

计算机体系(系统)结构

Computer Architecture

丁贤庆 ahhfdxq@163.com

希望各位同学

- 1、尽量不缺课
- 2、必须认真看书、复习
- 3、完成一定数量的习题（每次课布置三、五个必做题，共收2次作业本，分别是第4周，第8周收作业本，第4周的周一上课前收第一次作业本。
- 4、共有4次实验，第3周安排。涉及到用 verilog 语言在 vivado 2019 环境下进行编程。然后下载到在 FPGA 开发板上进行仿真和验证。

要 求

- 一、上课会听课。（课前预习，课后复习。）
多听，少记。多想，多问。
- 二、按时完成作业。有独立的作业本
严禁抄袭！！！ 独立完成。
- 三、课堂考核方式。
每节课**随机点名**。
重点内容会找同学**在线演算**。
上课时会随时找同学回答问题。
第4周，第8周各有1次10分钟课堂测验。

课程的考核方式:

- (1)平时随机点名、雨课堂线上小测和2次课堂线下纸质小测（第4周、第8周，每次10分钟），占**20%**
- (2)课堂和课后的作业，占**10%**
- (3)期末考试（第12周）占**40%**
- (4)实验和实验报告，占**15%**
- (5)阅读相关的外文论文,分享PPT，占**15%**

期末卷面成绩低于45分的，学校政策是：直接挂课，需要补考。

答 疑

计算机1、2、3班QQ群： 1048618402

群号的前**8位**是加群密码， 密码有效期是**2周**。

欢迎通过电子邮件提问

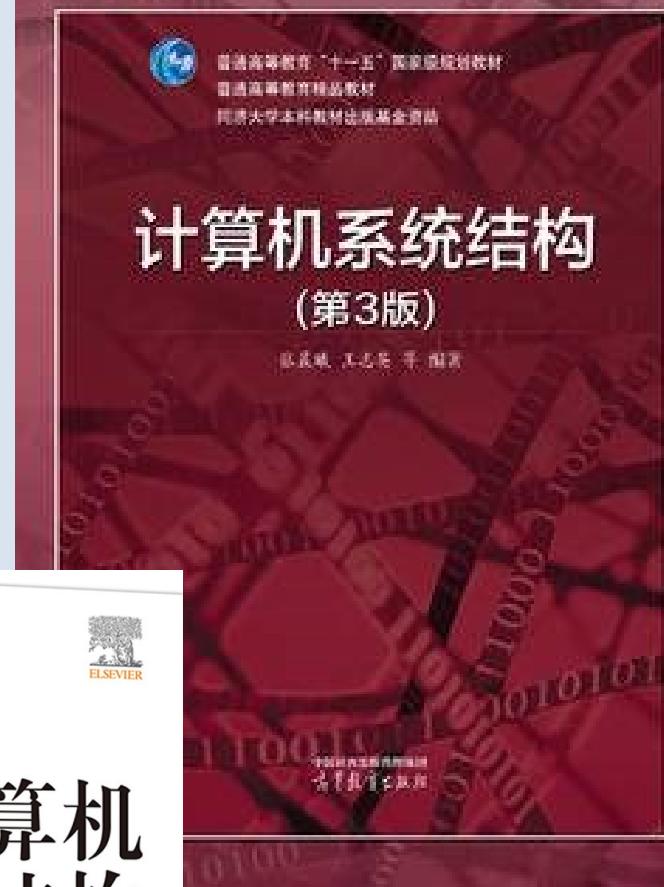
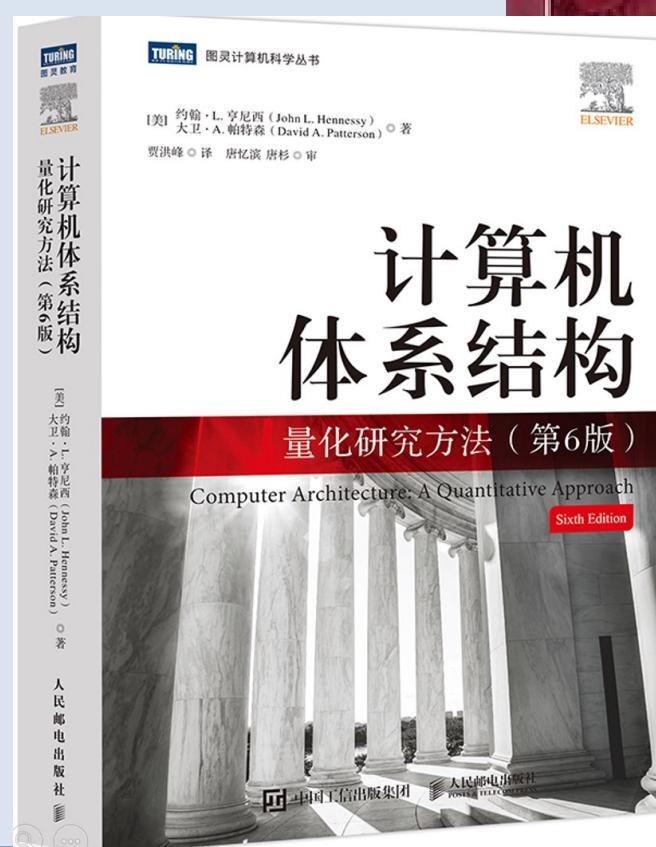
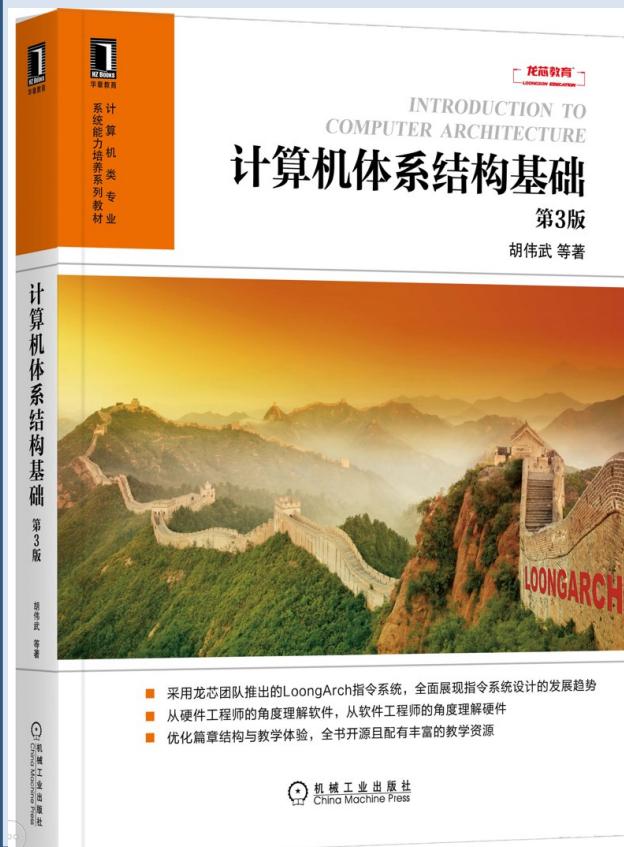
我的E-mail: ahhfdxq@163.com

祝同学们身体健康！ 学业有成！

教材：

《计算机系统结构（第3版）》
高等教育出版社

张晨曦 王志英 主编



MIPS
LOONGARCH
RISC-V

教材：

《计算机系统结构（第3版）》
高等教育出版社

张晨曦 王志英 主编



第2周补充介绍数字逻辑电路课程中第3章的
CMOS电路的相关知识。

下周可以带数字逻辑课本过来上课。

课程的总体介绍

课程的主要内容：

介绍**大型计算机**中的指令系统结构,存储结构,输入输出结构和多处理机、机群系统（集群系统）等内容

课程的组织线索： **大型计算机**中，

从专用的**单CPU**结构
到 **多CPU**结构。

- 专用的**单CPU**结构：

需要特殊的： 指令系统结构（第2， 3， 4章）

存储结构（第5章） 、

输入输出结构（第6章）

- **多CPU**结构：

需要特殊的： 互连网络（第7章） 、

多处理机（第8章） 、

机群系统（第9章） 、

多核系统（第10章）

世界高性能计算机TOP500强 调查报告

TOP500概述

- TOP500项目是针对全球已知最强大的计算机系统做出排名与详细介绍。TOP 500从1993年开始对高性能计算机用Linpack程序进行基准测试，并取500最优质系统进行列表在TOP500网站上进行公布。www.top500.org
- 在第四十三届（2014年）高性能计算大会上主办单位发公告指出，中国的天河二号在Linpack基准测试中达到每秒33.86千万亿次，夺得榜首，天河二号比排名第10的Cray XC30计算机快近十倍。

TOP500评判标准

- TOP500列表是由德国曼海姆大学的Hans Meuer、美国田纳西大学诺克斯维尔分校的Jack Dongarra以及美国劳伦斯伯克利国家实验室的Erich Strohmaier与Horst Simon等人共同汇编的。
- 目前使用的评判标准是LINPACK(线性系统软件包)，通俗地讲，就是看谁求解一元N次稠密线性代数方程组的速度更快，以此来评价高性能计算机的浮点性能。

超级计算机的必要性

- 人们一直在追求更快的计算速度和更大的存储空间，以此来应对越来越多的数据处理的工作。当我们把钱存在银行的时候，**超级计算机**在管理着资金；
- 当我们出门旅行的时候，**超级计算机**帮我们订机票；
- 当我们知道明天是晴是雨时，**超级计算机**为我们提供**天气预报**；
- 甚至当我们**玩游戏**时，**超级计算机**也在繁忙地工作着，让游戏体验更加流畅。
- 我们乘坐的飞机、我们使用的**电力和石油**，乃至于我们点一下鼠标打开一个网页的时候，都离不开**超级计算机**的支持

为什么中国需要自行研制高性能计算机

- 航空航天工业中的数字风洞，可以减少实验次数，缩短研制周期，节约研制费用；
- 用高性能计算机做气象预报和气候模拟，对厄尔尼诺现象及灾害性天气进行预警，
- 在生物工程、生物信息学、船舶设计、汽车设计和碰撞模拟以及三峡工程施工管理和质量控制气象工作等领域离不开高性能计算机

我国超级计算机发展年谱

型号	面世时间	每秒运算速度 (峰值)
银河—Ⅰ	1983年	1亿次
曙光一号	1992年	6.4亿次
银河—Ⅱ	1994年	10亿次
银河—Ⅲ	1997年	130亿次
神威—Ⅰ	1999年	3840亿次
深腾1800	2002年	1万亿次
曙光4000A	2004年	11万亿次
神威3000A	2007年	18万亿次
深腾7000	2008年	106.5万亿次
曙光5000A	2008年	230万亿次
天河一号	2009年	1206万亿次

- -国产高性能计算平台



神威-I



天河1号(TH-I)



联想-6800



曙光-星云(Nebulae)

- 中国高性能计算发展大事记

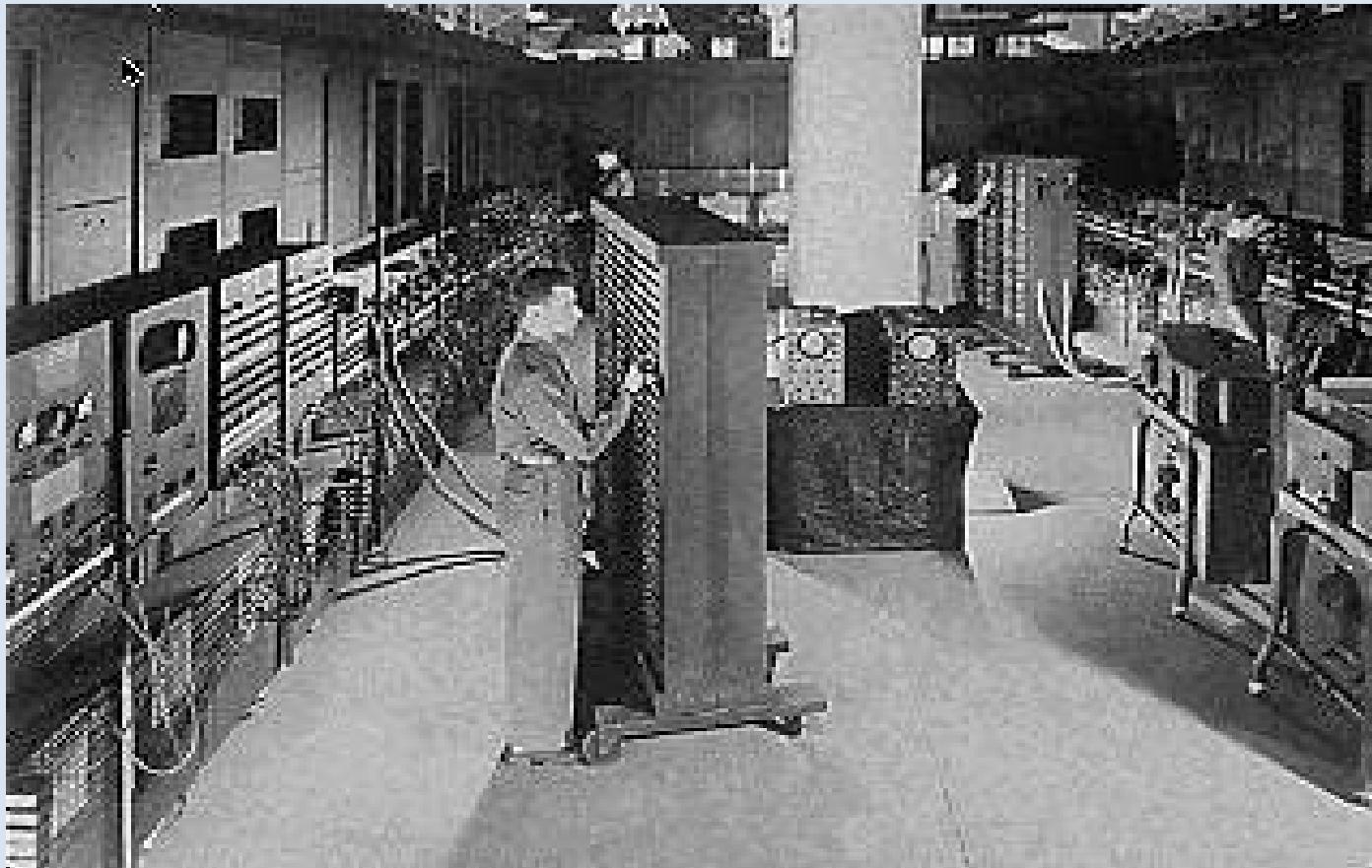
- 1983年，由国防科技大学研制的银河I型亿次巨型机系统的成功问世，标志着我国具备了研制高端计算机系统的能力。
- 1992年，曙光投入200万元研制曙光一号。随后，曙光一号、曙光1000、曙光2000、曙光3000、曙光4000相继问世。
- 1994年，银河I的换代产品银河II在国家气象局正式投入运行，其系统性能达每秒10亿次，大大缩短了我国与先进国家的差距。
- 1997年，银河III并行巨型计算机在北京通过国家鉴定，峰值性能为每秒130亿浮点运算。
- 1999年，首台“神威I”计算机通过了国家级验收，并在国家气象中心投入运行。
- 2000年，由1024个CPU组成的银河IV超级计算机系统问世，峰值性能达到每秒1.0647万亿次浮点运算。
- 2002年，世界上第一个万亿次机群系统联想深腾1800出世，获得2004年国家科技进步二等奖。
- 2003年，联想深腾6800问世把世界机群计算推向新的高峰。
- 2004年，曙光4000A成功研制，使中国成为继美国、日本之后第三个能研制10万亿次商品化高性能计算机的国家（进入TOP500前10位）。
- 2005年，中国高性能计算机性能TOP 100排行榜揭晓，曙光位居第一。天梭荣获国家科学技术进步二等奖。
- 2006年，曙光高性能计算机被胡锦涛总书记点评为“中国七大标志性自主创新成果之一”，曙光4000系列高性能计算机荣获国家科学技术进步二等奖。
- 2007年12月，中国首台采用国产高性能通用处理器芯片“龙芯2F”的万亿次高性能计算机“KD-50-I”研制成功。
- 2008年6月24日，中国科学院计算技术研究所、曙光公司和上海超级计算中心在中科院计算所联合举行了曙光5000落户上海超级计算中心的签约仪式。

2014年天河二号再一次统领超级计算机排行榜

- 2014年由中国国防科技大学研制的超级计算机天河二号在Linpack基准测试最新版本中的性能表现为每秒33.86千万亿次，再一次力压群雄、继续保有自己的最强超算桂冠。

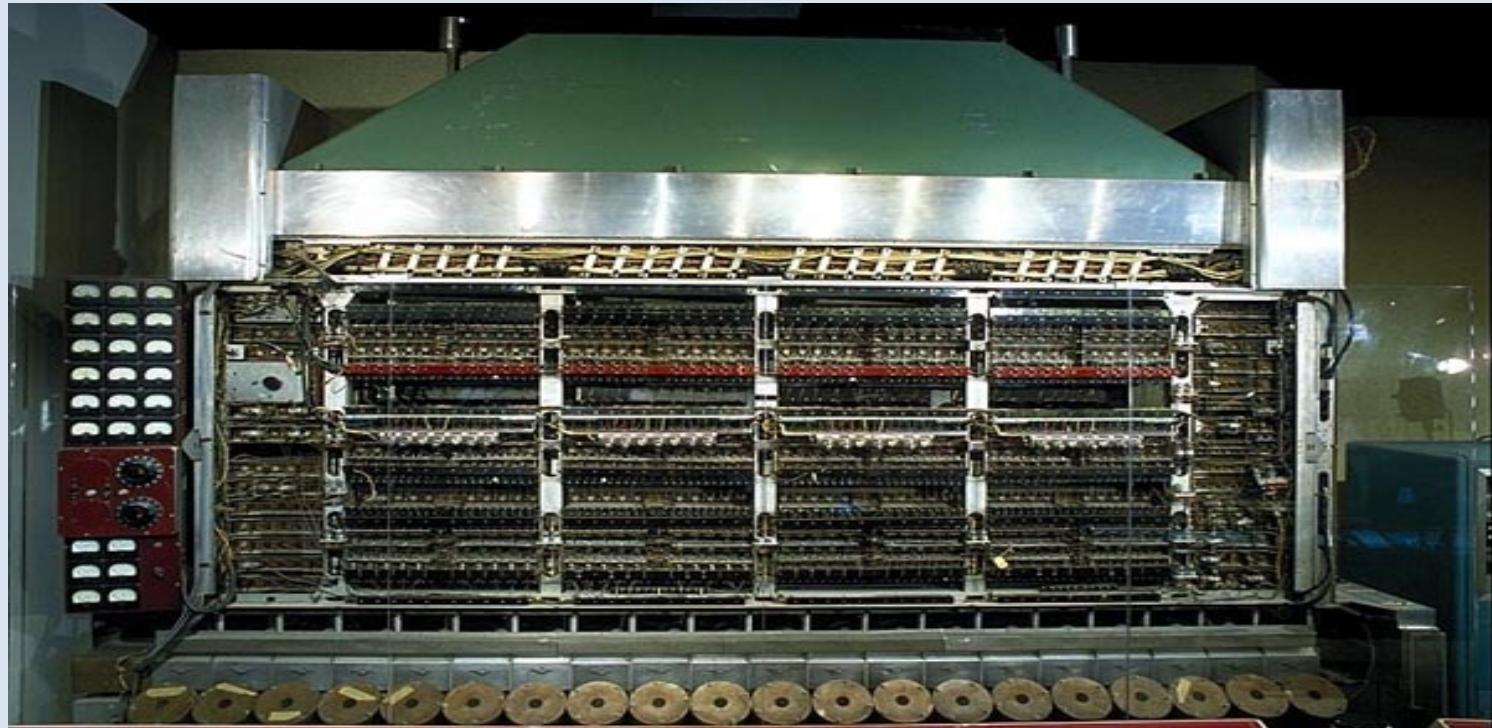


计算机发展史上的关键图片：



世界上第一台电子计算机 ENIAC(1946)

第一台von Neumann 系统结构的计算机



IBM System / 360



www.Jenson-scott.cityslide.com

2003年超级计算机

NO1. IBM: Seaborg



6080 个CPU 最大平均速度 $7.304 \text{ TF} (10^{12})$

全球五台超级计算机

截止2014.6



1. 天河2——

中国国防科技大学 (NUDT) 开发，坐落于广州的国家超级计算中心。在Linpack基准下，天河2获得了 **33.86 petaflop/s** 的优异成绩，大致是第二名泰坦的两倍。

系统当下由16000个节点组成，每个节点有2颗基于Ive Bridge-E Xeon E5 2692处理器，累计共有**32000颗**Ive Bridge处理器。

全球五台超级计算机

截止2014.6



2.Titan

使用Cray XK7系统，坐落于**美国**橡树岭国家实验室的能源部（DOE），继续保持超算第二快。在Linpack基准下获得了17.59 **petaflop/s**的战绩，其使用的是**261632个**NVIDIA K20x催化剂核心。**总耗能8.21 MW**，合2.143 Gflops/W，属最[具能效的超算之一。](#)

全球五台超级计算机

截止2014.6



3. Sequoia

使用着IBM BlueGene/Q系统，坐落于美国的 Lawrence Livermore National Laboratory。相比去年，其排名并没有发生变化，Linpack基准下使用 **1572864** 个核心获得 **17.17 petaflop/s** 的成绩；而在 Graph500 榜单上，则获得了第一的成绩。

全球五台超级计算机

截止2014.6



4.富士通的超算K

坐落于日本神户的RIKEN Advanced Institute for Computational Science，使用705024个SPARC64处理核心，在Linpack基准下获得了10.51 Pflop/s的成绩。

全球五台超级计算机

截止2014.6



5. Mira

使用的同样是BlueGene/Q系统，坐落于美国能源部的Argonne National Laboratory，使用**786432**个核心获取了8.59 **Pflop/s**的得分；在Graph500榜上落后Sequoia，位列第2。

2024年世界最强5台超级计算机

NO1. Frontier



2024年5月，全球Top500组织在德国汉堡举行的国际超算大会（ISC 2024）上，正式发布了第63届全球超级计算机Top500榜单。其中，美国橡树岭国家实验室和AMD合作的Frontier以 1.206 EFlop/s的峰值性能排名第一。

其采用了HPE Cray EX235a架构，2GHz AMD EPYC 64C CPU和AMD Instinct 250X GPU，共有8699904个CPU和GPU核心，并借助于Slingshot 11网络进行数据传输。此外，Frontier还具有高达52.59 GFlops/W的额定能效，

2024年世界最强5台超级计算机

NO2. Aurora



美国阿贡国家实验室和英特尔合作的Aurora则首次突破E级大关，以1.012 EFlop/s的峰值性能排名第二。

该超算安装在美国伊利诺伊州的阿贡国家实验室，也是由美国能源部运营。Aurora 基于HPE Cray EX网络，整合了21248个Intel Xeon Max系列CPU、63744个Intel Max系列GPU、20.42PB内存，峰值性能号称可达 2 EFlop / s，远超 Frontier。

2024年世界最强5台超级计算机

NO3. Eagle

Eagle以561.2PFlop/s的HPL性能排名第三。该超算安装在微软Azure云平台上，并且它依然是Top500超算中最高排名的云计算系统。这款微软NDv5系统的强大性能，源于英特尔Xeon Platinum 8480C处理器和英伟达(NVIDIA) H100 GPU加速器的结合。

2024年世界最强5台超级计算机

NO4. Fugaku

Fugaku凭借其442 PFlop/s的HPL性能排名第四。该超算安装在日本神户的理研计算科学研究中心（R-CCS），基于 2.2GHz Fujitsu A64FX 48C 处理器，Tofu interconnect D互连，共计拥有 7630848 个核心，继续保持了美国以外地区排名最高的超级计算机的地位。

2024年世界最强5台超级计算机

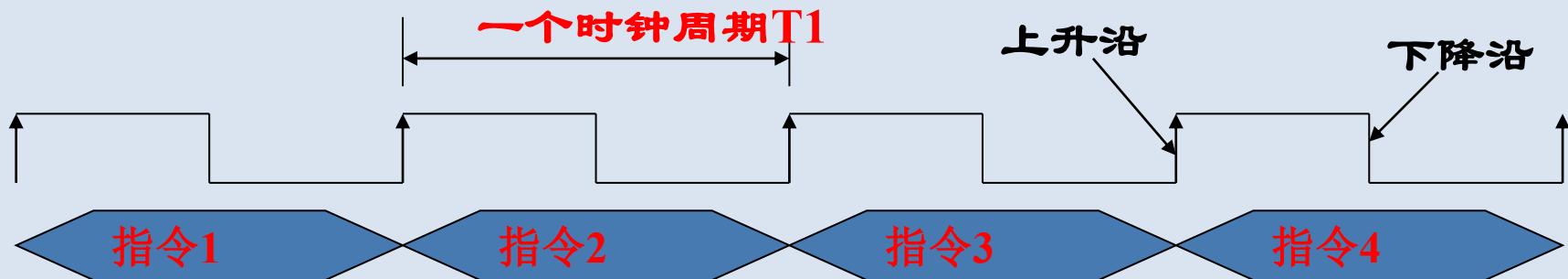
NO5. LUMI

LUMI以379.7 PFlop/s的HPL性能排名第五。该超算安装在芬兰CSC EuroHPC中心，是欧洲最强的超级计算机，其基于HPE Cray EX235a系统，AMD第三代EPYC 64C 2GHz处理器，AMD Instinct MI250X加速器，Slingshot-11网络

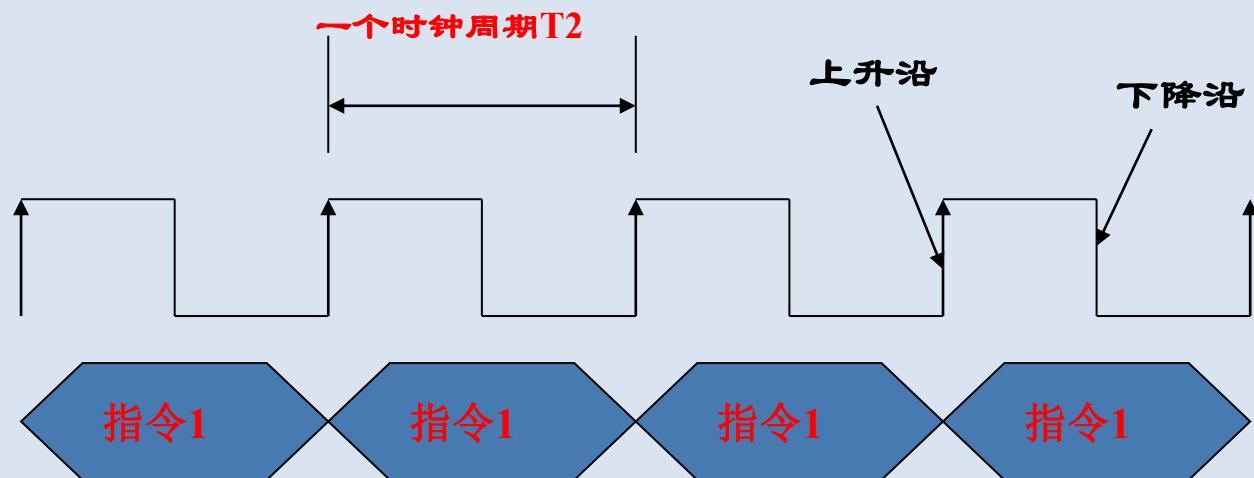
2024年5月，全球Top500超算公布：Frontier蝉联第一，中国超算不再参加测试！

单周期CPU 和 多周期CPU 比较

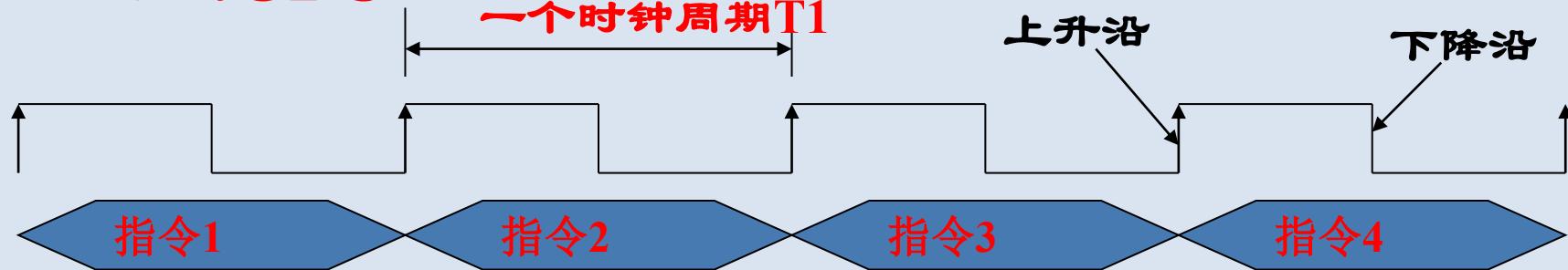
- 目前的计算机都属于“同步”计算机。
- 同步计算机是指在计算机系统中有一个时钟(Clock)，计算机所有的动作都以这个时钟为基准。
- **单周期CPU**是指一条指令的执行在一个时钟周期内完成，然后开始下一条指令的执行，即一条指令用一个时钟周期。



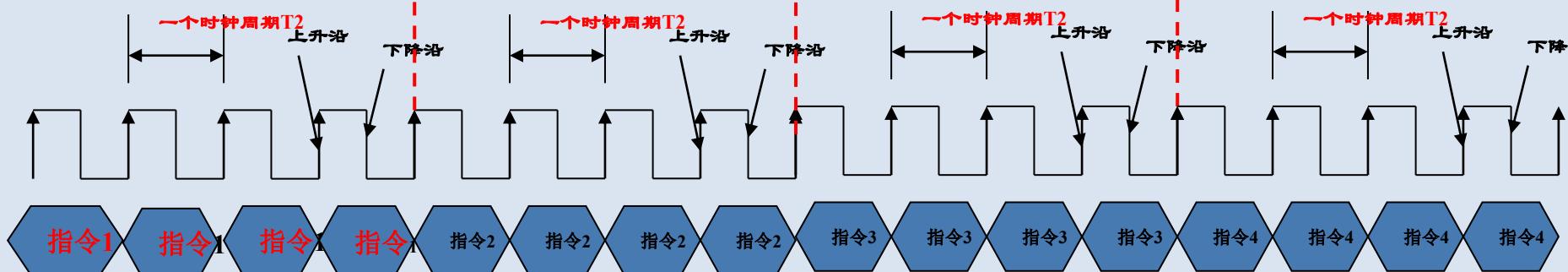
- 多周期CPU是指一条指令的执行在多个时钟周期内完成，就是将原来一个时钟周期内完成的事，分成多个更小的时钟周期，在多个更小的时钟周期内完成一条指令。如下图。多周期CPU可以分为多周期CPU（非流水线型）和多周期CPU（流水线型）两种类型。



• 单周期CPU



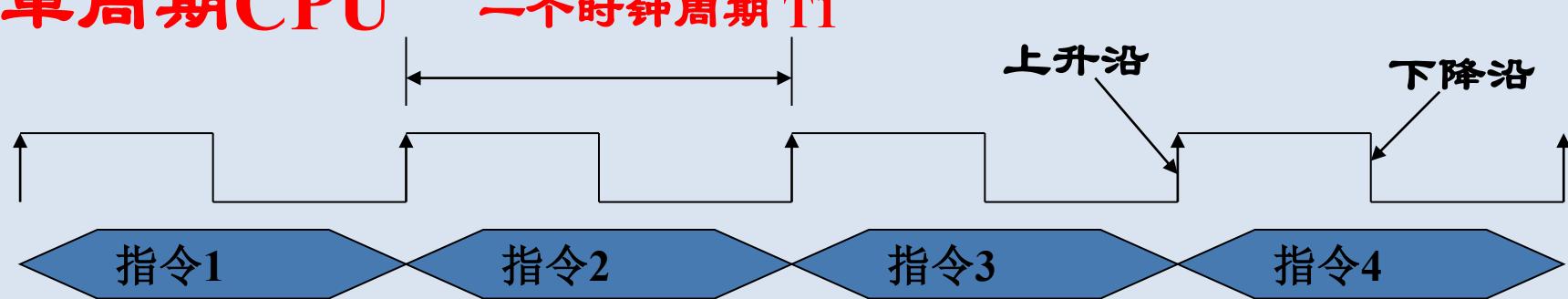
• 多周期CPU (串行)



$$T1=4 * T2$$

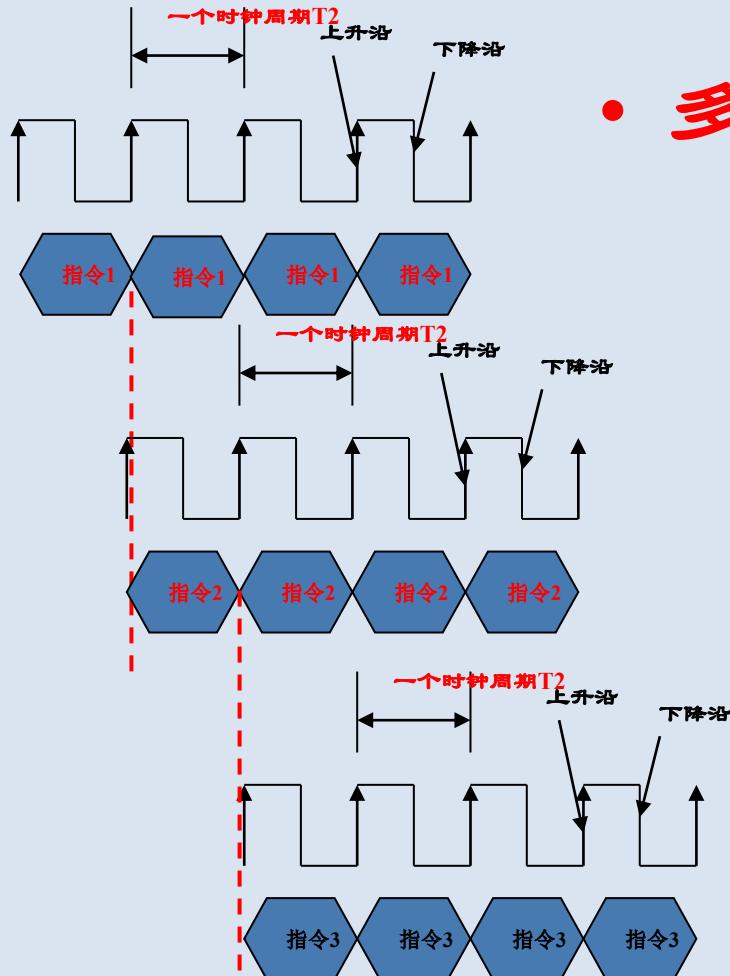
• 单周期CPU与多周期
CPU (串行) 完成4条
指令的时间是相同的。

• 单周期CPU



$$T_1 = 4 * T_2$$

• 多周期CPU (流水线)



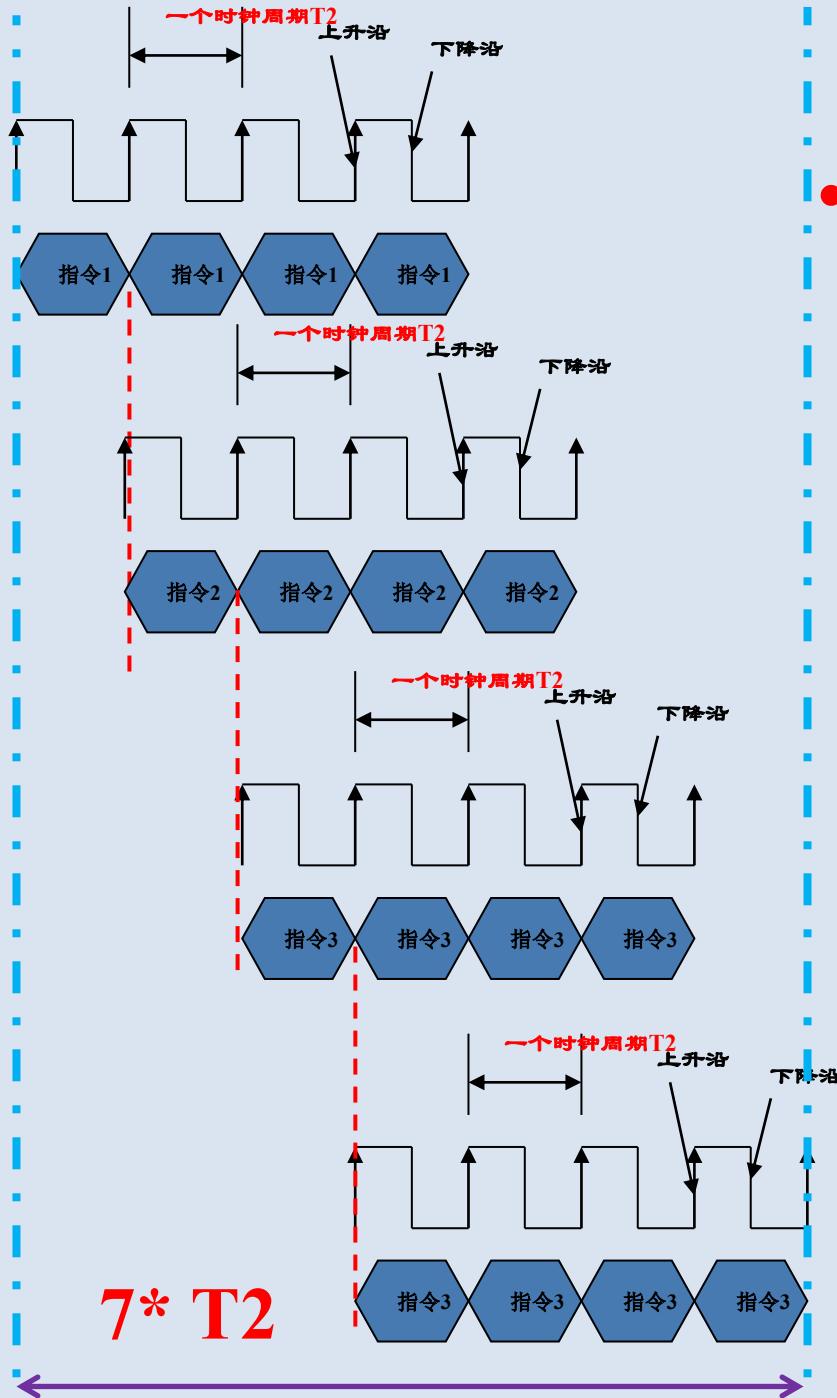
• 多周期CPU (流水线)
是指一条指令的执行在
多个时钟周期内完成，
可以前一条指令还没有
结束，就开始下一条指
令，形成流水线结构，
如图。

• 多周期CPU (流水线)

$$T1=4 * T2$$

- 单周期CPU与多周期CPU (流水线) 完成4条指令的时间是不相同的。多周期CPU (流水线) 中完成4条指令只需要 $7*T2$. 而多周期CPU (串行) 完成4条指令的时间需要 $16*T2$.

$7*T2$



- 提出一个问题：
- 如果知道10条指令的机器码，能设计出对应的CPU硬件结构吗？
- 例如：下页的定义。

Add rd,rs,rt

SUB rd,rs,rt

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

And rd,rs,rt

0000000000001000000000100100111000100

OR rd,rs,rt

LW rt,offset(rs)

10011000000010000000001001100000000d

SW rt,offset(rs)

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

SLL rd,rt,shamt

1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

SRL rd,rt,shamt

1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Jmp rs

000101000000100000000010011100011

Beq rs,rt,offset

0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- 提出一个问题：
- 如果知道10条指令的机器码，能设计出对应的CPU硬件结构吗？
- 答案在 后续章节中 才能揭晓。