

卓越

工程师培养计划
电子设计实践系列

基于ARM

32位高速嵌入式微控制器

■ 谭大为 张有光 刘晚春 编著



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



卓越工程师培养计划
电子设计实践系列

基于 ARM 32 位高速嵌入式微控制器

谭大为 张有光 刘晚春 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

全书共分为两部分：基础篇和实践篇。基础篇包括 ARM 微控制器概述、嵌入式微控制器项目流程化概述、嵌入式硬件电路设计基础和电源与传感器简介；实践篇包括第 5~9 章，其内容编排采取模块实例结构，每个章节围绕一个中心点展开，模块间层层递进，模块内步步推导；通过章节之间互相衔接，将基本 I/O 操作、外部中断、定时器等内容进行展开，最后安排综合应用，更具实践性。

本书既有基本知识点的讲解，又注重学习能力和学习方法的培养，遵循“由浅入深、由简及难”的认知规律，力求“授人以鱼”的同时“授人以渔”。

本书内容是多年教学实践和本科生课外科技活动经验的凝练，经过反复修订和增删，结合卓越工程师培养计划进行结构调整后集结成书，可用于培训、实验、实践教学等。同时，对于嵌入式初学者入门，使用 32 位高速嵌入式微控制器进行工业设计、电子制作、竞赛实践也有很强的指导意义。

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

基于 ARM 32 位高速嵌入式微控制器 / 谭大为，张有光，刘晚春编著. —北京：电子工业出版社，2012.9
(卓越工程师培养计划. 电子设计实践系列)

ISBN 978-7-121-18201-3

I. ①基… II. ①谭… ②张… ③刘… III. ①微控制器—高等学校—教材 IV. ①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 210967 号

责任编辑：竺南直 特约编辑：郭 莉

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

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：18.25 字数：468 千字

印 次：2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：38.00 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 zltz@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

嵌入式技术在 20 世纪 90 年代末期随着国内 IT 行业的迅猛发展而声名鹊起，其实它与通用计算机技术都源于 20 世纪 70 年代，与微型机一脉所出，只不过各自走上了不同的道路。

ARM 技术诞生于 1987 年，在经历若干年的沉寂后，通过只进行半导体知识产权授权而不实际生产芯片这种在当时有异于传统的商业模式，不但摆脱发展困境，更是迅速崛起至今不衰，是个张力十足的“ARM 哥”。

以时间为坐标，嵌入式技术源起至今已四十余年，在可预期的将来却依然是 IT 江湖的不老传说。ARM 技术仅用二十余载，已在岁月磨砺中撑起自己的一片天空，堪称年轻有为，擎起嵌入式技术的大旗。

为了扭转我们日益焦躁的内心，将摩尔定律用做标尺——嵌入式技术也好，ARM 技术也好，以每 18 个月为一个世代——都已经是第 N 代，累世而功成。然而焦虑稍释，另一个念头又萦绕心头——在信息技术的瞬息万变中，我们当何去何从？

嵌入式技术日新月异、一日千里的发展速度让我们有些不知所措，颇有无从下手的慨叹。但是，正如《荀子·儒效》所示“千举万变，其道一也”，只要选择嵌入式技术的具体“一点”切入，通过掌握基本的知识点，培养自己不断学习的能力，就能够触类旁通、举一反三，具有快速应变能力，不论潮流如何发展，终能把握时代的脉搏。

在基础篇中用简要的语言勾勒出嵌入式技术涉及各方面的大致轮廓，让读者可以选择“一点”更多；在实践篇中，本书着重学习能力和学习方法的养成，力求“授人以鱼”的同时“授人以渔”。此外，本书描述的嵌入式技术主要着眼于基于 ARM 微控制器——ARM 技术不一定千秋万载，却有一统江湖的霸气——在移动互联的时代，强大而丰富的外设功能、具有一定的运算能力、极低的功耗及苛刻条件下恶劣环境适应能力使嵌入式微控制器获得了新的生命力。

今天，嵌入式微控制器活跃在信息家电、移动终端、通信领域、汽车电子、工业控制、商业和金融、办公自动化、交通运输、土木建筑、医疗卫生、国防、航空航天等各个领域。我们享受着嵌入式微控制器给生活带来的便利，却无缘识得其真面目——有位资深的工程师一个玩笑道出了这样的情景：

“每个人不可能都有一套房子，但每个人平均有 5 个嵌入式微控制器。如果你正在使用吉列的 Fusion ProGlide 手动剃须刀，那注意了，其中有一颗 4 位的嵌入式微处理器；如果你正在居所惬意地喝下午茶，很荣幸，微波炉、洗衣机、空调、电冰箱等都在嵌入式微控制器的调度下工作；如果你正在使用手机，那其中有两颗以上的嵌入式微处理器，其中一颗在手机电池里；如果你正在汽车里，那你被数十颗嵌入式微控制器所包围——车窗、仪表显示、车载导航、动力控制、座位调节甚至车灯都有嵌入式微控制器，更有趣的是，你的汽车的行为也要为嵌入式微控制器所控制——因为，交通红绿灯中也有嵌入式微控制器……”

在初学者还在纠结学习何种技术时，基于 ARM 的嵌入式微控制器提供了一个“性价比”

最高的选择——既有符合潮流的 ARM，又有 MCU 的简单易学，还有由于广泛应用而衍生的丰富学习资源。

“由浅入深、由简及难”是一个认知过程，基于 ARM 的嵌入式微控制器结构简单、系统集成度高，既“浅”又“简”，同时“麻雀虽小，五脏俱全”——将 CPU、RAM、ROM、定时/计数器和多种 I/O 接口集成在一起，形成芯片级计算机。通过基于 ARM 的嵌入式微控制器对于计算机系统的一些基本概念能够很好地切入、学习、掌握。随着学习的深入，终能“化繁为简，游刃有余”。

本书付诸印刷前，专门送阅三个特定类型的人，这些人并不代表全部，然而其意见是真实、中肯的，原文摘录供读者参考：

第一个人是我的学弟，在职场打拼多年，新晋团队主管，是资深技术人员——“这本书真没什么好看的，讲的东西是我们招聘要求掌握的最基本的东西，就是几幅图还不错。如果你有时间，我更愿意让你帮忙写一本新员工培训的教材。”

第二个人是网上认识的一名技术发烧友，有一定的基础——“挺好的，自己充实了一些新东西——虽然不多，如果多些故事我会更喜欢。”

第三个人是一名刚入学的文科学生，我们在时政话题上聊得不错——“大部分内容都能看懂，但都不深入，有些地方点到了又不展开。基础篇当科普读了收获不少，但实践篇有些内容知道怎么做但要几章的内容串起来才知道为什么。”

这三名“预”读者的感受体现了本书在编写时的考量：

(1) 立足于基础，行文尽量简练。深入浅出是一种境界，需要修为，不敢妄自僭越，因此，本书力图浅入，以平实的语言尽可能简单地表达问题，同时对设计思想与方法进行详细阐述。

(2) 基础篇着重嵌入式技术整体情况的把握，扩宽知识面，凝练知识点，梳理体系脉络，让读者可以将其作为学习实践的“指南针”，在遇到问题时，可以此为线索，知道如何去学习或者查阅何种资料，而非取代这些专业书籍——事实上，嵌入式技术涉及的内容是如此博大，基础篇中的任一章节涉及的内容都可以找到对应的工具书——不是一本，而是很多本。

(3) 实践篇针对具体实例结合初学者可能遇到的问题进行了精心编排和讲解，其中有许多地方融入了作者的工程经验和亲身体会。在实例中，有意识地引导读者进行思考，注重思维模式的养成，同时又在一些关键问题上给读者留有自己思考的空间。

需要说明的是，实践篇中以一个具体的嵌入式微控制器评估板为基础进行了展开——嵌入式技术是工程性很强的实践活动，完全抽象的通用知识是“柏拉图”式的，是不具实践意义的。正如文中所述，通过对主流产品里选取的具体型号进行分析、实践，就能举一反三、触类旁通，从而根据实际需要很快地迁移到工程实践中新的目标平台。

本书是一本嵌入式微控制器实验与实践的入门书籍。如果读者刚拿起这本书，在决定购买之前请仔细阅读本前言，并对全书进行概览，以决适合——并非所有人都能接受本书的风格，视读者的个性和禀赋而异。

本书成书过程最早可以追溯到多年前的嵌入式微控制器实验讲义，这份讲义同时也作为北京航空航天大学电子信息工程学院本科生课外科技实践活动的快速入门教材，在多年的电子竞技中为学生优异成绩的取得奠定了基础，作者因此两度获得北京市教委颁发的北京市电子竞技优秀指导教师。2010 年作为富士通半导体（上海）有限公司大学计划的一部

分对讲义进行了重新修订和版本更新。2011 年通过选修课的形式对讲义内容进行了教学实践，并收集反馈信息对讲义内容进行了增删和修改。2012 年结合卓越工程师培养计划对内容进行删减和结构调整后集结成书。

本书的另一位作者张有光教授，长期致力于本科教学，在教学方法、创业素质和创新能力的培养、创业管理方面进行了大量卓有成效的探索与实践，并将相关成果应用到本书中。

本书的第三位作者刘晚春完成了本书的代码编写、调试和例程整理工作。

本书出版得到了家人、友人及企业界与平面媒体诸多专业人士的帮助，感激之情发诸笔端，铭记于心。

同时，衷心希望能够欣赏该书、鄙视该书、唾弃该书的读者可以通过邮件联系作者，以使作者可以在期待与反馈中学习进步。

有关本书内容方面的问题可以联系 tdw@buaa.edu.cn

有关教学方法方面的问题可以联系 zhangyouguang@vip.sina.com

有关本书代码、例程方面的问题可以联系 lwc@buaa.edu.cn

同时，本书中代码例程可以登录电子工业出版社华信教育资源网站 <http://www.hxedu.com.cn> 免费注册下载。

谭大为
2012 年 8 月

目 录

基 础 篇

第 1 章 ARM 微控制器的那些事儿	3
1.1 嵌入式微控制器简介	4
1.1.1 什么是嵌入式	4
1.1.2 嵌入式系统的定义	5
1.1.3 嵌入式系统的分类	5
1.1.4 嵌入式微控制器的基本组成	10
1.1.5 嵌入式微控制器与嵌入式处理器的区别	17
1.1.6 嵌入式微控制器的发展趋势	19
1.2 嵌入式初学者杂谈	20
1.2.1 学习 FPGA, DSP, 还是 ARM?	21
1.2.2 SoC, SoPC——最后的终结者?	24
1.2.3 PSoC——创新? 另类?	25
1.2.4 嵌入式微控制器 = MCU=单片机?	26
1.2.5 高速? 低速?	26
1.3 ARM 公司和 ARM 概况	26
1.3.1 不卖芯片的半导体公司——ARM	26
1.3.2 ARM——Advance RISC Machine	28
1.3.3 ARM 产品系列	29
1.4 ARM 体系结构	30
1.4.1 ARM 体系结构发展概况	30
1.4.2 Cortex™ 系列	31
1.5 Cortex-M3 相关特性	35
1.5.1 低功耗和高性能	35
1.5.2 完善的功能	36
1.5.3 丰富的连接	37
1.5.4 兼容性	38
1.6 从 Cortex-M3 走向整个 ARM 世界	38
第 2 章 嵌入式微控制器项目流程化概述	40
2.1 什么是项目	41
2.2 为什么要进行项目流程化	41
2.3 嵌入式微控制器项目流程化的五个步骤	42
2.3.1 任务分析	42

2.3.2	控制器选型	44
2.3.3	软/硬件设计	51
2.3.4	程序调试	53
2.3.5	代码固化	56
2.4	常用集成开发环境简介	56
第 3 章	嵌入式硬件电路设计基础	59
3.1	嵌入式系统电路设计的基本步骤	60
3.2	系统硬件规划	60
3.3	市场调研	61
3.4	原理图设计	62
3.4.1	原理图的基本概念	62
3.4.2	原理图设计流程	64
3.5	网络表生成	69
3.6	PCB	69
3.6.1	PCB 基本概念	70
3.6.2	PCB 设计流程	73
3.6.3	光绘文件检查	80
3.7	电路板装配	81
3.8	电路硬件测试	82
3.8.1	不加电静态测试	82
3.8.2	加电功能测试	83
3.9	常用电路硬件设计工具	84
3.9.1	Cadence 公司的 OrCAD 软件	84
3.9.2	Mentor Graphics 公司的 PADS 软件	85
3.9.3	Altium 公司的 Protel-DXP-Designer 软件	86
3.9.4	Interactive Image Technologies 公司的 Ultiboard 软件	87
第 4 章	电源与传感器简介	89
4.1	电源设计技术	90
4.1.1	开关电源	90
4.1.2	线性电源	91
4.1.3	系统电源结构规划	92
4.1.4	电源管理技术	93
4.2	常用传感器及其接口	94
4.2.1	温度传感器	95
4.2.2	湿度传感器	97
4.2.3	红外传感器	98
4.2.4	光敏传感器	99
4.2.5	压力传感器	100
4.2.6	霍尔传感器	100

4.2.7 加速度传感器	101
4.2.8 数字罗盘	102
4.2.9 陀螺仪	103

实 践 篇

第 5 章 从零开始——LED 点灯程序	107
5.1 富士通 32 位嵌入式微控制器概况	108
5.1.1 基于 ARM Cortex-M3 内核的 FM3 家族	108
5.1.2 32 位嵌入式微控制器 MB9BF506N/R 的基本组成	109
5.2 MB9BF506N/R 的开发流程	110
5.2.1 硬件准备——开发平台选择	110
5.2.2 软件准备——构建开发环境	114
5.3 微控制器基本编程语句示例	121
5.3.1 硬件状态设置	121
5.3.2 软件开发环境简介	123
5.3.3 点灯程序示例	124
第 6 章 让微控制器感知世界——外部中断	135
6.1 让我们和微控制器对话	136
6.1.1 中断的定义	136
6.1.2 外部中断	137
6.2 基本外部中断示例	137
6.3 MCU 的中断结构	146
6.3.1 80C51 微控制器中断结构	147
6.3.2 MB9BF506 的中断结构	147
第 7 章 用定时器做个小闹钟	149
7.1 时间在流逝——认识定时器	150
7.2 让微控制器做个守时的“好孩子”	152
7.2.1 MCU 时钟结构	152
7.2.2 定时器中断代码示例	155
第 8 章 让系统更具表现力——LCD	181
8.1 LCD 基本程序	182
8.2 LCD 基本结构介绍	196
8.2.1 显示特性	197
8.2.2 接口信息	197
8.2.3 LCD 点阵	199
8.2.4 LCD 时序	199
8.2.5 LCD 命令	201
8.3 LCD 驱动分析	202
8.3.1 驱动头文件	202

8.3.2 驱动实现 C 文件	210
8.4 LCD 简单示例（电子表）	220
第 9 章 综合实例——世界因此而精彩	222
9.1 Windows 开机界面效果实现	223
9.1.1 准备底图	223
9.1.2 文件转换	223
9.1.3 进度条设计	228
9.1.4 代码实现	229
9.2 坦克射击游戏	232
9.2.1 开机画面	232
9.2.2 游戏规则设计	233
9.2.3 游戏程序实现	233
附录 A buaa_logo.h	243
附录 B led.h	251
附录 C led.c	256
附录 D font.h	267



基础篇

万丈高楼平地起

用坚实之基础

承载事业与梦想

第 1 章

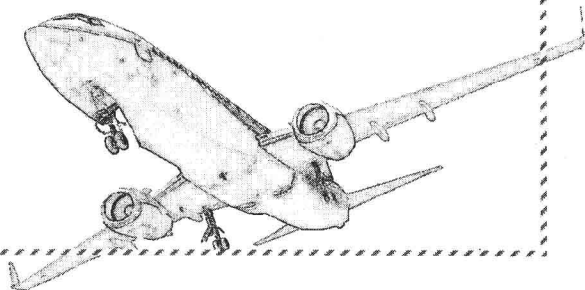
ARM 微控制器的那些事儿

本章内容提要

本章主要介绍基于 ARM 的微控制器相关内容，初学者可以将其作为科普内容阅读，其中有些耳熟能详的知识点，亦尽量以简要的语言进行阐述，以构成完整的知识体系。

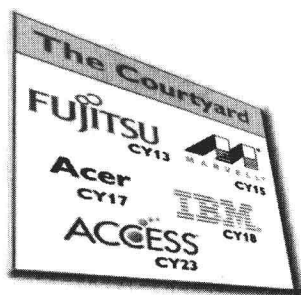
在本章中，主要涉及如下内容：

- ❖ 嵌入式微控制器简介
- ❖ 嵌入式微控制器的基本组成
- ❖ 嵌入式初学者杂谈
- ❖ ARM 公司概况及商业模式
- ❖ ARM 的体系结构
- ❖ ARM Cortex-M3 架构及其特点



本章力图以简要的方式让读者可以从“高空”俯瞰 ARM 世界，读者可以以轻松的心情阅读本章，一些知识点，尤其是涉及的一些名词与概念，做一般性了解即可。

当然，一些天生行动派的读者也可以越过此章，直接进入第 5 章的从零开始——LED 点灯程序。亲爱的读者，让我们一起飞翔在 IT 的天空，准备一睹万众瞩目的 ARM 之风采。



1.1 嵌入式微控制器简介

名不正则言不顺，言不顺则事不成。

本节将就嵌入式系统的概念、嵌入式微控制器的基本组成、嵌入式微控制器的发展趋势等方面进行阐述。本节中的一些基本概念、名词及英文缩写请尽量记忆，这有助于理解本书后续内容，也有助于阅读其他相关资料。

1.1.1 什么是嵌入式

美国著名计算机科学和心理学教授赫伯特·A·西蒙在《关于人为事物的科学》中指出：

“我们每天生活着的世界，与其说是自然的世界，还不如说是人造的或人为的世界。在我们周围，几乎每样东西都有人工技能的痕迹”。

人工技能最突出的表现就是嵌入式，或者说是嵌入式系统。嵌入式系统已经深入到我们生活的各个领域，如图 1-1 所示。



图 1-1 身边的嵌入式应用（举例）

从智能冰箱、洗衣机、空调、消毒柜、机顶盒，到汽车上的多媒体影音播放系统、自动控制系统；从道路上的红绿灯控制、电子警察、自动贩卖机，到银行的 ATM 机、排队系统；从军事上使用的导弹制导、自动侦测，到航天飞机、宇宙飞船……这些应用

中，尽管由于空间、内容、形态上的需求而不同，但是，在工业领域有一个共同的名字——嵌入式系统。

过去、现在乃至可预期的将来，嵌入式系统的应用远远超过各种通用计算机。一台通用计算机的外部设备中包含了 5~10 个甚至更多的嵌入式微处理器——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、数字相机、USB 集线器等都有嵌入式微处理器（控制器）的身影。

此外，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、消费类产品等均是嵌入式计算机的应用领域。

1.1.2 嵌入式系统的定义

英国电机工程师学会（IEE）对嵌入式系统的定义为：

“嵌入式系统为控制、监视或辅助设备、机器或甚至工厂操作的装置”

IEEE（国际电气和电子工程师协会）对嵌入式系统的定义为：

“用于控制、监视或者辅助操作机器和设备的装置”

（Devices Used to Control, Monitor or Assist the Operation of Equipment, Machinery or Plants）

在国内，一般较为流行的说法是：

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。

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术、电子技术和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。

本书中并非将嵌入式系统作为科学来严谨研究，而是着眼于工程实践。因此，这里采用嵌入式系统的广义定义：嵌入式系统是一个非计算机的计算系统。

计算机系统是通用计算系统，而嵌入式系统是专用计算（包含控制）系统。

1.1.3 嵌入式系统的分类

根据嵌入式系统的广义定义，任何一个非计算机的计算系统都可以被称为嵌入式系统。嵌入式系统包罗万象，在这里仅给出几种典型的分类方法，这些分类方法是从不同的角度进行的粗分类，以帮助读者增加对嵌入式系统的一般认识。事实上，在这些分类方法中，随着技术的发展，不同的种类不断交叉渗透，其分类界限也就变得日益模糊。

1. 根据核心部件分类

嵌入式系统根据系统中的核心部件分类，如表 1-1 所示。

表 1-1 按核心部件分类的嵌入式系统

核 心 部 件	基 本 描 述
MPU	嵌入式微处理器（Micro Processor Unit, MPU）是由通用计算机中的 CPU 演变而来的。MPU 的特征是具有 32 位以上的处理器，具有较高的性能。与计算机处理器不同的是，在实际嵌入式应用中，只保留与嵌入式应用紧密相关的功能硬件，去除其他的冗余功能部分，这样就可以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。 与工业控制计算机相比，嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点
MCU	MCU（Micro Control Unit），即微控制单元，又称为单片微型计算机（Single Chip Microcomputer）或者单片机。 MCU 是随着大规模集成电路的出现及其发展，将计算机的 CPU、RAM、ROM、定时计数器和多种 I/O 接口集成在一片芯片上，形成芯片级计算机，为不同的应用场合提供不同的组合控制
FPGA	FPGA（Field Programmable Gate Array），即现场可编程门阵列，是在 PAL、GAL、CPLD 等可编程器件的基础上进一步发展的产物。FPGA 是作为专用集成电路（ASIC）领域中的一种半定制电路而出现的，既解决了定制电路的不足，又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点
DSP	DSP（Digital Signal Processor）是一种独特的微处理器，是以数字信号来处理大量信息的器件。其工作原理是接收模拟信号，然后转换为 0 或 1 的数字信号，再对数字信号进行各种处理，并在其他系统芯片中把数字数据输出为模拟数据或直接作为数字信号输出。 DSP 不仅具有可编程性，而且其实时运行速度可达每秒数以千万条复杂指令程序，远远超过通用微处理器，是数字化电子世界中日益重要的数字芯片

上述四种核心部件，各有其特点，并由此应用于不同领域。随着半导体技术的发展和实际应用需求，尤其是在成本、体积、功耗等方面要求日益提高的情况下，一些厂家在同一硅片（芯片）上集成上述其中一个种类中的多个实例，形成所谓的多核芯片，或者在同一硅片（芯片）上集成上述两种或两种以上的核心部件，同时增加其他外设，形成所谓的 SoC（System on Chip，片上系统）或者 SoPC（System-on-a-Programmable-Chip，片上可编程系统）。

SoC 和 SoPC 的出现，是集成电路发展到一个新阶段的标志，本章后续内容将对其进行进一步的描述和讨论。

2. 根据处理器的数据总线宽度分类

数据总线负责计算机系统中数据在各组成部分之间的传送。数据总线宽度是指在芯片内部数据传送的宽度，它决定了 CPU 内存（包括缓存）以及输入/输出设备之间一次数据传输的信息量。按数据总线宽度分类的嵌入式系统如表 1-2 所示。

表 1-2 按数据总线宽度分类的嵌入式系统

数据总线宽度	应用情况
4 位	早期 MCU，目前在中、低端产品依然有应用
8 位	目前广泛应用的一类处理器，主要应用在 MCU 领域，著名的有 89C51 系列
16 位	8 位到 32 位的过渡产品，目前主要应用在 MCU 领域，中国台湾的凌阳 61 单片机就是 16 位的
32 位	目前主流的嵌入式微处理器都是 32 位的。通用计算机也大量采用 32 位处理器，或者 64 位处理器工作在 32 位模式
64 位	目前新推出的通用处理器一般都是 64 位的，部分高端嵌入式处理器目前总线位宽也达到了 64 位

在 32 位，甚至是 64 位微处理器大行其道的时候，一些 4 位 MCU 依然活跃在日常生活中我们经常接触但并不一定熟悉的领域。比如吉列的 Fusion ProGlide 剃须刀——一款集成了 4 位处理器的产品。此外，在计算器、车用仪表、车用防盗装置、呼叫器、无线电话、儿童玩具、磅秤、充电器、胎压计、温/湿度计、遥控器及傻瓜相机等领域，4 位处理器依然有着广泛的应用。

一些厂家，包括东芝、三星、华邦等，依然保留着 4 位处理器的产品线。4 位处理器的存在是市场作用的结果（海量的低端产品对于产品所使用的器件价格是敏感的），同时也是社会对于科技影响的一种体现。

设想一下，如果一款产品（如剃须刀等日用品）年销量过千万，则 0.1 元对其造成的成本影响相应就是 1 000 000 元以上。

此外，FPGA 是一类特殊的处理器。它不存在数据总线宽度的概念，只要内部资源或者引脚数量允许，FPGA 可以达到非常宽的总线宽度，可以是 8 位、12 位、32 位、64 位，可以是 65 位、66 位……1000 位，甚至更多。这也是 FPGA 并行处理优势的一种体现。

3. 根据应用场合分类

正如前文所述，嵌入式系统的应用远远超过各种通用计算机，在制造业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、消费类产品等方面均是嵌入式计算机的应用领域。

表 1-3 所示给出了嵌入式系统按照应用领域的大致分类。需要指出的是，由于嵌入式系统应用涉及的领域非常多，不可能详细列举，表 1-3 所示的分类较为粗略。例如，汽车电子中用到的嵌入式系统如图 1-2 所示。