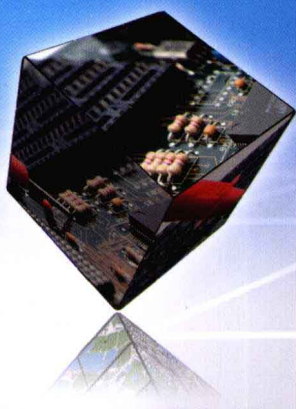


嵌入式技术与应用丛书



嵌入式系统 应用开发基础

杨 斌 编著

- ◎ 选用典型的ARM芯片 (S3C44B0)
- ◎ 详细讲述嵌入式系统开发的知识点
- ◎ 以实例为导向深入剖析嵌入式系统开发的关键技术
- ◎ 配有教学课件, 方便教学使用



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

嵌入式技术与应用丛书

嵌入式系统应用开发基础

杨 斌 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

嵌入式系统应用开发技术的知识点有哪些？这是许多急切想进入嵌入式领域的初学者和受课时数困扰的教师反复思考的问题。一个合格的嵌入式系统开发人员需要了解软/硬件等多个方面的知识，这是造成嵌入式系统开发门槛高的原因。

本书是基于作者多年科研和教学经验的基础上完成的，选用最常用的 ARM 芯片 S3C44B0 为模型，循序渐进地展开了嵌入式系统应用开发技术的讲解，涵盖嵌入式系统的概述、ARM 处理器的编程结构与工作方式、ARM 处理器的指令系统、ARM 程序设计基础、存储器、S3C44B0 系统组成及核心电路编程结构、S3C44B0 内部集成的部分外设电路及其编程结构、Boot Loader 结构及实例分析、ARM 处理器应用电路开发的开发环境及 JTAG 调试机理等内容。

本书讲解清晰，内容实用，适合作为普通高校嵌入式相关专业的教材，也可供从事嵌入式开发的人员阅读参考。

本书配有教学课件，读者可通过华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册后下载。

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

嵌入式系统应用开发基础/杨斌编著. —北京：电子工业出版社，2011.8

（嵌入式技术与应用丛书）

ISBN 978-7-121-14317-5

I. ①嵌… II. ①杨… III. ①微处理器—系统设计 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 161829 号

责任编辑：田宏峰 特约编辑：牛雪峰

印 刷：北京京科印刷有限公司印刷
装 订：

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：787×1 092 1/16 印张：22.25 字数：569 千字

印 次：2011 年 8 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：39.80 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 zlts@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

嵌入式系统应用开发技术基本的知识点是什么？这是许多急切想进入这一领域的初学者最想知道的问题，更是那些受有限课时数困扰的高校教师反复思考的问题。

嵌入式系统是后 PC 时代的概念，原则上将那些嵌入应用对象内的专用计算机系统统称为嵌入式系统。由于嵌入式系统具有软件与硬件紧密结合，应用程序与操作系统紧密结合，硬件和软件与应用对象紧密结合等技术特点，使得该学科成为一门需要融合多门专业基础课程的综合应用类课程，被业界公认为是一类高门槛的技术。

一个合格的嵌入式系统开发人员面对一个具体的应用项目必须要顾及从系统的硬件结构、系统初始化、操作系统的构建、驱动程序实现、应用程序开发，到各类输入/输出设备挂载的具体实现等方方面面。如果一定要将所有相关的知识和技能包纳于一门课程中并且在有限的几十个课时数内了解掌握，并且达到一个合格嵌入式开发人员的基本要求，显然是不现实的。这也是许多师生感叹嵌入式系统开发技术门槛高的原因。

目前有许多高校教师致力于探讨如何利用尽量少的课时传授给学生赖以入门的嵌入式系统必备知识的教学内容及教学方法，其核心问题是在几十个有限的课时内到底应该教授给学生哪些知识和技能才能使他们顺利地迈过可以自主学习更深入嵌入式系统开发技术这道门槛。尽管这道无形的门槛包纳了诸多技术因素，但是通过与传统的基于“Win/Tel”平台的计算机应用开发技术比较可以发现，“Win/Tel”平台的应用开发技术易于学习掌握的主要原因是其软/硬件平台技术的通用化、标准化，以及为这些规范化平台所提供的各种易于学习掌握的应用开发环境。这些规范化平台及开发环境屏蔽了软件开发人员对计算机硬件，甚至操作系统细节的理解，更不需要开发人员知道计算机硬件与软件的互动过程及硬件的编程需求。但是嵌入式系统开发人员所必须要了解的却恰恰是可以应对千变万化应用需求的硬件资源及底层软件。

尽管嵌入式系统开发技术是一门“软硬兼施”的综合应用开发技术，但具体的市场需求仍存在偏硬件和偏软件两个方向。从目前的市场人才需求来看，市场对嵌入式软件开发人才的需求量大于对硬件开发人才的需求，所以本教材的教学目标主要针对的是嵌入式软件开发人员。当我们认识到利用几十个课时的教学内容所能够达到的目标是引领嵌入式软件开发人员入门后，接下来的问题是这些引领入门的知识应该是什么。若以高校的计算机科学、计算机软件、计算机网络、自动化、通信等信息类专业的学生为对象，以他们已选修数字电子技术（或数字逻辑）、计算机组成原理、C 语言程序设计、微机原理与接口技术等传统专业基础课为前提，结合自己多年来主持参与工程项目开发的经验以及在教学过程中对学生理解力的了解，作者认为无论是嵌入式软件开发还是硬件开发，阻碍学生掌握嵌入式应用开发技术的首要门槛是对嵌入式处理器编程结构及应用开发特征的理解和掌握。因为他们已学习过、实践过的计算机有关内容有意无意都夹杂着 Win/Tel 的开发模式，带着这样的知识烙印是难以进入嵌入式开发知识殿堂的。所以需要以一种新的角度来认识嵌入式

处理器，这种新的角度就是计算机指令与计算机硬件动作的直接关联性。那么应该选择学习哪款嵌入式处理器呢？目前国内市场虽然已有多种公司和型号的嵌入式处理器在应用，但最为广泛的还是基于 ARM 内核的嵌入式处理器。

ARM 嵌入式处理器技术的快速发展已经呈现了从 Cortex M 系列，ARM7、ARM9、ARM10、ARM11 系列，到 Cortex A8、A9 系列产品在应用市场全面开花的局面。作为入门学习，到底应该选择哪款处理器也是需要探讨的问题。从应用的角度看似应该选择最新款的处理器，但其实不然。其道理如同这几十年来对 X86 系列处理器的学习历程。尽管 X86 系列处理器已进化了三十年，但学习该系列处理器仍然需要寻根溯源地从 8086 CPU 开始。因为无论什么最新的处理器都继承有其祖辈的许多基本特征，而后续衍生进化的新技术又都建立在这些基本的技术属性之上，是学习最新处理器必须首先掌握的内容。另外，越新的处理器所包含的技术内容越多，几十个课时的学习只能对方方面面内容进行蜻蜓点水似的浏览，无法达到理解和掌握的目标。

本教材根据每周 3~5 课时的教学安排，归纳出嵌入式软件开发必须要掌握和理解的嵌入式处理器学习内容，包括：嵌入式处理器的编程结构，指令系统及汇编语言编程的基本要素，嵌入式系统中的存储器，处理器存储器空间分配，时钟与功耗管理单元结构与编程，GPIO 结构与编程，中断系统结构与编程，定时器/PWM 单元结构及编程，串行通信单元结构与编程等最基础的内容。这些内容是各型高低端嵌入式处理器基本都具有的功能，而且是进一步学习其他功能的基础。考虑到学习内容的针对性和可实践性，选择了在国内市场比较有代表性的三星公司嵌入式处理器 S3C44B0 作为教学模型。事实上，虽然 S3C44B0 为 ARM7TDMI 内核，但三星公司后续的 ARM9（如 S3C2410 和 S3C2440 等）和 ARM11（如 S3C6410）产品的许多基本功能都是由 S3C44B0 发展而来的。

C 目录

o n t e n t s

第 1 章 概述	1
1.1 什么是嵌入式系统	1
1.1.1 嵌入式系统的特点	2
1.1.2 嵌入式系统的应用领域	3
1.1.3 嵌入式系统的应用现状	4
1.2 嵌入式处理器	5
1.2.1 嵌入式处理器的类型	5
1.2.2 嵌入式处理器的应用发展趋势	6
1.3 嵌入式操作系统	7
1.3.1 嵌入式系统应用软件的特点	7
1.3.2 嵌入式操作系统	7
1.4 嵌入式项目或产品的开发流程	12
1.5 嵌入式项目或产品开发的知识结构	12
第 2 章 ARM 处理器的编程结构与工作方式	13
2.1 ARM 嵌入式处理器概况及进展	13
2.1.1 ARM 公司及其产品简介	13
2.1.2 ARM 处理器中的新技术	16
2.2 计算机体系结构中的一些有关概念	18
2.2.1 CISC 与 RISC	18
2.2.2 冯·纽曼 (Von Neuman) 结构和哈佛 (Harvard) 结构	20
2.3 ARM 处理器的内部编程结构	23
2.3.1 ARM7TDMI 应用内核的结构及引出信号线	23
2.3.2 ARM 内核编程结构要素	25
2.3.3 ARM 内核的寄存器组织	29
2.4 ARM 体系结构中的异常	34
2.4.1 ARM 体系结构所支持的异常类型	34
2.4.2 ARM 处理器对异常的响应过程	35
2.4.3 异常向量表	36
2.4.4 从异常返回	36

2.4.5 各类异常有关说明	37
2.4.6 异常优先级 (Exception Priorities)	40
习题与思考题	40
第3章 ARM 处理器的指令系统	41
3.1 ARM 微处理器的寻址方式	41
3.1.1 立即寻址	42
3.1.2 寄存器寻址	42
3.1.3 单存储器数据寻址 (位于存储器中的单字节、单字、半字等单个数据的寻址)	43
3.1.4 多寄存器寻址	44
3.1.5 堆栈寻址及其若干模式	46
3.2 ARM 微处理器指令集概述	48
3.2.1 ARM 微处理器指令的分类与格式	48
3.2.2 ARM 微处理器指令的机器码结构	51
3.3 ARM 指令集	58
3.3.1 数据传输类指令	58
3.3.2 转移类指令	70
3.3.3 算术运算类指令	73
3.3.4 逻辑运算类指令	79
3.3.5 移位操作	81
3.3.6 协处理器指令	83
3.3.7 异常产生指令	86
3.4 ARM 指令运用举例	87
3.4.1 算数和逻辑运算指令	87
3.4.2 Load/Store 指令	90
习题与思考题	91
第4章 ARM 程序设计基础	93
4.1 ARM 汇编语言的格式	93
4.1.1 汇编语言的程序结构概貌	93
4.1.2 ARM 汇编语言的语句格式	94
4.1.3 汇编语言程序中的用户定义符号	94
4.2 ARM 汇编器所支持的伪指令	96
4.2.1 变量定义 (Variable Definition) 伪指令	96
4.2.2 数据定义 (Data Definition) 伪指令	98
4.2.3 汇编控制 (Assembly Control) 伪指令	101
4.2.4 其他常用伪指令	104
4.3 汇编语言程序中的表达式和运算符	109
4.4 汇编语言的子程序调用	112

4.4.1	子程序调用中的数据格式约定	112
4.4.2	子程序调用中的寄存器功能约定	113
4.4.3	汇编语言子程序调用中的参数传递及堆栈运用规则	114
4.4.4	子程序调用中的结果返还规则	114
4.4.5	ARM 汇编语言子程序调用方法	115
4.5	汇编语言程序示例	116
4.5.1	排序(降序冒泡排序)	116
4.5.2	在列表中查找指定数据	116
4.5.3	两个 32 位数相乘得 64 位结果	117
4.5.4	两个压缩 BCD 码数相加得到一个压缩 BCD 码结果(超出 32 位部分略去)	118
4.5.5	在若干个 16 位数中查找最大值	119
4.5.6	将 8 个十六进制数转换为对应的 ASCII 码字符串	120
	习题与思考题	121
第 5 章	嵌入式系统中的存储器	123
5.1	微机中常用半导体存储器的类型	123
5.1.1	只读存储器 ROM 的类型	123
5.1.2	可读写存储器 RAM 的类型	124
5.2	常用静态 RAM 及其与 CPU 的接口方法	125
5.3	动态存储器 DRAM	127
5.3.1	动态存储器的类型及结构特征	127
5.3.2	动态存储器构建微机内存的方法	129
5.3.3	SDRAM 的内部结构及外部引脚	130
5.3.4	SDRAM 的工作特点	132
5.3.5	SDRAM 的工作时序	137
5.3.6	嵌入式系统中有关 SDRAM 的配置选项	137
5.4	嵌入式系统中的 Flash ROM 存储器	138
5.4.1	NOR Flash ROM 存储器的结构及操作特点	139
5.4.2	一款常用的 NOR Flash 存储器 SST39VF1601	143
5.4.3	NOR Flash 的读/擦除/写等操作的程序实现	147
5.4.4	NAND Flash ROM 存储器的结构及使用	153
5.4.5	NAND Flash 的读/擦除/写等操作程序实现	160
5.4.6	NOR/NAND 混合式 Flash 存储器简介	163
	习题与思考题	165
第 6 章	S3C44B0 系统组成及核心电路编程结构	166
6.1	S3C44B0 的编程结构及引脚功能	166
6.1.1	S3C44B0 的内部编程结构	166
6.1.2	S3C44B0 的外部引脚类型	167

6.2	S3C44B0 的存储空间及存储器接口电路设计	171
6.2.1	S3C44B0 的存储空间	171
6.2.2	S3C44B0 与外部存储器的接口设计	175
6.2.3	S3C44B0 的存储器管理及配置寄存器	179
6.2.4	S3C44B0X 的特殊功能寄存器区	183
6.3	嵌入式处理器中的 Cache 及写缓冲寄存器	191
6.3.1	嵌入式处理器中的 Cache 结构及工作原理	191
6.3.2	非 Cache 区域	196
6.3.3	内部 SRAM	196
6.3.4	写缓冲区操作	197
6.3.5	总线优先级	198
6.3.6	内部存储器区的设置寄存器	198
6.3.7	Cache 的设置程序例	200
	习题与思考题	201
第 7 章	S3C44B0 内部集成的部分外设电路及其编程结构	203
7.1	S3C44B0X 的时钟和功耗管理单元	203
7.1.1	S3C44B0X 的时钟管理模式	203
7.1.2	时钟和功耗管理相关寄存器	205
7.1.3	时钟和功耗管理相关寄存器初始化编程举例	208
7.2	S3C44B0 的通用输入/输出 GPIO	209
7.2.1	各组端口的功能	209
7.2.2	各组端口配置的寄存器及功能选择	212
7.2.3	GPIO 应用编程例	217
7.3	S3C44B0 的中断系统	221
7.3.1	S3C44B0X 的中断源	221
7.3.2	S3C44B0 的中断响应模式	224
7.3.3	用于中断逻辑管理的寄存器	234
7.3.4	中断系统应用编程例	245
7.4	S3C44B0 的定时器及脉宽调制器 PWM	252
7.4.1	定时器与 PWM 的基本结构	252
7.4.2	PWM 定时器的编程设置过程	259
7.4.3	PWM 定时器的寄存器组及位域功能	261
7.4.4	PWM 定时器应用编程例	267
7.4.5	一种特殊的定时器——看门狗定时器	275
7.5	S3C44B0 的异步串行接口 UART	278
7.5.1	异步串行通信数据格式及工作原理	278
7.5.2	UART 的中断及 DMA 工作模式	286

7.5.3	UART 波特率设置	287
7.5.4	UART 的寄存器组及设置	288
7.5.5	UART 应用编程例	294
	习题与思考题	304
第 8 章	Boot Loader 的结构及实例分析	306
8.1	Boot Loader 简介	306
8.2	Boot Loader 实例分析	309
8.2.1	U-Boot 的主要特点	309
8.2.2	U-Boot 运行过程分析	310
8.2.3	U-Boot 代码结构及主要函数功能	312
8.2.4	U-Boot 主要命令	320
8.2.5	U-Boot 在 S3C44B0 的移植过程	325
	习题与思考题	329
第 9 章	ARM 处理器应用电路的开发环境及 JTAG 调试机理	329
9.1	ARM 处理器的软件开发方法及开发环境	329
9.1.1	ARM 应用电路调试方法概述	329
9.1.2	JTAG 电路原理及 JTAG 简易调试器	331
9.1.3	简易 JTAG 调试器的信号连接方法	333
9.2	ARM 处理器集成开发环境 ADS1.2 简介	336
9.2.1	ADS1.2 集成开发环境组成简介	336
9.2.2	ADS1.2 集成开发环境的基本操作	337
	习题与思考题	345
	参考文献	346

1.1 什么是嵌入式系统

世界上最早的嵌入式系统 (Embedded System) 被认为是 20 世纪 60 年代中后期由麻省理工学院仪器实验室的 Charles Stark Draper 领导的研发团队为美国阿波罗登月舱所设计的专用计算机系统 AGC (Apollo Guidance Computer), 该计算机被镶嵌在飞船驾驶舱控制面板的中央, 主要负责飞船的导航, 如图 1-1 所示。

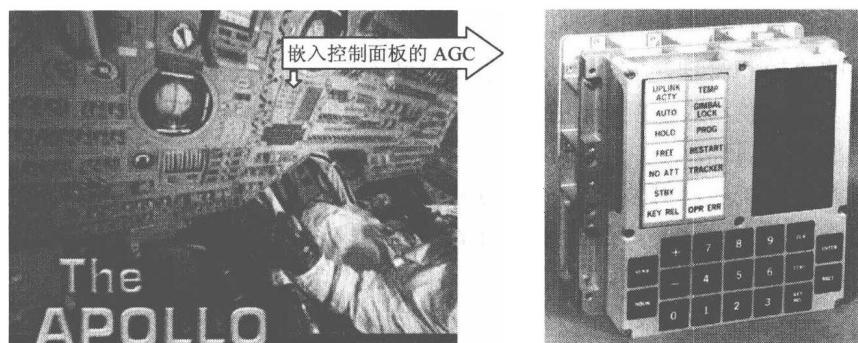


图 1-1 最早的嵌入式系统 AGC

该计算机系统是世界首台采用数字集成电路实现的计算机, 共使用了 4 100 个分离的电阻-晶体管逻辑三输入或非门集成电路。所构成的 CPU 字长为 16 位, 有 2 048 B 的 RAM (磁芯), 36 KB 的 ROM, 存储器读写速度为 11.72 μ s, 系统功耗为 50 W, 重 32 kg。

从早期的嵌入式系统可以看出, 其计算机的性能指标不仅比今天几元钱人民币一片的单片机相差甚远, 而且体积和功耗都非常大, 价格更是难以估量, 这主要是受当时集成电路工艺水平的限制。因此嵌入式系统在长时间里远离了大众的视线, 仅被少数国防工业及高精尖科研制造领域的人所熟识。人们只能感叹: 还有什么地方能用得起计算机?

随着集成电路工艺水平的不断进步, 计算机逐渐失去了它的贵族身价, 进入了百姓家庭。特别是随着微处理器性能的不不断提高, 体积、功耗、价格的不断降低, 在一个单片计算机价格仅几元钱的时候, 人们又感叹: 还有什么地方用不起计算机?

今天, 尽管有许多人不能够确切地指出哪些物件属于嵌入式系统, 但事实上他们每天的生活和工作无时无刻不被嵌入式系统包围着: 手机、MP3/MP4、数码相机、数字电视、

机顶盒、DVD、复印机、传真机、商场 POS 机、银行 ATM 机、公交刷卡机等。那么到底什么是嵌入式系统呢？

1.1.1 嵌入式系统的特点

关于嵌入式系统尽管曾经有过一些定义，甚至是一些国际上的权威组织给出的。但随着嵌入式系统技术的发展，现在还要想用确切具体的技术术语为嵌入式系统下定义已经非常困难了，因为嵌入式系统的应用领域和范围实在是太大了，任何一个门类的技术都无法将嵌入式系统收罗到自己门下。如果一定要为嵌入式系统下定义，只能是借鉴目前大部分业内人士对嵌入式系统产生的共识。

目前广泛认可的一种关于嵌入式系统的定义是：嵌入式系统是嵌入到应用对象体系中的专用计算机系统。“嵌入性”、“专用性”及“软/硬件紧密结合的计算机系统”是嵌入式系统的三个基本要素。而嵌入式系统的特点则是由其应用特征、处理器特征及软件特征共同反映出来的。

1. 嵌入式系统的应用特征

嵌入式系统是针对各种具体应用而开发的软/硬件紧密结合的计算机应用系统。

根据所专属的应用系统性能要求的不同，嵌入式系统具有不同的规模。大的例如空中交通管制系统，尽管它们使用大型计算机，但这些计算机都专用于机场雷达及各型机场导航管控设备的监控和管理，它们会将多个小的嵌入式系统整合成一个大系统，但它们并不具有通用性。小的嵌入式系统例如手机，它们也是“麻雀虽小，五脏俱全”，具备了计算机的主要功能部件和属性。

对于嵌入式系统应用开发技术的学习者来说，将面对的最为广泛的嵌入式系统无疑是商业及民用类产品，而这类产品大多具有的移动便携和节能环保的要求，更凸显了主流嵌入式系统的应用特征：功能强、可靠性高、体积小、功耗低、成本低。

2. 嵌入式处理器的特征

嵌入式系统的核心是嵌入式处理器，它是嵌入式系统应用特征的最基本保障。嵌入式系统所采用的处理器与通用计算机内的处理器(CPU)有着很大的不同。若以 X86 系列 CPU 作为通用处理器的代表，我们会发现这些处理器是“只会思考，不会做事”，即 CPU 只负责程序的执行，而程序要实现的具体 I/O 操作都需要通过三总线交给其他外设电路去完成。而嵌入式处理器则是将 CPU 及众多的 I/O 功能集成于一身。如果将 CPU 比喻为人的大脑，各种外设比喻为人的四肢，则通用计算机的大脑和四肢是从外部连接在一起，而嵌入式处理器则是在内部连接在一起的。另外通用处理器主要追求的是性能，而嵌入式处理器对性能的要求是满足需要即可，更强调可靠性、功耗、体积、甚至价格等因素。因此可看出，嵌入式处理器的特征是：集 CPU 及众多外设接口电路于一身，且可靠性高、体积小、功耗低、价格低。

注意：Micro-computer、Micor-processor 和 Micro-controllor 的区别。

3. 嵌入式系统的软件特征

嵌入式系统的软件与通用计算机系统的软件也有诸多不同的地方。由于嵌入式系统的

专用性、嵌入性、软/硬件紧密结合性及低功耗性的要求,使得嵌入式系统的软件开发具有以下与通用计算机软件系统不同的特点:

- 软件只针对某种具体的硬件平台和具体的应用要求开发,不具有通用性;
- 由于没有标准统一的硬件平台,就不存在诸如 BIOS 这类通用可共享的底层软件;
- 软件代码量要尽可能小,代码质量要求高,通常用高效的 C、C++ 语言或汇编开发;
- 操作系统必须可以视具体应用的要求进行取舍(配置、剪裁),且多数采用静态编译;
- 操作系统与应用程序联系紧密,软件与硬件的联系紧密,往往需要进行捆绑式开发;
- 没有磁盘存储器,通常将所有软件都固化于 ROM 中;
- 大多数嵌入式系统具有一定的实时性要求。

1.1.2 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统的广泛应用如同许多高新技术一样缘于国防军事领域,除了 Apollo 登月舱等项目外,最早量产化的嵌入式系统应用产品是美国 1966 年应用在 Minuteman II 导弹内的 Autonetics D-17 制导计算机系统,其量产化过程得益于当时将用于构造计算机的分离元件芯片四输入与门的单价由原先每片 1 000 美元降低为 3 美元。

嵌入式系统首先得到广泛应用的是军事领域,例如,飞机、舰艇、坦克等各类军运载装置的导航、运动控制、火控系统控制,雷达、电子对抗、野战指挥调度系统等军事通信设备,导弹、火炮、集束炸弹等武器的发射引爆控制,甚至单兵作战的电子装备等年。

嵌入式系统真正开始在其他领域大面积使用还是从以 Intel 4004 为代表的微处理器诞生后开始的。微处理器的诞生及快速发展终于使嵌入式系统走下航天、军工应用的“神坛”,步入工业、商业、交通、医疗,乃至百姓日常生活中。

嵌入式系统从军事领域步入的下一个领域是工业制造业。为了提高劳动生产率,提升产品的品质和附加值,工业领域大量采用嵌入式系统改造生产装置,增加产品的智能化。因此出现了自动化的生产流水线,各类工业机器人、数控设备、柔性中心、智能仪器仪表、基于测控网络的分布式控制系统等用于生产加工的设备和系统应运而生。各种工业产品也纷纷将计算机嵌入其内,使其具有更高的性能、更人性化的操作体验、更高的安全性,以及更丰厚的回报。目前一部汽车内嵌入的计算机数量从十几个到近百个不等。

紧跟工业制造业后大面积运用嵌入式系统技术的是商业和办公业。常用的商业设备包括银行 ATM 机、商场 POS 机、点钞机、条形码阅读机、手持刷卡缴费机、视频监控系统、银行自助服务设备等。常用的办公类设备包括复印机、打印机、传真机、扫描仪、个人数字助理(PDA)、变频空调、数字视频会议设备、数字音视频录播设备等。

通信设备是嵌入式系统的另一大应用领域,包括有线通信的程控交换机、以太网交换机、路由器、网关及接入服务器、网络终端设备、光通信与传输设备等,还有无线通信的无线路由器、移动通信基站、移动通信交换设备、各类移动通信终端、微波传输设备,以及使用数量最多的手机。

医用电子设备是嵌入式系统应用发展潜力巨大的领域,目前常见的仪器有,X 光机、超声诊断仪、计算机断层成像系统、心脏起搏器、监护仪、辅助诊断系统、专家系统等。

嵌入式系统应用范围最广、数量最大的市场应该算消费类电子产品。目前各种信息家

电产品，如高清网络电视、三网合一机顶盒、数码相机、高清 DVD、家庭影院、可视电话、家庭安防系统、智能化洗衣机、电冰箱、智能玩具等都在以前所未有的速度进入到每一个家庭。

1.1.3 嵌入式系统的应用现状

计算机后 PC 时代的一个主要特征就是计算机技术的触角已经深入到了人类社会及民生活的方方面面，计算机不再是传统意义上那种价格高昂、具有统一的 Win/Tel 特征、正襟危放在办公桌上的个人电脑的代名词，而是活跃在可通电的几乎所有应用领域并极大提升各类产品性能的“万变精灵”。

随着现代社会信息化进程的加快，作为计算机技术专属应用统称的嵌入式技术被广泛地应用于军事、工业、通信、交通、商业、办公、医疗、家电、娱乐等社会各个方面，表现出了极强的生命力和发展速度。

每年全球嵌入式系统相关工业产值已超过 1 万亿美元，而中国嵌入式软件产业的发展多年来更是保持了高速的发展势头。2000 年至 2005 年我国嵌入式系统软件市场年平均增速达 38% 以上，2005 年中国嵌入式软件产业规模已达到 1 061.4 亿元（2006 年嵌入式系统年会数据）。另外据赛迪顾问网统计和预测的数据显示，到 2011 年中国嵌入式软件产业规模将达 4 650 亿元人民币。

2007~2011 年中国嵌入式软件产业市场规模统计及预测（赛迪顾问网）

—	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
市场规模（亿元）	1 938.1	2 496.2	3 127.8	3 872.2	4 650.5
增长率	32.6%	28.8%	25.3%	23.8.6%	20.1%

目前，我国已成为世界电子产品第一制造大国，手机、微型计算机、彩电、数码相机、激光视盘机产量分别占全球的 49.9%、60.9%、48.3%、80%、85%，电子信息产品贸易额占全球的 15% 以上。2009 年，规模以上电子信息制造业实现收入 51 305 亿元（许多产品属于嵌入式领域），同比增长 0.1%。其中软件业务收入 9 513 亿元，同比增长 25.6%（据工业与信息化部 2009 年电子信息产业经济运行公报）。软件业务增长远远高于同行业其他产业。而软件业排名前 10 位的企业中有 8 家的主营业务是嵌入式软件，特别是位列前三的华为、中兴和海信都是嵌入式产品的领军企业。

随着我国逐步从制造大国到创造大国的转型，大量的企业都在积极探索实现转型的策略。通过将一些劳动密集型产品转化为高附加值的智能型产品是目前许多转型企业大力研究并加以实施的战略决策，而嵌入式技术在此过程中将发挥至关重要的作用。工业转型升级和技术改造的内在需求，正在成为国产工业软件发展的巨大动力。2009 年中国工业软件的增长率是 56.1%，远远高于其他软件行业的增长。

在我国，无论是高精尖的航空航天、军事、通信、交通、能源等领域还是大众化普及类的办公、商业、家电领域都能看到嵌入式技术的身影。特别是当前 3G 通信、移动计算、物联网等新兴应用需求的出现，更是给嵌入式技术带来了空前的机会和挑战。掌握了嵌入式系统开发技术也就意味着进入了一个更广阔更有发展前途的未来空间。

与传统的通用计算机行业不同,嵌入式系统是一个分散的工业,其中充满竞争、创新与机遇,因此对广大中小企业特别具有吸引力。嵌入式系统涉及广泛的应用领域,产品五花八门,因此不可能由少数大公司垄断市场,即使在其体系结构上存在着主流产品,其产品和技术也必然是高度分散的,这就为广大的中小型高技术公司留下了巨大的发展空间。但另一方面由于缺乏统一规范的开发平台和工具,嵌入式应用系统的开发相比传统PC应用系统开发要困难得多。没有成熟方便的开发环境支持,就需要开发人员具备更广泛的知识面和更多的开发经验,从而给嵌入式系统开发技术带来了门槛高的“恶名”,致使目前社会对嵌入式开发人员的需求与合格嵌入式技术人才短缺的矛盾日渐突出,急需大量有志之士能够克服学习中的困难,迈过所遇到的门槛,尽快成长为嵌入式系统应用开发技术的精英人才。

►1.2 嵌入式处理器

嵌入式系统的核心部件是嵌入式处理器,嵌入式处理器的功能从某种程度上就决定了嵌入式系统的规模和能力。构建一个嵌入式系统首先需要选择一款合适的嵌入式处理器。前面内容曾经提到,与通用计算机中的CPU相比,嵌入式处理器内部不仅有CPU,还有不同数量和类型的外设接口电路。但是国际上对于嵌入式处理器的称呼,不同生产厂家会采用不同的名称,如Embedded Microprocessor Unit, Micro Controller, Single Chip Processor等。国内关于嵌入式处理器的分类也是仁者见仁,智者见智。下面从应用的角度对嵌入式处理器进行一些类型分析。

1.2.1 嵌入式处理器的类型

1) 嵌入式微处理器及微控制器

嵌入式微处理器(Embedded Microprocessor Unit, EMPU)通常指那些具有32位字长,可运行某种操作系统功能较强的嵌入式处理器,同时它们也符合嵌入式系统在体积、功耗、可靠性、价格等方面的要求。

嵌入式处理器目前主要有X86系列(主要有Intel、AMD及台湾威盛生产的产品),Motorola的Power PC、MC68系列、MIPS的MIPS系列、Zilog的Z8000系列,以及目前市场占有率最高的以ARM处理器内核衍生出的各种ARM系列。

国际上一些公司通常习惯会将自己的部分嵌入式处理器产品称为微控制器(Microcontroller Unit, MCU),例如Intel的80386EX,AMD的嵌入式486/586系列,Motorola的Power PC系列,MIPS的Mips系列等。

2) 单片机

单片机(Single-Chip Computer)或微控制器实际上指的是同一类处理器,这类处理器集CPU及多种外设接口电路于一身。有的公司将其称为单片机,有的则称其为微控制器。要想明确的区分什么是单片机,什么是微控制器是一件困难的事情。从概念上来归类目前这些处理器,单片机主要涵盖了CPU处理能力较弱,存储器空间较小,数据宽度较窄的一

类处理器。但也不尽其然。例如 Intel 公司将其功能较弱的处理器，如 8 位的 MCS-8051 系列处理器，16 位的 MCS-96 系列处理器称为单片机。而功能较强的产品，如 8 位的 80188，16 位的 80186，32 位的 80386EX 等称为微控制器。而 Motorola 公司则将其 32 位的功能较强的 Power PC 的一些产品系列称之为单片机。

从应用的角度来看，大多数单片机主要应用于低端应用场合，例如在小型的工业控制中作为主控机，在大型过程控制中作为控制组件或智能变送器，耐用家电中的控制器，低端的电信产品（如门数较少的交换机）等。单片机由于处理速度低，存储容量小，只能运行一些单任务操作系统，甚至无法支持任何操作系统，而只能由用户为其量身定制集系统管理、数据采集处理、运算控制、结果显示等于一身的监控程序，所以它们通常只能应用于一些简单的应用场合，因此也决定了单片机内部集成的其他外设接口电路主要是一些控制类的对内存要求不高的功能电路，如定时/计数器、中断控制器、同步/异步串行接口、A/D、D/A、I²C、PWM、WatchDog、DMA 等。

单片机目前应用最广泛的是 8 位的 Intel MCS-51 系列以及其他公司利用 MCS-51 核心开发出的其他衍生产品群，如飞利浦的 80C51 系列、Atmel 的 At89 系列等。另外几个应用较多的单片机系列是美国 TI 公司的 MSP430 系列、美国 Atmel 公司的 AVR 系列、飞思卡尔（Motorola）公司的 MC68 系列、美国 Microchip 公司的 PIC 系列、美国国家半导体公司的 COP 系列等。

3) 数字信号处理器

数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）是一种专用于进行数字信号处理的处理器，这类处理器内部集成了专门针对数字滤波、FFT、谱分析等常用数字信号处理算法进行处理的硬件加速器，所以对这些应用场合会比常规微处理器效率高得多。国内市场常见的 DSP 处理器有美国得克萨斯仪器公司 TI 的 TMS320C 系列，美国 ADI 公司的 SHARC、Blackfin 系列，以及 Motorola 的 DSP56 系列等。但需要说明的是，DSP 在通用指令功能方面则不如常规嵌入式处理器，特别是对操作系统的支持方面，所以通常 DSP 需要与常规嵌入式处理器配合使用，尽管有些 DSP 也在不断拓展自己的通用指令处理能力。例如 ADI 公司的 Blackfin 系列已经可以运行 μ CLinux 操作系统，而且更有将常规嵌入式处理器与 DSP 集成在一个芯片内的发展趋势，例如 TI 的 OMAP 系列将 ARM 处理器与其 DSP 处理器集成为一体的双核处理器。

4) 可编程片上系统 SOPC (System On Programmable Chip)

可编程片上系统（System On Programmable Chip, SOPC）是嵌入式系统硬件设计的最高应用形式。这种方式是将处理器以及其他有关电路利用专门的开发工具定制在一个大规模集成电路中。实现了用户通过自己的编程来构建一个专用的片上系统。目前的主要应用形式是含 CPU 软核的 FPGA，如美国 Altera 公司的 Cyclone、Stratix 系列以及美国 Xilinx 公司的 Spartan、Virtex 系列等。

1.2.2 嵌入式处理器的应用发展趋势

随着集成电路制造技术和工艺的快速发展，原本仅用于工业控制领域的 MCU 开始大量应用于人们的日常生活中，因此促使嵌入式处理器呈现以下发展趋势：

- 全面由 8/16 位向 32 位迁移；

- 速度性能不断提高;
- 多处理器核结构 (多个 MCU 协同工作, 或 MCU 与 DSP 的协同工作);
- 更低功耗 (S3C2410 的最大功耗约 300 mW);
- 更宽的工作电压适应范围 (1.8~6 V);
- 更先进的工艺和更小的封装;
- 更低廉的价格。

1.3 嵌入式操作系统

嵌入式系统的软件大致可以分为三个部分: 第一部分是负责系统硬件初始化、系统自检以及操作系统引导的软件, 称为 Boot Loader, 类似于 PC 中的 BIOS; 第二部分是操作系统, 是软件系统的管理者和灵魂; 第三部分是应用软件。从开发者的角度来看, 这几部分与通用计算机系统的软件相比都有着许多不同的地方。其中最主要的不同点是, 应用开发者必须更多地提升对操作系统的关注度。在通用计算机系统的应用开发过程中, 由于硬件、软件平台的规范化和标准化, 因此而呈现的各种开发环境和可共享的函数库使得开发者无须了解操作系统及硬件的更多知识, 就可以在规范的编程模板指引下照猫画虎般地编写出自己的应用程序。但是嵌入式系统是一种量体裁衣式的订制开发过程, 不允许出现更多的系统无用碎片及应用冗余代码, 所以需要应用程序与操作系统紧密配合。这就要求应用开发者对操作系统有较深入的了解而且掌握具体的开发过程。

1.3.1 嵌入式系统应用软件的特点

- 软件要求固态化存储;
- 软件代码短小精悍;
- 具体应用程序与操作系统的一体化整合;
- 多数嵌入式应用需要操作系统具有或强或弱的实时性;
- 高端应用需要多任务操作系统支持;
- 软件开发需要开发工具的支持。

由嵌入式系统应用软件的特点可以看出, 一个合格的嵌入式软件开发人员, 不仅需要掌握相关的程序设计方法, 还需要较好地掌握硬件以及操作系统方面的知识。

1.3.2 嵌入式操作系统

1. 嵌入式操作系统的特点

与通用平台上运行的操作系统相比, 嵌入式操作系统具有以下一些特点:

- 短小精悍的内核以及高度模块化结构, 以利于不同应用要求的选择和剪裁;
- 或强或弱的实时性, 大多数嵌入式系统都有实时性要求, 且多是强实时多任务并发操作, 所以要求相应的嵌入式操作系统也必须是实时操作系统 (Real-Time Operation System, RTOS);