马士兵教育

Java程序员需要掌握的计算机底层知识 v1.0

微机原理 计算机组成原理 操作系统 汇编语言

马士兵

http://mashibing.com


http://mashibing.com

revision

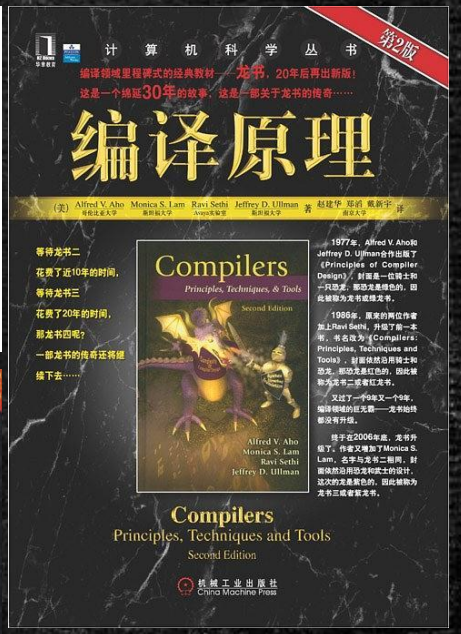
- v1 – 2020/03/08 by 马士兵

Content

- 硬件基础知识
  - Java相关硬件知识
- 汇编语言的执行过程（时钟发生器 寄存器 程序计数器）
- 计算机启动过程
- 操作系统基本知识
- 进程线程纤程的基本概念（面试高频）
  - 纤程的实现
- 内存管理
- 进程管理与线程管理（进程与线程在Linux中的实现）
- 中断与系统调用（软中断）
- 内核同步基础知识
- 关于硬盘 IO DMA

假如我是一个计算机系讲师

- 《编码：隐匿在计算机软硬件背后的语言》
- 《深入理解计算机系统》
- 语言：C JAVA
- 数据结构与算法：
  - 《Java数据结构与算法》《算法》
  - 《算法导论》《计算机程序设计艺术》
- 操作系统：Linux内核源码解析 30天自制操作系统
- 网络：机工《TCP/IP详解》卷一 翻译一般
- 编译原理：机工 龙书 编程语言实现模式
- 数据库：SQLite源码 Derby



http://mashibing.com

硬件基础知识

关于底层的细节：

适度打开

很多情况下保持黑箱即可，因为打开这个黑箱，你就会发现黑箱会变成黑洞，吞噬你所有的精力和时间，有可能使你偏离原来的方向，陷入到不必要的细节中无法自拔。

cpu的制作

一堆沙子 + 一堆铜 + 一堆胶水 + 特定金属添加 + 特殊工艺

沙子脱氧 -> 石英 -> 二氧化硅 -> 提纯 -> 硅锭 -> 切割 -> 晶圆 -> 涂抹光刻胶 -> 光刻 -> 蚀刻 -> 清除光刻胶 -> 电镀 -> 抛光 -> 铜层 -> 测试 -> 切片 -> 封装

Intel cpu的制作过程
https://haokan.baidu.com/v?vid=11928468945249380709&pd=bjh&fr=bjhauthor&type=video

CPU是如何制作的
https://www.sohu.com/a/255397866_468626

硅 -> 加入特殊元素 -> P半导体 N半导体 -> PN结 ->二极管 ->场效应晶体管 -> 逻辑开关

与门 或门 非门 或非门（异或）->基础逻辑电路

加法器 累加器 锁存器...

实现手动计算（通电一次，运行一次位运算）

加入内存 实现自动运算（每次读取内存指令，（高电低电））

《编码》17章

晶体管是如何工作的：
https://haokan.baidu.com/v?vid=16026741635006191272&pd=bjh&fr=bjhauthor&type=video
晶体管的工作原理：
https://www.bilibili.com/video/av47388949?p=2

继续：

让计算机看懂计算：01000010 + 00101100 ..
手工输入：纸带计算机
助记符：01000010 – mov sub ...
高级语言 -> 编译器 -> 机器语言

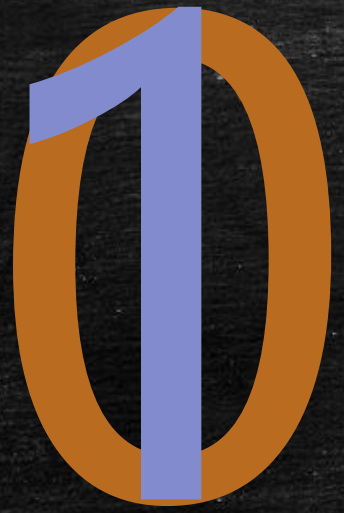
汇编执行过程

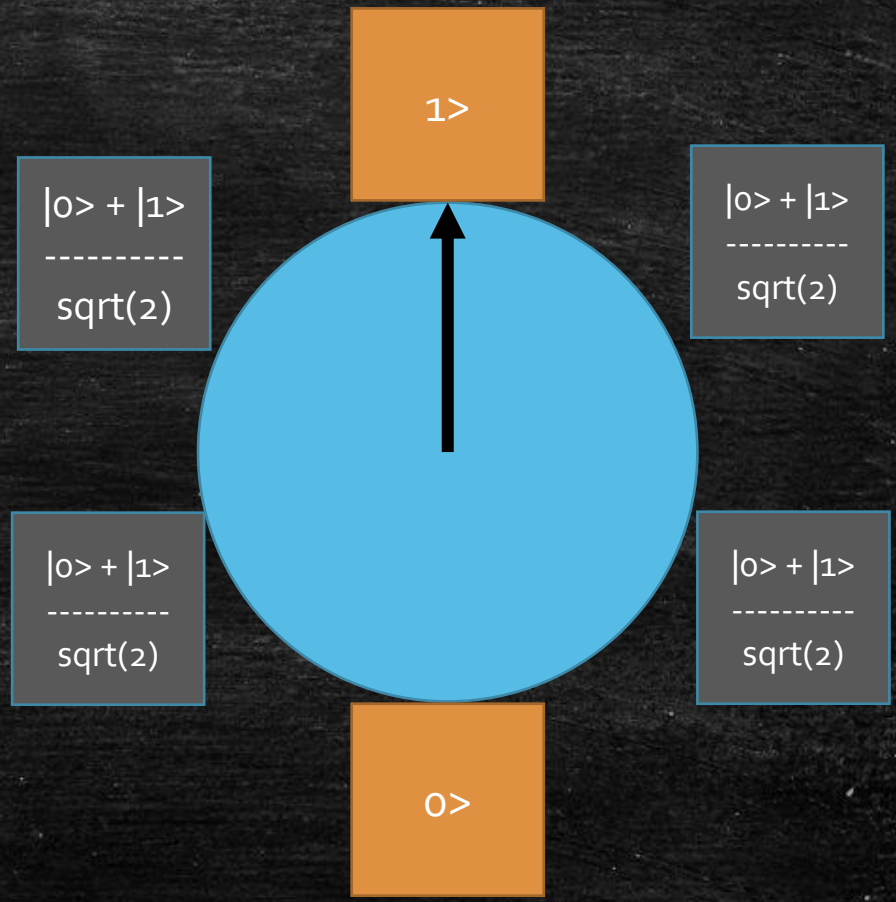
计算机通电 -> CPU读取内存中程序（电信号输入）
->时钟发生器不断震荡通断电 ->推动CPU内部一步一步执行
（执行多少步取决于指令需要的时钟周期）
->计算完成->写回（电信号）->写给显卡输出（sout，或者图形）

01001000 mov
10110011 add sub
汇编的本质：助记符

量子计算机

量子比特





同时表示

1位可以同时表示 1 0
2位可以同时表示 00 01 10 11
3位可以同时表示 000 001 ...
...

18位可以同时表示2 ^ 18个数
比如你要猜一个数，原来只能一个一个猜
而现在，你可以在瞬时同时暴力测试2 ^ 18个数
...

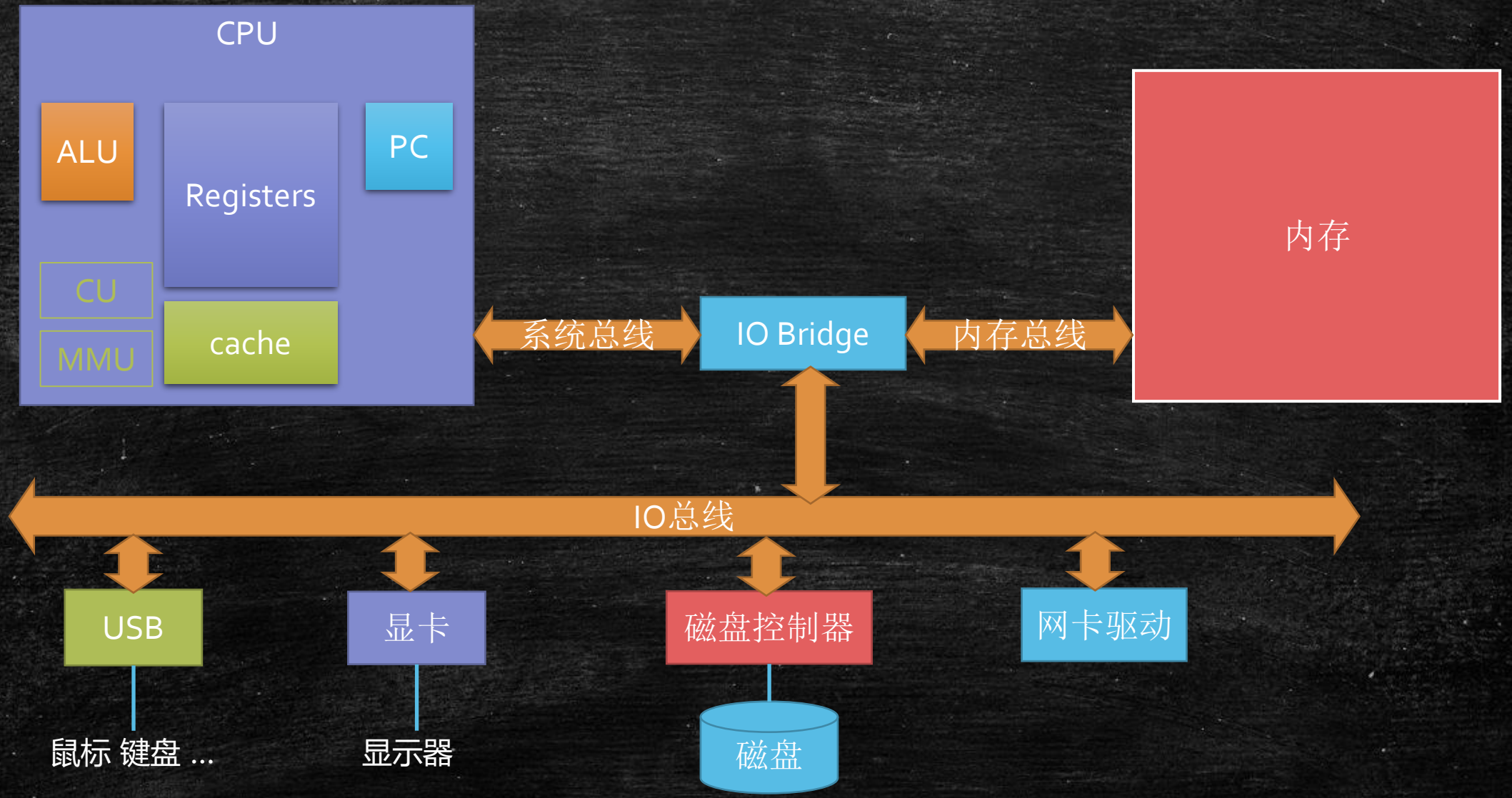
而很多密码学算法是根据单向函数的原理
认为不可短时间穷举密钥而设计的
...

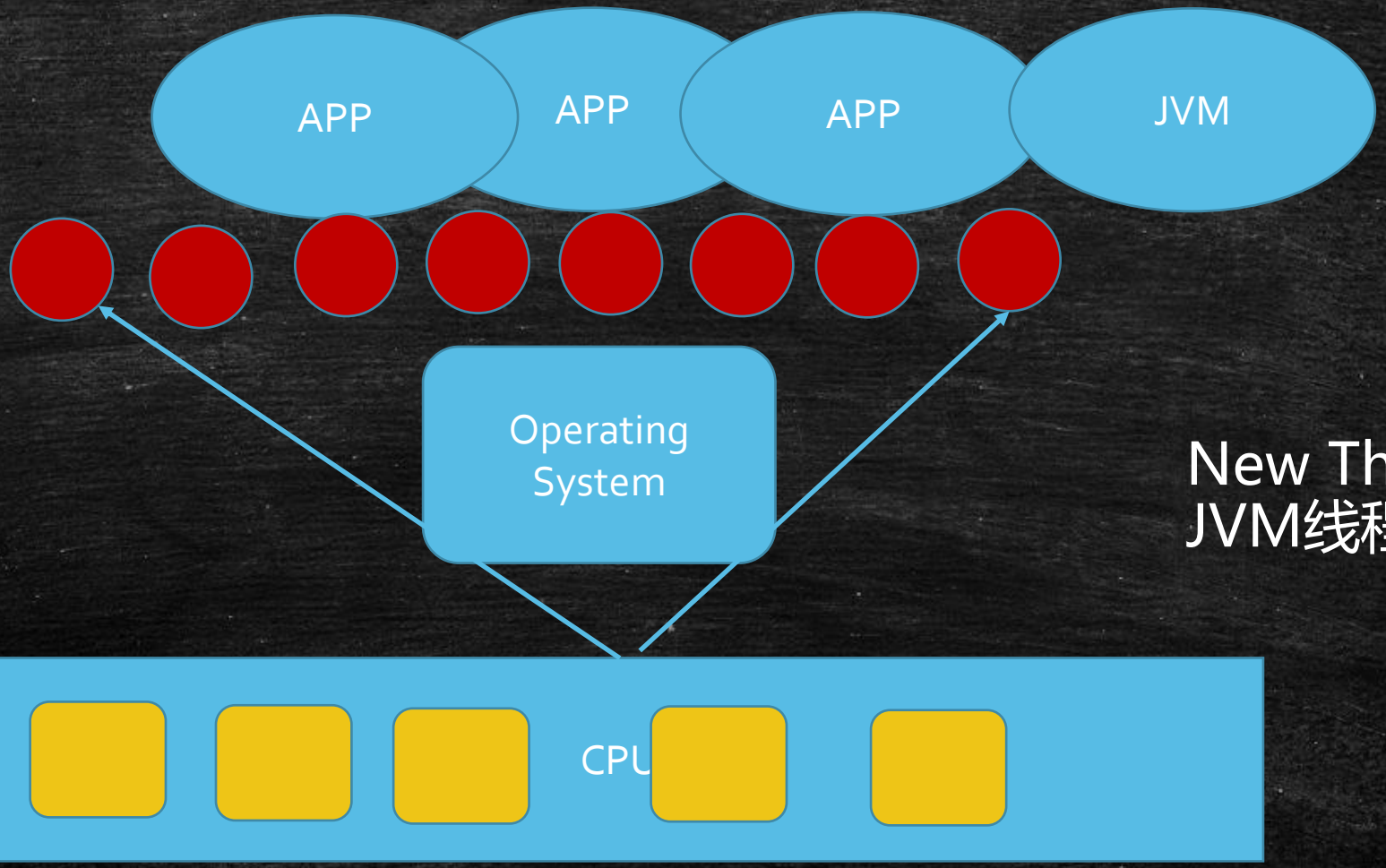
Java相关硬件知识

http://mashibing.com

cpu和内存，是计算机的核心

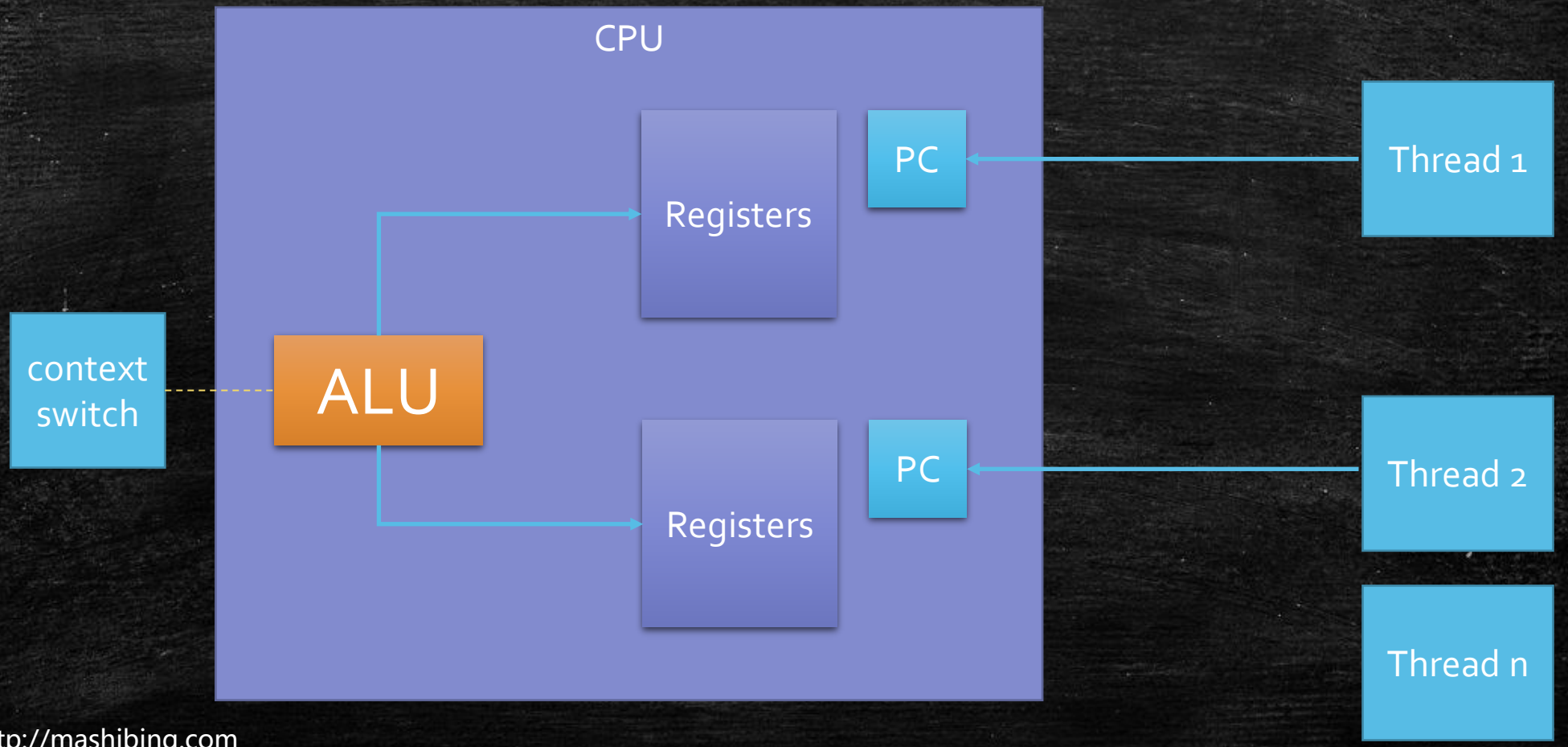
计算机的组成


CPU
ALU
Registers
PC
CU
MMU
cache
系统总线
IO Bridge
内存总线
内存
IO总线
USB
显卡
磁盘控制器
网卡驱动
鼠标 键盘 ...
显示器
磁盘



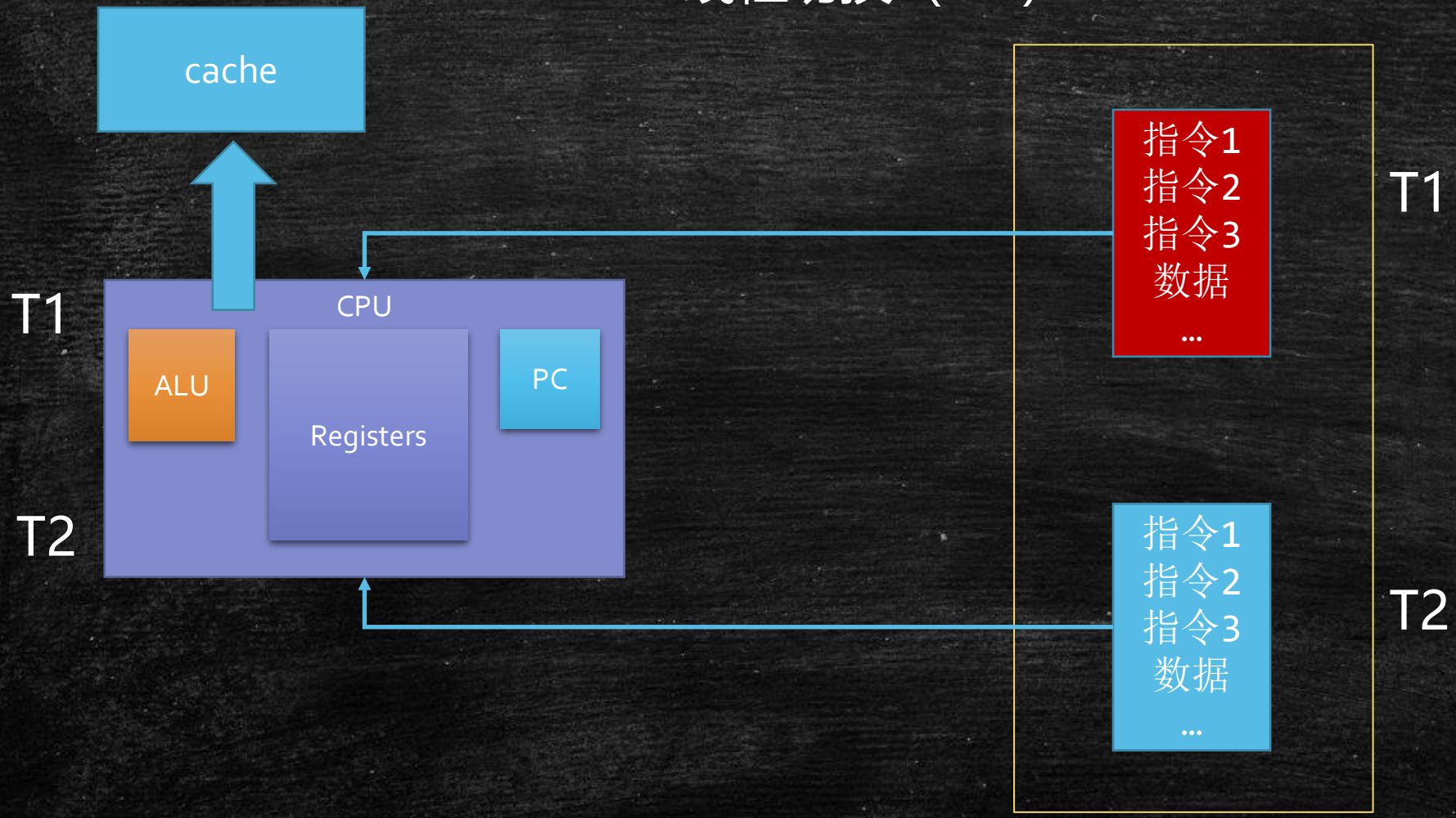
New Thread .start()
JVM线程

超线程：一个ALU对应多个PC | Registers
所谓的四核八线程



http://mashibing.com

线程切换（OS）


cache
T1
CPU
ALU
Registers
PC
T2
指令1
指令2
指令3
数据
...
T1
指令1
指令2
指令3
数据
...
T2

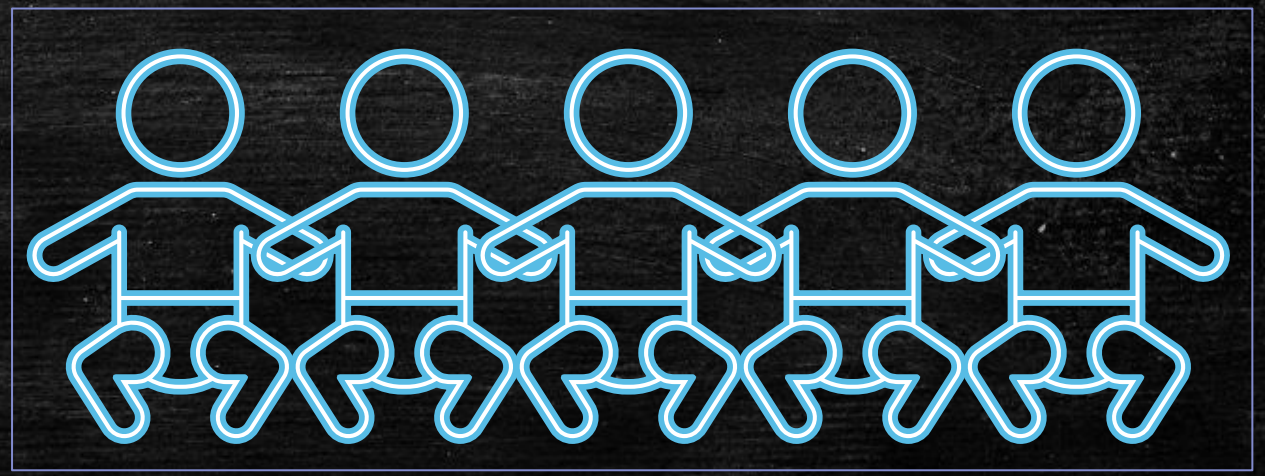
数据一致性

锁的概念

锁的概念

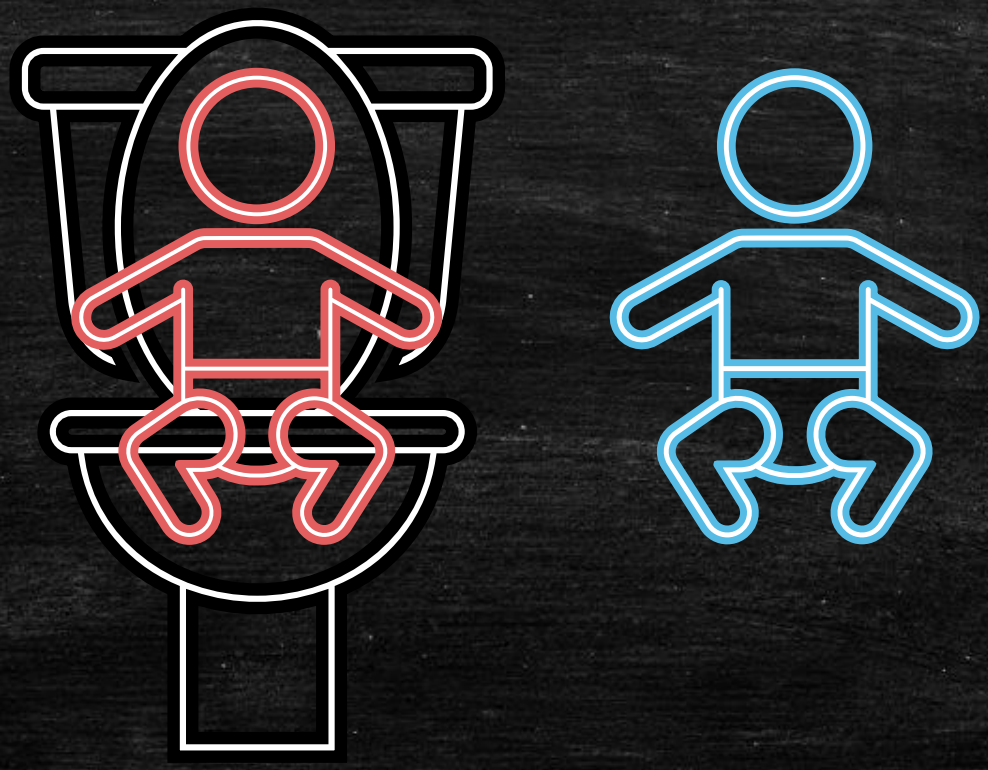
不持有锁的线程咋办？
忙等待
进队列等待

等待队列



http://mashibing.com

锁的概念



不持有锁的线程咋办？
忙等待
进队列等待

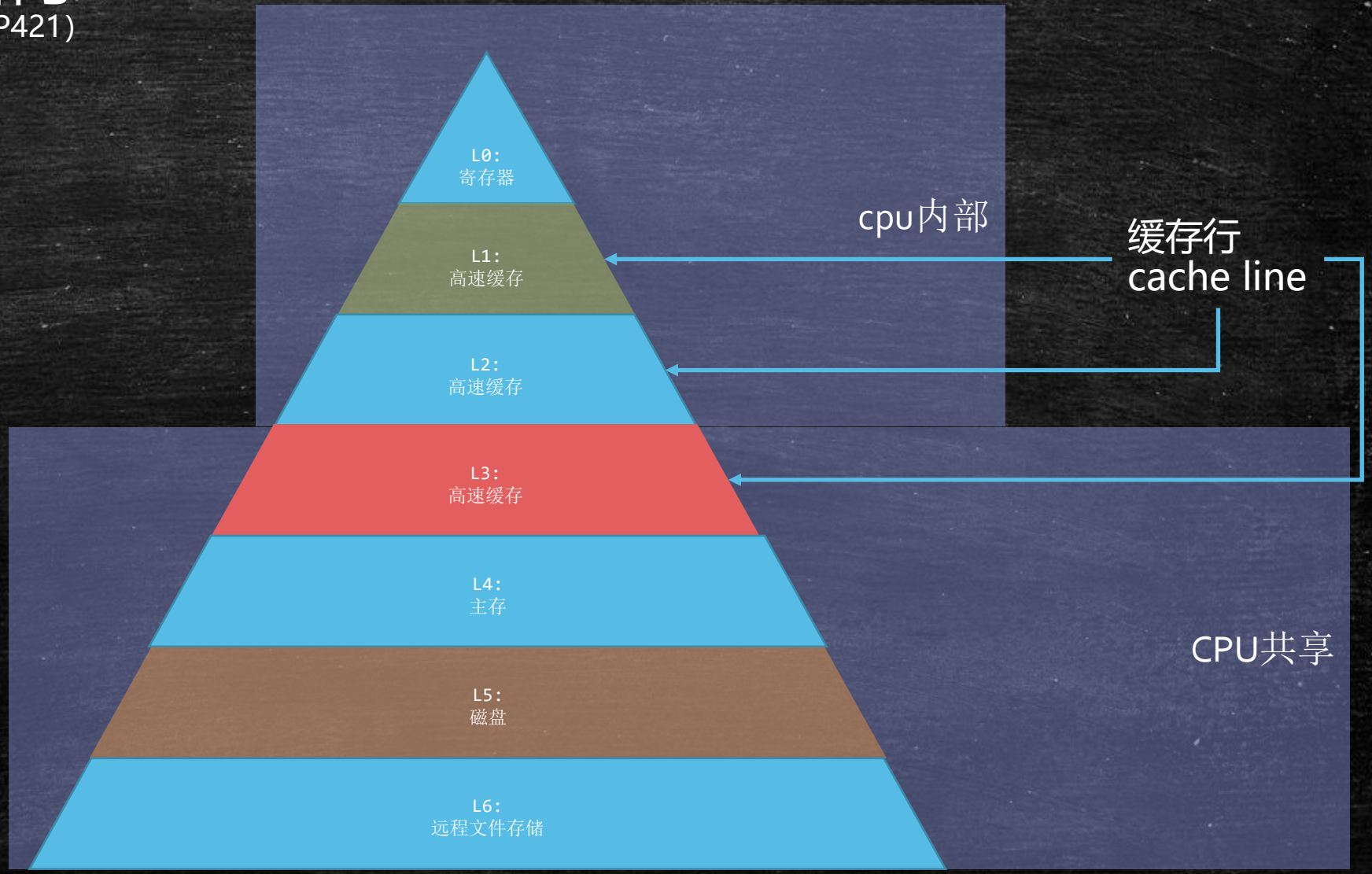
http://mashibing.com

存储器的层次结构

(深入理解计算机系统 原书第三版 P421)

更小 更快 成本更高

更大 更慢 成本更低

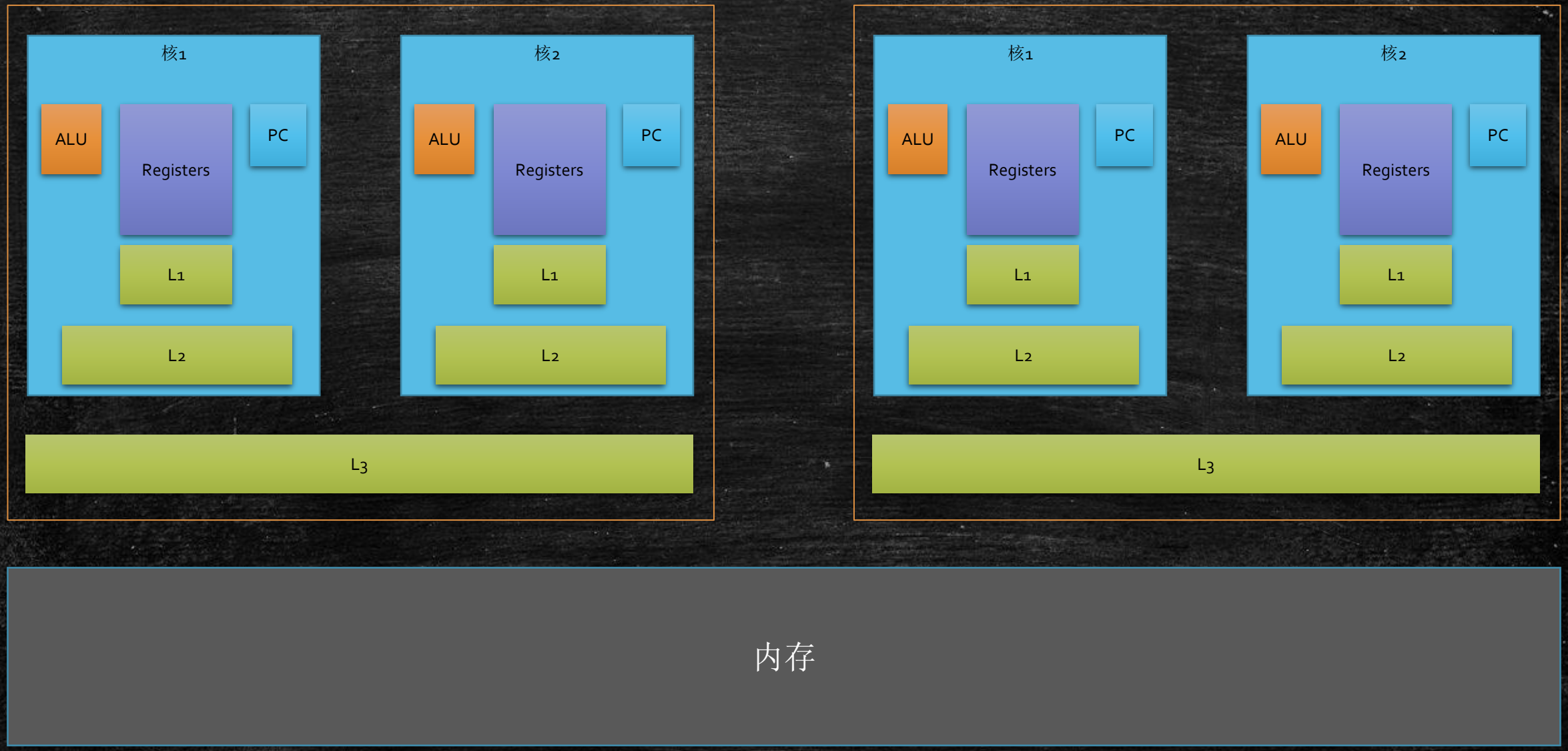


http://mashibing.com

从CPU的计算单元（ALU）到:

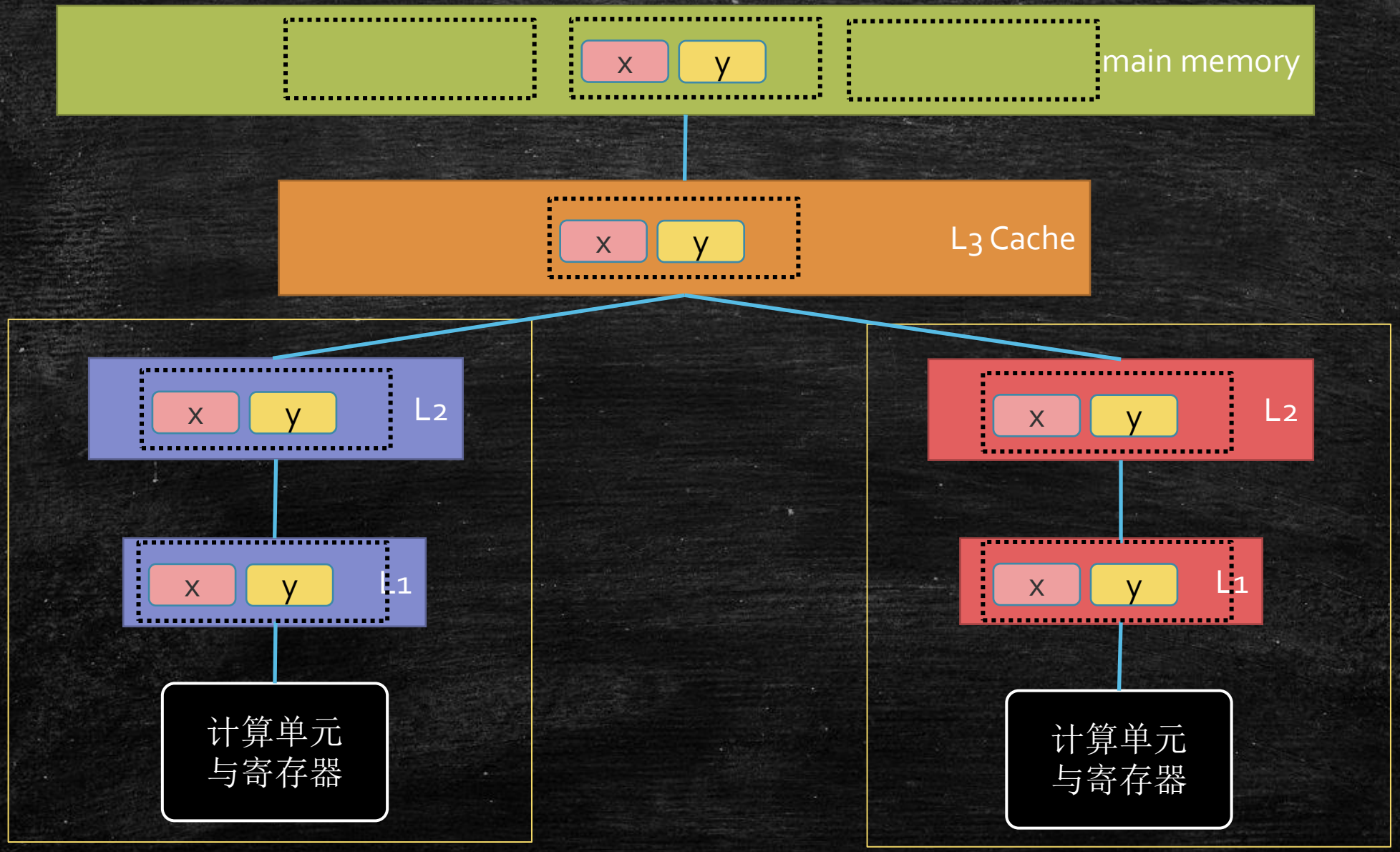
Registers	< 1ns
L1 cache	约1ns
L2 cache	约3ns
L3 cache	约15ns
main memory	约80ns

多核CPU


核1
ALU
Registers
PC
L1
L2
核2
ALU
Registers
PC
L1
L2
L3
核1
ALU
Registers
PC
L1
L2
核2
ALU
Registers
PC
L1
L2
L3
内存

按块读取
程序局部性原理，可以提高效率
充分发挥总线 CPU针脚等一次性读取更多数据的能力

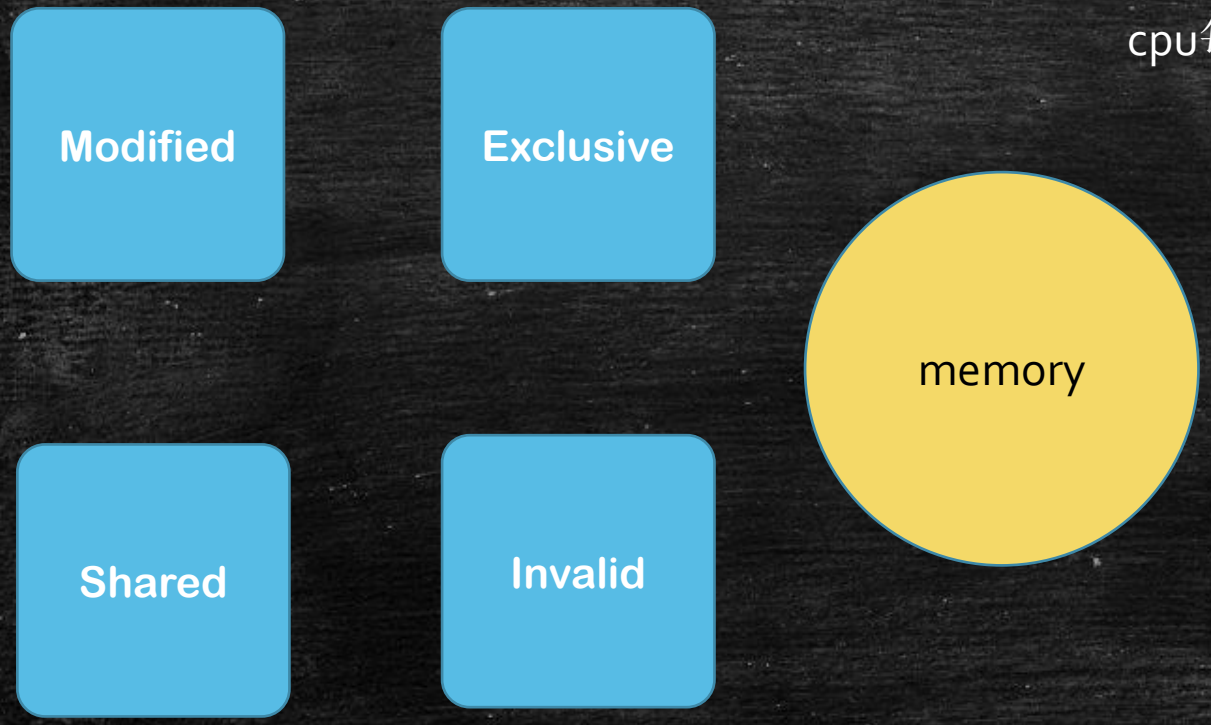
cache line的概念 缓存行对齐 伪共享



http://mashibing.com

缓存行：
缓存行越大，局部性空间效率越高，但读取时间慢
缓存行越小，局部性空间效率越低，但读取时间快
取一个折中值，目前多用：
64字节

MESI Cache一致性协议



cpu每个cache line标记四种状态（额外两位）

缓存锁实现之一
有些无法被缓存的数据
或者跨越多个缓存行的数据
依然必须使用总线锁

MSI MESI MOSI Synapse Firefly Dragon

disruptor

```
public long p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7; // cache line padding
    private volatile long cursor = INITIAL_CURSOR_VALUE;
    public long p8, p9, p10, p11, p12, p13, p14; // cache line padding
```

CPU的乱序执行

CPU在进行读等待的同时执行指令，是CPU乱序的根源
不是乱，而是提高效率

乱序执行的证明：jvm/jmm/Disorder.java

https://preshing.com/20120515/memory-reordering-caught-in-the-act/

```
"C:\Program Files\Java\jdk1.8.0_181\bin\java.exe" ...
第2728842次 (0,0)

Process finished with exit code 0
```

```
"C:\Program Files\Java\jdk1.8.0_181\bin\java.exe" ...
第113299次 (0,0)

Process finished with exit code 0
```

乱序执行可能会产生问题：

DCL单例为什么要加volatile

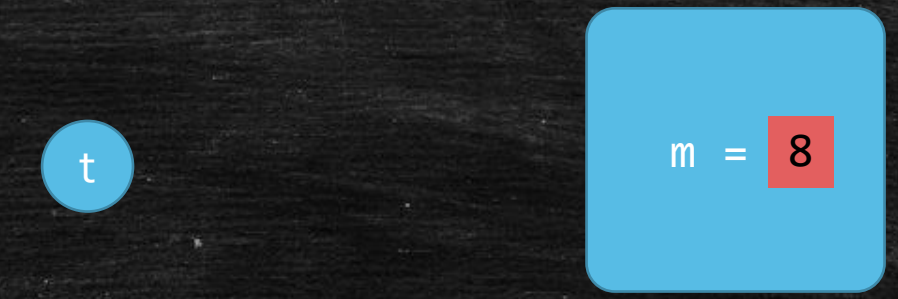
1：对象的创建过程

源码：

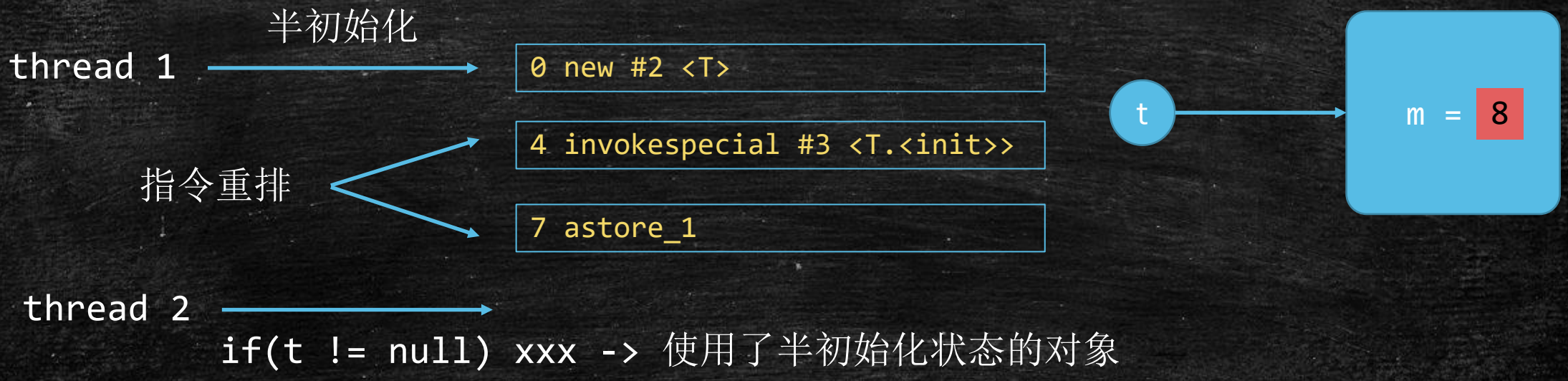
```
class T {
  int m = 8;
}

T t = new T();
```

汇编码：

```
0 new #2 <T>
3 dup
4 invokespecial #3 <T.<init>>
7 astore_1
8 return
```



2:加问：DCL单例（Double Check Lock）到底需不需要volatile?



CPU层面如何禁止重排序?

答：内存屏障

对某部分内存做操作时前后添加的屏障
屏障前后的操作不可以乱序执行

intel:
lfence mfence sfence原语
当也可以使用总线锁来解决

指令1 – 去内存读数据

指令2 – 优先执行

内存屏障
指令1 2不可互换

有序性保障
X86 CPU内存屏障

sfence:在sfence指令前的写操作当必须在sfence指令后的写操作前完成。
lfence：在lfence指令前的读操作当必须在lfence指令后的读操作前完成。
mfence：在mfence指令前的读写操作当必须在mfence指令后的读写操作前完成。

有序性保障
intel lock汇编指令

原子指令，如x86上的”lock …”指令是一个Full Barrier，执行时会锁住内存子系统来确保执行顺序，甚至跨多个CPU。Software Locks通常使用了内存屏障或原子指令来实现变量可见性和保持程序顺序

JSR内存屏障

LoadLoad屏障：

对于这样的语句Load1; LoadLoad; Load2，

在Load2及后续读取操作要读取的数据被访问前，保证Load1要读取的数据被读取完毕。

StoreStore屏障：

对于这样的语句Store1; StoreStore; Store2，

在Store2及后续写入操作执行前，保证Store1的写入操作对其它处理器可见。

LoadStore屏障：

对于这样的语句Load1; LoadStore; Store2，

在Store2及后续写入操作被刷出前，保证Load1要读取的数据被读取完毕。

StoreLoad屏障：对于这样的语句Store1; StoreLoad; Load2，

在Load2及后续所有读取操作执行前，保证Store1的写入对所有处理器可见。

volatile的实现细节
二：JVM层面

---- StoreStoreBarrier ----

volatile 写

---- StoreLoadBarrier ----

volatile 读

---- LoadLoadBarrier ----
---- LoadStoreBarrier ----

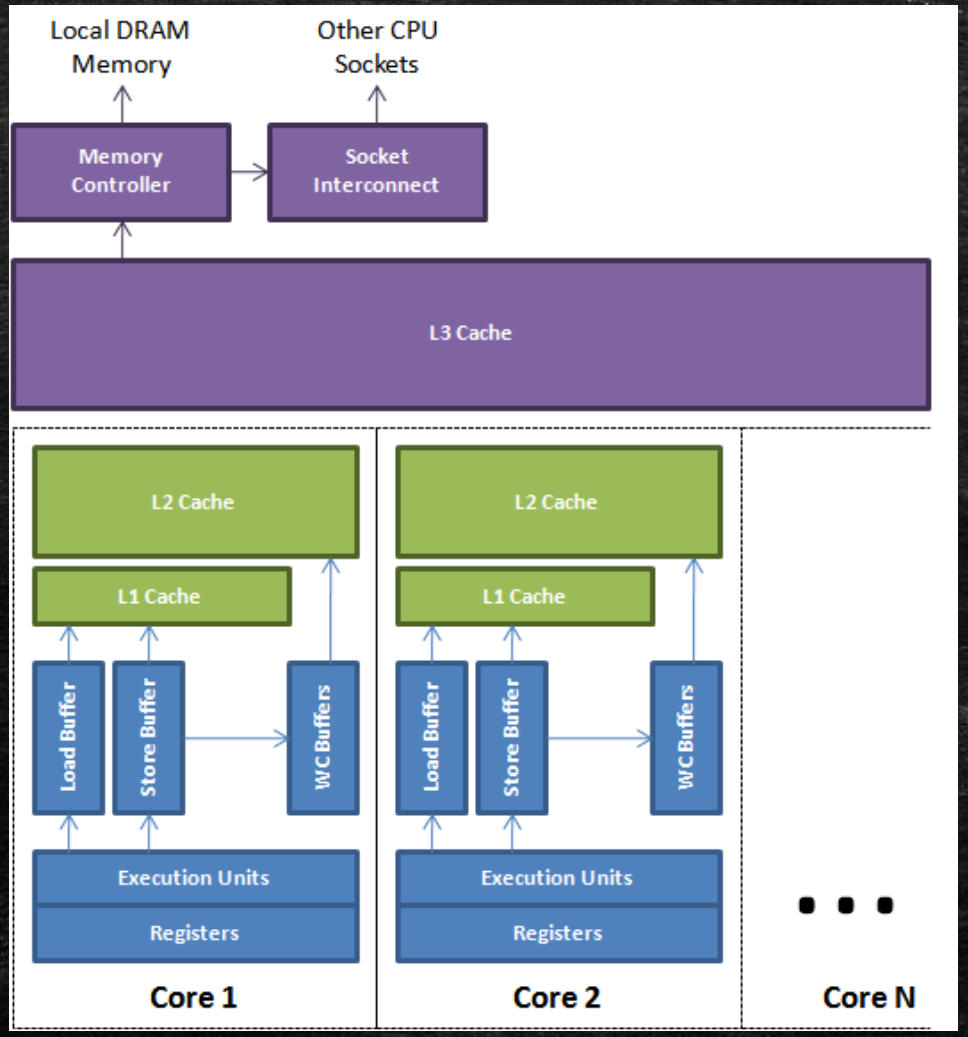
hanppens-before原则（JVM规定重排序必须遵守的规则）
JLS17.4.5

- 程序次序规则：同一个线程内，按照代码出现的顺序，前面的代码先行于后面的代码，准确的说是控制流顺序，因为要考虑到分支和循环结构。
- 管程锁定规则：一个unlock操作先行发生于后面（时间上）对同一个锁的lock操作。
- **volatile变量规则：对一个volatile变量的写操作先行发生于后面（时间上）对这个变量的读操作。**
- 线程启动规则：Thread的start( )方法先行发生于这个线程的每一个操作。
- 线程终止规则：线程的所有操作都先行于此线程的终止检测。可以通过Thread.join( )方法结束、Thread.isAlive( )的返回值等手段检测线程的终止。
- 线程中断规则：对线程interrupt( )方法的调用先行发生于被中断线程的代码检测到中断事件的发生，可以通过Thread.interrupt( )方法检测线程是否中断
- 对象终结规则：一个对象的初始化完成先行于发生它的finalize()方法的开始。
- 传递性：如果操作A先行于操作B，操作B先行于操作C，那么操作A先行于操作C

as if serial

不管如何重排序，单线程执行结果不会改变

WC - Write Combining 合并写技术
为了提高写效率：CPU在写入L1时，同时用WC写入L2

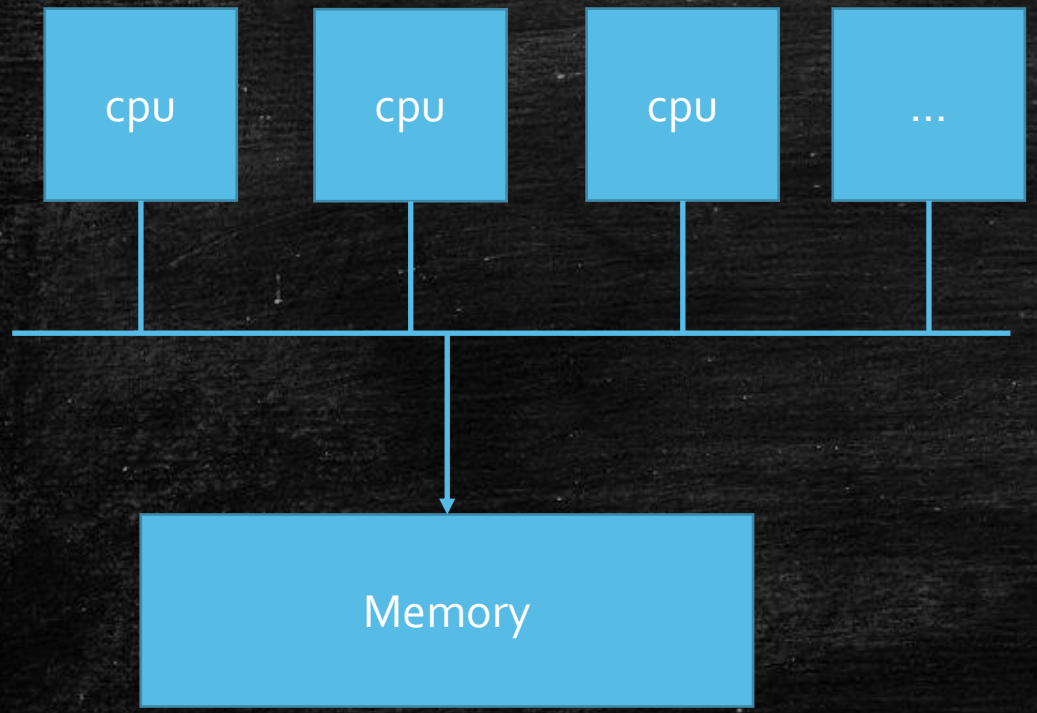


JUC/c029

ZGC的NUMA Aware

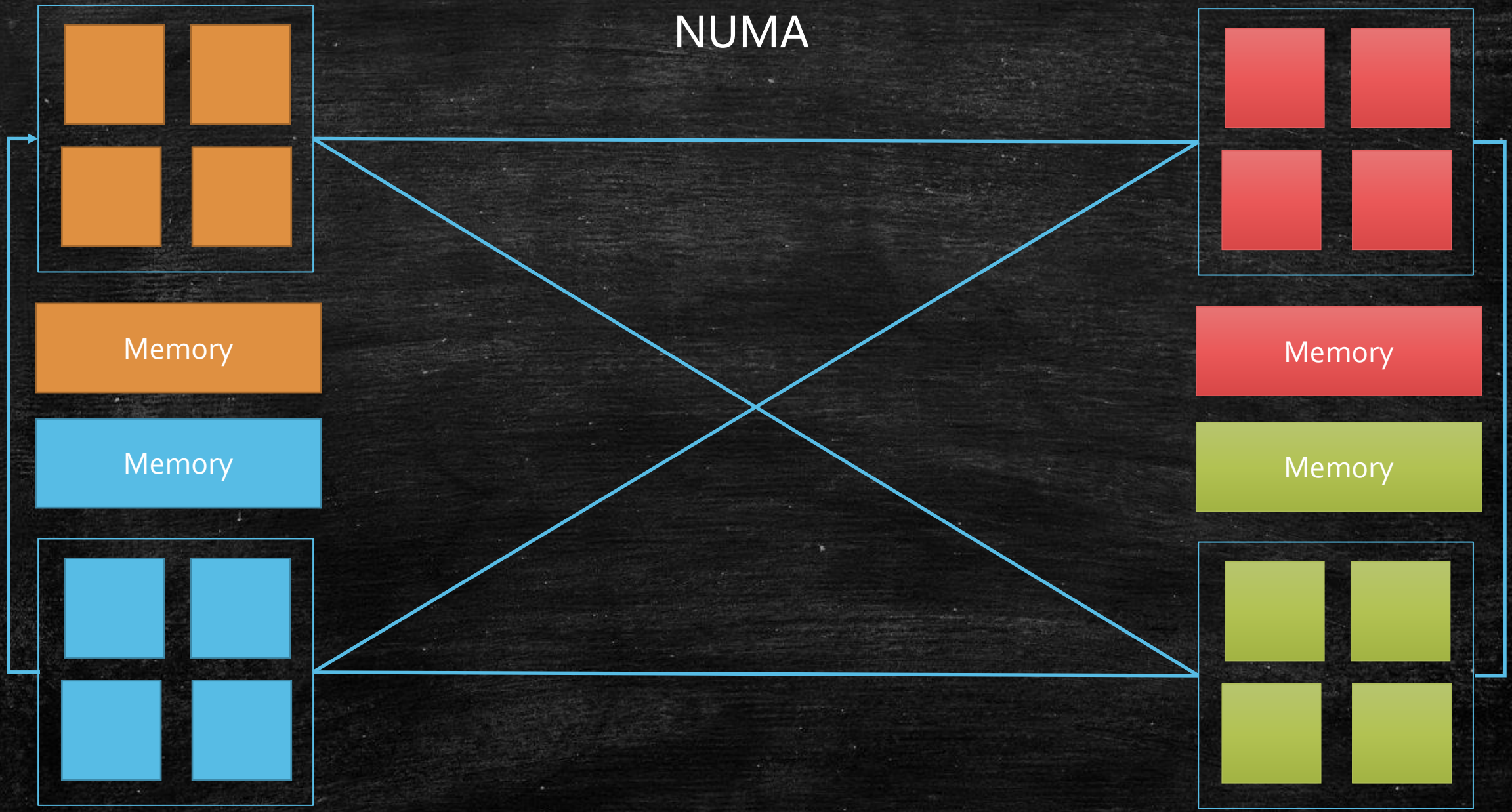
Non Uniform Memory Access

UMA



不易扩展
CPU数量增多后引起内存访问冲突加剧
CPU的很多资源花在争抢内存地址上面
4颗左右比较合适

NUMA



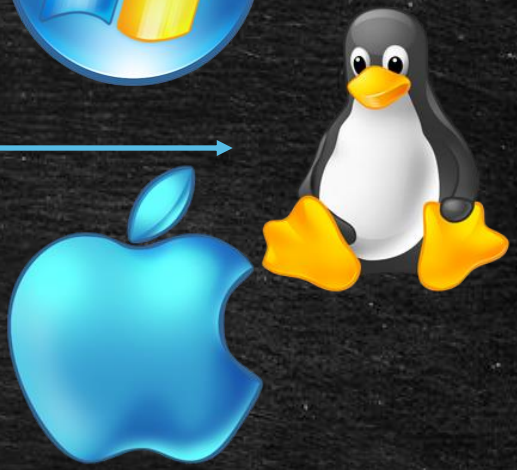
http://mashibing.com

ZGC NUMA-Aware
在分配内存的时候优先在当前线程所在CPU组的内存进行分配
可以显著提高效率

启动

通电

bootloader



BIOS
UEFI
Unified Extensible
Firmware Interface

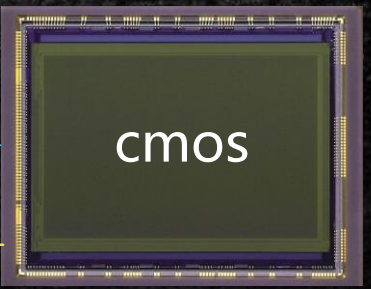
choose os to start
Windows
Linux
Mac

Master Boot Record
硬盘第一个扇区

BIOS
加电自检
加载bootloader到内存

电池

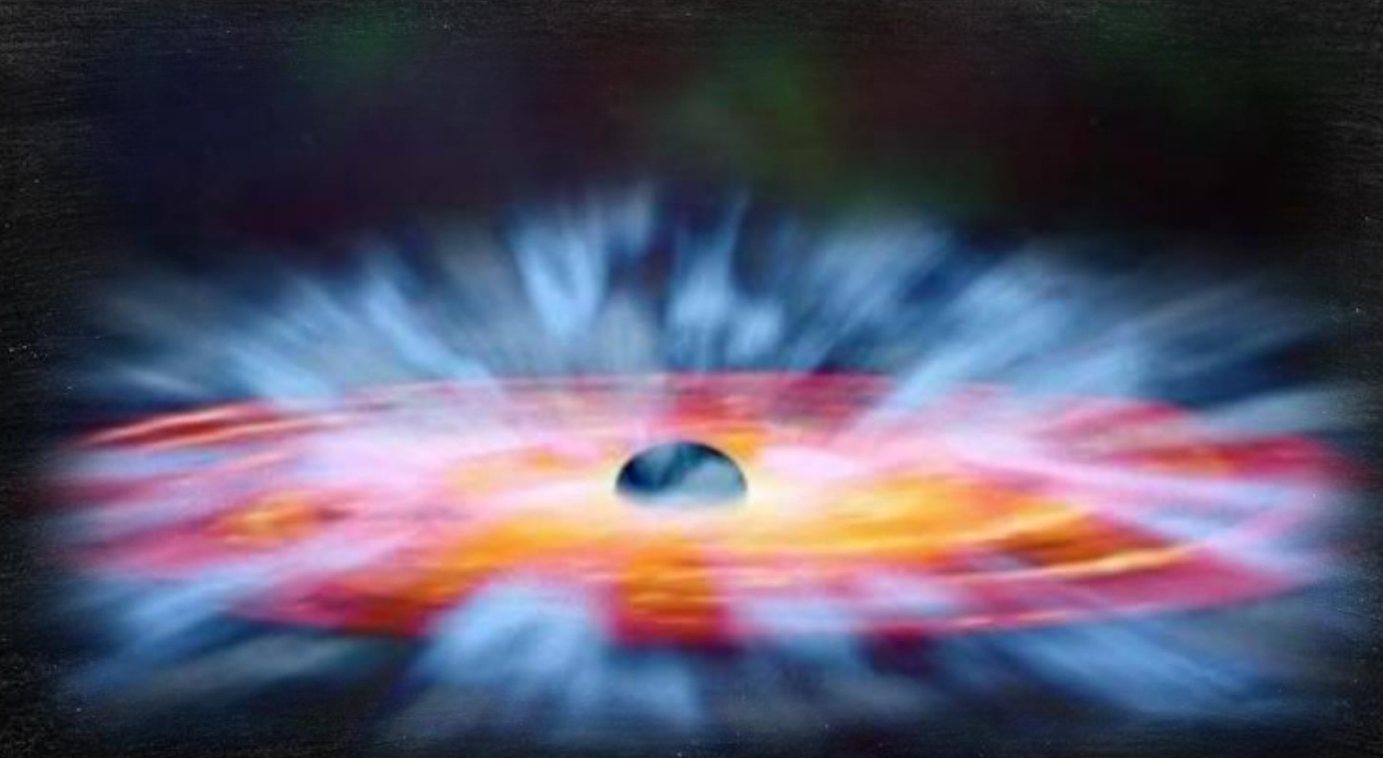
CMOS
Complementary Metal
Oxide Semiconductor



http://mashibing.com

OS基础

鸿蒙

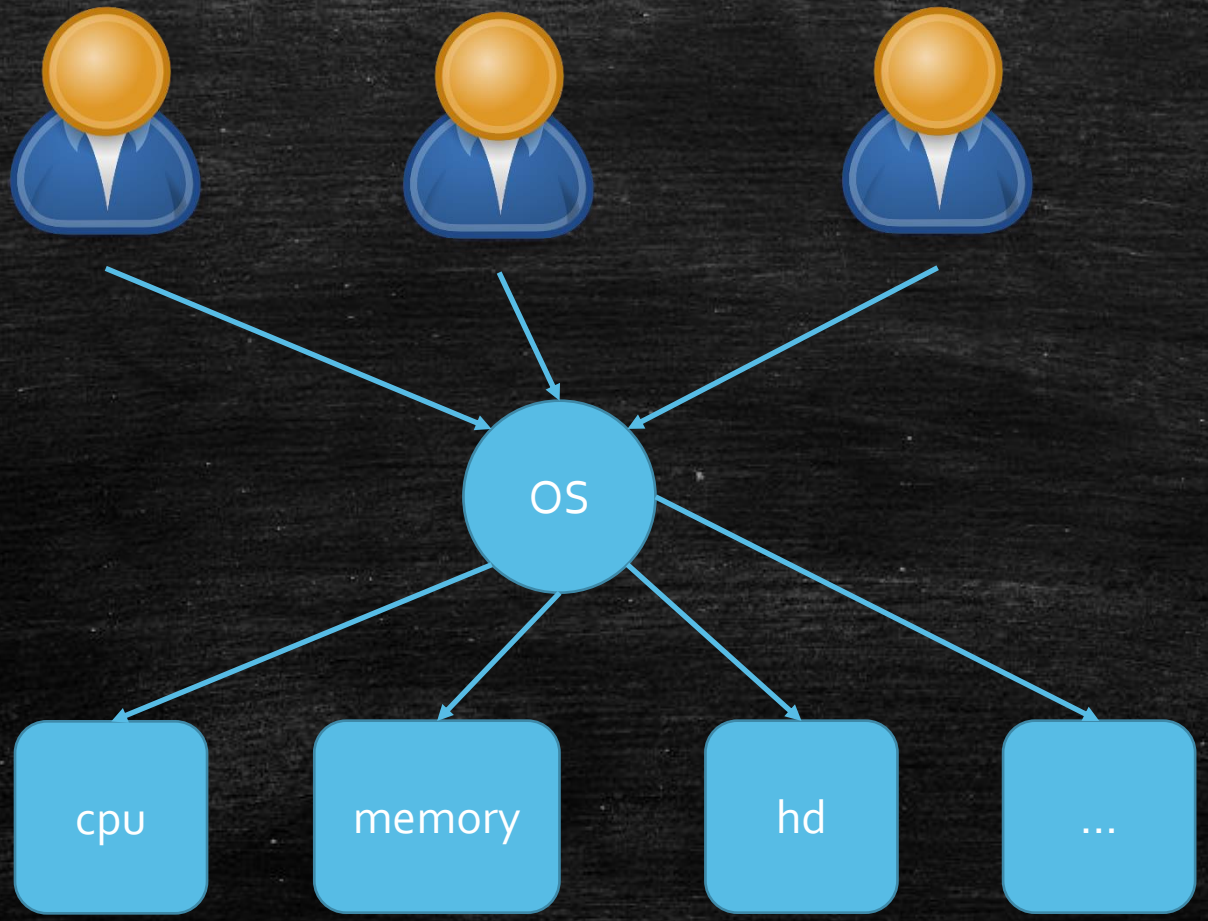


harmony

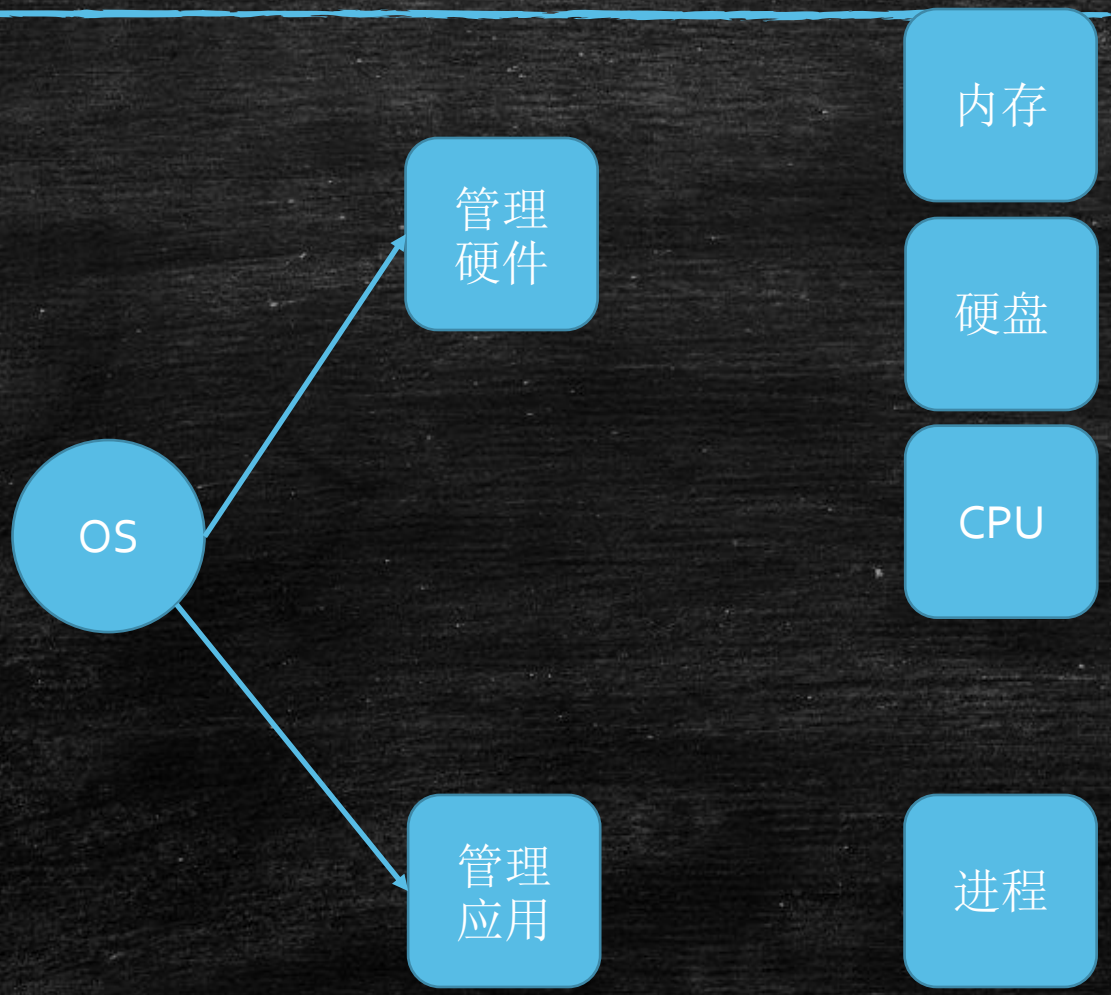
- 微内核
  - 针对5G + IoT
  - 全场景
    - 手机 PC 平板 车辆 智能穿戴 家居设备...
  - 弹性部署
  - 开源
  - 方舟编译器
  - 混合内核 Linux + LiteOS + ...

简介

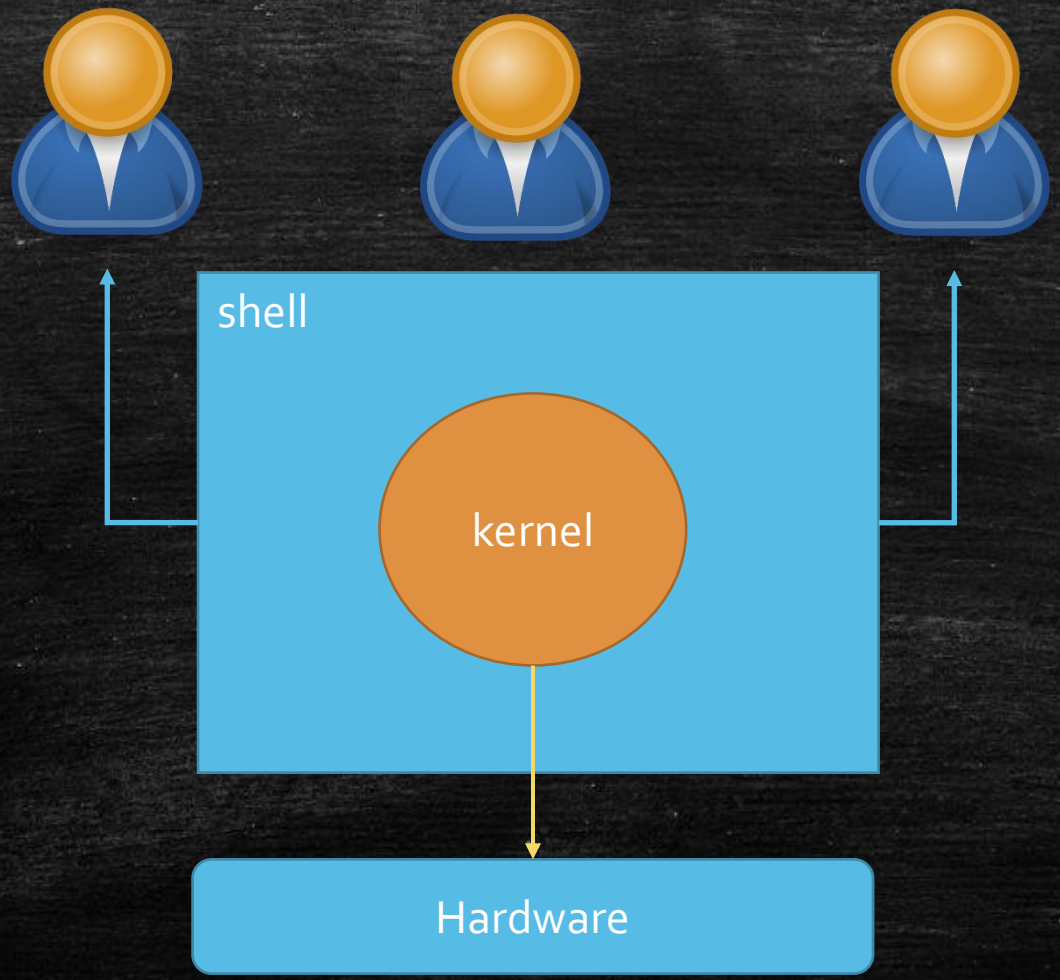
什么是操作系统



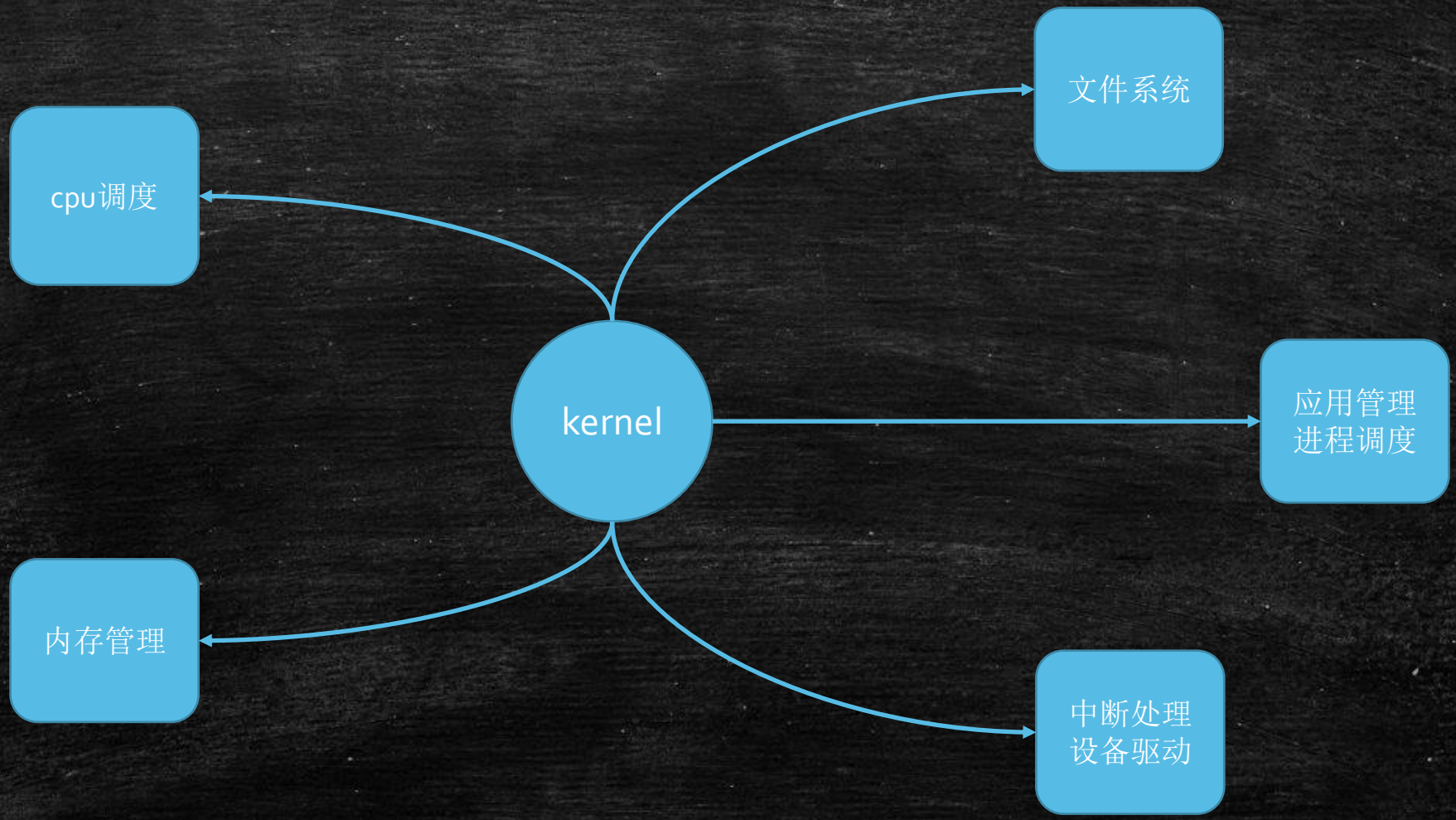
操作系统主要做什么



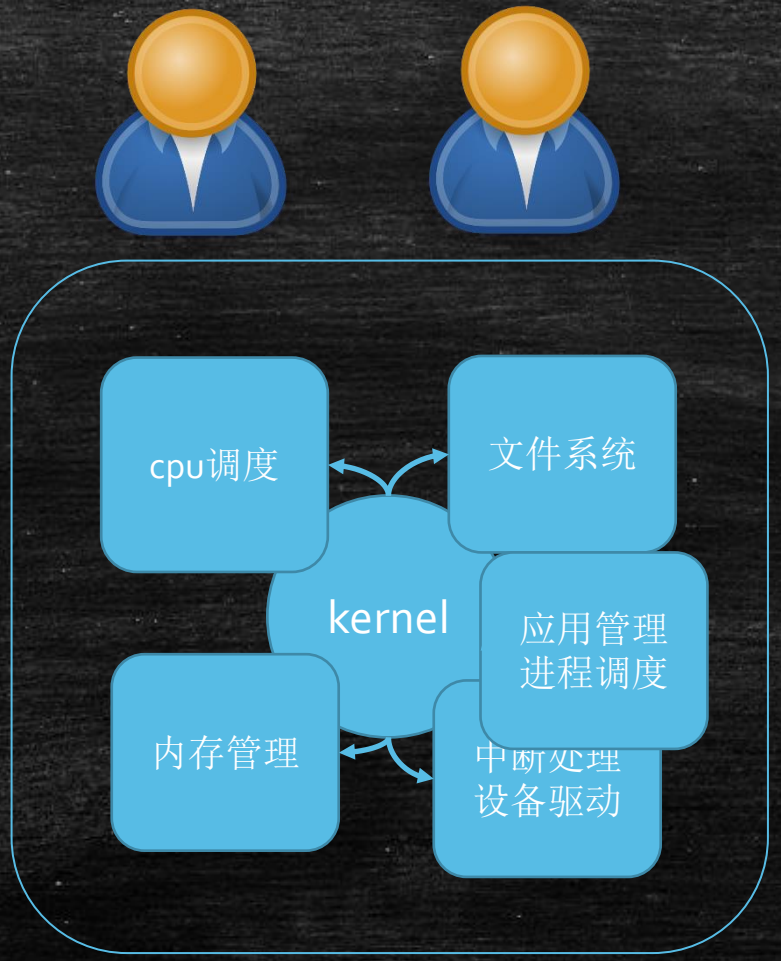
简要结构



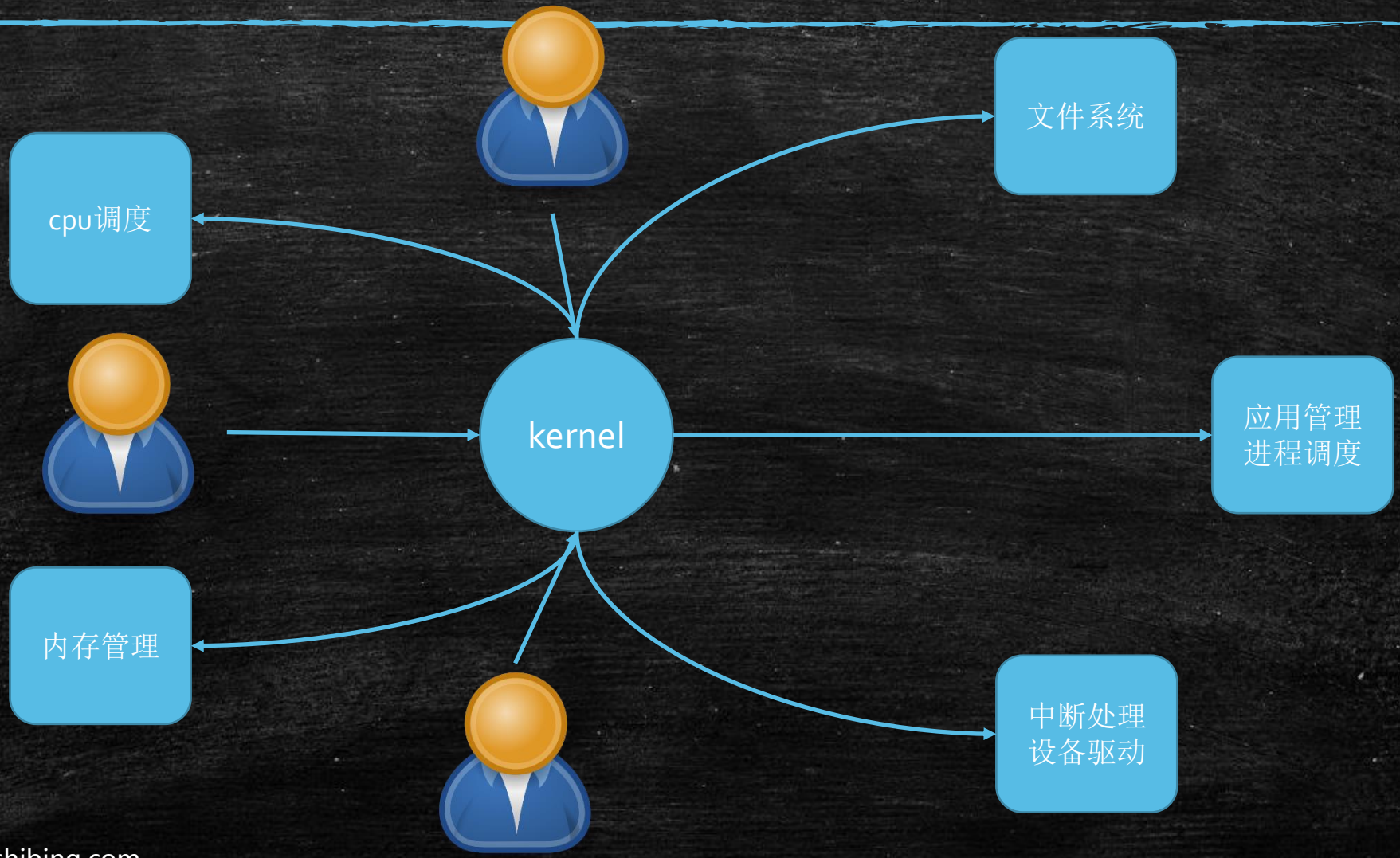
kernel



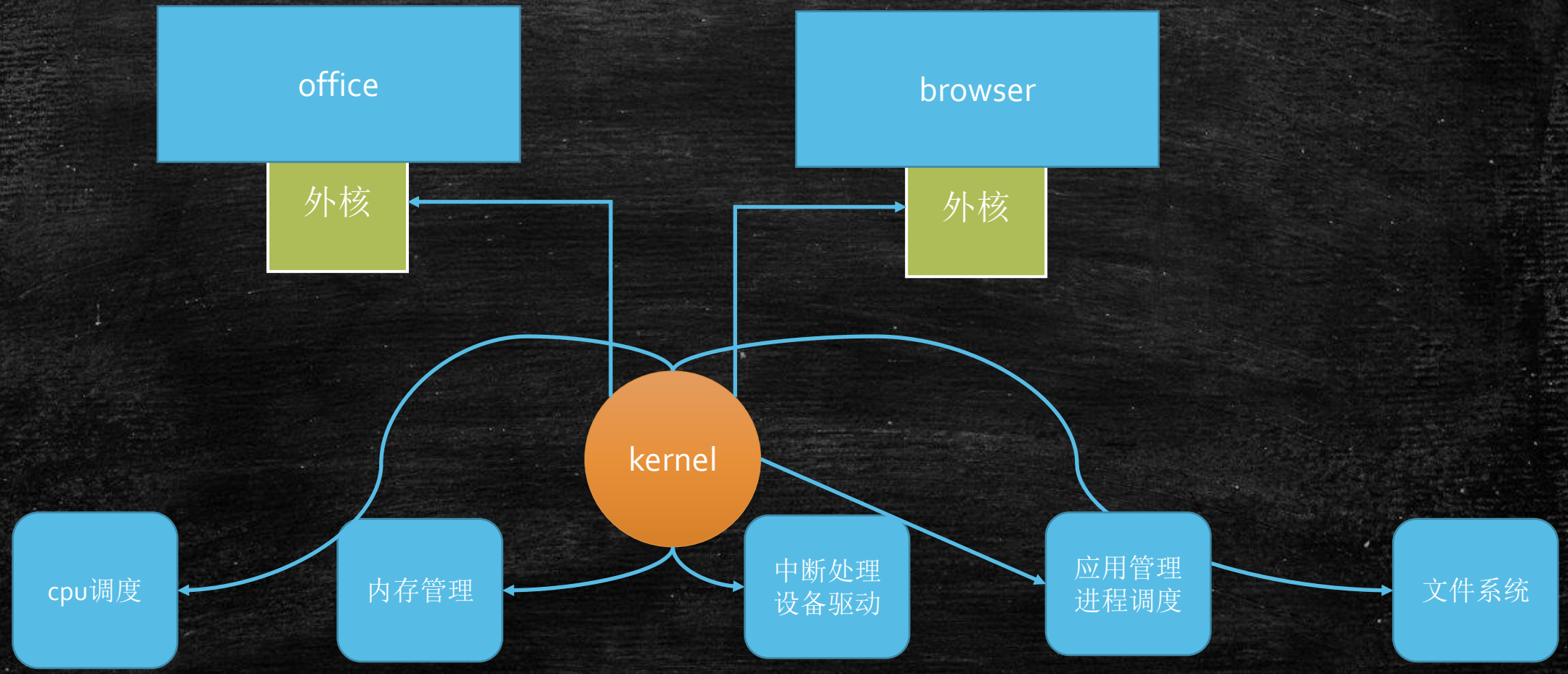
宏内核



微内核

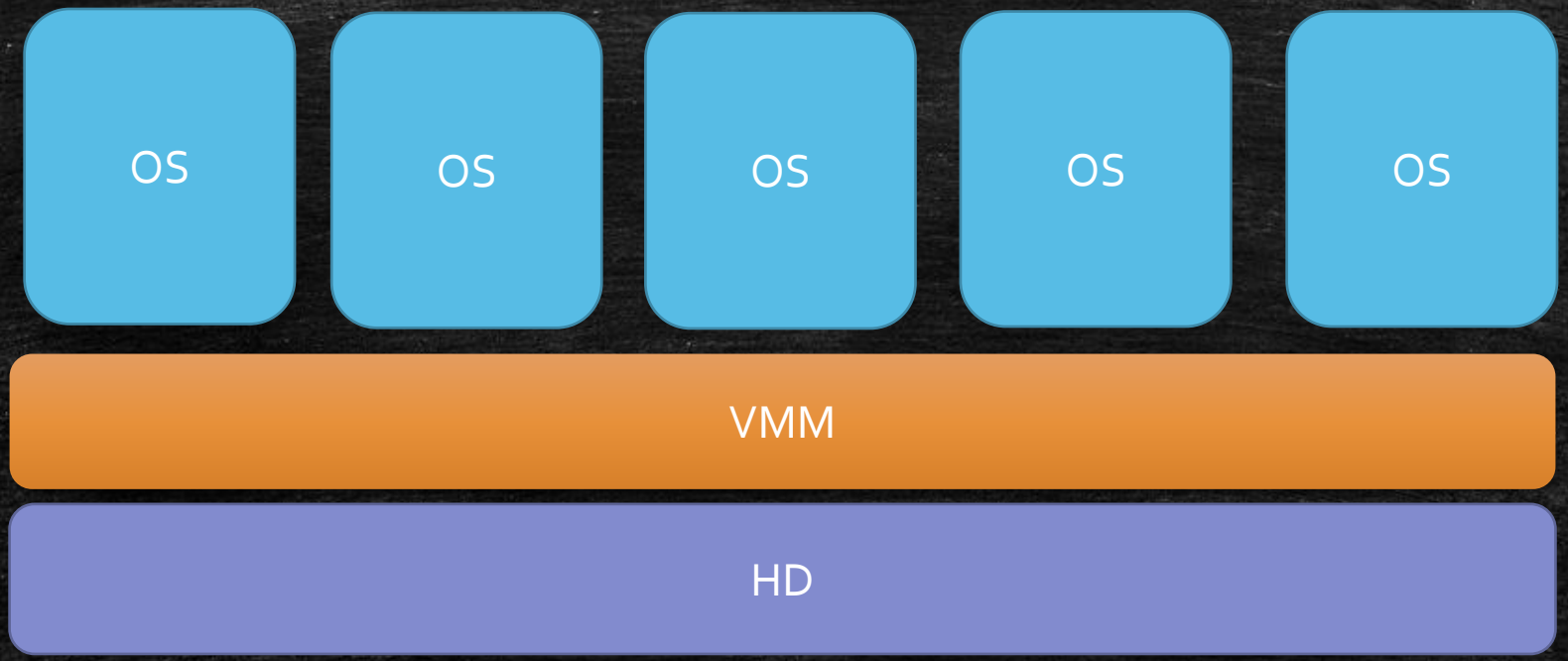


外核


office
外核
browser
外核
kernel
cpu调度
内存管理
中断处理
设备驱动
应用管理
进程调度
文件系统

VMM

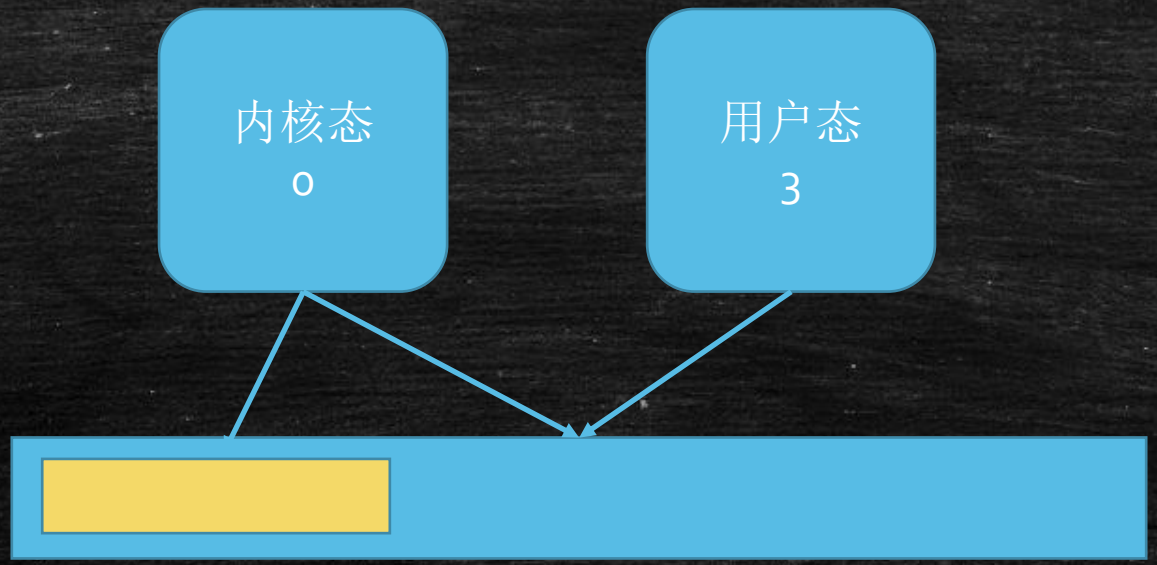
硬件资源过剩



流行的操作系统

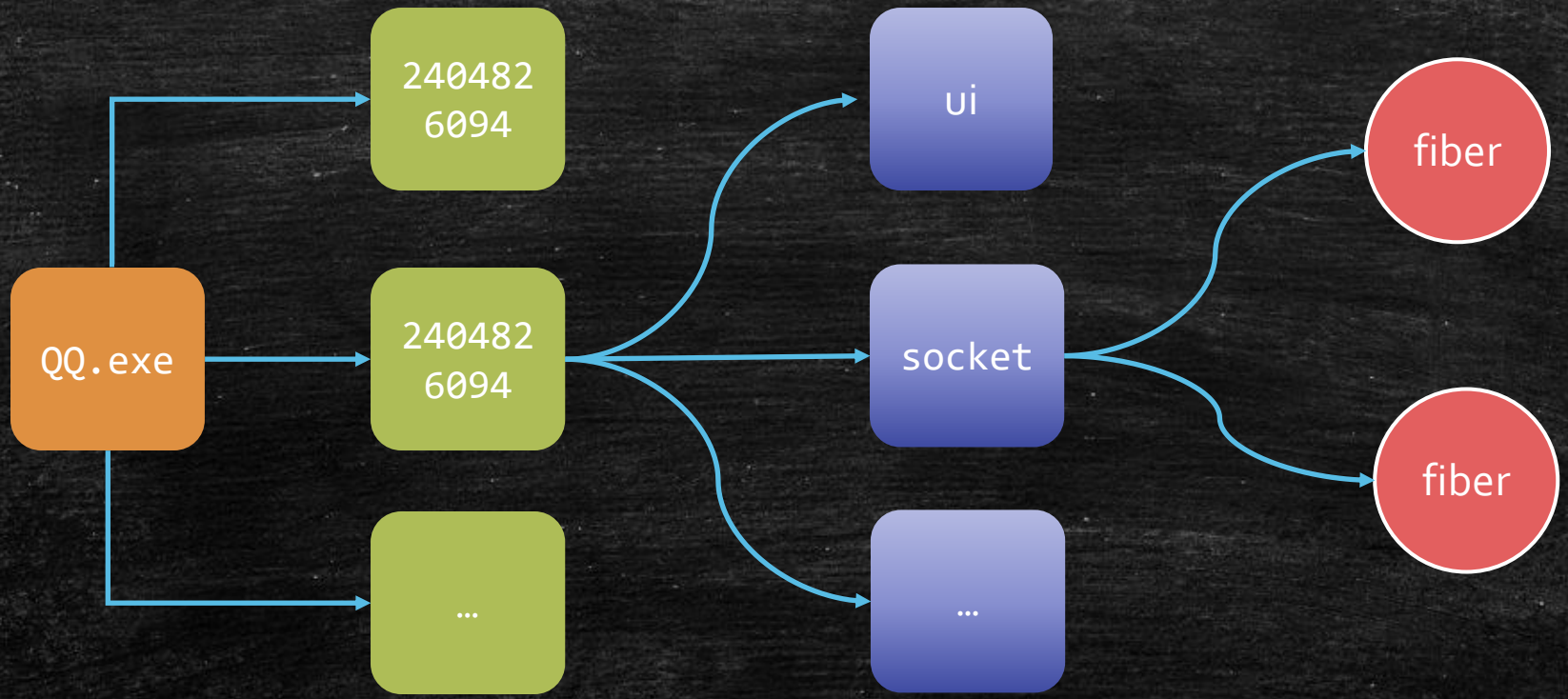
基础概念

CPU – CPL -> 0 1 2 3



进程 线程 纤程

程序 进程 线程 纤程



进程

linux中也称为task，是系统分配资源的基本单位
资源：独立的地址空间 内核数据结构（进程描述符...）全局变量 数据段...
进程描述符：PCB（Process Control Block）

线程

线程在linux中的实现：
《linux内核设计与实现》第三版28页

就是一个普通进程，只不过和其他进程共享资源（内存空间 全局数据等..）

其他系统都有各自的所谓LWP的实现 Light Weight Process

高层面理解：一个进程中不同的执行路线

内核线程

内核启动之后经常需要做一些后台操作，这些由Kernel Thread来完成
只在内核空间运行

进程创建和启动

系统函数fork() exec()
从A中fork B的话，A称之为B的父进程

僵尸进程 孤儿进程

什么是僵尸线程

ps – ef | grep defuct

父进程产生子进程后，会维护子进程的一个PCB结构，子进程退出，由父进程释放

如果父进程没有释放，那么子进程成为一个僵尸进程

zombie.c

什么是孤儿线程

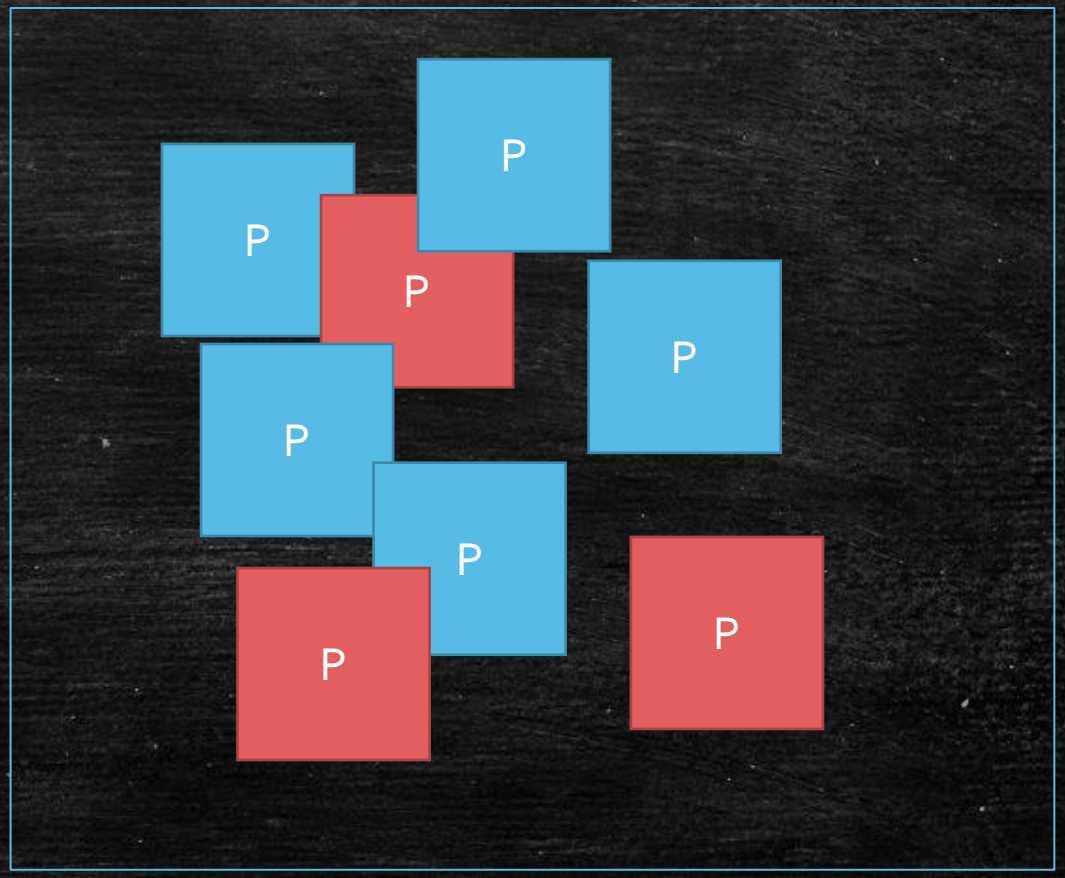
子进程结束之前，父进程已经退出

孤儿进程会成为init进程的孩子，由1号进程维护

orphan.c

进程（任务）调度

内核进程调度器决定：
该哪一个进程运行？
何时开始？
运行多长时间？



从单任务（独占）到 多任务（分时）

DOS MacOS早期版本 Windows3.1 -> ...
timeslice

原则：最大限度的压榨CPU资源

多任务（multitasking）

非抢占式（cooperative multitasking）
除非进程主动让出cpu（yielding），否则将一直运行

抢占式（preemptive multitasking）
由进程调度器强制开始或暂停（抢占）某一进程的执行

进程调度（选修）

linux2.5 经典Unix O(1)调度策略，偏向服务器，但对交互不友好

linux2.6.23 采用CFS 完全公平调度算法Completely Fair Scheduler

进程调度基本概念

- 进程类型：
  - IO密集型 大部分时间用于等待IO
  - CPU密集型 大部分时间用于闷头计算
- 进程优先级
  - 实时进程 > 普通进程（0 - 99）
  - 普通进程nice值（-20 - 19）
- 时间分配
  - linux采用按优先级的CPU时间比
  - 其他系统多采用按优先级的时间片
- eg. 两个app同时运行
  - 一个文本处理程序
  - 一个影视后期程序

linux默认的调度策略

对于实时进程：使用SCHED_FIFO 和 SCHED_RR两种
对于普通进程：使用CFS

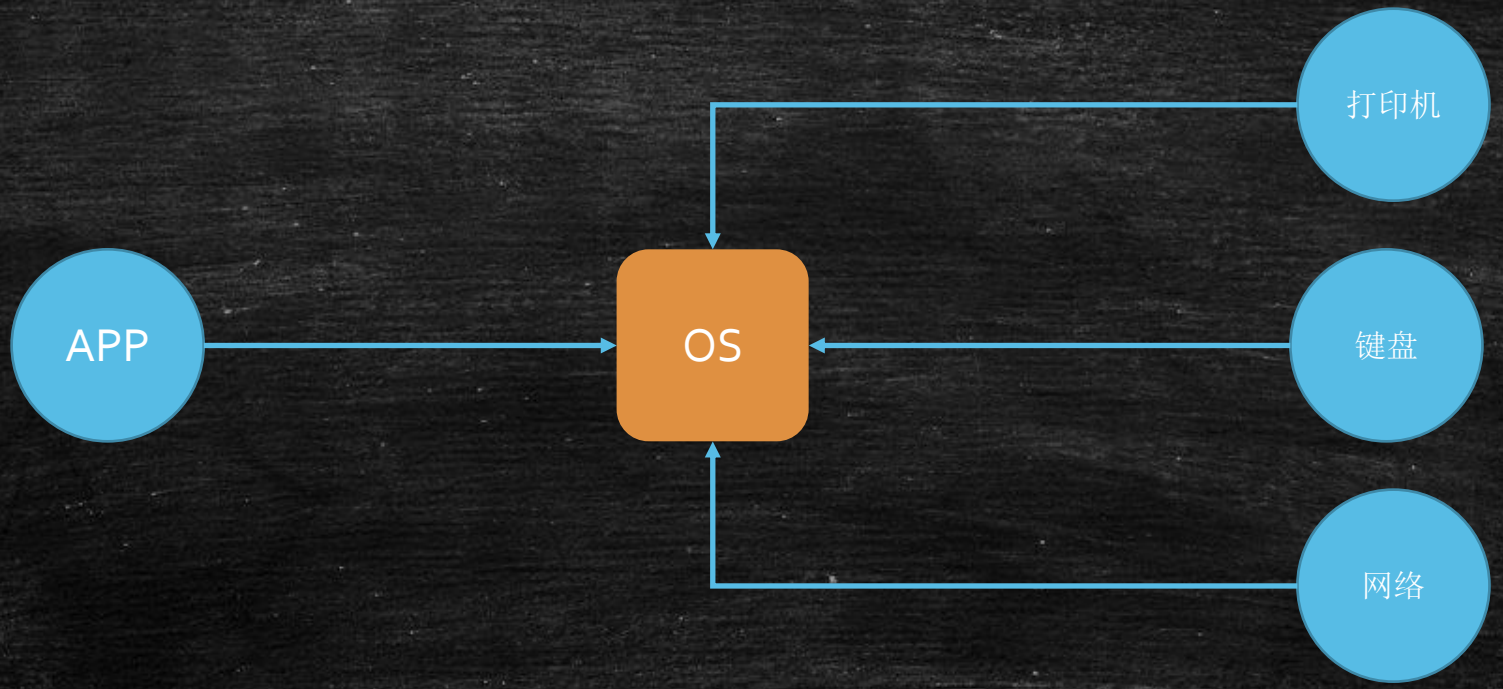
其中等级最高的是FIFO，这种进程除非自己让出CPU否则Linux会一直执行它
除非更高等级的FIFO和RR抢占它
RR只是这种线程中是同级别FIFO中的平均分配
只有实时进程主动让出，或者执行完毕后，普通进程才有机会运行

举例：

医院的医生和病人：急诊（实时） 和 门诊（普通）
病危（只要检验结果到了就得反馈） 和 疼痛（不断喊人，需要实时反馈）

中断

中断



系统调用：int 0x80 或者 sysenter原语
通过ax寄存器填入调用号

参数通过bx cx dx si di传入内核
返回值通过ax返回

java读网络 – jvm read() – c库read() - >
内核空间 -> system_call() （系统调用处理程序）
-> sys_read()

中断处理机制的实现细节

中断向量表
1 – 键盘 – 处理程序
2 – 鼠标 – 处理程序
0x80 – 软中断 – 处理程序

eax <- 系统调用号
write <- 4号
exit <- 1号

中断控制器

芯片

kern
el

中断
处理
程序

上半场
下半场

http://mashibing.com

1. app发出0x80中断 或 调用sysenter原语
2. os进入内核态
3. 在中断向量表中查找处理例程
4. 保存硬件现场 CS IP等寄存器值
5. 保存app现场 堆栈与寄存器的值
6. 执行中断例程system_call
    1. 根据参数与编号寻找对应例程
    2. 执行并返回
7. 回复现场
8. 返回用户态
9. app继续执行

用汇编语言展现0x80调用过程

```
; hello.asm
section .data ; 数据段声明
msg db “Hello, world!”, 0xA ; 要输出的字符串 + 换行
len equ $ - msg ; 字串长度
section .text ; 代码段声明
global _start ; 指定入口函数
_start: ; 在屏幕上显示一个字符串
mov edx, len ; 参数三：字符串长度
mov ecx, msg ; 参数二：要显示的字符串
mov ebx, 1 ; 参数一：文件描述符(stdout)
mov eax, 4 ; 系统调用号(sys_write)
int 0x80 ; 调用内核功能
; 退出程序
mov ebx, 0 ; 参数一：退出代码
mov eax, 1 ; 系统调用号(sys_exit)
int 0x80 ; 调用内核功能
```

编译：

```
nasm -f elf -g -F stabs hello.asm -o hello.o
```

链接：

```
ld -m elf_i386 -o hello hello.o
```

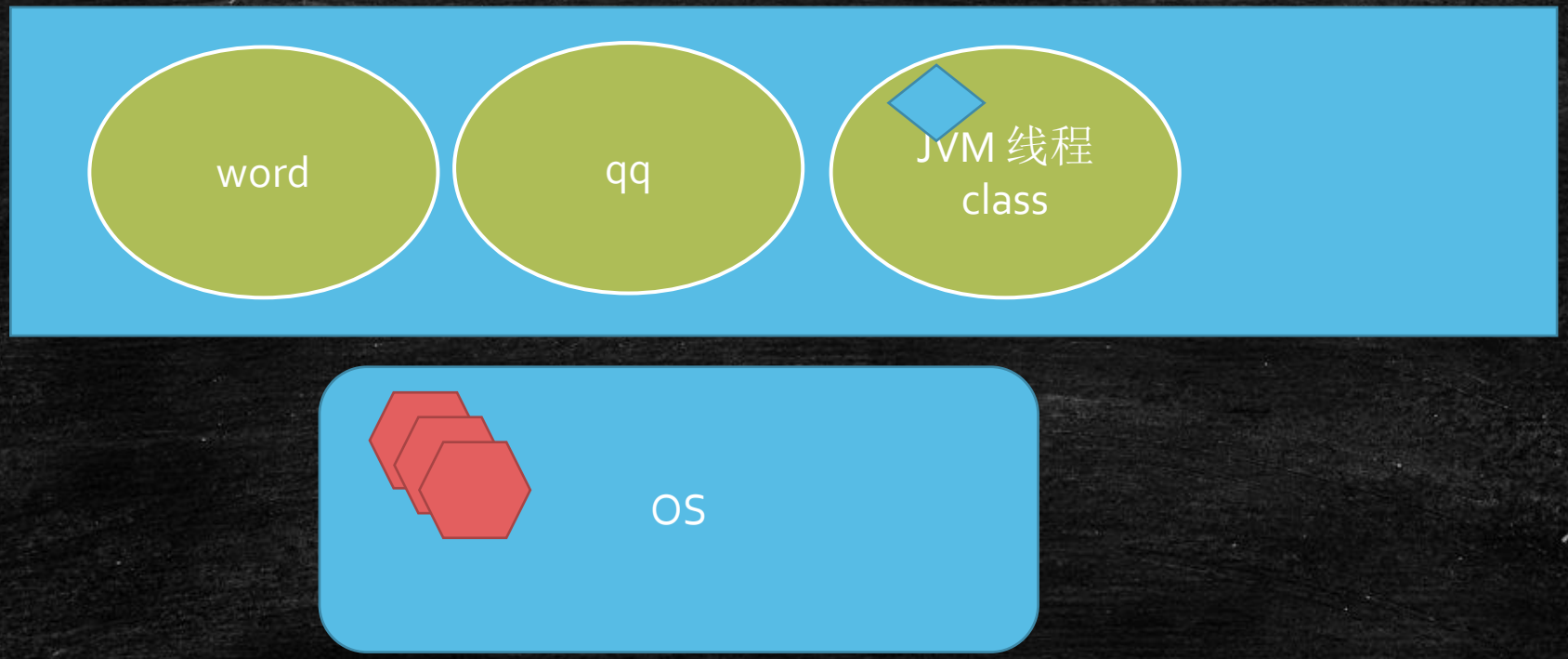
一个程序在某个时间点或处于用户态或处于内核态，通过系统调用，实现用户态到内核态的切换

纤程与中断

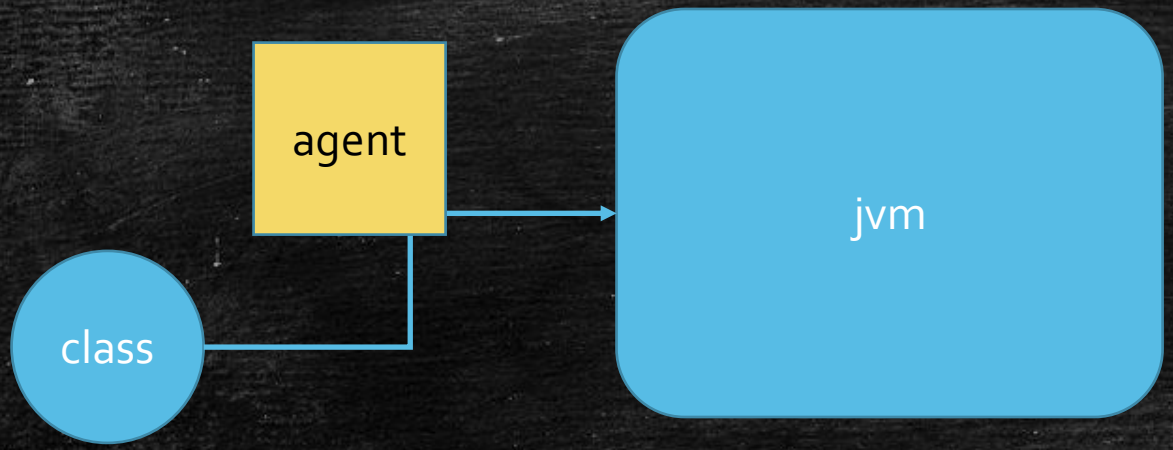
腾讯面试

腾讯的面试：

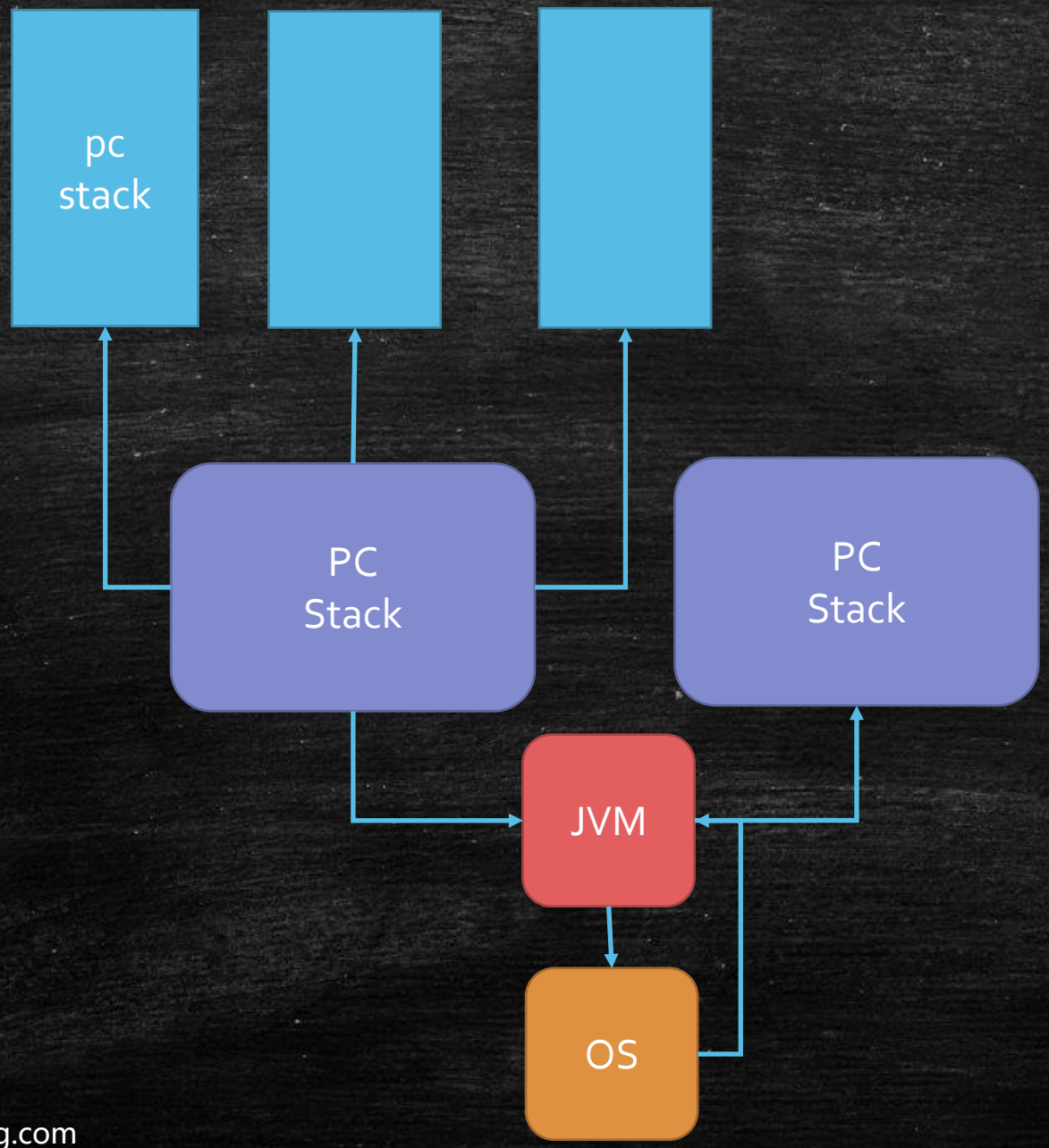
1. 第一轮：JVM 算法
2. 第二轮：Redis + MySQL
3. 第三轮：疯狂追问式
    1. 线程/进程
    2. 纤程 golang lua 协程
    3. Fiber vs Thread
    4. 为啥和内核态打交道效率低呢


word
qq
JVM 线程
class
OS

java instrumentation

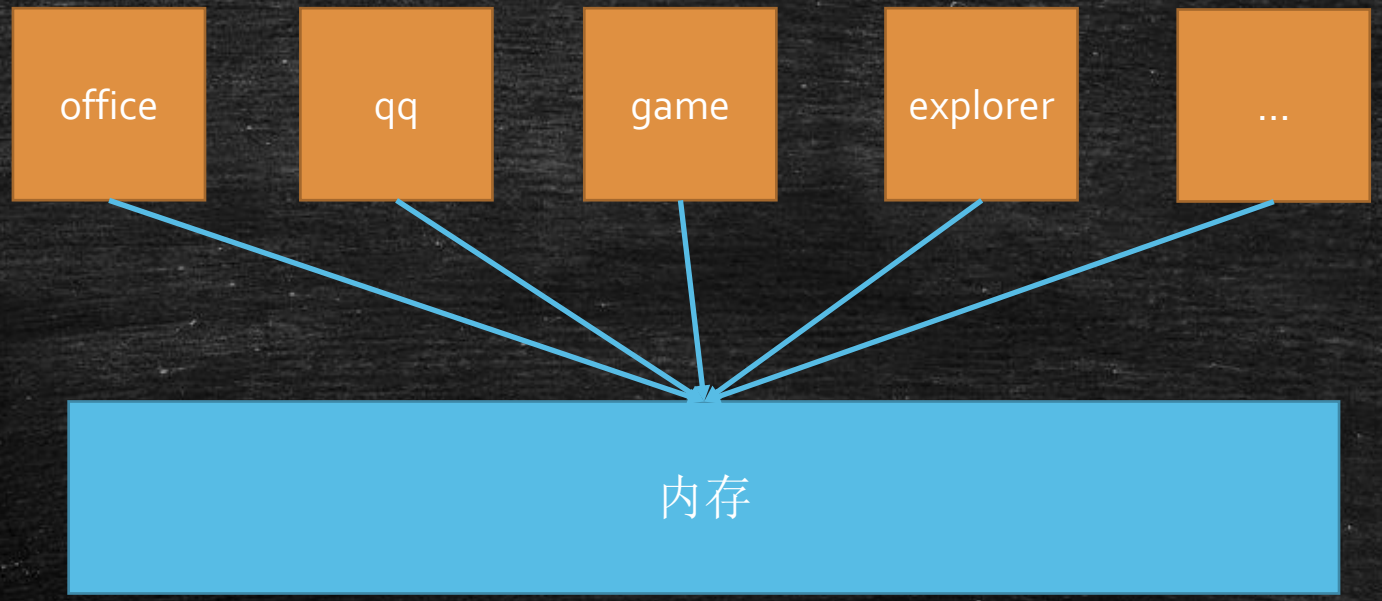


Fiber Coroutine

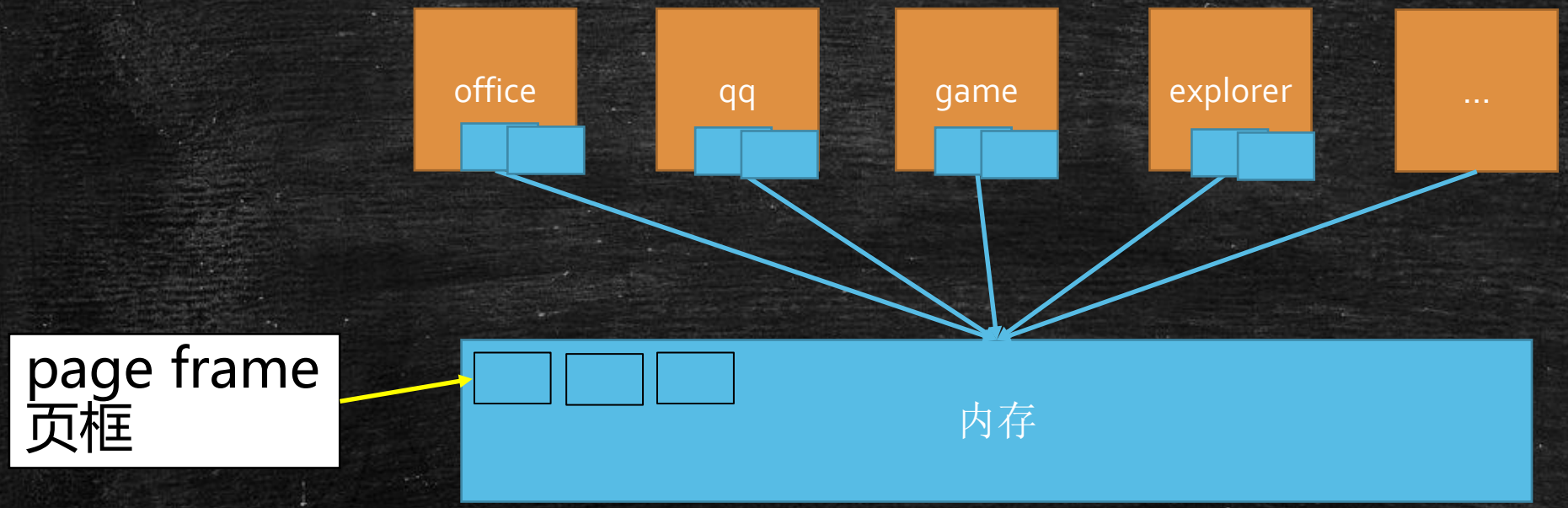


http://mashibing.com

内存管理



早期系统：多个进程全部装入内存
内存撑爆
互相打扰 不小心访问到别人的空间



解决内存撑爆问题：分块儿装入页框中（内存页 4K标准页）
（局部性原理：时间局部性-指令旁边的指令很快执行
空间局部性 – 数据旁边的数据很快用到）

内存满了，进行交换分区（LRU算法）

解决相互打扰问题：虚拟地址空间

虚拟内存

每一个进程都虚拟的独占整个CPU

进程内部分段
段内部分页
需要该页的时候加载到页框

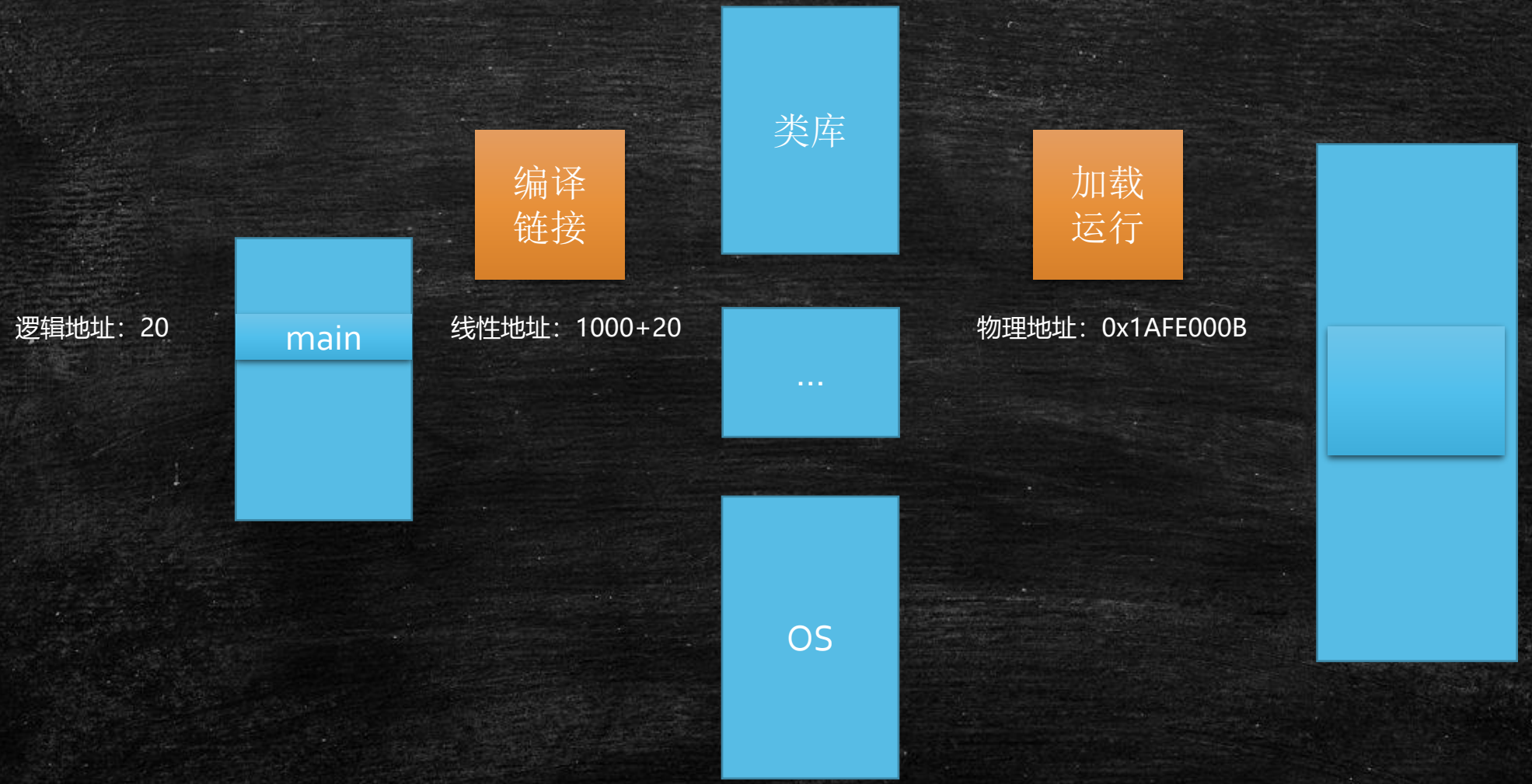
用户代码不可见

read printf

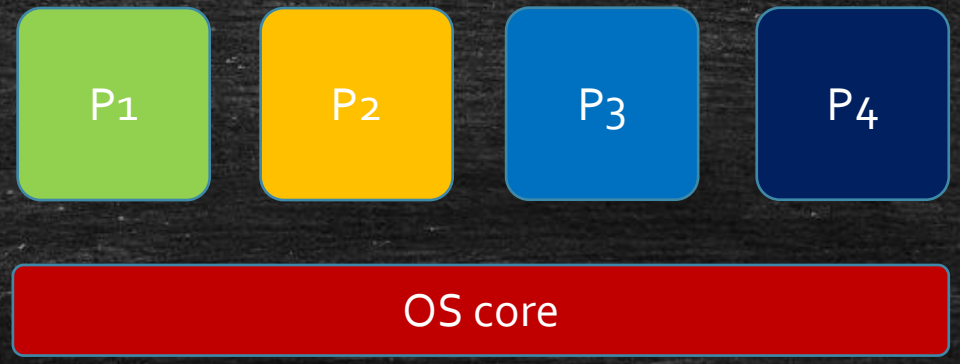
从hello加载

为什么使用虚拟内存?

- 隔离应用程序
  - 每个程序都认为自己有连续可用的内存
  - 突破物理内存限制
  - 应用程序不需要考虑物理内存是否够用，是否能够分配等底层问题
- 安全
  - 保护物理内存，不被恶意程序访问


编译
链接
类库
加载
运行
逻辑地址：20
main
线性地址：1000+20
...
物理地址：0x1AFE000B
OS

内存地址映射



逻辑空间|虚拟空间

MMU

物理空间

内存

硬盘

内核同步方法

介绍几个关于同步的理论上的概念
避免书中读到不知道什么意思

- 临界区（critical area）：访问或操作共享数据的代码段
  简单理解：synchronized大括号中部分（原子性）
- 竞争条件（race conditions）两个线程同时拥有临界区的执行权
- 数据不一致：data unconsistency 由竞争条件引起的数据破坏
- 同步（synchronization）避免race conditions
- 锁：完成同步的手段（门锁，门后是临界区，只允许一个线程存在）
  上锁解锁必须具备原子性
- 原子性（象原子一样不可分割的操作）
- 有序性（禁止指令重排）
- 可见性（一个线程内的修改，另一个线程可见）

原子性 有序性 可见性 (Atomicity Ordering Visibility)

1. 原子操作 – 内核中类似于AtomicXXX，位于<linux/types.h>
2. 自旋锁 – 内核中通过汇编支持的cas，位于<asm/spinlock.h>
3. 读-写自旋 – 类似于ReadWriteLock，可同时读，只能一个写
   读的时候是共享锁，写的时候是排他锁
4. 信号量 – 类似于Semaphore(PV操作 down up操作 占有和释放)
   重量级锁，线程会进入wait，适合长时间持有的锁情况
5. 读-写信号量 – downread upread downwrite upwrite
   （多个写，可以分段写，比较少用）(分段锁)
6. 互斥体(mutex) – 特殊的信号量（二值信号量）
7. 完成变量 – 特殊的信号量（A发出信号给B，B等待在完成变量上）
   vfork() 在子进程结束时通过完成变量叫醒父进程 类似于(Latch)
8. BKL：大内核锁（早期，现在已经不用）
9. 顺序锁（2.6）： – 线程可以挂起的读写自旋锁
   序列计数器（从0开始，写时增加(+1)，写完释放(+1)，读前发现单数，
   说明有写线程，等待，读前读后序列一样，说明没有写线程打断）
10. 禁止抢占 – preempt_disable()
11. 内存屏障 – 见volatile

汇编

for javaer

http://mashibing.com

段寄存器的由来：16位的寄存器想进行20位寻址
开机自启动程序