

高性能嵌入式处理器技术 发展趋势及对策!

张志敏 研究员/博导

计算机体系结构国家重点实验室
中国科学院计算技术研究所

2016/1/13



嵌入式系统联谊会
www.esbf.org.cn

提纲

- 引言
- 发展历史
- 技术特点
- 发展趋势
- 知识产权
- 应对之策
- 结束语

提纲

- 引言
- 发展历史
- 技术特点
- 发展趋势
- 知识产权
- 应对之策
- 结束语

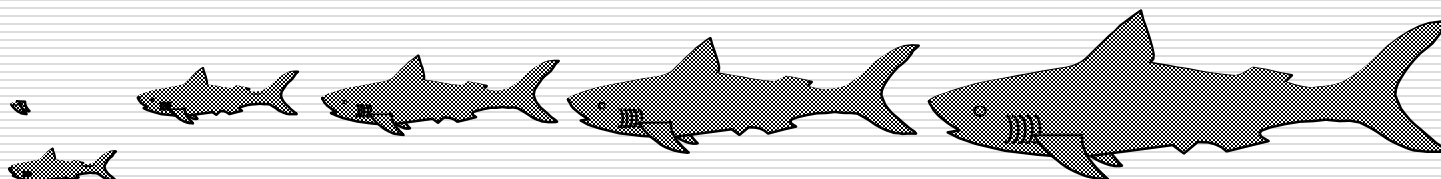
引言

- 计算机领域存在“小鱼吃大鱼”现象
- 嵌入式处理器无处不在
- SoC设计时代到来



引言

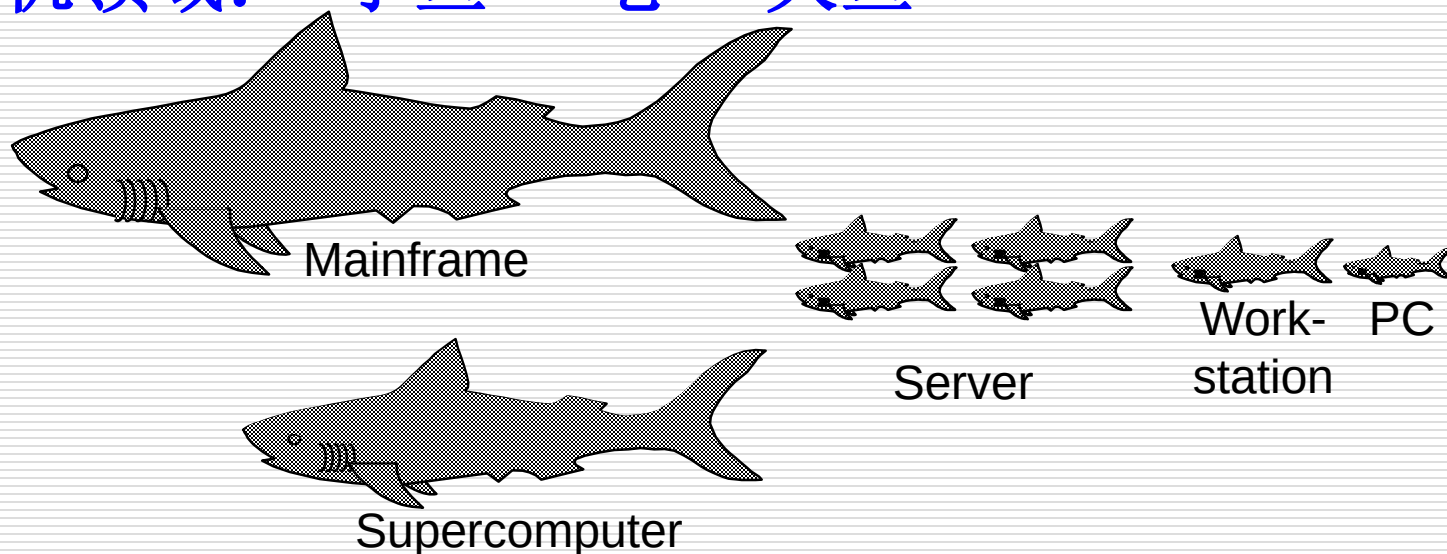
◆ 自然界：“大鱼”吃“小鱼”



Big Fishes Eating Little Fishes

引言

◆ 计算机领域：“小鱼”吃“大鱼”



Why?

- ◆ 深亚微米技术（摩尔、能耗比）
- ◆ 计算机体系结构技术

Now who is eating whom?

SoC (System on a Chip)



引言

- 计算机领域存在“小鱼吃大鱼”现象
- 嵌入式处理器无处不在
- SoC设计时代到来

引言

➤ 嵌入式处理器无处不在 嵌入式处理器市场巨大

- 嵌入式处理器占98%
- 每个家庭消费几十个CPU，美国家庭平均60多个
- 全球嵌入式处理器年出货量100多亿只

应用领域：

- 手机、汽车、家电、玩具、制造装备、便携电子产品
- 。 。 。

引言

- 计算机领域存在“小鱼吃大鱼”现象
- 嵌入式处理器无处不在
- **SoC**设计时代到来



引言

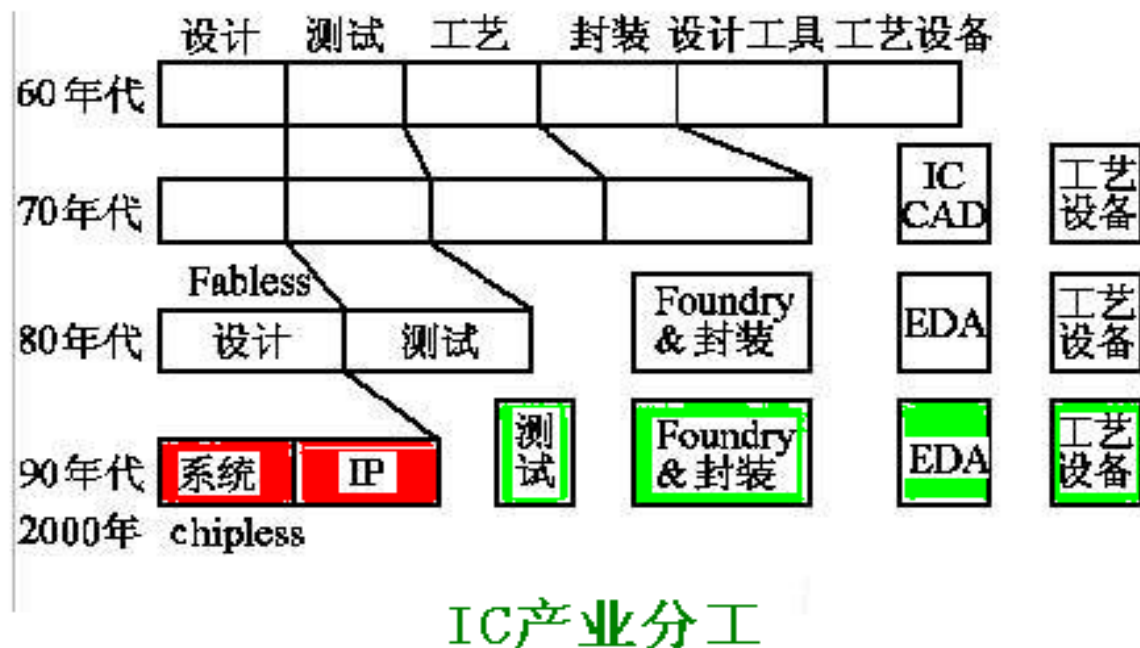
➤ SoC设计时代到来

◆ 电子产品追求:

- 低功耗, 节能
- 高可靠, 耐用
- 低成本, 价廉
- 微型化, 易携
- 适用性, 节约
- 。 。 。

引言

➤ SoC设计时代到来



提纲

高性能嵌入式处理器

- 引言
- 发展历史
- 技术特点
- 发展趋势
- 知识产权
- 应对之策
- 结束语



发展历史

- 何谓嵌入式处理器？
- 嵌入式处理器发展历程
- 嵌入式处理器与嵌入式系统螺旋式发展

➤ 何谓嵌入式处理器？

- 具有指令集
- 具有运算执行单元
- 有访存部件
- 集成有一定的I/O设备
- 低功耗



发展历史

- 何谓嵌入式处理器？
- 嵌入式处理器发展历程
- 嵌入式处理器与嵌入式系统螺旋式发展

➤ 嵌入式处理器发展历程

◆ 上世纪70年代

以4位、8位处理器为主：

- 1971 年，英特尔公司推出了世界上第一款微处理器4004
- 8008/8080，英特尔公司
- Motorola同时推出了68HC05
- Zilog公司推出了Z80系列

◆ 上世纪80年代

以8位单片机、16位处理器为主：

- Intel完善8048，研制成功了8051
- Intel8088/8086/80186
- Motorola 68000



➤ 嵌入式处理器发展历程

◆ 上世纪90年代

以16位单片、32位处理器为主：

- TI的MSP430系列
- MOTOROLA的68HC11
- TOSHIBA、HITACH、NEC、EPSON、MITSUBISHI等推出多种产品
- Ti DSP系列

◆ 本世纪初

以32位SoC为主，MCU、单片机共存：

- ARM系列
- MIPS系列
- SPARC
- POWER PC
- M*Core（国内）
- 龙芯SoC（国内）



发展历史

- 何谓嵌入式处理器？
- 嵌入式处理器发展历程
- 嵌入式处理器与嵌入式系统螺旋式发展

➤ 发展历史嵌入式处理器发展历程

◆ 嵌入式处理器飞速发展使嵌入式计算成为一门学科

- 研究嵌入式系统的设计原理及技术；
- 提供系统的设计方法和开发工具；
- 推动嵌入式计算学科的关键技术发展。

◆ 嵌入式处理器和嵌入式软件交替的双螺旋式发展

- 基于8位、16位嵌入式系统得到快速发展；
- 32位的嵌入式系统产品日趋主流；
- 64位的嵌入式系统市场正在培育；
- 嵌入式操作系统不断推陈出新。



提纲

高性能嵌入式处理器

- 引言
- 发展历史
- 技术特点
- 发展趋势
- 知识产权
- 应对之策
- 结束语



技术特点

- 嵌入式处理器分类
- 嵌入式处理器特点
- 与通用处理器差异
- SoC芯片技术原理



技术特点

- 嵌入式处理器分类
- 嵌入式处理器特点
- 与通用处理器差异
- SoC芯片技术原理



➤ 嵌入式处理器分类

◆ 按ISA分类

序号	指令集体系结构	处理器代表	制造商
1	AMD	Au1100/1500	Advanced Micro Devices
2	ARM	ARM7/9/11	ARM
3	C16X	C167CS,C165H	Infineon
4	ColdFire	5282,5272	Motorola/Frescale
5	I960	I960	Vmetro
6	M32/R	32170,32180,	Mitsubishi
7	M*Core	MMC2113/2114	Motorola, 苏州国芯
8	MIPS32	R3k/4k/5k/16	MIPSTechnologies, IDT, MT14Kx, 龙芯
9	NEC	Vr55xx/41xx//54xx	NEC Corporation
10	PowerPC	82xx/74xx/8xx/7xx	IBM



➤ 嵌入式处理器分类

序号	指令集体系结构	处理器代表	制造商
11	68k	680x0/683xx	Motorola/Frescale
12	SuperH	SH37702/7707,SH4	Hitachi
13	SHARC	SHARC	Analog Devices
14	Strong ARM	Strong ARM	Intel
15	SPARC	UltraSPARC II	Sun Microsystem
16	TMS320C6xxx	TMS320C6431/...	TI
17	X86	STPC-ELITE	ST
18	TriCore	TriCore1/2	Infineon



➤ 嵌入式处理器分类

◆ 按产品形态分类

- MCUs: 4-bit, 8-bit, 16-bit, 32-bit.
- MPUs: x86, Power Architecture, MIPS, etc.
- DSPs: All Traditional DSPs. SoC DSPs used in many cell phone handsets are not covered in detail.
- FPGAs: All Programmable Logic Devices and FPGAs.
(带IP软核)
- SoC: 品种繁多, 1000种以上。

➤ 嵌入式处理器分类

◆ 还可以按

- 性能
- 用途
- 。 。 。



技术特点

- 嵌入式处理器分类
- 嵌入式处理器特点(略)
- 与通用处理器差异(略)
- SoC芯片技术原理

技术特点

- 嵌入式处理器分类
- 嵌入式处理器特点
- 与通用处理器差异
- **SoC**芯片技术原理



➤ SoC芯片技术原理

- ◆ SoC定义
- ◆ SoC架构
- ◆ SoC研究内容
- ◆ SoC技术特征



➤ SoC芯片技术原理

- ◆ SoC定义
- ◆ SoC架构
- ◆ SoC研究内容
- ◆ SoC技术特征

➤ SoC芯片技术原理

◆ 何谓SoC?

- 国内外学术界一般倾向将SoC定义为将微处理器核、模拟IP核、数字IP核和存储器（或片外存储控制接口）集成在单一芯片上的产品
- 如果说中央处理器(CPU)是大脑，那么SoC就是包括大脑、心脏、眼睛和手的系统；SOC的出现使集成电路发展成为系统集成，整个电子整机的功能将可以集成到一块芯片中；在不久的将来，集成电路与电子整机之间的界限将被彻底打破。



➤ SoC芯片技术原理

- ◆ SoC定义
- ◆ SoC架构
- ◆ SoC研究内容
- ◆ SoC技术特征



➤ SoC芯片技术原理

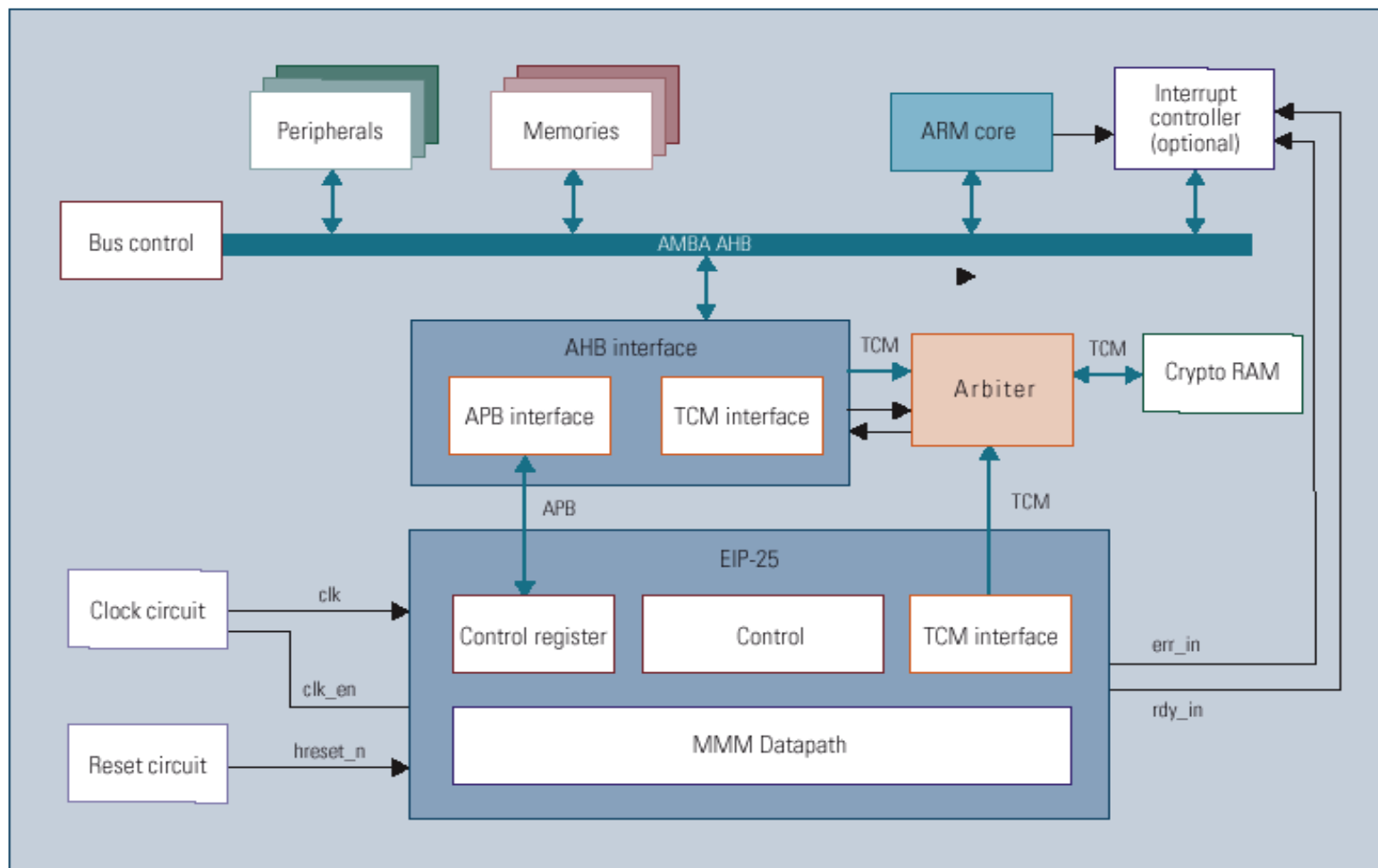
◆ SoC架构

- 基于总线
 - ✓ AMBA总线
 - ✓ WISHBONE总线
 - ✓ IBM CoreConnect总线
 - ✓ 自定义，如L*BUS总线
- 基于片上网络
 - ✓ 交叉开关阵列
 - ✓ 网格网络



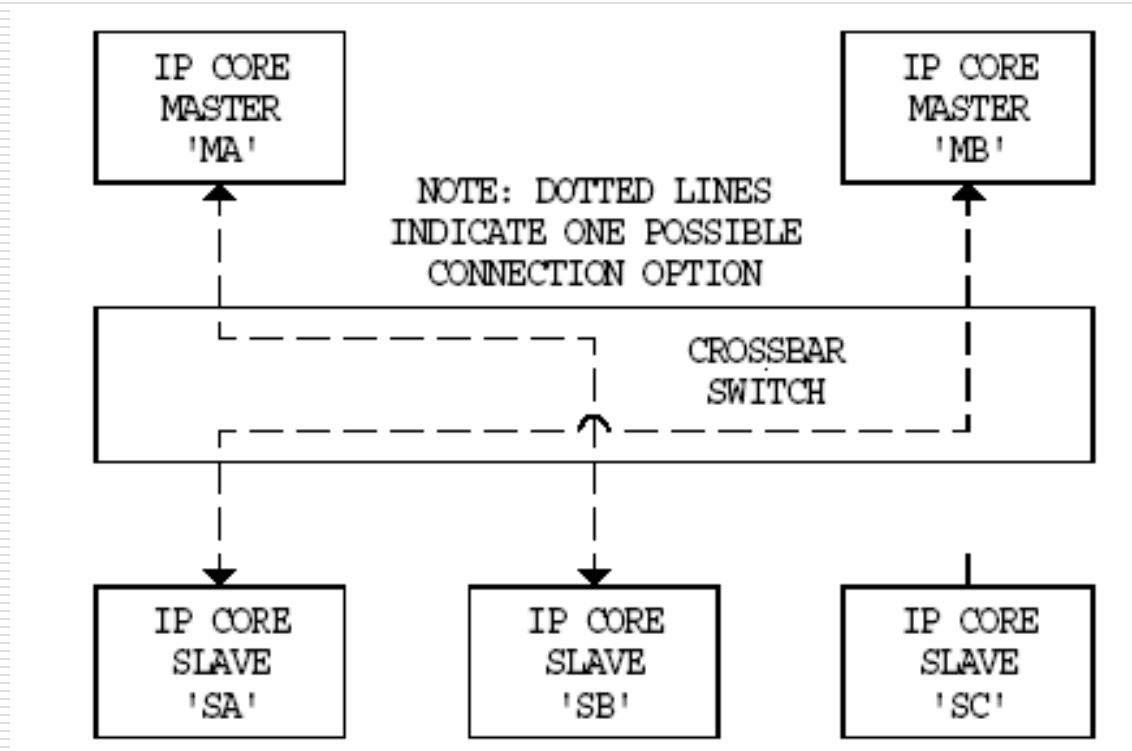
➤ SoC芯片技术原理

AMBA总线架构



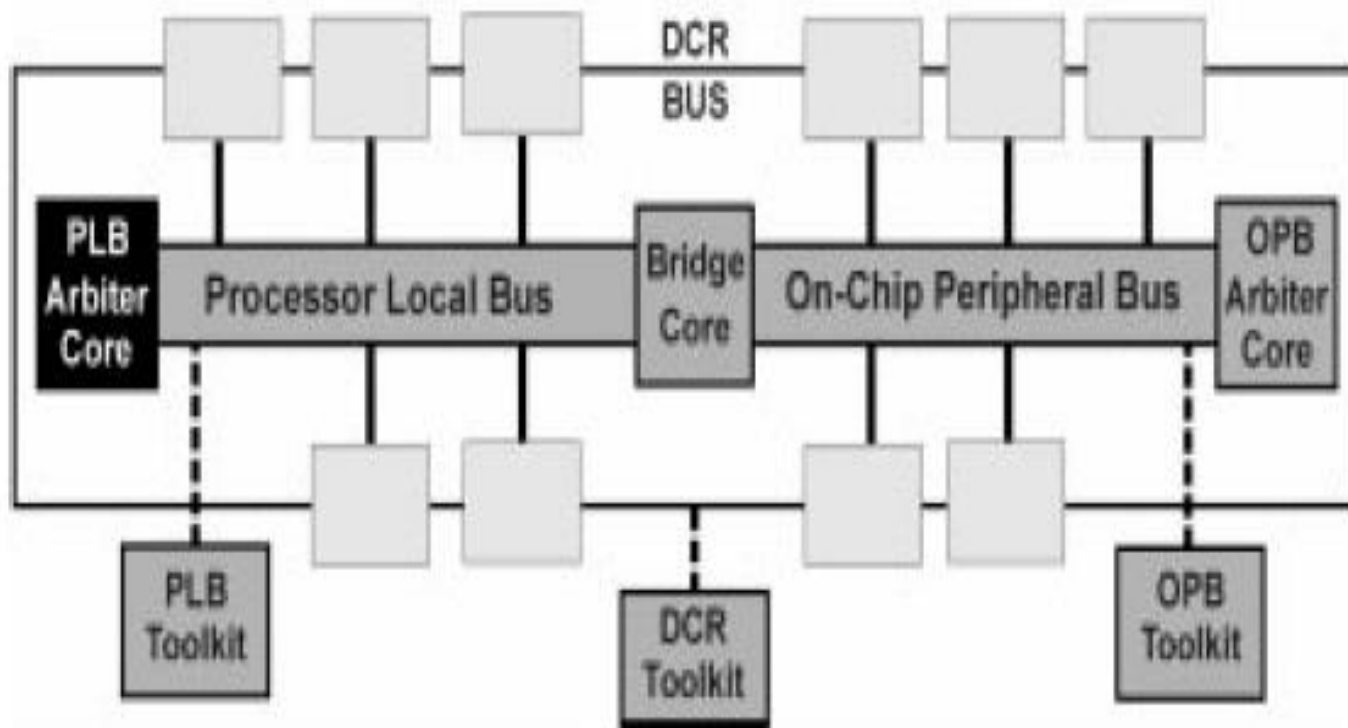
➤ SoC芯片技术原理

WISHBONE总线架构

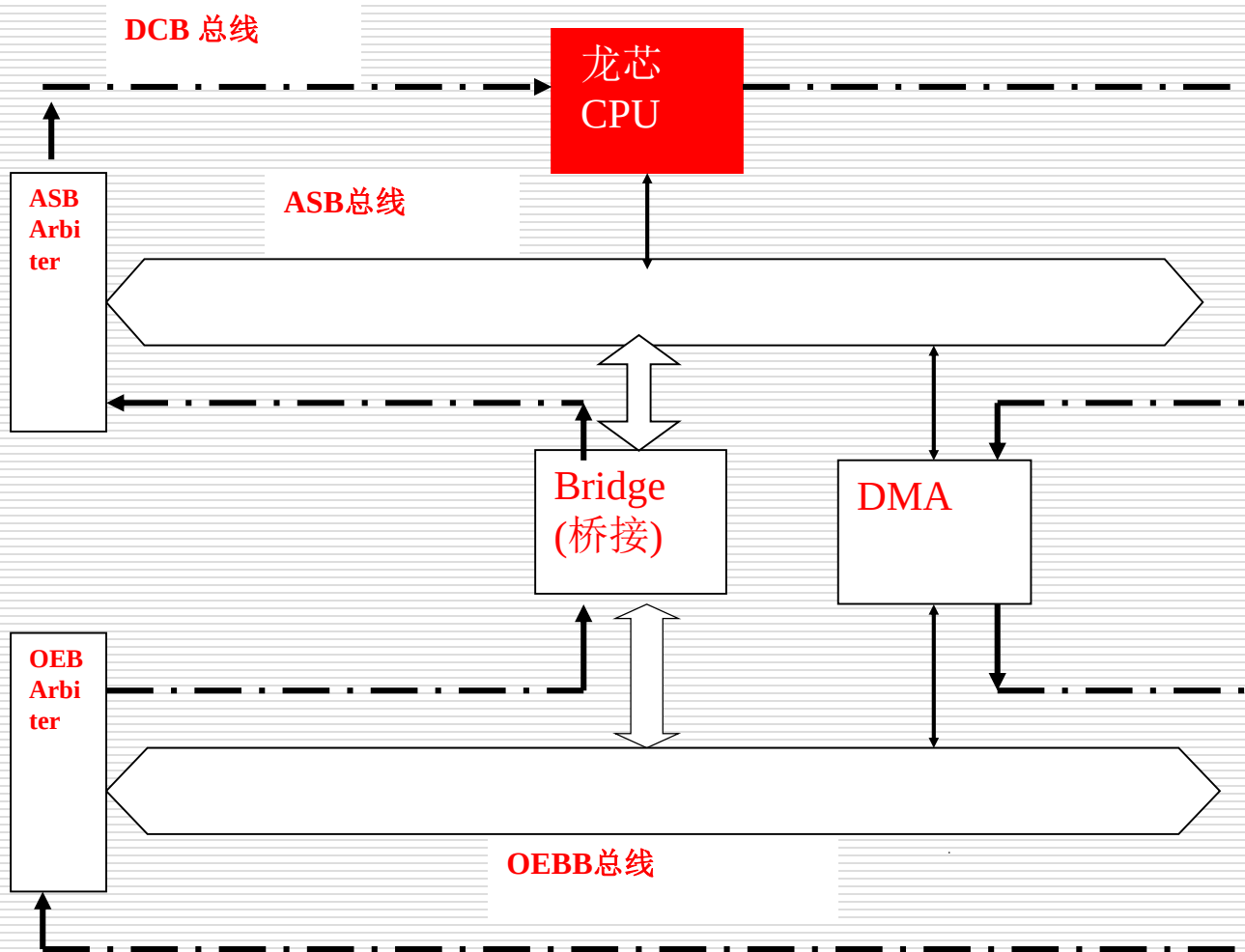


➤ SoC芯片技术原理

IBM CoreConnect总线架构

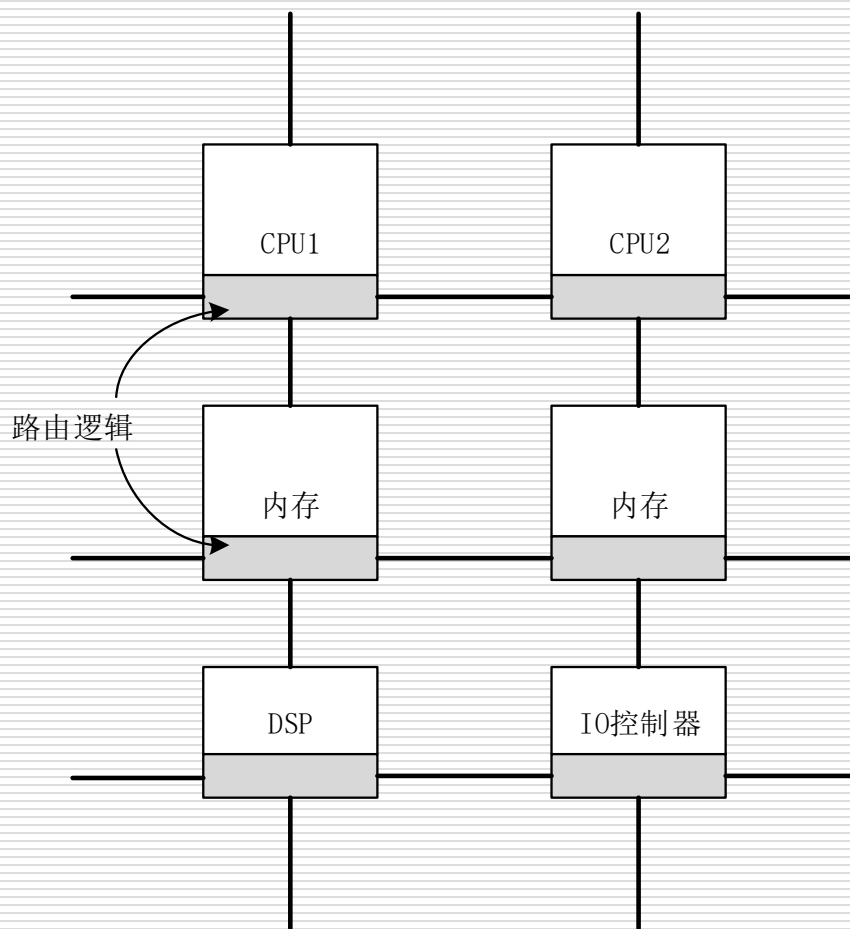


➤ SoC芯片技术原理



➤ SoC芯片技术原理

片上网络架构



➤ SoC芯片技术原理

总线结构及互连技术，直接影响芯片总体性能发挥，对于单一应用领域，可选用成熟的总线架构；对于系列化或综合性能要求很高的，可进行深入的体系结构研究，构建颇具特色的总线架构，做精做强，不受制于第三方，同步发展，更具竞争力。目前SoC开发研制主要基于平台、基于核、基于合成及自主构建总体架构等方法。

➤ SoC芯片技术原理

- ◆ SoC定义
- ◆ SoC架构
- ◆ SoC研究内容
- ◆ SoC技术特征

➤ SoC芯片技术原理

◆ SoC研究内容

- 总线架构技术
- IP可复用技术
- 可靠性设计技术
- 软硬件协同技术
- SoC验证技术
- 芯片综合/时序分析技术
- 可测性/Debug设计技术
- 低功耗设计技术
- 超深亚微米电路实现技术
- 嵌入式软件移植/开发



➤ SoC芯片技术原理

- ◆ SoC定义
- ◆ SoC架构
- ◆ SoC研究内容
- ◆ SoC技术特征



➤ SoC芯片技术原理

◆ SoC技术特征

● 产品优势:

- SoC是面向特定用户的能最大满足嵌入式系统要求的芯片，因而具有很多优势，如高性能、低功耗、高可靠性、体积小、重量轻等
- 使用SoC能极大改善功耗开销，可减少印制板上数和管脚数，减少板卡失效的可能性，有利于板卡的性能改善（由于片内连线缩短），降低风冷要求，减少系统开发商成本。

➤ SoC芯片技术原理

◆ SoC技术特征

● 设计门槛高

SoC设计准入的最大门槛是**专门技术**、IP库、SoC总线架构和嵌入式软件支持（包括BIOS、OS），需要广泛的多功能IP核和将客户逻辑与之集成在一起的设计艺术，以满足客户产品开发的需求

● SoC的发展离不开应用领域的需求牵引

不仅仅考虑SoC本身，而且要考虑SoC应用产品的相关需求，其**复杂性**不亚于一般的计算机控制系统的设计



➤ SoC芯片技术原理

◆ SoC技术特征

● 设计指标与评估手段始终相伴

SoC设计核心工作不再是某个新功能的设计实现，而是如何去评估、验证和集成多个已经存在的软硬件模块，重视软硬件划分，IP核重用，嵌入式软件开发，多层次软硬件协同验证等方面工作

● SoC的发展与计算机控制微型化紧密相关

离不开功耗、性能、成本、可测性、可靠性、IP可复用性、平台技术支持性和软硬件协同开发性等方面制约，需要强大的计算机体系结构背景知识，才能得到快速发展

- ✓ 张志敏专著《基于“聚芯SoC”的嵌入式系统设计》，北京邮电出版社，2006.10
- ✓ 张志敏译著《计算机系统设计-片上系统》，工业机械出版社，2015.6



SoC芯片技术原理

芯片尺寸

第二章

设计规格

运行时需求

初始设计

第四章

存储

大小, 易失性

操作系统

片上/片外

第五章

互连

拓扑结构/带宽/协议

第三章

处理器

第四章

缓存特征

第六章

用户化/可配置性

最优设计

是否满足规格和运行时需求?

否

是

结束

◆ SoC设计方法



中国科学院计算技术研究所

INSTITUTE OF COMPUTING TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

聚芯SoC-1100原理框图



提纲

高性能嵌入式处理器

- 引言
- 发展历史
- 技术特点
- 发展趋势
- 知识产权
- 应对之策
- 结束语



发展趋势

- 相当长时间内多品种共存
- 通用处理器技术向嵌入式处理器迁移
- SoC将是嵌入处理器主流产品
- SoC、MEMS、SiP技术融合



发展趋势

- 相当长时间内多品种共存
- 通用处理器技术向嵌入式处理器迁移
- SoC将是嵌入处理器主流产品
- SoC、MEMS、SiP技术融合



发展趋势

➤ 相当长时间内多品种共存

- ◆ MCU、MPU不断集成更多的I/O设备，往SoC方向发展
- ◆ 通用处理器集成南北桥，丰富SoC设计内涵
- ◆ 面向应用，SoC的差异化愈来愈突出
- ◆ 应用的层次性、广泛性，使MCU、MPU、DSP、FPGA、SoC均能共存发展



发展趋势

- 相当长时间内多品种共存
- 通用处理器技术向嵌入式处理器迁移
- SoC将是嵌入处理器主流产品
- SoC、MEMS、SiP技术融合



发展趋势

➤ 通用处理器技术向嵌入式处理器迁移

- ◆ X86的SoC, PowerPC的SoC已产品化, 如ST的STPC-ELITE
- ◆ 多级Cache技术、多发射技术、多任务技术在SoC技术中体现, 如聚芯SoC
- ◆ 多线程、多核也在SoC设计中实现, 龙芯2G
- ◆ 嵌入式处理器开始支持通用操作系统 (如Linux)



发展趋势

- 相当长时间内多品种共存
- 通用处理器技术向嵌入式处理器迁移
- **SoC**将是嵌入处理器主流产品
- SoC、MEMS、SiP技术融合



发展趋势

➤ SoC将是嵌入处理器主流产品

- ◆ 计算机技术落后于需求，促交叉学科发展，SoC能集中体现
- ◆ IC分工日益细化，SoC体现集成电路技术发展成果
- ◆ 图形处理（GPU）、视频处理、4G/5G将促使SoC快速发展
- ◆ SoC固有特性（低成本、低功耗、高可靠），助其强大竞争力



发展趋势

- 相当长时间内多品种共存
- 通用处理器技术向嵌入式处理器迁移
- SoC将是嵌入处理器主流产品
- **SoC、MEMS、SiP**技术融合



发展趋势

➤ SoC、MEMS、SiP技术融合

- ◆ SoC: IC设计方法革命, 往自我优化和自我验证组件等技术方向发展;
- ◆ MEMS: 微机电技术革命;
- ◆ SiP: 封装技术革命;
- ◆ 微小型化时代发展需求, SoC、MEMS、SiP技术融合是微电子的技术发展方向。



提纲

高性能嵌入式处理器

- 引言
- 发展历史
- 技术特点
- 发展趋势
- 知识产权
- 应对之策
- 结束语



知识产权

- CPU知识产权
- 高性能通用 C P U 知识产权最严密
- 嵌入 C P U 知识产权易避开
- 嵌入 C P U 知识产权保护较不易
- 嵌入 C P U 知识创新多



知识产权

- **CPU**知识产权
- 高性能通用 C P U 知识产权最严密
- 嵌入 C P U 知识产权易避开
- 嵌入 C P U 知识产权保护较不易
- 嵌入 C P U 知识创新多



知识产权

➤ CPU知识产权

- ◆ 著作权（版权）及其邻接权、商标权、专利权、技术或商业秘密等类型
- ◆ 指令系统的定义是公开的，所以不属于技术秘密
- ◆ 总线结构技术是公开的，也不属于技术秘密
- ◆ 专利往往体现在实现技术上
- ◆ 体系结构创新大有可为



知识产权

- CPU知识产权
- 高性能通用C P U知识产权最严密
- 嵌入C P U知识产权易避开
- 嵌入C P U知识产权保护较不易
- 嵌入C P U知识创新多



知识产权

➤ 高性能通用 C P U 知识产权最严密

- ◆ 已注册的 C P U 设计、制造和测试相关专利有数万项，且其中大部分都掌握在国外一些大公司的手里；
- ◆ 高性能通用 C P U 的知识产权控制最严密，专利战打得最激烈；
- ◆ I n t e l 对于“兼容”厂商，无论是美国的 A M D 还是台湾的 U M C、V I A（即原 C y r i x 和 I D T）等，只要触犯到它的市场，它总要控告其侵权；
- ◆ 只有重大创新才有可能绕开。



知识产权

- CPU知识产权
- 高性能通用 C P U 知识产权最严密
- 嵌入 C P U 知识产权易避开
- 嵌入 C P U 知识产权保护较不易
- 嵌入 C P U 知识创新多



知识产权

➤ 嵌入 C P U 知识产权易避开

- ◆ 发展嵌入式 C P U 则有广泛得多的应用和市场背景，专利问题固然也有，通常比较容易解决；
- ◆ 嵌入式 C P U 面向特定应用，竞争风险较低，知识产权纷争少，各国在发展嵌入式 C P U 方面各显其能，出现许许多多的嵌入式 C P U 品种；
- ◆ 可以通过正常的渠道，与专利权人协商，支付一定的使用费，取得合法的实施许可，如 IP License；
- ◆ 通过自己的技术创新可以形成一批自主的专利技术，实现与其它专利权人的交叉许可。



知识产权

- CPU知识产权
- 高性能通用 C P U 知识产权最严密
- 嵌入 C P U 知识产权易避开
- 嵌入 C P U 知识产权保护较不易
- 嵌入 C P U 知识创新多



知识产权

➤ 嵌入 C P U 知识产权保护较不易

- ◆ 嵌入式处理器集成度高，只面向市场，不透露技术细节，即使被侵权，取证也难；
- ◆ 由于嵌入处理器不需要最先进的计算机体系结构和最先进的微电子工艺，通过适当技术处理，就能避开；
- ◆ 工艺不断更新，技术专利生命周期较短。



知识产权

- CPU知识产权
- 高性能通用 C P U 知识产权最严密
- 嵌入 C P U 知识产权易避开
- 嵌入 C P U 知识产权保护较不易
- 嵌入 C P U 知识创新多



知识产权

➤ 嵌入 C P U 知识创新多

- ◆ 嵌入式处理器面向特定应用需求，点创新和集成创新空间大；
- ◆ 方法创新比点技术创新要有价值；
- ◆ 最好事先布局，形成专利群，达到较好保护技术；
- ◆ 亲自实施，通过许可实现最大价值。



提纲

高性能嵌入式处理器

- 引言
- 发展历史
- 技术特点
- 发展趋势
- 知识产权
- 应对之策
- 结束语



应对之策

- CPU设计是一项复杂的系统工程（略）
- 发展自主知识产权的C P U需要从长计议（略）
- 结合市场驱动CPU产业发展（略）
- 设计嵌入式C P U发展策略



应对之策

➤ 设计嵌入式C P U发展策略

- ◆ 先解决有和无的问题，再解决好和精的问题；
- ◆ 先解决兼容的，再解决自主的；
- ◆ 先解决嵌入式的，再解决通用的；
- ◆ 先易后难的原则稳步推进；
- ◆ 不断积累，不断进步，最终产生突破。

提纲

高性能嵌入式处理器

- 引 言
- 发展历史
- 技术特点
- 发展趋势
- 应对之策
- 结束语



结束语

- ◆ 以Intel为代表的大公司在三十多年中拥有了开发最先进计算机结构体系（系统）和软件方面的技术和人才、最高级的微电子设计、工艺技术和能力（通用C P U均运用最先进的微电子工艺而且是厂家自己专有，而国内一般不具备、且找不到国外可竞争的代工生产厂）、最完备的产业营销和应用市场结构；
- ◆ C P U与O S都是巨大的、不可能一蹴而就的系统工程，至少要做几十年甚至上百年的拼命努力；
- ◆ 我国微电子技术产业的起飞只是近几年的事，尤其是C P U技术还处于跟踪、模仿的初级阶段，更需时日；



结束语

- ◆ 我国通过发展嵌入式C P U可以避免以上三方面的不足，扬长避短；
- ◆ 嵌入式CPU应走“产学研用”相结合，大力发展集成创新；
- ◆ 国家应该在嵌入式系统设计上向基于国产嵌入式CPU的设计公司倾斜，快速推广国产芯片的应用；
- ◆ 国产处理器芯片产业链在发展中迅速积累技术、队伍、经验、市场和财富，为实现长远目标创造条件；
- ◆ 中国的巨大嵌入式市场肯定能培育出国产处理器的产业链，凭中国人的勤劳与智慧一定能达到该目标！



谢谢！

