

课程概述

CS13104: 计算机系统导论

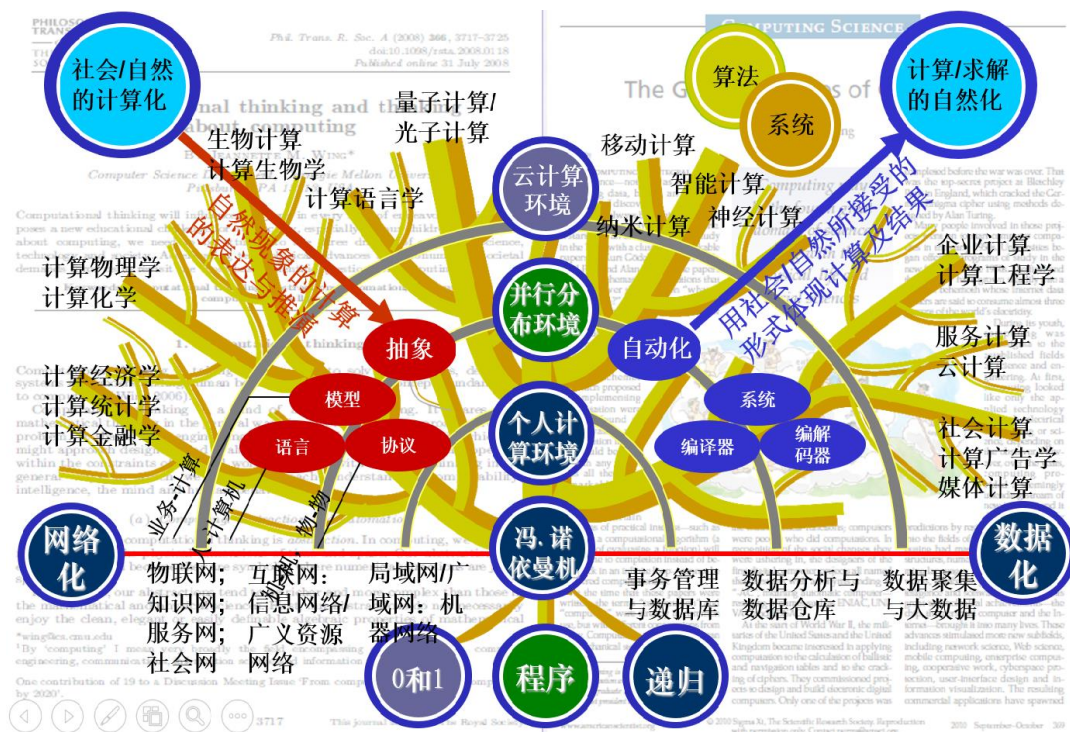
simple@hit.edu.cn, 新技术楼900室

第1讲, Sep. 3, 2018

本章内容提要

- 课程主题
- 五个事例
- 可执行程序的生成与执行
- 计算机系统层次模型
- 本课程在**CS/CE**课程体系中的地位
- 课程考核与学术诚信

回顾:计算机思维导论



计算之树

■ 计算思维（抽象）

- 从计算机学科中提炼出来的一种“普适”思维方式
- 面向所有人、所有领域
- 无需深入了解计算机系统
- 对计算机专业学生来说：必需，但远远不够！

■ 系统思维（具体） （“计算机思维”）

- 从计算机角度去分析问题和解决问题的方法
- 首先取决于对计算机系统的了解

课程Subject:抽象很好但别忘记具体实际！

- 多数计算机科学/工程的课程都强调抽象
 - 抽象数据(类)型
- 抽象是有局限的
 - 特别是在出现bug(程序缺陷-故障/错误)时
 - 需要理解底层实现的细节

本课程的一个重要论述：

**Abstraction Is Good But Don't
Forget Reality**

抽象很好，但别忘记具体情况

事例1:

程序示例: test2

int未必是整数, float未必是实数

■ 例 1: $x^2 \geq 0$?

- Float's: Yes!

- Int's:

- $40000 * 40000 = 1600000000$

- $50000 * 50000$???

($2^{31} = 2,147,483,648$)

■ 例 2: $(x + y) + z = x + (y + z)$?

- 无符号/有符号 Int: Yes!

- 浮点数Float:

- $(1e20 + -1e20) + 3.14 \rightarrow 3.14$

- $1e20 + (-1e20 + 3.14) \rightarrow ??$ 0

理解这个问题需要知道:
机器级数据的表示范围
浮点数的表示与运算规则
高级语言中的运算规则

计算机的算术运算

事实！

- 不要假设所有的“通常”数学特性
 - 因为数据表示的有限性
 - 整数操作满足“循环”特性
 - 交换律, 结合律, 分配律
 - 浮点操作满足“排序”特性
 - 单调性, 符号值

事例2: 汇编！ 汇编！

理解该问题需要知道：

编译器如何优化
机器数如何表示
机器指令的含义与执行
除法错异常的处理

■ 代码一

```
int a= 0x80000000;  
int b = a/-1;  
printf("%d\n",b);
```

运行结果： **-2,147,483,648**

通过反汇编得知
除以-1被优化成
取负指令neg, 故
未发生除法溢出

■ 代码二

```
int a= 0x80000000;  
int b = -1;  
int c = a/b;  
printf("%d\n",c);
```

a/b采用除法指令idiv实现, 但并不生成OF标志, 实际是靠除法前的判断, 发现超出表示范围, 发出“除法错”异常

运行结果为“**floating point exception**”，检测出了溢出

不同！**Why?**

So, 你不得不懂汇编

事实!

- 有可能是, 你永远不用汇编语言写程序
 - 编译器比你更好更耐心
- 但是: 汇编是机器级执行模型的关键
 - 了解存在Bug程序的行为
 - 调整程序性能
 - 理解编译器所做或不做的优化
 - 理解程序低效的根源
 - 实现系统软件
 - 编写 /对抗 恶意软件 (malware)

事例3：存储引用Bug

程序示例: test1

```
typedef struct {
    int a[2];
    double d;
} struct_t;

double fun(int i) {
    volatile struct_t s;
    s.d = 3.14;
    s.a[i] = 1073741824; /* Possibly out of bounds */
    return s.d;
}
```

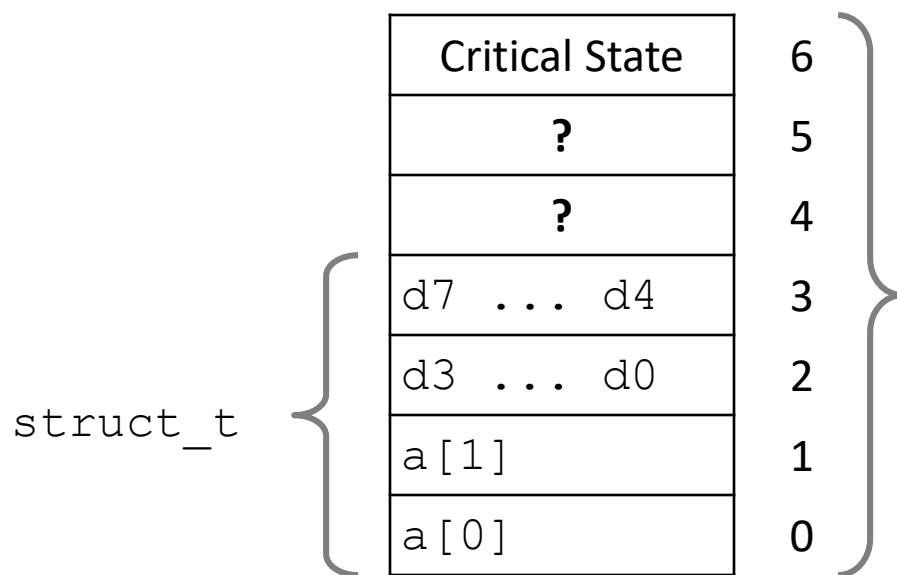
```
fun(0) -> 3.14
fun(1) -> 3.14
fun(2) -> 3.1399998664856
fun(3) -> 2.00000061035156
fun(4) -> 3.14
fun(6) -> Segmentation fault
```

- 结果是面向特定系统的

```
typedef struct {
    int a[2];
    double d;
} struct_t;
```

```
fun(0) -> 3.14
fun(1) -> 3.14
fun(2) -> 3.1399998664856
fun(3) -> 2.00000061035156
fun(4) -> 3.14
fun(6) -> Segmentation fault
```

注释:



理解该问题需要知道:

机器数表示
栈帧中数据的布局

Location accessed by
`fun(i)`

关于存储

RAM随机存储器是一个非物理抽象

事实！

- 存储器不是无限的
 - 存储器需要分配与管理
 - 很多应用是受存储支配/控制的
- 存储引用错误特别致命
 - 在时间和空间上的影响都是深远的
- 存储器性能是不一致的
 - Cache与虚拟存储器的效率会严重影响程序性能
 - 针对存储系统的特点编写程序，会大幅提升程序运行速度

存储引用错误

- **C and C++ 不提供任何存储保护**
 - 数组访问的越界
 - 无效指针值
 - 滥用 malloc/free
- **导致令人讨厌的bug**
 - bug造成的任何影响依赖于系统和编译器
 - 可能在bug生成很久才被察觉到
- **怎么办?**
 - 用 Java, Ruby, Python, ML, ...编程
 - 使用或开发工具来发现引用错 (e.g. Valgrind)

事例4：存储系统的性能

```
void copyij(int src[2048][2048],
            int dst[2048][2048])
{
    int i,j;
    for (i = 0; i < 2048; i++)
        for (j = 0; j < 2048; j++)
            dst[i][j] = src[i][j];
}
```

4.3ms

2.0 GHz Intel Core i7 Haswell

```
void copyji(int src[2048][2048],
            int dst[2048][2048])
{
    int i,j;
    for (j = 0; j < 2048; j++)
        for (i = 0; i < 2048; i++)
            dst[i][j] = src[i][j];
}
```

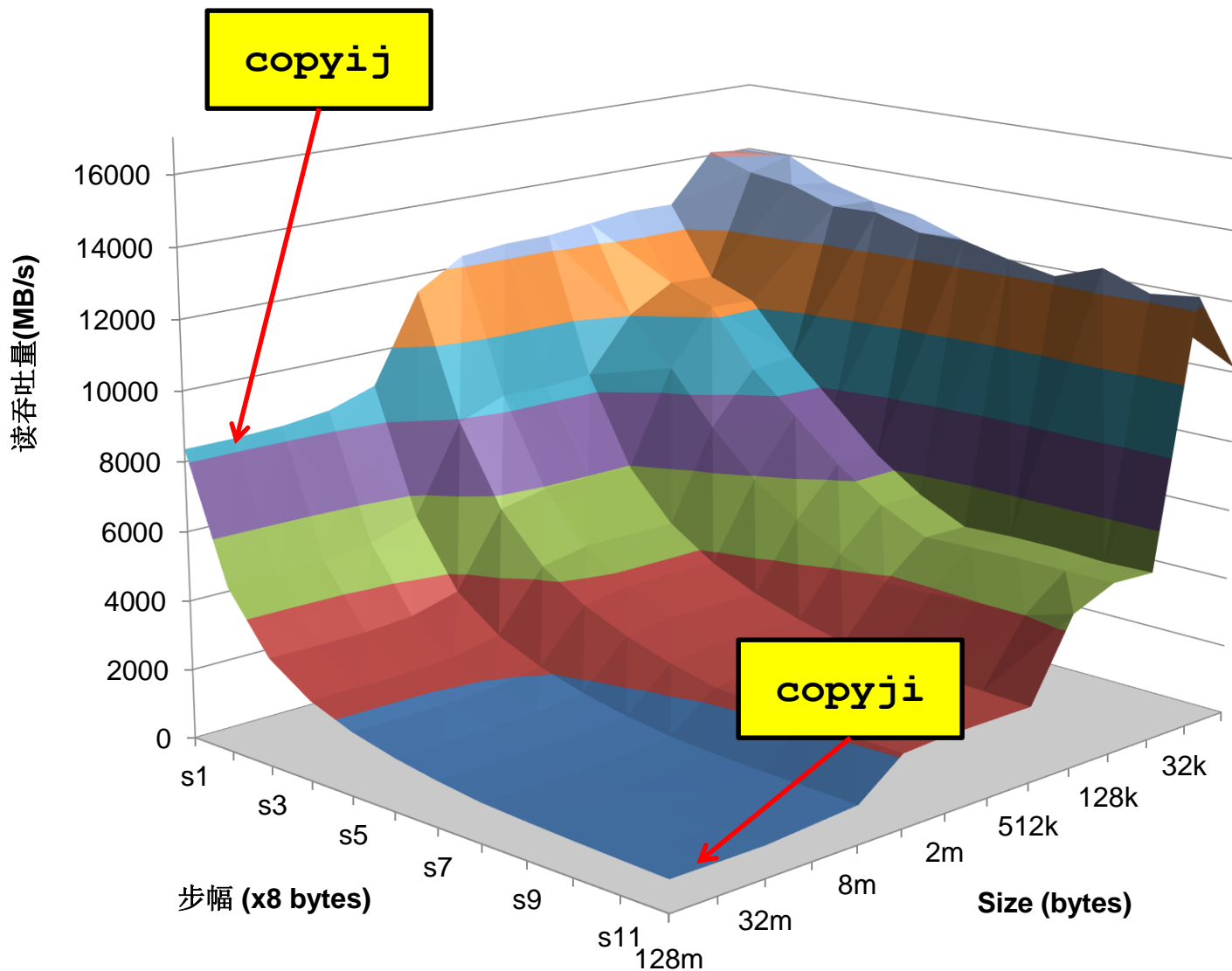
81.8ms

两个程序功能一样、算法一样，时间空间复杂度一样，执行时间why？

- 存储器的层次化组织
- 性能 依赖于访问模式
 - 包括怎样遍历多维数组

理解该问题需要知道：
数组的存放方式
Cache机制
访问局部性

为什么性能不同



性能比不断增加的复杂性更重要

事实！

- 性能无法预测
 - 很容易能看到, 代码编写不同, 会引起10:1 性能变化
 - 一定要多层次优化: 算法, 数据表示, 过程, 循环
- 优化性能一定要理解系统
 - 程序是怎么编译和执行的
 - 怎样测量系统性能和定位瓶颈
 - 不破坏代码的模块化与整体性, 怎么改进性能

第5个事例： 除了执行程序计算机还要做很多

- 进行数据的输入输出
 - I/O系统对程序的可靠性和性能很关键
- 通过网络互相通讯
 - 网络环境下会出现很多系统级问题
 - 多个进程的并发操作
 - 不可靠媒体的拷贝
 - 交叉平台的兼容性
 - 复杂的性能问题

上述5个事例表明：需要用“系统思维”分析具体问题

课程的视角

- 大多数系统类课程都是以构建为中心
 - 计算机体系结构
 - 用Verilog设计流水线处理器
 - OS
 - 实现OS的示例部分
 - 编译器
 - 编写简单语言的编译器
 - 网络
 - 实现并模拟网络协议

本课程的视角

- 本课程是以程序员为中心—程序员的角度认识系统
 - 目标:通过更多地理解底层系统, 成为更高效的程序员
 - 能够发现并有效地排除bug
 - 能理解并调整程序性能
 - 为CS/SE的后续系统课程打基础
 - 编译、操作系统、计算机网络、计算机体系结构、嵌入式系统、存储系统等.
- 程序员的角度, 最关心
 - 程序是怎么形成的?
 - 程序是怎么运行的?

可执行程序是怎么生成的？

经典的 “hello.c” C-源程序

```
#include <stdio.h>

int main()
{
    printf("hello, world\n");
}
```

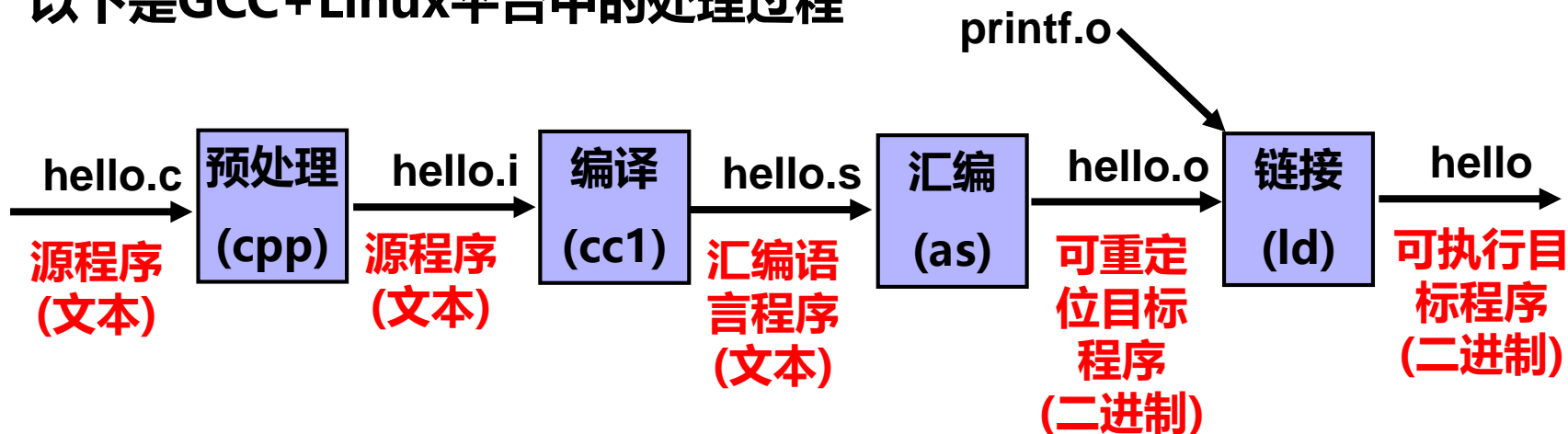
hello.c的ASCII文本表示

```
# i n c l u d e < s p > < s t d i o .
35 105 110 99 108 117 100 101 32 60 115 116 100 105 111 46
h > \n \n i n t < s p > m a i n ( ) \n {
104 62 10 10 105 110 116 32 109 97 105 110 40 41 10 123
\n < s p > < s p > < s p > < s p > p r i n t f ( " h e l
10 32 32 32 32 112 114 105 110 116 102 40 34 104 101 108
l o , < s p > w o r l d \ n " ) ; \n }
108 111 44 32 119 111 114 108 100 92 110 34 41 59 10 125
```

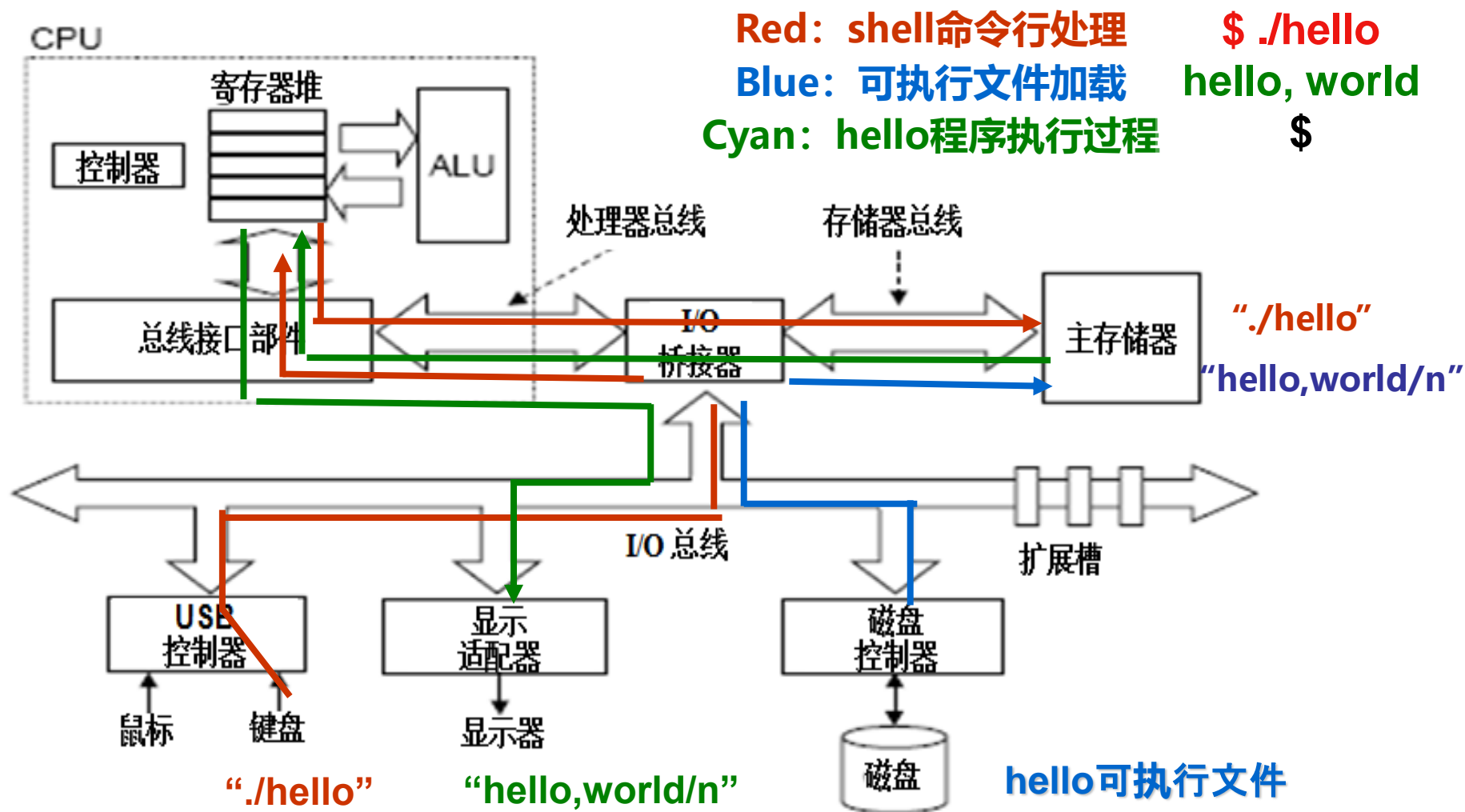
功能：输出 “hello,world”

计算机不能直接执行hello.c!

以下是GCC+Linux平台中的处理过程



可执行程序是怎么执行的？



数据经常在各存储部件间传送。故现代计算机大多采用“缓存”技术！
 所有过程都是在CPU执行指令所产生的控制信号的作用下进行的。

计算机系统层次模型

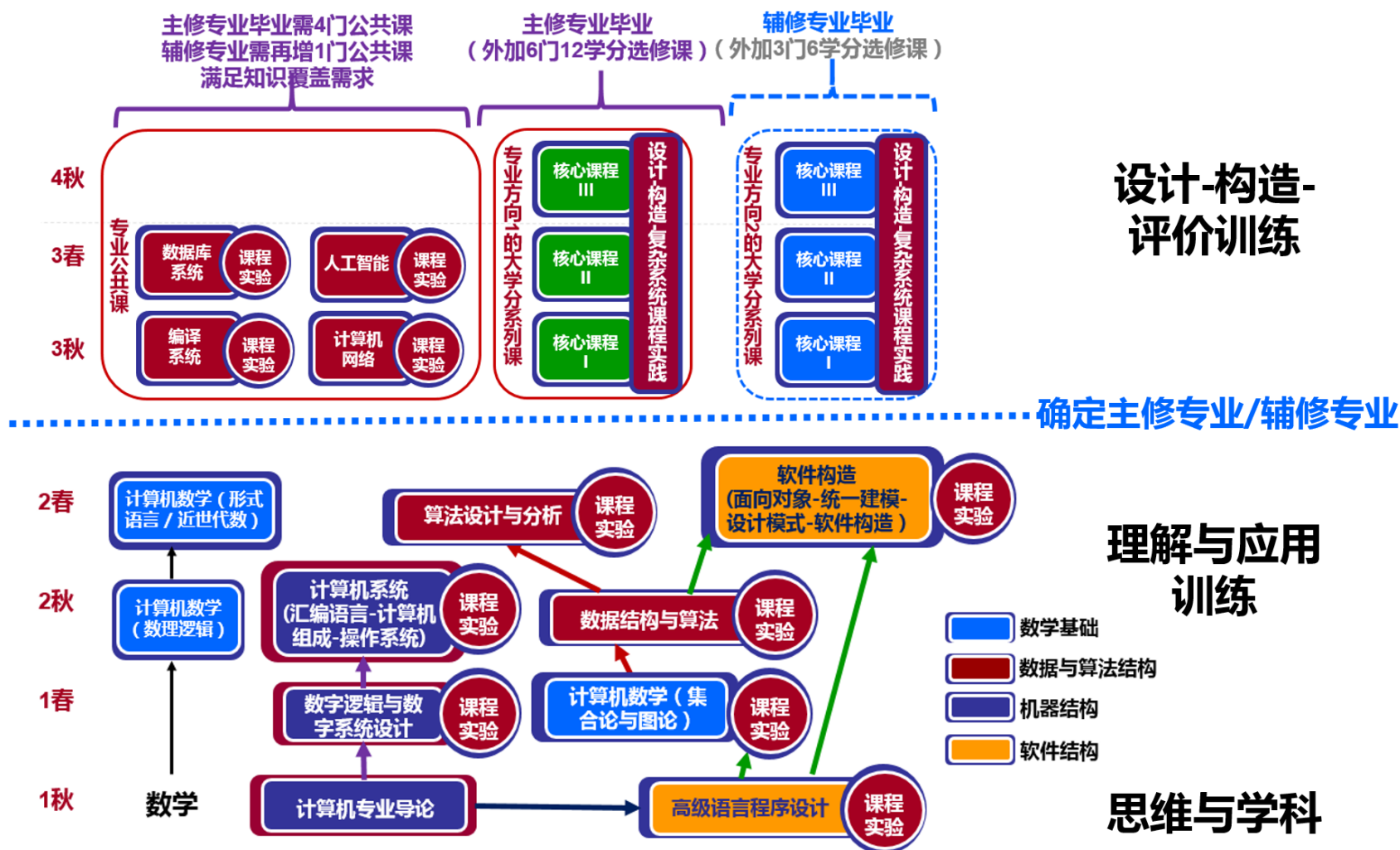
功能转换：上层是下层的**抽象**，下层是上层的**实现**
底层为上层提供支撑环境！

程序执行结果
 不仅取决于
算法、程序编写
 而且取决于
语言处理系统
操作系统
ISA-机器语言
微体系结构
ISA是对硬件的抽象
不同计算机课程
处于不同层次
必须将各层次关
联起来解决问题



最高层抽象就是点点鼠标、拖拖图标、敲敲键盘，但这背后有多少层转化啊！

本课程在CS/CE 课程体系中的角色



计算机大类专业课程选择框架(总学分：主修 159.5+辅修 21.0)

学校要求				学院-大类专业要求				学院-专业要求			
类别	课程	学期	学分	类别	课程	学期	学分	主修专业	(学生选择专业)		
公共基础课			23.0	数学与自然科学基础课			8.0	类别	课程	学期	学分
	思想道德修养...	1 秋	2.0		集合论与图论	1 春	4.0	专业限选课：四类课程中分别选一			12.0
	中国近现代史纲要	1 春	2.0		数理逻辑	2 秋	2.0	限选 1	计算机网络 (课程+实验)	3 秋	3.0
	毛泽东思想...概论	2 秋	4.0		近世代数	2 春	2.0	限选 2	编译系统 (课程+实验)	3 秋	3.0
	马克思主义基本原理	2 春	3.0	专业基础课			30.0	限选 3	数据库系统 (课程+实验)	3 春	3.0
	军训及军事理论	1 秋	3.0		计算机专业导论	1 秋	2.0	限选 4	人工智能 (课程+实验)	3 春	3.0
	大学外语	1-2 学年	6.0		高级语言程序设计	1 秋	3.0	专业核心课-方向系列：九个方向选一 (参见另表)			12.0
	体育	1-2 学年	3.0		数字逻辑与数字系统设计	1 春	3.5	系列 1/I	(课程+P&WIM)	3 秋	4.5
数学与自然科学基础课			24.5		计算机系统 I-计算机组织	2 秋	2.5	系列 1/II	(课程+P&WIM)	3 春	4.5
	微积分	1 秋 1 春	11.0		计算机系统 II-操作系统	2 秋	2.5	系列 1/III	(课程：按选修处理)	3 春/4 秋	3.0
	代数与几何	1 秋	4.0		数据结构与算法	2 秋	3.5	注：P&WIM-Project & Writing Intensive Module.			
	概率论与数理统计	2 秋	3.0		算法设计与分析(含数值算法)	2 春	4.0	专业选修课：满足专业方向选修和总学分要求			12.0
	生命科学基础与应用	1 秋	1.0		软件构造 I-面向对象方法	2 春	2.5	专业选修 1	(学生选择)	3 秋-4 秋	2.0
	大学物理 III	1 春	4.5		软件构造 II-面向质量的软件构造	2 春	2.5	专业选修 2	(学生选择)	3 秋-4 秋	2.0
	大学物理实验 II	1 春	1.0		形式语言与自动机	2 春	2.0	专业选修 3	(学生选择)	3 秋-4 秋	2.0
人文与社会科学基础课			10.0		信息安全概论	2 春	2.0	专业选修 4	(国际课程中选 1)	3 秋-4 秋	2.0
	(经管类选 1)	4 秋前	1.5	跨学科课程			6.0	专业选修 5	(视野拓展型课程选 1)	3 秋-4 秋	2.0
	(环境与法律类选 1)	4 秋前	1.5		(学生选择课程)	2-3 学年	3.0	专业选修 6	(视野拓展型课程选 1)	3 秋-4 秋	2.0
	(工程伦理类选 1)	4 秋前	1.5		(学生选择课程)	2-3 学年	3.0	辅修专业-专业核心课-方向系列			15.0
	(心理学类选 1)	4 秋前	1.5	其他课程 (计学分)			4.0	限选	(学生选择-辅修用)	3-学年	3.0
	(文学艺术与审美类选 1)	4 秋前	1.5		企业短期实训	2 夏	2.0	系列 2/I	(课程+P&WIM)	3 秋	4.5
	(文学艺术与审美类选 1)	4 秋前	1.5		独立学习与技术交流	3 夏	1.0	系列 2/II	(课程+P&WIM)	3 春	4.5
讲座	文化素质教育讲座	4 秋前	1.0		领导力训练	2-3 学年	1.0	系列 2/III	(课程：按选修处理)	3 春/4 秋	3.0
创新创业课			4.0	国际课程 (不少于 1.0 学分)				辅修专业-专业选修课			6.0
	年度创新项目实践	1 春-2 秋	1.0		(可与其他类别课程共享)		1.0	辅修-选修 1	(学生选择)	3 秋/夏	2.0
	(学生选择课程与实践)	4 秋前	3.0	毕业设计			14.0	辅修-选修 2	(学生选择)	3 春/夏	2.0
					毕业设计	4 春	14.0	辅修-选修 3	(视野拓展型课程选 1)	3 秋/4 秋	2.0

各专业方向-分学期-专业核心课程，暨大学分系列课程

系列课程 专业方向	课程 I(3 秋)	课程 II(3 春)	课程 III(3 春/4 秋)	课程 I-II-III 联合实现的实验-复杂工程 问题求解能力训练(3 秋 3 春或 4 秋)
专业公共课				
计算机大类/软件工程大类	计算机网络	数据库系统		仅存在对应各课程的实验,各课程间无联系。
	编译系统	人工智能		
专业方向				
A1-计算机工程	计算机组织与体系结构	操作系统设计与实现	嵌入式系统设计与实现	典型(嵌入式)计算机的设计、实现与分析
A2-计算机科学	随机计算	随机算法	计算理论	典型随机数据处理系统的设计、实现与分析
A3-并行与分布	并行与分布系统	并行与分布算法	云计算	典型并行/分布算法的设计、实现与分析
B1-自然语言处理	机器学习	自然语言处理	信息检索	典型机器学习系统设计、实现与分析
B2-视听觉信息处理	视听觉信号处理	模式识别与深度学习	视听觉信息理解	典型视听觉信息系统设计、实现与分析
B3-数据科学与大数据技术	大数据计算基础	大数据分析	数据挖掘	典型大数据系统的设计、实现与分析
C1/1-信息安全-网络安全	密码学原理与应用	网络安全	软件安全	典型内容安全系统的设计、实现与分析
C1/2-信息安全-内容安全	系统安全	信息内容安全	逆向分析	典型网络安全系统的设计、实现与分析
D1-生物信息学	生物信息学	基因组信息学	系统生物学	生物信息学算法设计、实现与分析
E1-物联网工程	信息物理系统-理论与建模	信息物理系统-技术与系统	信息物理系统-分析与验证	典型信息物理系统的设计、实现与分析

软件工程大类专业课程选择框架(总学分：主修 159.5)

+

学校要求				学院-大类专业要求				学院-专业要求			
类别	课程	学期	学分	类别	课程	学期	学分	主修专业	(学生选择专业)		
公共基础课			23.0	数学与自然科学基础课			8.0	类别	课程	学期	学分
	思想道德修养...	1 秋	2.0		集合论与图论	1 春	2.0	专业限选课：			12.0
	中国近现代史纲要	1 春	2.0		数理逻辑	2 秋	2.0	限选 1	计算机网络 (课程+实验)	3 秋	3.0
	毛泽东思想...概论	2 秋	4.0		计算方法	2 春	2.0	限选 2	编译系统 (课程+实验)	3 秋	3.0
	马克思主义基本原理	2 春	3.0		运筹学	2 春	2.0	限选 3	数据库系统 (课程+实验)	3 春	3.0
	军训及军事理论	1 秋	3.0	专业基础课			26.0	限选 4	人工智能 (课程+实验)	3 春	3.0
	大学外语	1-2 学年	6.0		软件工程专业导论	1 秋	3.0				
	体育	1-2 学年	3.0		高级语言程序设计	1 秋	3.0	专业核心课-必修系列			9.0(或 6.0)
数学与自然科学基础课			24.5		基于平台的软件开发(选一)	1 春	2.5	系列 1/I	(课程 + P&WIM)	3 秋	4.5(或 3.0)
	微积分	1 秋 1 春	11.0		计算机系统 I-计算机组织	2 秋	2.5	系列 1/II	(课程 + P&WIM)	3 春	4.5(或 3.0)
	代数与几何	1 秋	4.0		计算机系统 II-操作系统	2 秋	2.5	注：P&WIM-Project & Writing Intensive Module			
	概率论与数理统计	2 秋	3.0		数据结构与算法	2 秋	2.5	专业核心课-方向系列(本专业或跨专业)			6.0(或 9.0)
	生命科学基础与应用	1 秋	1.0		算法设计与分析	2 春	3.0	系列 2/I	(课程 + P&WIM)	3 秋	3.0(或 4.5)
	大学物理 III	1 春	4.5		软件构造 I-面向对象方法	2 春	2.5	系列 2/II	(课程 + P&WIM)	3 春	3.0(或 4.5)
	大学物理实验 II	1 春	1.0		软件构造 II-面向质量的软件构造	2 春	2.5	注：两个核心课系列必修，但只需完成 1 个系列的 P&WIM。			
人文与社会科学基础课			8.5		软件项目管理	2 春	2.0	专业选修课：满足专业方向选修和总学分要求			4.0
	(文学艺术与审美类选 1)	1-2 学年	1.5	商务类课程			7.5	专业选修 1	(国际课程中选 1)	3 秋-4 秋	2.0
	(文学艺术与审美类选 1)	1-2 学年	1.5		(财会与金融类课程选 1)	1-3 学年	2.0	专业选修 2	(视野拓展型课程选 1)	3 秋-4 秋	2.0
	(环境与法律类选 1)	1-2 学年	1.5		(企业管理类课程选 1)	1-3 学年	2.0				
	(心理学类选 1)	1-2 学年	1.5		(市场营销选 1)	1-2 学年	2.0				
	软件与社会	1-2 学年	1.5		商务谈判	1-2 学年	1.5				
				其他课程(计学分)			4.0				
讲座	文化素质教育讲座	4 秋前	1.0		企业实训	2 夏	2.0	国际课程(不少于 2.0 学分)			
创新创业课			4.0		独立学习与技术交流	3 夏	1.0		(可与其他类别课程共享)		2.0
	年度创新项目实践	1 春-2 秋	1.0		领导力训练	2-3 学年	1.0	工业实习			9.0
	IT 企业创业与管理	4 秋前	1.0	毕业设计			14.0		工业实习(在企业)	4 秋	9.0
	(学生选择课程与实践)	4 秋前	2.0		毕业设计	4 春	14.0				

各专业方向-分学期-专业核心课程，暨大学分系列课程

系列课程 专业方向	课程 I(3 秋)	课程 II(3 春)	课程 I-II 联合实现的实验-复杂工程问题求解能力训练(3 秋 3 春)
专业公共课			
软件工程大类	计算机网络	数据库系统	仅存在对应各课程的实验,各课程间无联系。
	编译系统	人工智能	
专业方向			
F1-软件工程 (必修)	软件过程与工具 I-需求分析与系统设计 软件过程与工具 II-软件过程与配置管理	软件架构与中间件 I-软件体系结构与中间件 软件架构与中间件 II-软件测试与质量保障	典型软件系统的设计、实现与分析
		移动开发	
N1-服务工程 (可选一)	面向服务的软件系统	服务工程与应用	典型服务系统的设计、实现与分析
N2-移动互联网与数字媒体 (可选一)	移动互联网技术	数字媒体技术	面向数字媒体的典型移动系统设计、实现与分析
S-其他学科方向 (可选一)	跨学科核心课程 I+P&WIM (要求 I 和 II 必须同一学科)	跨学科核心课程 II+P&WIM (要求 I 和 II 必须同一学科)	典型 XX 学科计算系统的设计、实现与分析

作弊: 描述

■ 什么是作弊?

- 共享代码: 通过拷贝, 重敲, 看看, 或提供文件
- 口述: 一个人向其他人口头描述代码.
- 辅导: 一行一行地帮你的朋友写实验
- 网上搜索答案
- 从以前的课程或作业中拷贝代码
 - 只被允许使用我们提供的代码, 或来自课程网站的代码(CS:APP website)

■ 什么不是作弊?

- 解释怎么使用系统和工具
- 帮助其他人进行高层次的设计问题

作弊：后果

■ 对作弊的处罚：

- 不及格！
- 会被蔑视

■ 作弊的检查：

- 我们有专业的代码剽窃检查工具

■ 不要作弊！

- 提早动手
- 实在做不下去可以请教助教

教材

■ Randal E. Bryant and David R. O'Hallaron,

- *Computer Systems: A Programmer's Perspective*, **Third Edition** (CS:APP3e), Pearson, 2016 深入理解计算机系统 3-机械工业出版社
- <http://csapp.cs.cmu.edu>
- 这本书对这门课很重要!
 - 如何解决实验
 - 练习题中有典型的考试题目

■ 计算机系统基础

- 南京大学 袁春风

课程组成

- 大班讲授
 - 概念为主
- 复习-练习-习题
 - 习题检验, 代码验证
- 实验 (8次)
 - 课程的心脏
 - 每次1-2 周
 - 提供对系统的某方面的深入理解
 - 编程和测试
- 考试
 - 测试你对概念和原理的理解

获得帮助

- 课程 **Web**网站: <http://www.cs.cmu.edu/~213>
 - 完整的课程资料
 - 课件、作业、测验、答案
 - 作业的说明

政策：实验和检查

- 考试
 - 一纸开卷
 - 只占50%

评分

考核环节	建议分值比例	考核/评价细则
实验	30%	1. linux下C工具应用；3学时；2分 2. 数据表示；3学时；4分 3. 破解：二进制炸弹；3学时；4分 4. 漏洞攻击；3学时；4分 5. Cache高速缓冲器；3学时；4分 6. 链接实验；3学时；4分 7. 微壳TinyShell；3学时；4分 8. 存储器分配；3学时；4分
作业	10%	平时作业 5 次：汇编 2 次，组原 1 次，编译连接 1 次， OS1 次
大作业	10%	大作业 3 次：汇编 3 分、组原 4 分、 OS3 分，格式为毕设论文的正文。
期末考试	50%	一纸开卷试卷

程序与数据

■ 主题

- 位操作,算术预算,汇编语言程序
- C控制与数据结构的表示
- 包括体系结构与编译的方面

■ 作业

- L1 (datalab): 位操作
- L2 (bomblab): 拆除一个二进制炸弹
- L3 (attacklab): 代码注入攻击的基础知识

存储器层次

■ 主题

- 存储技术,存储层次, 高速缓冲器, 磁盘, 局部性
- 包括体系结构与编译的方面

■ 作业

- L4 (cachelab): 建立一个 cache模拟器, 并为局部性进行优化.
 - 学习如何在你的程序中利用局部性.

异常控制流

■ 主题

- 硬件异常, 进程, 进程控制, Unix信号, 非局部跳转
- 包括体系结构、OS与编译的方面

■ 作业

- L5 (tshlab): 编写自己的 Unix 外壳.
 - 第一次引入并发

虚拟存储器

■ 主题

- 虚拟存储器, 地址翻译, 动态存储器分配
- 包括体系结构、OS的方面

■ 作业

- L6 (malloclab): 编写你自己的存储器分配程序包
 - 真实感受下系统底层的编程

*Welcome
and Enjoy!*