10年口碑积累，成功培养50000多名研发工程师，铸就专业品牌形象
华清远见的企业理念是不仅要做良心教育、做专业教育，更要做受人尊敬的职业教育。

《ARM 嵌入式 C 编程标准教程》

作者：华清远见

专业始于专注 卓识源于远见

第 1 章 ARM 技术简介

本章目标

ARM 处理器是一种低功耗高性能的 32 位 RISC（精简指令系统）处理器。本章从结构入手对其进行分析，并针对目前流行的 ARM920T 核详细描述其硬件结构和编程。

专业始于专注 卓识源于远见

ARM 处理器共有 31 个 32 位寄存器，其中 16 个可以在任何模式下看到。它的指令为简单的加载与存储指令（从内存加载某个值，执行完操作后再将其放回内存）。ARM 一个有趣的特点是它所有的指令都带有条件。例如，用户可以测试某个寄存器的值，但是直到下次使用同一条件进行测试时，才能有条件地执行这些指令。另一个特征是可以在加载数值的同时进行算术和移位操作。它可以在几种模式下操作，包括通过使用 SWI（软件中断）指令从用户模式进入系统模式。

ARM 处理器是一个综合体，ARM 公司自身并不制造微处理器。它们是由 ARM 的合作伙伴（Intel 或 LSI）制造。ARM 还允许将其处理器通过协处理器接口进行紧耦合。它还包括几种内存管理单元的变种，包括简单的内存保护到复杂的页面层次。

ARM 微处理器系列包括 ARM7 系列、ARM9 系列、ARM9E 系列、ARM10E 系列、SecurCode 系列和 Intel 的 Xscale。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。例如，SecurCore 系列专门为安全要求较高的应用而设计。

华清远见

1.1.1 ARM7 系列微处理器

ARM7 系列微处理器是低功耗的 32 位 RISC 处理器，最适合用于对价位和功耗要求较低的消费类应用。ARM7 系列有如下特点。

- 具有嵌入式 ICE-RT（Internet Communications Engine-Route，因特网通信）逻辑，调试开发方便。
- 极低的功耗，适合对功耗要求较低的应用，如便携式产品。
- 能够提供 0.9MIPS/MHz 的三级流水线结构。
- 对操作系统的支持广泛，如 Windows CE、Linux、Palm OS 等。
- 指令系统与 ARM9、ARM9E 和 ARM10E 系列兼容，便于用户的产品升级换代。
- 主频最高可达 130MHz，高速的运算处理能力能胜任绝大多数的复杂应用。

ARM7 系列微处理器主要应用于工业控制、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。

ARM7 系列微处理器包括如下几种类型的核：ARM7TDMI、ARM7TDMI-S、ARM720T、ARM7EJ。其中，ARM7TDMI 是目前使用最广泛的 32 位嵌入式 RISC 处理器，属于低端 ARM 处理器核。TDMI 的基本含义如下。

- T：支持 16 位压缩指令集 Thumb（ARM 体系结构中一种 16 位的指令集）。
- D：支持片上 Debug。
- M：内嵌硬件乘法器（Multiplier）。
- I：嵌入式 ICE，支持片上断点和调试点。

1.1.2 ARM9 系列微处理器

ARM9 系列微处理器在高性能和低功耗特性方面提供最佳的表现，具有以下特点。

- 5 级流水，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 32 位的高速 AMBA(Advanced Microcontroller Bus Architecture)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。
- 支持数据 Cache（高速缓冲存储器）和指令 Cache，具有更高的指令和数据处理力。

ARM9 系列微处理器主要应用于无线设备、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。

ARM9 系列微处理器包括 ARM920T、ARM922T 和 ARM940T 三种类型，以适用于不同的应用场合。

1.1.3 ARM9E 系列微处理器

ARM9E 系列微处理器的主要特点如下。

- 支持 DSP 指令集，适合于需要高速数字信号处理的场合。
- 5 级流水线，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，支持众多主流嵌入式操作系统。
- 支持数据 Cache 和指令 Cache，具有更高的处理能力。
- 主频最高可达 300MHz。

ARM9E 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、存储设备和网络设备等领域。

ARM9E 系列微处理器包含 ARM926EJ-S、ARM946E-S 和 ARM966E-S 三种类型，以适用于不同的应用场合。

1.1.4 ARM10E 系列微处理器

ARM10E 系列微处理器的主要特点如下。

- 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，支持众多主流嵌入式操作系统。
- 支持数据 Chche 和指令 Chche，具有更高的处理能力。
- 主频最高可达 400MHz。
- 内嵌并行读/学操作部件。

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、通信和信息系统等领域。

华清远见

ARM10E 系列微处理器包括 ARM1020E、ARM1002E 和 ARM1026JE-S 三种类型，以适用于不同的应用场合。

1.1.5 ARM920T 简介

ARM920T 高缓存处理器是 ARM9 Thumb 系列中高性能的 32 位系统处理器。而 ARM920T 系列微处理器包含如下几种类型的内核。

- ARM9TDMI：只有内核。
- ARM940T：由内核、高速缓存和内存保护单元(MPU)组成。
- ARM920T：有内核、高速缓存和内存管理单元(MMU)组成。

ARM920T 提供完善的高性能 CPU 子系统，包括以下内容。

- ARM9TDMI RISC 整数 CPU。
- 16KB 指令与 16KB 数据缓存。
- 指令与数据存储器管理单元（MMU）。
- 写缓冲器。
- 高级微处理器总线架构（AMBA）总线接口。
- ETM（内置追踪宏单元）接口。

ARM920T 中的 ARM9TDMI 内核可执行 32 位 ARM 及 16 位 Thumb 指令集。ARM9TDMI 处理器是哈佛结构，有包括取指、译码、执行、存储及写入的 5 级流水线。

ARM920T 处理器包括以下两个协处理器。

- CP14：控制软件对调试信道的访问。
- CP15：系统控制处理器，提供 16 个额外寄存器来配置与控制缓存、MMU、系统保护、时钟模式及其他系列选项。

ARM920T 处理器的主要特征如下。

- ARM9TDMI 内核，ARM v4T 架构。
- 两套指令集：ARM 高性能 32 位指令集和 Thumb 高代码密度 16 位指令集。
- 5 级流水线结构，即取指（F）、指令译码（D）、执行（E）、数据存储访问（M）和写寄存器（W）。
- 16KB 数据缓存，16KB 指令缓存。
- 写缓冲器：16 字节的数据缓冲器，4 字节的地址缓冲器，软件控制消耗。
- 标准的 ARMv4 存储器管理单元（MMU）：区域访问许可，允许以 1/4 页面大小对页面进行访问，16 个嵌入域，64 个输入指令 TLB 及 64 个输入数据 TLB。
- 8 位、16 位、32 位的指令总线与数据总线。

1.1.6 SecurCore（可靠内核技术）系列微处理器

SecurCore 系列微处理器除了具有 ARM 体系结构各种主要特点外，在系统安全方面具有如下特点。

- 带有灵活的保护单元，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。

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。

SecurCore 系列微处理器包含 SecurCore SC100、SecurCore SC110、SecurCore SC200 和 SecurCour SC210 四种类型，以适用于不同的应用场合。

华清远见

1.1.7 StrongARM（超强性能 ARM 技术）系列微处理器

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 处理器是便捷式通信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。

1.2 ARM 体系结构的发展

1.2.1 ARM 体系结构的发展

在过去的 10 年中，ARM 处理器经历了从简单的 ARM7TDMI 内核发展到最新 ARM11EJ-S 内核，ARM 当前有 5 个产品系列——ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10、 SecurCore 和 ARM11。从简单的三级流水线到先进的 8 级流水线结构。用单个时钟来进行比较，性能差别不大。ARM11 是 ARM 家族中性能最强的一个系列。ARM7TM 通常只能在 200MHz 以下的频率运行；ARM11 系列处理器展示了在性能上的巨大提升，首先推出 350MHz～500MHz 时钟频率的内核，在未来将上升到 1GHz 时钟频率。

ARM11 处理器在提供高性能的同时，也允许在性能和功耗间做权衡以满足某些特殊应用。通过动态调整时钟频率和供应电压，开发者完全可以控制这两者的平衡。在 0.13μm 工艺，1.2V 条件下，ARM11 处理器的功耗可以低至 0.4mW/MHz。

ARM11 处理器的超强性能是由一系列的架构特点所决定的。ARMv6 是决定性能的基础。

总的来说，ARMv6 架构通过以下几点来增强处理器的性能。

- 多媒体处理功能扩展。
- MPEG4 编码/解码加快一倍。
- 音频处理加快一倍。
- 增强的 Cache 结构。
- 实地址 Cache。
- 减少 Cache 的刷新和重载。
- 减少上下文切换的开销。
- 增强的异常和中断处理。
- 使实时任务的处理更加迅速。
- 使数据共享、软件移植更简单，也有利于节省存储器空间。

对绝大多数应用来说，ARMv6 保持了 100%的二进制向下兼容，使用户过去开发的程序可以进一步继承下去。ARMv6 保持了所有过去架构中的 T（Thumb 指令）和 E（DSP 指令）扩展，使代码压缩和 DSP 处理特点得到延续；为了加速 Java 代码执行速度的 ARM Jazalle 技术也继续在 ARMv6 架构中发挥重要作用。

1.2.2 ARM11 处理器的内核特点

ARM11 是为了更有效地提高处理器能力而设计的。该系列主要有 ARM1136J、ARM1156T2 和 ARM1176JZ 三个内核型号，ARM11 处理器使用 130nm 工艺，在 2.2mm^2 芯片面积上和 0.24mW/MHz 的前提下主频高达 500MHz。ARM11 处理器以消费产品市场为目标，推出了许多新的技术，包括针对多媒体处理的 SIMD（Single instruction Multiple Data 单指令多数据流），用以提高安全性能的 TrustZone（通过硬件和软件结合，为片上数据提供安全环境）技术，智能能源管理 IEM（In-Ear Monitoring 耳内监听），以及非常高的、超过 2 600 倍 Dhrystone 2.1 标准（测量处理器的运算能力标准）MIPS（百万条指令/每秒）性能的多处理器技术。

华清远见

上面对几个 ARM 处理器内核做了简单的介绍。可以注意到，随着处理器内核技术的发展，处理器的速度越来越快，其主要得益于 ARM 流水线的技术发展。

ARM1176JZF-S 处理器专门用于包括数字电视、机顶盒、游戏机以及手机在内的家电产品和无线产品。这一处理器采用 ARM Java 加速技术、ARM TrustZone 技术以及一个矢量浮点（VFP）协处理器，为嵌入式 3D 图像提供强大的加速功能。

1.2.3 DSP 功能

DSP（digital singnal 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，转换为 0 或 1 的数字信号，再对数字信号进行修改、删除、强化，并在其他系统芯片中把数字数据解译回模拟数据或实际环境格式。它不仅具有可编程性，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电脑芯片。

目前有很多应用要求多处理器的配置（多个 ARM 内核，或 ARM+DSP 的组合），ARM11 处理器从设计伊始就注重更容易地与其他处理器共享数据，以及从非 ARM 的处理器上移植软件。此外，ARM 还开发了基于 ARM11 系列的多处理器系统——MPCORE（由 2~4 个 ARM11 内核组成）。

1.3 ARM 体系结构的存储器格式

首先来了解 ARM 体系结构中的字长。

- 字（Word），在 ARM 体系结构中，字的长度为 32 位，而在 8 位/16 位处理器体系结构中，字的长度一般为 16 位。
- 半字（Half Word），在 ARM 体系结构中，半字的长度为 16 位，与 8 位/16 位处理器体系结构中字的长度一致。
- 字节（Byte），在 ARM 体系结构和 8 位/16 位处理器体系结构中，字节的长度均为 8 位。

指令长度可以是 32 位（ARM 状态下），也可以为 16 位（Thumb 状态下）。

ARM920T 中支持字节（8 位）、半字（16 位）、字（32 位）3 种数据类型，其中，字需要 4 字节对齐，半字需要 2 字节对齐。

ARM920T 体系结构将存储器看成是从零地址开始的字节的线性组合。从 0 字节到 3 字节放置第 1 个存储的字数据，从第 4 个字节到第 7 个字节放置第 2 个存储的字数据，依次排列。

作为 32 位的微处理器，ARM920T 体系结构所支持的最大寻址空间位 4GB（2^{32} 字节）。

ARM920T 体系结构支持两种方法存储字数据，即大端（Big Enddian）格式和小端（Little Enddian）格式。在大端格式中，字数据的高字节存储在低字节单元中，而字数据的低字节则存放在高地址单元中，如图 1-1 所示。

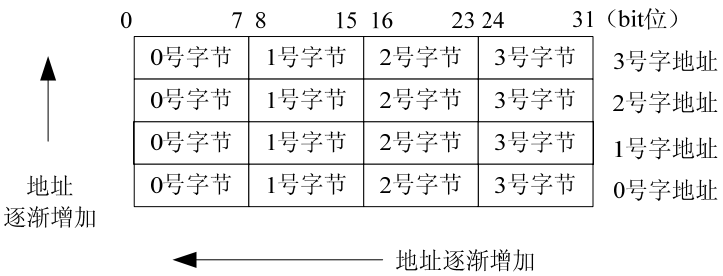

图 1-1 大端格式存储字数据

在小端存储格式中，低地址单元存放的是字数据的低字节，高地址单元中，存放的是数据的高字节，如图 1-2 所示。

华清远见

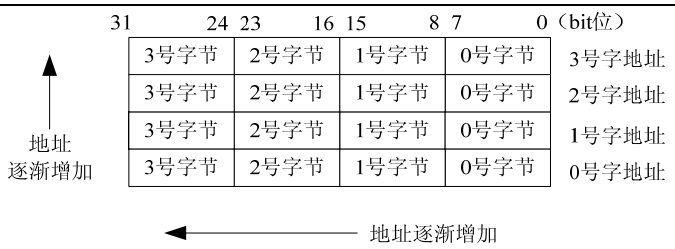

图 1-2　小端格式存储字数据

在基于 ARM920T 内核的嵌入式系统中，常用小端存储格式来存储字数据。

1.4　习题与练习

1．嵌入式控制系统按操作系统分，大致可分哪几类，每类的设计方法有什么不同？
2．嵌入式控制不加嵌入式操作系统支持，遇到多线程或局域网问题如何解决？
3．ARM 体系中的字、半字和字节各占多少位（bit）？
4．什么是大端存储（Big Enddian）格式和小端存储（Little Enddian）格式，ARM920T 内核的嵌入式系统中，常用哪种存储格式来存储字数据？
5．什么是 Thumb 指令集？它和 32 位 ARM 指令集有什么区别？

联系方式

集团官网：www.hqyj.com　　嵌入式学院：www.embedu.org　　移动互联网学院：www.3g-edu.org

企业学院：www.farsight.com.cn　　物联网学院：www.topsight.cn　　研发中心：dev.hqyj.com

集团总部地址：北京市海淀区西三旗悦秀路北京明园大学校内 华清远见教育集团

北京地址：北京市海淀区西三旗悦秀路北京明园大学校区，电话：010-82600386/5

上海地址：上海市徐汇区漕溪路 250 号银海大厦 11 层 B 区，电话：021-54485127

深圳地址：深圳市龙华新区人民北路美丽 AAA 大厦 15 层，电话：0755-25590506

成都地址：成都市武侯区科华北路 99 号科华大厦 6 层，电话：028-85405115

南京地址：南京市白下区汉中路 185 号鸿运大厦 10 层，电话：025-86551900

武汉地址：武汉市工程大学卓刀泉校区科技孵化器大楼 8 层，电话：027-87804688

西安地址：西安市高新区高新一路 12 号创业大厦 D3 楼 5 层，电话：029-68785218

广州地址：广州市天河区中山大道 268 号天河广场 3 层，电话：020-28916067

华清远见