



清华大学  
Tsinghua University

# Project点评及课程总结

刘卫东

计算机科学与技术系

# 总体情况



## 实验分组

- 146人选课，共有46+3组

## 完成情况

- 几乎全部完成了基本要求，并有一定的扩展功能
  - 中断、FLASH、VGA、旁路、分支预测等
- 其中，有一些组有特色鲜明的扩展
  - 3组同学选择了与软件工程联合的实验
  - 可运行的教学计算机系统（硬件调试环境、网络）
  - 分时、双机通信
  - 性能测试
- 不足之处
  - 课程压力大
  - 时间安排欠合理

# 设置实验的思路



- ✦ 建立计算机系统概念
- ✦ 培养硬件设计调试能力
- ✦ 巩固基本概念和理解基本理论
- ✦ 硬软件相结合
- ✦ 层次计算机的概念
- ✦ 培养工程能力和综合能力
  - ▣ 分析问题
  - ▣ 解决问题
  - ▣ 表达
  - ▣ 领导力和沟通



清华大学  
Tsinghua University

## 课程总结

# 计算机能做什么？

刘卫东

计算机科学与技术系



# 科学的力量取决于 大众对它的了解 —— 培根



# 计算机的力量取决于 大众对它的应用

## ——张钹



# 计算机的应用取决于 我们对它的掌握



# 学习目的

- 了解计算机的组成
  - 五大组成部件
- 掌握计算机的运行原理
  - 计算机为什么能执行高级语言程序
- 了解现代计算机中的一些核心技术
  - 流水、Cache、虚拟存储
- 提高编程能力
- 培养设计计算机的技能
- 成为计算机科学家、计算机专家





# 学习目标

- 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发展
- 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提高

## 信息技术 (Information Technology)

- \* 计算技术 (Computation) — 计算机
- \* 通信技术 (Communication) — 通信机
- \* 网络技术 ——

计算机网络 = 计算 + 通信

(Network = Computation + Communication)



# 计算机的诞生

1943 电子器件的应用（电子管）

1946 ENIAC 电子计算机

1949 EDSAC 存储程序计算机

1953 IBM 701（电子管）

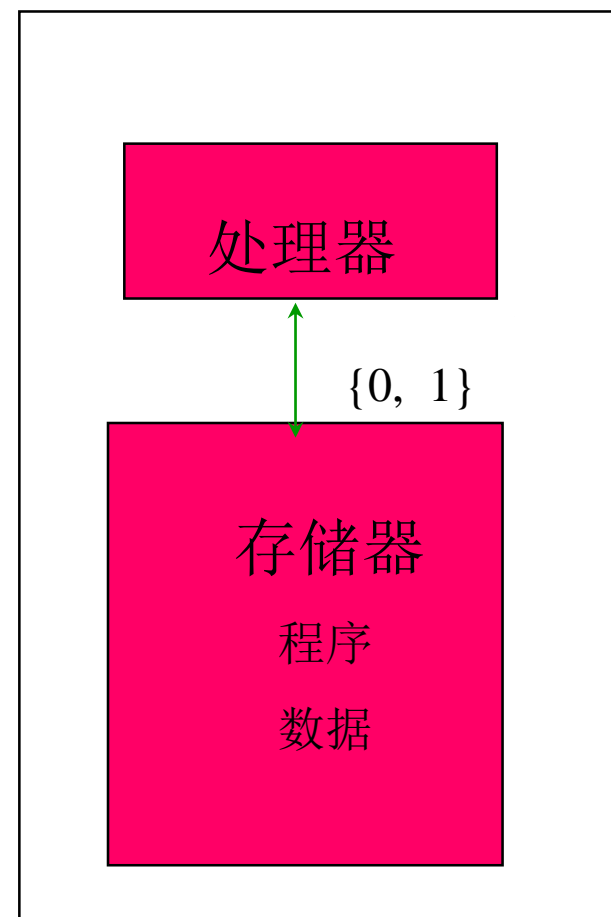
1960 晶体管计算机

1965 IBM 360（集成电路）

\* 冯诺曼(von Neumann)结构

按地址存储 数据和程序

的串行计算结构



# 计算机（理论上）能干什么？



对  $\{0, 1\}$  进行以下基本运算：

$+$ ：  $1+1=0^*$ ,  $1+0=1$  ( $0+1=1$ ) ,  $0+0=0$

$-$ ：  $1-1=0$ ,  $1-0=1$ ,  $0-1=1^*$ ,  $0-0=0$

$\wedge$ ：  $1 \wedge 1=1$ ,  $1 \wedge 0=0$  ( $0 \wedge 1=0$ ) ,  $0 \wedge 0=0$

$\vee$ ：  $1 \vee 1=1$ ,  $1 \vee 0=1$  ( $0 \vee 1=1$ ) ,  $0 \vee 0=0$

$-$ ：  $-1=0$ ,  $-0=1$

如此简单的运算 能 解决复杂的问题？



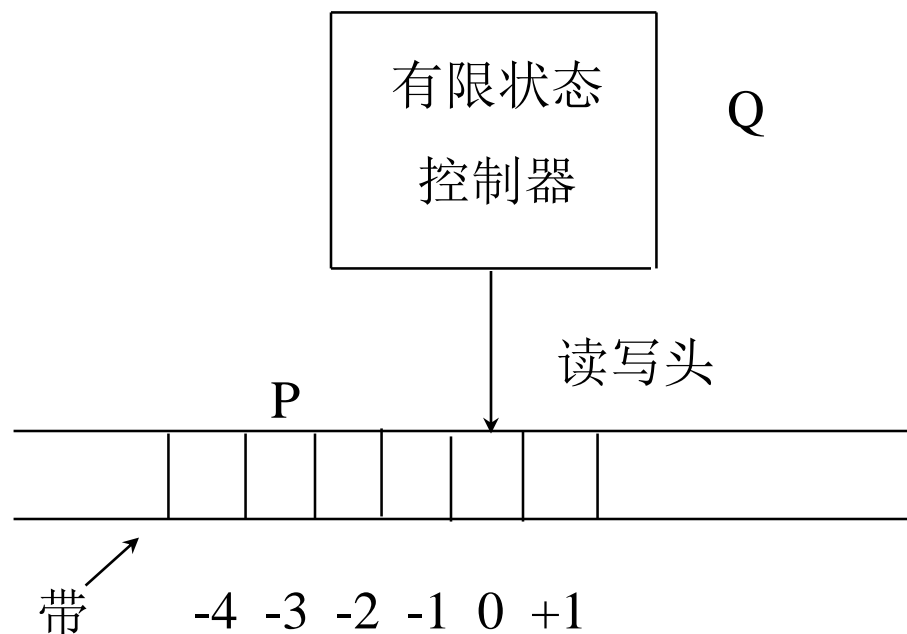
# 图灵机 (Turing Machine)

## 确定型图灵机 (1932)

- \* 有穷符号集  $P$
- \* 有穷状态集  $Q$
- \* 转移函数

$F: Q \times P \rightarrow$

$Q \times P \times \{-1, +1\}$



## 通用机 (Universal Machine) 概念

- “computable numbers”

图灵可计算——

在有限机械步中可完成的计算

- “computational complexity”

计算复杂性：指数（与问题规模的关系）

多项式

# 计算机能做什么？



- ❖ 文字处理、科学计算、通讯，社会生活的方方面面
- ❖ 只能执行指令系统中的指令，完成规定的功能
- ❖ 只能完成二进制算术加法运算和逻辑运算
- ❖ 只能完成逻辑运算

# 计算机为什么能完成这些工作



## ✚ 将任务分解成算逻运算的组合

- ▣ 程序设计和算法

- ▣ 好处：固化操作，能快速复制

- ▣ 缺点：并不是所有任务都能分解成算逻运算的组合

## ✚ 自动快速执行算逻运算

- ▣ 比人脑运算要快

- ▣ 不足：受时间、空间限制

## ✚ 接收指令，并输出结果

- ▣ 存储程序

- ▣ 输入输出系统和设备





# 怎么完成

## ✚ ALU

- ✚ 完成算术逻辑运算

## ✚ 存储器

- ✚ 存储程序和数据

## ✚ 输入设备

- ✚ 人机交互

## ✚ 输出设备

- ✚ 人机交互

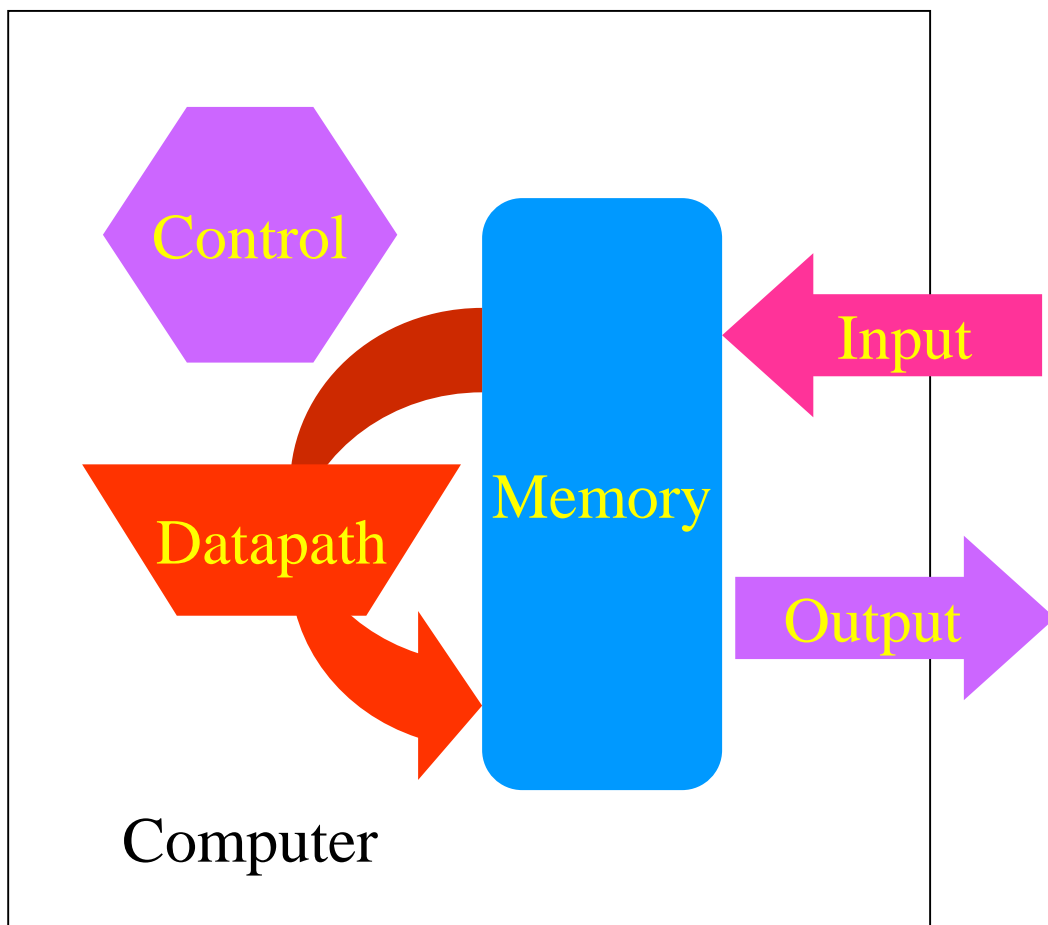
## ✚ 总线

- ✚ 各部件之间连接和数据交换

## ✚ 控制器

- ✚ 自动、连续完成

# 什么是计算机？



- ✦ Datapath: 根据指令要求和功能完成算术和逻辑运算。
- ✦ 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。

## ❖ 数据表示

- ❑ 数值数据表示
- ❑ 逻辑数据表示
- ❑ 字符数据表示
- ❑ 检错纠错码

## ❖ 算术运算

- ❑ 加法运算
- ❑ 减法运算
- ❑ 乘法运算
- ❑ 除法运算
- ❑ 浮点数运算

## ❖ 逻辑运算

- ❑ 逻辑与、或、非

## ❖ 电路实现

## ❖ 二进制数据表示

- ❖ 数值数据和逻辑数据统一
- ❖ 字符和数值统一
- ❖ 指令和数据统一
- ❖ 最容易实现

## ❖ 补码数据表示

- ❖ 减法和加法统一
- ❖ 乘法和加法统一（加法、移位）
- ❖ 除法和加法统一（加、减和移位）

## ❖ 检错纠错码

- ❖ 奇偶校验
- ❖ 汉明校验

# 算术运算和逻辑运算



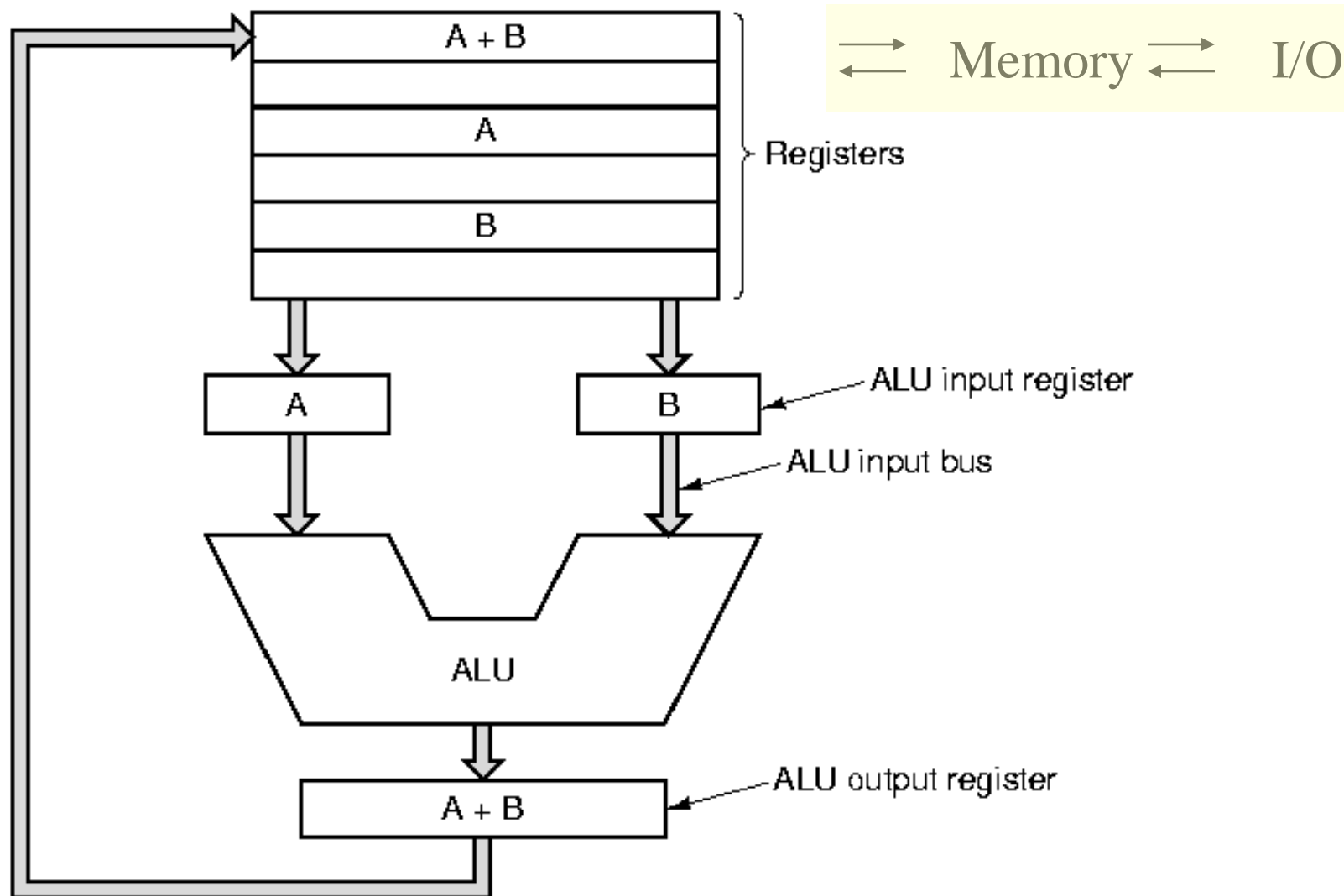
- ⊕ 完成算术运算
  - ⊞ 加、减、乘、除
- ⊕ 给出运算结果
- ⊕ 给出结果状态
  - ⊞ C、Z、V、S
- ⊕ 浮点数据的算术运算
- ⊕ 根据标志位进行逻辑判断
- ⊕ 指令中的逻辑判断

# 电路实现



- ⊕ ALU
- ⊕ 移位器
- ⊕ 寄存器组
- ⊕ Q寄存器
- ⊕ 多路选通电路
- ⊕ 译码器

# Datapath



# 运算器



## ✿ 算术逻辑运算

## ✿ 数据表示

- ▣ 原、反、补码

- ▣ 检错纠错码

- ▣ 浮点数据表示IEEE754

## ✿ 数据运算

- ▣ 补码加、减运算

- ▣ 原码一位乘除运算

- ▣ 浮点数算术运算

## ✿ 电路实现



## 自动执行指令

- ❑ 将指令系统的指令转换为完成指令功能对应的控制信号
- ❑ 分步骤执行指令
- ❑ 得到下一条指令的地址

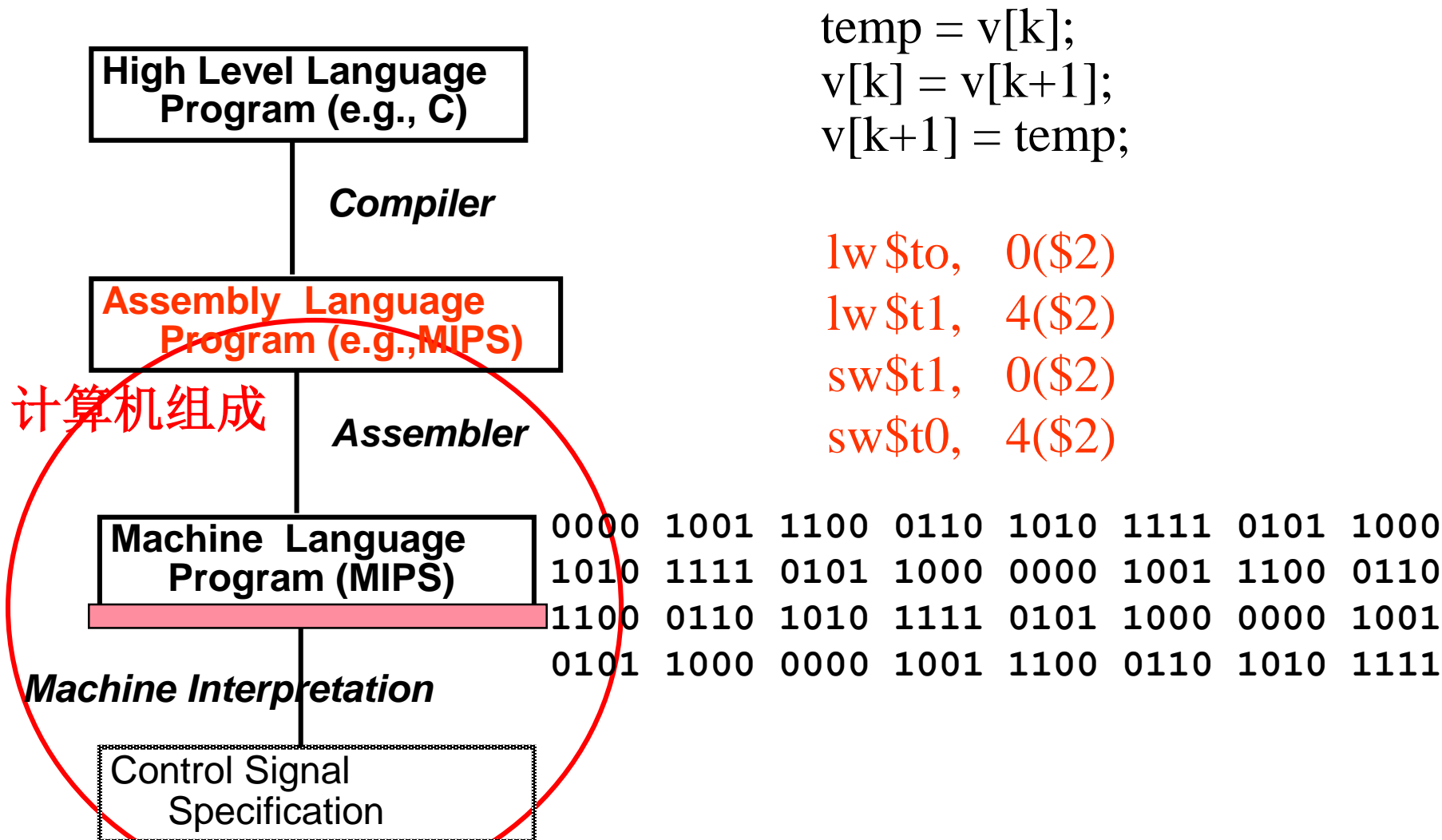
## 连续执行指令

- ❑ 下地址
- ❑ 节拍
- ❑ 段间寄存器

## 提高指令执行速度

- ❑ 指令流水
- ❑ 多流水线设置
- ❑ 多核
- ❑ 并行计算机

# 不同层次的程序



# 指令系统和指令格式



## 指令和指令系统

- 指令是指指挥计算机各部件完成规定功能的命令
- 计算机系统的全部指令的集合称为指令系统

## 操作码

- 指明指令需要完成的功能
- 对指令进行译码的输入

## 操作数地址

- 指明指令处理的对象

## 指令格式

- 如何在指令字中安排操作码和操作数地址

# 寻址方式



## 立即数寻址

▣ 常量

## 寄存器寻址

## 直接寻址

## 间接寻址

## 变址寻址

## 堆栈寻址

## 基地址寻址

▣ 段表

# 多周期控制器组成



①**程序计数器PC**：存放指令地址，有自增或接收新值功能。

②**指令寄存器IR**：存放指令内容：操作码与操作数地址。

主脉冲源与启停控制线路，根据需要给出主脉冲信号。

③**指令执行步骤标记线路**：指明每条指令的执行步骤。

④**控制信号记忆或产生线路**：给出计算机各功能部件部件协同运行所需要的控制信号。

各部件包括

运算器部件

主存储器部件

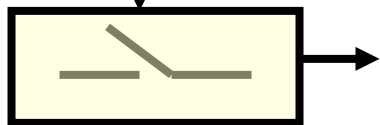
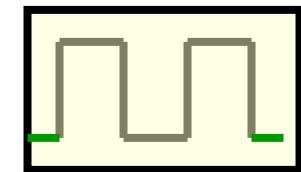
总线及输入/输出接口(输入/输出设备)

也包括

控制器部件

设计中的难点，在于解决对运算器、控制器的控制

主振



启停

数据总线

控制总线

地址总线

输出  
设备

输入  
设备

主  
存

地址  
寄存器

运算器  
部件

控制  
存储器

微指令寄存器

控制条件

映射

IR

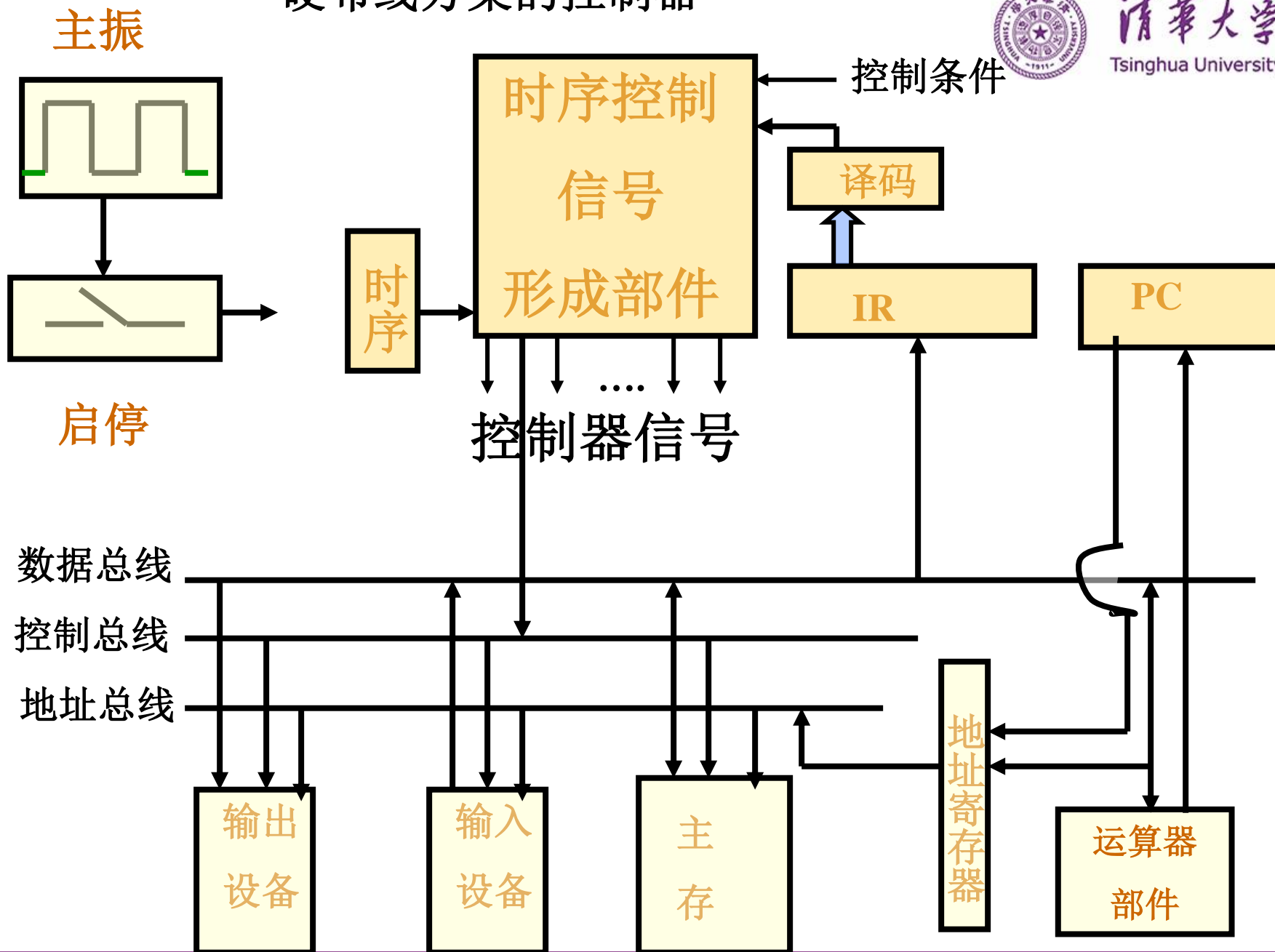
INTA

PC



清华大学  
Tsinghua University

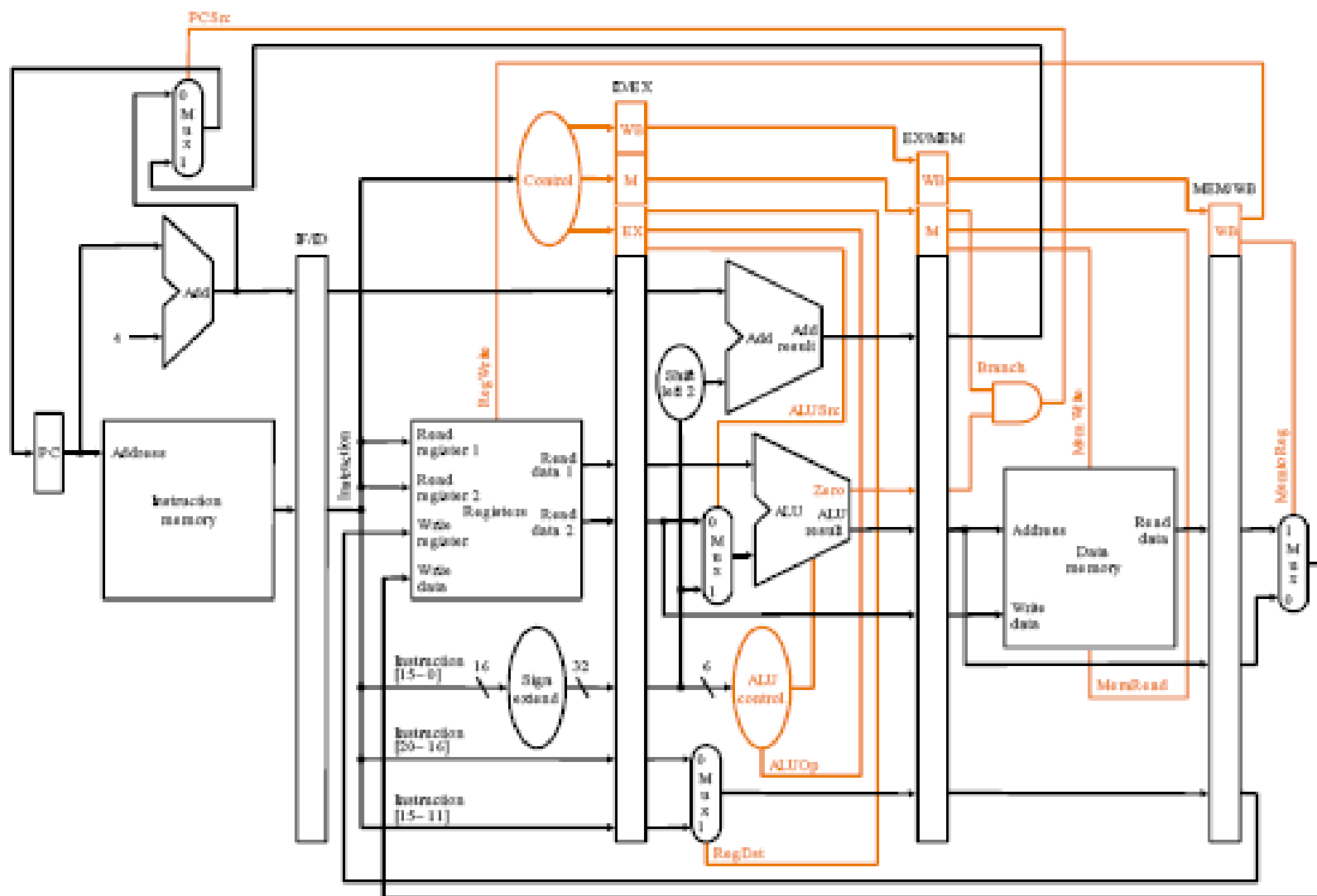
# 硬布线方案的控制器



# 支持流水的CPU



清华大学  
Tsinghua University





## ⊕ 下地址字段

- ▣ 指出下一个微操作

## ⊕ 微控存

- ▣ 给出全部控制信号

## ⊕ 为什么能完成？

- ▣ 指令系统是有限的，且指令的微操作也是有限的
- ▣ 存储器技术

## ⊕ 有什么好处？

- ▣ 扩展容易、实现简单、兼容性好
- ▣ 复杂的指令系统CISC

# 组合逻辑控制器



## 节拍发生器

- ▣ 标明当前微操作
- ▣ 完成微操作间的转换

## 控制信号生成逻辑

- ▣ 输入：节拍状态和指令操作码
- ▣ 输出：该微操作的全部控制信号

## 为什么能完成？

- ▣ 精简的指令系统、更强大的逻辑实现能力

## 有什么好处？

- ▣ 速度快、适合流水线操作

# 指令流水的控制



## ❊ 段间寄存器

- ❑ 标明当前的流水段
- ❑ 保存上一流水步骤的结果及后续控制信号

## ❊ 控制信号生成逻辑

- ❑ 输入：指令操作码
- ❑ 输出：该指令的全部控制信号

## ❊ 为什么能完成？

- ❑ 规整的指令系统、更强大的逻辑实现能力
- ❑ 精致的指令执行步骤划分

## ❊ 有什么好处？

- ❑ 多条指令并行执行，性能高

# 多周期CPU的控制器设计



- 确定指令系统
  - 操作码、操作数地址、寻址方式
- 划分指令流程
- 设计每个微操作的控制信号
- 设计节拍或下地址
- 设计时序、启停等其他电路

# 指令流水



- ✚ 指令流水的基本概念
- ✚ 指令流水中的冲突
  - ▣ 结构冲突
  - ▣ 数据冲突
  - ▣ 控制冲突
- ✚ 指令流水冲突的解决方案
  - ▣ 插入等待周期（气泡）
  - ▣ 增加资源
  - ▣ 旁路技术
  - ▣ 分支预测
    - ◆ 动态/静态
- ✚ 指令流水实现

# 存储器



- ✿ 处于计算机中心
- ✿ 层次存储器结构
  - ▣ 高速缓冲存储器 (Cache)
  - ▣ 主存储器 (DRAM)
  - ▣ 虚拟存储器
- ✿ 半导体存储器
  - ▣ SRAM
  - ▣ DRAM
  - ▣ FLASH
- ✿ 磁表面存储器
- ✿ 每种存储介质的存储原理、特点

# 层次存储器系统



## 程序的局部性原理

- 时间局部性

- 空间局部性

## 层次间应满足的原则

- 包含性

- 一致性

## ❁ 硬件实现

## ❁ 参数

## ❁ 地址映射

- ❁ 直接映射

- ❁ 全相联

- ❁ 多路组相联

## ❁ 提高命中率

- ❁ 块大小、Cache容量、替换算法

- ❁ 写策略



# 虚拟存储器



- 逻辑空间到物理空间

- 虚存的管理

  - 段式管理、页式管理、段页式管理

- 段表

  - 段起始地址、段长、控制位

- 页表

  - 实页号、控制位

  - 每一个虚页均在页表中有一个表项进行说明

- 快表 (TLB)

# MIPS协处理器CP0



## ✿ 用于处理难以用常规指令解决的问题

- ✿ 配置

- ✿ Cache控制

- ✿ 异常/中断控制

- ✿ 存储管理控制

- ✿ 其他事项

## ✿ 使用寄存器实现

# 输入输出系统和设备



## ❊ 控制方式

- ❑ CPU如何控制输入/输出？（输入/输出方式）

## ❊ 传输方式

- ❑ 使用传输通道、方式、速率等（总线、接口）

## ❊ 数据识别和转换

- ❑ 数/模转换、语音识别等，转换为字符、数据等计算机能识别的格式（设备）

# 控制方式



## ❊ 程序直接控制（轮询）

- ❑ CPU直接使用输入/输出指令来控制外部设备

## ❊ 程序中斷

- ❑ 外部设备请求，CPU响应，CPU与外设并行工作

## ❊ 直接存储访问（DMA）

- ❑ 专用输入/输出控制器
- ❑ 独占总线/总线周期窃取

## ❊ 通道

- ❑ 字节多路通道
- ❑ 选择通道
- ❑ 数组多路通道

## ❊ 外围处理机

# 总线



## ❁ 多设备共享的信息通道

- ❁ 地址

- ❁ 数据

- ❁ 控制

## ❁ 多总线系统

## ❁ 总线仲裁

- ❁ 主设备和从设备

- ❁ 集中仲裁、分布仲裁

## ❁ 总线传输

- ❁ 同步

- ❁ 异步

# 成组传送



## 对主存储器的要求

- Cache、DMA等
- SDRAM
- PCI总线

## 经过等待时间后，按总线时钟传送数据

- ❊ 提供主机识别（指定、找到）使用的I/O设备的支持  
（为每个设备规定几个地址码或编号）
- ❊ 建立主机和设备之间的控制与通信机制
- ❊ 提供主机和设备之间信息交换过程中的数据缓冲机构
- ❊ 提供主机和设备之间信息交换过程中的其他特别需求支持

# 外部设备功能



## ❊ 完成数据的输入（和/或）输出

- ❑ 信号转换

- ❑ 数据采集

## ❊ 与接口进行连接

- ❑ 接口信号，电平标准等

## ❊ 与主机进行通信

- ❑ 通过总线进行

- ❑ 速度和方式



# 关于考试的说明



## ✚ 闭卷考试:

- ✚ 1月19日 上午8:00~10:00,
- ✚ 二教401 (计21、计22、计25)
- ✚ 二教403 (计23、计24、其他)

## ✚ 时间: 2小时

## ✚ 考试范围:

- ✚ 教学大纲规定的范围
- ✚ 通读教材

## ✚ 考题形式: 填空、选择、判断、简答、综合

## ✚ 注意事项:

- ✚ 严禁任何形式的作弊
- ✚ 不使用计算器
- ✚ 仔细审题
- ✚ 回答简洁

## ✚ 占总评比例: 40% 或 100%