



清华大学
Tsinghua University

第一单元 第一讲

学习目的和方法
计算机发展简史

刘卫东

计算机科学与技术系

教学团队



清华大学
Tsinghua University

主讲教师:

刘卫东

教授

liuwd@tsinghua.edu.cn

交流方式:

网上课程:

<http://learn.tsinghua.edu.cn>

办公室: 东主楼9区409 电话: 62781446

答疑时间: 周五, 14:00~15:00

教学团队



清华大学
Tsinghua University

李山山 实验员

liss02@mails.tsinghu.edu.cn

实验室： 东主楼9区423

张宇翔 助教

zyx17@mails.Tsinghua.edu.cn

杨松涛 助教

yst14@mails.tsinghua.edu.cn

作业提交： 按时间要求交给我或者助教

计算机组成原理



清华大学
Tsinghua University

✿ 学分：4

✿ 学时：64+32

✿ 先修课程：

▣ 数字逻辑

▣ 高级语言程序设计、汇编语言程序设计

✿ 后续课程：

▣ 操作系统、系统结构、计算机接口技术、计算机网络…

▣ 编译原理

✿ 联合课程：

▣ 汇编语言程序设计、编译、操作系统、计算机组成、**软件工程**

▣ 基于THINPAD和MIPS平台的计算机系统设计和实现

▣ **计算机系统综合设计与实现**

硬件系列课程



❁ 计算机结构 (Architecture)

- ❁ 对程序员精确描述计算机硬件的功能
- ❁ 对硬件工程师的最“抽象”的设计需求
 - ◆ 例：设计一个指针式手表
 - ◆ 能准确指示时刻

❁ 计算机组成 (Organization)

- ❁ 计算机体系结构的逻辑实现
- ❁ 计算机硬件功能的集成
- ❁ 计算机硬件性能评价
- ❁ 计算机硬件优化
 - ◆ 例：石英表、机械表
 - ◆ 电池、发条

❁ 数字电路 (Digital Logical)

- ❁ 计算机组成的物理实现
- ❁ 组成部件

主要教学内容



- ✚ 计算机的层次结构
 - ▣ 学习计算机组成原理的基本方法
- ✚ 计算机如何执行程序
 - ▣ 本课程要解决的基本问题
- ✚ 运算器的功能、组成和运行原理
 - ▣ 程序的功能是如何实现的
- ✚ 控制器的功能、组成和运行原理
 - ▣ 程序是如何执行的？
 - ▣ 怎样能执行得快一些？
- ✚ 存储器及层次存储器系统
- ✚ 输入/输出设备和总线

学习目标



- 了解计算机的硬件组成
 - 五大组成部件
 - 其他专业课程的基础
- 掌握计算机的运行原理
 - 计算机怎样执行机器语言程序
 - 计算机层次之间的交互关系
- 设计能力
 - 抽象、分层
 - 流水、并行/串行
 - 提高编程能力
- 培养计算机系统能力

培养计算机系统能力



清华大学
Tsinghua University

什么是计算机系统能力？

系统观

◆ 整体性、关联性、层次性、动态性、开放性

系统方法

◆ 软硬件协同及相互作用

◆ 层次结构

如何培养计算机系统能力？

在教學过程中注重系统观，围绕构建计算机系统这一目标组织教学

多课程联动，注重课程间知识点的有机衔接

课程实验设计中注意系统的设计和实现

怎样检验是否具备计算机系统能力？

设计和实现“自己”的计算机系统

◆ 简单但完整的计算机硬件

◆ 建立在硬件之上的监控程序/教学操作系统

◆ 在操作系统下调用经编译器编译的高级语言程序



实验：开发路由器

清华计算机系学生不但会造计算机，还会造路由器！

- “奋战三星期，造台计算机”不是神话
- “仨月造台路由器，半年学通互联网”不在话下

分成四个阶段

- 实验一：开源软件构建路由器
- 实验二：实现转发引擎
- 实验三：实现路由协议
- 实验四：路由器集成



学习目的

- 掌握单CPU计算机的完整硬件组成
 - 基本工作原理
 - 内部运行机制
 - 建立完整计算机系统概念
- 了解计算机系统的新技术
- 达到能独立设计一台完整计算机的水平
 - 硬件、软件齐全
 - 功能基本完整
- 知识和能力两方面都得到提高

教学环节和学习方法



清华大学
Tsinghua University

- 课堂讲授
- 阅读参考资料
- 课后复习
- 思考
- 习题
- 完成实验及报告
- 讨论和总结
- 考试

- 博学
- 审问
- 慎思
- 明辨
- 笃行

考评办法



❖ 书面作业及小实验

- ❖ 作业缺交2次（含），作业成绩为0
- ❖ 发现抄袭现象，作业成绩为0
- ❖ 若作业成绩为0，则考试无效
- ❖ ~~书面作业要求上交手写版，不接受电子版和打印版~~

❖ 大实验和报告

- ❖ 实验报告可按照要求，提交电子版

❖ 考试

❖ 总成绩评定

- ❖ If 考试成绩 \geq 全年级考试成绩的平均值/2
- ❖ Then 总评成绩=考试成绩*40%+Project成绩*50%+作业成绩*10%
- ❖ Else 总评成绩=考试成绩

Project



Project1

- 简单汇编语言实验、阅读监控程序及终端程序源代码

Project2

- 在FPGA上使用硬件描述语言VHDL实现Datapath

Project3

- 在FPGA上使用硬件描述语言VHDL实现存储和外设（串口）的访问

Project4

- 实现支持多周期/指令流水的计算机系统，运行监控程序

Project5（选做）

- 尽量消除指令之间的冲突，进行性能分析和比较
- 扩展功能（中断）
- 扩展功能（应用程序、编译器、监控程序）



Project评分标准

- 🌀 自由组合(2人/3人)、原则上按组给成绩
- 🌀 达到基本要求，成绩为80分
 - ▣ 完成Project1、2、3和4
 - ▣ 独立完成实验报告
- 🌀 鼓励在任何方面，尤其是硬件方面的扩展，鼓励有创意的展现形式（Project5，最多20分）
 - ▣ 中断、I/O等
 - ▣ 任何其他有特色的创新
 - ▣ 课堂交流

挑战性课程Project



- ✿ 了解操作系统Ucore基本框架和组成
- ✿ 基于32位新型教学计算机
- ✿ 获得较高的实验成绩，并保留挑战资格
- ✿ 完成以下功能
 - ▣ 设计基本的硬件系统，目标：
 - ◆ 运行教学系统Ucore，流水CPU，可以在Ucore下运行应用程序
 - ▣ 设计通用的硬件测试环境
 - ▣ 实现基本框架，并可展示
 - ▣ 完成设计文档、测试文档和下一学期工作计划

软件工程联合Project



- ✿ 基于32位新型教学计算机
- ✿ 经验收答辩，实验成绩最高可满分
- ✿ 完成以下功能
 - ▣ 运行教学系统Ucore，流水CPU，可以在Ucore下运行应用程序
 - ▣ 通用的硬件测试环境
 - ▣ 进行必要的扩展
 - ◆ 网络接口扩展（路由器？）
 - ▣ 满足软件工程课程要求的文档，包括需求分析、概要设计、测试报告等

实验板配发



🔥 挑战组（联合组）配发32位ThinPAD板

- ❑ 并提供云平台帐号

🔥 普通组实验板配发原则：

- ❑ 助教在网络学堂发帖
- ❑ 每组同学在网络学堂跟帖
- ❑ 根据跟帖先后，先跟帖的组优先选择32位ThinPAD板
 - ◆ 尽早确定小伙伴

教学要求



课堂纪律

- ❑ 按时到教室上课，不迟到
- ❑ 认真听讲，积极思考
- ❑ 不带食品到教室

诚信要求

- ❑ 独立完成作业，不得抄袭
- ❑ 分组独立完成实验及实验报告
- ❑ 考试不舞弊

教材和参考书



清华大学
Tsinghua University

教材

- ❑ Computer Organization & Design The hardware/software interface
第4版 机械工业出版社
- ❑ 《计算机硬件系统实验教程》 刘卫东 李山山著 清华大学出版社

参考书目

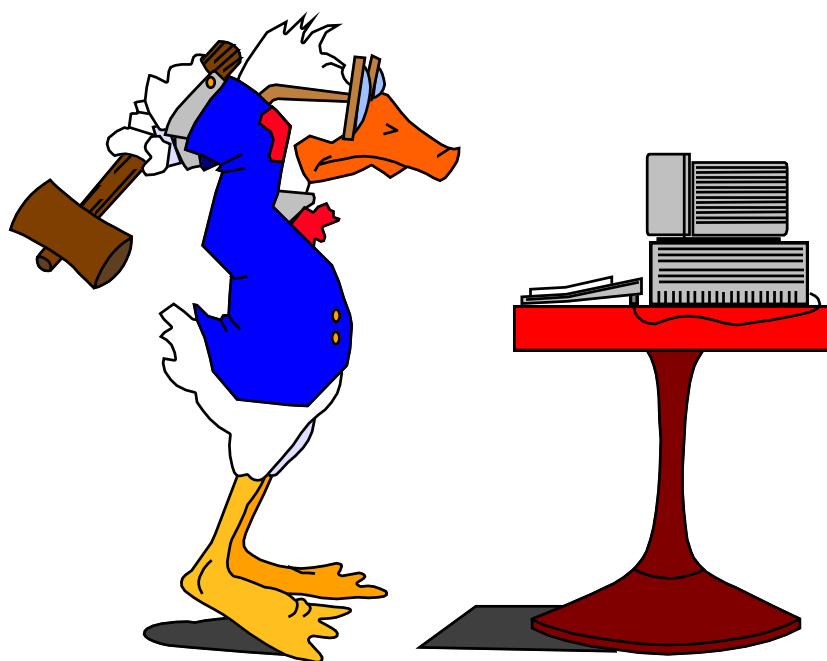
- ❑ 《计算机组成与系统结构》 袁春风编 清华大学出版社
- ❑ 《计算机组成—结构化方法》 刘卫东 宋佳兴 译 人民邮电出版社
- ❑ 《深入理解计算机系统》 机械工业出版社

其他阅读材料

计算机里有什么？



清华大学
Tsinghua University



计算机是什么？



清华大学
Tsinghua University



计算机是什么？



清华大学
Tsinghua University



计算机是什么？



清华大学
Tsinghua University



计算机是什么？



清华大学
Tsinghua University



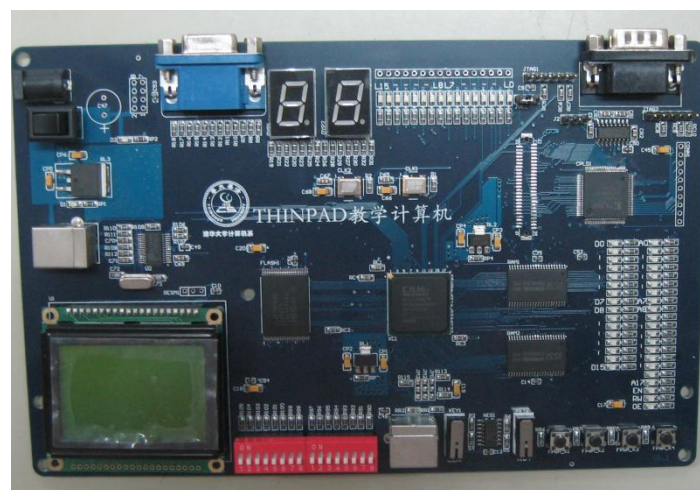
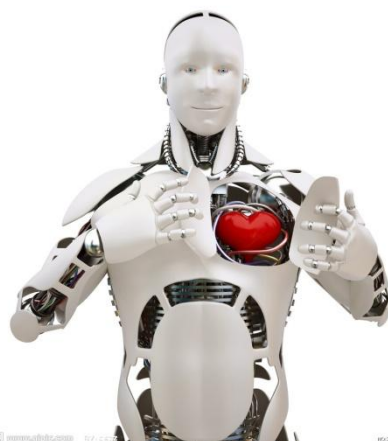
IT 行业



计算机是什么？



清华大学
Tsinghua University



计算机是什么？



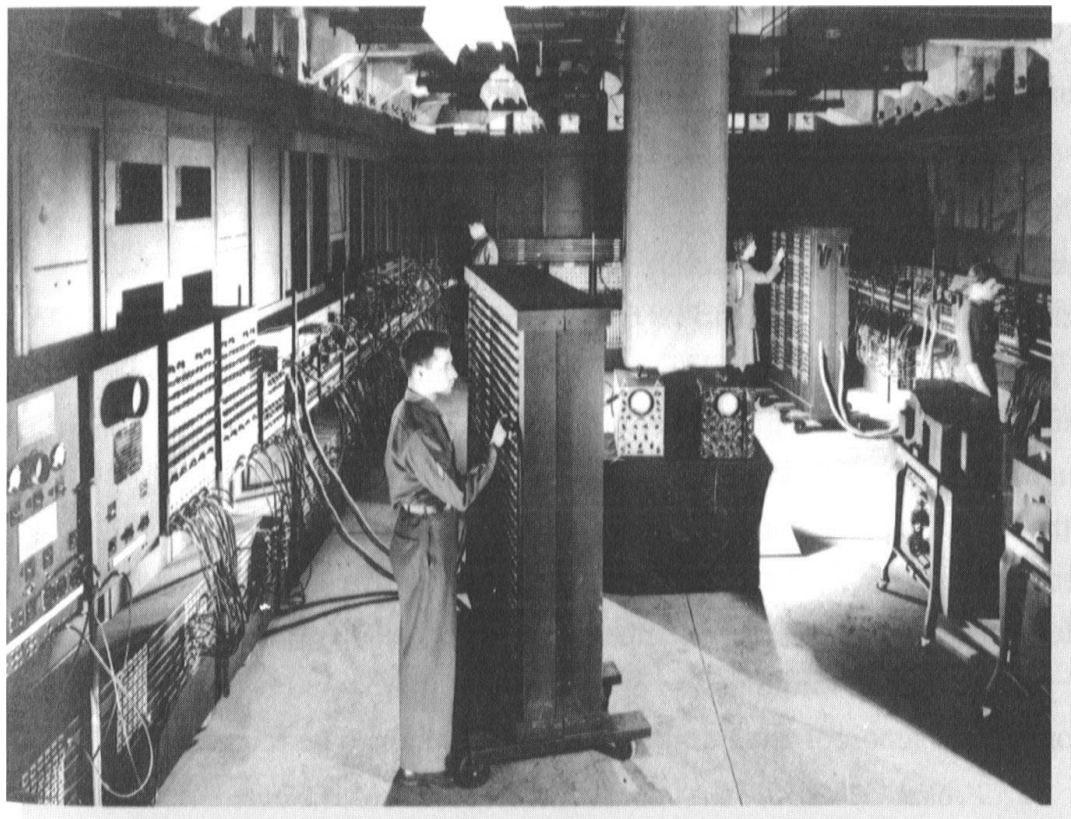
- ✿ 一种高速运行的电子设备
- ✿ 用于进行数据的算术或逻辑运算
- ✿ 可接收输入信息
- ✿ 根据用户要求对信息进行加工
- ✿ 输出结果

▣ A calculating machine, esp. an automatic electronic device for performing mathematic or logical operations; freq. with defining word prefixed, as analogue, digital, electronic computer.

— Oxford English Dictionary



计算机基本组成



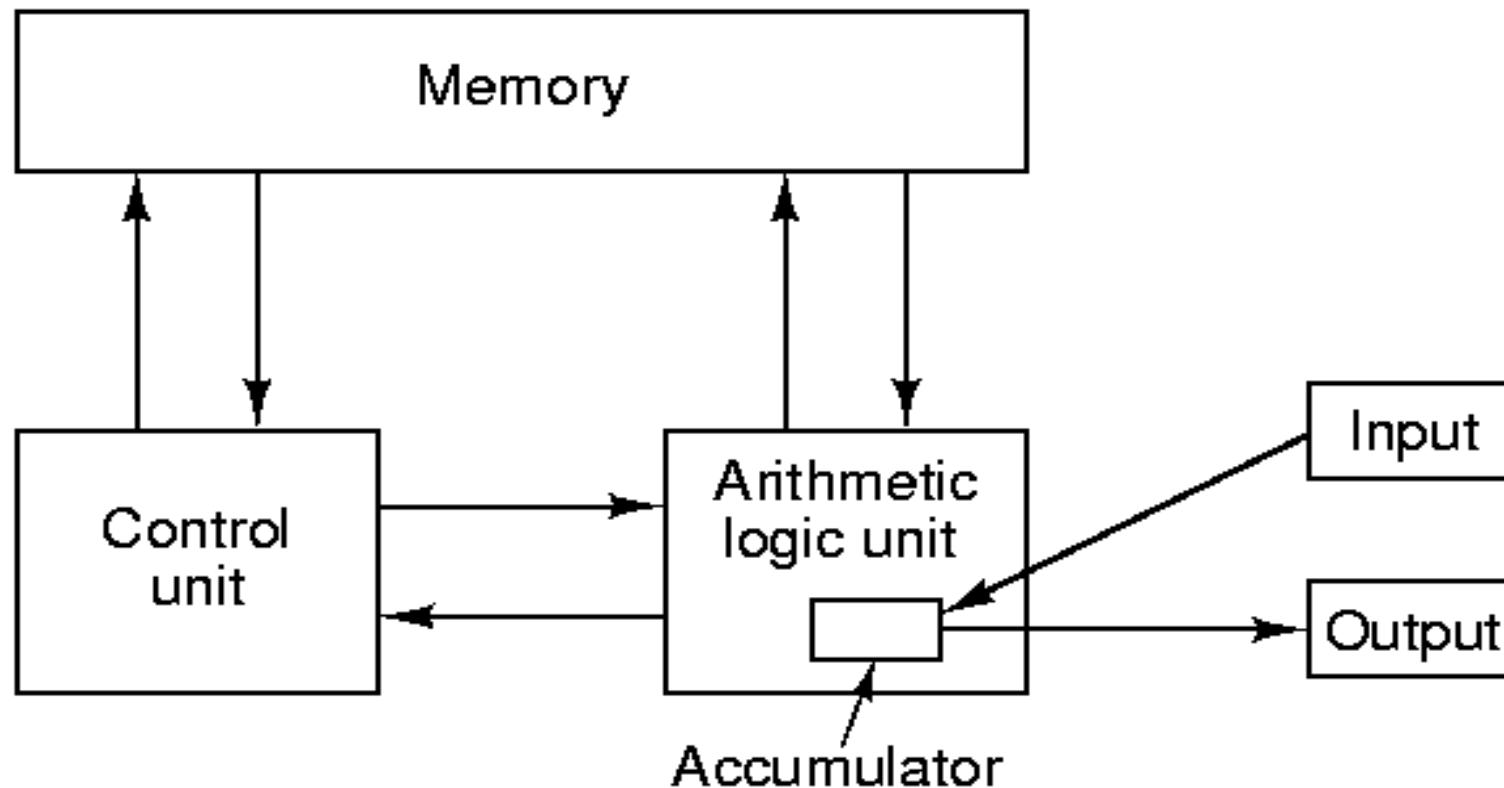
计算机理论基础诞生 超过60年

- ❑ Turing
- ❑ Shannon
- ❑ Von Neumann

组成计算机的关键部 件也没有大的改变

- ❑ CPU
 - ◆ Data Path
 - ◆ Controller
- ❑ Memory
- ❑ I/O

Von Neumann计算机

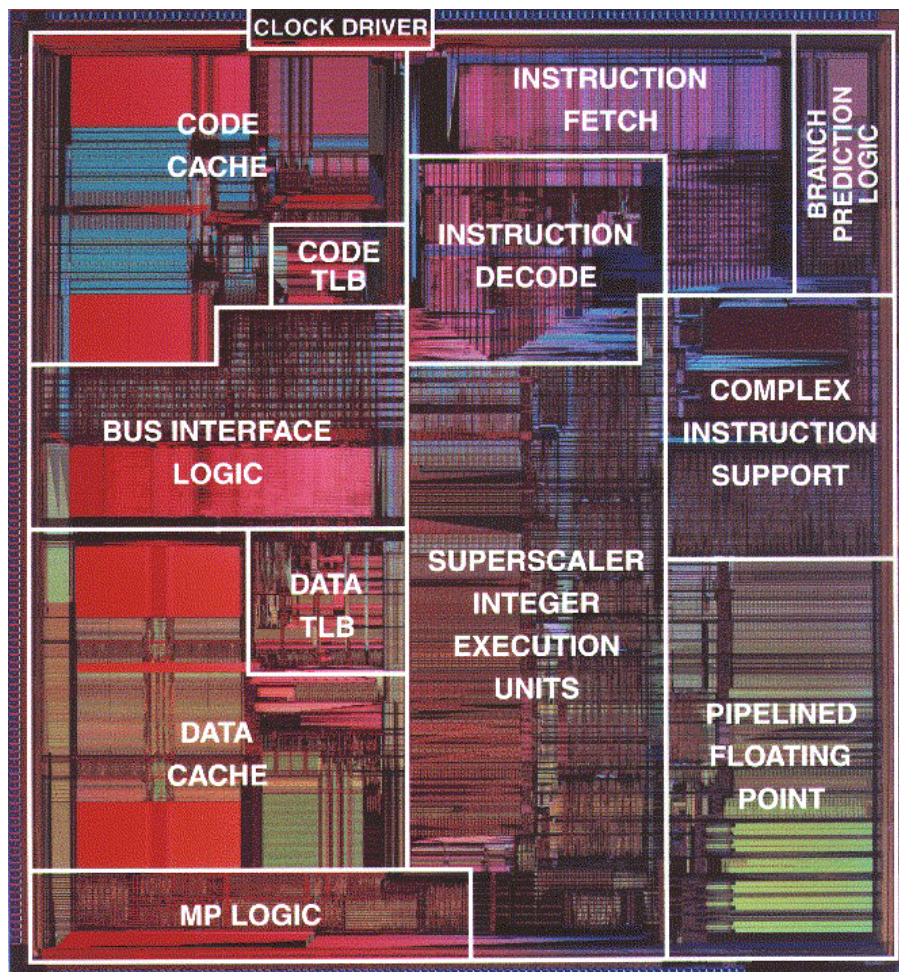


存储程序、二进制、体系结构

现代计算机



清华大学
Tsinghua University



Intel Pentium

功能部件

CPU

Data Path

Controller

Memory

I/O

VLSI

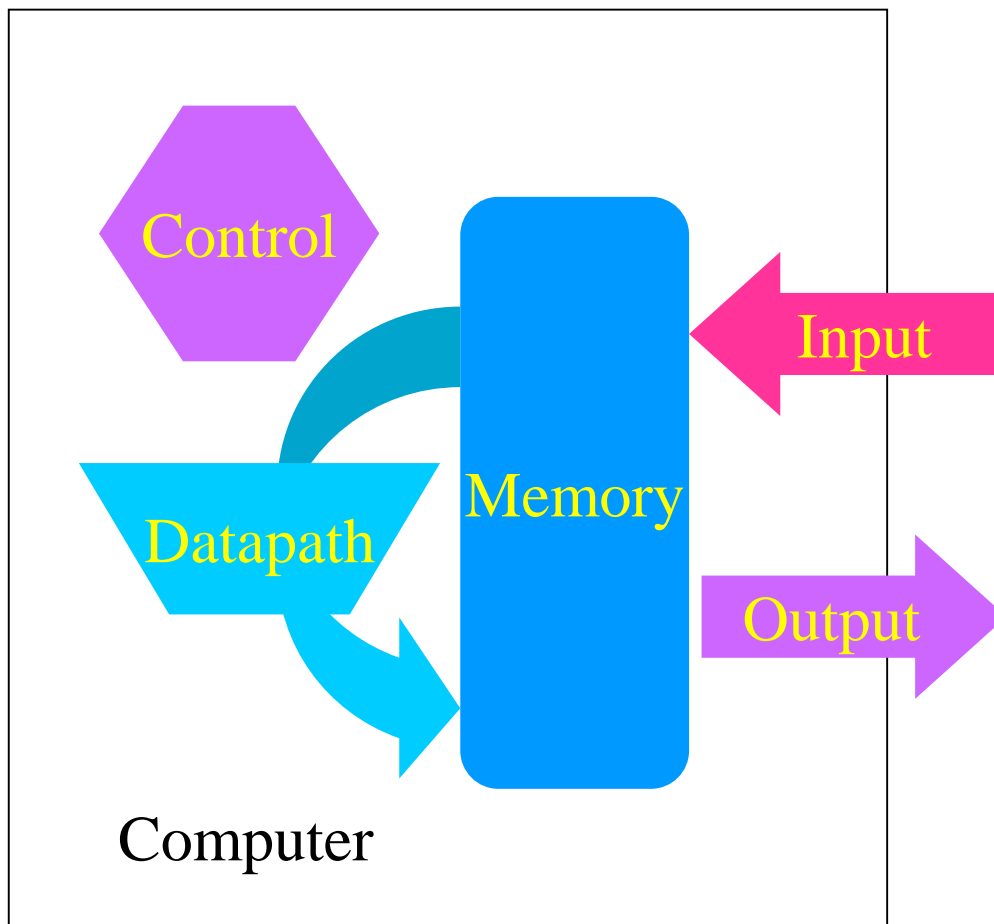
体系结构

PIPELINE

层次存储系统

并行

计算机运行机制



- ✿ Datapath: 完成算术和逻辑运算，通常包括其中的寄存器。
- ✿ Control: CPU的组成部分，它根据程序指令来指挥datapath，memory以及I/O运行，共同完成程序功能。
- ✿ Memory: 存放运行时程序及其所需要的数据的场所。
- ✿ Input: 信息进入计算机的设备，如键盘、鼠标等。
- ✿ Output: 将计算结果展示给用户的设备，如显示器、磁盘、打印机、喇叭等。

计算机剖析

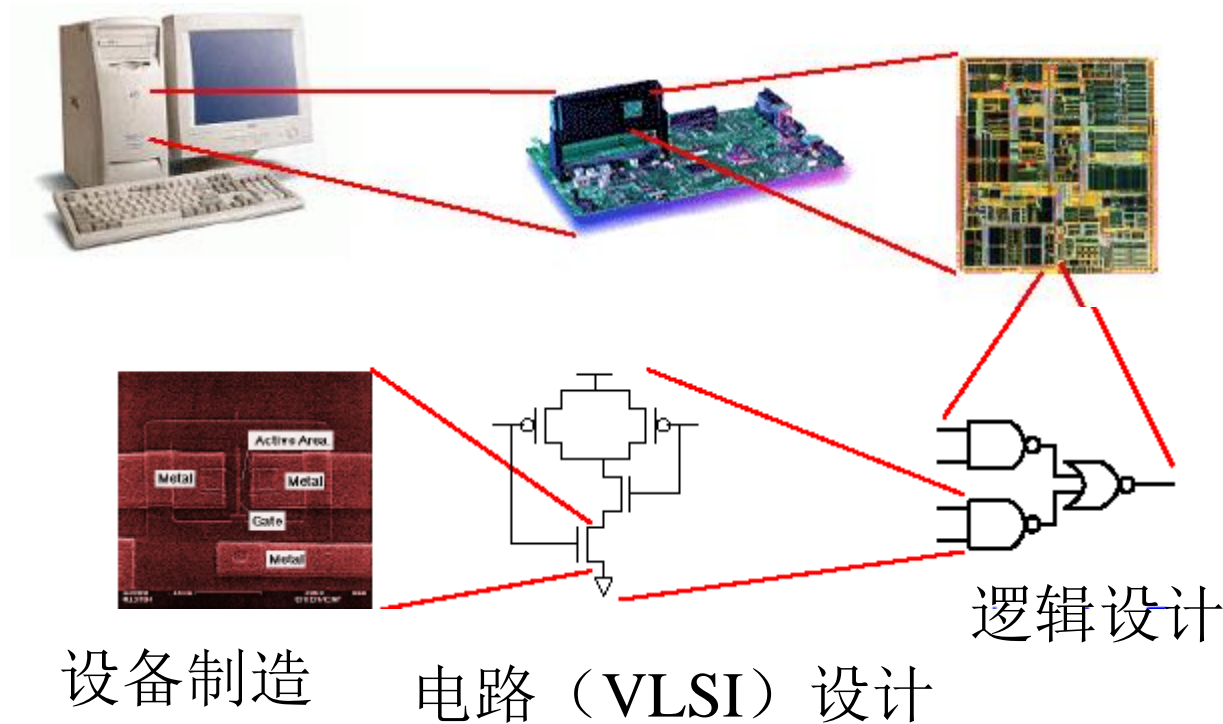


清华大学
Tsinghua University

计算机系统

计算机结构

计算机组成和实现



设备制造

电路 (VLSI) 设计

逻辑设计

计算机剖析

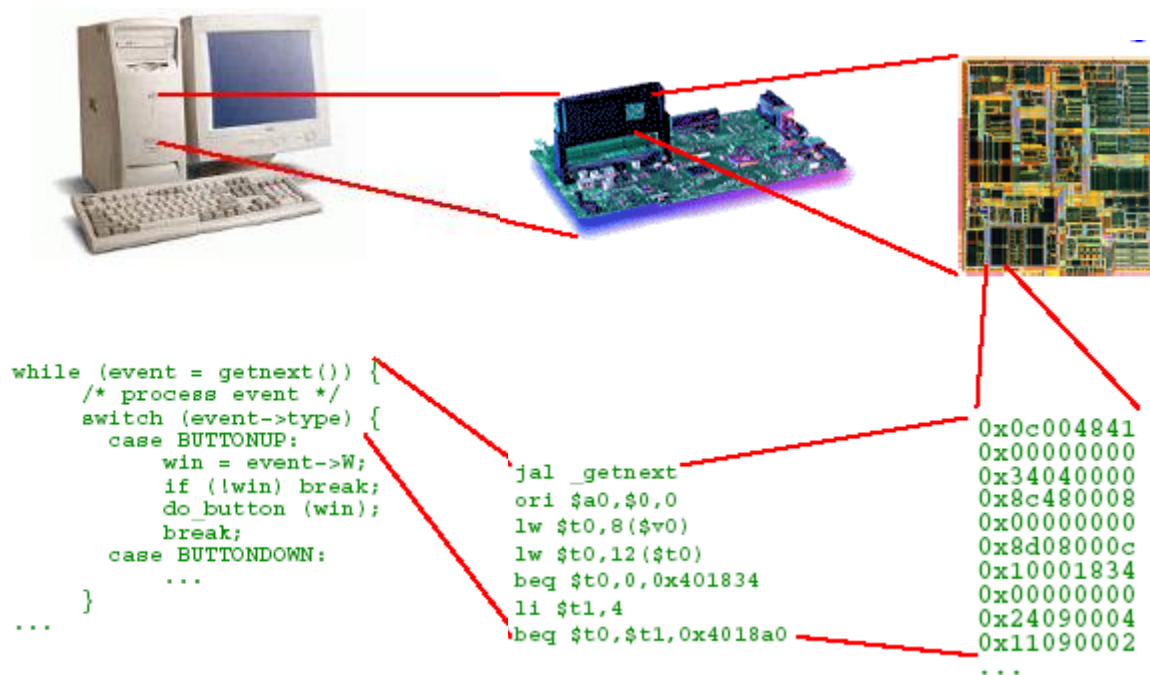


清华大学
Tsinghua University

计算机系统

计算机结构

计算机组成和实现

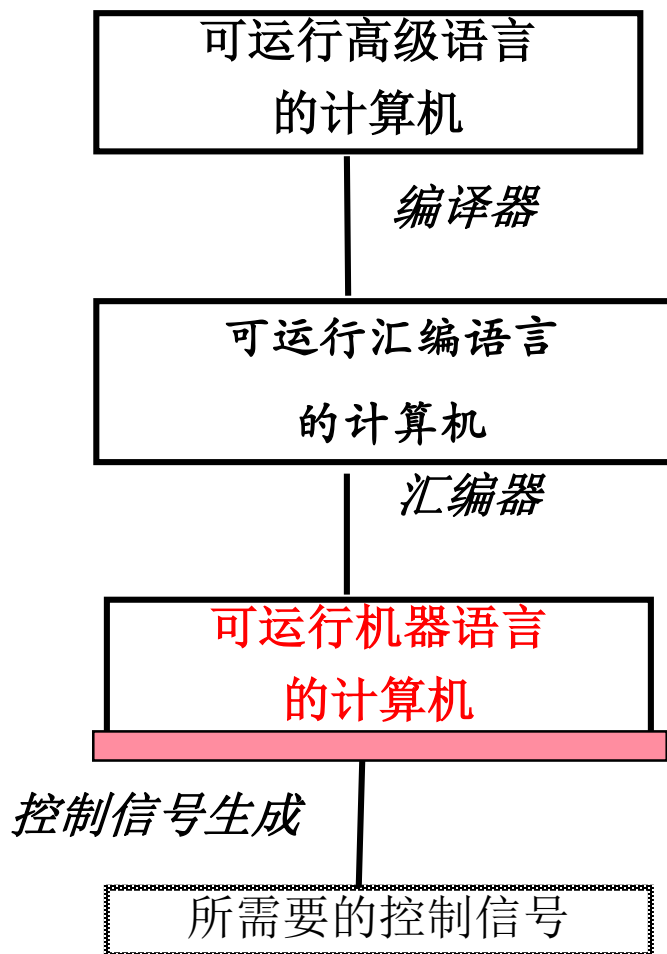


高级语言

汇编语言

机器语言

计算机的层次结构



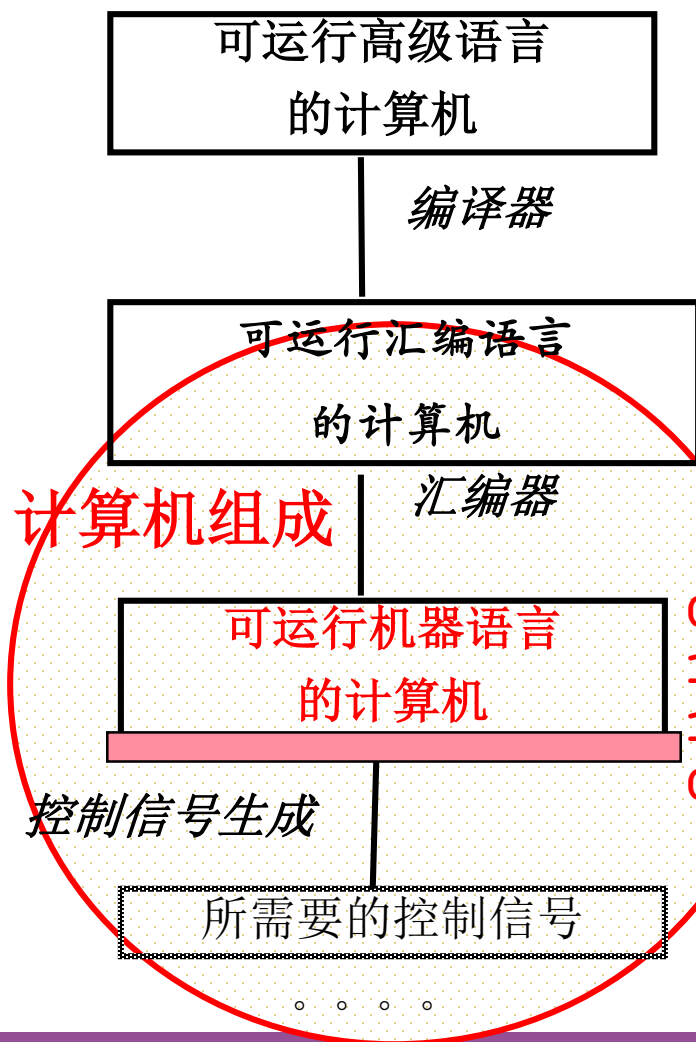
```
temp = v[k];  
v[k] = v[k+1];  
v[k+1] = temp;
```

```
lw $t0, 0($2)  
lw $t1, 4($2)  
sw $t1, 0($2)  
sw $t0, 4($2)
```

```
0000 1001 1100 0110 1010 1111 0101 1000  
1010 1111 0101 1000 0000 1001 1100 0110  
1100 0110 1010 1111 0101 1000 0000 1001  
0101 1000 0000 1001 1100 0110 1010 1111
```

。 。 。 。

计算机的层次结构



```
temp = v[k];  
v[k] = v[k+1];  
v[k+1] = temp;
```

```
lw $t0, 0($2)  
lw $t1, 4($2)  
sw $t1, 0($2)  
sw $t0, 4($2)
```

```
0000 1001 1100 0110 1010 1111 0101 1000  
1010 1111 0101 1000 0000 1001 1100 0110  
1100 0110 1010 1111 0101 1000 0000 1001  
0101 1000 0000 1001 1100 0110 1010 1111
```

Computer Generations



- ✿ **Gen-0:** Mechanical computers (BC to early 1940s)
- ✿ **Gen-1:** Vacuum Tubes (1943-1959)
- ✿ **Gen-2:** Transistors (1960-1968)
- ✿ **Gen-3:** Integrated Circuits (1969-1977)
- ✿ **Gen-4:** VLSI (1978-present)
- ✿ *Gen-5:* Optical?

Quantum?

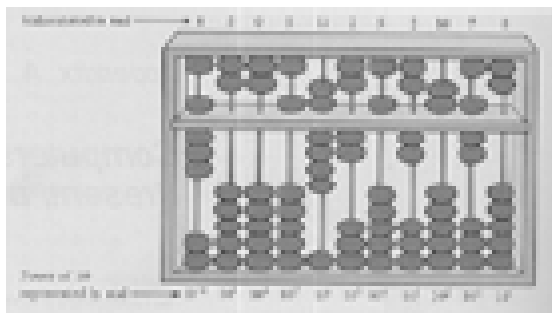
生物?



古代和近代计算技术



清华大学
Tsinghua University



公元前500年，中国出现算盘



1642年，Blaise Pascal发明自动进位的加法机器，齿轮驱动拨盘，在窗口显示结果

古代和近代计算技术



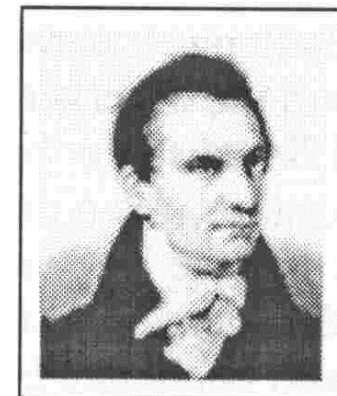
- 16世纪，Alkhowarizmi 提出算法概念，并出版以算法（Algorithm）为题的书籍
- 面向计算过程设计辅助计算工具
- 以提高计算效率为目标
- 使用机械等方式实现
- 为现代计算机提供了思路



近代计算技术



1822年, Charles Babbage, 差分机
(Differential Engine)



1833年, 分析机 (Analytical
Engine), 通用机器

Ada Augusta Lovelace, 第一位程序员



图灵机



1937年，Alan Turing提出一种“通用”计算机的概念，它可以执行任何一个描述好的程序（算法），实现需要的功能，形成了“可计算性”概念的基础。

存储程序的思想，使计算机从专用走向通用。正是这一创新，开创了计算机的新时代。

50年代，Turing提出了“智能”计算机的概念。

图灵机 (Turing Machine)



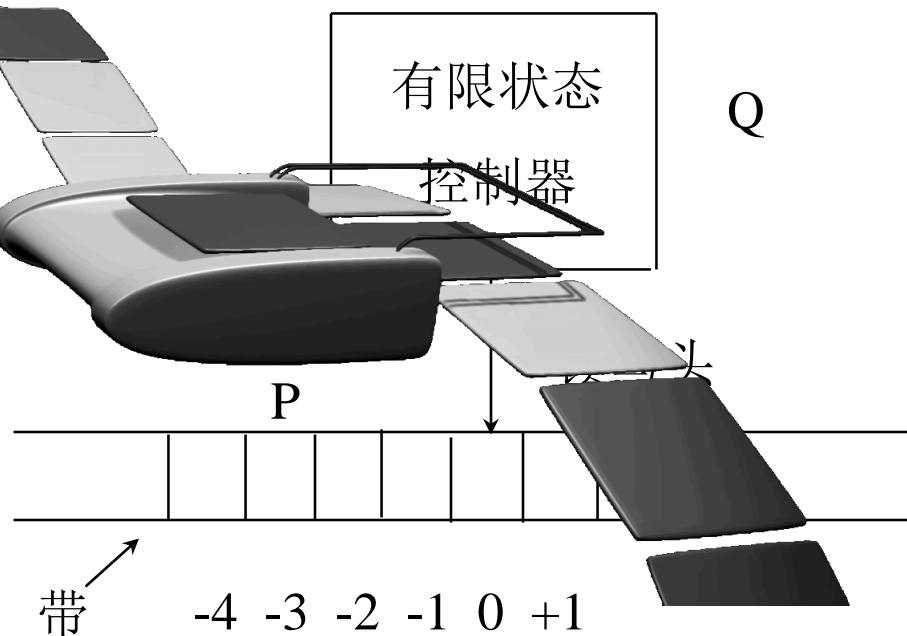
清华大学
Tsinghua University

确定型图灵机

- * 有穷符号集
- * 有穷状态集
- * 转移函数

$F: Q \rightarrow P$

$Q \rightarrow P \cdot \{-1, +1\}$



通用机 (Universal Machine) 概念

图灵机特点



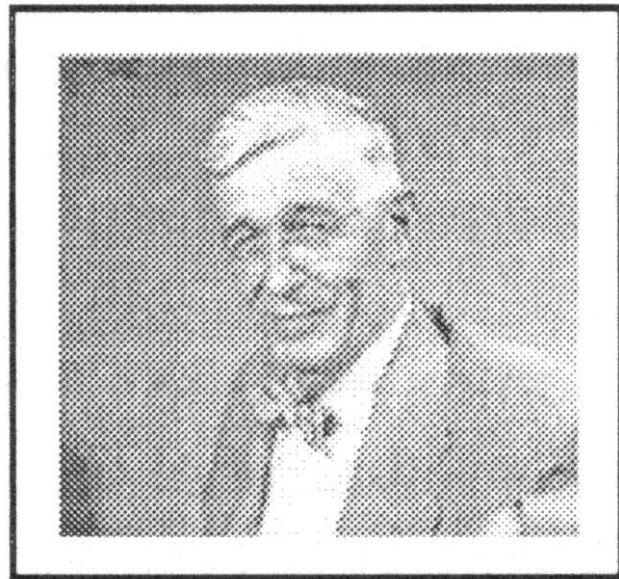
- ❖ 通用计算机：确定了现代计算机的理论基础。
- ❖ 存储程序计算机：问题的求解由程序或过程给出，程序和过程可以通过语言描述。
- ❖ 有限速度：计算机执行程序的时间是有限的。
- ❖ 有限空间：计算机程序的存放空间和数据存放空间也是有限的。
- ❖ 奠定了现代计算机的理论基础。

Vannevar Bush:Memex



清华大学
Tsinghua University

- ✿ 保存有10亿本图书的书柜
- ✿ 可按照人们的需要，对图书进行照相
- ✿ 甚至可以记录人们的声音
- ✿ 保存并共享人类历史上的知识
- ✿ Web之父



现代计算机的里程碑



年代	机器名称	制造者	说明
1834	Analytical Engine	Babbage	建造数字计算机的第一次尝试
1936	Z1	Zuse	第一台使用继电器的计算机
1943	COLOSSUS	英国政府	第一台电子计算机
1944	Mark I	Aiken	第一台美国通用计算机
1946	ENIAC I	Eckert/Mauchley	现代计算机历史从它开始
1949	EDSAC	Wilkes	第一台存储程序的计算机
1951	Whirlwind I	M.I.T.	第一台实时计算机
1952	IAS	Von Neumann	大多数现代计算机还用的设计
1960	PDP-1	DEC	第一台小型机（销售 50 台）
1961	1401	IBM	非常流行的小型商用机
1962	7094	IBM	60 年代早期的主流科学计算用机
1963	B5000	Burroughs	面向高级语言设计的第一台计算机
1964	360	IBM	系列机的第一个产品
1964	6600	CDC	第一台用于科学计算的超级计算机
1965	PDP-8	DEC	第一台占领市场的小型机（销售 50, 000 台）
1970	PDP-11	DEC	70 年代的主导小型机
1974	8080	Intel	第一台在一个芯片上的 8 位计算机
1974	CRAY-1	Cray	第一台向量超级计算机
1978	VAX	DEC	第一台 32 位超级小型计算机
1981	IBM PC	IBM	开创现代个人计算机新纪元
1985	MIPS	MIPS	第一台商用 RISC 机
1987	SPARC	Sun	第一台基于 SPARC 的 RISC 工作站
1990	RS6000	IBM	第一台超标量体系结构计算机

第一台通用电子计算机ENIAC



清华大学
Tsinghua University

Electronic Numerical and Integrate Calculator



Mauchly and Eckert 设计

1946年2月14日

第一台通用电子计算机，设计用于计算火炮的弹道

重30吨，占地15000平方英尺，
18000个电子管，耗电 140KW

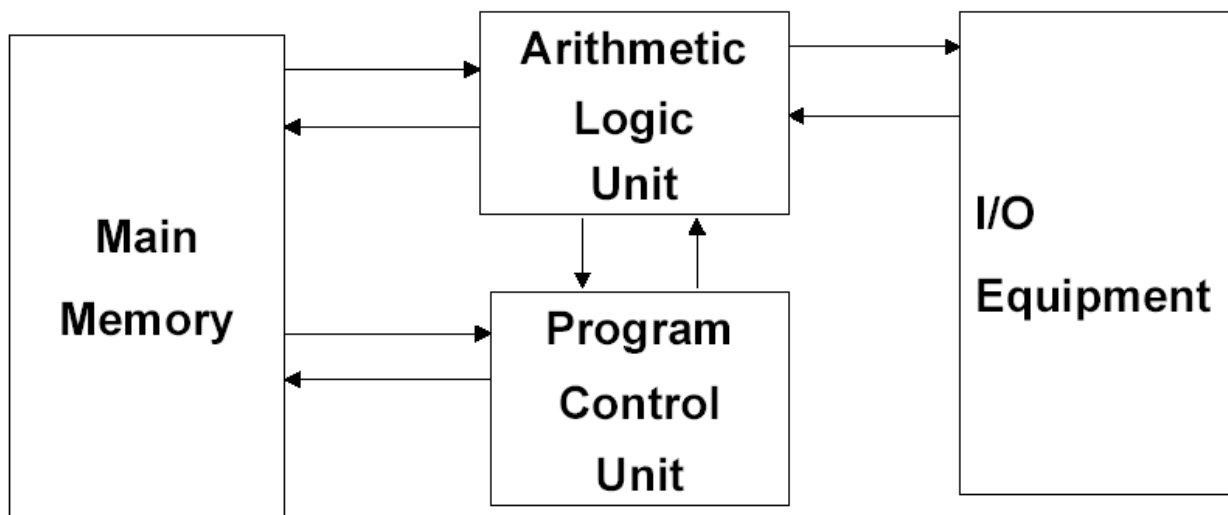
运算速度：5000次加法/秒

使用十进制数

20个寄存器，每个存放10位的十进制数

通过设置6000个开关和其它众多的插头和插座来编程

Von Neumann机IAS



现代计算机结构的鼻祖：五大功能部件

将程序和数据统一表示：存储器有4096个字，每个字40位。

采用二进制数据：简化了存储器

只提供整数运算：任何有能力的数学家都能在头脑中记住小数点的位置。

第一台Von Neumann计算机：EDSAC

第一台小型计算机：PDP-1



清华大学
Tsinghua University

- ❖ 1957年由DEC公司生产
- ❖ 第二代计算机（晶体管）
- ❖ 18位字长，4K内存，机器周期为5微秒
- ❖ 售价120000美元。售出50台。
- ❖ 总线结构
- ❖ 原码
- ❖ 开创了计算机产业！



编译器的诞生



- ❖ Grace Murray Hopper (1906-1992)
- ❖ Yale数学博士、美国海军少将
- ❖ 1945年，“BUG”
- ❖ 1952年，A0编译器
- ❖ 1960年，COBOL语言
- ❖ 《优雅人生》，机械工业出版社，2011年

第一个系列计算机：IBM 360



清华大学
Tsinghua University



- ❁ 第三代计算机
- ❁ 计算机应用：科学计算和商务处理
- ❁ 如何在相同的硬件平台上运行不同的软件？
- ❁ 系列计算机：IBM 360
- ❁ 计算机系统结构：程序员眼中的计算机。具有相同系统结构的计算机可以运行相同的程序。
- ❁ 微程序控制器

如何使用计算机？



❖ 单用户、独程序

- ❖ ENIAC，仅运行一个程序，运行其它程序时要进行硬件编程

❖ 单用户、单程序

❖ 多用户、单程序

- ❖ 分时，操作系统进行简单管理（共享设备驱动等）
- ❖ 1960年，IBM709 FMS

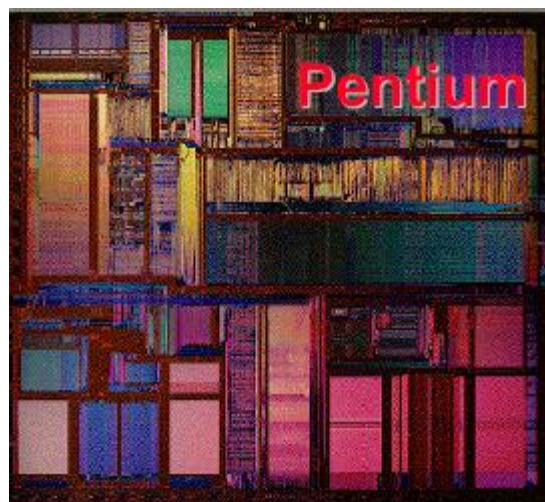
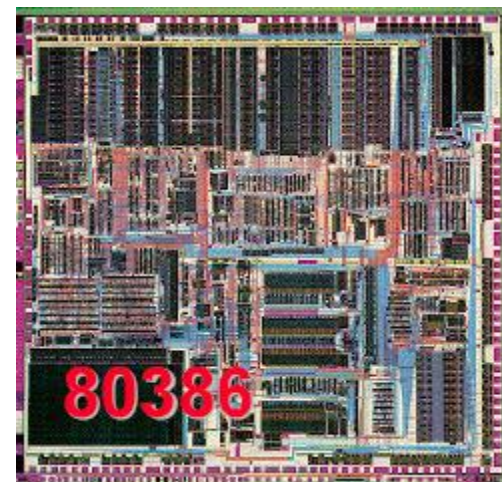
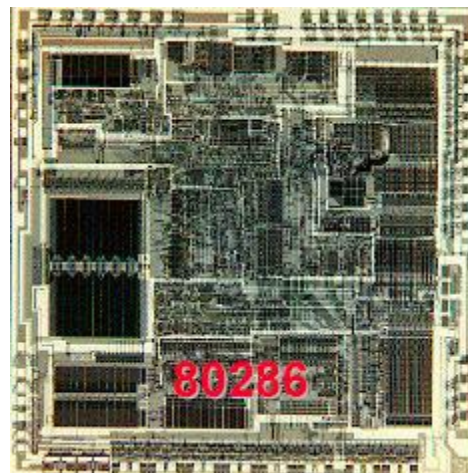
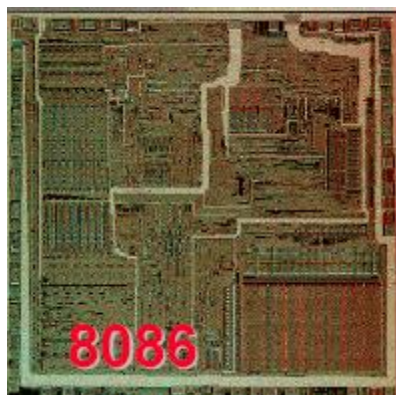
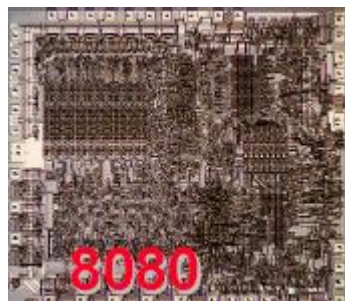
❖ 多用户、多程序

- ❖ 时间片进一步划分
- ❖ 1969年，UNIX，通用操作系统

应用的普及：IBM PC机



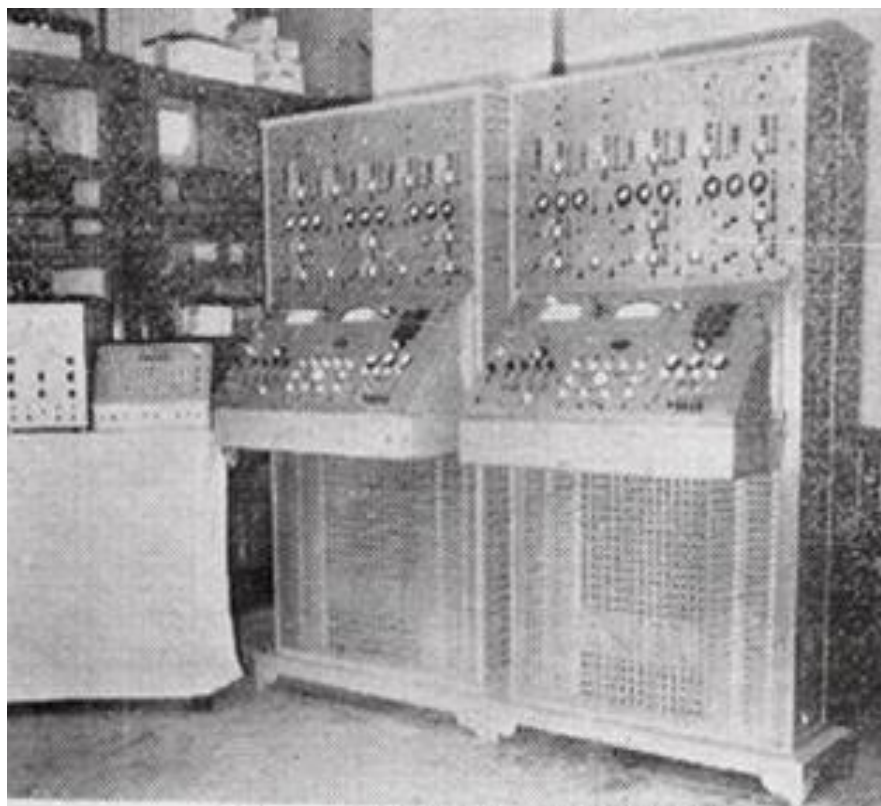
清华大学
Tsinghua University



清华大学计算机系的贡献



清华大学
Tsinghua University



红旗-551型非线性电子模拟计算机

✿ 1958年，自动控制系统刚成立，红旗-551型非线性电子模拟计算机研制成功。

✦ 国内首台模拟电子计算机

计算机系的贡献



清华大学
Tsinghua University



1965年2月日本青年代表团访问清华大学，惊奇地争看“这就是计算机打印出的输出纸带”，它竟能打印出文字：中日两国青年友好万岁！

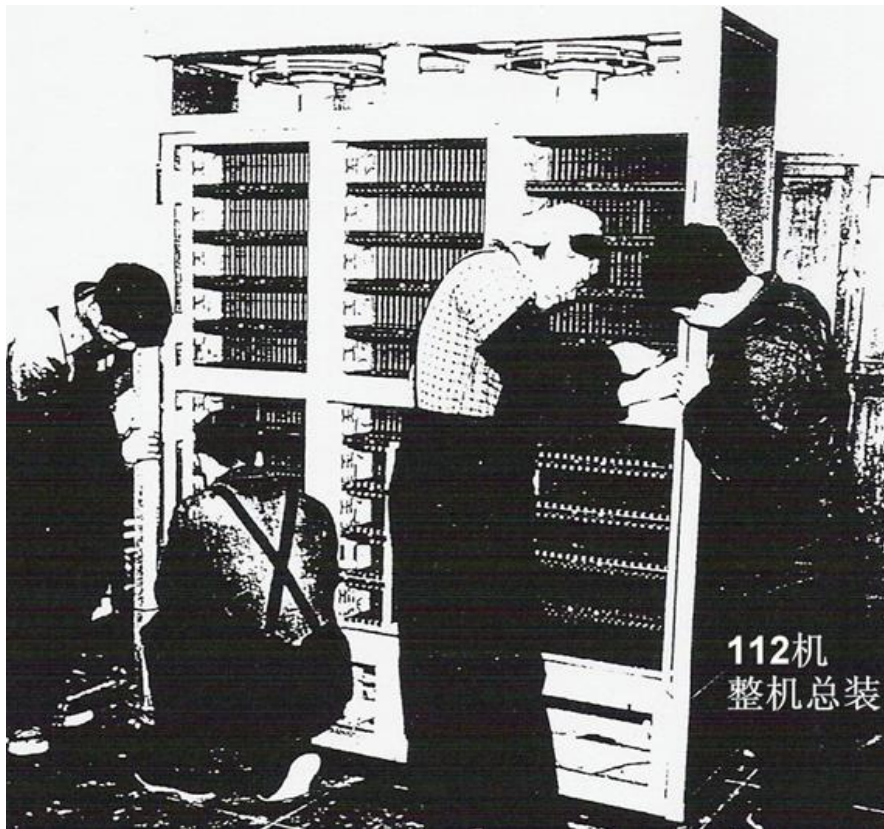
1959年，开始研制数字电子计算机911，1964年研制成功。

电子管计算机

计算机系的贡献



清华大学
Tsinghua University



1965年，全晶体管计算机112

后投入生产

计算机系的贡献



清华大学
Tsinghua University



1975年，DJS 130计算机

1979年，DJS140计算机

- 集成电路计算机
- 生产超过1000台
- 培养出许多人才



计算机系的贡献



清华大学
Tsinghua University



✿ 1986年，IBM兼容机
0520C

✿ 1986年，中华学习机
CEC-1，生产超过
130000台



计算机系的贡献



清华大学
Tsinghua University



☀ 太湖之光——神威超级计算机

计算机软件及程序设计语言



清华大学
Tsinghua University

年代	语言或软件名称	创造者	说明
1945	Plankalkul	Zuse	第一个面向算法的程序设计语言
1952	A0-Complier	Grace Hopper	第一个编译器
1957	FORTRAN		第一个得到广泛使用的程序设计语言
1960	COBOL		第一个面向商务应用的程序设计语言
1960	LISP		人工智能用语言
1960	Quicksort 算法	C. A. R. Hoare	排序算法
1963	ASCII		编码标准
1964	BASIC	Thomas and Kurtz and John Kemeny	易学易用的计算机语言
1969	RS-232-C 标准		主机与外设的信息交换标准
1969	UNIX、C	Kenneth Thompson and Dennis Ritchie	多用户分时操作系统
1981	MS-DOS	MicroSoft	PC 机操作系统
1983	Word	MicroSoft	面向高级语言设计的第一台计算机
1985	C++	Bjarne Stroustrup	面向对象编程语言
1990	Windows 3.0	microsoft	
1991	LINUX	Linus Torvalds	

下一代计算机



- ✿ Babbage: 更快、更高、更强
- ✿ Turing: 智能计算机
- ✿ Bush: 信息服务
- ✿ 摩尔定律将被终结?
- ✿ 非Von Neumann结构计算机将出现?
 - ▣ 并行计算和分布式计算
 - ▣ 硬件可配置计算
- ✿ 非硅计算机将出现?
 - ▣ 量子计算机
 - ▣ 生物计算机

小结



❁ 学习方法

❁ 博学 审问 慎思 明辨 笃行

❁ 计算机组成原理

❁ 单CPU计算机完整的硬件系统的基本原理与内部运行机制

❁ 计算机的层次结构

❁ 理解计算机系统和结构的钥匙

❁ 计算机的发展历史

❁ 以史为鉴，可知兴替，可明得失。

课程信息



清华大学
Tsinghua University

✿ 报名挑战性课程、跨课程实验

▣ 报给张宇翔助教

✿ 每班选出课代表

▣ 责任：

◆ 与助教联系，收发作业

◆ 协助安排实验(进行实验分组)

◆ 向主讲教师反馈教学效果和要求

◆ 其他与课程相关的工作

▣ 在下周一之前，把联系方式用邮件发给我（姓名、班号、学号、电话、E_mail）

▣ 请和李山山老师建立联系

▣ 尽快组织本班的实验分组，9月25日前发给助教

阅读与思考



✿ 阅读：教材相关章节

✿ <http://www.computerhistory.org>

✿ 思考：

- ❏ 计算机发展历史经验和今后的发展方向
- ❏ 什么是Turing机？什么是Von Neumann机？