

# 计算机体系结构

## 第三讲

计算机科学与技术学院

舒燕君

# Recap

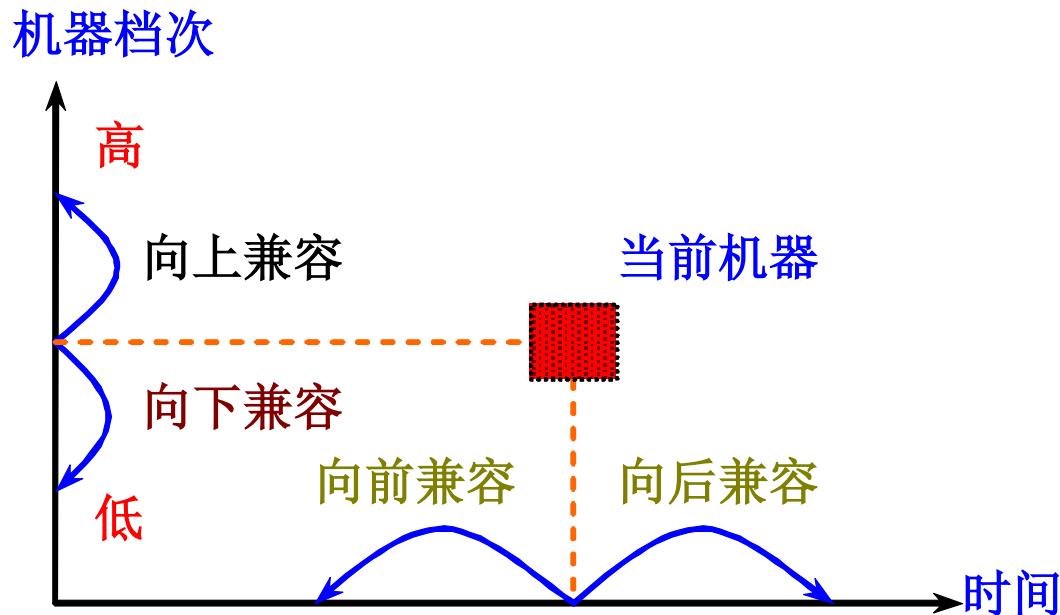
- 计算机体体系结构、组成、实现
  - ✓ 计算机组成和物理实现
- 系列机和兼容
  - ✓ 具有相同体系结构的一系列计算机
  - ✓ 向上、下、前、后兼容
- 计算机体体系结构的发展
  - ✓ 计算机的分代和分型
  - ✓ 软件、应用、相关核心技术

## 1.1.3 系列机和兼容

- 系列机（family machine）是具有相同体系结构，但组成和实现不同的一系列不同型号的计算机系统
  - IBM公司在推出IBM S360时首次提出的系列机的概念，被认为是计算机发展史上一个重要里程碑
  - 各计算机厂家仍按系列机研发产品
- 现代计算机不但系统系列化，其构成部件和软件也系列化
  - 如：微处理器（CPU）、硬盘、操作系统、高级语言等

# 兼容性

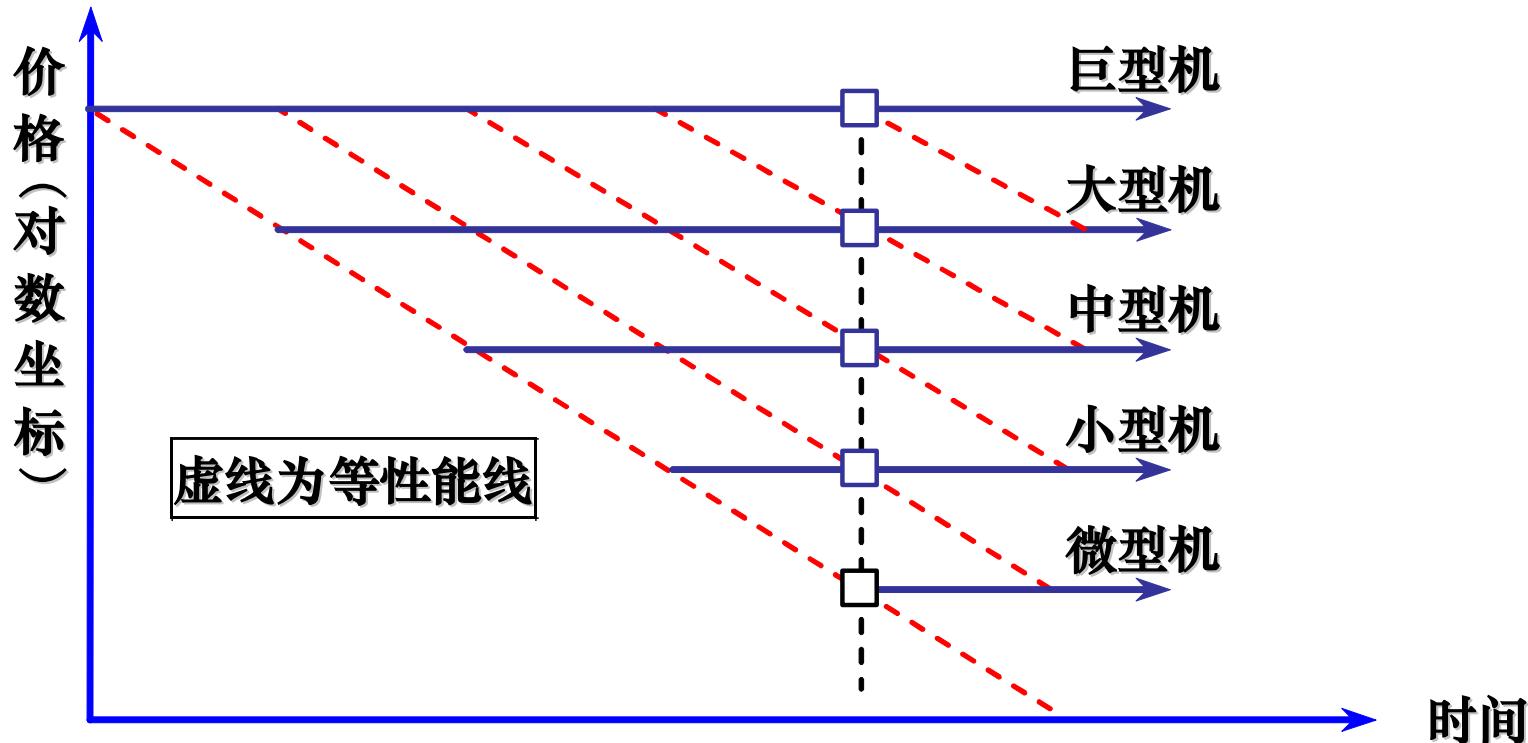
- 向上(下)兼容指的是按某档机器编制的程序，不加修改的就能运行于比它高(低)档的机器
- 向前(后)兼容指的是按某个时期投入市场的某种型号机器编制的程序，不加修改地就能运行于在它之前(后)投入市场的机器



# 1. 2. 1 计算机的分代

分代	器件	体系结构技术	软件技术	典型机器
第一代 <b>(1945-1954)</b>	电子管和继电器	存储程序计算机、 程序控制I/O	机器语言和汇编语言	普林斯顿ISA、 <b>ENIAC</b> <b>IBM701</b>
第二代 <b>(1955-1964)</b>	晶体管、磁芯、印刷电路	浮点数据表示、寻址技术、中断、 I/O处理机	高级语言和编译、批处理监控系统	<b>Univac LARC</b> <b>CDC1604</b> <b>IBM7030</b>
第三代 <b>(1965-1974)</b>	<b>SSI和MSI</b> 、多层印刷电路、微程序	流水线、 <b>Cache</b> 、 先行处理、系列计算机	多道程序和分时操作系统	<b>IBM360/370</b> 、 <b>CDC6600/7600</b> 、 <b>DEC PDP-8</b>
第四代 <b>(1974-1990)</b>	<b>LSI和VLSI</b> 、半导体存储器	向量处理、分布式存储器	并行与分布处理	<b>Cray-1</b> 、 <b>IBM 3090</b> 、 <b>DEC VAX9000</b> 、 <b>Convax-1</b>
第五代 <b>(1991-)</b>	高性能微处理器、 大规模高密度电路	指令级并行、 <b>SMP</b> 、 <b>MP</b> 、 <b>MPP</b> 、网络	可扩展并行与分布处理	<b>SGI Cray T3E</b> <b>IBM xServer</b> <b>Sun E10000</b>

## 1.2.1 计算机的分代



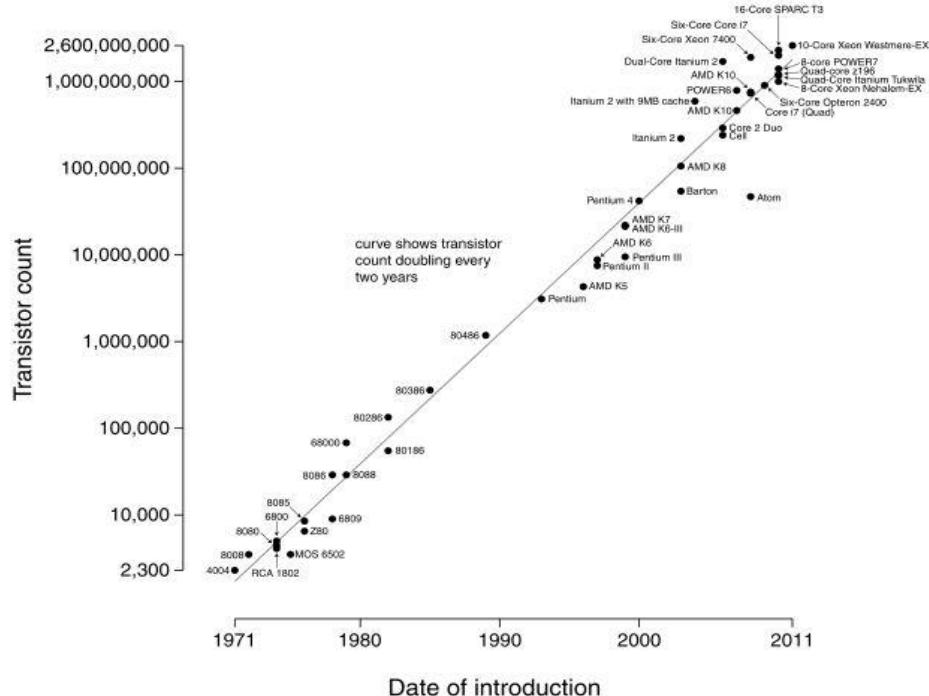
**技术和性能的“下移”。**新型体系结构的设计一方面是合理地增加计算机系统中硬件的功能比例。另一方面则是通过多种途径提高计算机体系结构中的并行性。

## 1.2.4 相关核心技术产品的发展

### 1. 集成电路逻辑技术（摩尔定律）

晶体管密度每年大约增加35%，约四年翻两番。晶片尺寸增长每年约10-20%。总之，一个芯片的晶体管数量每年增长40-55%，18-24个月翻一番

Microprocessor Transistor Counts 1971-2011 & Moore's Law



## 1.2.4 相关核心技术产品的发展

### 1. 集成电路逻辑技术 (Dennard 缩放定律)

晶体管属性	Dennardian 定律	Post-Dennardian 定律
$\Delta$ 数量 $Q$	$S^2$	$S^2$
$\Delta$ 频率 $F$	$S$	$S$
$\Delta$ 电容 $C$	$1/S$	$1/S$
$\Delta$ 电压 $V^2$	$1/S^2$	$1$
$=> Power = QFCV^2$	$1$	$S^2$
$=>$ 利用率 $= 1/Power$	$1$	$1/S^2$

- Dennard 1974年提出，晶体管尺寸每一代缩小30%，因此面积减小50%，电路减少30%的延迟，因此可以增加约1.4倍的工作频率。为了保持电场稳定，电压降低30%，能量降低65%，功率降低50%。
- 由于晶体管固有电压预充电压，当电压的下降与晶体管数量不能抵消，Power成指数增长（Post-Dennardian 定律）。

# 1.2 计算机体系结构的发展

1.2.1 计算机分代和分型

1.2.2 软件的发展

1.2.3 应用的发展

1.2.4 相关核心技术的发展

1.2.5 体系结构的发展

1.2.6 并行处理技术的发展

1.2.7 处理器芯片技术的发展

## 1. 2. 4 相关核心技术产品的发展

### 2. DRAM (动态随机访问存储器)

单个DRAM模块的容量每年增加25-40%，增速逐年下降。

CA:AQA Edition	Year	DRAM growth rate	Characterization of impact on DRAM capacity
1	1990	60%/year	Quadrupling every 3 years
2	1996	60%/year	Quadrupling every 3 years
3	2003	40%–60%/year	Quadrupling every 3 to 4 years
4	2007	40%/year	Doubling every 2 years
5	2011	25%–40%/year	Doubling every 2 to 3 years

## 1. 2. 4 相关核心技术产品的发展

### 3. 闪存（快擦型存储器）

近几年，每年约50-60%的速度增长，大约每两年翻一番，大量用于便携式设备。

### 4. 磁盘

从04年开始，大约每年增长40%，约每3年翻一番。SSD的成本的迅速下降。

### 5. 网络

以太网、WiFi、移动互联网（手机网络）、卫星互联网

### 6. 封装技术和芯粒

高带宽存储器（HBM）

## 1.2.5 体系结构的发展

1. 分布的I/O处理能力
2. 保护的存储器空间
3. 存储器组织结构的发展
4. 并行处理技术
5. 指令集发展

# 1.2 计算机体系结构的发展

1.2.1 计算机分代和分型

1.2.2 软件的发展

1.2.3 应用的发展

1.2.4 相关核心技术的发展

1.2.5 体系结构的发展

1.2.6 并行处理技术的发展

1.2.7 处理器芯片技术的发展

## 1.2.6 并行处理技术的发展

### 1 并行性的概念

- **并行性:** 计算机系统在同一时刻或者同一时间间隔内进行多种运算或操作。
- 只要在时间上相互重叠，就存在并行性。
  - **同时性:** 两个或两个以上的事件在同一时刻发生。
  - **并发性:** 两个或两个以上的事件在同一时间间隔内发生。

## 1.2.6 并行处理技术的发展

- 从执行程序的角度来看，平行性等级从低到高可分为：
  - 指令内部平行：单条指令中各微操作之间的平行。
  - 指令级平行：并行执行两条或两条以上的指令。
  - 线程级平行：并行执行两个或两个以上的线程，通常是以一个进程中派生的多个线程为调度单位。
  - 数据级平行：多个数据可以同时被操作，特别是这些数据完成同一个操作。
  - 任务级或过程级平行：并行执行两个或两个以上的过程或任务（程序段），以子程序或进程为调度单元。
  - 作业或程序级平行：并行执行两个或两个以上的作业或程序。

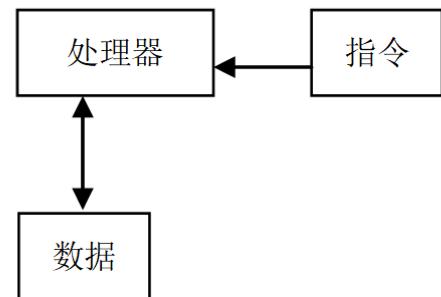
## 1.2.6 并行处理技术的发展

- 从处理数据的角度来看，并行性等级从低到高可分为：
  - 字串位串：每次只对一个字的一位进行处理。  
*最基本的串行处理方式，不存在并行性。*
  - 字串位并：同时对一个字的全部位进行处理，不同字之间是串行的。  
*开始出现并行性。*
  - 字并位串：同时对许多字的同一位（称为位片）进行处理。  
*具有较高的并行性。*
  - 全并行：同时对许多字的全部位或部分位进行处理。  
*最高一级的并行。*

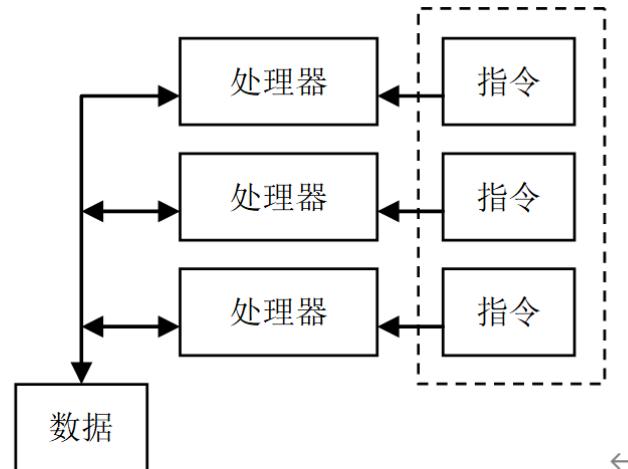
## 1. 2. 6 并行处理技术的发展

- 计算机系统结构的Flynn分类法
  - Flynn分类法 按照指令和数据的关系，把计算机系统的结构分为4类
    - 单指令流单数据流**SISD**  
(Single Instruction stream Single Data stream)
    - 单指令流多数据流**SIMD**  
(Single Instruction stream Multiple Data stream)
    - 多指令流单数据流**MISD**  
(Multiple Instruction stream Single Data stream)
    - 多指令流多数据流**MIMD**  
(Multiple Instruction stream Multiple Data stream)

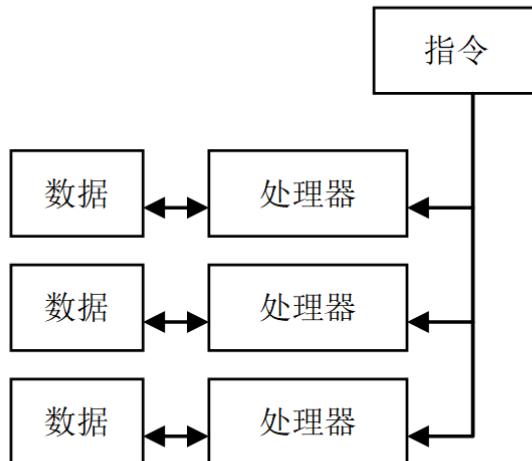
# Flynn分类法的四种概念模型



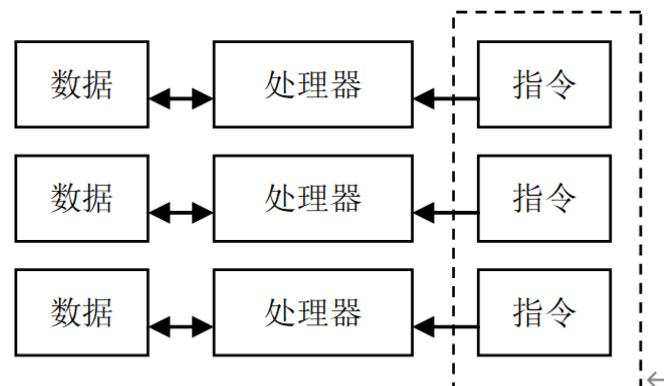
SISD



MISD



SIMD



MIMD

## 1.2.6 并行处理技术的发展

### 2 提高并行性的技术途径

三种途径：

(1) 时间重叠

引入时间因素，让多个处理过程在时间上相互错开，轮流重叠地使用同一套硬件设备的各个部分，以加快硬件周转而赢得速度。

(2) 资源重复

引入空间因素，以数量取胜。通过重复设置硬件资源，大幅度地提高计算机系统的性能。

(3) 资源共享

这是一种软件方法，它使多个任务按一定时间顺序轮流使用同一套硬件设备。

## 1.2.6 并行处理技术的发展

### 单机系统中并行性的发展

(1) 在发展高性能单处理机过程中，起主导作用的是**时间重叠**原理。

实现时间重叠的基础：**部件功能专用化**

- ✓ 把一件工作按功能分割为若干相互联系的部分；
- ✓ 把每一部分指定给专门的部件完成；
- ✓ 然后按时间重叠原理把各部分的执行过程在时间上重叠起来，使所有部件依次分工完成一组同样的工作。

# 单机系统中并行性的发展

(2) 在单处理机中，**资源重复**原理的运用也已经十分普遍。

- 多体存储器
- 多操作部件
  - 通用部件被分解成若干个专用部件，如加法部件、乘法部件、除法部件、逻辑运算部件等，而且同一种部件也可以重复设置多个。
  - 只要指令所需的操作部件空闲，就可以开始执行这条指令（如果操作数已准备好的话）。
- 阵列处理机（并行处理机）
  - 更进一步，设置许多相同的处理单元，让它们在同一个控制器的指挥下，按照同一条指令的要求，对向量或数组的各元素同时进行同一操作，就形成了阵列处理机。

(3) 在单处理机中，**资源共享**的概念实质上是用单处理机模拟多处理机的功能。

## 1.2.6 并行处理技术的发展

### 多机系统中并行性的发展

多机系统遵循资源重复、时间重叠、资源共享原理，发展为3种不同的多处理机：

同构型多处理机、异构型多处理机、分布式系统

**耦合度** 反映多机系统中各机器之间物理连接的紧密程度和交互作用能力的强弱。

- **最低耦合**：耦合度最低，除通过某种中间存储介质之外，各计算机之间没有物理连接，也无共享的联机硬件资源。
- **松散耦合系统（间接耦合系统）**：一般是通过通道或通信线路实现计算机之间的互连，可以共享外存设备（磁盘、磁带等）。机器之间的相互作用是在文件或数据集一级上进行。
- **紧密耦合系统（直接耦合系统）**：在这种系统中，计算机之间的物理连接的频带较高，一般是通过总线或高速开关互连，可以共享主存。

# 三种类型多处理机比较

项目	同构型多处理机	异构型多处理机	分布处理系统
目的	提高系统性能 (可靠性、速度)	提高系统效率	兼顾效率与性能
技术途径	资源重复	时间重叠	资源共享
系统设计	相同系统的连接	专用化功能部件	网络化连接
组成	同类型（同等功能）	不同类型（不同功能）	不限制
分工方式	任务分布	功能分布	硬件、软件、数据等各种资源分布
控制形式	常采用浮动控制方式	采用专用控制方式	分布控制方式
耦合度	紧密耦合	紧密、松散耦合	松散、紧密耦合
互连网络	快速性、灵活性、可重构性	专用性	快速、灵活、简单、通用、廉价

## 1.2.6 并行处理技术的发展

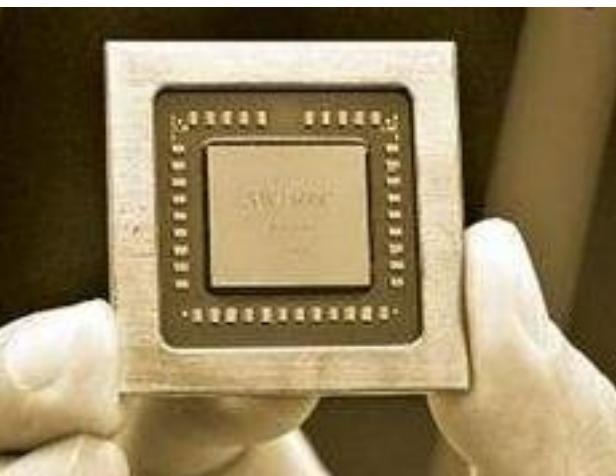
### 3. 并行计算的应用需求

- 应用需求永远是计算机系统性能提高的最大动力。
- 重大机械问题、全球气象变化、基因/蛋白质功能、湍流、机械动力学、洋流、量子色动力学、复杂巨系统建模、深层空间问题、深度学习等等。
- 对ZFLOPS计算能力和EB存储能力需求的领域在不断增多。

# 我国的高性能计算机

1. 银河-1(中国第一台大型机)
2. 银河-2
3. 银河-3
4. 天河一号
5. 天河二号
6. 神威
7. 曙光3000
8. 曙光4000
9. 曙光5000A

# 神威 太湖之光



<b>Site:</b>	National Supercomputing Center in Wuxi
<b>Manufacturer:</b>	NRCPC
<b>Cores:</b>	10,649,600
<b>Linpack Performance (Rmax)</b>	93,014.6 TFlop/s
<b>Theoretical Peak (Rpeak)</b>	125,436 TFlop/s
<b>Nmax</b>	12,288,000
<b>Power:</b>	15,371.00 kW [Submitted]
<b>Memory:</b>	1,310,720 GB
<b>Processor:</b>	Sunway SW26010 260C 1.45GHz
<b>Interconnect:</b>	Sunway
<b>Operating System:</b>	Sunway RaiseOS 2.0.5

# Tianhe-2 (MilkyWay-2) - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P

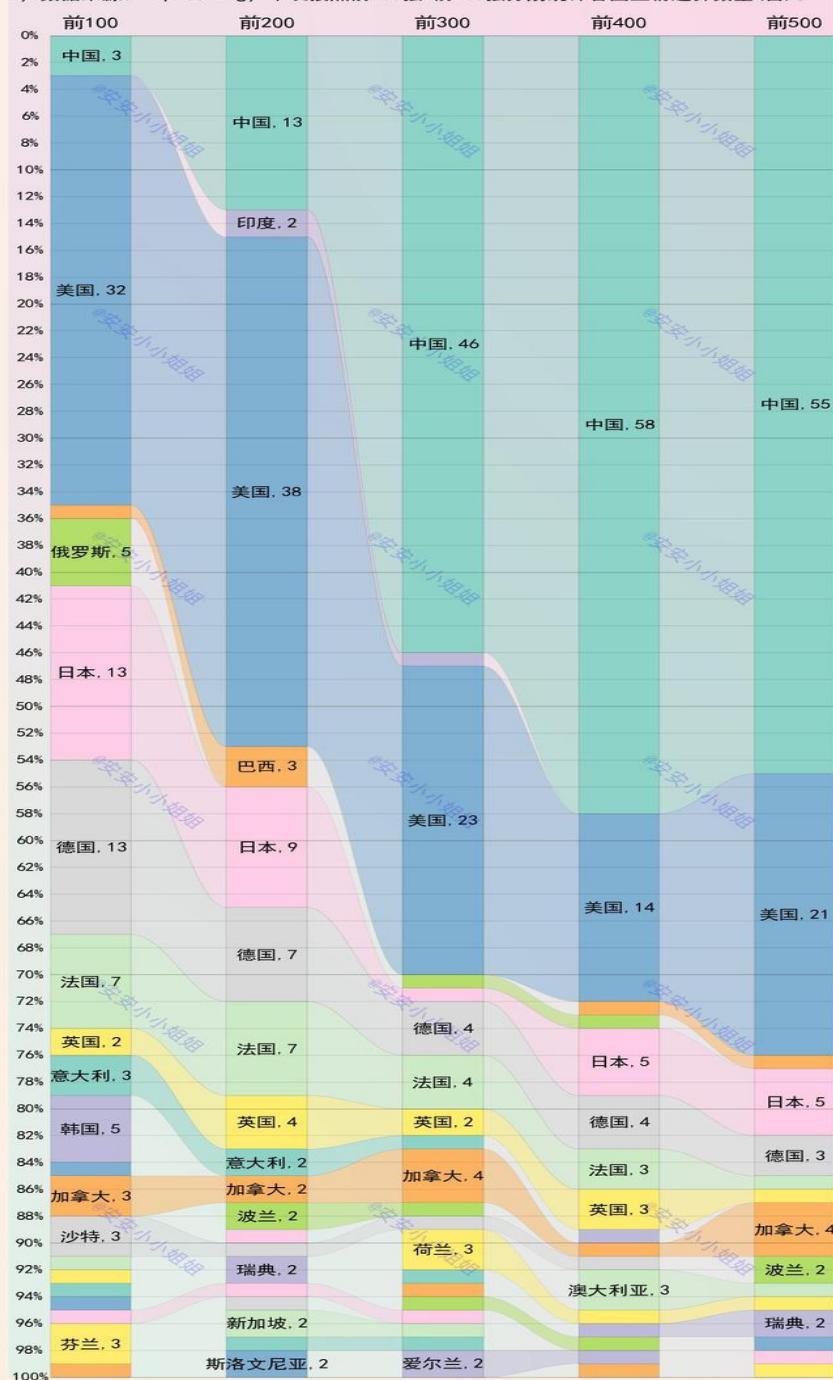


麦捷 www.meyet.com

Site:	National Super Computer Center in Guangzhou
Manufacturer:	NUDT
Cores:	3,120,000
Linpack Performance (Rmax)	33,862.7 TFlop/s
Theoretical Peak (Rpeak)	54,902.4 TFlop/s
Power:	17,808.00 kW
Memory:	1,024,000 GB
Interconnect:	TH Express-2
Operating System:	Kylin Linux
Compiler:	icc
Math Library:	Intel MKL-11.0.0
MPI:	MPICH2 with a customized GLEX channel

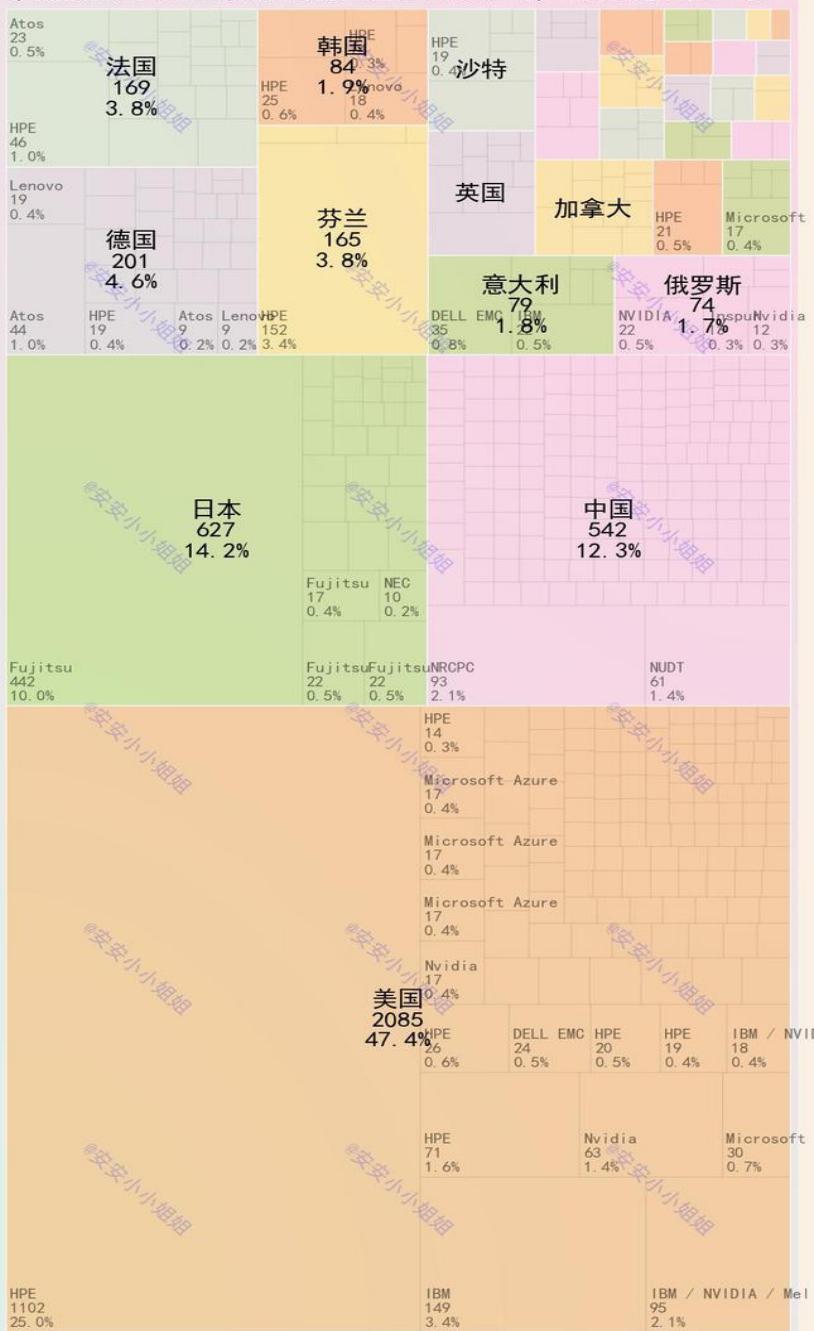
## 超算500强各国数量分布对比

1. 数据来源: top500.org, 本表按照前100强-前500强分别统计各国上榜超算数量(台)。



超算500强各国浮点运算能力分布(2022年6月版)一览

1, 数据来源: top500.org 2022年6月版 (单位: pflop/s) ; 2, 名称表示超算的生产商。



# 1.2 计算机体系结构的发展

1.2.1 计算机分代和分型

1.2.2 软件的发展

1.2.3 应用的发展

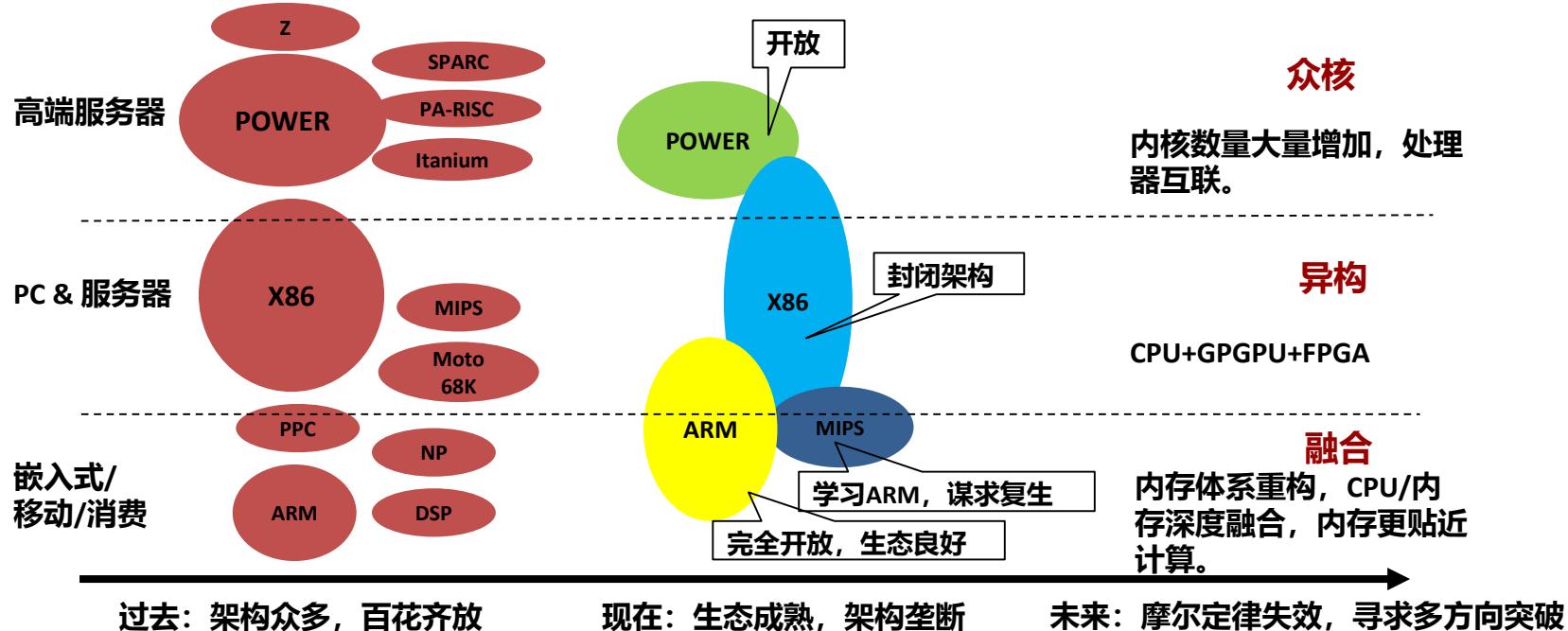
1.2.4 相关核心技术的发展

1.2.5 体系结构的发展

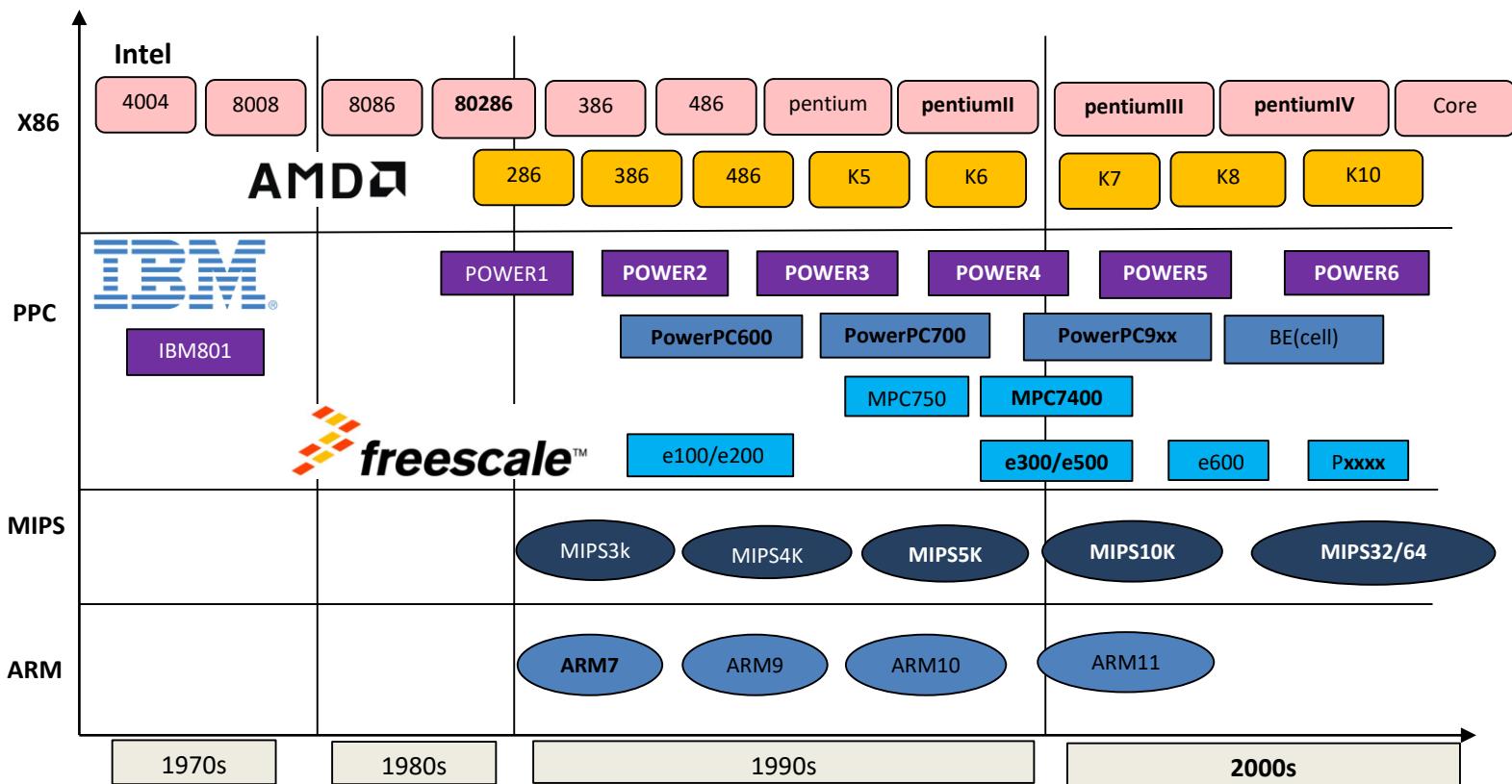
1.2.6 并行处理技术的发展

1.2.7 处理器芯片技术的发展

# 1. 2. 7 处理器芯片技术的发展

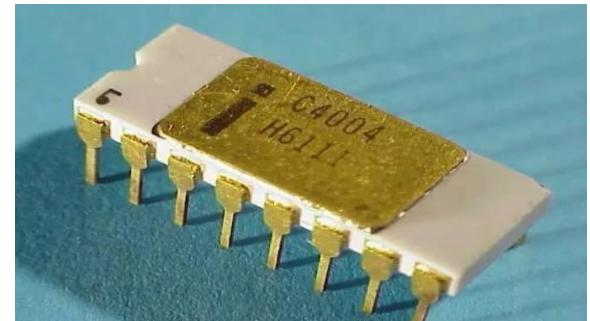


# 主流CPU发展路径



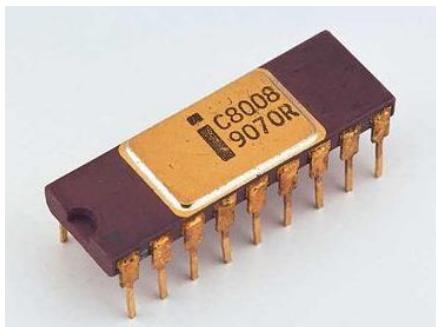
# 4位处理器：4004

- 1971年11月15日，Intel公司的工程师霍夫发明了世界上第一个商用微处理器——4004，从此这一天被当作具有全球IT界里程碑意义的日子而被永远的载入了史册。
- 这款4位微处理器45条指令，每秒能执行5万条指令，运行速度为108kHz，集成了2300只晶体管。



# 8/16/32位处理器

- 1972, 1974年, 8位处理器8008, 8080推出。
- 1978年, 首枚x86架构16位处理器8086推出, 同年性能更出色的8088处理器推出。1982年, 16位的80286处理器推出。
- 1985年, 第一款32位处理器80386推出。1989年, 最后一款以数字为编号的处理器80486推出。



# Intel Pentium I/II/III/4处理器

- 1993年，英特尔发布了Pentium(奔腾)处理器。Pentium处理器集成了310万个晶体管，最初推出的初始频率是60MHz、66MHz，后来提升到200MHz以上。
- 1997年5月7日,英特尔发布Pentium II 处理器
- 1999年2月26日,英特尔发布Pentium III 处理器
- 2000年，英特尔发布Pentium 4处理器。

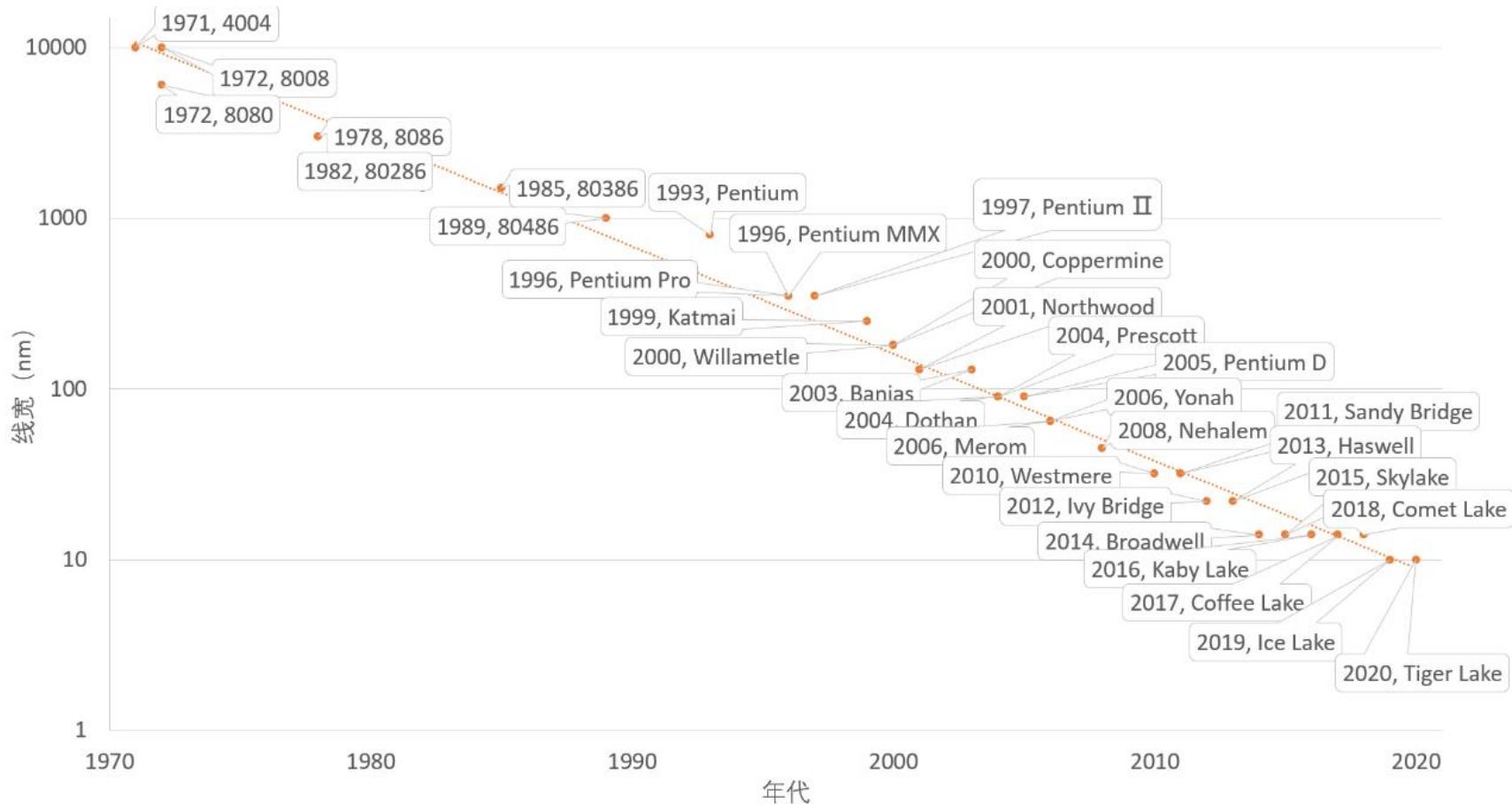


# i3, i5, i7诞生

- 2011年3月,使用32nm工艺全新桌面级和移动端处理器采用了i3, i5和i7的产品分级架构。
- 其中i3主攻低端市场,采用双核处理器架构,约2MB二级缓存,售价500-800元人民币; i5处理器主攻主流市场,采用四核处理器架构, 4MB二级缓存,售价900-1500元人民币; i7主攻高端市场,四核八线程或六核+二线程架构,二级缓存不少于8MB,售价2100-7600元人民币。



# Intel微处理器的工艺线宽发展变化



### 1.2.7 处理器芯片技术的发展

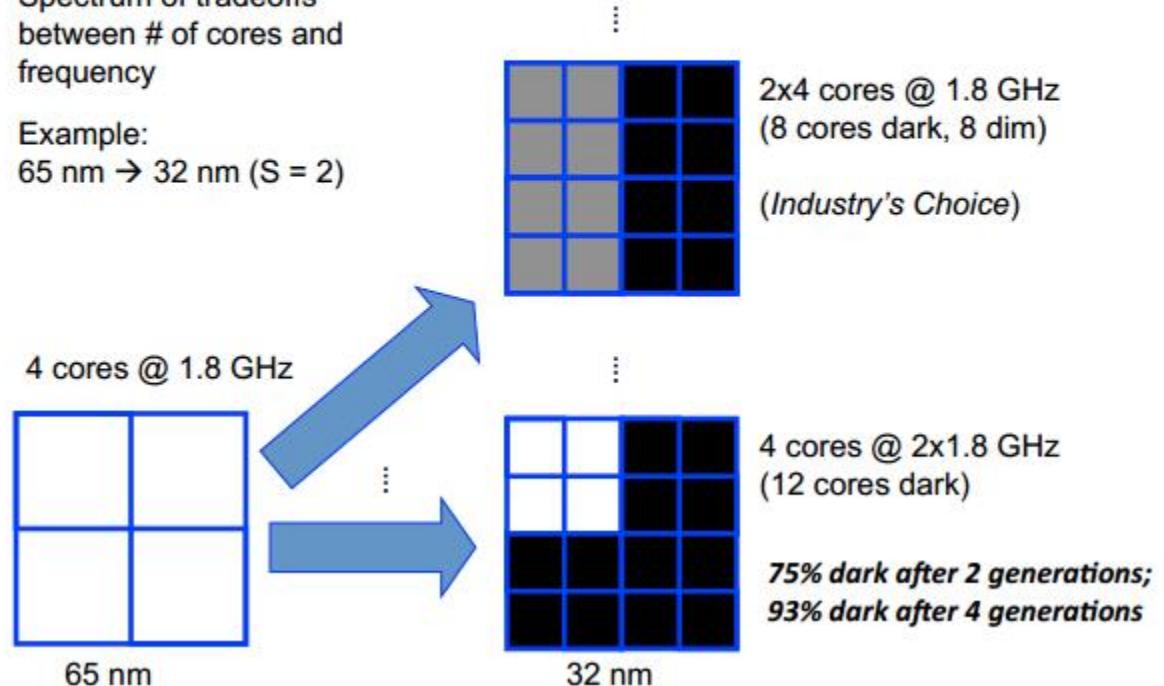
# Dark Silicon 暗硅

Dark (power-off) ,  
由于功耗 (散热)  
的上限，会把一些  
core关掉。

# Utilization Wall: Dark Silicon's Effect on Multicore Scaling

## Spectrum of tradeoffs between # of cores and frequency

Example:  
65 nm → 32 nm (S = 2)

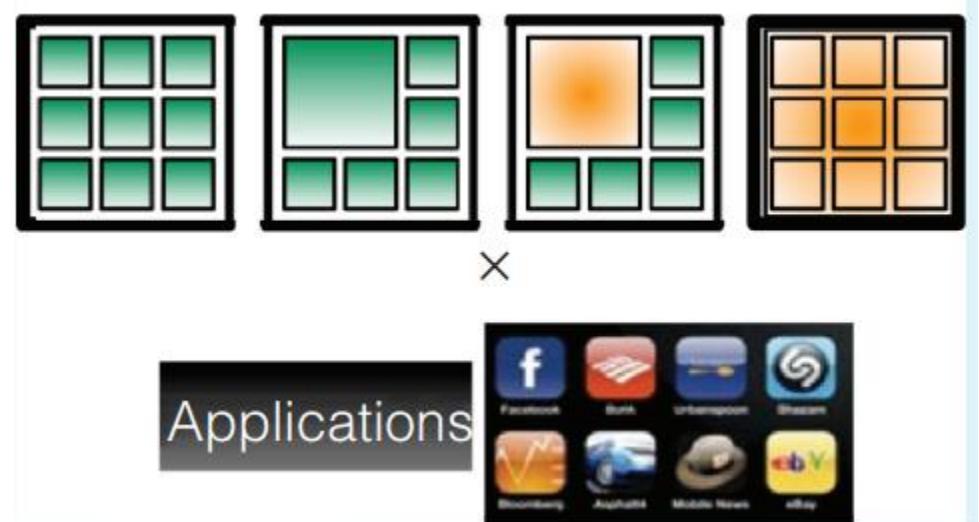


## 1.2.7 处理器芯片技术的发展

**Dark Silicon 暗硅**

**Typical performance:  
partially Underclock**

**Peak performance:  
all in burst**



# POWER PC处理器

- POWER是1991年，Apple、IBM、Motorola组成的AIM联盟所发展出的微处理器架构。PowerPC是整个AIM平台的一部分，并且是到目前为止唯一的一部分。PowerPC系列是源自于POWER架构的设计,但进行了大量的改动。
- PowerPC处理器有广泛的实现范围，包括从诸如Power4高端服务器CPU到嵌入式CPU市场（任天堂GameCube使用了PowerPC）。



# MIPS处理器

- MIPS的意思是“无内部互锁流水级的微处理(Microprocessor without interlocked piped stages)，其机制是尽量避免流水线中的数据相关问题。MIPS技术公司是美国著名的芯片设计公司，它采用精简指令系统计算结构(RISC)来设计芯片。
- MIPS是出现最早的商业RISC架构芯片之一，新的架构集成了所有原来MIPS指令集，并增加了许多更强大的功能。MIPS自己只进行CPU的设计，之后把设计方案授权给客户，使得客户能够制造出高性能的CPU。

# MIPS发展史

- 1984年，MIPS计算机公司成立，开始设计RISC处理器；
- 1986年推出R2000处理器。
- 1988年推出R3000处理器。
- 1991年推出第一款64位商用微处理器R4000；之后又陆续推出R8000（于1994年）、R10000（于1996年）和R12000（于1997年）等型号。
- 1999年，MIPS公司发布MIPS32和MIPS64架构标准，为未来MIPS处理器的开发奠定了基础。2000年，MIPS公司发布了针对MIPS32 4Kc的版本以及64位MIPS 64 20Kc处理器内核。
- 2007年8月16日—MIPS科技宣布，中科院计算机研究所的龙芯中央处理器获得其处理器IP的全部专利和总线、指令集授权。

# 龙芯公司的处理器芯片系列

## 龙芯1号：有了

2001年5月正式启动龙芯CPU的研制

2002年8月研制成功龙芯1号是我国第一个通用处理器芯片

## 龙芯2号：积累

处理器的每年（大约14个月）性能提高三倍；

龙芯2E/2F主频1GHz，在64位单处理器设计方面达到世界先进水平

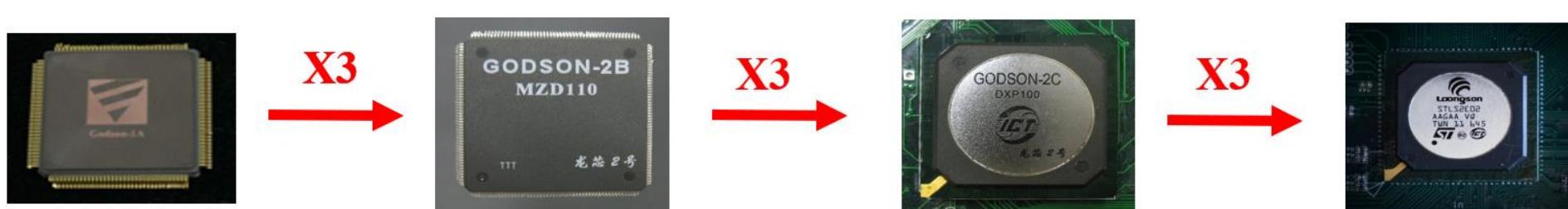
龙芯2F批量生产，几十个应用

## 龙芯3号：跨越、弯路、再跨越

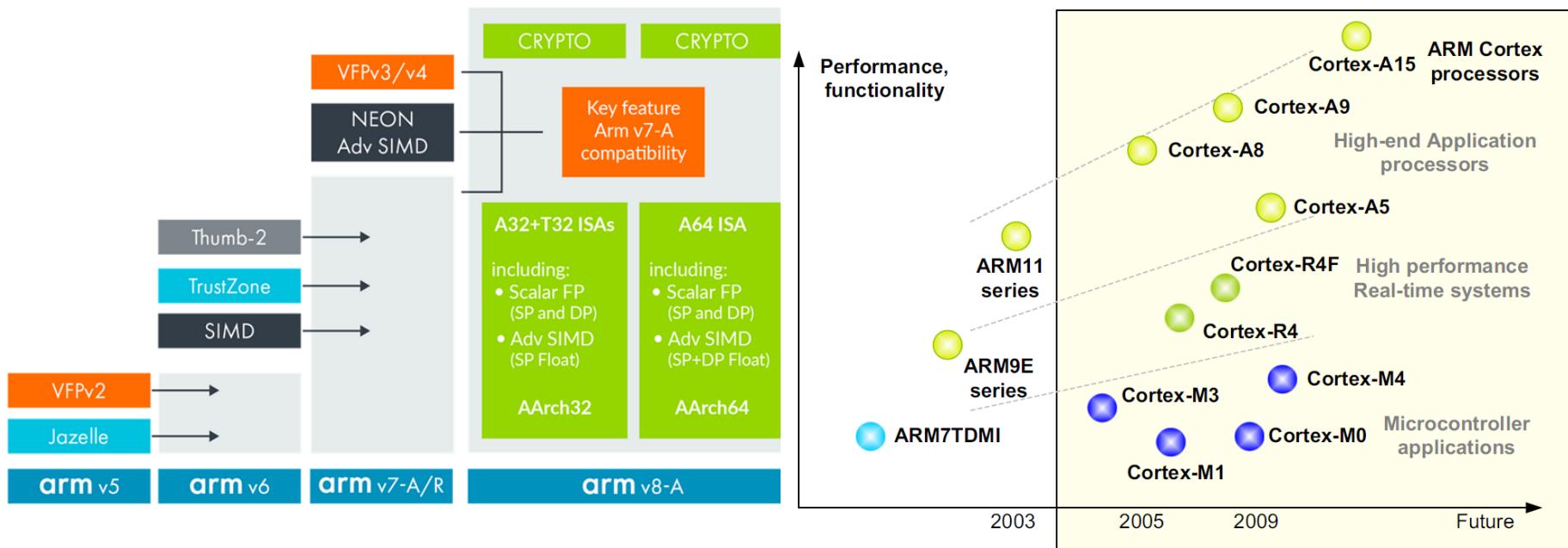
四核龙芯3A1000是个跨越，8核龙芯3B走弯路

3A2000/3A3000纠正，3A4000/3A5000再跨越

HotChips, IEEE Micro, ISCA、HPCA等国际著名刊物和会议发表龙芯3号结构



# ARM架构发展史



# 国产ARM处理器：鲲鹏

- 鲲鹏处理器是华为在2019年1月向业界发布的高性能处理器。
- 鲲鹏920是目前业界最高性能ARM-based处理器。该处理器采用7nm制造工艺，基于ARM架构授权，由华为公司自主设计完成。鲲鹏920以更低功耗为数据中心提供更强性能。



# 基于ARMv8架构的鲲鹏处理器



鲲鹏916

支持多路互联的ARM处理器

- 32核, 2.4 GHz主频
- SPECint性能匹配业界中端, 功耗低至75 W
- 支持4通道DDR4控制器
- 支持PCIe 3.0和SAS/SATA 3.0
- 集成板载GE/10 GE网络
- 支持2路互联



鲲鹏920

7nm制程, 数据中心ARM处理器

- 计算核数提升1倍, 最多64核
- SPECint性能提升超过2倍
- 内存通道数提升1倍, 支持8通道DDR4控制器
- 支持PCIe 4.0和CCIX
- 集成板载100 GE网络和加密、压缩等引擎
- 支持2路或4路互联

# 国产ARM处理器：飞腾

- 飞腾处理器，又称银河飞腾处理器，是由中国人民解放军国防科学技术大学研制的一系列嵌入式数字信号处理器（DSP）和中央处理器（CPU）芯片。其商业化推广是由天津飞腾信息技术有限公司负责。
- 早期的飞腾系列处理器使用的是SPARCv9架构，从飞腾-1500A开始，后续的处理器均使用ARMv8架构。



# 飞腾公司的处理器芯片系列

- 飞腾公司的FT系列微处理器都基于ARMv8指令集
- 兼容处理器内核**FTC660**
- **FT-2000A/2**可应用于多种嵌入式计算机及网络设备
- **FT-1500A/4**面向各类桌面终端、便携式终端和轻量服务器
- **FT-2000+/64**主要应用于高性能、高吞吐率服务器领域



# 第1章 计算机系统量化分析基础

1.1 计算机体系结构的概念

1.2 计算机体系结构的发展

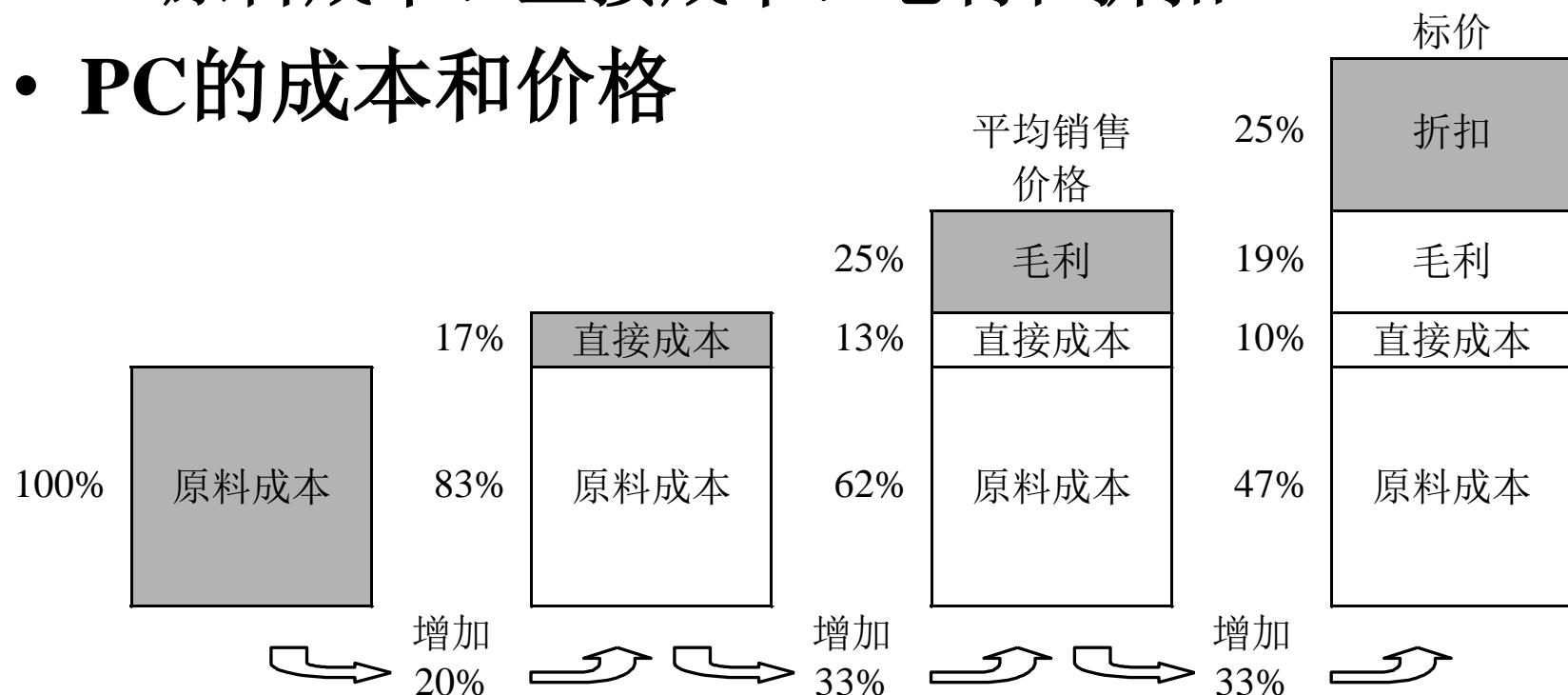
1.3 计算机系统设计和分析

# 1.3 计算机系统设计和分析

- 1.3.1 成本与价格
- 1.3.2 基准测试程序
- 1.3.3 量化设计的基本原则

## 1.3.1 成本与价格

- 商品的标价（价格）由这样一些因素构成
  - 原料成本、直接成本、毛利和折扣
- PC的成本和价格



# 装机部件的成本分布 (2024. 6)

	型号	价格(元)	比例
处理器	Intel 酷睿 i9 14900k	4299	13. 67%
散热器	利民FC140	339	1. 08%
主板	华硕 ROG Z790-F	3899	15. 1%
显卡	七彩虹 iGame980 GeForce RTX 4090	14999	47. 71%
内存	DDR4 43600 32GB 2条	939	2. 99%
硬盘	三星 4TB SSD 固态硬盘	2999	9. 54%
显示器	AOC 34英寸 180Hz	1999	6. 36%
鼠标	罗技 无线游戏鼠标 GPW2	699	2. 22%
键盘	VGN V98 pro	429	1. 36%
机箱	爱国者 YOGO K1	259	0. 82%
电源	长城 850W X8	579	1. 84%
总价		31, 439	

## 1.3.1 成本与价格

- 系统的成本
  - 主机: ~ 47%
  - I/O设备: ~ 47%
  - 附件: ~ 6%



### 1.3.1 成本与价格

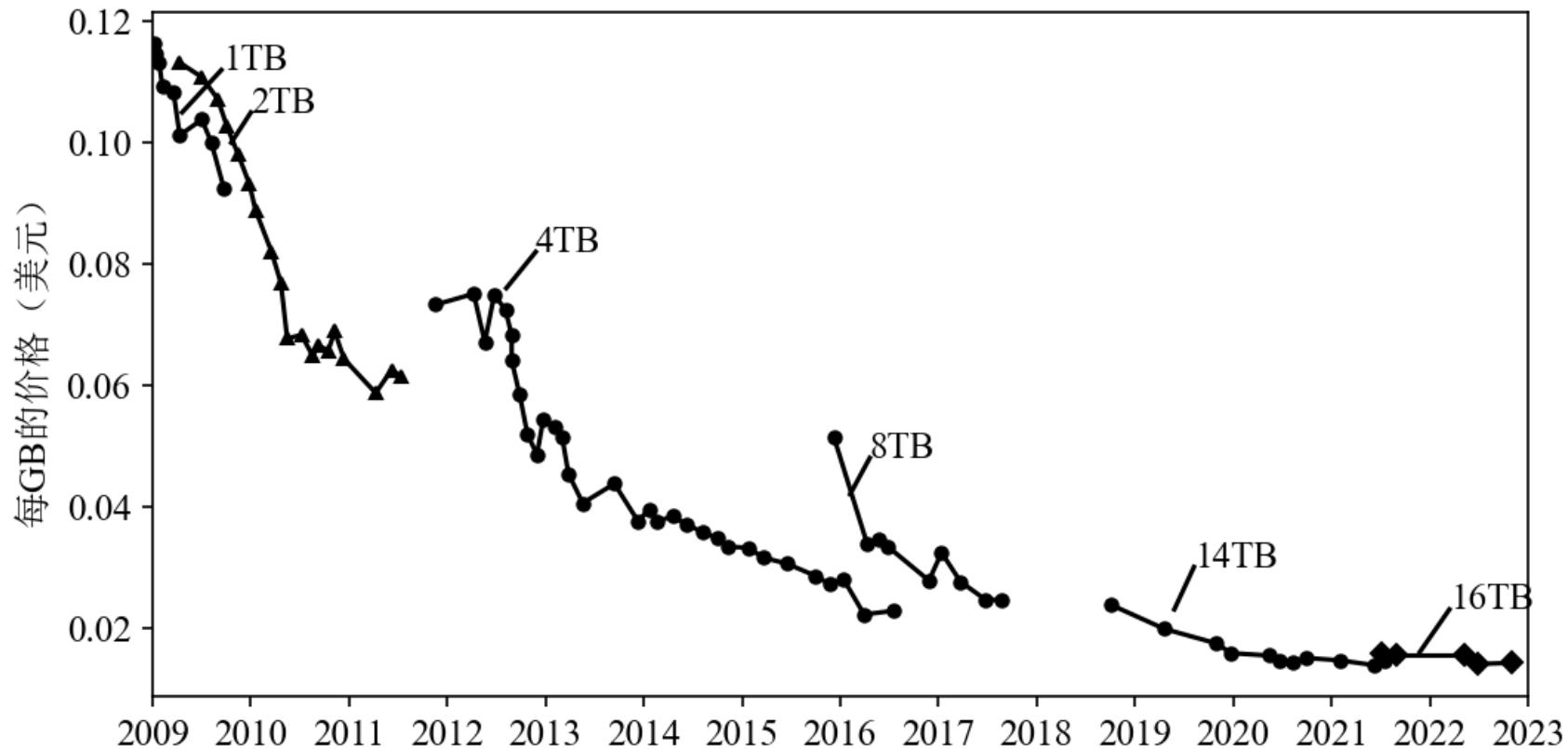
- **性能/成本设计**: 设计者需取得性能与成本之间的平衡。
- 在过去的几十年中，计算机尺寸变小，因此低成本设计和**性能/成本设计**就显得日益重要，即使是巨型计算机制造商也发觉成本问题已日益重要。

### 1.3.1 成本与价格

- 对计算机系统成本产生影响的主要因素有：
  - 时间、产量、商品化等
- 对成本产生最直接影响的是时间。即使实现技术没有变动，计算机系统的制造成本也会不断下降。随着时间的推移，生产工艺会日渐稳定，产品的成品率会不断提高。产品的成本与成品率成反比。

# 成本-时间因素：学习曲线

- 产品价格随时间变化的特性，就是价格随时间下降的趋势



# 1.3 计算机系统设计和分析

- 1.3.1 成本与价格
- 1.3.2 基准测试程序
- 1.3.3 量化设计的基本原则

## 1.3.2 基准测试程序

- 目前计算机系统性能评测的3种主要技术
  - ✓ 分析建模
  - ✓ 模拟
  - ✓ 实际测量
- 近20年来，通过原型系统或实际系统测量来完成设计方案的评测越来越难以实现
- 伴随计算机系统和软件环境的能力提升，支持技术研究的模拟器也越来越精确和复杂
- 计算机体系结构研究（论文）中获取评测结果更多依赖于模拟器技术

## 1.3.2 基准测试程序

关键因素	分析建模	模拟	实际测量
系统所处的生命周期阶段	任何阶段	任何阶段	做出原型以后
时间消耗	短	中等	不一定
可用工具	分析师	模拟语言	测量仪器
准确性	低	中等	变化
参数修改（设计调整）	方便	中等	困难
成本	低	中等	高
结果的可接受程度	低	中等	高

## 1.3.2 基准测试程序

- 性能与测试程序的执行时间相关，那么用什么做测试程序呢？
- 五类测试程序
  - 真实程序
  - 修正的（或者脚本化）应用程序
  - 核心程序
  - 小测试程序
  - 合成测试程序
- 测试程序包(组件, benchmark suites)
  - 选择一组各个方面有代表性的测试程序组成
  - 尽可能全面地测试了一个计算机系统的性能

# 测试程序包： [www.SPEC.org](http://www.SPEC.org)

- 基于UNIX，诞生于20世纪80年代
- 由真实程序和核心程序构成
- 采用C和Fortran两种语言，后增加C++
- 包括整数部分SPECint和浮点部分SPECfp
- 主要版本包括SPEC89、SPEC92、SPEC95、SPEC2000 和SPEC2006 ... SPEC2017等
  - SECP2017功能进一步细化
    - 台式计测试：SPEC CPU2000
    - 图像测试：SPECviewperf, SPECapc
    - NFS性能测试：SPECsfs
    - Web服务测试：SPECWeb

# TPC测试标准分类

- 1985年发布第一个TPC测试程序TPC-A，并先后发布多个修改版本并补充了四个不同的测试程序，构成TPC测试程序组件
- 联机在线事务处理系统（OLTP）测试标准：TPC-C、TPC-E
- 决策支持/大数据（DS）测试标准：TPC-H、TPC-DS
- 服务器虚拟化（VMS）测试标准：TPC-VMS

# LINPACK系列测试程序

- LINPACK是线性系统软件包（Linear system package）的缩写
  - 最流行的测试计算机系统浮点性能的程序。
  - LINPACK测试包括三类： Linpack100、 Linpack1000和HPL。
- “天河”系列巨型机
  - 2010年11月，“天河1A”巨型机以LINPACK实测值2566 TFLOPS的成绩，成为我国首次排名TOP500世界第一的计算机系统。
  - 2013年11月，“天河二号”巨型机以 LINPACK 实测值 33.86PFLOPS的成绩，成为排名TOP500世界第一的计算机系统。
  - 得益于良好和具有前瞻性的设计，“天河二号”连续6次在TOP500排行榜位列第一，并连续22次在TOP500排行榜上位列前10。

# 台式计算机上经常使用的测试工具

- 常用
  - CPU-Z
  - Cinebench
  - 鲁大师
- 软件内含
  - POV-Ray、7-zip、国际象棋等应用软件也提供特定的性能测试结果。
  - 大部分游戏软件中也包含对台式计算机系统的性能测试功能
- 设备专用性能测试工具
  - 还有硬盘测试、光驱测试、显卡测试、显示器测试、电源测试、笔记本电池测试等软件。
- Windows环境下的测试软件在互联网上比较容易获得。