

# 计算机体系结构

胡伟武、汪文祥

# 计算机专业的几门“当家”课

- 如何“造”计算机而不是如何“用”计算机
- 硬件（CPU）：
  - 计算机组成原理
  - 计算机体系结构
- 软件（OS）：
  - 操作系统
  - 编译原理

# 课程介绍

- 对计算机CPU的认识
- 本课程的目的
- 本课程内容和要求

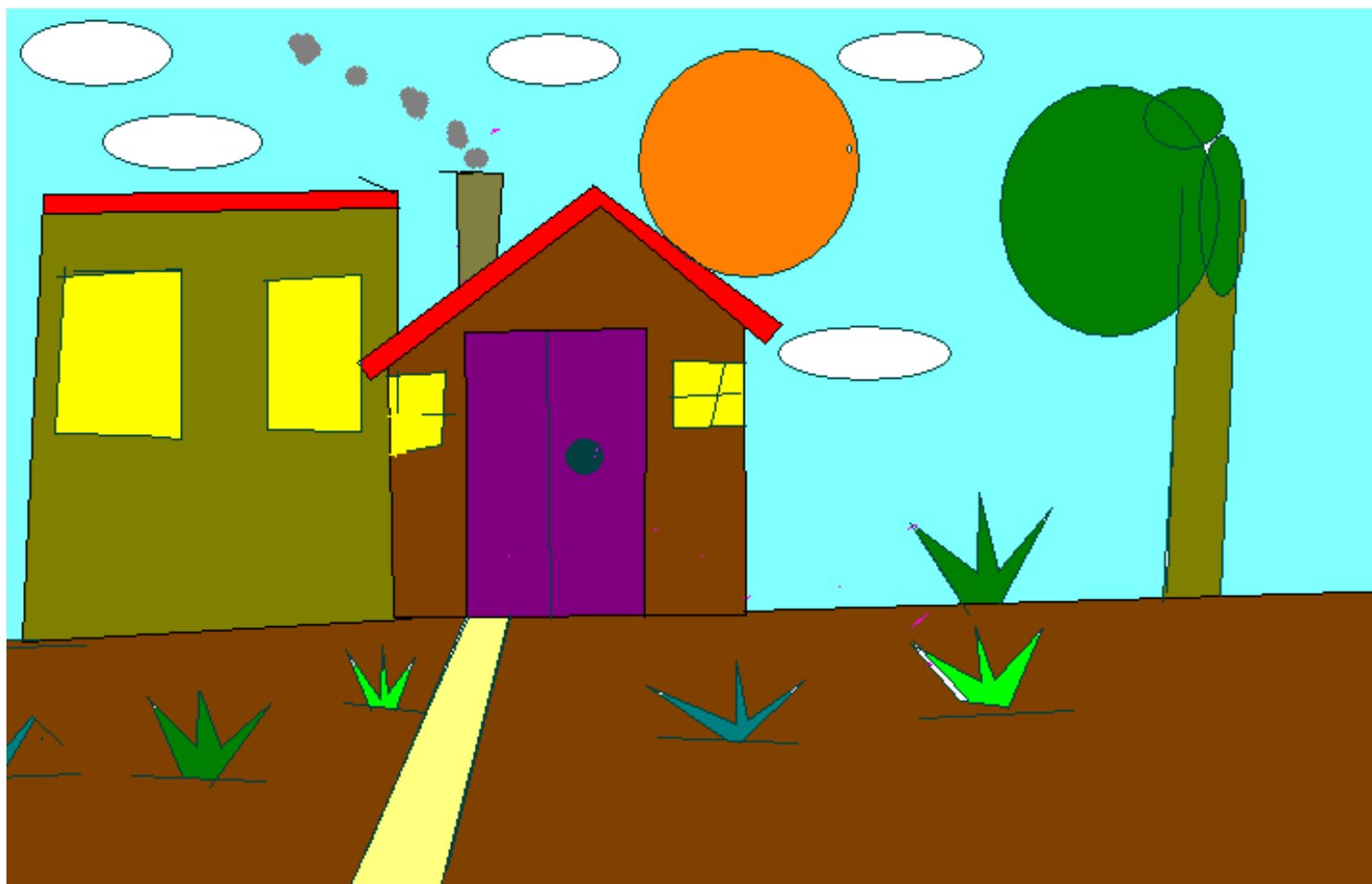
# 什么是CPU

- 一个6岁小孩的答案
  - CPU就是在一张纸上画一些方块，
  - 然后用线和箭头把这些方块连起来，
  - 再写上几个字，涂上点颜色，
  - 最后一烧，烧出一个亮晶晶的小方块
- 我们比她多知道些什么？

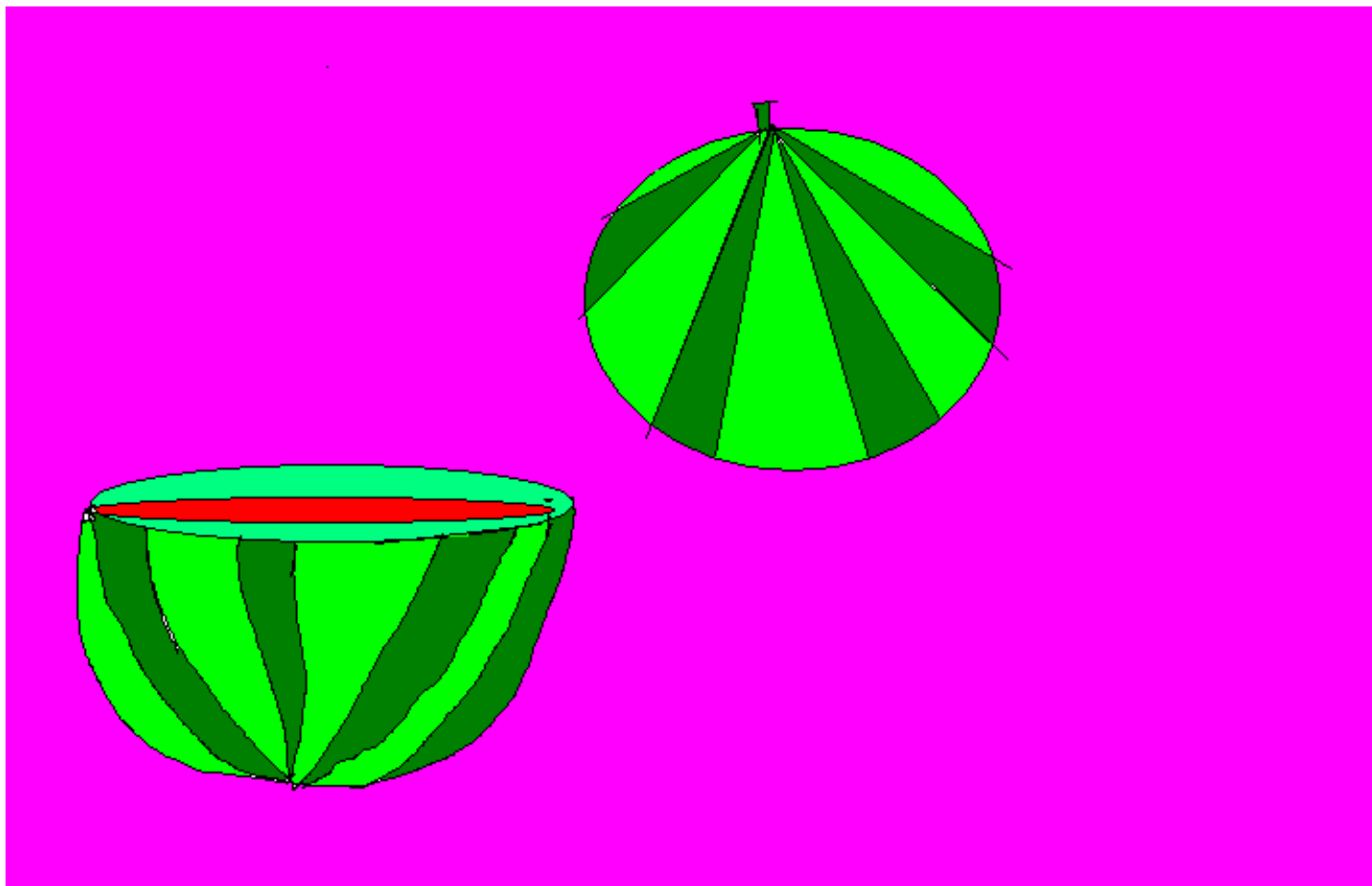
# 会用计算机不稀奇



## 5岁小孩的画



# 5岁小孩的画

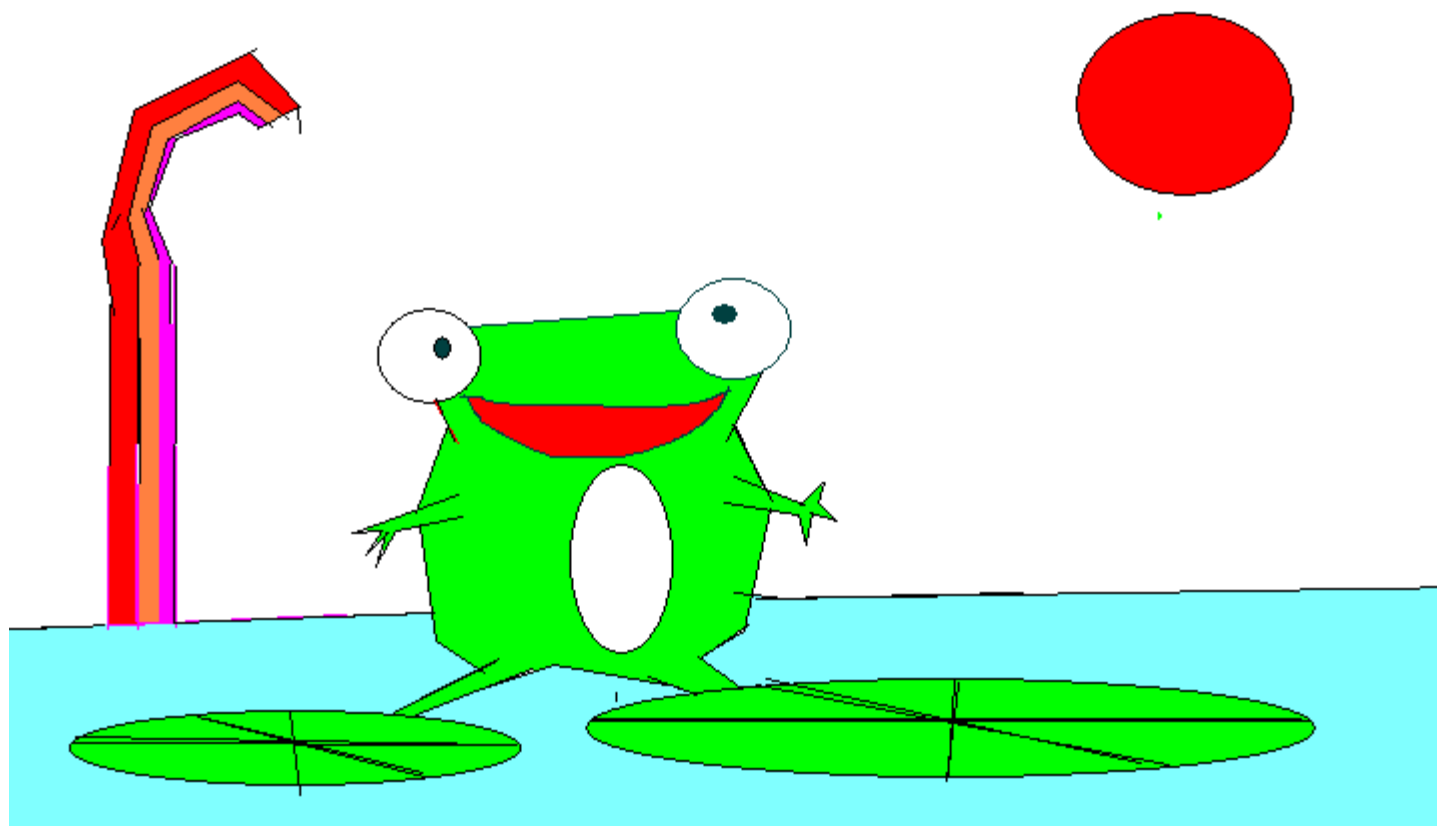


# 5岁小孩的画

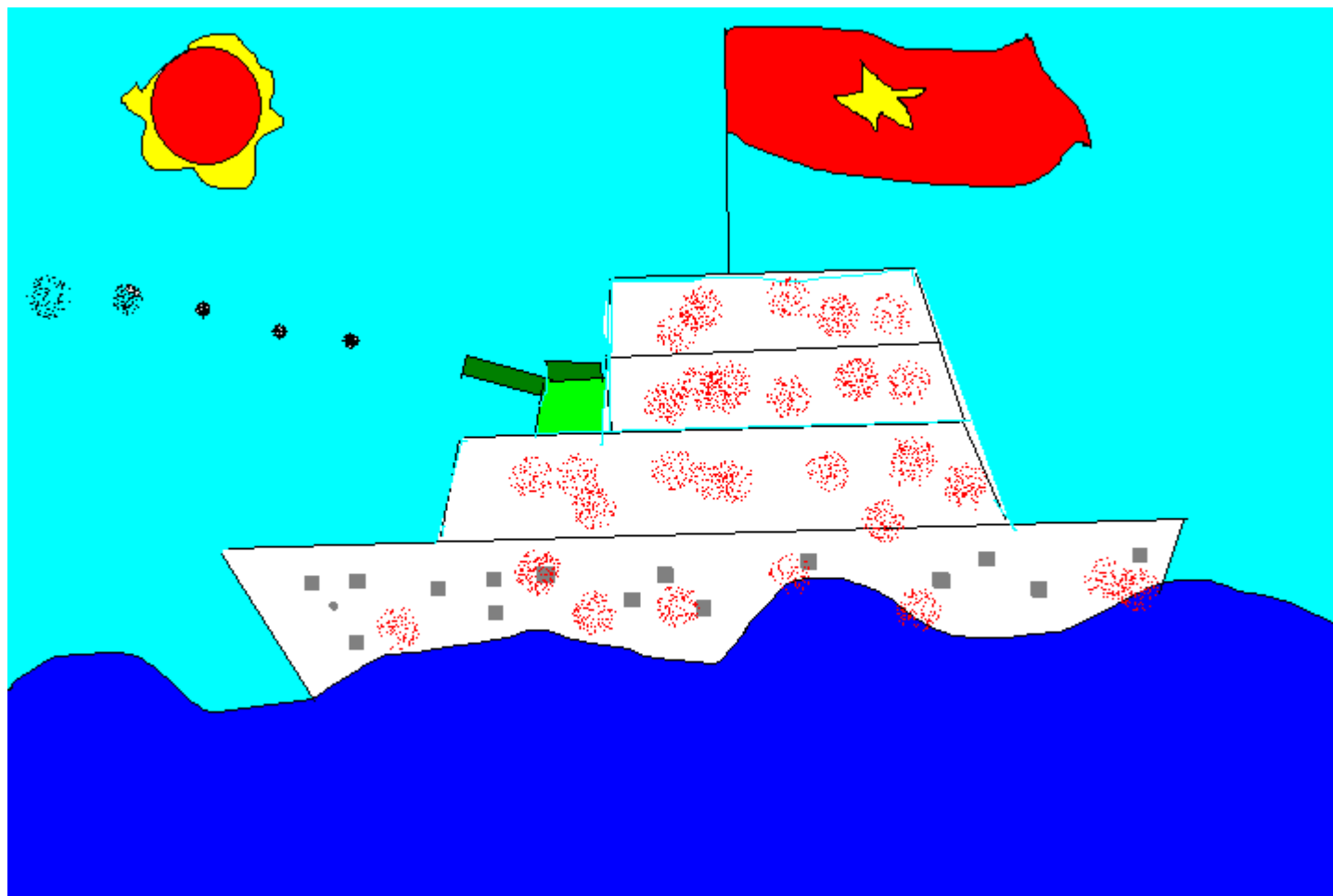




# 5岁小孩的画



## 5岁小孩的画



# 学习

xue · xi



学道理

DA XUE

**铁杆厚叶**

你笑起来真像個含苞的牡丹

我的爸爸

## 我的爸爸

小明：“我不走了。”

周秉昆在青少年时期，为革命祖国贡献力量，以后，他为了这个目标，他辛勤工作，为公社贡献了毕生精力。

A photograph of a small, dark wooden table with a single drawer. On top of the table sits a small, light-colored wooden box. To the right of the table is a dark wooden chair with a curved back. The background is a plain, light-colored wall. The image is framed by a decorative border of small green and red flowers at the bottom.

## 我的爸爸

作者：胡文英

## 我的爸爸

自提可也

父史。《小學

**一、二、三**

這有九只呢。

小明，一月

只為這一刻

均年一溫開早  
 初黑龍江

原註：「**奇書**。」

又偏出了，我

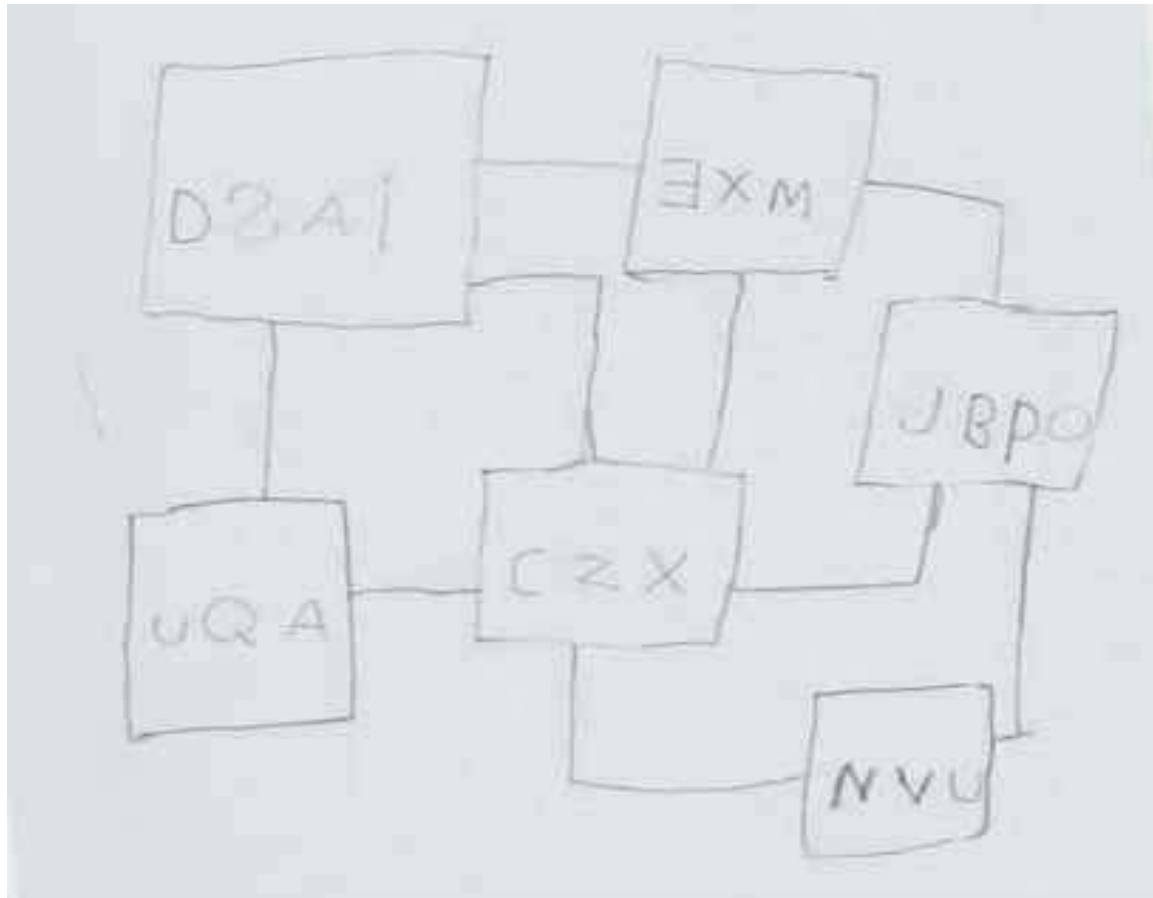
$\mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$

生白, “生白”

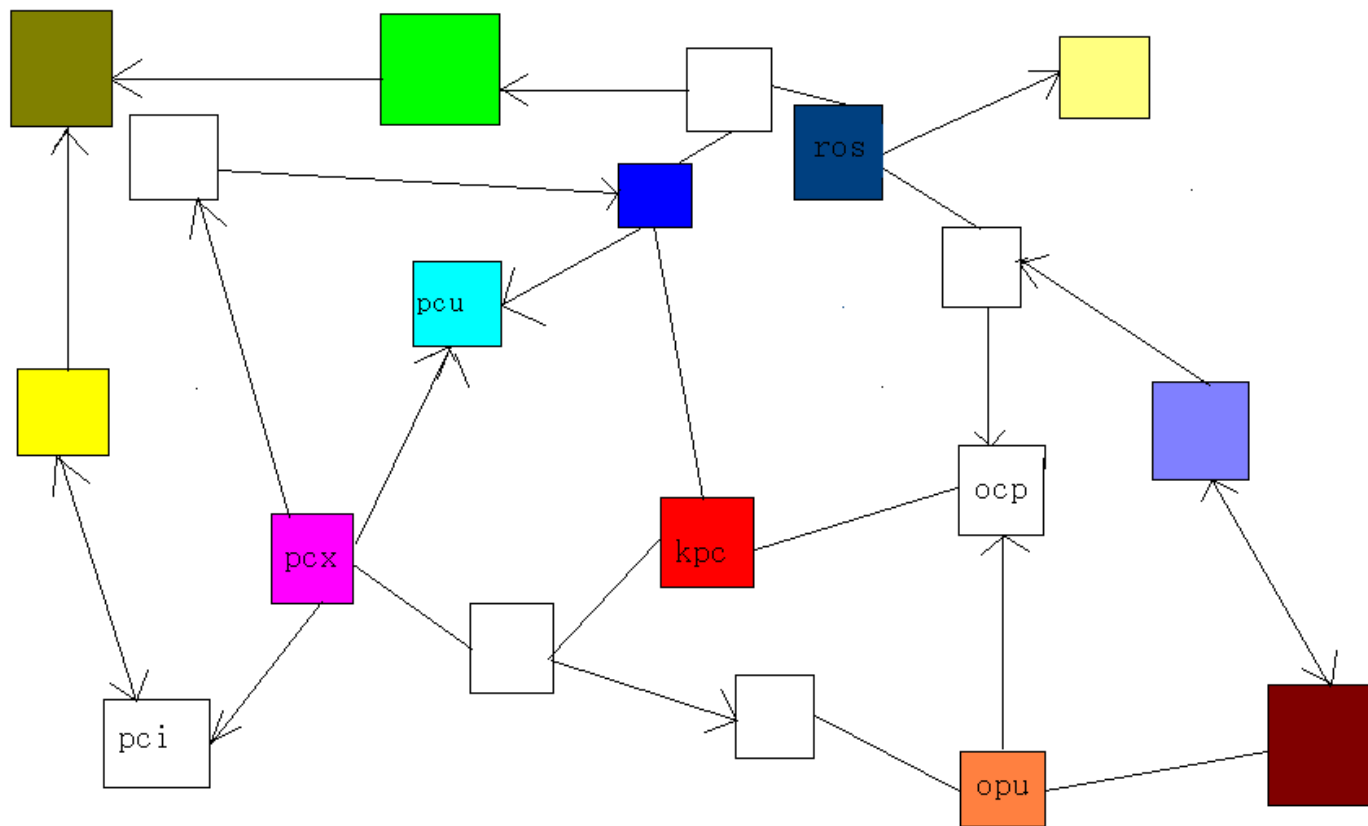
**Abstract**



# 一个5岁小孩设计的CPU

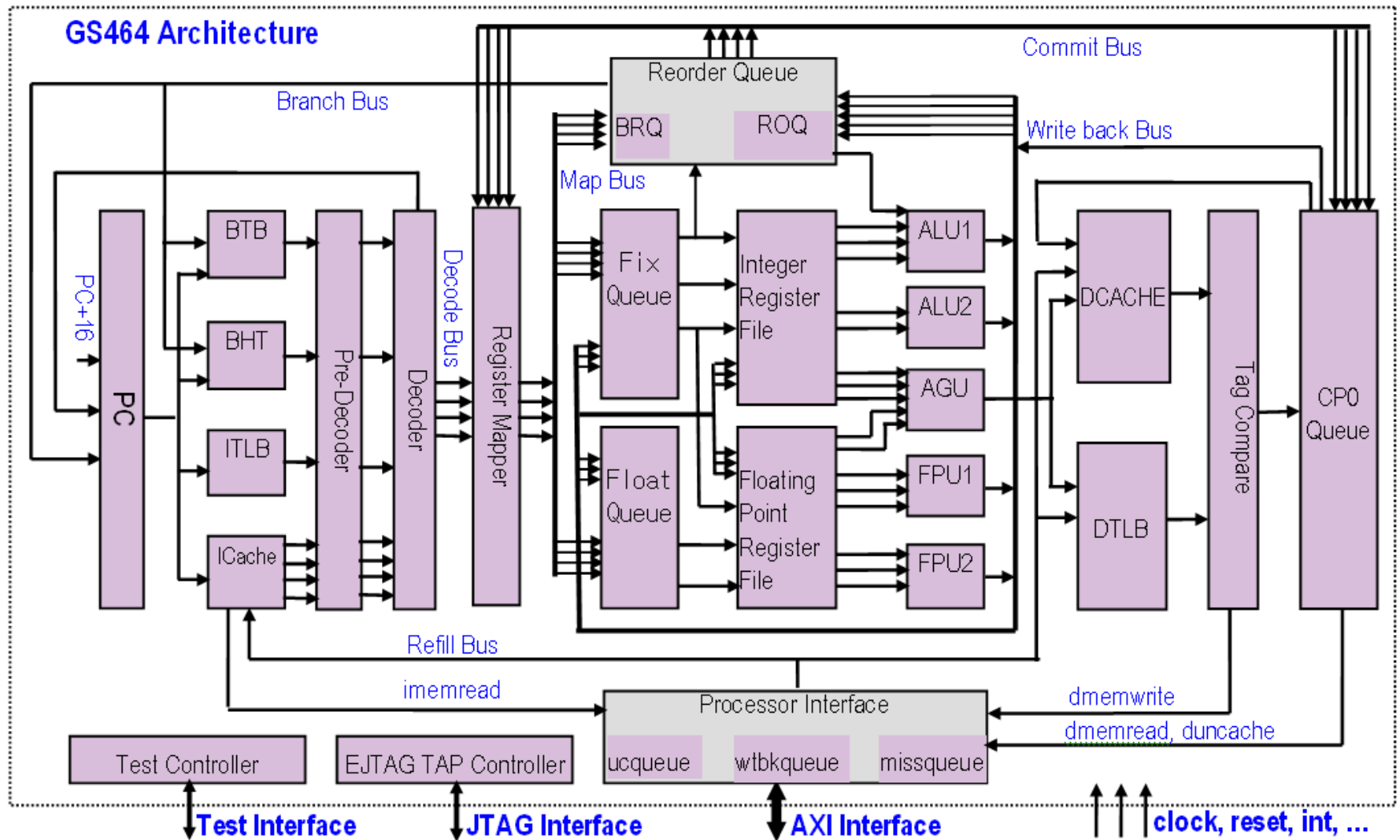


# 8岁孩子的设计



我的CPU

# 我的设计



这几个设计有什么不同？

# 本课程内容和要求

- 就从我按下键盘翻一页幻灯片讲起
  - 为什么我按一下键盘能够翻一页幻灯片？
  - 从按一下键盘到翻一页幻灯片经过了什么过程？包括应用程序、操作系统、硬件系统、处理器、以及晶体管？
  - 程序的运行和晶片中的电子的流动之间的关系？
  - 在上述过程中涉及的重要量化指标（性能、功耗、成本）的关系？
- 这些是本课程希望回答的问题
  - 知其然，还要知其所以然



# PPT翻页的硬件过程

- 以龙芯处理器为例
  - 键盘产生一个信号送到桥片（南桥、北桥）
  - 桥片通过HT总线向处理器发出外部中断信号
  - 外部中断信号传到控制寄存器模块与Cause的屏蔽位相与
  - 如果没有被屏蔽，再传到寄存器重命名模块并附在四条指令的第一条中送到ROB模块；由于该指令发生了例外，不会送到功能部件执行
  - 当该指令成为ROB的第一条指令被提交时向所有模块发出取消信号，取消该指令后面的所有指令，在EPC等寄存器中保存例外现场，同时在控制寄存器Status中把系统状态置为核心态。
  - 向取指模块发出中断信号，取指模块根据中断类型到0x80000180取指

# PPT翻页的软件过程

- 以龙芯处理器+Linux操作系统为例
  - 0x80000180为操作系统例外处理代码
  - 操作系统保留现场（把通用寄存器保存到堆栈区）
  - 操作系统通过读Cause寄存器分析例外原因是外部中断
  - 操作系统向桥片中的中断控制器读中断原因，读的同时清中断
  - 操作系统根据中断原因调用驱动程序，读取键盘数据
  - 操作系统唤醒正在由于等待数据而阻塞的进程（Powerpoint）
  - Powerpoint根据读到的键盘数据决定翻一页，调用显示驱动程序
  - 驱动程序把要显示的内容送到显存，并通知GPU
  - GPU通过访问显存空间刷新屏幕
- 翻一页

# 上知天文、下知地理

- 计算机系统结构的位置
  - 居于系统软件和逻辑电路之间
- 计算机体系结构的演变
  - 1950-60年代: **Computer Arithmetic**
  - 1970-80年代: **Instruction Set Architecture**
  - 1990年代后: **CPU, Memory, I/O, Multiprocessors.....**
- 从界限清晰到界限不清晰
  - **ISA: RISC、CISC=>Transmeta、Itanium、虚拟机**
  - **逻辑和电路: 晶体管=>晶体管+连线**

应用、操作系统、编译系统

计算机系统结构（性能、价格、功耗）

逻辑设计、电路设计、工艺制造

# 国科大《计算机体系结构》课程设置

- 本科《计算机体系结构基础》：主要强调基础性和系统性
  - 作为软硬件界面的指令系统结构，包含CPU、GPU、南北桥协同的计算机硬件结构，CPU的微结构，并行处理结构，计算机性能分析等五部分主要内容。
- 硕士《计算机体系结构》：主要介绍CPU微结构
  - 包括指令系统结构、二进制和逻辑电路、静态流水线、动态流水线、多发射流水线、运算部件、转移猜测、高速缓存、TLB、多核流水线的影响等
- 博士《高级计算机体系结构》：主要强调实践性
  - 通过设计真实的（而不是简化的）CPU，运行真实的（而不是简化的）操作系统，对结构设计、物理设计、操作系统做到融会贯通

# 系列课程的特点

- 一是系统性，体系是“系统的系统”，很难就体系结构本身讲体系结构，需要做到对体系结构、基础软件、电路和器件的融汇贯通。
- 二是基础性，计算机体系结构千变万化，但几十年发展下来沉淀下来的原理性的东西不多，希望从体系结构快速发展的很多现象中找出一些内在的本质的东西。
- 三是实践性，计算机体系结构是实践性很强的学科，要设计在“硅”上运行而不是在“纸”上运行的体系结构。因此课程作业和实验强调实践性。

# 本课程主要内容

- 第一部分：计算机体系结构基础
  - 01、计算机系统结构基础
  - 02、二进制与逻辑电路
  - 03、指令系统结构
- 第二部分：指令流水线
  - 04、静态流水线
  - 05、动态流水线
  - 06、多发射与动态调度
- 第三部分：重要功能模块
  - 07、功能部件设计
  - 08、转移及转移猜测
  - 09、CACHE及存储层次
  - 10、存储管理
- 第四部分：多核结构
  - 11、多处理器结构与并行处理
- 第五部分：实践是最好的课堂

# 计算机系统结构基础

- 计算机的基本概念
  - 什么是计算机
  - 计算机的基本组成
  - 衡量计算机的重要指标
- 计算机的性能
- 计算机的成本
- 计算机的功耗

# 二进制与逻辑电路

- 计算机中数的表示
- CMOS门电路及工艺
- CMOS组合逻辑与时序逻辑
- CMOS电路延迟
- 从Verilog到GDSII
- 其它“0”和“1”表示方法



# 指令系统结构ISA

- 指令系统结构的设计原则
- 影响指令系统结构的因素
- 指令系统的分类
- 指令系统的组成
- **RISC**指令系统结构
- **RISC**系统结构的简史
- 不同**RISC**结构的比较

# 指令流水线

- 一个简单的CPU
  - 数据通路
  - 控制逻辑
  - 时序控制
- 指令流水线
- 指令相关和流水线冲突
- 流水线的前递技术
- 流水线和例外
- 多功能部件与多拍操作

# 动态流水线技术

- 影响流水线效率的因素
- 指令调度技术
- 动态调度技术
- **Tomasulo**算法
- 动态流水线的例外处理

# 多发射数据通路

- 乱序执行的关键技术
- 动态调度流水线数据通路
  - 保留站的组织
  - 寄存器与保留站的关系
  - 寄存器重命名方法
- 常见处理器的数据通路
- 多发射结构数据通路
- 龙芯2号多发射结构简介

# 转移预测

- 转移指令
- 程序的转移行为
- 软件方法解决控制相关
- 硬件动态转移预测
- 常见处理器的转移猜测

# 功能部件

- 定点补码加法器设计
- 龙芯1号ALU设计
- 定点补码乘法器的设计

# 高速缓存（Cache）

- 存储层次的基本概念
- Cache结构
- Cache性能优化
- 常见处理器的存储层次

# 存储管理

- 虚拟存储的基本原理
- MIPS处理器对虚存系统的支持
- LINUX操作系统的存储管理
- TLB的性能分析和优化



# 多处理器

- 消息传递与共享存储
- 常见的共享存储系统
- 共享存储系统的指令相关
- 共享存储系统的访存事件次序
- 存储一致性模型
- **CACHE**一致性协议

# 实践是最好的课堂

- 介绍龙芯CPU设计的过程
- 通过10个故事其中的经验，尤其是教训

# 教材与参考书

- 教材

- 《计算机体系结构》：清华大学出版社

- 参考书

- 《MIPS设计透视》：北航出版社
- 《计算机体系结构---量化研究方法》：Patterson & Hennessy
- 《数字集成电路---设计透视》：清华大学出版社

# 辅导老师

- 辅导老师
  - 吴瑞阳: [wuruiyang@loongson.cn](mailto:wuruiyang@loongson.cn)
  - 刘洋: [minnieliuyang@163.com](mailto:minnieliuyang@163.com)

# 作业与考核

- 本课程的学习任务较重
  - 平时作业：33分（共11次作业，每次3分）
  - 期末考试：67分
  - 作业：一周内上交为有效，不得打印
  - 考试方式：课堂闭卷，70%题目是作业题
  - 辅导老师会定期讲解作业答案
- 多数作业不是对课堂内容的复习，而是对课堂内容的延伸
  - 所以不要抱怨“这道题老师没讲过”
  - 小学是老师抱着爬山，中学是老师牵着手爬山，大学是跟在老师后面爬山，硕士是顺着老师指的方向自个爬，博士是老师指定一座山自己找方向爬