中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

软硬件协同能力与OS课程教学的思考

蒋德钧

中国科学院大学计算机与控制学院
中国科学院计算技术研究所

2019-11-22

个人教学经历

- 现任中国科学院大学岗位教师，中科院计算所副研究员
- 2016年：承担国科大OS研讨课主讲工作
- 2017年起至今：同时承担OS理论课（主讲教师之一）和OS研讨课主讲工作
- 2018年：国科大操作系统课程入选“北京市在线开放课程”建设项目

提纲

- 国科大OS课程设计
- OS研讨课设计
- OS研讨课问题与教学思考

国科大OS课程设计

- 理论课 + 研讨课
  - 理论课/研讨课学时：60/40
  - 理论课/研讨课学分：3/2
  - 前序课程：C语言，计组，汇编（选修）
  - 同期课程：体系结构
- 开设学期：大三上学期

国科大OS课程设计

- 研讨课形式
  - 作业布置 + 设计评审 + 系统运行现场检查
    - 设计评审：2人一组
    - 开发：1人一组
  - 6个project，每个project：2~3周，每次课3学时
  - 基本项 + 加分项

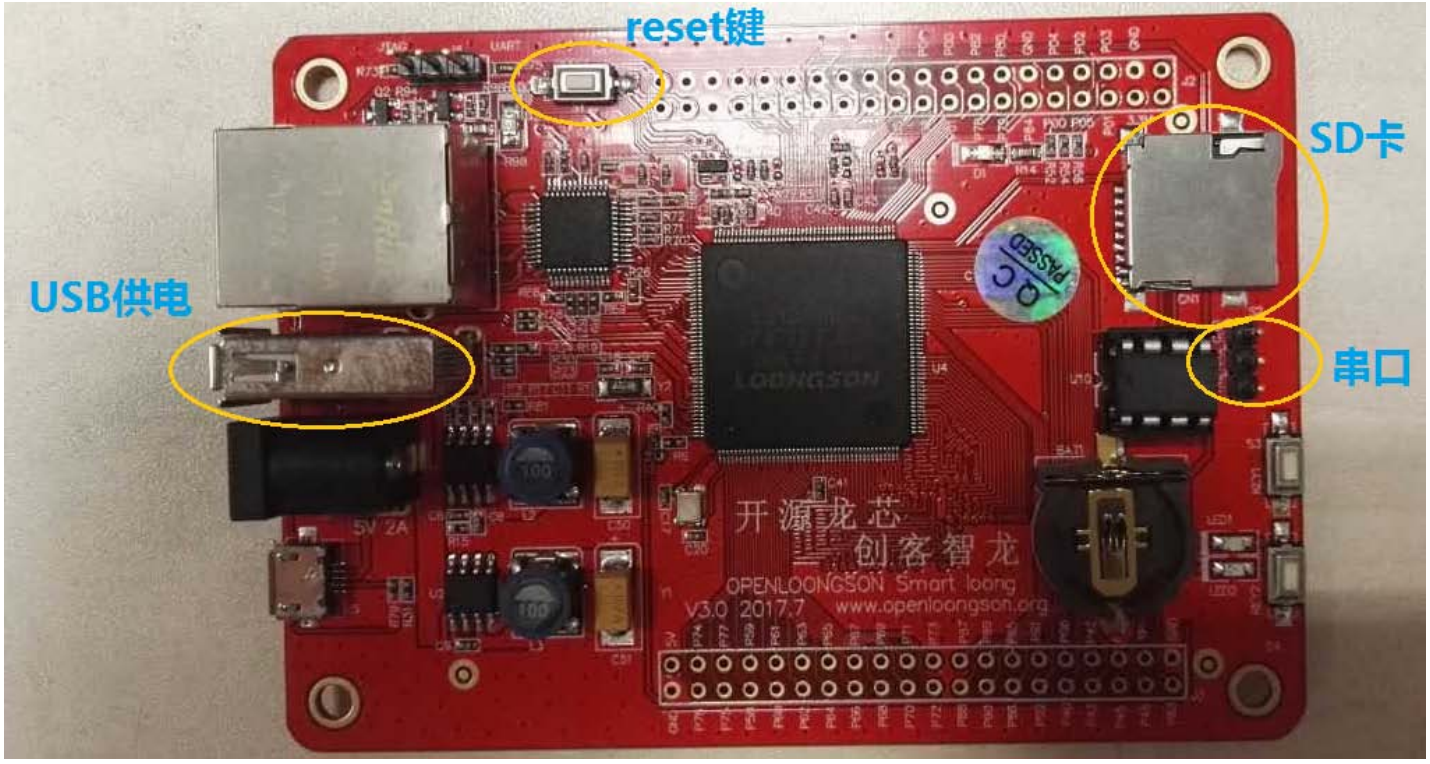
OS研讨课设计

- 研讨课课程设计

年份	内容	开发环境
2016	Bootloader, 非抢占式内核，抢占式内核，IPC，虚存管理，FS	QEMU模拟器
2017	Bootloader, 非抢占式内核，抢占式内核，IPC，虚存管理，FS	MIPS板卡 FS在x86上使用FUSE完成
2018	基本项：Bootloader, 非抢占式内核，抢占式内核，shell，IPC，虚存管理，网卡驱动，FS 加分项：全系统	MIPS板卡 调试：QEMU
2019	基本项：Bootloader, 非抢占式内核，抢占式内核，shell，IPC，虚存管理，网卡驱动，FS 加分项：全系统	MIPS板卡 RISC-V板卡 调试：QEMU

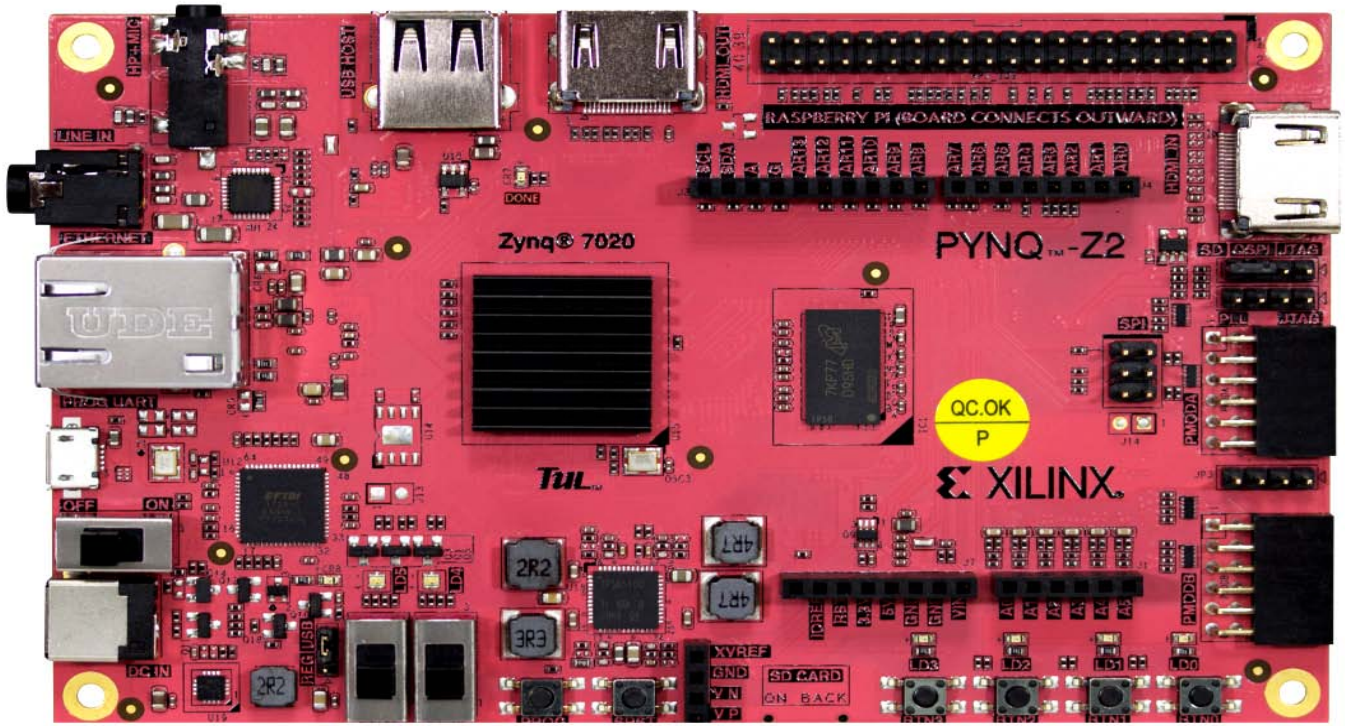
OS研讨课设计

- OS开发硬件板卡
  - MIPS板卡：龙芯1C开发板（100套）
  - 1 CPU core，32MB RAM，4GB SD卡，1Gb网口



OS研讨课设计

- OS开发硬件板卡
  - RISC-V板卡： rocket rv64g指令集（20套）
  - 1 CPU core，512MB RAM，16GB SD卡，1Gb网口



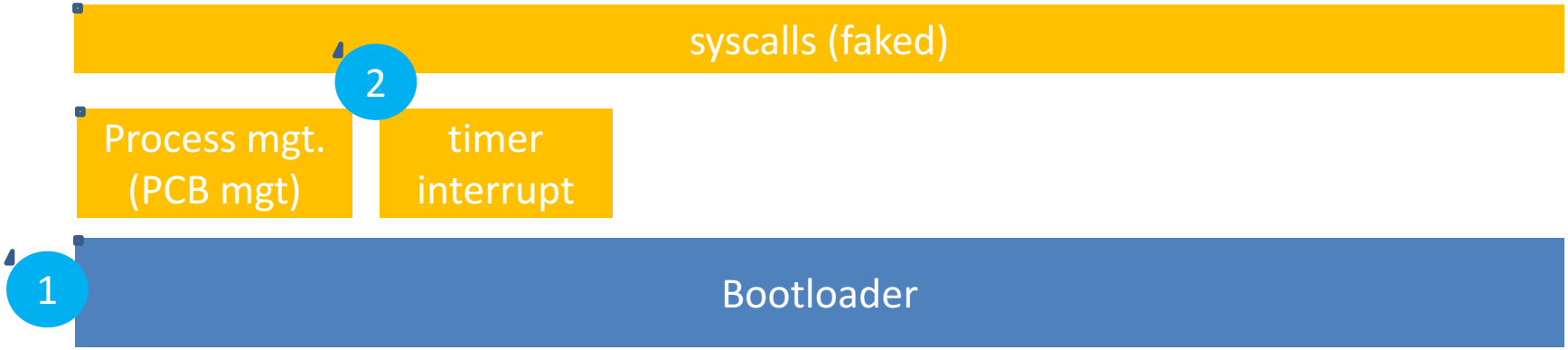
OS研讨课设计

- 研讨课project设计
  - P1：bootloader
  - 考察点
    - bootblock功能和编写
    - ELF文件解析和使用
    - 内核镜像制作
    - 大内核

1 Bootloader

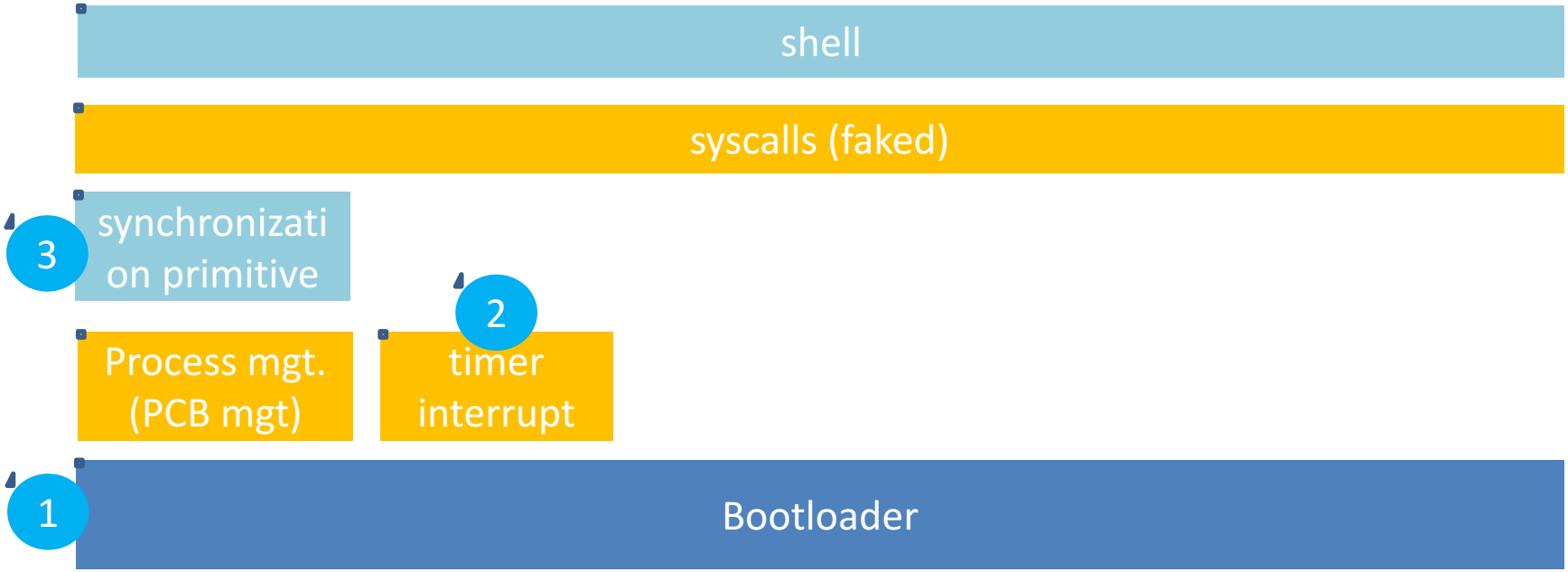
OS研讨课设计

- 研讨课project设计
  - P2：non-preemptive/preemptive kernel
  - 考察点
    - PCB管理
    - 时钟中断、系统调用
    - 进程调度



OS研讨课设计

- 研讨课project设计

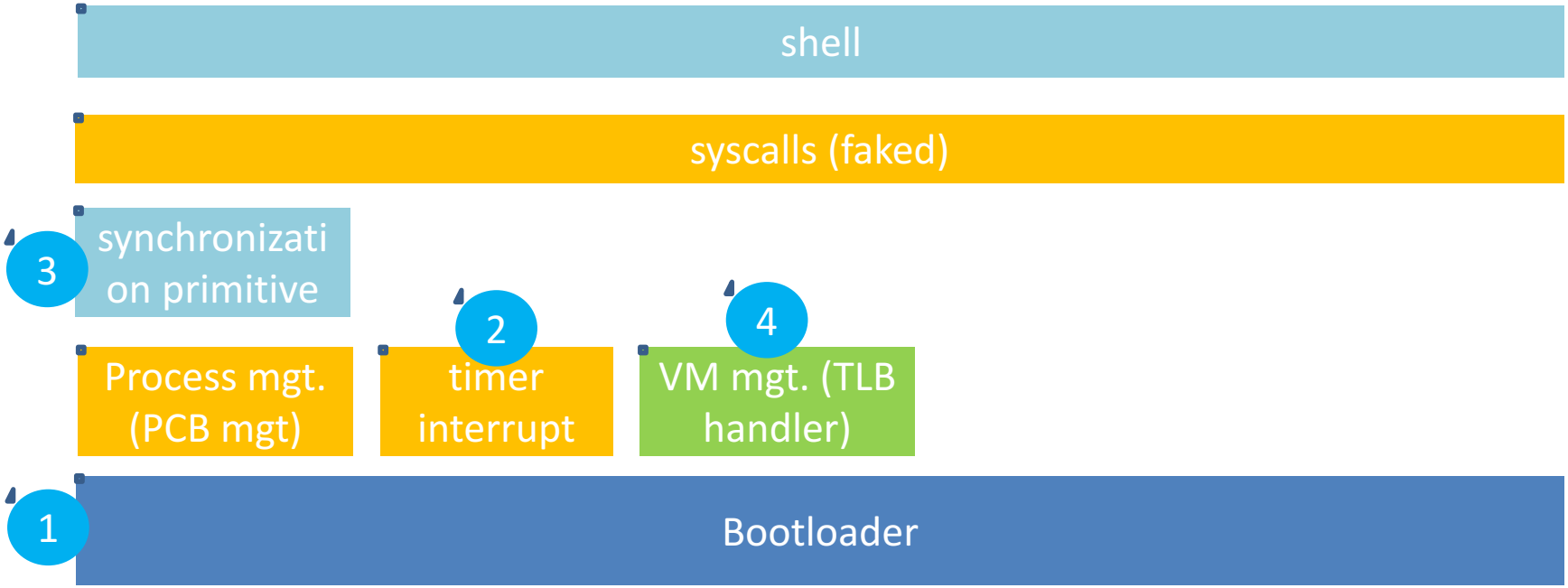


OS研讨课设计

- 研讨课project设计
  - P3: IPC and Synchronization primitives
  - 考察点
    - Shell和命令行应用（spawn，kill，exit，wait）
    - 同步原语：信号量、条件变量、屏障；邮箱

OS研讨课设计

- 研讨课project设计

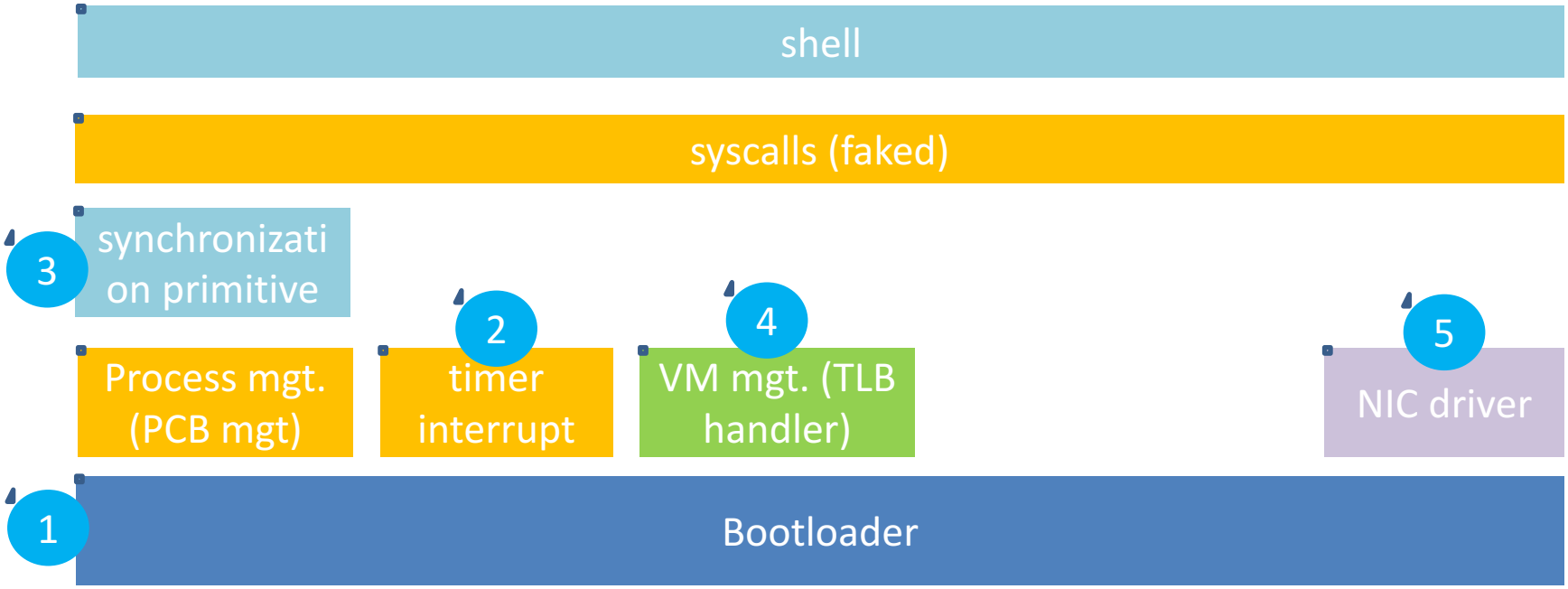


OS研讨课设计

- 研讨课project设计
  - P4：virtual memory
  - 考察点
    - 页表、缺页处理
    - TLB例外处理
    - Swap处理

OS研讨课设计

- 研讨课project设计

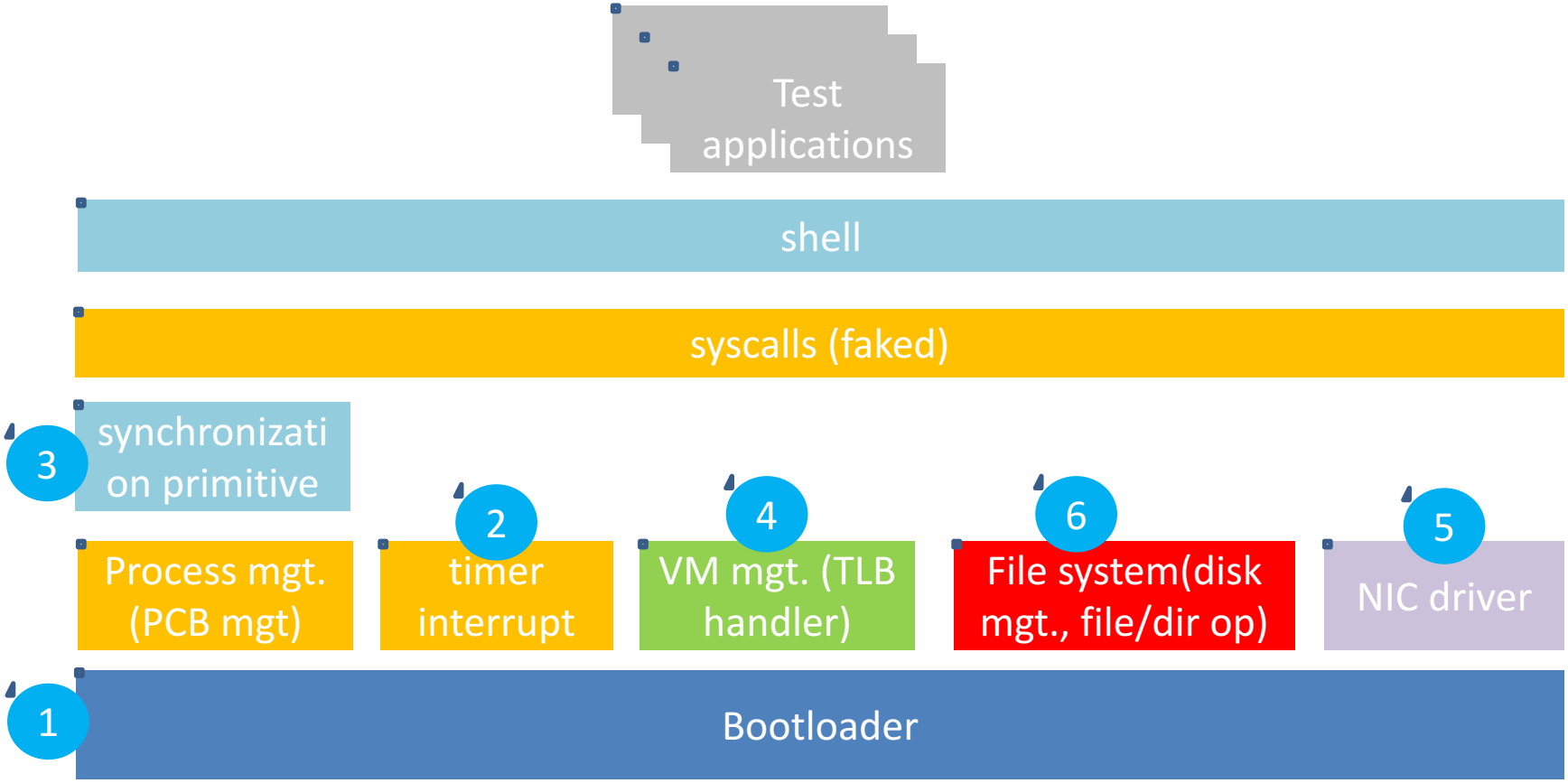


OS研讨课设计

- 研讨课project设计
  - P5：network driver
  - 考察点
    - 网卡驱动
    - 数据DMA处理

OS研讨课设计

- 研讨课project设计

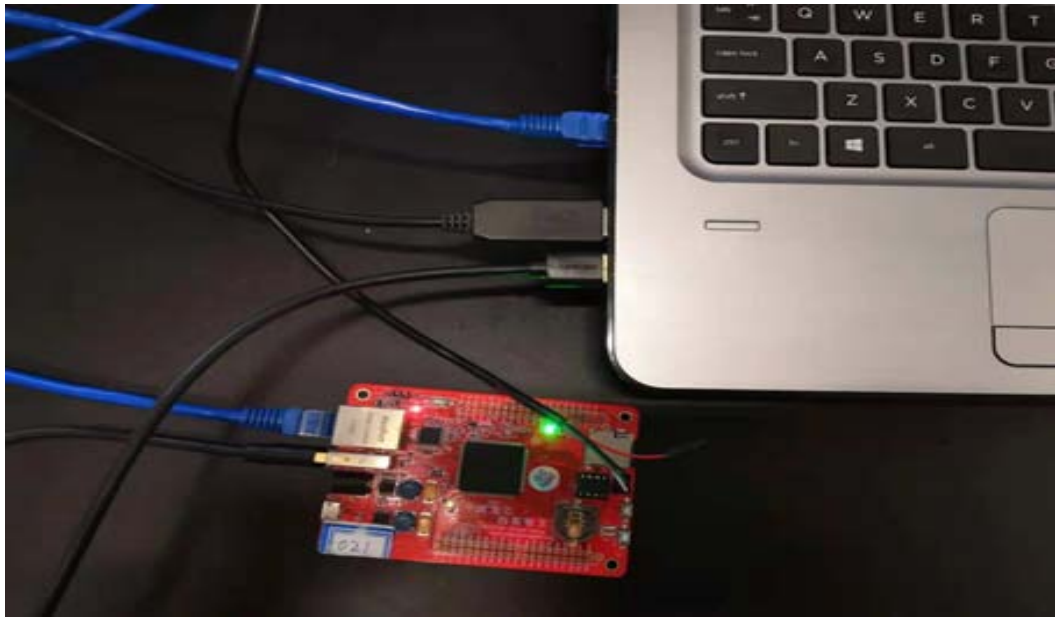


OS研讨课设计

- 研讨课project设计
  - P6：File system
  - 考察点
    - 磁盘管理、超级块、分区、块映射
    - 文件操作：inode
    - 目录操作：dentry
    - 面向SSD的FS优化

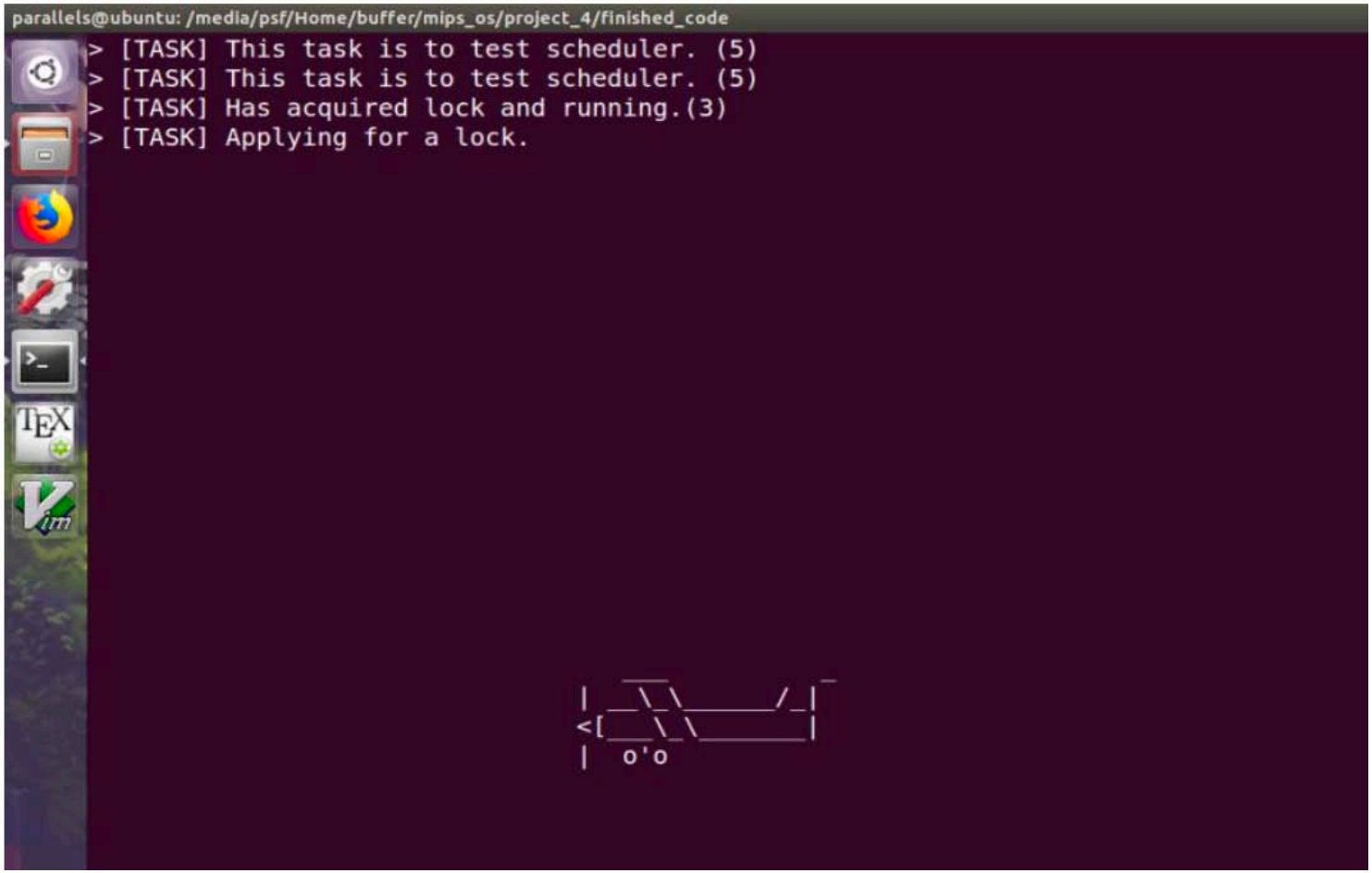
OS研讨课设计

- 研讨课project设计
  - 全系统连接
    - 自行开发的测试程序经由网络传输到开发板卡，保存至文件系统
    - 使用FS和shell命令启动运行测试程序，并使用虚存映射管理



OS研讨课设计

- 研讨课project效果



OS研讨课设计

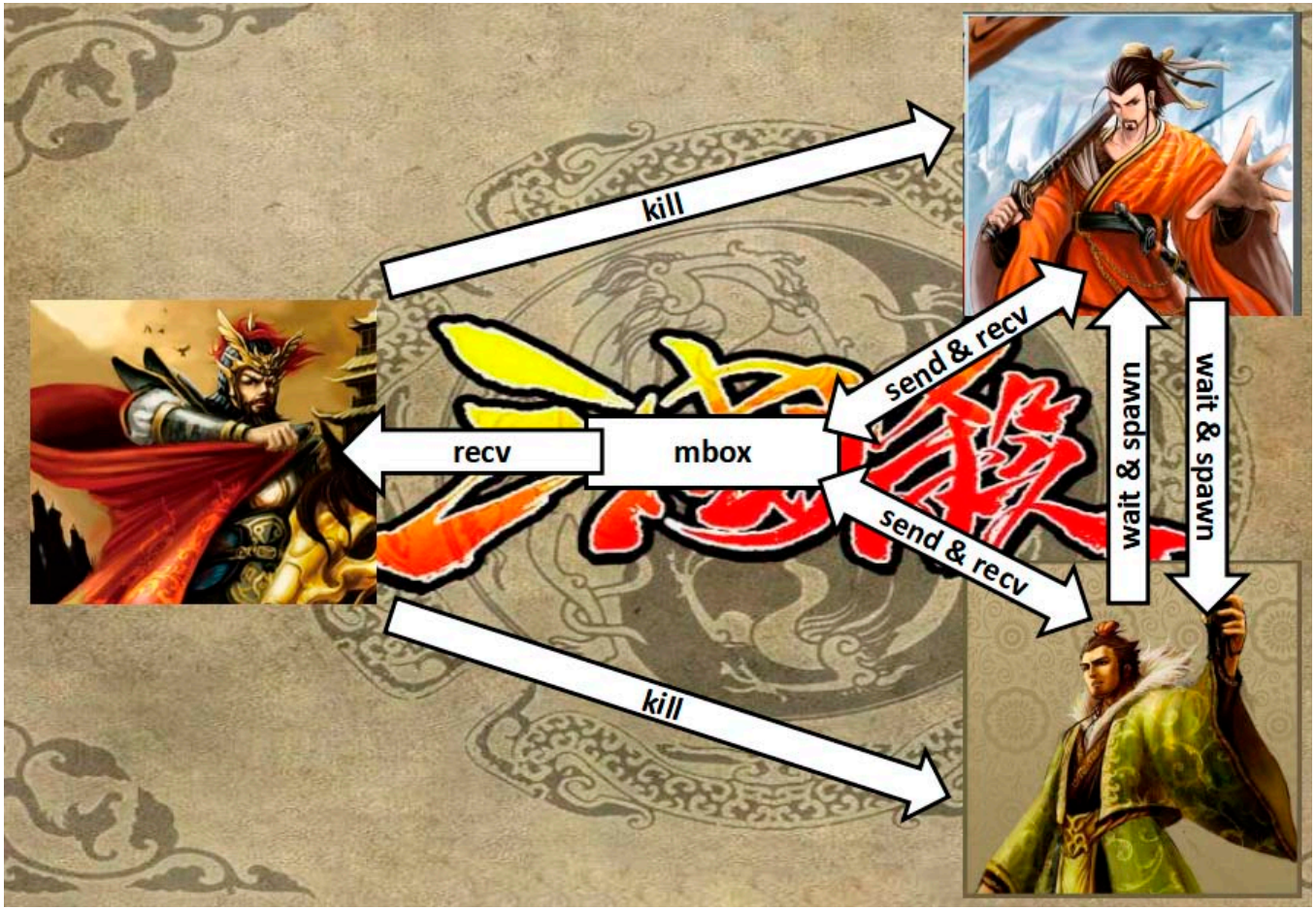
- 研讨课project效果

```
> [TASK] I am task with pid 2, I have acquired two mutex lock. (26)
> [TASK] I want to acquire a mute lock from task(pid=2).
> [TASK] I want to wait task (pid=2) to exit.

------------------- COMMAND -------------------
> root@UCAS_OS: ps
[PROCESS TABLE]
[0] PID : 0  STATUS : RUNNING
[1] PID : 1  STATUS : RUNNING
> root@UCAS_OS: spawn
> root@UCAS_OS:
```

OS研讨课设计

- 研讨课project效果



OS研讨课设计

- 研讨课project效果

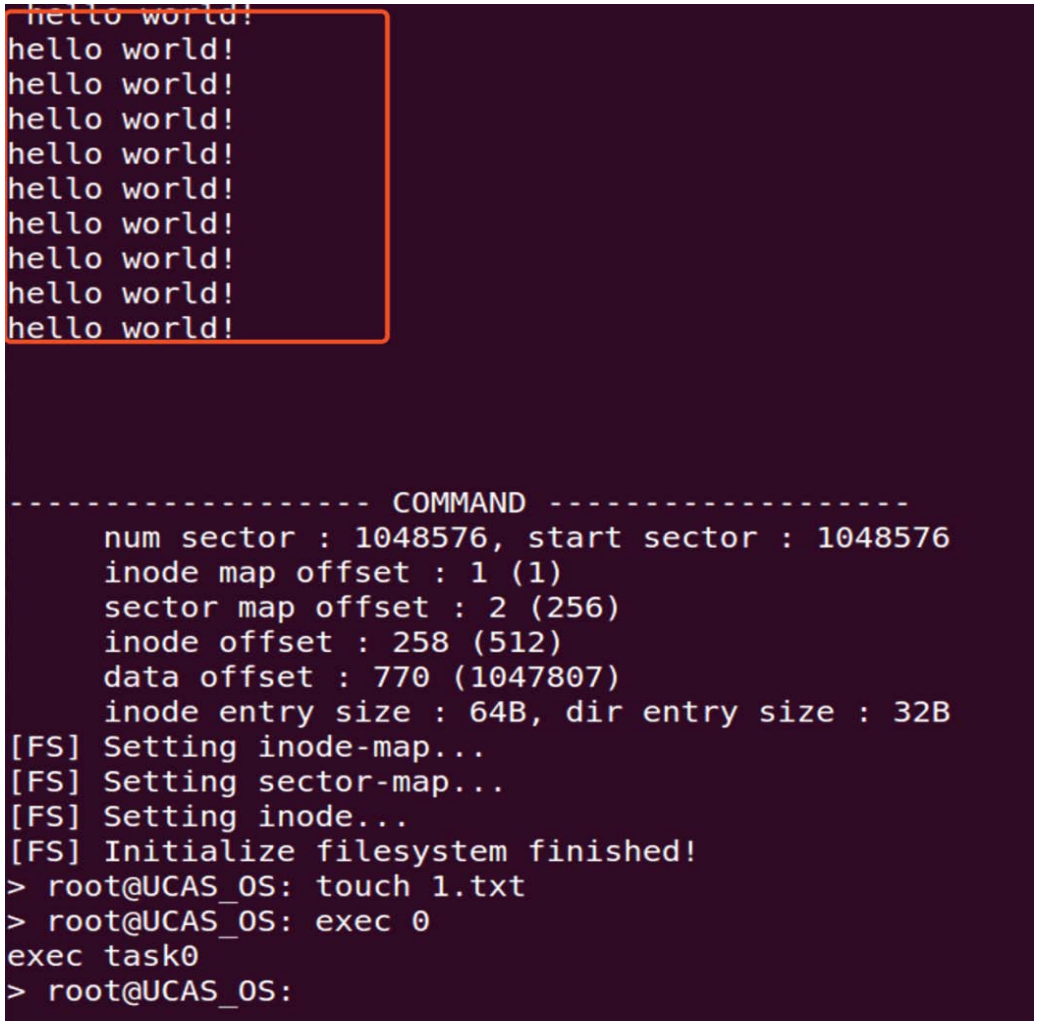
```
[SunQuan](5): I'm waiting for Liubei (6)
[LiuBei](6): I'm coming to save you, SunQuan!
[CaoCao](4): I am working... muahaha
[CaoCao](4): I have my decision!
[CaoCao](4): I will kill SunQuan (5)!
[CaoCao]biu biu biu ~~~~~~ AAAAAAAA SunQuan is dead QAQ.
[CaoCao](4): Oops! LiuBei(6) is alive again!




------------------- COMMAND -------------------
> root@UCAS_OS: exec 12
exec process[12].
> root@UCAS_OS: exec 13
exec process[13].
> root@UCAS_OS: exec 14
exec process[14].
```

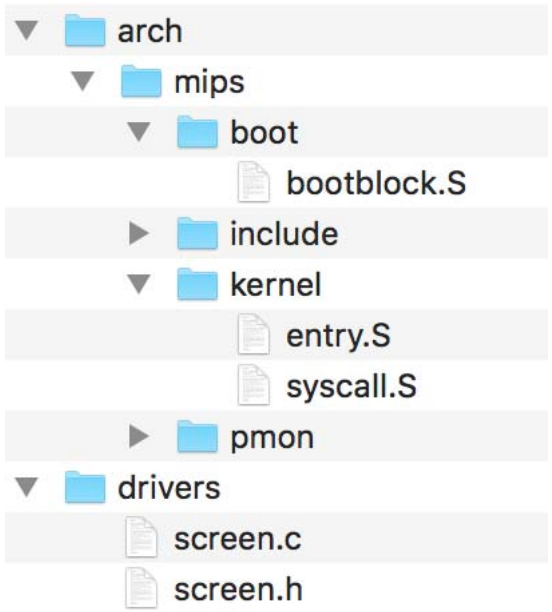
OS研讨课设计

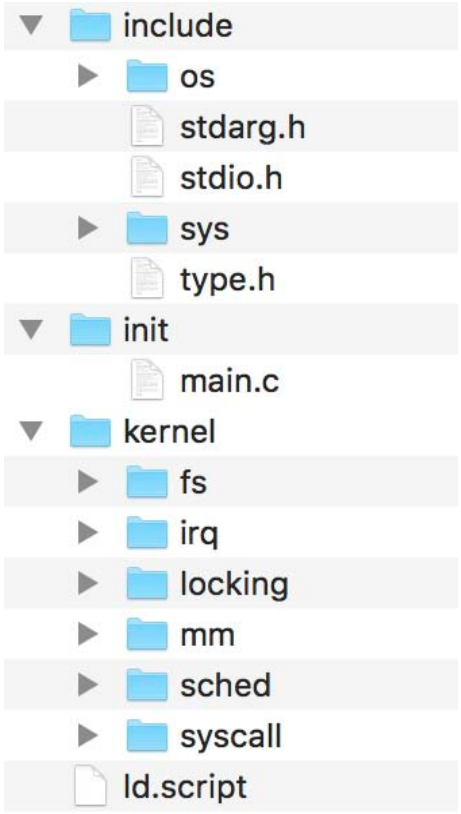
- 研讨课project效果

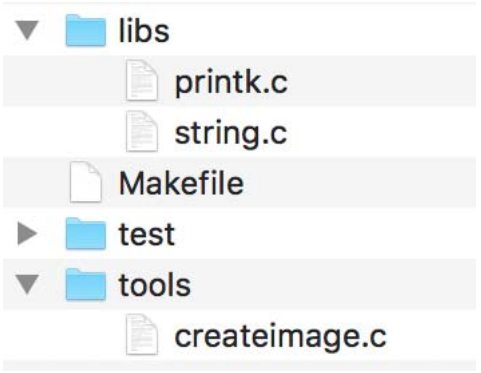


OS研讨课设计

- UCAS-OS代码框架和指导书（3.5万字）







OS研讨课问题与教学思考

- Case study 1
  - 制作系统内核后，内核全局变量运行时被赋予随机值
- 原因
  - 程序ELF文件加载机制理解不足，数据bss段没有拷贝至内核镜像中

OS研讨课问题与教学思考

- Case study 2
  - 汇编调用C函数，出现“玄学”bug ☹

entry.S 的handle_int 里，要求调用

void interrupt_helper(uint32_t status, uint32_t cause)

```
SAVE_CONTEXT(USER)
mfc0 a0, CP0_STATUS
mfc0 a1, CP0_CAUSE
jal interrupt_helper
RESTORE_CONTEXT(USER)
```

OS研讨课问题与教学思考

- Case study 2
  - 汇编调用C函数，出现“玄学”bug ☹
- 原因
  - gcc交叉编译遵守O32 ABI规范，在传递参数时要求堆栈保留参数位置

```
addiu sp,sp, -4*num
jal C_Function_name
addiu sp,sp, 4*num
```

OS研讨课问题与教学思考

- Case study 3
  - 涉及硬件交互处理时，学生明显理解和开发受阻
    - 时钟中断处理
    - TLB中断处理
    - 网卡中断处理
  - 典型问题
    - 通用寄存器操作、协处理器寄存器操作
    - 栈操作
    - 汇编和C语言相互交互

OS研讨课问题与教学思考

- 教学思考
  - 软硬件协同设计是系统能力培养中的一个重要环节
  - 现在课程设计中一般各自“自成一体”
  - 思考一：课程时间不够如何改善？如何管理代码质量？科研引导？
  - 思考二：操作系统实现涉及c语言、汇编、体系结构、编译和系统软件，课程设计如何协调上述课程？
  - 思考三：操作系统是否作为一个glue course，连接软硬件？

总结

- 国科大操作系统课程通过理论课和研讨课结合，让学生通过在实际硬件板卡上开发一个真实能运行的操作系统
  - 加强理论知识和系统实现的联系和理解
  - 加强学生实际开发和调试能力
- 现有课程缺少硬件、底层机制（例如程序执行）和软件的协同认识
  - 亟需相应课程设计完善

总结

- 未来计划
  - 基于MIPS和RISC-V两套体系的OS开发框架UCAS-OS完善，并开放
  - 增加多核环境、基于SSD的OS开发
  - 增加研究性课题研发

谢谢倾听

Q&A！

欢迎感兴趣的老师和同学多多交流

jiangdejun@ict.ac.cn