



# ARM 7

# 易学通

三恒星科技 编著

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

## 图书在版编目 (CIP) 数据

ARM7 易学通 / 三恒星科技编著. —北京: 人民邮电出版社, 2006.7

ISBN 7-115-14740-X

I. A... II. 三... III. 微处理器, ARM IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 039628 号

## 内 容 提 要

本书是指导初学者学习 ARM 的入门书。本书通过讲解 ARM7 内核 ARM7TDMI 的开发过程来阐述 ARM7 的相关知识。书中介绍了 ARM 7 的结构、ARM 处理器的编程模型、指令系统、LPC2210 的硬件结构、嵌入式操作系统  $\mu$ C/OS-II、ADS 集成开发环境等内容, 最后精选了几个典型的应用实例, 以加深读者对知识点的理解。

本书内容丰富、结构清晰、语言简练、实例众多, 不仅可以作为 ARM 初学者的学习和参考用书, 也可作为各大、中专院校相关专业和嵌入式系统培训班的教材。

本书配套光盘包括所有实例的素材和多媒体教学软件, 并配以语音同步讲解, 能够更好地帮助读者快速掌握 ARM 的应用方法。

## ARM7 易学通

- 
- ◆ 编 著 三恒星科技  
责任编辑 张 伟
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京顺义振华印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  - ◆ 开本: 800×1000 1/16  
印张: 14.25 彩插: 1  
字数: 305 千字 2006 年 7 月第 1 版  
印数: 1—5 000 册 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

---

ISBN 7-115-14740-X/TN · 2767

定价: 29.00 元 (附光盘)

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

# ARM7 易学通

## 教学光盘使用说明

### 运行环境:

本光盘可以在 Windows 98/2000/XP/2003 操作系统下运行。如果视频不能正常播放,请到网址 <http://www.techsmith.com/download/codecs.asp> 下载 TSCC 视频插件,并安装。为了得到最佳的显示效果,建议将显示器分辨率设置为  $1024 \times 768$ 。

### 使用说明:

1. 把光盘放入光驱后,将自动弹出光盘内容窗口。在【实例】文件夹中,存放了本书涉及到的所有实例源文件。在【MOVIE】文件夹中,存放了实例操作过程的视频演示文件,并配有语音讲解。
2. 在弹出的窗口中双击“start.exe”文件,即可运行视频演示教程,如图 1 所示。
3. 单击图 1 所示的主界面,即可进入图 2 所示的章节界面中,在此界面中读者可以根据需要选择要学习的章节内容,如图 2 所示。



图 1

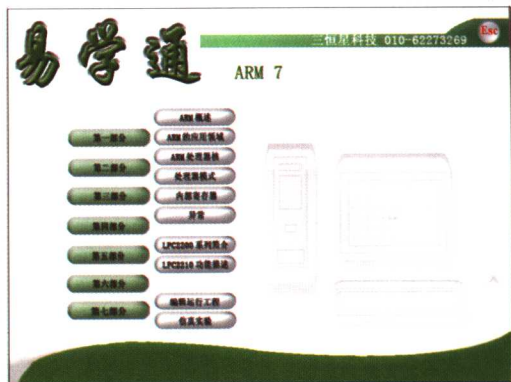


图 2

4. 在图 2 中,读者可单击每部分按钮,进入相应部分中的文字解说部分,如图 3 所示。单击第七部分按钮,进入实验部分,播放需要演示实验的多媒体程序,如图 4 至图 7 所示。





图 3



图 4



图 5



图 6



图 7

## **建议:**

为了使读者能够更加流畅地播放该视频文件,建议读者将光盘中的内容拷贝到电脑的硬盘中使用。

# 前言

## 1. ARM7TDMI 简介

ARM7 的内核 ARM7TDMI 为低功耗、高性能的 16/32 核，最适合用于对价格及功耗敏感的应用场合。在软件支持方面，它有配套的代码编辑调试环境 ADS1.2 和 JTAG 在线调试功能，ARM7 的两种常用芯片，LPC2114 和 S3C4510B 芯片都可以直接用 C 编写程序，而且嵌入式系统  $\mu$ C/OS-II 可以植入这两种芯片中。因此，目前把 ARM7 作为学习 ARM 系列的入门之选是非常合适的。

## 2. ARM7 开发过程

ARM7 开发过程可以分为两大步，一是在开发环境 ADS1.2 完成代码的设计、调试和编译，如图 1 所示。

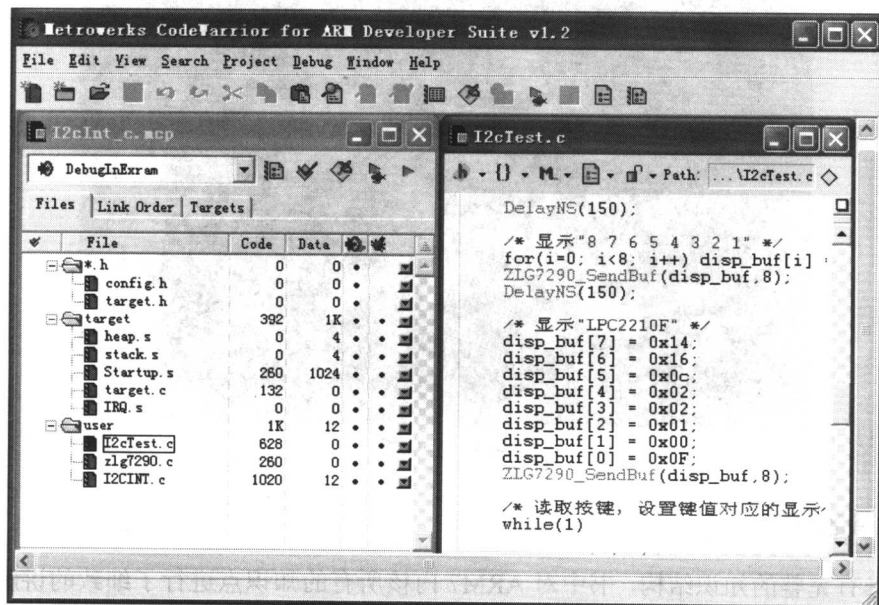


图 1 CCS 开发环境

二是把编译好的代码通过 JTAG 在线调试器下载到目标板上进行调试和运行，如图 2 和图 3 所示。

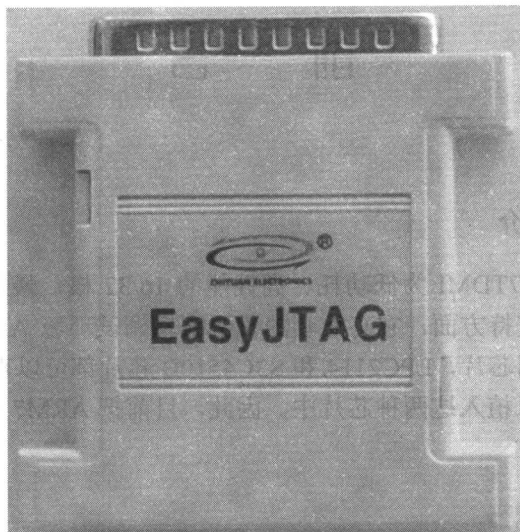


图 2 JTAG 在线调试器

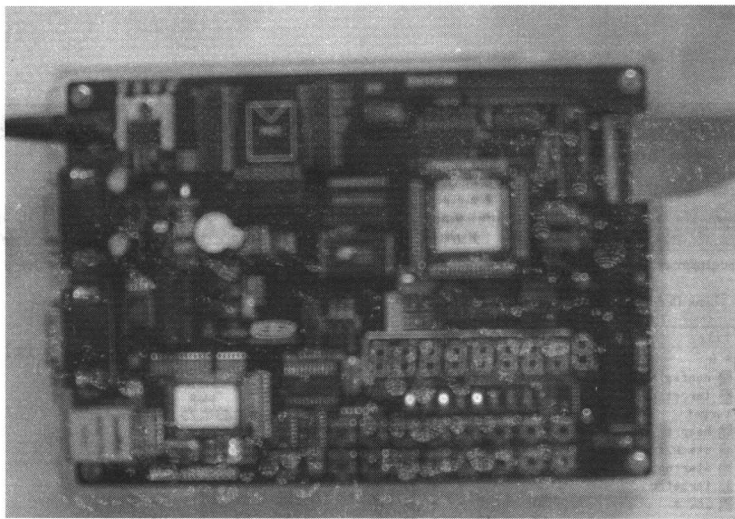


图 3 目标板

### 3. 本书的特点

本书具有完整的知识结构，书中对 ARM7 内核所有的知识点进行了细致的讲解，使读者能够将基础知识“学通”；在书的最后，我们精心选择了几个具有代表性的实验，并给出详细

的实验过程，通过实验，使读者能够达到“用通”，同时引导读者能够举一反三地将这些实例应用到自己的工程实践当中去，使读者达到“精通”。

对在书中比较复杂、难以理解的知识点，我们通过多媒体讲解的方式展现给读者，对于实例的操作我们则通过视频的方式讲解，这样可以使读者直观地学习和掌握 ARM7 的知识，这也是“易学通”系列丛书的特色之一。

#### 4. 读者对象

本书不仅可以作为电子、自动化等相关专业人员以及 ARM 初学者的学习和参考用书，也可作为各大、中专院校相关专业选修课程的教材。

#### 5. 创作人员与致谢

本书主要由刘文涛编写，参加编写的其他人员还有王波波、姜艳波、顾正大、艾丽香、赵辉、辛征、李志、王晶、张玉平、王烁、刘群、赵木清、李刚、刘娜等。

一个品牌的产生就如同种植一棵树一样，由幼小的树苗，长成参天的大树。我们希望“易学通”品牌能够茁壮地成长，得到广大读者的支持和爱护，最后能给读者带来实实在在的便利。当然，这个过程非常需要读者的参与，我们希望能够得到广大读者的建议和意见，读者可以通过电子邮件的方式（E-mail:zhangwei@ptpress.com.cn）与我们沟通交流。

三恒星科技

# 目 录

## 第 1 章

### ARM 概述

|       |                        |    |
|-------|------------------------|----|
| 1.1   | ARM 简介 .....           | 2  |
| 1.1.1 | ARM 的技术介绍及应用领域 .....   | 2  |
| 1.1.2 | ARM 处理器体系结构 .....      | 2  |
| 1.1.3 | ARM 处理器核 .....         | 5  |
| 1.2   | ARM7TDMI .....         | 8  |
| 1.2.1 | ARM7TDMI 简介 .....      | 8  |
| 1.2.2 | ARM7TDMI 结构框图及功能 ..... | 9  |
| 1.2.3 | ARM7TDMI 内核框图 .....    | 11 |
| 1.2.4 | ARM7TDMI 功能框图 .....    | 12 |

## 第 2 章

### 嵌入式系统

|       |                  |    |
|-------|------------------|----|
| 2.1   | 嵌入式系统的介绍 .....   | 18 |
| 2.1.1 | 嵌入式系统的概念 .....   | 18 |
| 2.1.2 | 嵌入式系统的分类 .....   | 18 |
| 2.1.3 | 嵌入式系统的应用领域 ..... | 19 |
| 2.1.4 | 嵌入式系统发展趋势 .....  | 20 |
| 2.2   | 嵌入式处理器 .....     | 21 |
| 2.2.1 | 嵌入式处理器简介 .....   | 21 |
| 2.2.2 | 嵌入式处理器的分类 .....  | 21 |
| 2.2.3 | 嵌入式处理器的选择 .....  | 23 |
| 2.3   | 嵌入式操作系统 .....    | 24 |
| 2.3.1 | 嵌入式操作系统简介 .....  | 24 |
| 2.3.2 | 典型操作系统 .....     | 24 |



# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 2.3.3 嵌入式操作系统的选择 ..... | 26 |
| 2.4 应用实例分析 .....       | 28 |

## 第 3 章

### ARM 处理器的编程模型

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 3.1 处理器的工作状态 .....                       | 32 |
| 3.2 处理器模式 .....                          | 32 |
| 3.3 指令长度及数据类型 .....                      | 33 |
| 3.4 ARM 体系结构的存储器 .....                   | 33 |
| 3.5 内部寄存器 .....                          | 34 |
| 3.5.1 ARM 状态下的寄存器 .....                  | 35 |
| 3.5.2 Thumb 状态下的寄存器组织 .....              | 37 |
| 3.5.3 程序状态寄存器 .....                      | 39 |
| 3.6 异常 (Exceptions) .....                | 41 |
| 3.6.1 ARM 体系结构所支持的异常类型 .....             | 41 |
| 3.6.2 对异常的响应 .....                       | 41 |
| 3.6.3 各类异常的具体描述 .....                    | 43 |
| 3.6.4 异常向量 (Exception Vectors) .....     | 44 |
| 3.6.5 异常优先级 (Exception Priorities) ..... | 45 |
| 3.6.6 应用程序中的异常处理 .....                   | 45 |
| 3.7 中断延迟 .....                           | 45 |
| 3.8 复位 .....                             | 46 |

## 第 4 章

### 指令系统

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 4.1 跟指令相关的概念 .....    | 48 |
| 4.1.1 处理器模式与寄存器 ..... | 48 |

# 目 录

|       |                           |    |
|-------|---------------------------|----|
| 4.1.2 | 流水线 .....                 | 50 |
| 4.1.3 | 时序 .....                  | 50 |
| 4.2   | ARM 指令集 .....             | 51 |
| 4.2.1 | ARM 指令基础 .....            | 51 |
| 4.2.2 | ARM 指令 .....              | 55 |
| 4.3   | Thumb 指令集 .....           | 64 |
| 4.3.1 | Thumb 指令与 ARM 指令的不同 ..... | 65 |
| 4.3.2 | Thumb 存储器访问指令 .....       | 66 |
| 4.3.3 | Thumb 数据处理指令 .....        | 69 |
| 4.3.4 | Thumb 跳转指令 .....          | 77 |
| 4.3.5 | Thumb 杂项指令 .....          | 78 |
| 4.3.6 | Thumb 伪指令 .....           | 78 |
| 4.4   | ARM 处理器寻址方式 .....         | 80 |
| 4.5   | 应用实例分析 .....              | 82 |

## 第 5 章

### LPC2210 硬件结构

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 5.1   | 系列简介 .....           | 88  |
| 5.1.1 | 结构框图 .....           | 89  |
| 5.1.2 | LPC2210 引脚配置 .....   | 89  |
| 5.2   | LPC2210 硬件功能描述 ..... | 97  |
| 5.2.1 | 系统控制 .....           | 97  |
| 5.2.2 | 存储器 .....            | 111 |
| 5.2.3 | 向量中断控制器 (VIC) .....  | 115 |
| 5.2.4 | 引脚连接模块 .....         | 119 |

## 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 5.2.5 外部存储器控制器 (EMC) .....      | 122 |
| 5.2.6 GPIO .....                | 124 |
| 5.2.7 A/D 转换器 .....             | 125 |
| 5.2.8 UART0 和 UART1 .....       | 127 |
| 5.2.9 I <sup>2</sup> C 接口 ..... | 130 |
| 5.2.10 SPI 接口 .....             | 131 |
| 5.2.11 定时器 0 和定时器 1 .....       | 133 |
| 5.2.12 看门狗定时器 .....             | 135 |
| 5.2.13 实时时钟 .....               | 138 |
| 5.2.14 脉宽调制器 (PWM) .....        | 139 |

## 第 6 章

## μC/OS-II 操作系统

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 6.1 μC/OS-II 操作系统简介 .....       | 144 |
| 6.2 μC/OS-II 应用程序基本结构 .....     | 144 |
| 6.2.1 μC/OS-II 的应用程序的基本结构 ..... | 144 |
| 6.2.2 μC/OS-II API .....        | 145 |
| 6.2.3 μC/OS-II 多任务实现机制分析 .....  | 146 |
| 6.2.4 μC/OS-II 配置 .....         | 147 |
| 6.3 移植 μC/OS-II .....           | 149 |
| 6.3.1 移植前期工作 .....              | 149 |
| 6.3.2 目录和文件 .....               | 150 |
| 6.4 移植代码应用到 LPC2210 .....       | 162 |
| 6.4.1 移植概要 .....                | 162 |
| 6.4.2 移植关键问题 .....              | 162 |

# 目 录

## 第 7 章

### ADS 集成开发环境

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 7.1   | ADS 集成开发环境简介 .....       | 168 |
| 7.2   | CodeWarrior 集成开发环境 ..... | 168 |
| 7.2.1 | 编辑工程 .....               | 169 |
| 7.2.2 | 编译和链接工程 .....            | 172 |
| 7.3   | 调试器 .....                | 177 |
| 7.3.1 | AXD 调试器 .....            | 177 |
| 7.3.2 | 工程的调试 .....              | 179 |
| 7.4   | 仿真器的应用 .....             | 183 |
| 7.4.1 | 连接仿真器 .....              | 183 |
| 7.4.2 | 仿真器设置 .....              | 184 |
| 7.4.3 | 仿真器的应用问题 .....           | 185 |

## 第 8 章

### 实验与仿真

|       |                             |     |
|-------|-----------------------------|-----|
| 8.1   | 编写汇编指令 .....                | 188 |
| 8.1.1 | 实验设备 .....                  | 188 |
| 8.1.2 | 实验原理 .....                  | 188 |
| 8.1.3 | 实验准备 .....                  | 188 |
| 8.1.4 | 操作过程 .....                  | 189 |
| 8.1.5 | 参考程序 .....                  | 190 |
| 8.2   | I <sup>2</sup> C 接口实验 ..... | 190 |
| 8.2.1 | 实验设备 .....                  | 190 |
| 8.2.2 | 实验原理 .....                  | 190 |
| 8.2.3 | 实验准备 .....                  | 192 |



# 目 录

|       |                                     |     |
|-------|-------------------------------------|-----|
| 8.2.4 | 操作过程.....                           | 192 |
| 8.2.5 | 参考程序.....                           | 193 |
| 8.3   | 蜂鸣器控制实验 .....                       | 196 |
| 8.3.1 | 实验设备.....                           | 196 |
| 8.3.2 | 实验原理.....                           | 196 |
| 8.3.3 | 实验准备.....                           | 197 |
| 8.3.4 | 操作过程.....                           | 197 |
| 8.3.5 | 参考程序.....                           | 199 |
| 8.4   | SPI 总线驱动中间件实验 .....                 | 201 |
| 8.4.1 | 实验设备.....                           | 202 |
| 8.4.2 | 实验原理.....                           | 202 |
| 8.4.3 | 实验准备.....                           | 202 |
| 8.4.4 | 操作过程.....                           | 202 |
| 8.4.5 | 参考程序.....                           | 203 |
| 8.5   | USB-E <sup>2</sup> PROM 编程器实验 ..... | 204 |
| 8.5.1 | 实验设备.....                           | 204 |
| 8.5.2 | 实验原理.....                           | 205 |
| 8.5.3 | 实验准备.....                           | 206 |
| 8.5.4 | 操作过程.....                           | 207 |
| 8.5.5 | 参考程序.....                           | 208 |

# 第 1 章

## ARM 概述

### 本章学习目的

本章简要地介绍了 ARM 微处理器的相关知识。主要包括: ARM 及相关技术简介, ARM 的体系结构及版本, ARM 微处理器的系列及特点, ARM7TDMI 简介等。通过本章的学习,读者可以掌握 ARM 的一些基本概念和基本结构,为以后进行项目开发打下基础。



## 1.1 ARM 简介

ARM 是 Advanced RISC Machines 的缩写, ARM 既可以认为是一个公司的名字, 也可以认为是对一类微处理器的通称, 还可以认为是一种技术的名字, 下面将系统地介绍 ARM 体系。

### 1.1.1 ARM 的技术介绍及应用领域

ARM 公司是专门从事基于 RISC (Reduced Instruction Set Computer, 精简指令集计算机) 技术芯片设计开发的公司, 作为知识产权供应商, 本身不直接从事芯片生产, 靠转让设计许可由合作公司生产各具特色的芯片, 世界各大半导体生产商从 ARM 公司购买其设计的 ARM 微处理器核, 根据各自不同的应用领域, 加入适当的外围电路, 从而形成自己的 ARM 微处理器芯片进入市场。目前, 全世界有几十家大的半导体公司都使用 ARM 公司的授权, 这样既使 ARM 技术获得了更多的第三方工具、制造、软件的支持, 又使整个系统成本降低, 使产品更容易被消费者所接受, 更具有竞争力。

到目前为止, ARM 微处理器及技术的应用几乎已经深入到各个领域。

① 工业控制领域。作为 32 位的 RISC 架构, 基于 ARM 核的微控制器芯片不但占据了高端微控制器的大部分市场份额, 同时也逐渐向低端微控制器应用领域扩展, ARM 微控制器的低功耗、高性价比, 向传统的 8 位/16 位微控制器提出了挑战。

② 无线通信领域。目前已有超过 85% 的无线通信设备采用了 ARM 技术, ARM 以其高性能和低成本, 在该领域的地位日益巩固。

③ 网络应用。随着宽带技术的推广, 采用 ARM 技术的 ADSL 芯片正逐步获得竞争优势。此外, ARM 在语音及视频处理上进行了优化, 并获得广泛支持, 对 DSP 的应用领域也提出了挑战。

④ 消费类电子产品。ARM 技术在目前流行的数字音频播放器、数字机顶盒和游戏机中得到广泛采用。

⑤ 成像和安全产品。现在流行的数码相机和打印机中绝大部分采用 ARM 技术。手机中的 32 位 SIM 智能卡也采用了 ARM 技术。

除此以外, ARM 微处理器及技术还应用到许多不同的领域, 并会在将来取得更加广泛的应用。

### 1.1.2 ARM 处理器体系结构

ARM 采用 RISC 结构, 版本也在不断地升级。

#### 1. ARM 的体系结构——RISC

嵌入式微处理器又可分为 CISC (Complex Instruction Set Computer, 复杂指令集计算机)

和 RISC 两类。RISC 和 CISC 是目前设计制造微处理器的两种典型技术,虽然它们都是试图在体系结构、操作运行、软件硬件、编译时间和运行时间等诸多因素中做出某种平衡,以求达到高效的目的,但采用的方法不同,因此,在很多方面差异很大,其差异主要如下。

① 指令系统。RISC 设计者把主要精力放在那些经常使用的指令上,尽量使它们具有简单高效的特色。对不常用的功能,常通过组合指令来完成。因此,在 RISC 机器上实现特殊功能时,效率可能较低。但可以利用流水技术和超标量技术加以改进和弥补。而 CISC 计算机的指令系统比较丰富,有专用指令来完成特定的功能。因此,处理特殊任务效率较高。

② 存储器操作。RISC 对存储器操作有限制,使控制简单化;而 CISC 机器的存储器操作指令多,操作直接。

③ 程序。RISC 汇编语言程序一般需要较大的内存空间,实现特殊功能时程序复杂,不易设计;而 CISC 汇编语言程序编程相对简单,科学计算及复杂操作的程序设计相对容易,效率较高。

④ 中断。RISC 机器在一条指令执行的适当地方可以响应中断;而 CISC 机器是在一条指令执行结束后响应中断。

⑤ CPU。RISC CPU 包含有较少的单元电路,因而面积小、功耗低;而 CISC CPU 包含有丰富的单元电路,因而功能强、面积大、功耗大。

⑥ 设计周期。RISC 微处理器结构简单,布局紧凑,设计周期短,且易于采用最新技术;CISC 微处理器结构复杂,设计周期长。

⑦ 用户使用。RISC 微处理器结构简单,指令规整,性能容易把握,易学易用;CISC 微处理器结构复杂,功能强大,实现特殊功能容易。

⑧ 应用范围。由于 RISC 指令系统的确定与特定的应用领域有关,故 RISC 机器更适合于专用机;而 CISC 机器则更适合于通用机。

两者比较而言,传统的 CISC 结构有其固有的缺点,即随着计算机技术的发展而不断引入新的复杂的指令集,为支持这些新增的指令,计算机的体系结构会越来越复杂。在 CISC 指令集的各种指令中,其使用频率相差悬殊,大约有 20% 的指令会被反复使用,占整个程序代码的 80%,而余下的 80% 的指令却不经常使用,在程序设计中只占 20%。

而 RISC 并非只是简单地减少指令,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。其结构特点如下。

① 采用固定长度的指令格式,指令归整、简单,基本寻址方式有 2~3 种。

② 使用单周期指令,便于流水线操作执行。

③ 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。

除此以外,ARM 体系结构还采用了一些特别的技术,在保证高性能的前提下尽量缩小芯片的面积,并降低功耗。

① 所有的指令都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。

- ② 可用加载/存储指令批量传输数据，以提高数据的传输效率。
- ③ 可在一条数据处理指令中同时完成逻辑处理和移位处理。
- ④ 在循环处理中使用地址的自动增减来提高运行效率。

RISC 结构体系有两大主流：Silicon Graphics 公司（硅谷图形公司）的 MIPS 技术，ARM 公司的 Advanced RISC Machines 技术。此外 Hitachi（日立公司）也有自己的一套 RISC 技术 SuperH。

当然，尽管 RISC 架构有上述的优点，但绝不能认为 RISC 架构就可以取代 CISC 架构，事实上，RISC 和 CISC 各有优势，而且界限并不那么明显。现代的 CPU 往往采用 CISC 的外围，内部加入了 RISC 的特性，如超长指令集 CPU 就是融合了 RISC 和 CISC 的优势。

## 2. 体系结构版本

ARM 体系结构从最初开发到现在有了巨大的改进，并仍在完善和发展。为了清楚地表达每个 ARM 应用实例所使用的指令集，ARM 公司定义了 5 种主要的 ARM 指令集体系结构版本，以版本号 V1~V5 表示。

### (1) 版本 1 (V1)

版本 1 (V1) 只有 26 位的寻址空间，没有商业化，其特点为：

- 基本的数据处理指令（不包括乘法）；
- 字节、字和半字加载/存储指令；
- 具有分支指令，包括在子程序调用中使用的分支和链接指令；
- 在操作系统调用中使用的软件中断指令。

### (2) 版本 2 (V2)

版本 2 (V2) 同样为 26 位寻址空间，现在已经废弃不再使用，它相对 V1 版本有以下改进：

- 具有乘法和乘加指令；
- 支持协处理器；
- 快速中断模式中的两个以上的分组寄存器；
- 具有原子性加载/存储指令 SWP 和 SWPB。

### (3) 版本 3 (V3)

版本 3 (V3) 寻址范围扩展到 32 位（事实上也基本废弃），具有独立的程序：

- 具有乘法和乘加指令；
- 支持协处理器；
- 快速中断模式中具有的兩個以上的分组寄存器；
- 具有原子性加载/存储指令 SWP 和 SWPB。

### (4) 版本 4 (V4)

版本 4 (V4) 不再为了与以前的版本兼容而支持 26 位体系结构，它明确了哪些指令会引起未定义指令异常发生，相对 V3 版本，它作了以下改进：

- 半字加载/存储指令；