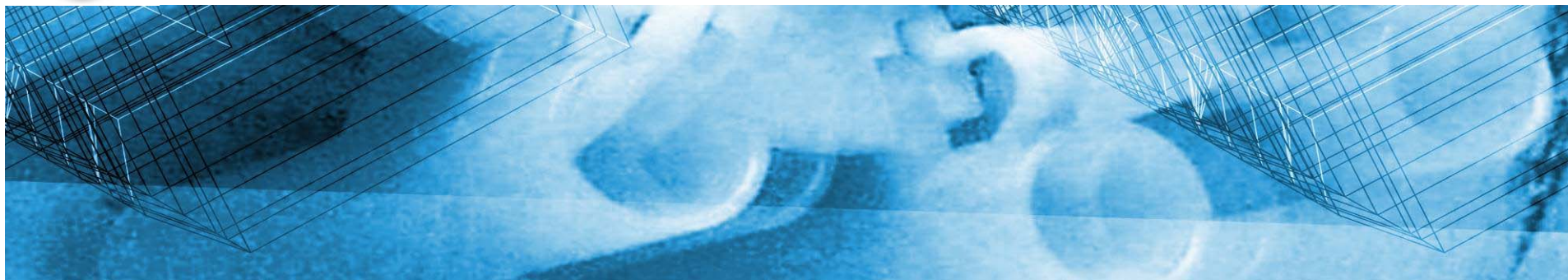




西南交通大学



嵌入式系统及应用

❖ 孙永奎 讲师/博士

❖ E-mail: yksun@swjtu.edu.cn

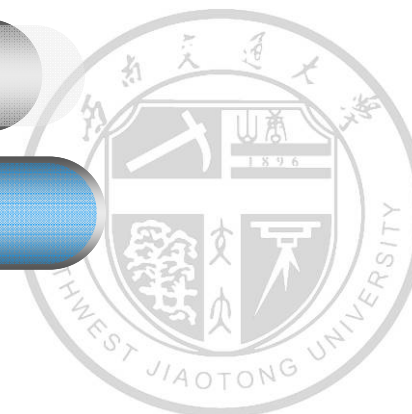




理论课程内容

2

- 嵌入式系统概述
- ARM处理器体系结构
- ARM寻址方式及指令系统
- ARM程序设计
- ARM最小系统硬件设计
- Linux操作系统及程序开发
- 嵌入式Linux程序开发
- 嵌入式系统设计案例





第一章 ARM微处理器概述

- ◆ ARM—Advanced RISC Machines
- ◆ 1.1 ARM微处理器的历史及发展
- ◆ 1.2 ARM微处理器简介
- ◆ 1.3 ARM微处理器系列
- ◆ 1.4 ARM微处理器的应用选型





需要掌握的内容

- ❖ 什么是RISC指令集
- ❖ 什么流水线
- ❖ ARM型号的识别





第一节、ARM的历史与发展

一 ARM是什么？

◆ Advanced RISC Machines

- ◆ 一个公司的名字——英国知识产权核（IP）设计公司
- ◆ 一类微处理器的通称
- ◆ 一种技术的名字（ARM微处理器核）

ARM公司本身不生产芯片，只研究一种微控制器芯片的核心。然后把这些核心授权给 各个芯片厂商生产实际芯片，[ARM公司](#)从中收取专利费

常见的芯片设计厂商例如苹果、三星、高通、MTK、英伟达、海思等芯片厂商都是基于ARM指令集，占据了市场上百分之九十的市场份额。

全世界超过95%的智能手机和平板电脑都采用ARM架构，2014年基于ARM技术的全年全球出货量是120亿颗，从诞生到现在为止基于ARM技术的芯片有600亿颗。





二、ARM的成长史

- ❖ 1978年，ARM前身Acorn RISC Machine于剑桥成立。
- ❖ 1985年2月，当时的IT巨头Olivetti收购Acorn 49.3%的股份，更多地将ARM处理器用于研发，这让Acorn发展受阻，所以Acorn选择独立。
- ❖ 1990年11月，Acorn、Apple和VLSI共同出资创建了ARM。Acorn RISC Machine正式更名为Advanced RISC Machine。
- ❖ 1993年，Cirrus Logic和德州仪器公司先后加入ARM阵营。当年ARM7问世。
- ❖ 1997年，ARM里程碑产品ARM9发布，标志着ARM处理器正式进入微处理器领域。
- ❖ 1998年4月17日，ARM在英国伦敦证交所和美国纳斯达克上市





ARM的成长史

- ❖ 2004年，Cortex系列处理器诞生，从此不再用数字为处理器命名。它分为A、R和M三类，面向不同的市场。
- ❖ 2008年，ARM芯片的出货量正式突破100亿片
- ❖ 2011年，ARM推出了旗下首款64位架构ARMv8，还推出了big.LITTLE技术，高性能核心与节能核心相结合。
- ❖ 2013年12月13日，ARM收购著名光引擎技术公司Geomerics，扩大在图形技术行业的领先地位。
- ❖ 2015年，ARM基于ARMv8架构推出了面向企业级市场的新平台标准，此外还开始在物联网领域发力。
- ❖ 2016年7月18日消息，日本软银集团将接近以234亿英镑价格收购英国芯片巨头ARM。
- ❖ 截至2017年6月30日为止，[ARM](#)技术人员人数达4,269人，今年3月表示，旗下最新开发的DynamIQ技术将可扩展人工智能(AI)的可能性。ARM说，相较于目前的Cortex-A73系统，未来3-5年采用DynamIQ的Cortex-A其AI效能将可增加50倍。





三、ARM—Advanced RISC Machines

◆ IP (Intellectual Property)

知识产权。硅知识产权核是预先设计好的电路功能模块。**IP核**分为软核、硬核和固核

◆ Fabless (无生产线)

◆ RISC

Reduced Instruction Set Computer

精简指令集计算机

ARM: RISC处理器IP核 + Fabless



ARM

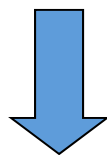
THE ARCHITECTURE FOR THE DIGITAL WORLD





ARM—Advanced RISC Machines

ARM[®]



将技术授权给
其它芯片厂商

intel.



freescale[™]
semiconductor



TEXAS INSTRUMENTS



nuvoTon

中兴集成电路、大唐电讯、中芯国际、上海华虹

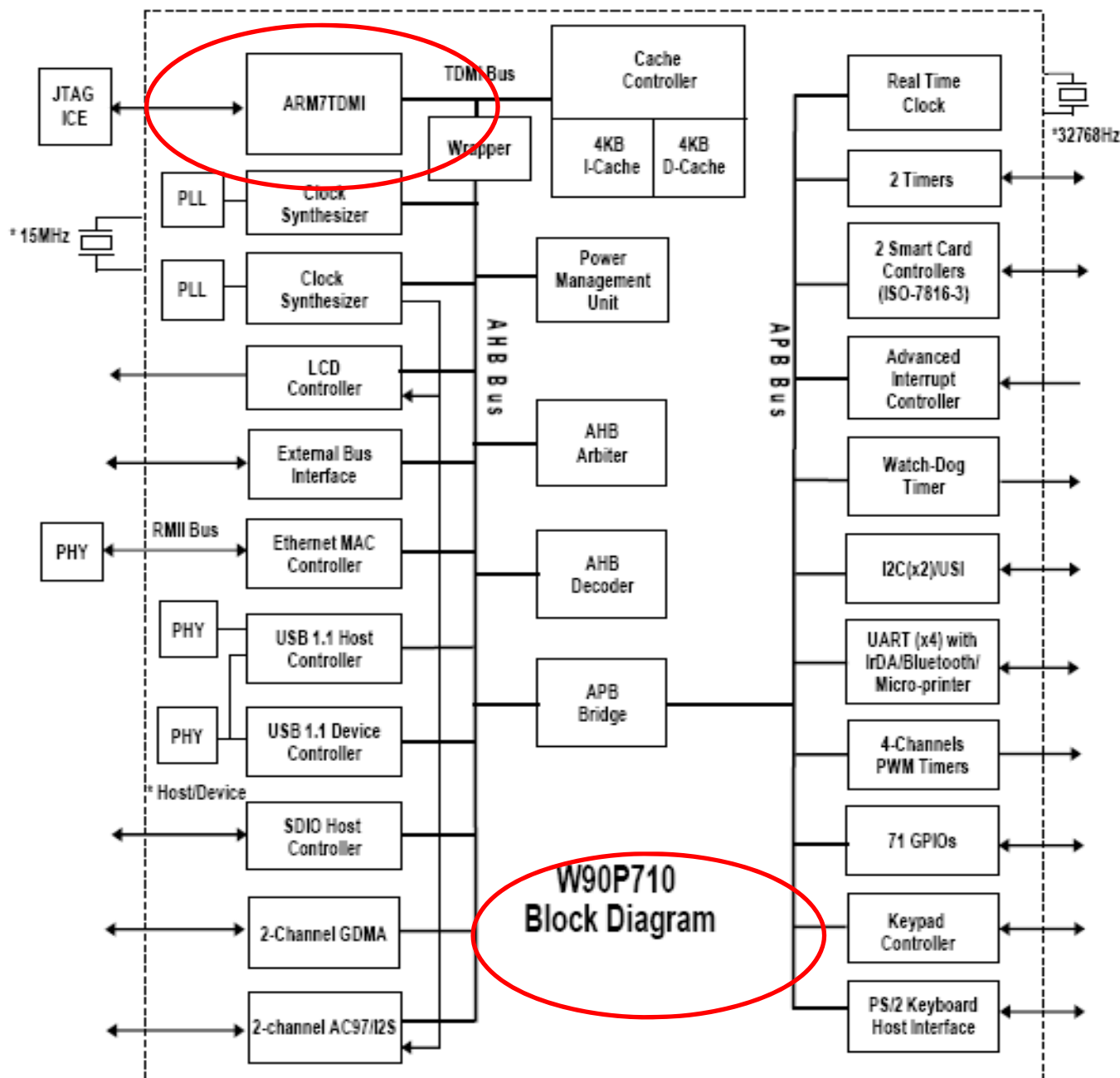


形成各具特色
的ARM芯片



基于ARM技术的32位微处理器，市场的占有率目前已达到**80%**





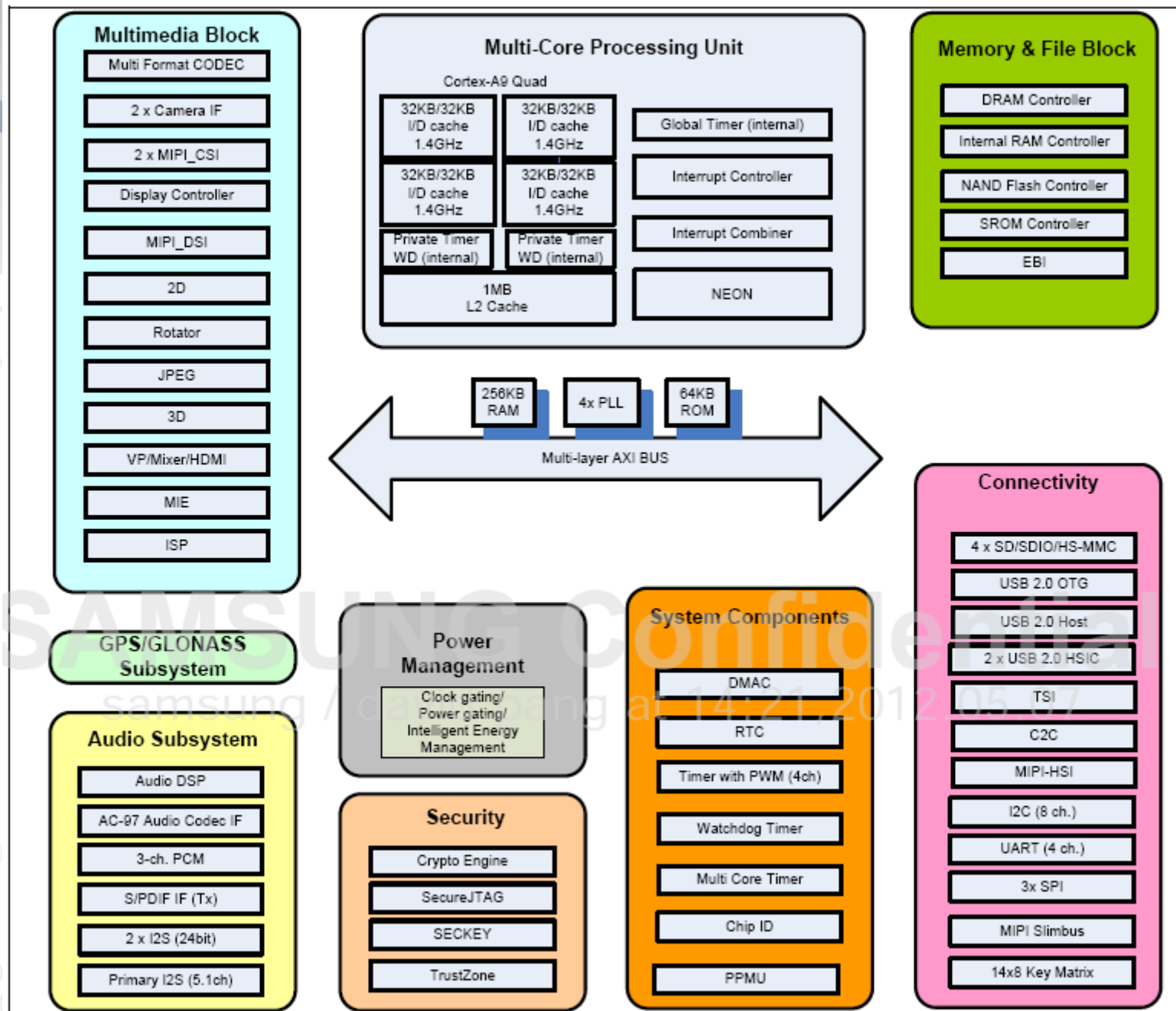


Figure 1-1 Exynos 4412 SCP Block Diagram





四、ARM核选择的公共授权使用方

处理器	选择的公共授权使用方
Cortex-A57	AMD、 Broadcom 、 Calxeda 、 HiSilicon 、 STMicroelectronics 、 Samsung
Cortex-A53	AMD、 Broadcom 、 Samsung
Cortex-A15	Texas Instruments 、 ST-Ericsson 、 nVIDIA 、 Samsung Electronics
Cortex-A9	Broadcom Corporation 、 Freescale 、 NEC Electronics 、 nVIDIA 、 STMicroelectronics 、 Texas Instruments 、 Toshiba 、 Mindspeed Technologies 、 ZiiLABS 、 Open-Silicon 、 eSilicon
Cortex-A8	Broadcom Corporation 、 Freescale 、Panasonic、 Samsung Electronics 、 STMicroelectronics 、 Texas Instruments 、PMC-Sierra、 ZiiLABS
Cortex-A7	Broadcom 、 Freescale 、 Fujitsu 、 HiSilicon 、LGE、 Samsung 、 ST-Ericsson 、 Texas Instruments
Cortex-A5	Cambridge Silicon Radio、 Open-Silicon 、 eSilicon
Cortex-R4	Broadcom Corporation 、 Texas Instruments 、 Toshiba 、 Infineon 、 Open-Silicon 、 eSilicon
Cortex-M4	NXP 、 STMicroelectronics 、 Texas Instruments 、 Freescale 、 Open-Silicon 、 eSilicon
Cortex-M3	Accent Srl 、 Actel Corporation 、 Broadcom Corporation 、 Cypress Semiconductor 、Ember、 Energy Micro 、 Fujitsu 、 NXP 、 Fuzhou Rockchip Electronics CO. Ltd. 、 STMicroelectronics 、 Texas Instruments 、 Toshiba 、 Zilog 、 Open-Silicon 、 eSilicon
Cortex-M0	Austriamicrosystems 、 Chungbuk Technopark 、 NXP 、 Triad Semiconductor 、 Melfas 、 Open-Silicon 、 eSilicon
Cortex-M0+	Freescale 、 NXP



五、ARM应用领域

应用领域

- ◆ 无线通信领域：手机、**PDA**
- ◆ 消费类电子产品：数字媒体播放器、游戏机
- ◆ 网络应用：语音及视频处理、数字机顶盒、**VoIP**
- ◆ 成像和安全产品：数码相机、打印机、**SIM**智能卡
- ◆ 工业控制与仪器仪表：
- ◆ 其他领域





五、ARM应用领域

Samsung ML5100A



JVC "Pixstar" GC-X1



Diamond Multimedia Rio 600



**Alba Bush
Internet TV**



**3Com
10/100 PCI NIC**



**Nintendo
Gameboy
Advance**



Iomega HipZip



Sony MZ-R90 MiniDisc



Lexmark Z52 Color Jetprinter



**Ericsson
R380**



HP CapShare



HP Jornado 820



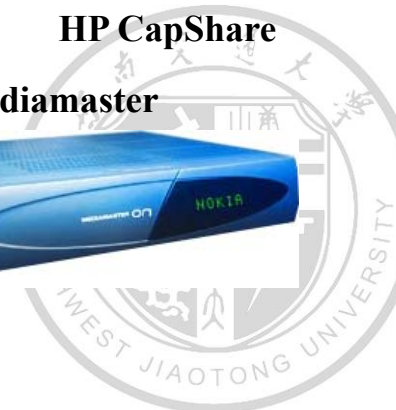
Nokia 8810

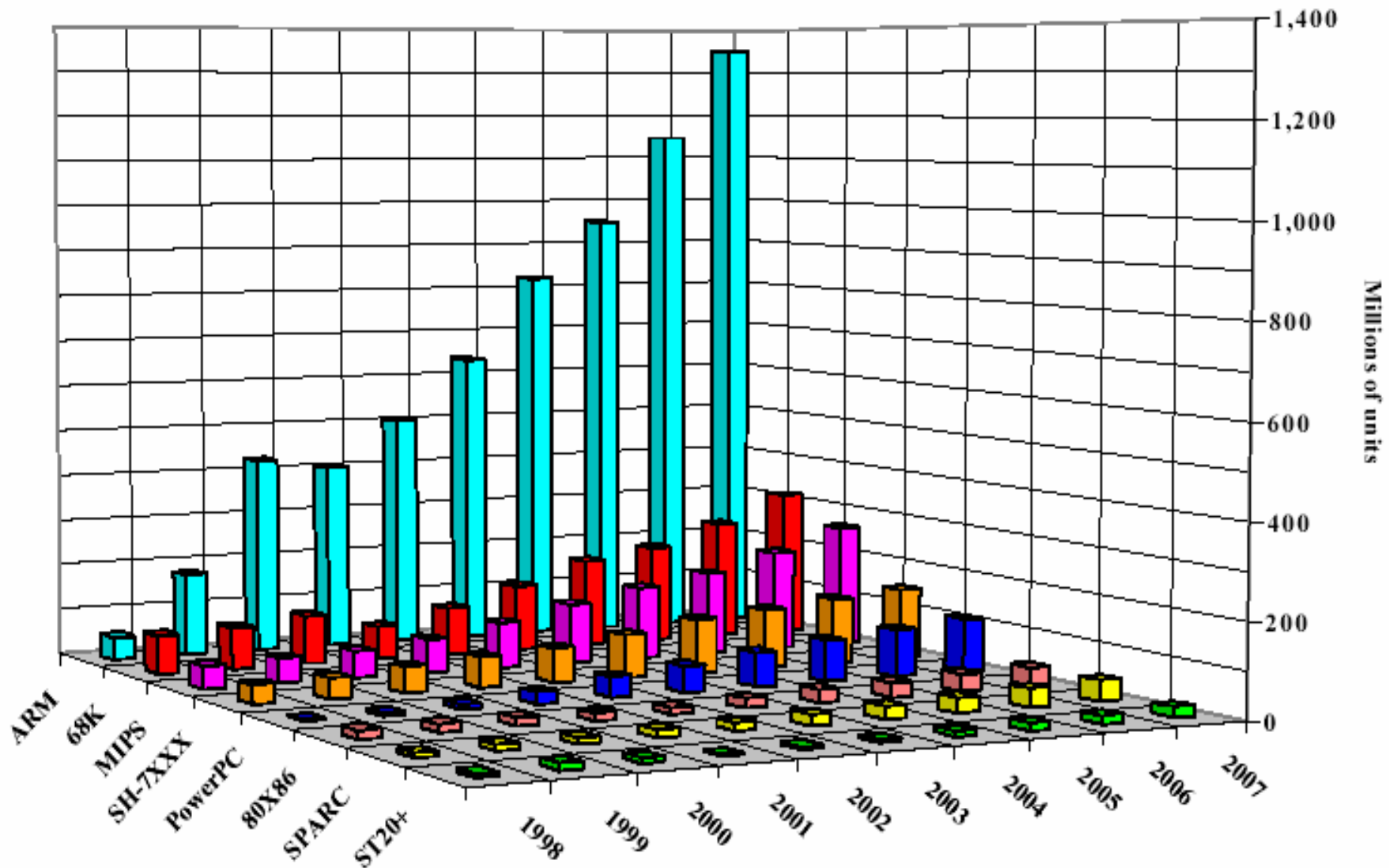


Nokia Mediamaster



Psion Revo Plus





ARM处理器的使用量



ARM微处理器概述

- ◆ ARM—Advanced RISC Machines
- ◆ ARM微处理器的历史及发展
- ◆ ARM微处理器简介
- ◆ ARM微处理器系列
- ◆ ARM微处理器的应用选型





第二节 ARM处理器简介

特点

- ◆ 体积小、低功耗、低成本、高性能
- ◆ 支持Thumb（16位）/ARM（32位）双指令集
- ◆ 全球众多的合作伙伴

●RISC特点

精简指令集计算机**RISC**结构的产生是相对于传统的复杂指令集计算机**CISC**结构而言的。





一、CISC技术

CISC (Complex Instruction Set Computer)

复杂指令集计算机

- ❖ 具有大量的指令和寻址方式
- ❖ 8/2原则：80%的程序只使用20%的指令。
- ❖ 大多数程序只使用少量的指令就能够运行。
- ❖ CISC CPU 含有丰富的单元电路，因而功能强、面积大、功耗大。





二、RISC技术

RISC (Reduced Instruction Set Computer)

精简指令集计算机

- ❖ 指令规整、对称、简单。指令小于100条，基本寻址方式有2~3种。
- ❖ 单周期指令。
- ❖ 指令字长度一致，单拍完成，便于流水操作。
- ❖ 大量的寄存器。寄存器不少于32个。数据处理器的指令只对寄存器的内容操作。只有加载 / 存储指令可以访问存储器。
- ❖ 使CPU硬件结构设计变得更为简单， RISC CPU包含较少的单元电路，因而面积小、功耗低





三、CISC与RISC技术比较

类别	CISC	RISC
指令系统	指令数量很多	较少，通常少于100
执行时间	有些指令执行时间很长，如整块的存储器内容拷贝；或将多个寄存器的内容拷贝到存储器	没有较长执行时间的指令
编码长度	编码长度可变，1-15字节	编码长度固定，通常为4个字节
寻址方式	寻址方式多样	简单寻址
操作	可以对存储器和寄存器进行算术和逻辑操作	只能对寄存器对行算术和逻辑操作，Load/Store体系结构
编译	难以用优化编译器生成高效的目标代码程序	采用优化编译技术，生成高效的目标代码程序



三、CISC与RISC技术比较

主要差别

❖ 寄存器

- ◆ **RISC**指令集拥有更多的通用寄存器，每个可以存放数据和地址，寄存器为所有的数据操作提供快速的存储访问。
- ◆ **CISC**指令集 多用于特定目的的专用寄存器。

❖ **LOAD/STORE**结构

- ◆ **RISC**结构：**CPU** 仅处理寄存器中的数据，采用独立的、专用的**LOAD /STORE** 指令来完成数据在寄存器和外存之间的传送。（访问存储器费时，处理和存储分开，可以反复的使用保存在寄存器中的数据，而避免多次访问外存），**CISC**结构 能直接处理存储器中的数据。

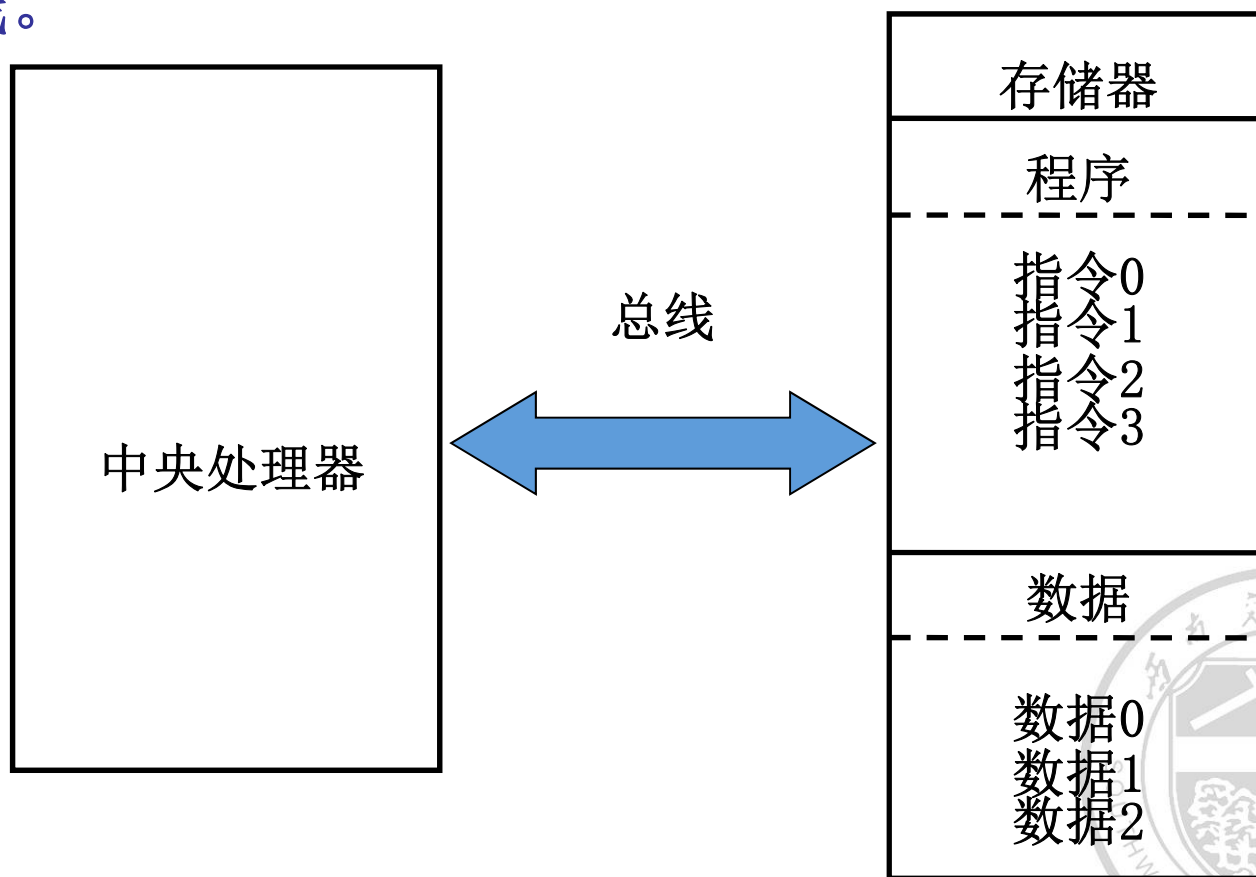




四、总线结构

1、冯·诺依曼结构(Von Neumann Architecture)

程序代码和数据共用一个公共的存储空间和单一的地址与数据总线。



冯·诺依曼体系结构模型



❖ 指令的执行周期T

- ◆ 1) 取指令 (Instruction Fetch): T_F
- ◆ 2) 指令译码 (Instruction Decode) : T_D
- ◆ 3) 执行指令 (Instruction Execute) : T_E
- ◆ 4) 存储 (Storage) : T_S

每条指令的执行周期: $T = T_F + T_D + T_E + T_S$

冯·诺依曼体系的特点

- ❖ 1) 数据与指令都存储在同一存储区中，取指令与取数据利用同一数据总线。
- ❖ 2) 被早期大多数计算机所采用
- ❖ 3) ARM7——冯诺依曼体系

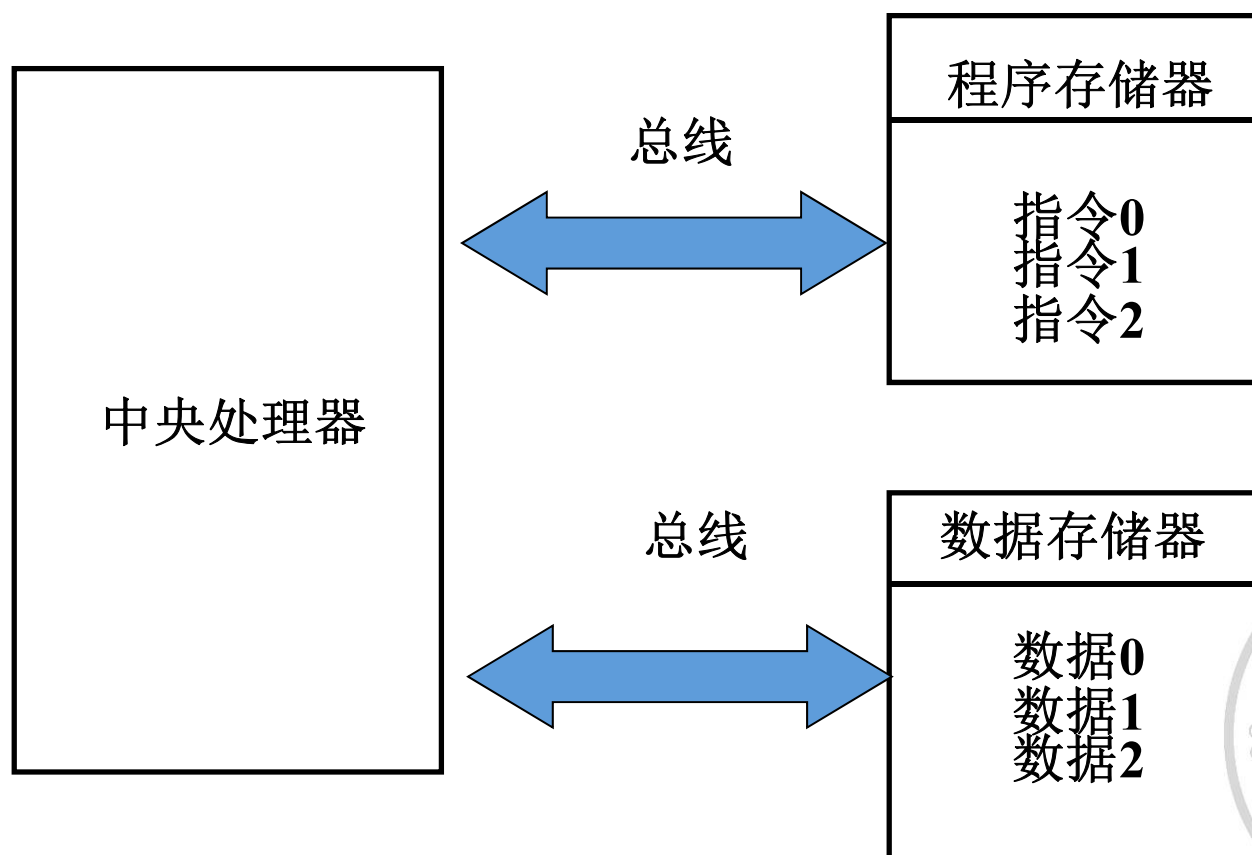
结构简单,但速度较慢。取指不能同时取数据



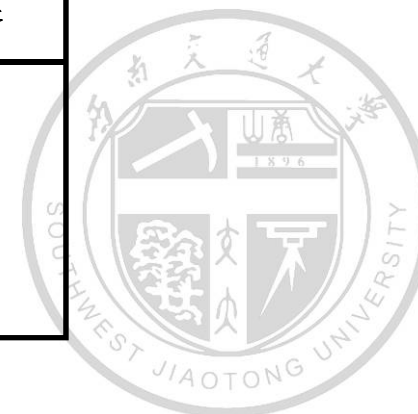


2、哈佛结构 (Harvard Architecture)

程序代码和数据的存储空间分开，并行地进行指令和数据的处理，从而可以大大地提高运算的速度



哈佛体系结构模型





◆ 哈佛体系结构的特点

- ◆ 1) 程序存储器与数据存储器分开.
- ◆ 2) 提供了较大的存储器带宽, 各自有自己的总线。
- ◆ 3) 适合于数字信号处理.
- ◆ 4) 大多数DSP都是哈佛结构.
- ◆ 5) ARM9是哈佛结构
- ◆ 6) 取指和取数在同一周期进行, 提高速度,

改进哈佛体系结构分成三个存储区: 程序、数据、
程序和数据共用。





五、流水线技术

特点：1) 几个指令可以并行执行 2) 提高了CPU的运行效率 3) 内部信息流要求通畅流动

为增加处理器指令流的速度，**ARM7** 系列使用**3级流水线**。
u 允许多个操作同时处理，而非顺序执行。

ARM Thumb

PC

PC

PC - 4 PC-2

Fetch

Decode

Execute

从存储器中读取指令

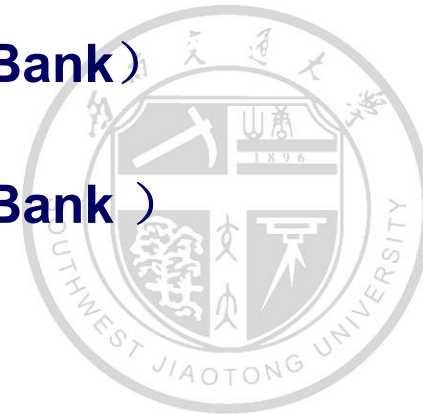
解码指令中用到的寄存器

寄存器读（从寄存器Bank）

移位及**ALU**操作

寄存器写（到寄存器Bank）

PC指向正被取指的指令，而非正在执行的指令

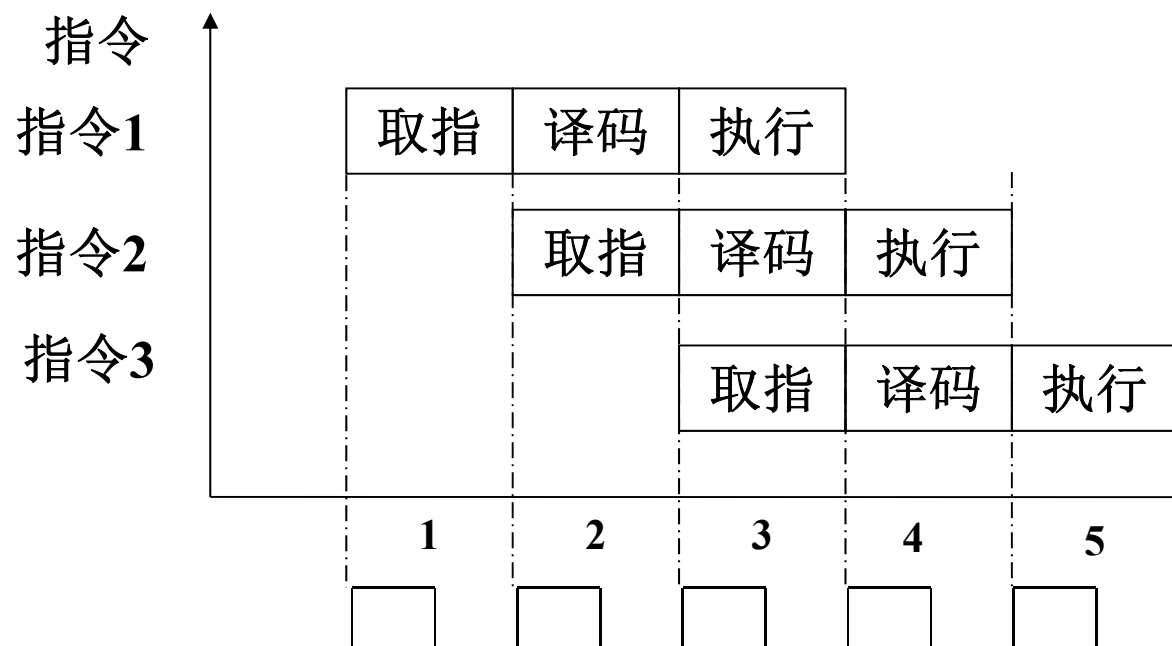




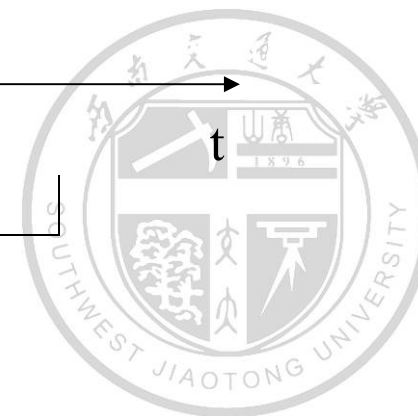
流水线技术

流水线(Pipeline)技术：几个指令可以并行执行

- 提高了CPU的运行效率
- 内部信息流要求通畅流动



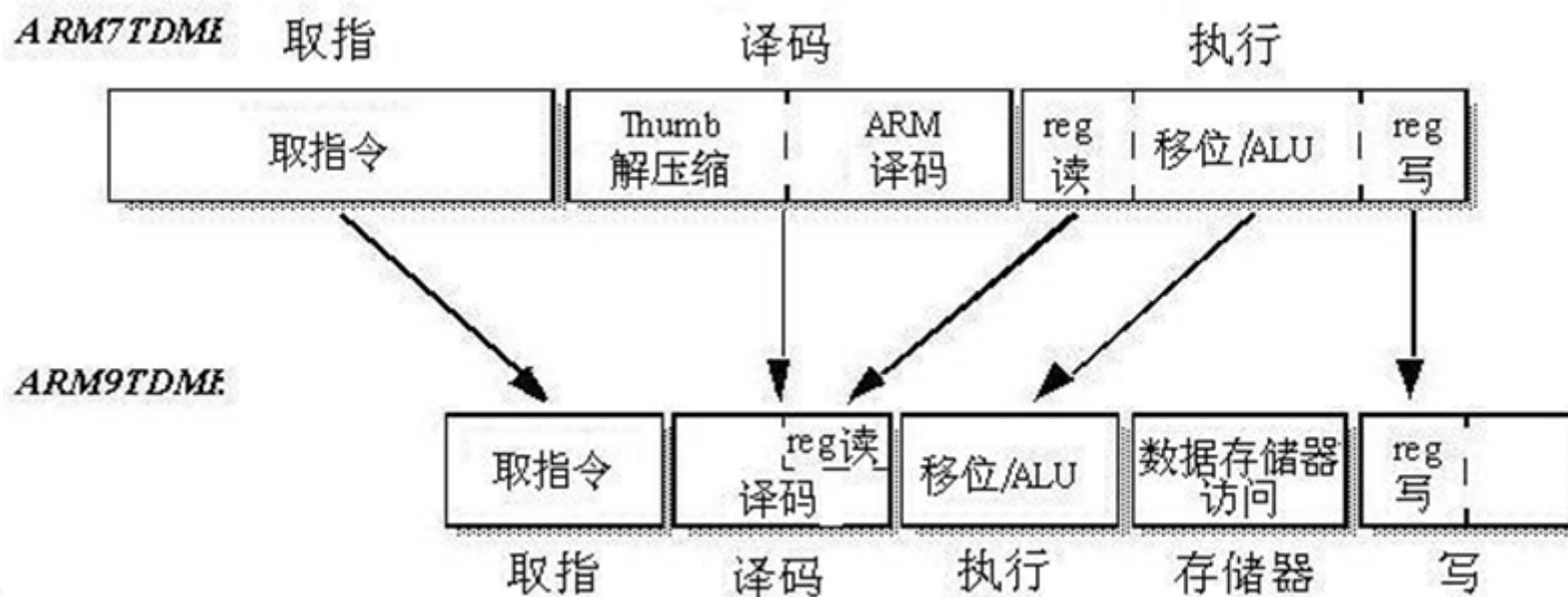
单周期指令3级流水线操作





1) ARM9和ARM10流水线结构

ARM9TDMI的五级流水线



ARM7TDMI与ARM9TDMI流水线比较





ARM10流水线



ARM10 六级流水线

五级流水线也有它的缺点，即存在一种互锁，即寄存器冲突。读寄存器是在译码阶段，写寄存器是在回写阶段。如果当前指令(A)的目的操作数寄存器和下一条指令(B)的源操作数寄存器一致，B指令就需要等A回写之后才能译码。这就是五级流水线中的寄存器冲突。ARM10处理器的流水线为了解决寄存器冲突的问题，增加了预取操作。因此ARM10由6级流水线组成，利用预取、发送操作来取代ARM9中的取值操作。



2) Cortex-R4处理器流水线技术



流水线设计的步（级）数越多，其完成一条指令的速度越快，因此才能适应工作主频更高的CPU。ARM Cortex-R4处理器采用8级双通道流水线，比以前的ARM内核提高了至少40%的吞吐量。





分支预测

- ❖ 当包含流水线技术的处理器处理分支指令时就会遇到一个问题，根据判定条件的真/假的不同，有可能会产生跳转，而这会打断流水线中指令的处理，因为处理器无法确定该指令的下一条指令，直到分支执行完毕。
- ❖ 流水线越长，处理器等待的时间便越长，因为它必须等待分支指令处理完毕，才能确定下一条进入流水线的指令。
- ❖ 分支预测技术便是为解决这一问题而出现的。





分支预测

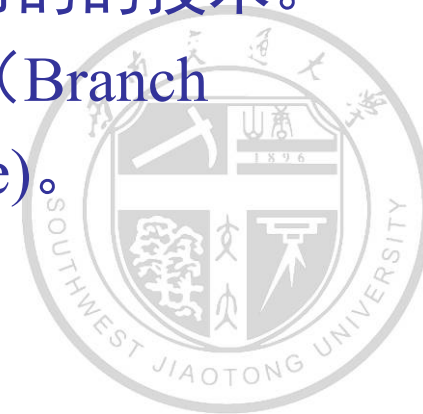
(1) 静态分支预测

最简单的静态分支预测方法就是任选一条分支。这样平均命中率为50%。更精确的办法是根据原先运行的结果进行统计从而尝试预测分支是否会跳转。

任何一种分支预测策略的效果都取决于该策略本身的精确度和条件分支的频率。

(2) 动态分支预测

动态分支预测是近来的处理器已经尝试采用的技术。最简单的动态分支预测策略是分支预测缓冲区 (Branch Prediction Buff)或分支历史表(branch history table)。





3) V4、V5版架构

❖ V4版架构是目前应用最广的ARM体系结构,对V3版架构进行了进一步扩充,有的还引进了16位的Thumb指令集,使ARM使用更加灵活。ARM7、ARM8、ARM9和StrongARM都采用该版架构。指令集中增加了以下功能:

- ◆ 有符号、无符号的半字和有符号字节的Load/Store指令。
- ◆ 增加了16位Thumb指令集;完善了软件中断SWI指令的功能
- ◆ 增加了处理器的特权模式。

最近几年推出ARM5架构是在V4版上增加了一些新的指令,ARM10和XScale采用该架构,这些新增指令有:

- ◆ 带有链接和交换的转移BLX指令
- ◆ 计数前导零CLZ指令
- ◆ BKPT软件断点指令
- ◆ 增加了信号处理指令
- ◆ 为协处理器增加更多可选择的指令





4)V6架构

❖ ARMV6

- ◆ V6在V5上增加了以下功能：
- ◆ Thumb-2增强代码密度
- ◆ SIMD增强媒体和数字处理功能
- ◆ TrustZone提供增强的安全性能
- ◆ IEM提供增强的功耗管理功能。
- ◆ ARM11, ARM1156T-S、ARM115T2F-S、ARM1176JZ-S、ARM11JZF-S

SIMD(Single Instruction Multiple Data, 单指令多数据流):
能够复制多个操作数, 并把它们打包在大型寄存器的一组指令集, 例: 3DNow!、SSE。以同步方式, 在同一时间内执行同一条指令。





5) v7版架构

❖ ARM指令集体系结构（ISA）各版本简介（续）

◆ ARMv7（2004年以后）

- 属于全新的Cortex™ 系列
- 具有A（应用处理器）、R（嵌入式实时处理器）、M（微控制器）三个类型
- 采用了Thumb-2技术纯32位代码少使用 31%的内存，比Thumb 技术高出38%的性能
- 采用了NEON™技术，以增强DSP和多媒体处理性能,将DSP和媒体处理能力提高了近4 倍
- Cortex-A8为第一个采用超标量架构的ARM处理器
- ◆ 各ARM版本向下兼容，即为某低版本内核编写的程序无需修改可直接运行于具有同等扩展功能的高版本内核中（有个别例外）





ARMv7 : ARM TrustZone 技术

TrustZone(TM) 技术出现在 ARMv6KZ 以及较晚期的应用核心架构中。它提供了一种低成本的方案，针对系统单芯片（SoC）内加入专属的安全核心，由硬件建构的存取控制方式支援两颗虚拟的处理器。这个方式可使得应用程式核心能够在两个状态之间切换（通常改称为领域（worlds）以避免和其他功能领域的名称混淆），在此架构下可以避免资讯从较可信的核心领域泄漏至较不安全的领域。





SIMD在性能上的优势

以加法指令为例，单指令单数据（SISD）的CPU对加法指令译码后，执行部件先访问内存，取得第一个操作数；之后再一次访问内存，取得第二个操作数；随后才能进行求和运算。而在SIMD型的CPU中，指令译码后几个执行部件同时访问内存，一次性获得所有操作数进行运算。这个特点使SIMD特别适合于多媒体应用等数据密集型运算。

如：AMD公司引以为豪的3D NOW! 技术实质就是SIMD，这使K6-2、雷鸟、毒龙处理器在音频解码、视频回放、3D游戏等应用中显示出优异的性能。





ARMv7 : NEON

ARM® NEON™ 通用 SIMD 引擎可有效处理当前和将来的多媒体格式，从而改善用户体验。NEON 技术可加速多媒体和信号处理算法（如视频编码/解码、2D/3D 图形、游戏、音频和语音处理、图像处理技术、电话和声音合成），其性能至少为 ARMv5 性能的 3 倍，为 ARMv6 SIMD 性能的 2 倍。

NEON 技术是通过清晰方式构建的，并可无缝用于其本身的独立流水线和寄存器文件。NEON 技术是 ARM Cortex™-A 系列 处理器的 128 位 SIMD（单指令多数据）体系结构扩展，旨在为消费性多媒体应用提供灵活强大的加速功能，从而明显改善用户体验。它具有 32 个寄存器，64 位宽（是 16 个寄存器，128 位宽的双倍视图）。

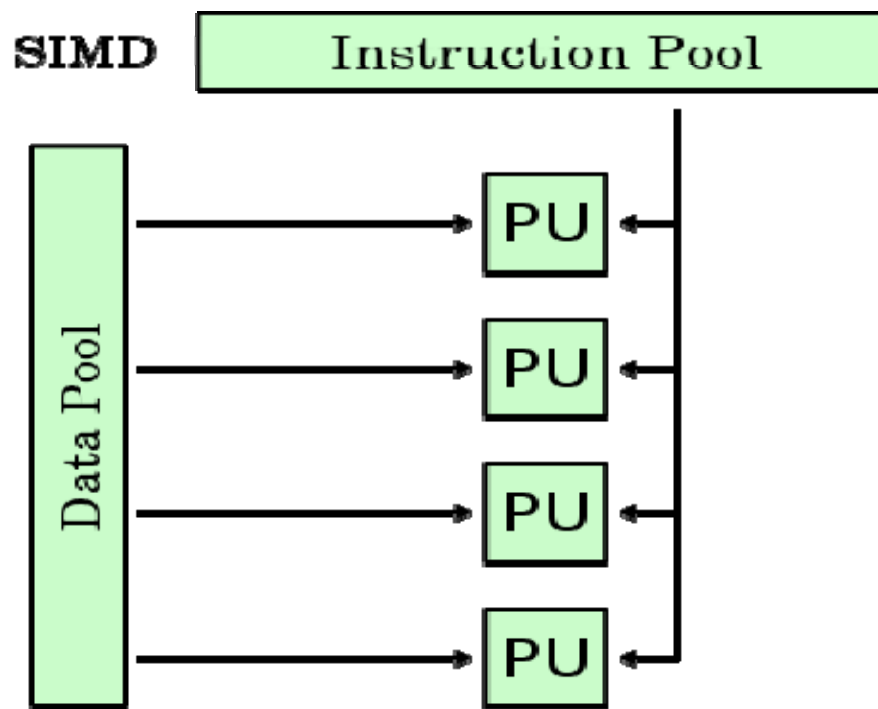
。





ARMv7 : NEON技术

简单来讲，NEON其实是一种SIMD（Single Instruction Multiple Data 单指令流多数据流）技术。而SIMD，是指采用一个控制器来控制多个处理单元（处理器/处理微元），同时对一组数据中的每一个分别执行相同的操作从而实现空间上的并行性的技术。如下图所示。





ARMv7 : NEON

NEON 支持 8-, 16-, 32- 和 64-bit 的整数及单精度浮点数据, 并以 SIMD 的方式运算, 运行图形和游戏处理中关于语音 / 视频的部分。在 NEON 中, SIMD 最高可支持到同时 16 个运算。这个时候是以 8bit 的数据运算, 而 NEON 的位宽是 128bit, 即为 16 个运算。

另外一个 NEON 显著的特点是和他和 VFP 单元共用自己的寄存器堆, 而与主核的寄存器堆区别开。

一些数据显示: NEON 可以在 10 MHz 的 CPU 上运行 MP3 音效解码, 且可以运行 13 MHz 频率以下的 GSM AMR (Adaptive Multi-Rate) 语音编码。





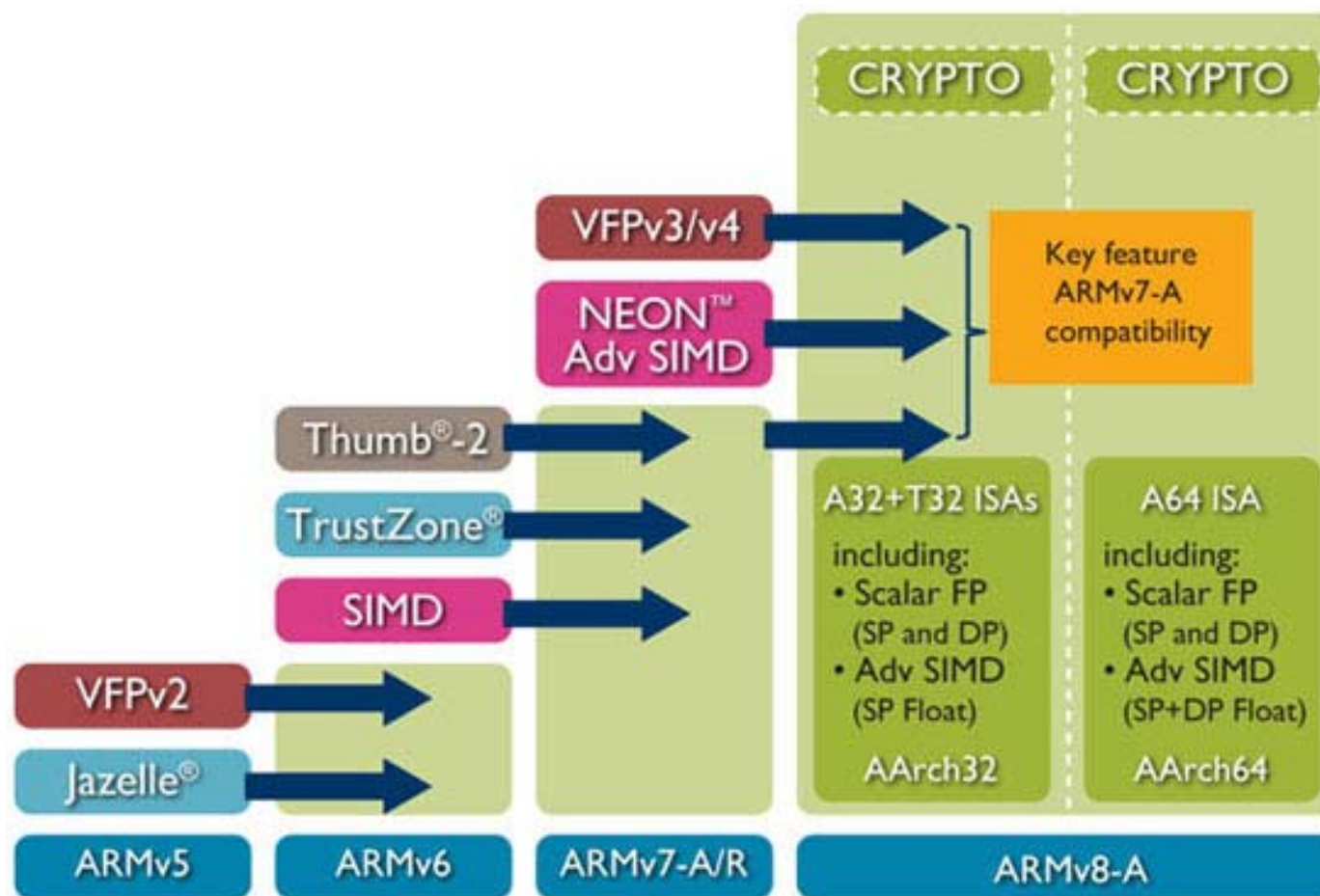
6) ARMv8

- ❖ ARMv8-A 将 64 位架构支持引入 ARM 架构中，其中包括：64 位通用寄存器、SP（堆栈指针）和 PC（程序计数器）64 位数据处理和扩展的虚拟寻址
- ❖ 两种主要执行状态：
 - ◆ AArch64 - 64 位执行状态，包括该状态的异常模型、内存模型、程序员模型和指令集支持
 - ◆ AArch32 — 32 位执行状态，包括该状态的异常模型、内存模型、程序员模型和指令集支持
- ❖ 这些执行状态支持三个主要指令集：
- ❖ **A32**（或 ARM）：32 位固定长度指令集，通过不同架构变体增强部分 32 位架构执行环境现在称为 AArch32。
- ❖ **T32** (Thumb) 是以 16 位固定长度指令集的形式引入的，随后在引入 Thumb-2 技术时增强为 16 位和 32 位混合长度指令集。部分 32 位架构执行环境现在称为 AArch32。
- ❖ **A64**：提供与 ARM 和 Thumb 指令集类似功能的 32 位固定长度指令集。随 ARMv8-A 一起引入，它是一种 AArch64 指令集。
- ❖ ARMv8-A 架构增加了密码扩展作为可选功能。





ARM 架构发展





第三节 ARM微处理器系列

一 ARM系列产品表示含义

ARM 926EJ-S

Family number

7: ARM7

9: ARM9

10: ARM10

11: ARM11

Memory system

2: Cache, MMU, Process ID

4: Cache, MPU

6: Write buffer, no cache

Memory size

0: Cache size (4-128KB)

2: Reduced cache size

6: TCM

Synthesizable

Extensions

E: DSP extension

J: Jazelle extension

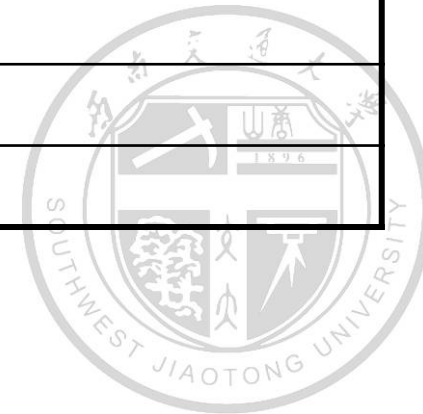
T: Thumb support

...





标志	含义	说明
T	支持Thumb指令集	Thumb指令集版本1: ARMv4T Thumb指令集版本2: ARMv5T Thumb-2: ARMv6T
D	片上调试	使处理器能够停止, 以响应调试请求
M	支持长乘法	32位乘32位得到64位, 32位的乘加得到64位
I	Embedded ICE	提供片上断点和调试点
E	DSP指令	增加了DSP算法处理器指令: 16位乘加指令, 饱和的带符号数的加减法, 双字数据操作, cache预取指令
J	Java加速器Jazelle	提高java代码的运行速度
S	可综合	提供VHDL或Verilog语言设计文件





二 ARM 典型系列微处理器

特点:

- ◆ 低功耗
- ◆ 嵌入式ICE—RT逻辑
- ◆ 0.9MIPS/MHz的3级流水线结构
- ◆ 32位ARM指令集和16位的Thumb指令集
- ◆ 主频最高可达130MHz

ICE: In Circuit Emulation, 在电路仿真

MIPS: Million Instruction Per Second

每秒百万条指令

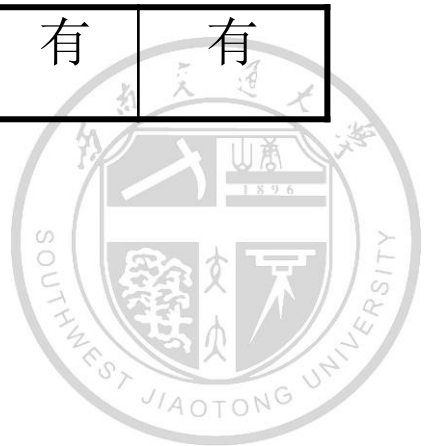




1 ARM7 系列微处理器

	Unified Cache	内存管理	流水线级别	Thumb	DSP	Jazelle
ARM7TDMI	无	无	3	有	无	无
ARM7TDMI-S	无	无	3	有	无	无
ARM710T/720T	8k	MMU	3	有	无	无
ARM740T	8k或4k	Protection Unit	3	有	无	无

ARM7EJ-S	无	无	3	有	有	有
----------	---	---	---	---	---	---





ARM7 系列微处理器

典型芯片：

ATMEL: **AT91M40800/55800A**

Samsung: **S3C44B0/4510B**

ST: **STR710x**

ARM7系列广泛应用于多媒体和嵌入式设备，包括Internet设备、网络和调制解调器设备，以及移动电话、PDA等无线设备。

经典 ARM 处理器的推出时间已超过 15 年，ARM7TDMI® 仍是市场上销量最高的 32 位处理器。每个季度的设备销量超过 10 亿台，或者每秒超过 90 台，并且颁发的许可证超过 500 个





2 ARM9 系列微处理器

特点:

- ◆ 1.1MIPS/MHz 的哈佛结构, 5级流水线
- ◆ 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
- ◆ 全性能的MMU, 支持Windows CE、Linux、Palm OS
等多种主流嵌入式操作系统
- ◆ 支持数据Cache和指令Cache, 具有更高的指令和数据
处理能力

MMU: Memory Management Unit





(1) 存储器系统 Cache

RAM: 随机存取存储器

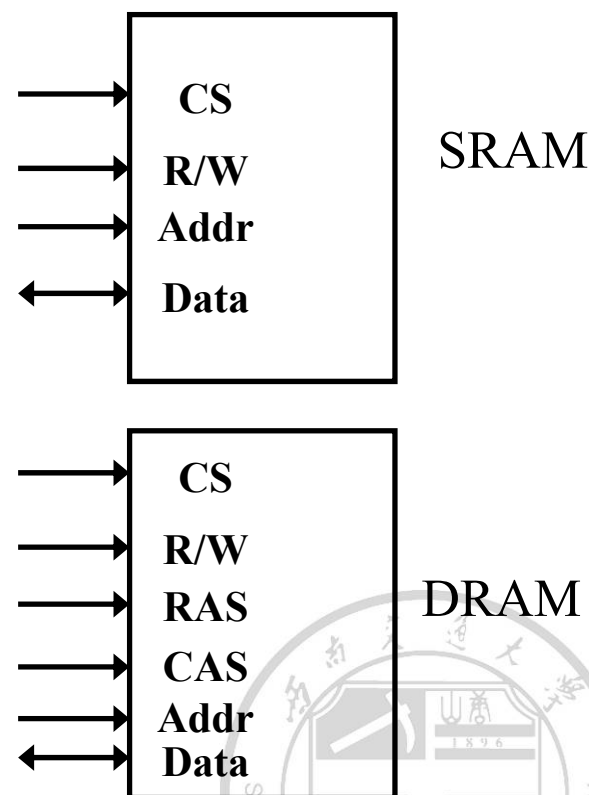
SRAM: 静态随机存储器

DRAM: 动态随机存储器

- 1) SRAM比DRAM快
- 2) SRAM比DRAM耗电多
- 3) DRAM存储密度比SRAM高得多
- 4) DRAM需要周期性刷新

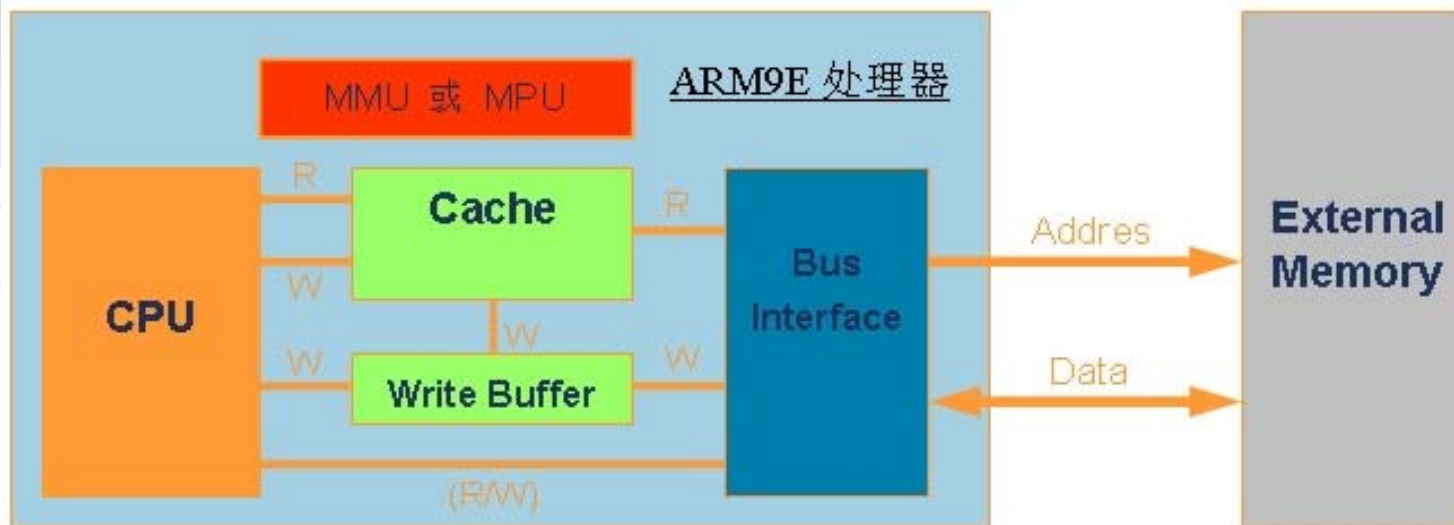
ROM: 只读存储器

FLASH: 闪存





(2) Cache的作用

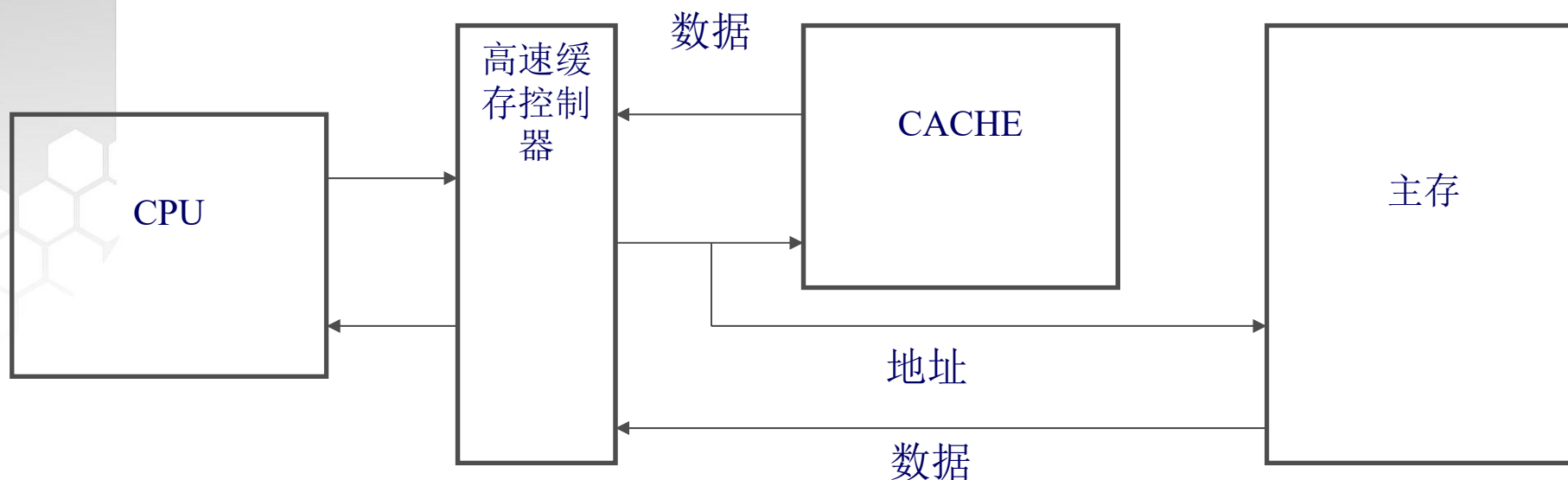


- ❖ 处理器速度远远高于存储器访问速度；
- ❖ 存储器访问成为系统性能的瓶颈，因为处理器需要耗费大量的时间在等待存储器上面。
- ❖ 高速缓存存储最近常用的代码和数据，以最快的速度提供给CPU处理(CPU访问Cache不需要等待)。





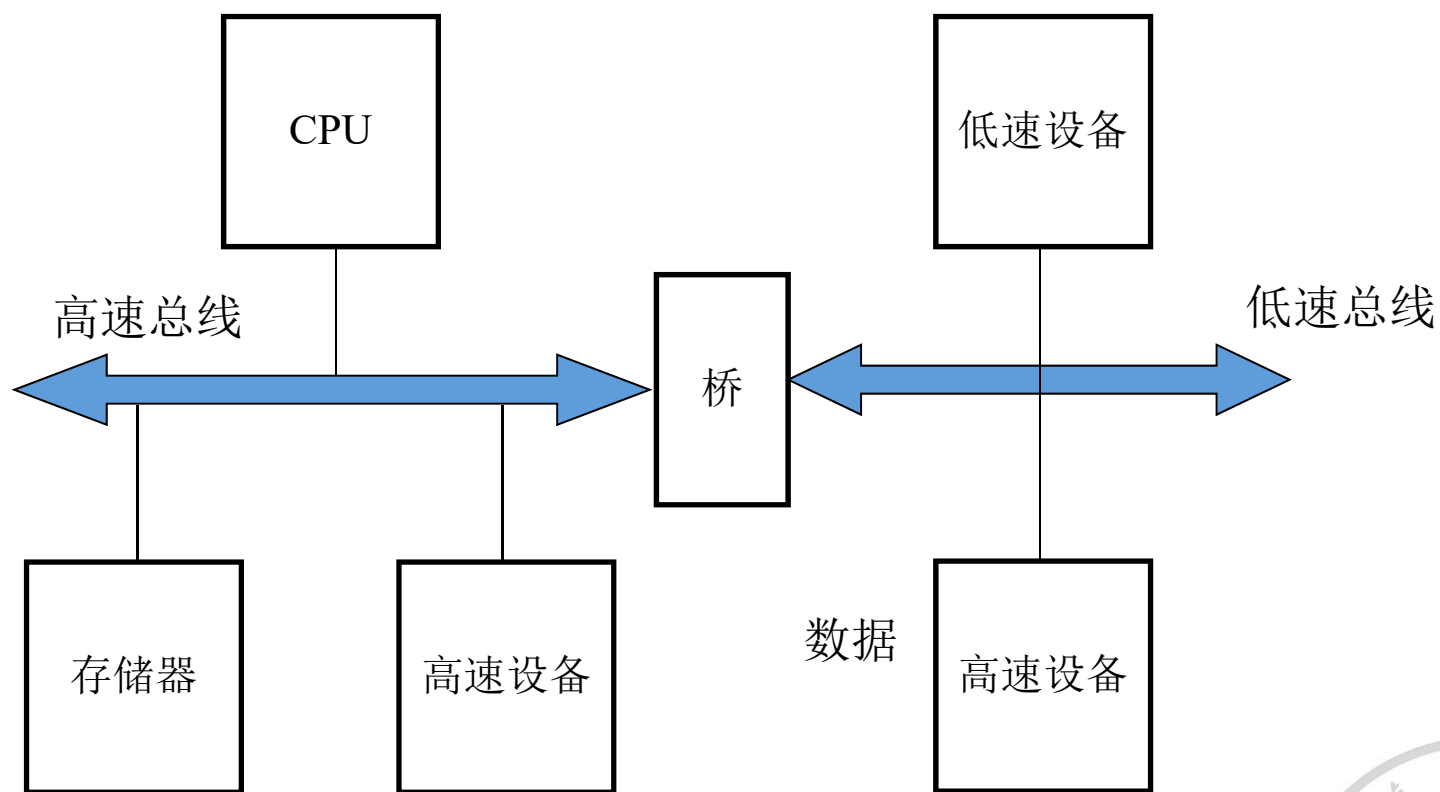
(3) 高速缓存 (CACHE)



当CPU处理数据时，它会先到Cache中去寻找，如果数据因之前的操作已经读取而被暂存其中，就不需要再从随机存取存储器（Main memory）中读取数据——由于CPU的运行速度一般比主内存的读取速度快，主存储器周期（访问主存储器所需要的时间）为数个时钟周期。因此若要访问主内存的话，就必须等待数个CPU周期从而造成浪费。

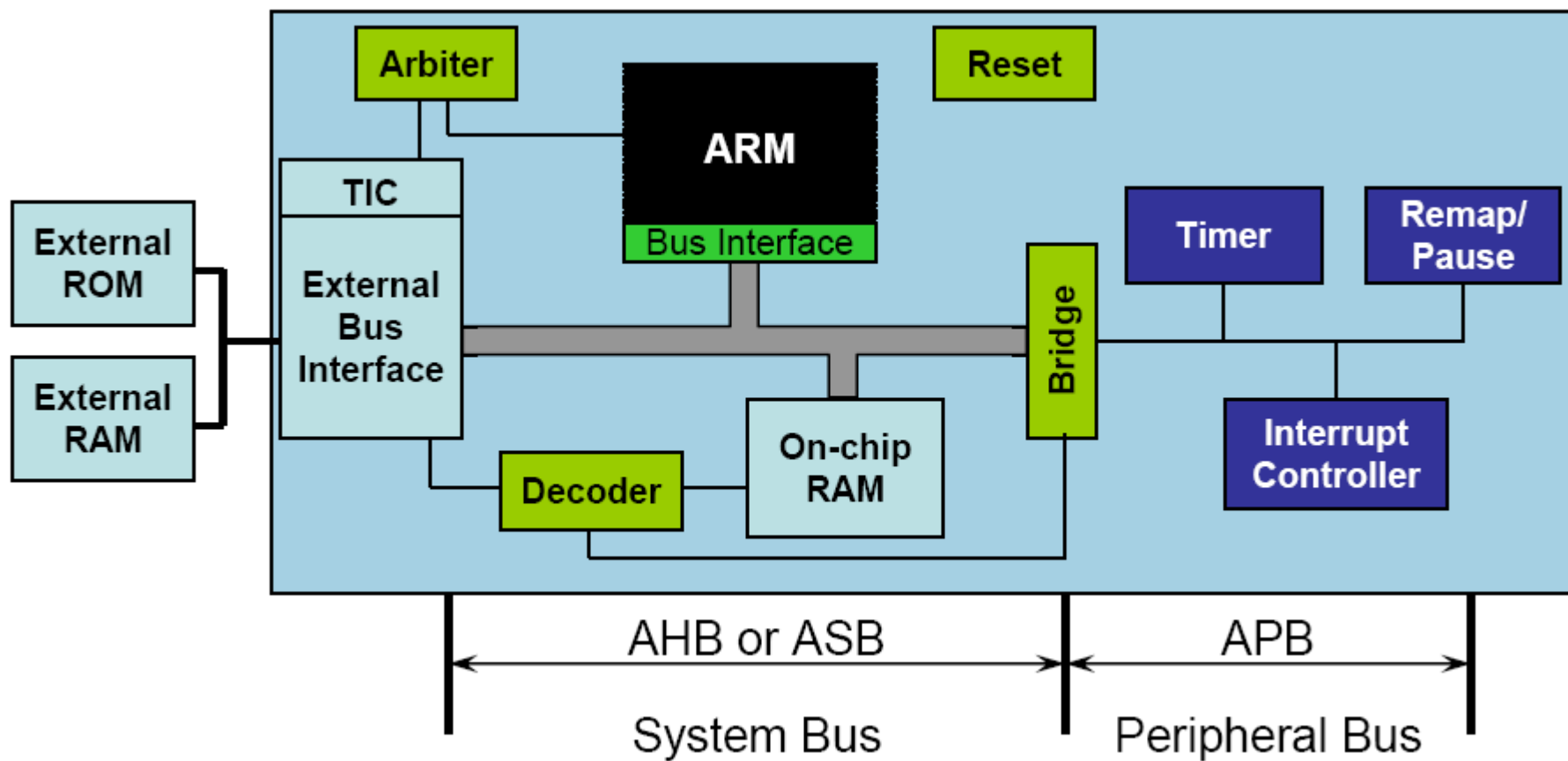


(4) AMBA总线、总线和总线桥





(5) AMBA总线





AMBA总线

ARM微控制器使用的是AMBA总线体系结构

AMBA (Advanced Microcontroller Bus Architecture) 是ARM公司公布的总线标准，先进的AMBA规范定义了三种总线：

- ❖ **AHB总线 (Advanced High-performance Bus)**：用于连接高性能系统模块。它支持突发数据传输方式及单个数据传输方式，所有时序 参考同一个时钟沿。
- ❖ **ASB总线 (Advanced System Bus)**：用于连接高性能系统模块，在不必要适用AHB的高速特性的场合,它支持突发数据传输模式。
- ❖ **APB总线 (Advanced Peripheral Bus)**：是一个简单接口支持低性能的外围接口。





3 典型ARM9系列微处理器

典型芯片：

- ◆ ATMEL: AT91RM9200 (ARM920T)
- ◆ Samsung: S3C2410 (ARM920T)
- ◆ TI: OMAP5910 (ARM925 + C55x)
DaVinci (ARM926EJ-S + C64x)

ARM9系列主要应用于引擎管理、仪器仪表、安全系统和机顶盒等领域。





4 ARM9E系列微处理器

ARM9E系列微处理器为可综合处理器，使用单一的处理器内核提供了微控制器、DSP、Java应用系统的解决方案，极大的减少了芯片的面积和系统的复杂程度。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DSP和微控制器的应用场合。

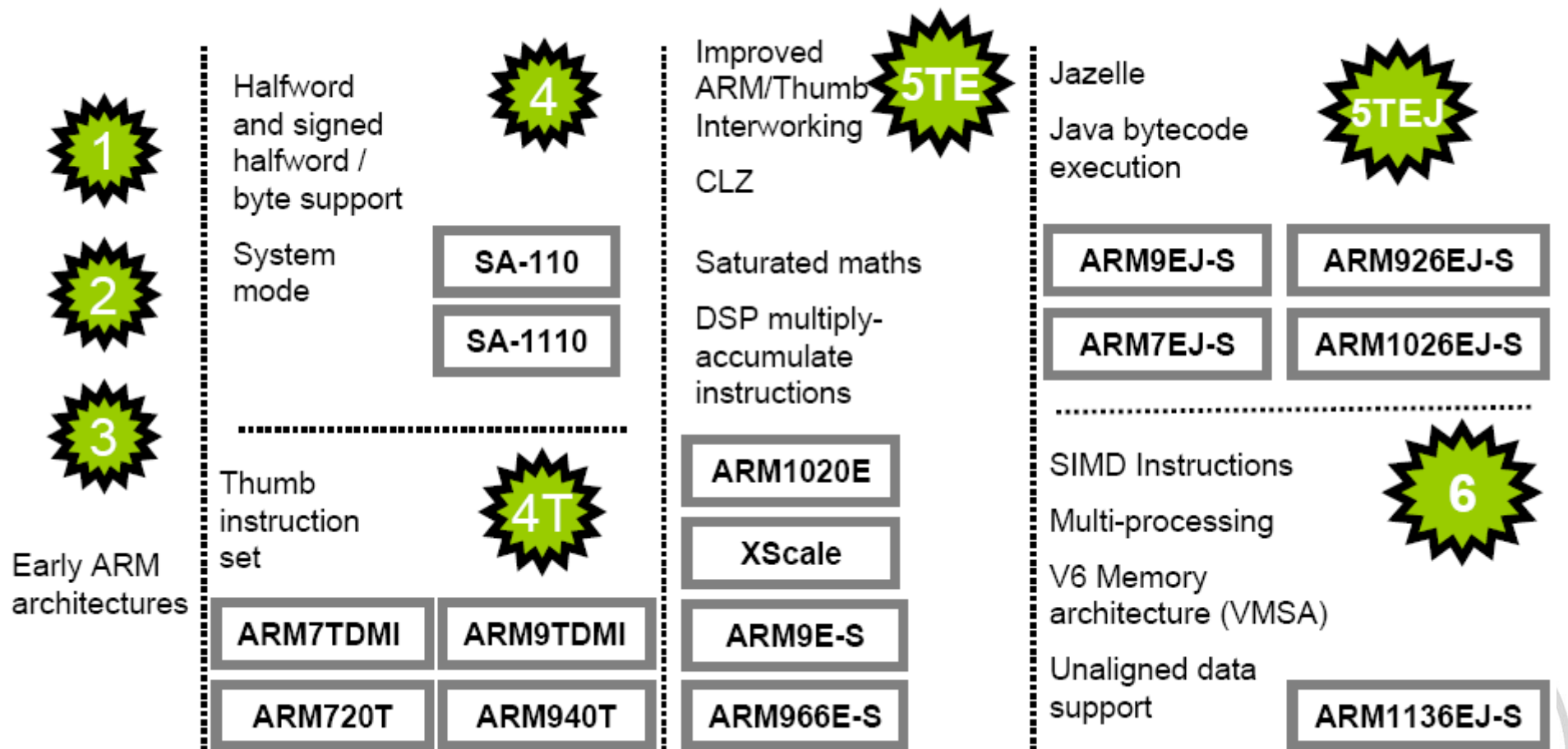
ARM9E系列微处理器的主要特点如下：

- ◆ 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和指令Cache，具有更高的指令和数据处理能力。
- ◆ 主频最高可达300MHz。





ARM架构





三 ARM Cortex系列简介

基于ARMv7版本的ARM Cortex系列产品由A、R、M三个系列组成，具体分类延续了一直以来ARM面向具体应用设计CPU的思路。





1、ARM Cortex系列简介

- ❖ Cortex-M 系列特征：成本低、能耗低和易于使用。应用在必须考虑不同的成本、功耗和性能的各类可兼容、易于使用的嵌入式设备（如微控制器(MCU)）的理想解决方案。每个处理器都针对十分广泛的嵌入式应用范围提供最佳权衡取舍。

ARM Cortex-M0

“8/16 位” 应用
低成本和简单性

ARM Cortex-M3

“16/32 位” 应用
性能效率

ARM Cortex-M4

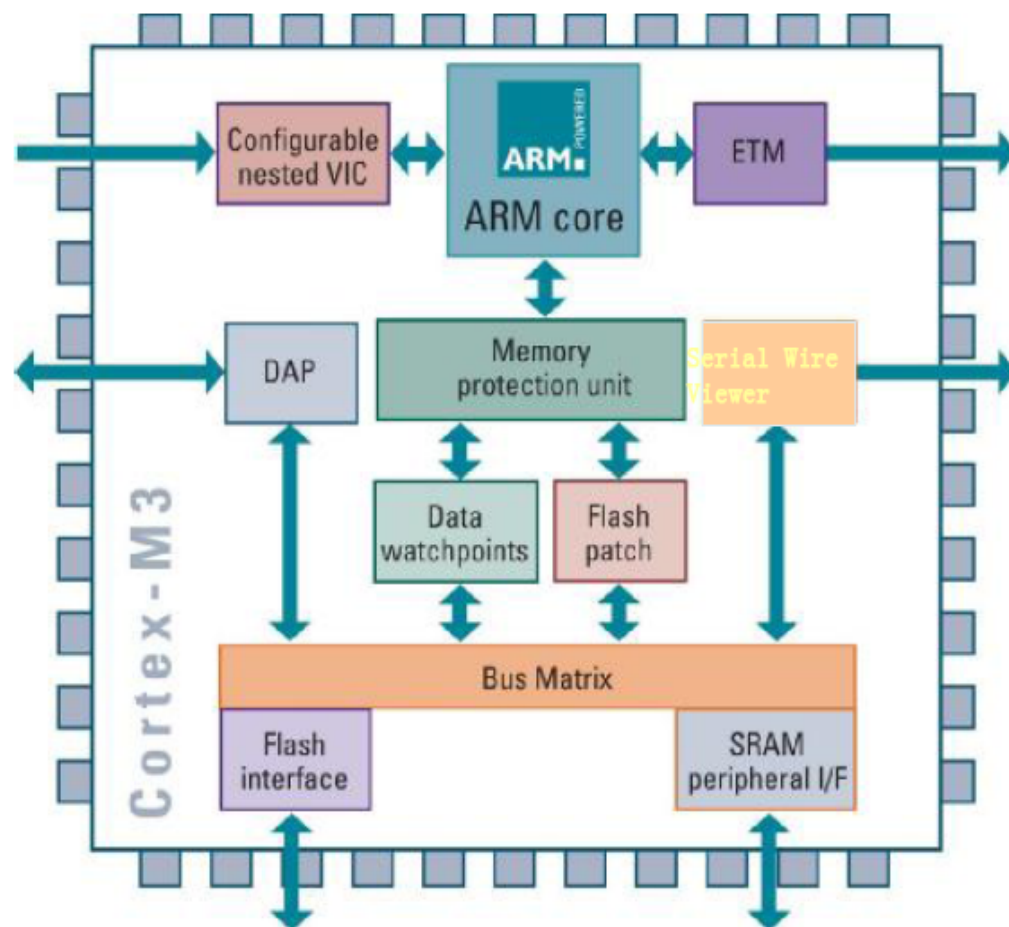
“32 位/DSC”应用
有效的数字信号控制

- ❖ 数字信号控制 (DSC)





2 CortexTM-M3处理器



- ARMv7-M Architecture
 - Thumb-2 only
- Fully programmable in C
- 3-stage pipeline
- von Neumann architecture
- Optional MPU
- AHB-Lite bus interface
- Fixed memory map
- 1-240 interrupts
 - Configurable priority levels
 - Non-Maskable Interrupt support
 - Debug and Sleep control
- Serial wire or JTAG debug
- Optional ETM





3 Cortex™-M3处理器简介

该处理器是首款基于ARMv7-M架构的处理器，采用了纯Thumb2指令的执行方式，具有极高的运算能力和中断相应能力。

Cortex-M3主要应用于汽车车身系统，工业控制系统和无线网络等对功耗和成本敏感的嵌入式应用领域。目前最便宜的基于该内核的ARM单片机售价为1美元。

例如：

意法半导体公司：STM32F103

TI公司：LM3S811

ATMEL公司：ATSAM3U

NXP公司（恩智浦半导体）公司：LPC1768

Cortex-M3内核





4 CortexTM-M3处理器特点

- ▶ 提供更高的性能和更丰富的功能
 - ▶ 是专门针对微控制器应用开发的主流 ARM 处理器。
- ▶ 性能和能效
 - ▶ 具有高性能和低动态能耗，Cortex-M3 处理器提供领先的功效：在 90nmG 基础上为 12.5 DMIPS/mW。将集成的睡眠模式与可选的状态保留功能相结合，Cortex-M3 处理器确保对于同时需要低能耗和出色性能的应用不存在折衷。
- ▶ 全功能
 - ▶ 该处理器执行 Thumb[®]-2 指令集以获得最佳性能和代码大小，包括硬件除法、单周期乘法和位字段操作。Cortex-M3 NVIC 在设计时是高度可配置的，最多可提供 240 个具有单独优先级、动态重设优先级功能和集成系统时钟的系统中断。
- ▶ 丰富的连接
 - ▶ 功能和性能的组合使基于 Cortex-M3 的设备可以有效处理多个 I/O 通道和协议标准，如 USB OTG (On-The-Go)。



四 Cortex-R

❖ ARM Cortex嵌入式处理器应用领域

Cortex-R系列基本特征

- 快速
- 确定性
- 安全
- 成本效益



Cortex-M系列应用领域



Cortex-R系列应用领域





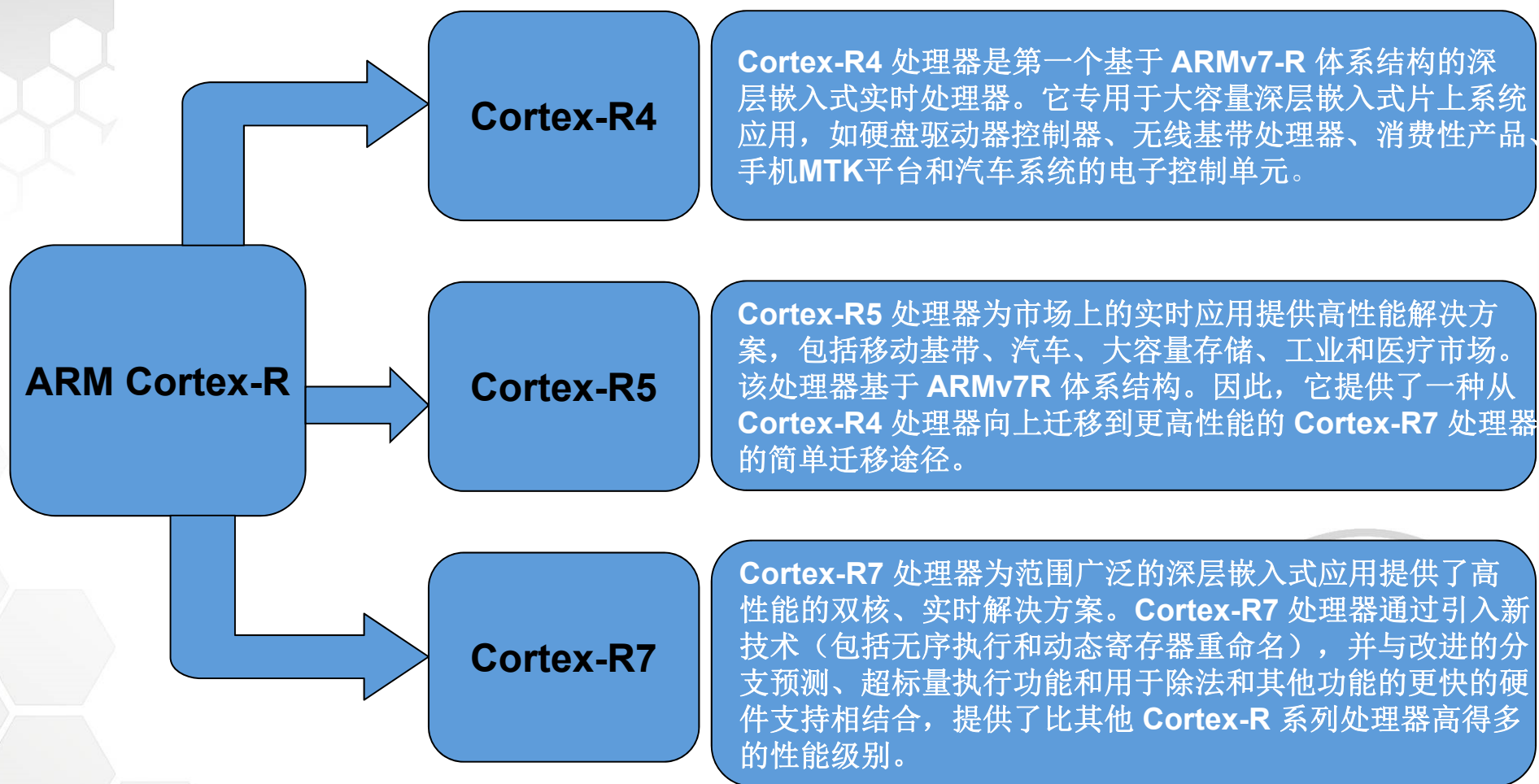
四 Cortex-R

- ❖ ARM Cortex™-R 实时处理器为具有严格的实时响应限制的深层嵌入式系统提供高性能计算解决方案。目标应用包括(R4,R5,R7)
 - ◆ 智能手机和基带调制解调器中的移动手机处理。
 - ◆ 企业系统，如硬盘驱动器、联网和打印。
 - ◆ 家庭消费性电子产品、机顶盒、数字电视、媒体播放器和相机。
 - ◆ 用于医疗行业、工业和汽车行业的可靠系统的嵌入式微控制器。





ARM Cortex-R系列处理器简介





五 Cortex-A处理器

❖ 1 Cortex™-A处理器应用场景

产 品 类 型	应 用
计算	上网本、智能本、输入板、电子书阅读器
手机	智能手机、特色手机
数字家电	机顶盒、数字电视、蓝光播放器、游戏控制台
汽车	信息娱乐、导航
企业	激光打印机、路由器、无线基站、VOIP 电话和设备
无线基础结构	Web2.0、无线基站、交换机、服务器





2 ARM Cortex A系列简介

- ❖ Cortex-A 处理器适用于具有高计算要求、运行丰富操作系统以及提供交互媒体和图形体验的应用领域。从最新技术的移动 Internet 必备设备（如手机和超便携的上网本或智能本）到汽车信息娱乐系统和下一代数字电视系统。
- ❖ Cortex-A5、Cortex-A8、Cortex-A9 和 Cortex-A15
- ❖ Cortex-A53、Cortex-A57、Cortex-A72 和 Cortex-A73





3 ARM Cortex V7

- ❖ ARM Cortex系列处理器核包括
- ❖ Cortex-A系列（高性能，具备MMU，可以运行如Symbian、Linux、Android，Windows CE等操作系统）、
- ❖ Cortex-R系列（高端嵌入式满足高性能高可靠性的实时需求）、
- ❖ Cortex-M（嵌入式单片机，低功耗，低成本）。

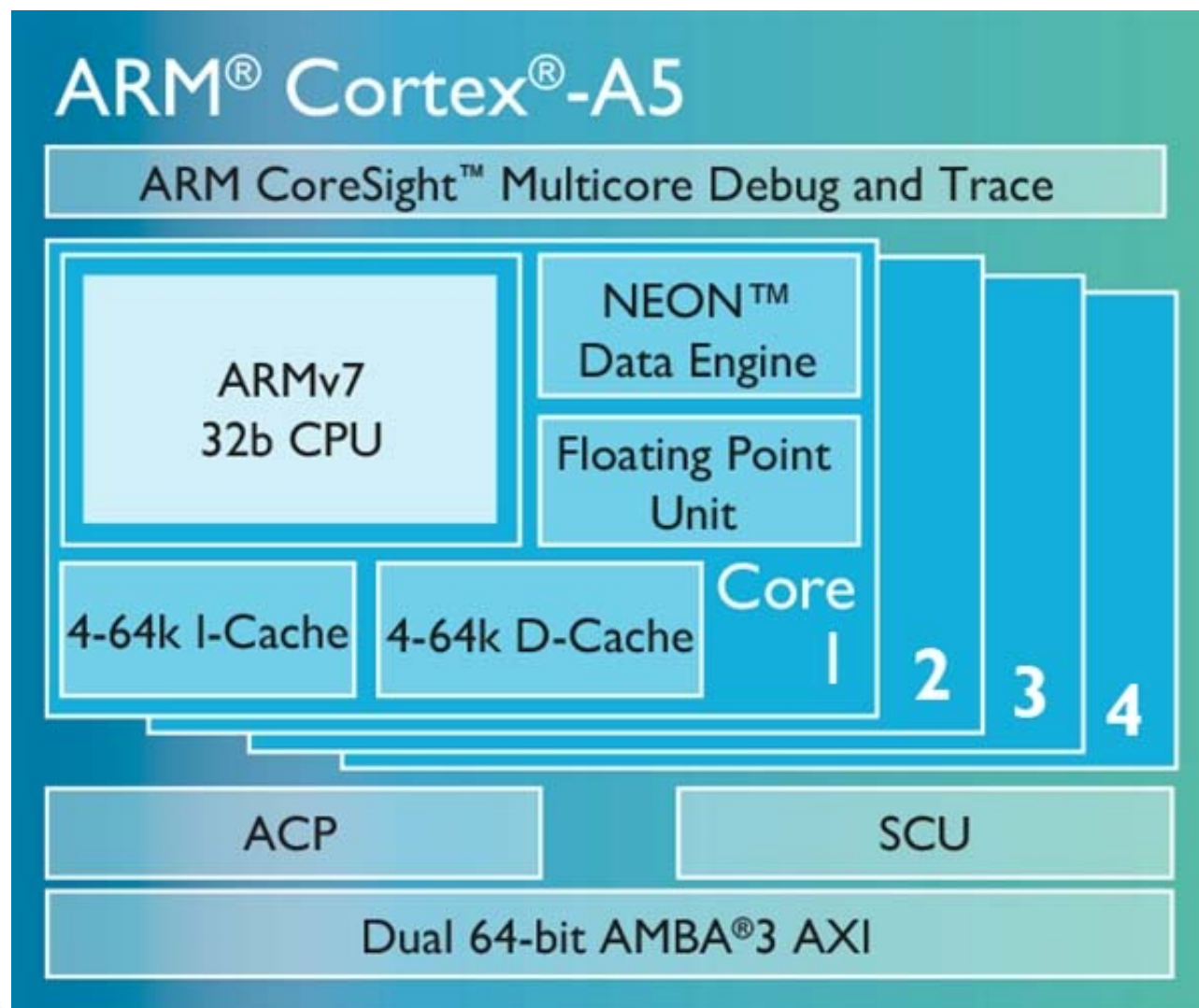
v7-A (Applications)	v7-R (Real Time)	v6-M/v7-M (Microcontroller)
Cortex-A5 (Single/MP)	Cortex-R4	Cortex-M0+ (ARMv6-M)
Cortex-A7 (MP)	Cortex-R5	Cortex-M0 (ARMv6-M)
Cortex-A8 (Single)	Cortex-R7	Cortex-M1 ? (ARMv6-M)
Cortex-A9 (Single/MP)		Cortex-M3 ? (ARMv7-M)
Cortex-A15 (MP)		Cortex-M4(F) (ARMv7E-M)





4 A5 处理器结构图

69





5 Cortex-A5特点

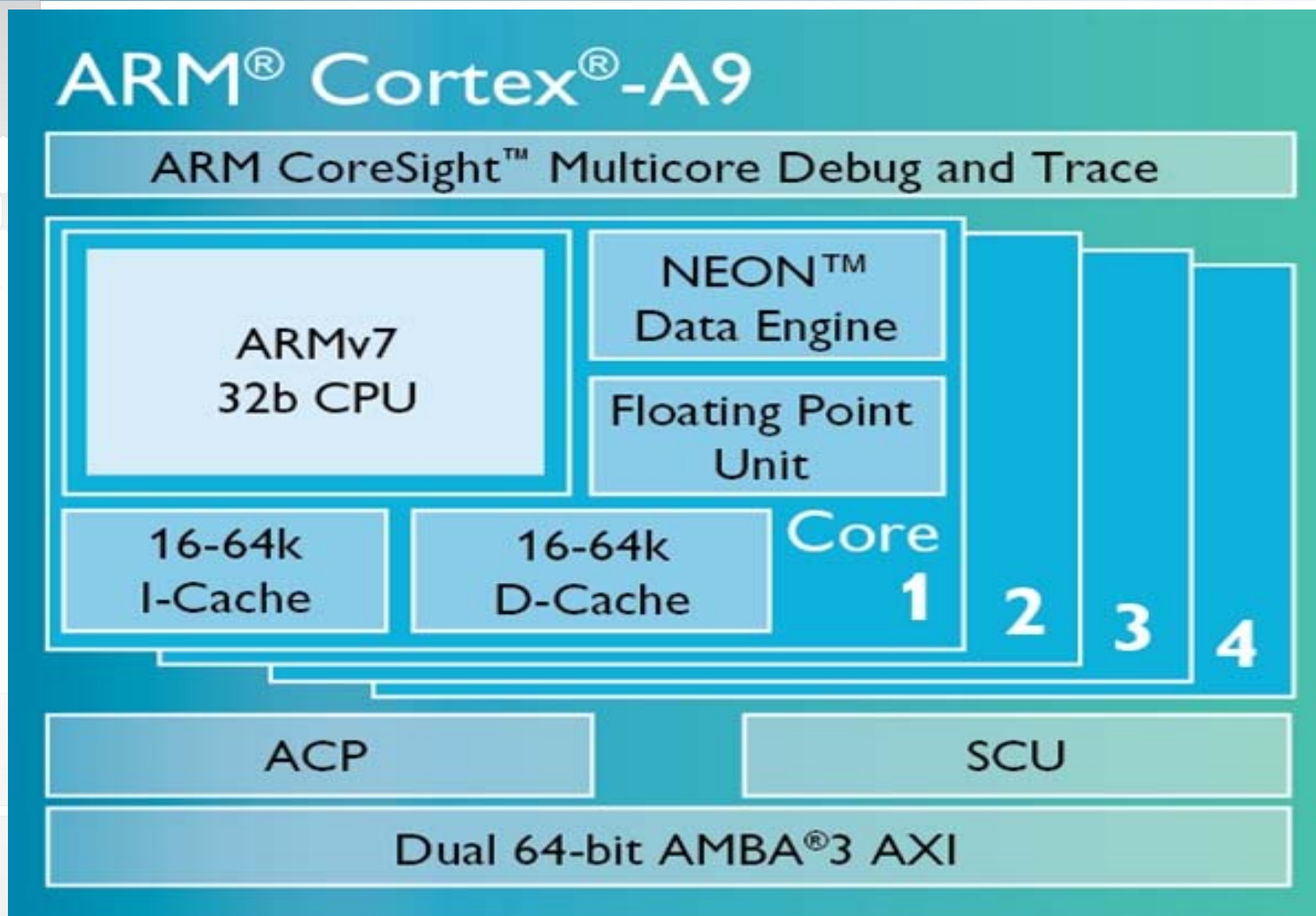
- ❖ Cortex-A5是ARM公司目前能效最高、成本最低的32位处理器ARM Cortex™-A5 处理器是能效最高、成本最低的处理器，能够向最广泛的设备提供 Internet 访问：从入门级智能手机、低成本手机和智能移动终端到普遍采用的嵌入式、消费类和工业设备。
- ❖ Cortex-A5 处理器可为现有 ARM926EJ-S™ 和 ARM1176JZ-S™ 处理器设计提供很有价值的迁移途径。它可以获得比 ARM1176JZ-S 更好的性能，比 ARM926EJ-S 更好的功效和能效以及 100% 的 Cortex-A 兼容性。





6 A9 结构图

71





7 A9的特点

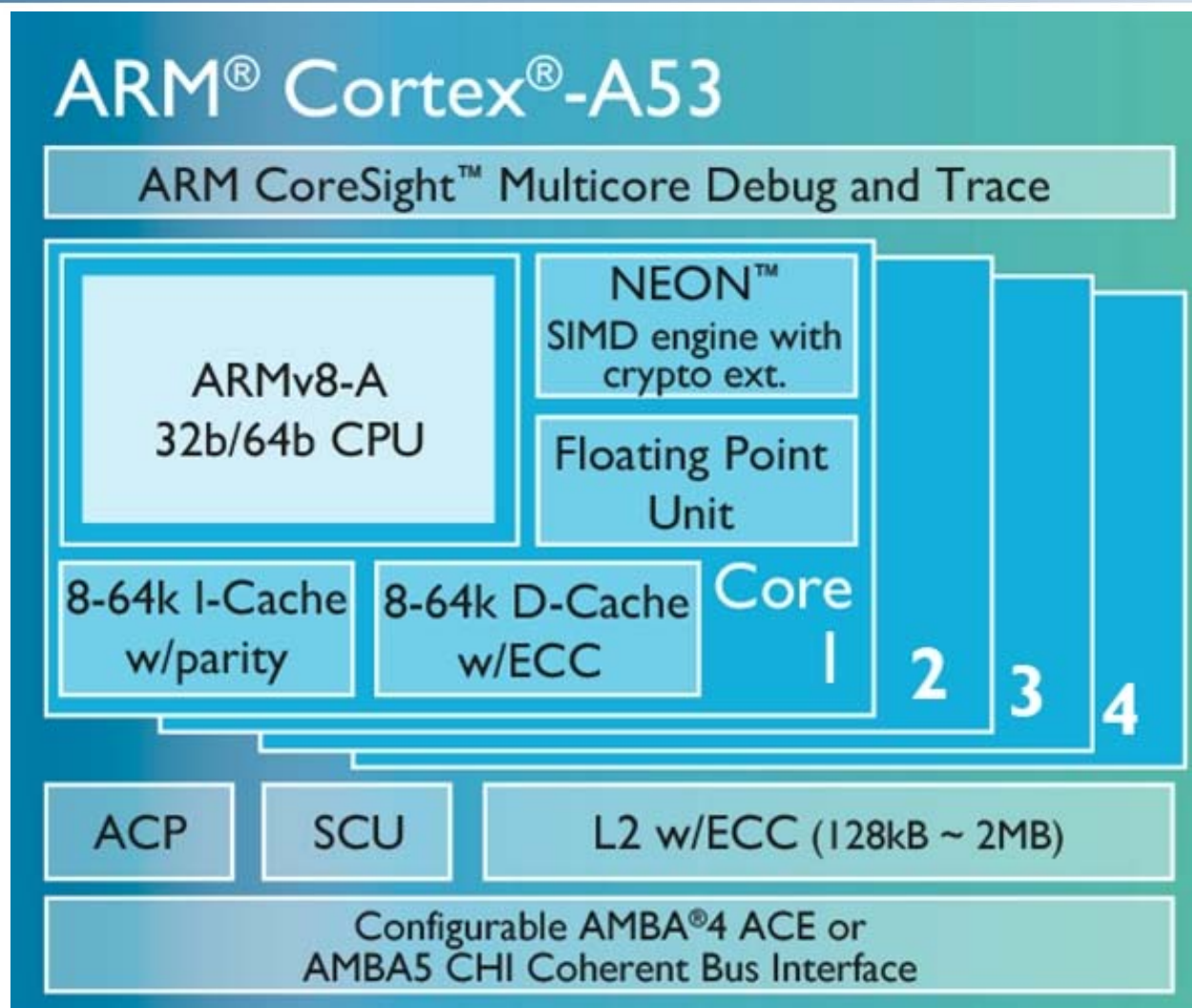
- ❖ ARM Cortex™-A9 处理器提供了史无前例的高性能和高能效，从而使其成为需要在低功耗或散热受限的成本敏感型设备中提供高性能的设计的理想解决方案。它既可用作单核处理器，也可用作可配置的多核处理器，同时可提供可合成或硬宏实现。该处理器适用于各种应用领域，从而能够对多个市场进行稳定的软件投资。
- ❖ Cortex-A9架构在手机处理器领域中是最辉煌的了，它既不像A7那样过于注重低功耗而牺牲了性能，也不像A15架构那样追求性能（A15架构本来是ARM针对服务器市场推出的），A9的性能、功耗比较均衡，而且A9的时代正好是手机处理器从单核向双核转变的时间，双核及后来的四核A9架构中出了不少代表性的处理器，包括苹果一鸣惊人的A5/A5X、NVIDIA的Tegra 2/3、Ti公司的OMAP 4430/4460、三星的Exynos 4210、华为海思的K3V2等等，高通备受好评的Krait架构也是基于A9架构改良的。





8 A53结构图

73





9 A53特点

Cortex-A53

功耗效率最高, 全球最小的64位处理器。

- ❖ A9处理器是32位时代智能手机应用的成功代表, 那么Cortex-A53架构 就是64位时代智能手机处理器架构的代表, 它原本是ARM针对64位应用推出的低功耗架构, **定位类似之前的Cortex-A7, 低功耗低核心面积低成本低发热**, 应该用作big.LITTLE架构中的小核心的。同期推出的Cortex-A57架构 同样面临功耗、发热的难题, 再加上厂商们在8核路线上已经不能自拔, 所以大部分厂商索性全部使用A53核心做8核处理器, 目前最受欢迎的联发科Helio X10/MT6795、MT6753/6752、海思麒麟930/620、高通骁龙615/616/617等处理器都是这种架构的。





10 Cortex-A72处理器

- ❖ 联发科就在 MWC 2015 上推出了全球首款采用 Cortex-A72 方案的处理器——MT8173。其处理器性能可以碾压高通骁龙 810。
- ❖ MT8173 是一款针对平板电脑设计的处理器，可以输出 4K 超高分辨率的影音内容，MT8173 采用 64 位大小核(big.LITTLE)架构，搭载 2 颗 Cortex-A72 及 2 颗 Cortex-A53 处理器





A72的代表芯片

- ❖ 骁龙650：高通，台积电28nm HPM工艺，双核A72 1.8GHz加四核A53 1.4GHz
- ❖ 骁龙652：高通，台积电28nm HPM工艺，四核A72 1.8GHz加四核A53 1.4GHz
- ❖ MT8173：联发科，台积电28nm HPM工艺，双核A72 2.0GHz加四核A53 1.6GHz
- ❖ MT8176：联发科，台积电28nm HPM工艺，双核A72 2.0GHz加四核A53 1.6GHz
- ❖ 麒麟950：华为海思，台积电16nm FinFET+工艺，四核A72 2.3GHz加四核A53 1.8GHz
- ❖ Helio X20 MT6797：联发科，台积电20nm HPM工艺，双核A72 2.7GHz(?)加四核A53 2.0GHz再加四核A53 1.4GHz。
- ❖ 高通和联发科都有六核、八核这样的“兄弟款”，联发科也是唯一一个做十核的，麒麟950则是唯一一个使用16nm FinFET+工艺的，这方面最为领先。它们都是台积电代工的。





第四节ARM微处理器的应用选型

- ❖ 要选好一款处理器，要考虑的因素很多，不单单是纯粹的硬件接口，还需要考虑相关的操作系统、配套的开发工具、仿真器，以及工程师微处理器的经验和软件支持情况等。
- ❖ 在产品开发中，作为核心芯片的微处理器，其自身的功能、性能、可靠性被寄予厚望，因为它的资源越丰富、自带功能越强大，产品开发周期就越短，项目成功率就越高。但是，任何一款微处理器都不可能尽善尽美，满足每个用户的需要，所以这就涉及选型的问题。





1 应用领域

❖ ARM微处理器包含一系列的内核结构，应正确选型以适应不同的应用领域； 一个产品的功能、性能一旦定制下来，其所在的应用领域也随之确定。应用领域的确定将缩小选型的范围，例如：工业控制领域产品的工作条件通常比较苛刻，因此对芯片的工作温度通常是宽温的，这样就得选择工业级的芯片，民用级的就被排除在外。目前，比较常见的应用领域分类有航天航空、通信、计算机、工业控制、医疗系统、消费电子、汽车电子等。





2 操作系统支持

- ❖ 如果希望使用WinCE或标准Linux等操作系统以减少软件开发时间，就需要选择ARM720T以上带有MMU（Memory Management Unit）功能的ARM芯片，ARM720T、ARM920T、ARM922T、ARM940T、Strong-ARM都带有MMU功能；
- ❖ 如果希望使用ucLinux等不需要MMU支持的操作系统，就可以选择诸如ARM7TDMI这一没有MMU功能的ARM微处理器系列。





3 芯片资源

- ◆ 处理能力要求——系统时钟在很大程度上决定了微处理器的处理能力。常见的ARM7芯片系统主时钟频率为20~133MHz
 - 常见的ARM9芯片的系统主时钟频率为100~233MHz
- ◆ 片内存储器的容量 在不需要大容量存储器时,可以考虑选用有内置存储器的ARM芯片

芯片型号	供应商	FLASH容量	ROM容量	SRAM容量
AT91F40162	ATMEL	2M Bytes	256K bytes	4K Bytes
AT91FR4081	ATMEL	1M Bytes		128K
SAA7750	Philips	384K Bytes		Bytes
PUC3030A	Micronas	256K Bytes		64K bytes
HMS30C7202	Hynix	192K Bytes		56K bytes
ML67Q4001	OKI	256K Bytes		
LC67F500	Snayo	640K Bytes		32K bytes





3 芯片资源

◆ 芯片功耗

- ◆ 片内扩展模块的选择——几乎所有的ARM芯片均需要根据各自不同的应用领域，扩展相关功能模块，并集成在芯片内部，称之为片内扩展模块。

USART (UART/SCI) 、 IIC、 SPI、 USB (HOST/DEVICE)、
IrDA、 Ethernet (MAC) 、 IIS/AC97、 LCD、
Keypad、 RTC、 ADC、 DAC、 DSP协处理器等





4 ARM微处理器的应用选型

◆ 生产商的选择

现在的趋势是买服务，也就是买技术支持。一个好的公司的技术支持能力相对比较有保证，所以选芯片时最好选择知名的半导体公司。

另外，芯片的成熟度取决于用户的使用规模及使用情况。选择市面上使用较广的芯片，将会有比较多的共享资源，给开发带来许多便利。

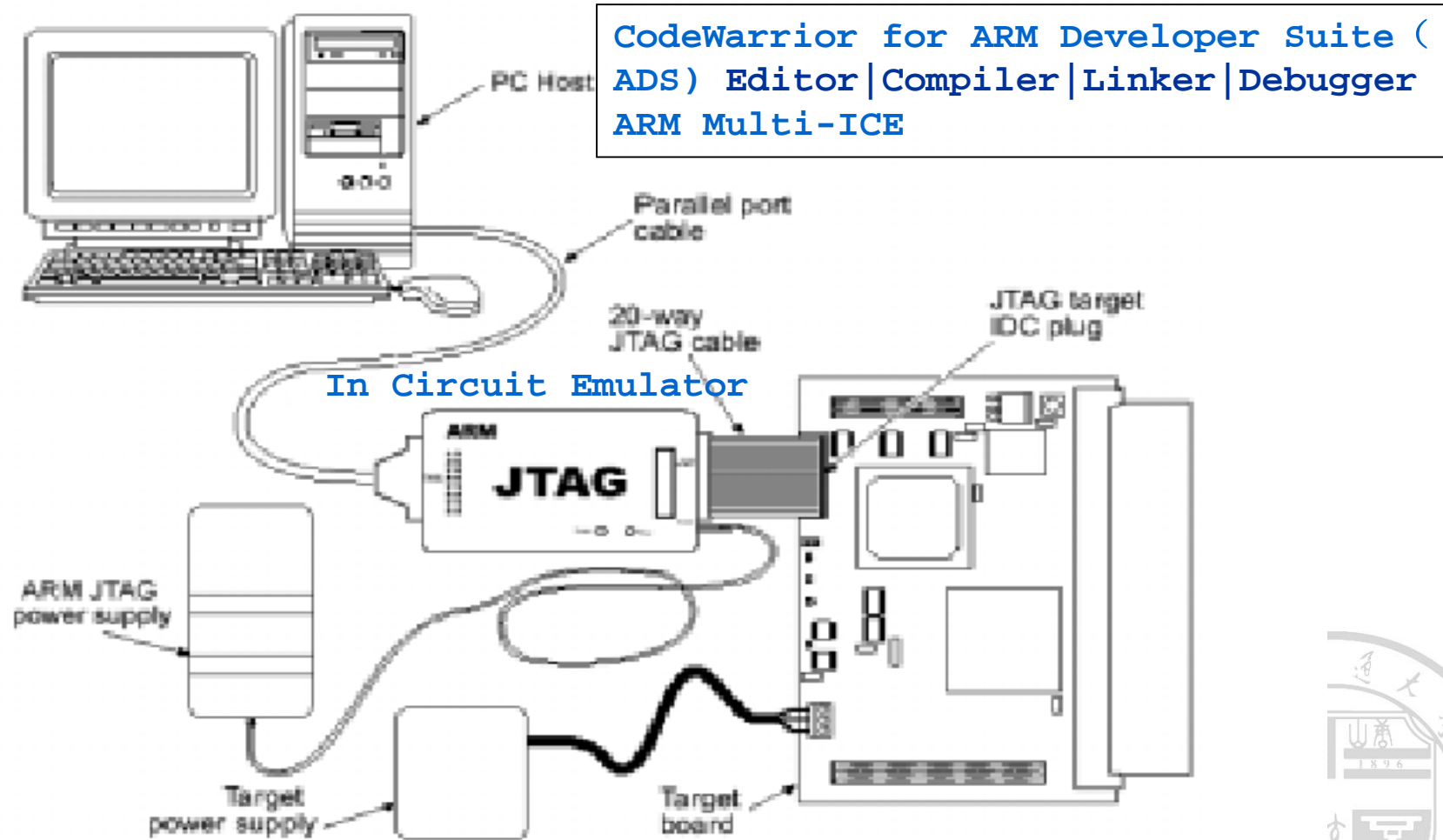
◆ 多芯核结构的选择——某些供应商提供的ARM芯片内置多个处理器内核。如ARM+DSP、ARM+FPGA、ARM+ARM等

◆ 处理器封装的选择——ARM芯片现在主要的封装有QFP、TQFP、PQFP、LQFP、BGA、LBGA等形式。





5 ARM应用系统开发工具





思考题

- ❖ 简述 RISC技术的特点，与CISC相比，其优点是什么？
- ❖ 什么是ARM 流水线技术，有何作用？
- ❖ 简述ARM核有哪些系列？及其特点？其所采用ARM的指令集版本？

