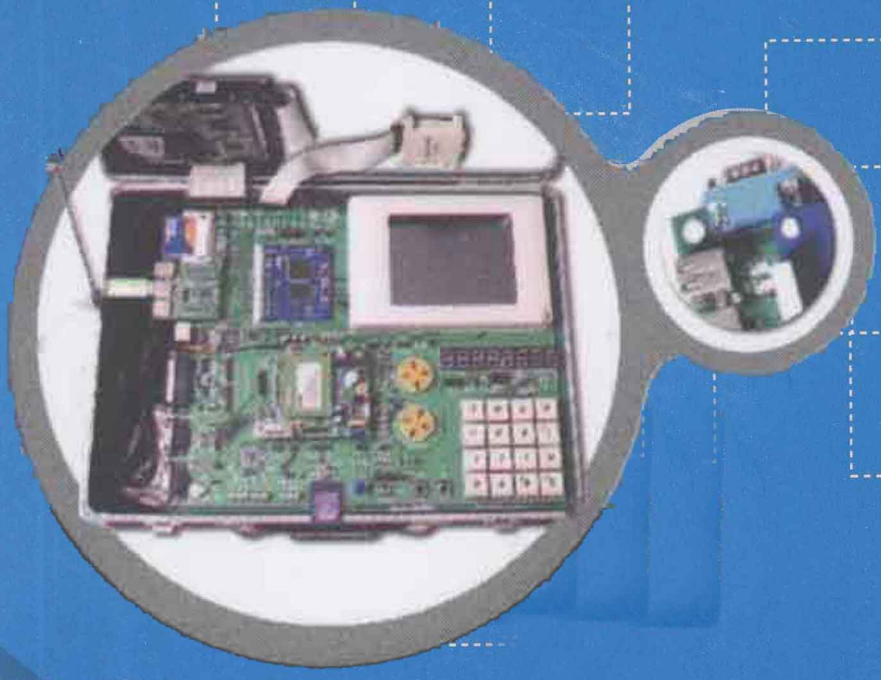
ARM

嵌入式系统开发与编程

孟庆洪　侯宝稳 ◎ 编著



◆ 知晓理论　掌握方法　应用实践
◆ 典型实例　重点突出　实用性强
◆ 选材恰当　深入浅出　可读性强

清华大学出版社

ARM 嵌入式系统开发与编程

孟庆洪　侯宝稳　编　著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书以实际的嵌入式系统产品开发为主线，力求透彻讲解开发中所涉及的庞大而复杂的相关知识。其中第1～8章为基础篇，介绍了嵌入式系统的基础知识和开发过程中需要的一些理论知识，具体包括嵌入式系统简介、建立嵌入式开发环境、搭建嵌入式硬件开发平台、嵌入式ARM处理简介以及嵌入式系统交叉编译等内容。第9～14章为实践篇，介绍了具体的嵌入式系统开发实例，分别为Flash ROM存储器开发、定时器中断实例开发、μC/OS-Ⅱ移植与应用实例开发、μClinux移植实例开发、μClinux下网络通信实例开发和图形用户界面实例开发等。

本书不仅详细讲解基础理论知识，还提供了大量的开发案例以供读者参考，学习性和实用性强。可供从事嵌入式系统设计、开发的广大科技人员阅读，也可以作为大专院校电子控制专业及其他相关专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ARM嵌入式系统开发与编程/孟庆洪，侯宝稳编著. —北京：清华大学出版社，2011.4
ISBN 978-7-302-22339-9

Ⅰ. ①A…　Ⅱ. ①孟… ②侯…　Ⅲ. ①微处理器—系统设计　Ⅳ. ①TP332

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第058867号

责任编辑：邹　杰　桑任松
装帧设计：杨玉兰
责任校对：周剑云
责任印制：杨　艳
出版发行：清华大学出版社　　**地　　址**：北京清华大学学研大厦A座
http://www.tup.com.cn　　**邮　　编**：100084
社　总　机：010-62770175　　**邮　购**：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质　量　反　馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 刷 者：北京密云胶印厂
装 订 者：北京市密云县京文制本装订厂
经　　销：全国新华书店
开　　本：190×260　**印　张**：22.5　**字　数**：541千字
版　　次：2011年4月第1版　　**印　　次**：2011年4月第1次印刷
印　　数：1～4000
定　　价：40.00元

产品编号：034393-01

前　言

嵌入式系统在工业生产控制、智能仪表、信息家电、网络通信等领域中都有着广泛的应用。例如，多媒体手机、数字个人助理 PDA、数字导航仪、MP3/MP4、网络路由器等都是嵌入式系统的一种，随着数字多媒体时代的来临，嵌入式系统将会有更加广阔的发展前景。基于嵌入式系统应用的嵌入式处理器也因此取得了飞速的发展，在众多的嵌入式处理器中，尤以 ARM 处理器的市场占有量最大。ARM 处理器经历了近 10 年的发展，从早期的 ARM7 发展到现在的 ARM11，已经形成了一系列的产品线。也正因为如此，已经有越来越多的开发人员逐渐从单片机系统开发向基于 ARM 处理器的嵌入式系统开发过渡。

本书以实际的嵌入式系统产品开发为主线，力求清晰、透彻地讲解开发中所涉及的庞大而复杂的相关知识。本书首先介绍嵌入式系统的基础知识和开发过程中需要的一些理论知识，以及开发环境的建立过程；然后系统地对嵌入式开发中软/硬件平台的建立进行讲解与分析，从而使读者对嵌入式系统的构成有深入理解；接下来由浅入深地讲解嵌入式系统开发中的难点和重点，介绍了软件开发中各个模块的驱动程序开发和应用程序开发；最后结合实际案例讲述系统的图形界面设计和系统开发相关事项。

本书分为两篇：第 1～8 章为基础篇，第 9～14 章为实践篇。

基础篇从易到难、由浅入深地介绍了嵌入式系统开发中的难点和重点，包括嵌入式系统简介、建立嵌入式开发环境、搭建嵌入式硬件开发平台、嵌入式 ARM 处理简介以及嵌入式系统交叉编译等内容。

实践篇介绍了常见模块的驱动程序开发和应用程序开发，分别为 Flash ROM 存储器开发、定时器中断实例开发、μC/OS-Ⅱ移植与应用实例开发、μClinux 移植实例开发(注：μClinux 通常可写成 uClinux，与其官方网站的正文一致，正文中按此统一)、μClinux 下网络通信实例开发和图形用户界面实例开发等六部分内容。本书介绍的实例涉及了一些非常实用的开发技术，例如，嵌入式系统的设计流程和设计方法，依次从需求分析、规格说明、体系结构设计、硬件构建和软件设计等都做了详细的介绍，同时也介绍了 Linux 系统中 shell 命令的使用。这些技术都具有很强的实用性，通过学习本书可以使读者开发出的应用程序具有更加强大的功能。

本书主要由孟庆洪、侯宝稳编写，参编的人员还有史永利、刘盼盼、张梅、张瑞坤、赵博、李奕、封素洁、李峰、吴宝江、何建新、任芳芳、封超、王跃、陈运来、张伟、孙永全、王莹莹、柳军旺等，在此一并向他们表示感谢。另外，在本书的编写过程中，我们参考了一些图书及网络资料，在此对这些资料的编著者表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编　者

目　录

基　础　篇

实 践 篇

基 础 篇

第 1 章 嵌入式系统概述

嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，软硬件可裁剪(这是指嵌入式系统的大小和规格会随着具体应用需求而改变)，适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。

1.1 嵌入式系统简介

本节主要介绍嵌入式系统的定义、嵌入式系统的主要特点和组成嵌入式系统的各个部分，使读者对嵌入式系统具有较为深刻的认识，同时还简要地介绍嵌入式系统的开发过程和开发环境。

1.1.1 嵌入式系统的定义

近年来，随着以计算机技术、通信技术为主的信息技术的快速发展和 Internet 的广泛应用，嵌入式系统得到了越来越广泛的发展。

嵌入式系统是指用于执行独立功能的专用计算机系统。它包括微处理器、定时器、微控制器、存储器、传感器等一系列微电子芯片与器件，并与嵌入在存储器中的微型操作系统、控制应用软件，共同实现诸如实时控制、监视、管理、移动计算、数据处理等各种自动化处理任务。嵌入式系统以应用为中心，以微电子技术、控制技术、计算机技术和通信技术为基础，强调硬件和软件的协同性与整合性，并且软件与硬件可剪裁，可以满足系统对功能、成本、体积和功耗等方面的要求。

最简单的嵌入式系统仅有执行单一功能的控制能力，在唯一的只读存储器(Read Only Memory，ROM)中仅有实现单一功能的控制程序，无微型操作系统。复杂的嵌入式系统，例如，个人数字助理(Personal Digital Assistant，PDA)、手持电脑(Handheld Personal Computer，HPC)等，几乎具有与 PC 机一样的功能。实质上它们与 PC 机的区别仅仅是将微型操作系统与应用软件嵌入在 Flash(闪存)等存储器中，而不是存储于磁盘等载体中。很多复杂的嵌入式系统又是由若干个小型嵌入式系统组成的。

1.1.2 嵌入式系统的硬件/软件特征

嵌入式系统的硬件必须根据具体的应用任务，以功耗、成本、体积、可靠性和处理能力等

为指标来选择。嵌入式系统的核心是系统软件和应用软件，由于存储空间有限，因而要求软件代码紧凑、可靠，大多对实时性有严格要求。早期的嵌入式系统设计方法，通常采用“硬件优先”原则。即在只粗略估计软件任务需求的情况下，首先进行硬件设计与实现。然后，在此硬件平台之上，再进行软件设计。因而很难达到充分利用硬件/软件资源，取得最佳性能的效果。同时，一旦在测试时发现问题，需要对设计进行修改时，整个设计流程就要重新进行，对成本和设计周期的影响很大。这种传统的设计方法只能改善硬件/软件各自的性能，在有限的设计空间不可能对系统做出较好的性能综合优化，在很大程度上依赖于设计者的经验和反复实验。

20 世纪 90 年代以来随着电子系统功能的日益强大和微型化，系统设计所涉及的问题越来越多，难度也越来越大。同时硬件和软件也不再是截然分开的两个概念，而是紧密结合、相互影响的。因而出现了软硬件协同(codesign)设计方法，即使用统一的方法和工具对软件和硬件进行描述、综合和验证。在系统目标要求的指导下，通过综合分析系统软硬件功能及现有资源，协同设计软硬件体系结构，以最大限度地挖掘系统软硬件能力，避免由于独立设计软硬件体系结构而带来的种种弊病，得到高性能低代价的优化设计方案。

1.1.3 嵌入式操作系统

目前流行的嵌入式操作系统可以分为两类：①一类是将运行在个人电脑上的操作系统向下移植到嵌入式系统中，形成的嵌入式操作系统，如微软公司的 Windows CE 及其新版本，Sun 公司的 Java 操作系统，朗讯科技公司的 Inferno，嵌入式 Linux 等。这类系统经过个人电脑或高性能计算机等产品的长期运行考验，技术日趋成熟，其相关的标准和软件开发方式已被用户普遍接受，同时积累了丰富的开发工具和应用软件资源。②另一类是实时操作系统，如 WindRiver 公司的 VxWorks，ISI(Integrated Systems Incorporation，集成系统公司)的 pSOS，QNX 系统软件公司的 QNX，ATI(Accelerated Technology Incorporation)公司的 Nucleus，中国科学院凯思集团的 Hopen 嵌入式操作系统等，这类产品在操作系统的结构和实现上都针对所面向的应用领域，对实时性、高可靠性等进行了精巧的设计，而且提供了独立而完备的系统开发和测试工具，较多地应用在军用产品和工业控制等领域中。

Linux 是 20 世纪 90 年代以来逐渐成熟的一个开放源代码的操作系统。PC 机上的 Linux 版本在全球数以百万计爱好者的合力开发下，得到迅速发展。20 世纪 90 年代末，uClinux、RTLinux 等相继推出，在嵌入式领域受到广泛的关注，它们拥有大批的程序员和现成的应用程序，是我们研究开发工作的宝贵资源。

1.1.4 学习嵌入式系统的意义

从控制意义上说，嵌入式系统是涉及系统最底层的、芯片级的信息处理与控制。在某种意义上，对这些“微观”世界的了解与驾驭正是控制系统的真正目的。嵌入式系统与通常意义上的控制系统在设计思路和总体架构方面有许多不同之处，而这些不同之处恰恰是传统控制学科教学中较少教给学生的。在当今信息化社会中，嵌入式系统在人们的日常工作和生活中所占的份额，可能已超过传统意义的控制系统，这就是为什么有的学生感到学的知识没有用，而有用的知识又没有学的原因。在嵌入式系统及开发环境方面，目前仍有许多问题尚在研究发展之中，

例如：嵌入式系统的硬件/软件协同设计方法；面向多目标、多任务的微内核嵌入式操作系统；分布嵌入式系统的实时性问题，分布式计算、分布式信息交互与综合处理；以及嵌入式系统的多目标交叉编译和交叉调试工具的研究等。

“嵌入式系统”作为一门理论与实际密切结合的，知识与技术含量较高的综合性专业课程，必将随着信息产业的发展而逐渐成熟。

1.2　ARM 微处理器的结构

ARM 的设计实现了小体积但高性能的结构，而 ARM 处理器结构的简单使 ARM 的内核非常小，器件的功耗也就随之降低。本节主要介绍了 ARM 微处理器的 RISC 的体系结构、寄存器结构以及指令结构。

1.2.1　RISC 体系结构

传统的计算机采用 CISC(Complex Instrction Set Computer，复杂指令集计算机)结构。随着大规模集成电路技术的发展，计算机的硬件成本不断下降，软件成本不断提高，使得指令系统增加了更多更复杂的指令，以提高操作系统的效率。另外，同一系列的新型机为了达到程序兼容，对其指令系统只能扩充而不能减去旧型机的任意一条。这样一来，指令系统越来越复杂，有的计算机指令甚至达到数百条。根据“二八”原理，CISC 指令集中大约只有不到 20%的指令会在整个 80%的程序代码中反复使用，而其余的 80%的指令只会出现在剩下的 20%的代码中。日益庞大的指令系统不仅使计算机研制周期加长，而且难以调试、难以维护。RISC 的概念就是在这样的背景下产生的。

RISC(Reduced Instrction Set Computer，精简指令集计算机)的概念是美国加州大学伯克利分校于 1979 年提出的，其基本思想是尽量简化计算机指令功能，只保留那些功能简单、能在一个节拍内执行完成的指令，而把较复杂的功能用一段子程序来实现。RISC 并非只是简单地去减少指令，而是把着眼点放在了如何使计算机的结构更加简单合理地提高运算速度上。RISC 计算机优先选取使用频率最高的简单指令，避免复杂指令；将指令长度固定，指令格式和寻址方式种类减少；在指令译码上以硬布线控制逻辑为主，不用或少用微码控制等措施来达到上述目的。

到目前为止，RISC 体系结构还没有严格的定义，但是 RISC 体系结构应具有如下特点：

- 采用统一和固定长度的指令域，基本寻址方式有 2～3 种；
- 使用单周期指令，便于流水线操作执行；
- 大量使用寄存器，数据处理指令只对寄存器进行操作，只有加载/存储指令可以访问存储器，以提高指令的执行效率。

ARM 体系结构除了具备上述典型的 RISC 结构特性以外，还采用了一些特别的技术，以保证高性能的前提下尽量缩小芯片的面积，并降低功耗：

- 所有的指令都支持条件执行，即可根据前面的执行结果决定是否被执行，从而提高指令的执行效率；

- 可用加载/存储指令批量传输数据，以提高数据的传输效率；
- 可在一条数据处理指令中同时完成逻辑处理和移位处理；
- 在循环处理中使用地址的自动增减来提高运行效率；
- 支持 Thumb(16 位)/ARM(32 位)双指令集，能很好地兼容 8 位/16 位器件。

以 RISC 处理器构成的 ARM 微处理器体系按如下方向进展：

- 全 64 位实现；
- 高速指令流水线；
- 支持多媒体和数字信号处理器 DSP 的新指令；
- 很高的处理器内部时钟速率，200MHz 或更高；
- 超标量的实现，一般是 4 路或 6 路指令流水；
- 功能极强浮点单元；
- 大容量的片内 Cache(高速缓冲存储器，通常简称为缓存)的容量为 16～64KB，甚至更大。

目前，RISC 和 CISC 各有优势，但是界限并不那么泾渭分明。也不能由上述的 RISC 架构的优点就简单地认为 RISC 架构就可以取代 CISC 架构，现代的 CPU 往往采用 CISC 的外围，内部运算加入了 RISC 的特性。另外，超长指令集 CPU 由于融合了 RISC 和 CISC 的优势，成为未来的 CPU 发展方向之一。显然，RISC 和 CISC 会在长时间的竞争中相辅相成，相互融合。

1.2.2 ARM 微处理器的寄存器结构

ARM 处理器共有 37 个寄存器，被分为若干个组(Bank)，这些寄存器包括：

- 31 个通用寄存器，包括程序计数器(PC 指针)，均为 32 位的寄存器。
- 6 个状态寄存器，用以标识 CPU 的工作状态及程序的运行状态，均为 32 位。

同时，ARM 处理器又有 7 种不同的处理器模式，在每一种处理器模式下均有一组相应的寄存器与之对应。即在任意一种处理器模式下，可访问的寄存器包括 15 个通用寄存器(R0～R14)、1～2 个状态寄存器(CPSR、SPSR)和程序计数器(R15)。在所有的寄存器中，有些是在 7 种处理器模式下共用的同一个物理寄存器，而有些寄存器则是在不同的处理器模式下有不同的物理寄存器。

关于 ARM 处理器的寄存器结构，在后面的相关章节将会详细描述。

1.2.3 ARM 微处理器的指令结构

ARM 微处理器在一种体系结构中支持两种指令集：ARM 指令集和 Thumb 指令集。其中，ARM 指令为 32 位的长度，Thumb 指令为 16 位长度。当时诺基亚认为 32 位 CPU 要求的存储 ARM 指令代码量太大，系统设计方面不能忍受。ARM 公司根据这个需求开发了 Thumb 技术：32 位的 CPU 内核配合 16 位的指令集技术。Thumb 指令集为 ARM 指令集的功能子集，但与等价的 ARM 代码相比较，可节省 30%～40%以上的存储空间，同时具备 32 位代码的所有优点。

Thumb 指令与 ARM 指令的时间效率和空间效率关系如下：

- Thumb 指令代码所占用的存储空间约为 ARM 代码的 60%～70%；
- Thumb 指令代码所用的指令数比 ARM 指令集中的代码量多 30%～40%；
- 使用 32 位的存储器时，ARM 指令执行速度比 Thumb 指令执行速度快大约 40%；
- 使用 16 位的存储器时，Thumb 指令执行速度比 ARM 指令执行速度快大约 45%；
- 存储器使用 Thumb 指令集比使用 ARM 指令集的功耗降低大约 30%。

关于 ARM 处理器的指令结构，在后面的相关章节将会详细描述。

1.3　ARM 微处理器系列

经过十几年的发展，ARM 微处理器目前包括下面几个系列：ARM7 系列，ARM9 系列，ARM9E 系列，ARM10E 系列，SecurCore 系列，Intel 的 Xscale 系列，Intel 的 StrongARM 系列。

这些处理器中最高主频达到了 800MIPS，功耗数量级为 mW/MHz。其中，ARM7、ARM9、ARM9E 和 ARM10E 为 4 个通用处理器系列，每一个系列提供一套相对独特的性能来满足不同应用领域的需求。SecurCore 系列专门为安全要求较高的应用而设计。各个厂商基于 ARM 体系结构的处理器，除了具有 ARM 体系结构的共同特点以外，每一个系列的 ARM 微处理器都有各自的特点和应用领域。

本节主要介绍各系列 ARM 微处理器的特点及应用领域。

1.3.1　ARM7 微处理器系列

ARM7 系列微处理器是低功耗的 32 位 RISC 处理器，适用于对成本和功耗要求较严格的消费类或手持设备应用。它包括如下几种类型的核：ARM7TDMI、ARM7TDMI-S、ARM720T、ARM7EJ(其中 TDMI 的含义为：①T 表示支持 16 位压缩指令集 Thumb；②表示支持片上调试(Debug)；③M 表示内嵌硬件乘法器(Multiplier)；④I 表示嵌入式 ICE，支持片上断点和调试点)。

ARM7 微处理器系列具有如下特点：

- 成熟的大批量的 32 位 RISC 芯片；
- 具有嵌入式 ICE(in-circuit-emulator)逻辑，调试开发方便；
- 极低的功耗，适合对功耗要求较高的应用；
- 能够提供 0.9MIPS/MHz 的三级流水线结构；
- 代码密度高并兼容 16 位的 Thumb 指令集；
- 对操作系统的支持广泛，包括 Windows CE、Linux、Palm OS 等；
- 指令系统与 ARM9 系列、ARM9E 系列和 ARM10E 系列兼容，方便用户的产品升级换代；
- 主频最高可达 130MIPS，高速的运算处理能力能够支持复杂应用。

ARM7 系列微处理器的主要应用领域为：个人音频设备(MP3 播放器和 WMA 播放器)、工业控制、Internet 设备、网络和调制解调器设备、移动电话等多种多媒体和嵌入式应用。

1.3.2 ARM9 微处理器系列

ARM9 系列微处理器使用 ARM9TDMI 处理器核，其中包含了 16 位的 Thumb 指令集。该系列微处理器在高性能和低功耗特性方面有良好的表现。ARM9 系列微处理器包含 ARM920T、ARM922T 和 ARM940T 三种类型，以适应不同的市场需求。其主要特点如下：

- 5 级整数流水线，指令执行效率更高；
- 提供 1.1MIPS/MHz 的哈佛结构；
- 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集；
- 支持单一的 32 位的高速 AMBA 总线接口；
- 全性能的 MMU，支持 Windows CE、Linux、Palm OS 等多种主流嵌入式操作系统；
- MPU 支持实时操作系统；
- 数据缓存和指令缓存分开，具有更高的指令和数据处理能力；
- 提供 0.18μm、0.15μm 及 0.13μm 的生产工艺。

ARM9 系列微处理器主要应用于下一代无线设备(如视频电话和 PDA)、仪器仪表、安全系统、机顶盒、高端打印机、数字照相机和数字摄像机等。

1.3.3 ARM9E 微处理器系列

ARM9E 系列微处理器为可综合处理器，仅用单一的处理器内核就提供了微控制器、DSP、Java 应用系统的解决方案，极大地减少了芯片的面积和系统的复杂程度，降低了功耗，缩短了产品面世时间。ARM9E 系列微处理器提供了增强的 DSP 处理能力，很适合于那些需要同时使用快速的数字信号处理(DSP)和微控制器的应用场合。ARM9E 系列微处理器包含 ARM926EJ-S、ARM946E-S 和 ARM966E-S 三种类型，其中的 ARM926EJ-S 包含了 Jazzele 技术，可以通过硬件直接运行 Java 代码，提高系统运行 Java 代码的性能。

ARM9E 系列微处理器的主要特点如下：

- 包括了 DSP 指令集，适合于需要高速数字信号处理的场合。
- 5 级整数流水线，指令执行效率更高。
- 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集。
- 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口。
- 支持 VFP9 浮点处理协处理器。
- 全性能的 MMU，支持 Windows CE、Linux、Palm OS 等多种主流嵌入式操作系统。
- MPU 支持实时操作系统。
- 数据缓存和指令缓存分开，具有更高的指令和数据处理能力。
- 在典型的 0.13μm 的生产工艺下，主频最高可达 300MIPS。

ARM9 系列微处理器主要应用于下一代无线设备、数字消费品、成像设备、工业控制、存储设备和诸如VoIP、WirelessLAN等的网络设备等领域。

1.3.4　ARM10E 微处理器系列

ARM10E 系列微处理器具有高性能、低功耗的特点，它所采用的新的体系结构使得它与同等的 ARM9 器件相比较，在同样的时钟频率下，性能提高了近 50%，同时，ARM10E 系列微处理器采用了两种先进的节能方式，使其功耗极低。ARM10E 系列微处理器包含 ARM1020E、ARM1022E 和 ARM1026EJ-S 三种类型。其主要特点如下：

- 支持 DSP 指令集，适合于需要高速数字信号处理的场合。
- 6 级整数流水线，指令执行效率更高。
- 支持 32 位 ARM 指令集和 16 位 Thumb 指令集。
- 支持 32 位的高速 AMBA 总线接口。
- 支持 VFP10 浮点处理协处理器。
- 全性能的 MMU，支持 Windows CE、Linux、Palm OS 等多种主流嵌入式操作系统。
- 数据缓存和指令缓存分开，具有更高的指令和数据处理能力。
- 主频最高可达 400MIPS。
- 内嵌并行读/写(load/store)操作部件。

ARM10E 系列微处理器主要应用于下一代无线设备、数字消费品、成像设备、工业控制、汽车、通信和信息系统等领域。

1.3.5　SecurCore 微处理器系列

SecurCore 系列微处理器专为安全需要而设计，提供了完善的 32 位 RISC 技术的安全解决方案，因此，SecurCore 系列微处理器除了具有 ARM 体系结构的低功耗、高性能的特点外，还具有其独特的优势，即提供了对安全解决方案的支持。SecurCore 系列微处理器包含 SecurCore SC100、SecurCore SC110、SecurCore SC200 和 SecurCore SC210 四种类型。

SecurCore 微处理器系列除了具有 ARM 体系结构各种主要特点外，还在系统安全方面具有如下的特点：

- 带有灵活的保护单元，以确保操作系统和应用数据的安全。
- 采用软内核技术，防止外部对其进行扫描探测。
- 可集成用户自己的安全特性和其他协处理器。

SecurCore 系列微处理器主要应用于一些对安全性要求较高的应用产品及应用系统，如电子商务、电子政务、电子银行业务、网络和认证系统等领域。

1.3.6　StrongARM 微处理器

Intel StrongARM SA-1100 处理器是采用 ARM 体系结构高度集成的 32 位 RISC 微处理器。它融合了 Intel 公司的设计和处理技术以及 ARM 体系结构的电源效率，采用在软件上兼容 ARMv4 体系结构、同时采用具有 Intel 技术优点的体系结构。

Intel StrongARM 处理器是便携式通讯产品和消费类电子产品的理想选择，已成功应用于多家公司的掌上电脑系列产品。

1.3.7 Xscale 微处理器

Xscale 处理器是 Intel 公司目前主要推广的一款 ARM 处理器，它是基于 ARMv5TE 体系结构的解决方案，是一款全性能、高性价比、低功耗的处理器。它支持 16 位的 Thumb 指令和 DSP 指令集，已使用在数字移动电话、个人数字助理和网络产品等场合。

1.4 ARM 微处理器的应用选型

随着国内外嵌入式应用领域的逐步发展，ARM 微处理器获得越来越广泛的重视和应用。但是，如前所述，ARM 微处理器有着多达十几种的内核结构，芯片生产厂家也有 70 多家，并且由于 ARM 公司的 chipless 生产模式，将来获得授权的芯片生产厂家会越来越多，而每家芯片生产厂商对内核功能的配置组合又不尽相同，这些都给开发人员在选择方案时带来一定的困难。

以下从应用的角度出发，对在选择 ARM 微处理器时所应考虑的主要因素做一些说明，用户在实际项目中要从各方面均衡考虑。

1. ARM 微处理器内核

ARM 微处理器包含一系列的内核结构，以适应不同的应用领域。而每个内核对操作系统的支持程度是不一样的。有些简单的操作系统不需要硬件内核的 MMU(Memory Management Unit，存储器管理单元)支持，在这种情况下，ARM7 系列以上的微处理器都满足要求；但是，有些复杂的操作系统是需要硬件内核的 MMU 支持的，如果用户希望使用 WinCE 或标准 Linux 等操作系统，就需要选择 ARM720T 以上带有 MMU 功能的 ARM 芯片，如 ARM720T、ARM920T、ARM922T、ARM946T、Strong-ARM 等系列的芯片内核。需要注意的是：ARM7TDMI 是不带 MMU 的，所以不支持 Windows CE 和标准 Linux，但可以在 ARM7TDMI 内核的硬件平台之上运行 uCLinux。

另外有些 ARM 微处理器内核带 DSP 功能，如 TI(得州仪器)公司的 TMS320DSC2X 就带了自己公司的 C5000 的 DSP 内核。这就增强了内核的数学运算功能和多媒体处理功能，这些内核主要应用在高端数码相机、图像处理方面。

Altera(阿尔特拉)公司的 EPXA1 就是 ARM9+FPGA 的内核，用户选择这样的内核，可以方便系统的在线升级，如扩展系统的 I/O 端口、升级系统的算法等。

2. 系统的工作频率

正如我们在选择计算机的时候要关注 CPU 的主频一样，在选择 ARM 微处理器时，也必须看系统的工作频率。ARM7 系列微处理器的典型处理速度为 0.9MIPS/MHz，常见的 ARM7 芯片系统主时钟为 20～133MHz，ARM9 系列微处理器的典型处理速度为 1.1MIPS/MHz，常见的

ARM9 的系统主时钟频率为 100～233MHz，ARM10 最高可以达到 700MHz。比如在做流媒体播放器时，传统的单片机的系统工作频率远远达不到要求，根据系统的实时性选取合适的 ARM 处理器内核是一个很好的解决方案。

3. 芯片内存储器的容量

大多数的 ARM 微处理器片内存储器的容量都不太大，片内的 RAM 一般在几万字节以内，片内 Flash 也很少达到 1MB 的，这种情况下，用户必须在设计系统时根据需要外扩存储器，增加了系统设计的成本和难度。但也有部分芯片具有相对较大的片内存储空间，如 Atmel 的 AT91FR4081 芯片就具有高达 1MB 的片内 Flash 程序存储空间以及 128KB 的片内 SRAM 存储空间，用户在设计时可考虑选用这种类型的处理器，不用外接存储来简化系统的设计和减少设计成本。

4. 片内外围电路的选择

除 ARM 微处理器核以外，几乎所有的 ARM 芯片均根据各自不同的应用领域，扩展了相关功能模块，并集成在芯片之中，设计者应分析系统的需求，尽可能采用片内外围电路完成所需的功能，因为这样可以简化系统的设计，同时还能提高系统的可靠性。如果用户设计音频应用产品，IIS(Integrate Interface of Sound，集成音频接口)接口是必需的；如果要用到实时显示，那么实时时钟 RTC (Real Time Clock)也是必需的，但各个厂家的 RTC 也不尽相同，如 Cirrus Logic 公司的 EP7312 的 RTC 只是一个 32 位计数器，需要通过软件计算出年月日时分秒，而 SAA7750 和 S3C2410 等芯片的 RTC 直接提供年月日时分秒；另外 Ethernet(网络)接口和 USB Slave、USB Host 接口、LCD 控制器、键盘接口、ADC 和 DAC 等功能模块也是用户在实际应用中需要的。

5. GPIO 数量

在某些芯片供应商提供的说明书中，注明的往往是最大可能的 GPIO 数量，但是有许多引脚是和地址线、数据线、串口线等引脚复用的。这样在系统设计时需要计算实际可以使用的 GPIO 数量。尤其是在设计控制系统时，用户要根据系统的输入输出点数来选取控制器的 GPIO 数量。

6. 外部中断控制

在某些特殊的应用中，为了节省 CPU 的时间，要用到外部中断，这时候在选取 ARM 处理器的时候就必须看芯片支持的外部中断的数量以及触发中断条件，合理的外部中断设计可以很大程度的减少任务调度的工作量。例如 Philips 公司的 SAA7750，所有 GPIO 都可以设置成外部中断，并且可以选择上升沿、下降沿、高电平、低电平四种中断方式。而有些公司的 ARM 芯片，不仅支持的外部中断的数量少，而且只能电平中断，不能在电平的跳变沿产生中断。