微型计算机-系统设计-高等学校-教材 IV. TP 360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 055540 号

责任编辑: 陈 芳

出版者: 清华大学出版社 邮编: 100084 电话: 010-62776969 <http://www.tup.com.cn>

北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686414 <http://press.bjtu.edu.cn>

印刷者: 北京交通大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 23.5 字数: 582 千字

版 次: 2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-81082-546-1 / TP · 202

印 数: 1~4 000 册 定价: 32.00 元

---

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: [press@center.bjtu.edu.cn](mailto:press@center.bjtu.edu.cn)。

# 前 言

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。嵌入式系统与通用计算机系统有较大的差异，这导致了在设计与开发的过程和方法上的区别。本书系统地介绍了嵌入式系统的设计和开发原理及方法，详尽地介绍了与 8031/32 兼容的高速 C8051F 混合信号微控制器的原理，并通过大量的实例来帮助读者了解和掌握嵌入式系统的设计和开发原理与方法，为今后的工作打下扎实的理论基础和<sub>提高</sub>分析问题与解决问题的能力。

本书分 1、2 两篇。第 1 篇由前 6 章组成，介绍了嵌入式系统设计与开发的基础理论和基本方法；第 2 篇由后 12 章组成，详细介绍了高速 C8051F 混合信号微控制器的原理及基于该微控制器的嵌入式系统的设计和开发实例，包括各种编程的方法与技巧、开发工具的使用、硬件系统的设计。

第 1、2 章简单介绍嵌入式系统的定义、特点和典型应用及嵌入式系统的设计和开发过程。

第 3 章首先介绍了嵌入式系统处理器的分类、特点和选择原则，其中对微控制器、数字信号处理器和 ARM 微处理器作了较详细的介绍。然后介绍了嵌入式系统硬件的特点、设计原则和硬件抗干扰措施。

第 4 章内容包括嵌入式系统软件的特点和设计技术、基于处理器编程和基于操作系统编程的原理和方法、软件抗干扰的措施，最后简单介绍了常见的嵌入式操作系统。

第 5 章介绍了嵌入式操作系统的常用开发工具，包括指令集模拟器 (ISS)、调试器、ROM 仿真器、在线仿真器 (ICE)、片上调试器 (OCD)、在线调试器 (ICD) 和标准调试接口和协议——BDM、IEEE1149.1 JTAG 及 IEEE-50011STO (Nexus)。

第 6 章介绍了嵌入式操作系统的集成调试、系统测试和升级维护等有关内容。

第 7 章介绍了微控制器的分类、发展特点。

第 8、9 章介绍了 MCS-51 系列微控制器和高速 C8051F 混合信号微控制器的特点，着重介绍了高速 C8051F 混合信号微控制器的存储器体系结构。

第 10 章详细介绍了高速 C8051F 混合信号微控制器的各功能模块的特点和应用方法。

第 11 章简单介绍了 A51 与 C51 混合编程的规则。

第 12 章简单介绍了高速 C8051F 混合信号微控制器的开发工具：Cygna1 IDE 和  $\mu$ Vision2 IDE。

第 13 章通过编程实例详细地介绍了各种编程思路、编程方法和编程技巧，其中包括基于处理器的编程和基于 RTX51 Tiny 的编程，并介绍了改造 RTX51 Tiny 的方法。

第 14 章介绍了高速 C8051F 混合信号微控制器的 FLASH 程序存储器的加密和作为非易失数据存储器使用的方法。

第 15 章介绍了提供商业软件产品的方法，包括通用的库函数方法和结合 C8051F 混合

信号微控制器的 FLASH 程序存储器特性的“OEM”方法。在介绍“OEM”实现时，对微控制器的复位和中断入口地址的重新定位、C51 中断入口地址的重新定位、应用函数的绝对定位、C51 编译和连接的控制、C51 调用绝对定位的应用函数等关键性问题作了详细的说明。在提供的使用“OEM”程序的实例中，对 RTX51 Tiny 进行了改造，以适应中断入口地址的重新定位。

第 16 章介绍了如何使用 USBXpress 实现 USB 应用程序的方法。编程实例涉及 USB 设备实现、RS-485 的原理及应用、感应卡读卡器的应用。

第 17 章通过若干实例，介绍 C8051F 系统的开发要点和目前开发产品时经常使用的新技术和新器件/模块，如 IC 卡、大容量 FLASH 芯片、GPS 模块和 GSM/GPRS 模块等。

第 18 章给出了 3 个实验，使用的目标系统是作者开发的 C8051F320 实验板。此实验板可进行 USB、RS-232C、RS-422/485 通信，LED 和 LED 数码管显示等实验。书中提供的所有程序实例均已调试通过，可在此实验板上运行，基本涵盖了实验的所有功能，可供读者参考。

本书是以作者为北京交通大学研究生开设的嵌入式系统的设计与开发课程的讲稿为蓝本，经过对内容的整理与充实编写而成的。

在开设嵌入式系统的设计与开发课程时，得到了北京交通大学计算机与信息技术学院的领导们，特别是贾卓生副院长的指导和大力支持；北京交通大学计算机与信息技术学院罗四维教授对课程的定位和内容提供了宝贵的意见和建议，在此深表谢意。

书中所引用的部分实例来源于作者和北京交通大学计算机与信息技术学院周洪利副教授的科研项目，在此也表示感谢。

本书受北京交通大学教材出版基金资助。

在本书的编写过程中，参考和引用了国内外同行们撰写的大量书籍和论文，有些未在参考资料中列出，为此向他们表示歉意，并感谢他们对本书所做出的贡献。

编 者

2005 年 7 月

于北京交通大学计算机与信息技术学院

# 目 录

## 第 1 篇 嵌入式系统的基础理论

<b>第 1 章 嵌入式系统简介</b> .....	1
1.1 嵌入式系统的定义及特点 .....	1
1.2 嵌入式系统的应用 .....	3
1.3 未来的嵌入式系统产业 .....	4
<b>第 2 章 嵌入式系统的设计与开发过程</b> .....	6
<b>第 3 章 嵌入式系统的硬件</b> .....	10
3.1 嵌入式处理器 .....	11
3.1.1 嵌入式处理器的分类 .....	11
3.1.2 嵌入式处理器的选择原则 .....	15
3.2 微控制器 .....	17
3.2.1 微控制器简介 .....	17
3.2.2 微控制器的发展特点 .....	19
3.2.3 微控制器的选择原则 .....	21
3.3 数字信号处理器 .....	24
3.3.1 数字信号处理器的特点和分类 .....	24
3.3.2 数字信号处理器的应用 .....	25
3.3.3 数字信号处理器的选择原则 .....	26
3.4 ARM 微处理器 .....	26
3.4.1 ARM 微处理器简介 .....	26
3.4.2 ARM 微处理器的应用 .....	28
3.4.3 ARM 的体系结构简介 .....	28
3.4.4 ARM 微处理器系列产品简介 .....	30
3.4.5 ARM 微处理器的选择原则 .....	34
3.5 OMAP 微处理器简介 .....	35
3.6 嵌入式系统硬件的设计 .....	36
3.6.1 嵌入式系统硬件电路设计原则 .....	36
3.6.2 嵌入式系统硬件的抗干扰措施 .....	37
<b>第 4 章 嵌入式系统的软件</b> .....	42
4.1 嵌入式系统软件的特点 .....	42
4.1.1 嵌入式系统的存储器结构 .....	42
4.1.2 嵌入式系统软件的特点 .....	43

4.2	嵌入式系统的软件设计技术	46
4.3	基于处理器的直接编程	48
4.3.1	前/后台系统的编程方法	49
4.3.2	可抢占式任务调度的前/后台系统的编程方法	49
4.3.3	可抢占式和优先级任务调度的前/后台系统的编程方法	50
4.4	基于嵌入式操作系统的编程	50
4.4.1	嵌入式操作系统环境下的任务	51
4.4.2	嵌入式操作系统的任务调度方式	52
4.4.3	嵌入式操作系统下的任务间通信	53
4.5	编程方法的实时性比较	53
4.6	嵌入式系统软件的抗干扰方法	54
4.6.1	消除模拟输入信号的噪声	54
4.6.2	看门狗定时器	55
4.6.3	其他抗干扰方法	56
4.7	典型嵌入式操作系统简介	57
<b>第5章</b>	<b>嵌入式系统的开发工具</b>	<b>64</b>
5.1	嵌入式系统开发工具的特点	64
5.2	开发嵌入式系统软件的高级语言	65
5.3	指令集模拟器	66
5.4	调试器	67
5.5	ROM 仿真器	68
5.6	在线仿真器	69
5.6.1	在线仿真器的原理	69
5.6.2	在线仿真器的连接方法	71
5.6.3	在线仿真器的主要功能	71
5.6.4	在线仿真器使用的限制	72
5.7	片上调试器和在线调试器	72
5.7.1	片上调试器及在线调试器简介	72
5.7.2	常用的片上调试器	73
5.7.3	片上调试器及在线调试器构成的调试系统	76
5.8	开发工具的干扰	77
5.9	示波器、存储示波器和逻辑分析仪	78
<b>第6章</b>	<b>嵌入式系统的集成和软件测试</b>	<b>79</b>
6.1	嵌入式系统的集成	79
6.2	嵌入式系统的软件测试	79
6.2.1	测试的目的	80
6.2.2	何时开始测试	81
6.2.3	测试内容和测试方法	81
6.2.4	正确选择测试用例	83

6.2.5	何时停止测试 .....	83
6.2.6	测试和维护 .....	83
6.3	覆盖率的测试方法 .....	84
6.3.1	软件插装 .....	84
6.3.2	硬件插装 .....	85
6.4	性能测试的方法 .....	86
6.4.1	性能测试的重要性 .....	86
6.4.2	性能测试的方法 .....	87

## 第 2 篇 C8051F 微控制器的原理与应用

<b>第 7 章</b>	<b>嵌入式应用中的 8051 系列 8 位微控制器 .....</b>	<b>89</b>
7.1	嵌入式应用中的 8 位单片机 .....	89
7.2	8051 的 3 次技术飞跃 .....	90
<b>第 8 章</b>	<b>MCS-51 系列单片机简介 .....</b>	<b>91</b>
8.1	MCS-51 的端口特点和存储器体系结构 .....	91
8.2	MCS-51 片外存储器和 I/O 的扩展 .....	92
8.2.1	几种常见的片外存储器扩展应用 .....	92
8.2.2	片外存储器扩展的应用举例 .....	94
8.2.3	I/O 扩展 .....	104
<b>第 9 章</b>	<b>C8051F 微控制器的原理 .....</b>	<b>106</b>
9.1	C8051F 微控制器简介 .....	106
9.2	CIP-51 内核与指令系统简介 .....	108
9.3	CIP-51 片内数据存储器和 SFR 组 .....	109
9.4	C8051F 微控制器的数据存储器 .....	113
9.4.1	对 C8051F 微控制器的数据存储器的操作 .....	114
9.4.2	C8051F 微控制器的片外数据存储器的扩展 .....	115
9.5	C8051F 微控制器的程序存储器 .....	117
9.5.1	C8051F 微控制器程序存储器的组成和使用 .....	117
9.5.2	C8051F 微控制器程序存储器的安全和保密 .....	119
<b>第 10 章</b>	<b>Cygnal C8051F 微控制器的功能模块 .....</b>	<b>122</b>
10.1	C8051F 微控制器的 ADC .....	122
10.2	C8051F 微控制器的 DAC .....	124
10.2.1	电压输出型 DAC .....	124
10.2.2	电流输出型 DAC .....	126
10.3	C8051F 微控制器的电压比较器 .....	126
10.4	C8051F 微控制器的基准电压 .....	128
10.5	C8051F 微控制器的 I/O 端口和交叉开关 .....	130
10.5.1	C8051F 微控制器的 I/O 端口 .....	130
10.5.2	C8051F 微控制器的交叉开关 .....	133



10.6	C8051F 微控制器的计数器/定时器和 PCA .....	140
10.6.1	C8051F 微控制器的计数器/定时器 .....	140
10.6.2	C8051F 微控制器的 PCA .....	145
10.7	C8051F 微控制器的串行 I/O 接口 .....	149
10.7.1	C8051F 微控制器的 UART .....	150
10.7.2	C8051F 微控制器的 SMBus/I <sup>2</sup> C .....	157
10.7.3	C8051F 微控制器的 SPI .....	160
10.7.4	C8051F 微控制器的 USB .....	164
10.7.5	C8051F 微控制器的 CAN .....	169
10.8	C8051F 微控制器的复位系统 .....	172
10.9	C8051F 微控制器的时钟系统 .....	173
<b>第 11 章</b>	<b>C51 与 A51 的混合编程 .....</b>	<b>175</b>
<b>第 12 章</b>	<b>C8051F 微控制器的开发工具简介 .....</b>	<b>178</b>
12.1	Cygnal 公司/Silicon laboratories 的开发工具 .....	178
12.1.1	Cygnal 公司/Silicon laboratories 的开发工具组成 .....	178
12.1.2	Cygnal 公司/Silicon laboratories 集成开发环境的特点 .....	179
12.1.3	C8051F 微控制器开发工具的使用 .....	180
12.2	Keil Software 8051 开发工具简介 .....	182
12.3	$\mu$ Vision2 调试器 .....	183
12.3.1	软件仿真 .....	183
12.3.2	实际硬件调试 .....	186
<b>第 13 章</b>	<b>编程实例 .....</b>	<b>189</b>
13.1	编程说明 .....	189
13.1.1	硬件电路和功能说明 .....	189
13.1.2	程序功能要求和程序开发工具 .....	192
13.2	采用定时器中断方式实现 .....	193
13.2.1	A51 小汇编编程实现 .....	193
13.2.2	A51 宏汇编编程实现 .....	197
13.2.3	C51 编程实现 .....	202
13.2.4	3 种编程实现的比较 .....	207
13.2.5	调试过程简介 .....	207
13.3	采用前/后台系统实现 (一) .....	216
13.4	采用前/后台系统实现 (二) .....	221
13.5	采用前/后台系统实现 (三) .....	223
13.6	采用具有可抢占式任务调度的前/后台系统实现 .....	225
13.7	采用具有可抢占式和优先级任务调度的前/后台系统实现 .....	230
13.8	采用 RTX51 Tiny 实现 .....	230
13.8.1	使用 RTX51 Tiny 时应注意的问题 .....	230
13.8.2	修改 Conf_tny.A51 .....	232

13.8.3	应用程序	232
13.8.4	调试过程简介	236
13.9	采用具有任务抢占式 RTX51 Tiny 实现 (一)	237
13.10	采用具有任务抢占式 RTX51 Tiny 实现 (二)	242
13.10.1	修改 Conf_tny.A51	242
13.10.2	应用程序	243
13.11	采用具有任务抢占式 RTX51 Tiny 实现 (三)	244
13.11.1	修改 Conf_tny.A51	244
13.11.2	应用程序	245
13.12	采用具有任务抢占式 RTX51 Tiny 实现 (四)	246
13.12.1	修改 Conf_tny.A51 和 os_wait.A51	246
13.12.2	应用程序	248
13.13	不同编程实现的比较	250
<b>第 14 章</b>	<b>微控制器片上 FLASH 程序存储器的应用</b>	<b>251</b>
14.1	应用程序的加密	251
14.2	FLASH 程序存储器作为非易失性数据存储器	254
14.2.1	用绝对定位的宏定义实现	255
14.2.2	用_at_关键词实现	258
14.2.3	用指针代替数组实现	259
14.2.4	调试过程简介	262
<b>第 15 章</b>	<b>提供商业应用程序的方法</b>	<b>272</b>
15.1	以库函数方法提供商业应用程序的方法	272
15.2	以 OEM 方法提供商业应用程序的方法	276
15.2.1	对微处理器的要求	276
15.2.2	编程需要解决的问题	277
15.2.3	用 A51 实现 OEM 程序	279
15.2.4	用 A51 和 C51 混合编程实现 OEM 程序	281
15.2.5	OEM 程序提供的头文件和引导程序	284
15.2.5	应用程序	285
15.2.6	调试过程简介	294
15.3	在具有 OEM 程序的 RXT51 Tiny 环境中的编程	297
15.3.1	具有 OEM 程序的 RXT51 Tiny 环境的建立	297
15.3.2	应用程序	298
<b>第 16 章</b>	<b>USB 与 RS-485 编程实例</b>	<b>304</b>
16.1	通信协议	304
16.1.1	读卡器的通信协议	304
16.1.2	USB 的数据传输协议	305
16.2	硬件实现原理	306
16.3	编程实现	308

16.3.1	程序的功能说明 .....	308
16.3.2	PC 端的应用程序 .....	308
16.3.3	USB 设备端的应用程序 .....	322
<b>第 17 章</b>	<b>C8051F 应用系统设计举例 .....</b>	<b>335</b>
17.1	IC 卡的数据存储和数据管理模块 .....	335
17.1.1	模块功能描述 .....	335
17.1.2	模块的硬件设计 .....	336
17.1.3	功能块说明 .....	338
17.1.4	软件设计 .....	342
17.2	机车车载计算机控制模块 .....	343
17.2.1	模块功能描述 .....	343
17.2.2	模块的硬件设计 .....	345
17.2.3	功能块说明 .....	346
17.3	USB - CAN 模块 .....	349
17.3.1	USB - CAN 模块的硬件设计 .....	349
17.3.2	功能块说明 .....	352
17.4	基于导引服务中心的汽车驾驶导引系统 .....	356
17.4.1	系统功能和指标 .....	356
17.4.2	系统硬件设计 .....	357
<b>第 18 章</b>	<b>C8051F 微控制器系统设计与开发实验 .....</b>	<b>361</b>
实验 1	LED 数码显示模块 .....	361
实验 2	USB 的应用 .....	361
实验 3	USB 至其他串行接口的转换 .....	362
参考文献	.....	363

# 第 1 篇 嵌入式系统的基础理论

## 第 1 章 嵌入式系统简介

### 1.1 嵌入式系统的定义及特点

以往我们根据计算机的体系结构、运算速度、结构规模、适用领域，将其分为大型计算机、中型计算机、小型计算机和微计算机。近 10 年来，随着计算机技术的迅速发展，实际情况产生了根本性的变化。例如，由 20 世纪 70 年代末定义的微计算机演变而来的个人计算机（PC），如今已经占据了全球计算机工业的市场 90%，其处理速度也超过了当年大、中型计算机的定义。

1989 年 11 月 IEEE 提出一个分类报告，它根据计算机在信息处理系统中的地位与作用，考虑到计算机分类的演变过程和近期可能的发展趋势，把计算机分成 6 大类：巨型计算机、小巨型机、主机、小型计算机、工作站和个人计算机。目前国际上比较流行的分类是：巨型计算机、主机、小型计算机和个人计算机。随着计算机技术和产品对其他行业的广泛渗透，以应用为中心的分类方法变得更为切合实际，也就是按计算机的嵌入式应用和非嵌入式应用将其分为嵌入式计算机和通用计算机。

通用计算机一般具有标准的硬件配置，通过安装不同的应用软件，以适应各种不同应用的需求；而嵌入式计算机一般是以嵌入式系统的形式隐藏在各种装置、产品和系统中，是为某种特定应用而设计的。

#### 1. 嵌入式系统的定义

根据 IEEE 的定义，嵌入式系统（Embedded System）是“控制、监视或者辅助设备、机器和车间运行的装置”（devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants）。这主要是从应用上加以定义的，从中可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体，还可以涵盖机械等附属装置。

不过，上述定义并不能充分体现嵌入式系统的精髓。目前国内一个普遍被认同的定义是：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。

#### 2. 嵌入式系统的特点

嵌入式系统包括构成软件运行环境的嵌入式计算机和嵌入式操作系统、应用软件两部分。嵌入式系统的主要特点有以下几方面。

(1) 嵌入式系统通常极其关注成本。

嵌入式系统必须能根据特定应用的需求，对软硬件进行裁剪以满足应用系统对功能、可靠性、成本、体积等的要求。

在大多数情况下，需要注意的成本是系统成本。处理器成本固然是一个因素，但是如果采用高度集成的微控制器（Microcontroller Unit, MCU），而不是微处理器（Micro Processing Unit, MPU）和独立外设器件的组合，就能减小印制电路板的面积、减少所使用器件的个数、降低对电源输出功率的要求，这些都可降低器件总成本、生产管理和装配成本、产品调试成本。同时也可提高产品的可靠性，降低产品的维护成本。

(2) 嵌入式系统通常对实时性有要求。

嵌入式系统一般对程序执行时间的要求都较高，故称之为实时系统。实时性一般分为两类：软实时系统和硬实时系统。硬实时系统要求相关任务（时间关键性的任务）必须在某个时间间隔内完成，一旦响应时间不能满足，就可能会引起系统崩溃或致命的错误；而软实时系统的任务为时间敏感性任务，响应时间不能满足一般不会引起非常严重的后果。

(3) 嵌入式系统一般采用 EOS 或 RTOS。

为使程序能满足系统功能的要求，在必须保证程序逻辑正确性的同时，响应时间也必须达到系统的要求。对于功能较为复杂的嵌入式系统而言，控制响应时间是程序设计的关键。而这对程序员来说，这往往很难驾驭或实现起来相当困难。因此，此类系统一般采用嵌入式操作系统（Embedded Operation System, EOS）来管理系统的硬件资源和时间资源。对于实时系统，应采用具有实时特性的嵌入式操作系统——实时操作系统（Real Time Operation System, RTOS）。另外使用操作系统也可减小产品的开发周期。

对于功能较简单的小型电子装置，可以不采用操作系统，由应用软件来直接管理系统的硬件资源和时间资源。

(4) 嵌入式系统软件故障造成的后果较通用计算机更为严重。

嵌入式系统必须尽量减少软件的瞬时故障（软故障），嵌入式系统一般都采用一些保障机制，例如看门狗定时器（Watch Dog Timer, WDT），来提高系统的可靠性。

(5) 嵌入式系统多为低功耗系统。

许多嵌入式系统没有充足的电能供应（如采用电池供电），而且功耗越小散热越容易、系统温升越低，系统的稳定性和可靠性越高。

(6) 嵌入式系统经常在极端恶劣的环境下运行。

极端恶劣的环境一般意味着严酷的温度与很高的湿度，特殊场合下使用的嵌入式系统必须还要考虑防振、防尘、防水、防电磁干扰等问题。集成电路芯片分为商业级、工业级和军品级，嵌入式系统一般应选择工业级或军品级。

(7) 嵌入式系统的系统资源与通用计算机相比是非常少的。

嵌入式系统一般没有系统软件和应用软件的明显区分，不要求其功能设计及实现上过于复杂。这样一方面利于控制系统成本，同时也利于实现系统安全。

嵌入式系统的个性化很强，其中的软件系统和硬件的结合非常紧密，一般要针对硬件进行操作系统的移植，即使在同一品牌、同一系列的产品中也需要根据系统硬件的变化和增减不断进行修改。

针对不同的任务，往往需要对系统进行较大的更改，程序的编译下载要和系统相结合，这种修改和通用软件的“升级”是完全不同的概念。

(8) 嵌入式系统通常在 ROM 中存放所有程序的目标代码。

几乎所有的计算机系统都要在 ROM 中存放部分代码（如 PC 机中的 BIOS 是存放在 FLASH 内的），而多数嵌入式系统必须把所有的代码都存放在 ROM 中。这意味着对存放在 ROM 中的代码长度有极严格的限制。除此之外，由于 ROM 的读取速度比 RAM 低，在程序执行前一般需将其从 ROM 移至 RAM。在设计系统硬件和软件时应考虑此问题。

(9) 嵌入式系统可采用多种类型的处理器和处理器体系结构。

系统所采用的处理器确定了系统的体系结构（包括系统硬件的组成和指令系统），可选择的处理器有微处理器、微控制器、数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）等，还可选择片上系统（System On Chip, SoC）。

(10) 嵌入式系统需要专用开发工具和方法进行设计。

嵌入式系统的开发工具通常由软件和硬件组成。软件包括交叉编译器、模拟器、调试器、集成开发环境（Integrated Development Environment, IDE）等；硬件包括 ROM 仿真器、在线仿真器（In-Circuit Emulator, ICE）、在线调试器（In-Circuit Debugger, ICD）、片上调试器（On-Chip Debugger, OCD）等。

(11) 嵌入式微处理器包含专用调试电路。

当今嵌入式处理器较过去的处理器，其最大区别是在处理器包含有专用调试电路，具有片上调试电路的嵌入式处理器很好地解决了嵌入式系统的调试问题。

## 1.2 嵌入式系统的应用

嵌入式系统的应用前景是非常广泛的，人们将会无时无刻不接触到嵌入式产品。嵌入式计算机在应用数量上远远超过了各种通用计算机。

一台通用计算机的外部设备中就包含了 5~10 个嵌入式微处理器，键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、Modem、网卡、声卡、打印机、扫描仪、数码相机、USB 集线器等均是由嵌入式处理器控制的。

在制造工业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、信息家电（Information Appliance, IA）类产品等方面均是嵌入式计算机的应用领域。

### 1. 几种具体的应用

#### 1) 嵌入式移动数据库

所谓的移动数据库是支持移动计算的数据库，它有两层含义：

- 用户在移动的过程中可以联机访问数据库资源；
- 用户可以带着数据库移动。

典型的应用场合如在行驶中的救护车上查询最近的医院。该系统由前台移动终端、后台同步服务器组成，移动终端上有嵌入式实时操作系统和嵌入式数据库。中国人民大学正在开发该系统，他们和 Hopen 公司合作，开发了前台移动终端“小精灵”。

#### 2) 智能家居网络

智能家居网络（E-Home）指在一套住宅中建立一个通信网络，为家庭信息提供必要的通路；在家庭网络操作系统的控制下，通过相应的硬件和执行机构，实现对所有家庭网络上

家电和设备的控制和监测。其网络结构的组成必然有家庭网关。家庭网关主要实现控制网络和信息网络的信号综合并与外界接口,以便作远程控制和信息交换。不论是网关还是各家电上的控制模块,都需有嵌入式操作系统。这些操作系统必须具有内嵌式、实时性好、多用户的特点。南京东大移动互联技术有限公司研制的智能多媒体家庭网关,就是以嵌入式 Linux 作为该嵌入式设备的操作系统,设备之间的相互通信遵从蓝牙通信协议,可以支持多个设备同时接入到固定电话网、国际互联网等其他外部网络。

### 3) 嵌入式语音芯片

嵌入式语音芯片基于嵌入式操作系统,采用语音识别与合成、语音学层次结构体系和文本处理模型等技术;可以应用在手持设备、智能家电等多个领域,赋予这些设备人性化的交互方式和便利的使用方法;也可应用于玩具中,如声控玩具、仿真宠物、能与人对话的玩具;也能应用于车载通信设备实现人机交流。该芯片应用在移动通信设备中,例如,手机上短消息来时,我们不必费力地去看其中的内容,而是可以听到声音。

### 4) 基于小范围无线通信协议的嵌入式产品

以蓝牙为代表的小范围无线接入协议与嵌入式系统的结合,必将推动嵌入式系统的广泛应用。近来,基于这些协议的嵌入式产品层出不穷,包括各种电话系统、无线公文包、各类数字电子设备及其在电子商务中的应用。这些产品以其微型化和低成本的特点为它们在家庭和办公室自动化、电子商务、工业控制、智能化建筑物和各种特殊场合的应用开辟了广阔的前景。

### 5) 嵌入式互联网网络产品

具有互联网网络功能的内嵌产品将得到越来越广泛的应用,此类产品的开发将成为一个发展热点。

## 2. 应用的发展趋势

嵌入式系统的应用越来越广泛,功能简单的嵌入式系统(低端产品)、功能较复杂的嵌入式系统(中间产品)和功能复杂的嵌入式系统(高端产品)的应用比例也将会改变,如图 1-1 所示。

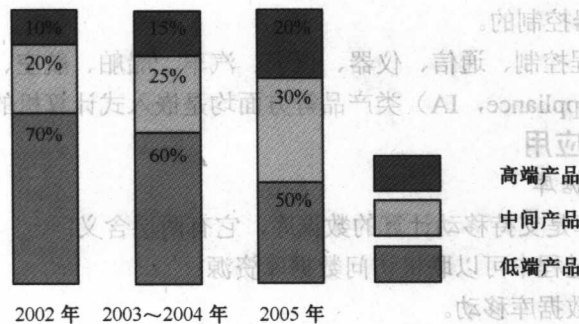


图 1-1 嵌入式系统的应用发展趋势

## 1.3 未来的嵌入式系统产业

未来嵌入式系统的产业将以 3C (Computer——计算机, Communications——通信, Consumer

Electronics——消费类电子学) 技术为核心, 如图 1-2 所示。

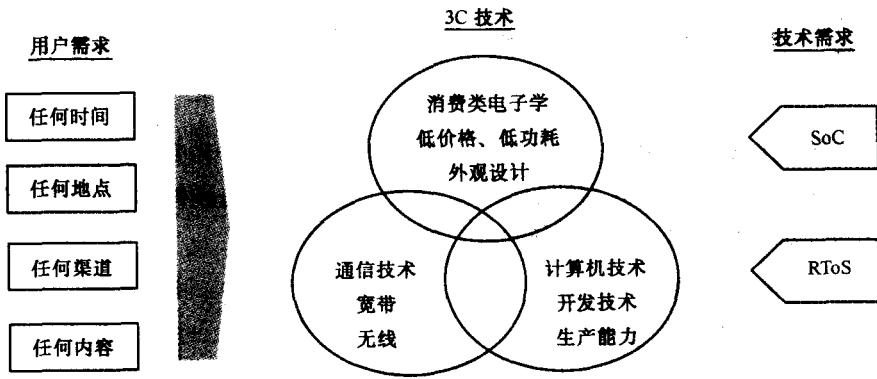


图 1-2 以 3C 技术为核心的未来嵌入式系统产业



# 第 2 章 嵌入式系统的设计与开发过程

不同于在通用计算机上的应用软件开发，嵌入式系统在设计和开发之初，其硬件平台往往还在设计之中。因此，嵌入式系统的设计和开发一般是软件与硬件的并行进行的。嵌入式系统的设计与开发过程可分为 7 个具体阶段，如图 2-1 所示。

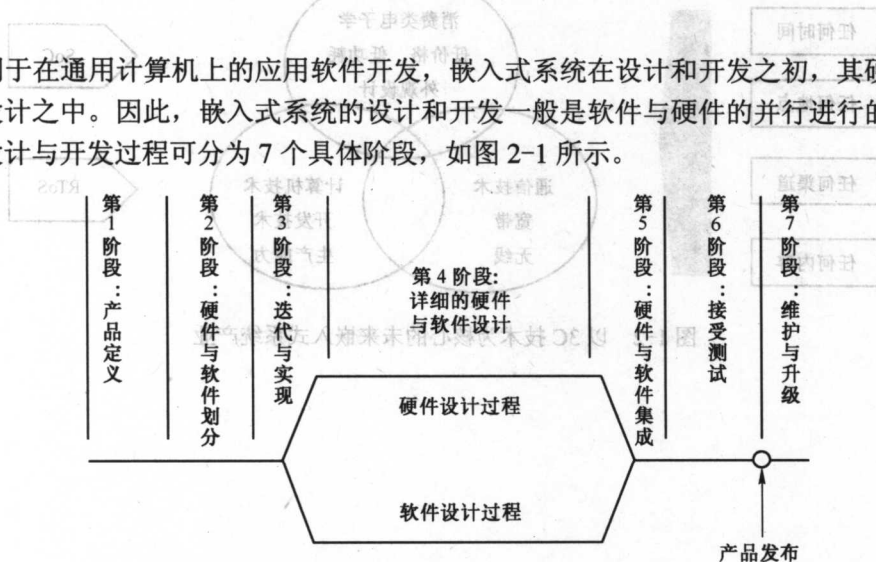


图 2-1 嵌入式系统设计与开发的各个阶段

图 2-1 中的第 1 至第 3 阶段可称为嵌入式系统的设计阶段；第 4 至第 7 阶段可称为嵌入式系统的开发阶段。

实际上，嵌入式系统设计和开发过程并不像图 2-1 描绘得那样简单。在各阶段内及各阶段之间会发生大量的时间重叠问题，需要对时间分配进行大量的优化，而且任何阶段发生的缺陷经常使整个过程“回到起点”。

嵌入式系统的设计和开发过程需要进行大量的优化工作，力图同时建立硬件系统和软件系统，使两者相互补充，共同完成系统功能。

图 2-2 表示的是用在嵌入式系统设计和开发每一阶段的时间大致分配的百分比及在每一阶段若做修改工作所要花费成本的趋势。

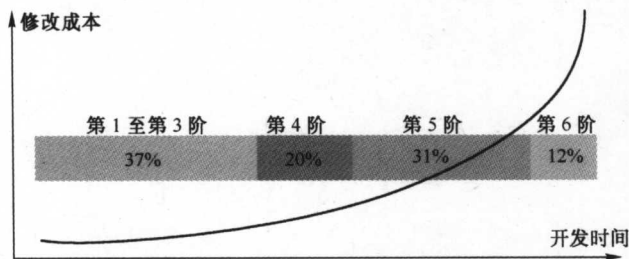


图 2-2 开发时间百分比和修改成本

## 1. 产品定义

产品定义，即需求分析。