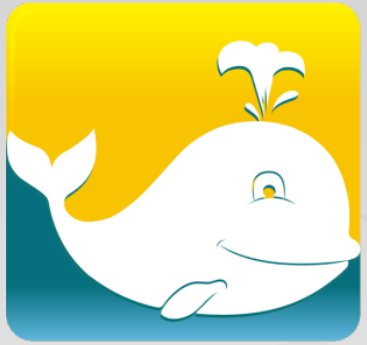


操作系统
Operating System

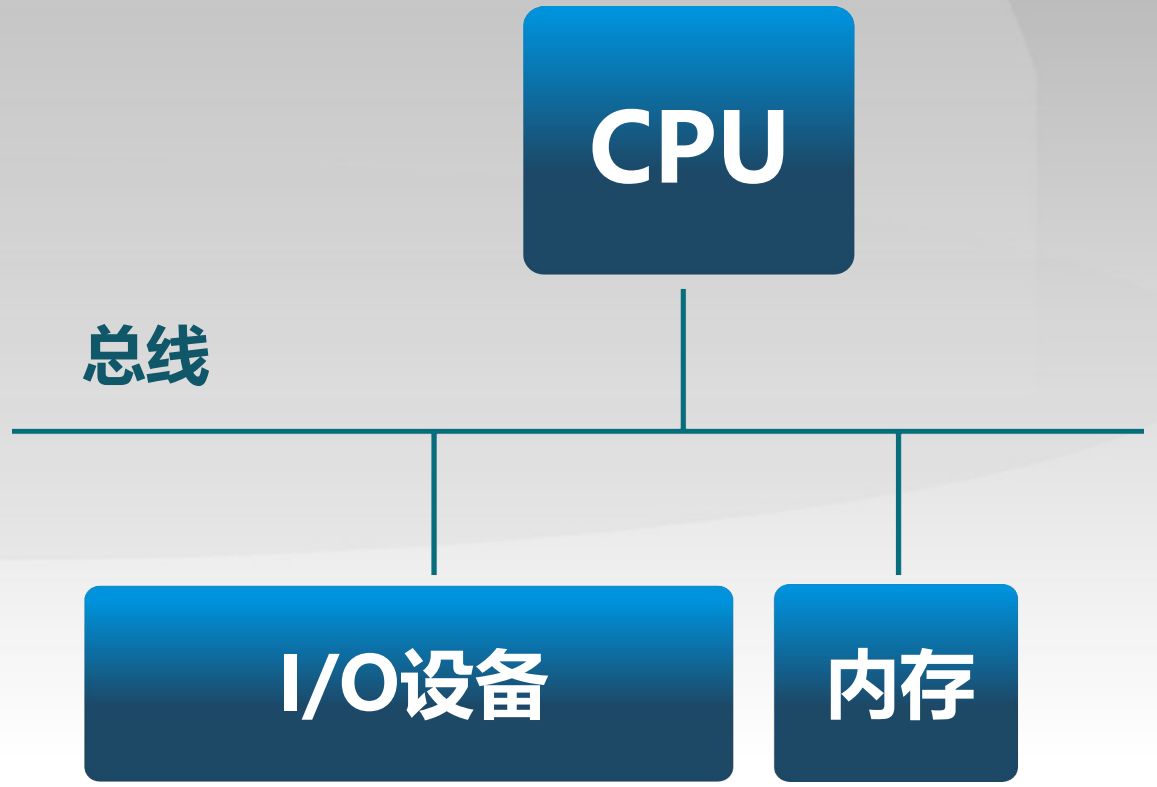
Lec3 系统启动、中断、异常和系统调用

清华大学计算机系

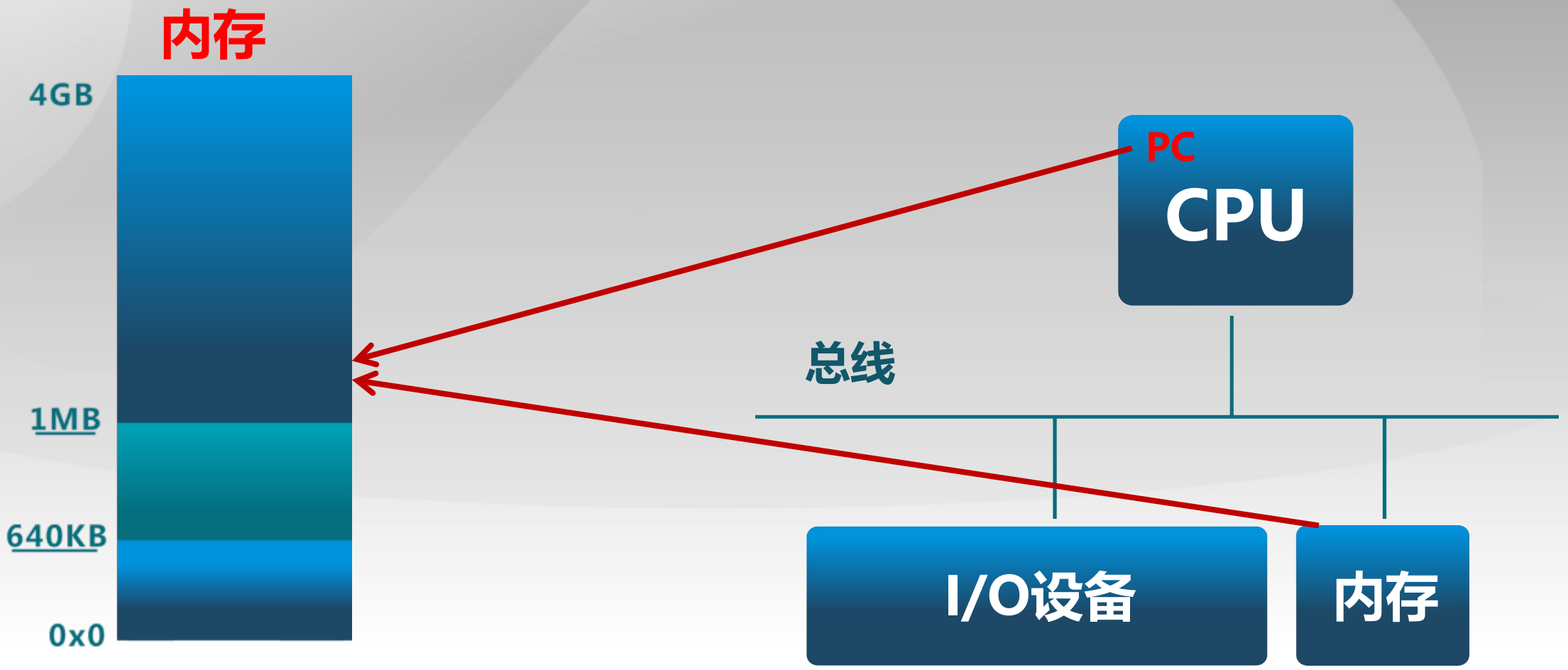
内容

- 启动前的准备
- 启动流程
- 中断/异常/系统调用
- 系统调用示例
- ucore+系统调用代码

计算机体系结构概述



计算机体系结构概述



启动前的准备

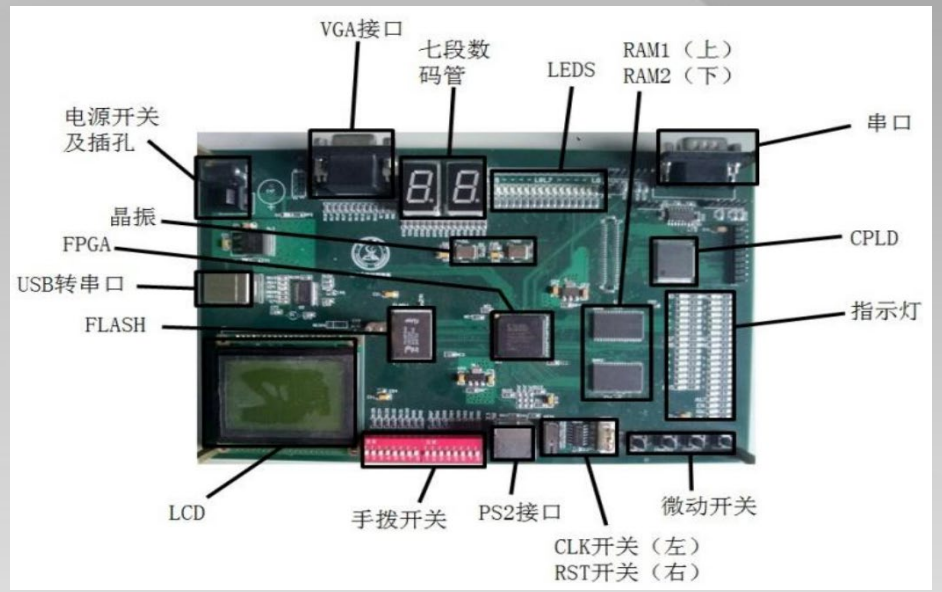
加电后

- PC = 0x0
- CPU 处于特权态
- 32位地址空间

- 基本功能
  - 字符显示/键盘输入（串口）
  - 检测内存大小/范围

启动前的准备

系统加电启动后，MIPS处理器默认的程序入口是0xBFC00000(*虚拟地址*)，此地址在KSEG1（*无缓存*）区域内，对应的物理地址是0x1FC00000（*高3位清零*），所以CPU从物理地址0x1FC00000开始取第一条指令，这个地址在硬件上已经确定为FLASH（*BIOS*）的位置

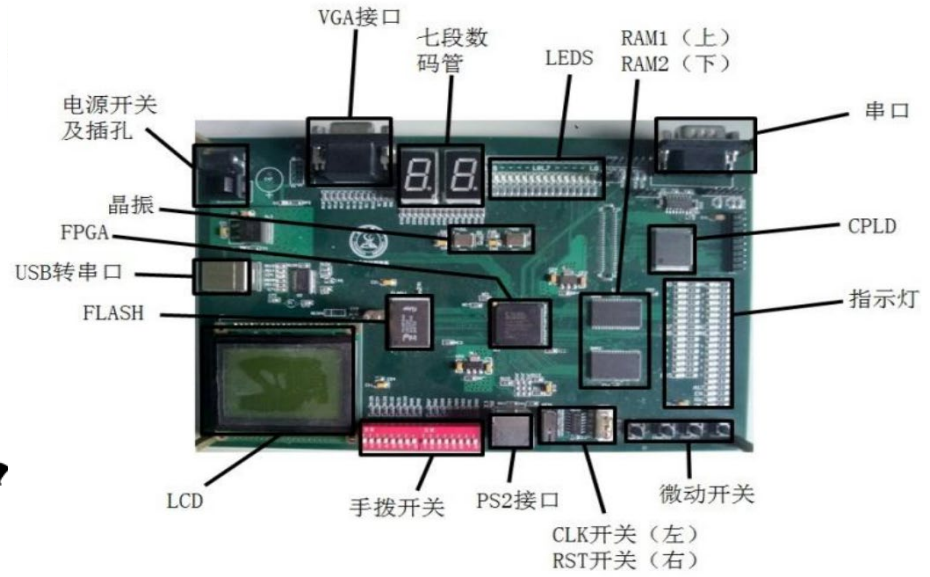


- CPU状态寄存器初始化
- MMU/TLBs初始化成无效值
- 其它寄存器赋初始值
- CPU协处理器CP0寄存器初始化
- 硬件初始化的最主要工作是内存控制器的初始化
- 加载程序/OS并跳转到程序/OS入口处

启动前的准备

程序如何装入？

- 程序装入到FLASH中
  - 采用提供的软件装入
  - CPU首先将其boot到RAM1中
  - 再从RAM1中运行
- 程序直接装入到RAM1中
  - 直接用软件装入到RAM1中



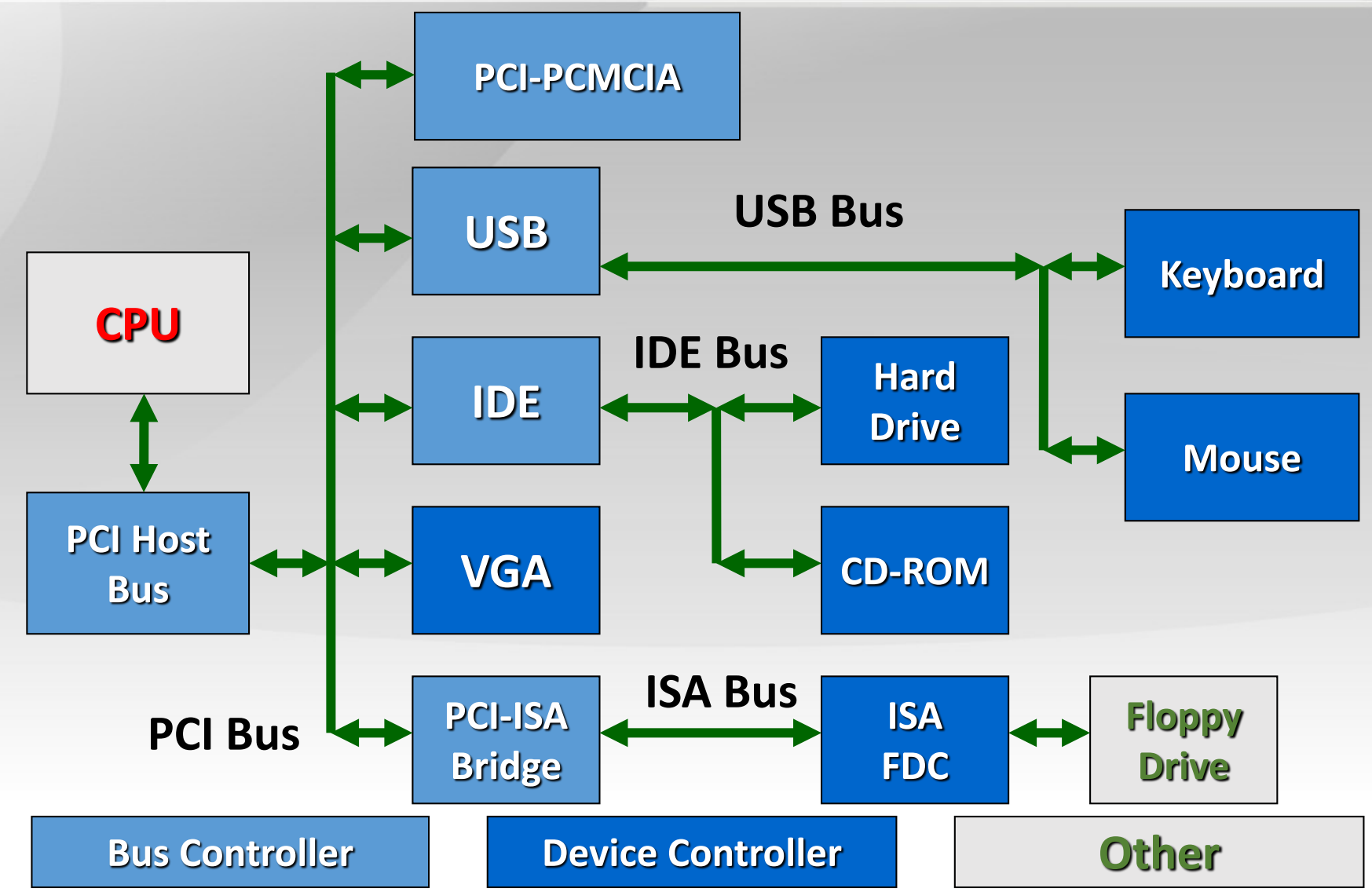
启动前的准备

功能区	地址段	说明
系统程序区	0x0[illegible]	[illegible]监控程序
用户程序区	0x4000~0x[illegible]FFF (32K)	存放用户程序
系统数据区	0x8000~0xBEFF	监控程序使用的数据区
Com1数据端口/命令端口	0xBF00~[illegible]	
Com2数据端口/命令端口	0xBF02~0xBF03	第2个串口的端口
预留给其他接口	0xBF04~0xBF0F	保留
系统堆栈区	0xBF10~0xBFFF	用于系统堆栈
用户数据区	0xC000~0xFFFF	用户程序使用的数据区

RAM2

RAM1

X86 Typical System



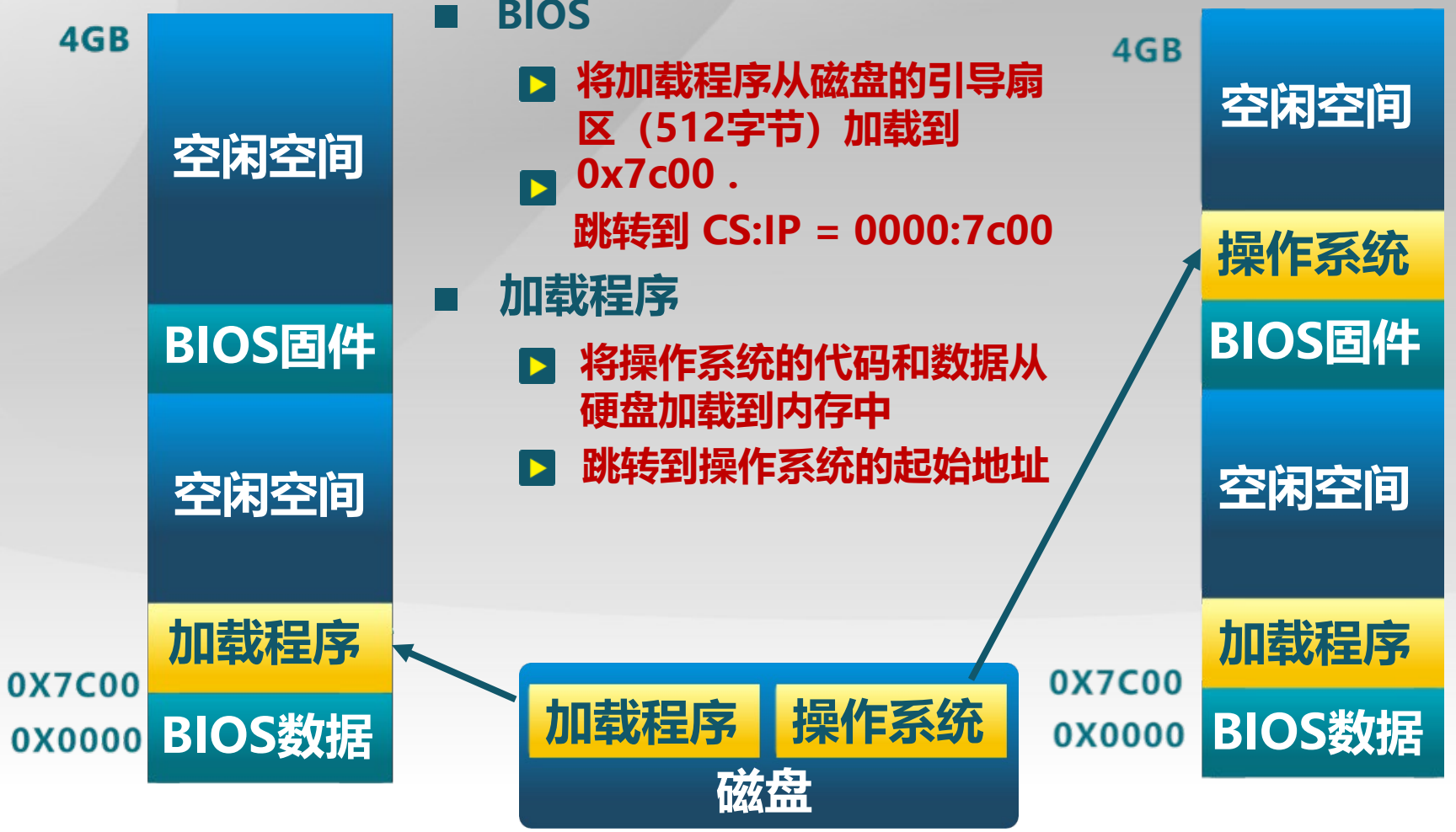
启动时计算机内存和磁盘布局

CS:IP = 0xf000:fff0.
（CS：代码段寄存器；IP：指令指针寄存器）
系统处于实模式
PC = 16*CS+IP
20位地址空间：1MB

- 基本输入输出的程序
- 系统设置信息
- 开机后自检程序
- 系统自启动程序等

加电后是否使能了中断机制？理由？

加载程序的内存地址空间



BIOS系统调用

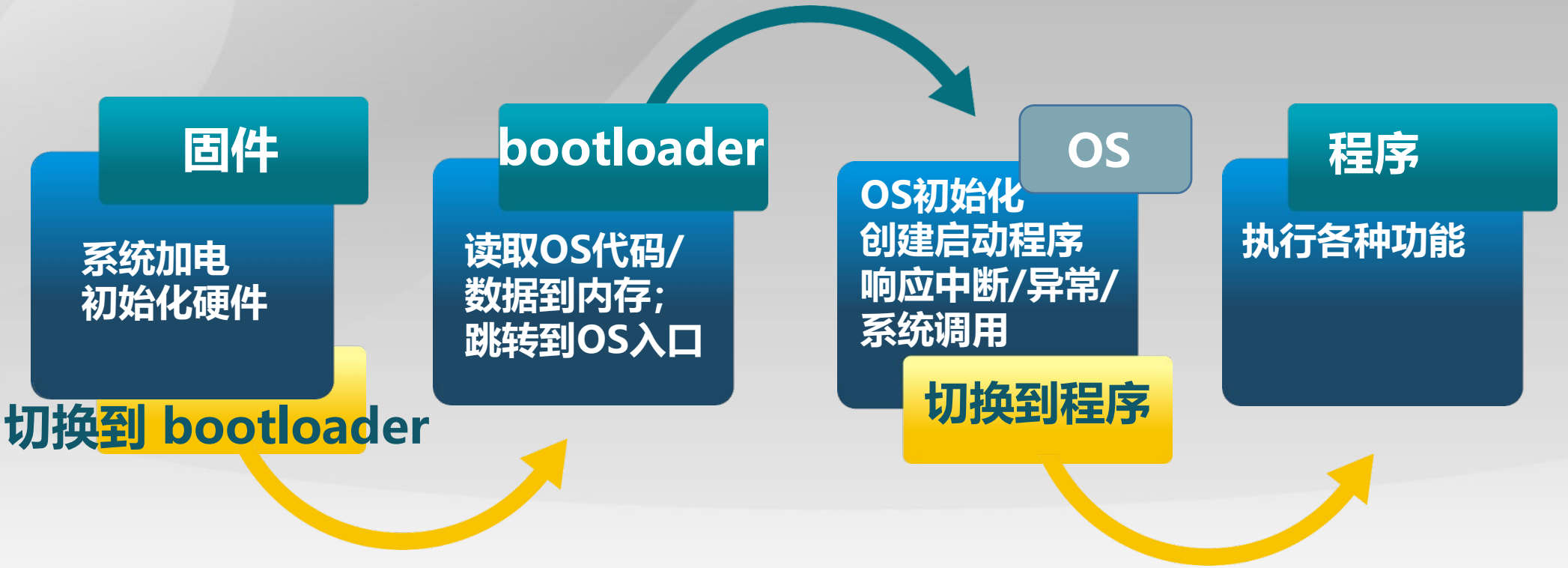
- BIOS以中断调用的方式 提供了基本的I/O功能
  - INT 10h: 字符显示
  - INT 13h: 磁盘扇区读写
  - INT 15h: 检测内存大小
  - INT 16h: 键盘输入
- 只能在x86的实模式下访问

操作系统

Operating System

计算机启动流程

一般计算机启动过程描述



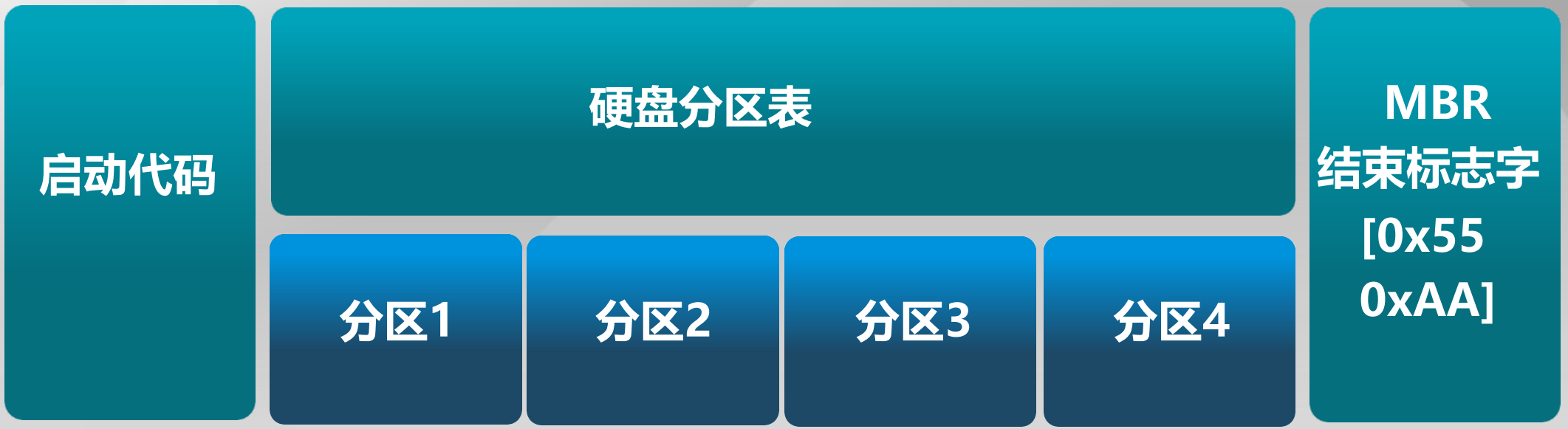
CPU初始化

- CPU加电稳定后从0XFFFF0读第一条指令
  - CS:IP = 0xf000:fff0
  - 第一条指令是跳转指令
- CPU初始状态为16位实模式
  - CS:IP是16位寄存器
  - 指令指针PC = 16*CS+IP
  - 最大地址空间是1MB

BIOS初始化过程

- 硬件自检POST
- 检测系统中内存和显卡等关键部件的存在和工作状态
- 查找并执行显卡等接口卡BIOS，进行设备初始化；
- 执行系统BIOS，进行系统检测；
  - 检测和配置系统中安装的即插即用设备；
- 更新CMOS中的扩展系统配置数据ESCD
- 按指定启动顺序从软盘、硬盘或光驱启动

主引导记录MBR格式



- 启动代码：446字节
  - 检查分区表正确性
  - 加载并跳转到磁盘上的引导程序
- 硬盘分区表：64字节
  - 描述分区状态和位置
  - 每个分区描述信息占据16字节
- 结束标志字：2字节(55AA)
  - 主引导记录的有效标志

分区引导扇区格式

- 跳转指令：跳转到启动代码
  - 与平台相关代码
- 文件卷头：文件系统描述信息
- 启动代码：跳转到加载程序
- 结束标志：55AA

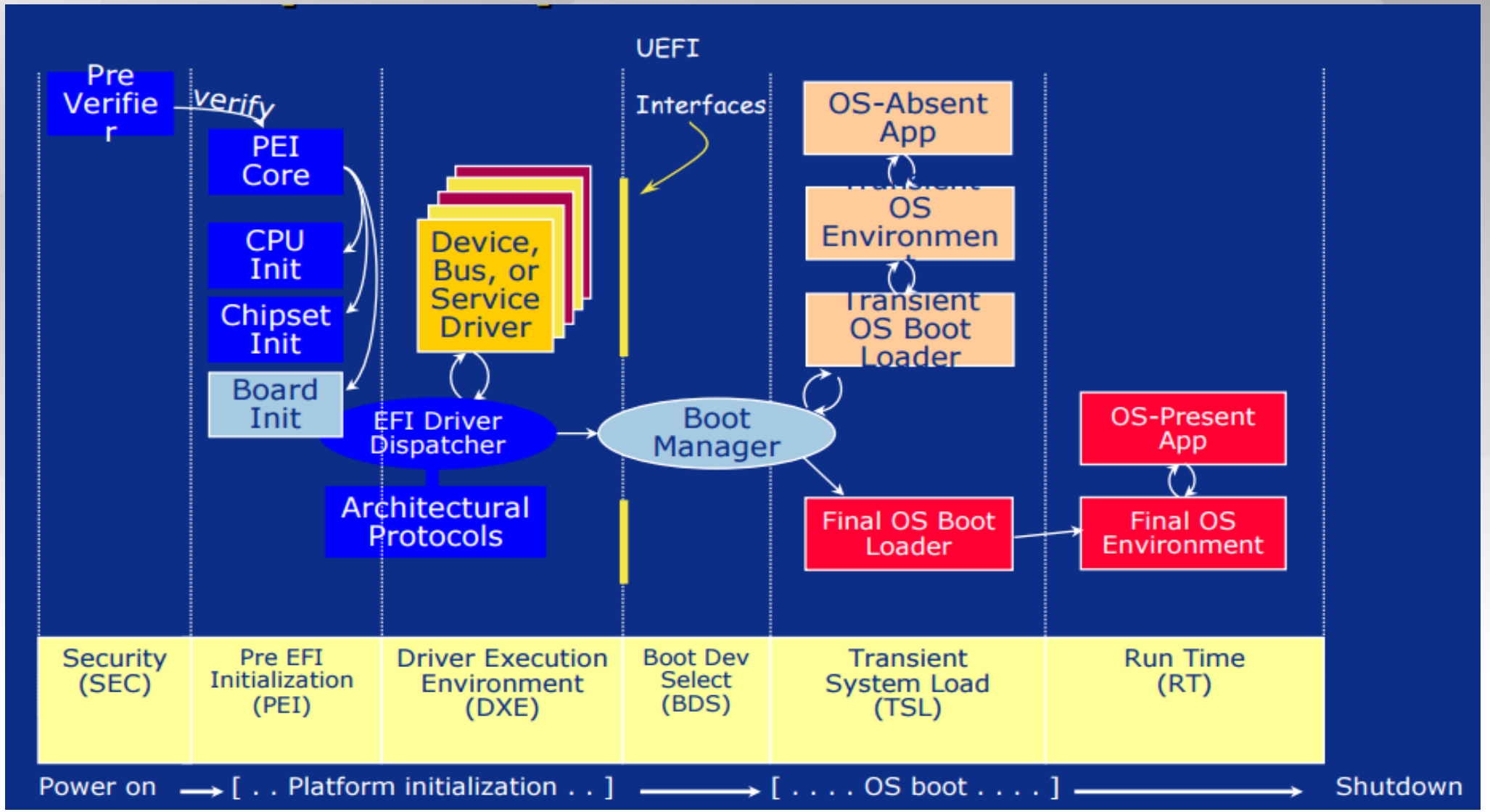
加载程序(bootloader)

系统启动规范

- BIOS
  - 固化到计算机主板上的程序
  - 包括系统设置、自检程序和系统自启动程序
  - BIOS-MBR、BIOS-GPT、PXE
- UEFI
  - 接口标准
  - 在所有平台上一致的操作系统启动服务

计算机启动流程

UEFI 启动过程描述



操作系统

Operating System

背景

- 为什么需要中断、异常和系统调用
  - 在计算机运行中，内核是被信任的第三方
  - 只有内核可以执行特权指令
  - 方便应用程序
- 中断和异常希望解决的问题
  - 当外设连接计算机时，会出现什么现象?
  - 当应用程序处理意想不到的行为时，会出现什么现象?
- 系统调用希望解决的问题
  - 用户应用程序是如何得到系统服务?
  - 系统调用和功能调用的不同之处是什么?

中断、异常和系统调用比较

- 源头
  - 中断：外设
  - 异常：应用程序意想不到的行为
  - 系统调用：应用程序请求操作提供服务
- 响应方式
  - 中断：异步
  - 异常：同步
  - 系统调用：异步或同步
- 处理机制
  - 中断：持续，对用户应用程序是透明的
  - 异常：杀死或者重新执行意想不到的应用程序指令
  - 系统调用：等待和持续

背景

- 基本的中断、异常和系统调用（10个）
  - FMEM, // bad physical address
  - FTIMER, // timer interrupt
  - FKEYBD, // keyboard interrupt
  - FPRIV, // privileged instruction
  - FINST, // illegal instruction
  - FSYS, // software trap
  - FARITH, // arithmetic trap
  - FIPAGE, // page fault on opcode fetch
  - FWPAGE, // page fault on write
  - FRPAGE, // page fault on read

背景

- MIPS的中断、异常和系统调用

0: Interrupt，中断；
1: TLB Modified，试图修改TLB中映射为只读的内存地址；
2: TLB Miss Load，试图读取一个没有在TLB中映射到物理地址的虚拟地址；
3: TLB Miss Store，试图向一个没有在TLB中映射到物理地址的虚拟地址存入数据；
4: Address Error Load，试图从一个非对齐的地址读取信息；
5: Address Error Store，试图向一个非对齐的地址写入信息；
6: Instruction Bus Error，一般是指令Cache出错；
7: Data Bus Error，一般是数据Cache出错；
8: Syscall，由syscall指令产生。操作系统下，通用的由用户态进入内核态的方法。
9: Break Point，由break指令产生。
23: Watch，内存断点异常。
……

背景

■ x86的中断、异常和系统调用（80386最多处理256种中断或异常）

- 80386有两根引脚INTR和NMI接受外部中断请求信号。
- INTR接受可屏蔽中断请求。NMI接受不可屏蔽中断请求。
- 在80386中，标志寄存器EFLAGS中的IF标志决定是否屏蔽可屏蔽中断请求。
- 异常进一步分类为故障(Fault)、陷阱(Trap)和中止(Abort

	中断/异常类型	优先级
80386响应中断/异常的优先级	调试故障	最高
	其它故障	↓
	陷阱指令INT n和INTO	↓
	调试陷阱	↓
	NMI中断	↓
	INTR中断	最低

背景

- x86的中断、异常和系统调用（80386最多处理256种中断或异常）

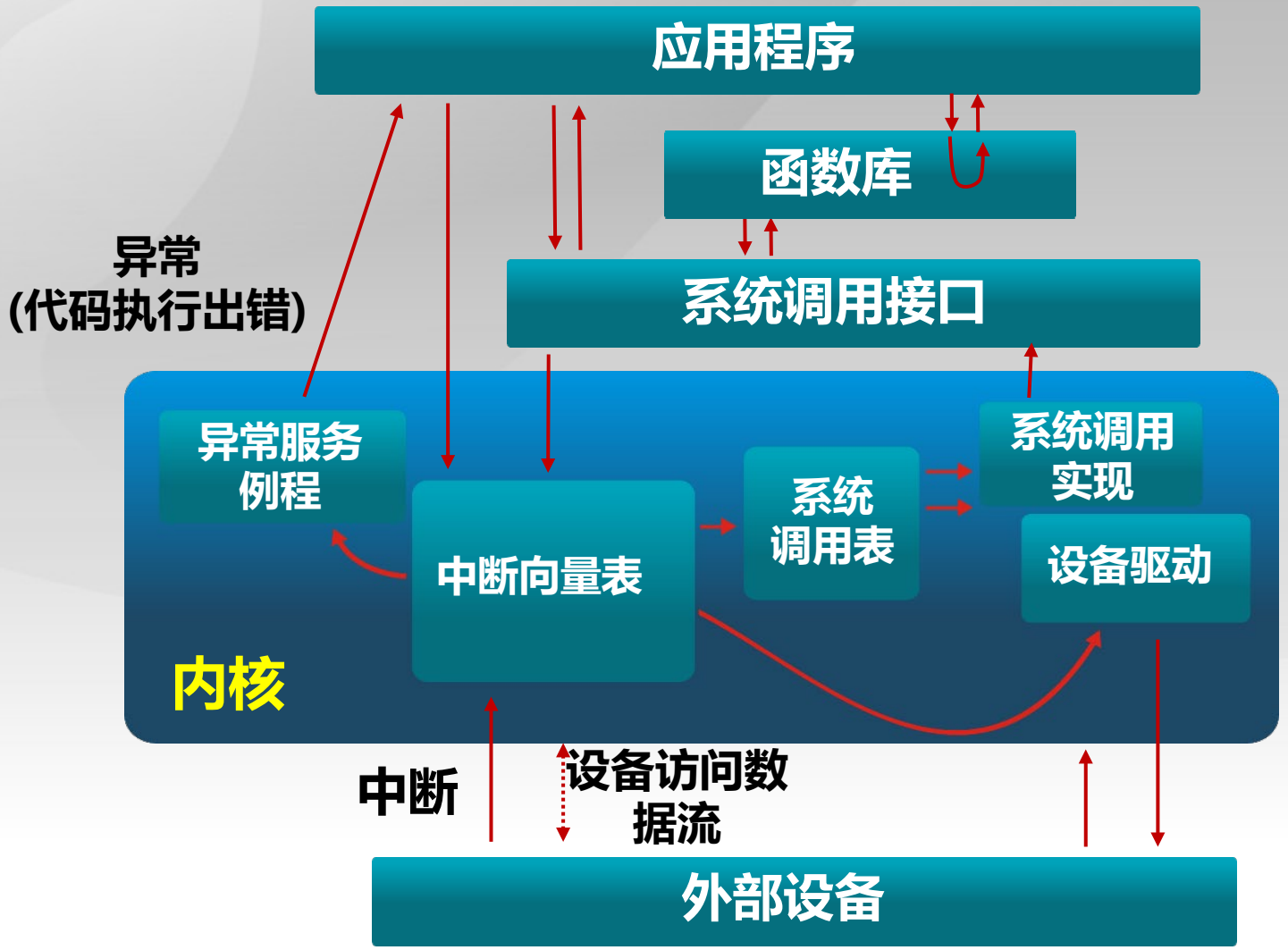
向量号	异常名称	异常类型	出错代码	相关指令
0	除法出错	故障	无	DIV,IDIV
1	调试异常	故障/陷阱	无	任何指令
3	单字节INT3	陷阱	无	INT 3
4	溢出	陷阱	无	INTO
5	边界检查	故障	无	BOUNT
6	非法操作码	故障	无	非法指令编码或操作数
7	设备不可用	故障	无	浮点指令或WAIT
8	双重故障	中止	有	任何指令
9	协处理器段越界	中止	无	访问存储器的浮点指令
0AH	无效TSS异常	故障	有	JMP、CALL、IRET或中断
0BH	段不存在	故障	有	装载段寄存器的指令

背景

- x86的中断、异常和系统调用（80386最多处理256种中断或异常）

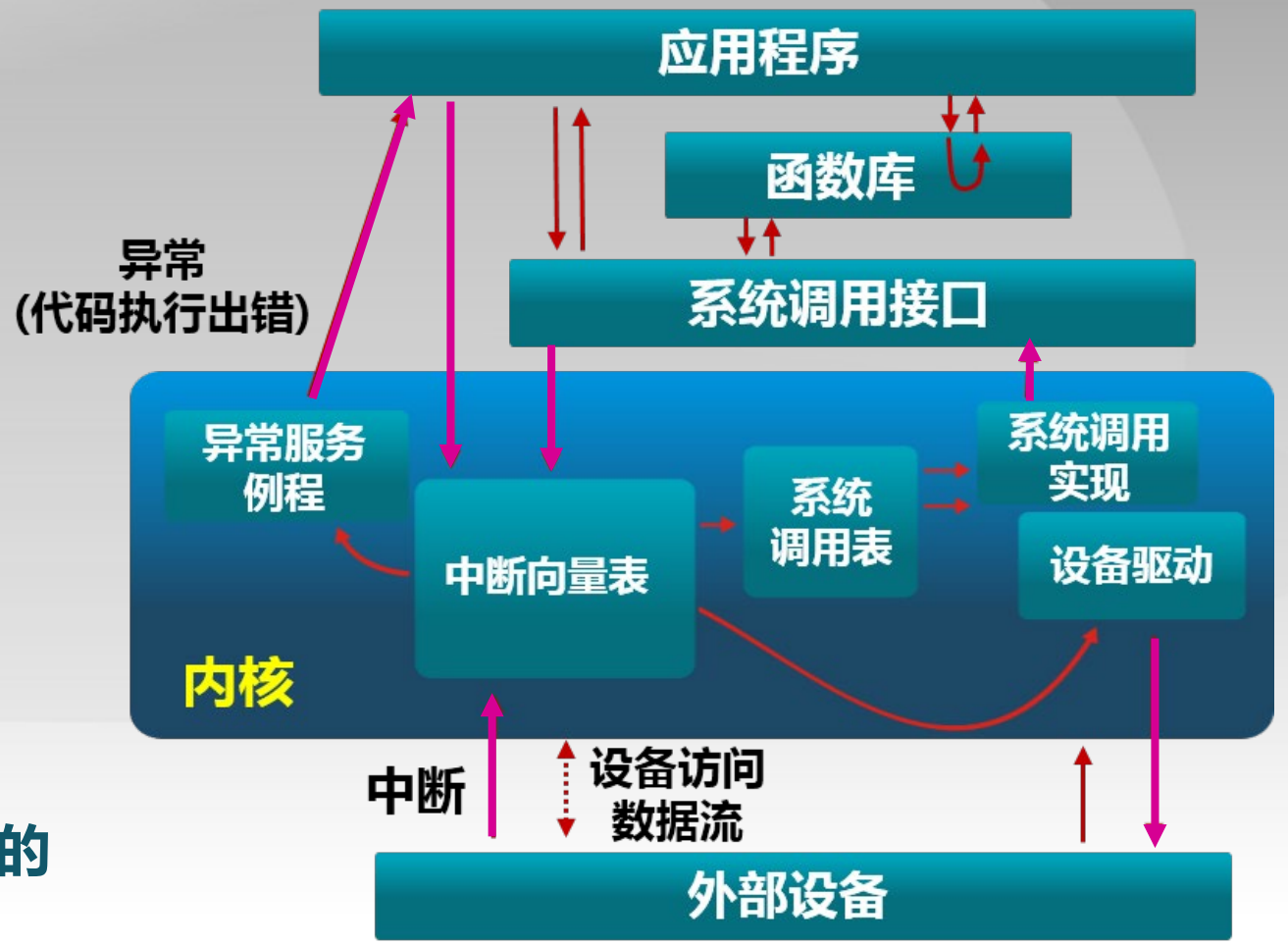
向量号	异常名称	异常类型	出错代码	相关指令
0CH	堆栈段异常	故障	有	装载SS寄存器的任何指令、对SS寻址的段访问的任何指令
0DH	通用保护异常	故障	有	任何特权指令、任何访问存储器的指令
0EH	页异常	故障	有	任何访问存储器的指令
10H	协处理器出错	故障	无	浮点指令或WAIT
11H—0FFH	软中断	陷阱	无	INT n

内核的进入与退出


应用程序
函数库
异常
(代码执行出错)
系统调用接口
异常服务
例程
中断向量表
系统
调用表
系统调用
实现
设备驱动
内核
中断
设备访问数
据流
外部设备

中断、异常和系统调用比较

- 源头
  - 中断：外设
  - 异常：应用程序意想不到的行为
  - 系统调用：应用程序请求操作提供服务
- 响应方式
  - 中断：异步
  - 异常：同步
  - 系统调用：异步或同步
- 处理机制
  - 中断：持续，对用户应用程序是透明的
  - 异常：杀死或者重新执行意想不到的应用程序指令
  - 系统调用：等待和持续



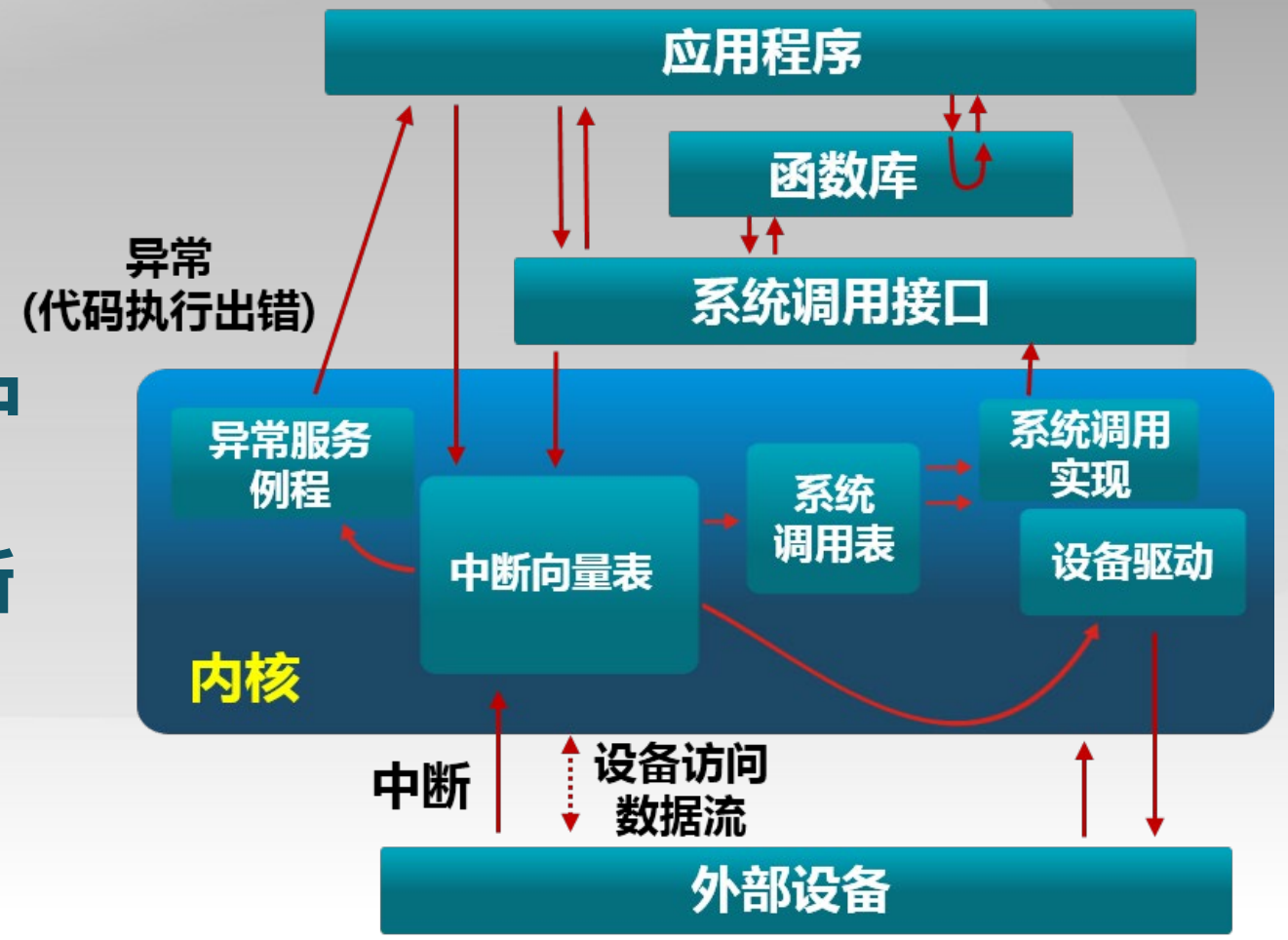
中断、异常和系统调用

- 系统调用（system call）
  - 应用程序**主动**向操作系统发出的服务请求
- 异常(exception)
  - 非法指令或者其他原因导致当前**指令执行失败**(如：内存出错)后的处理请求
- 中断(hardware interrupt)
  - 来自硬件设备的处理请求

中断处理机制

硬件处理

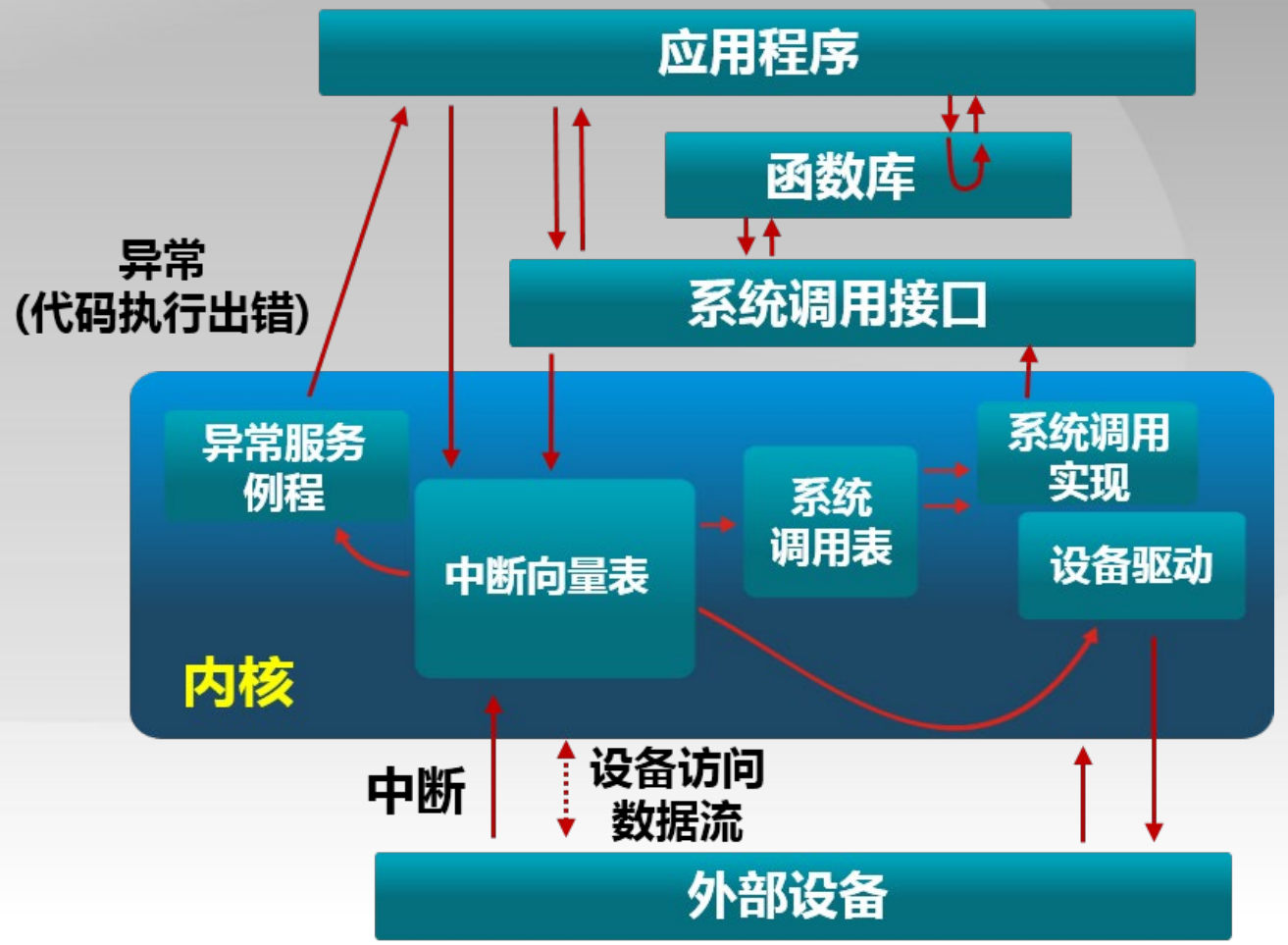
- 在CPU初始化时设置中断使能标志
  - 依据内部或外部事件设置中断标志
  - 依据中断向量调用相应中断服务例程



中断和异常处理机制

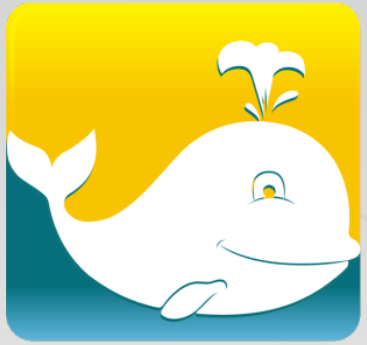
软件

- 现场保存（CPU+编译器）
- 中断服务处理（服务例程）
- 清除中断标记（服务例程）
- 现场恢复（CPU+编译器）



中断嵌套

- 硬件中断服务例程可被打断
  - 不同硬件中断源可能在硬件中断处理时出现
  - 硬件中断服务例程中需要临时禁止中断请求
  - 中断请求会保持到CPU做出响应
- 异常服务例程可被打断
  - 异常服务例程执行时可能出现硬件中断
- 异常服务例程可嵌套
  - 异常服务例程可能出现缺页

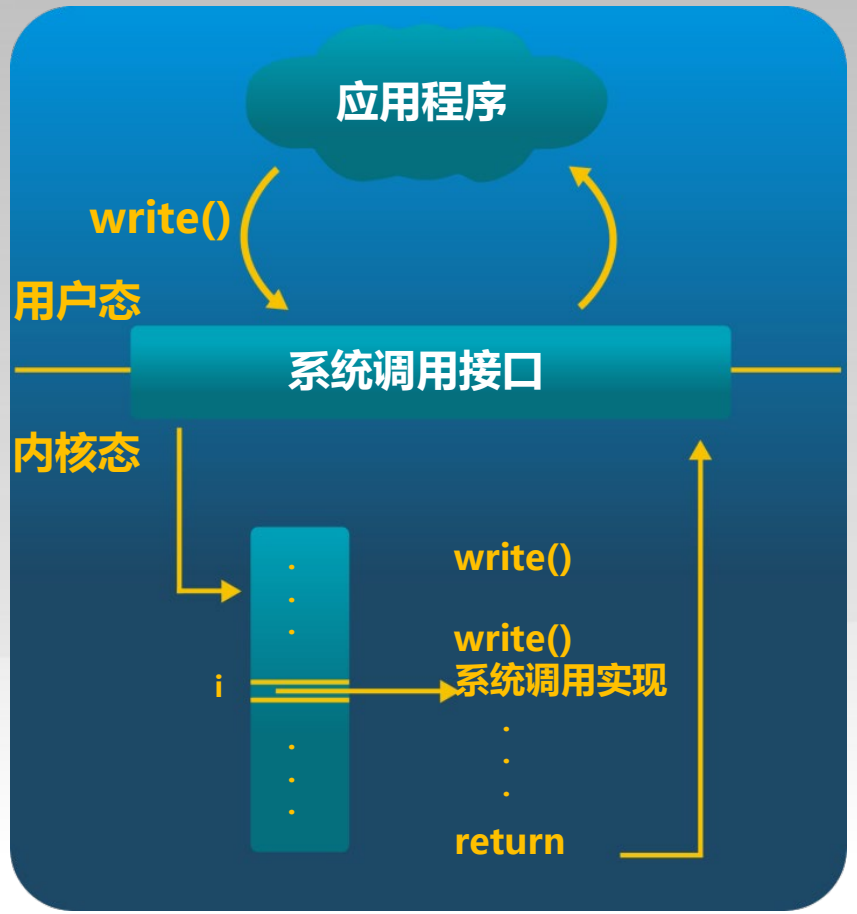


操作系统

Operating System

标准C库的例子

- 应用程序调用printf() 时，会触发系统调用write()。



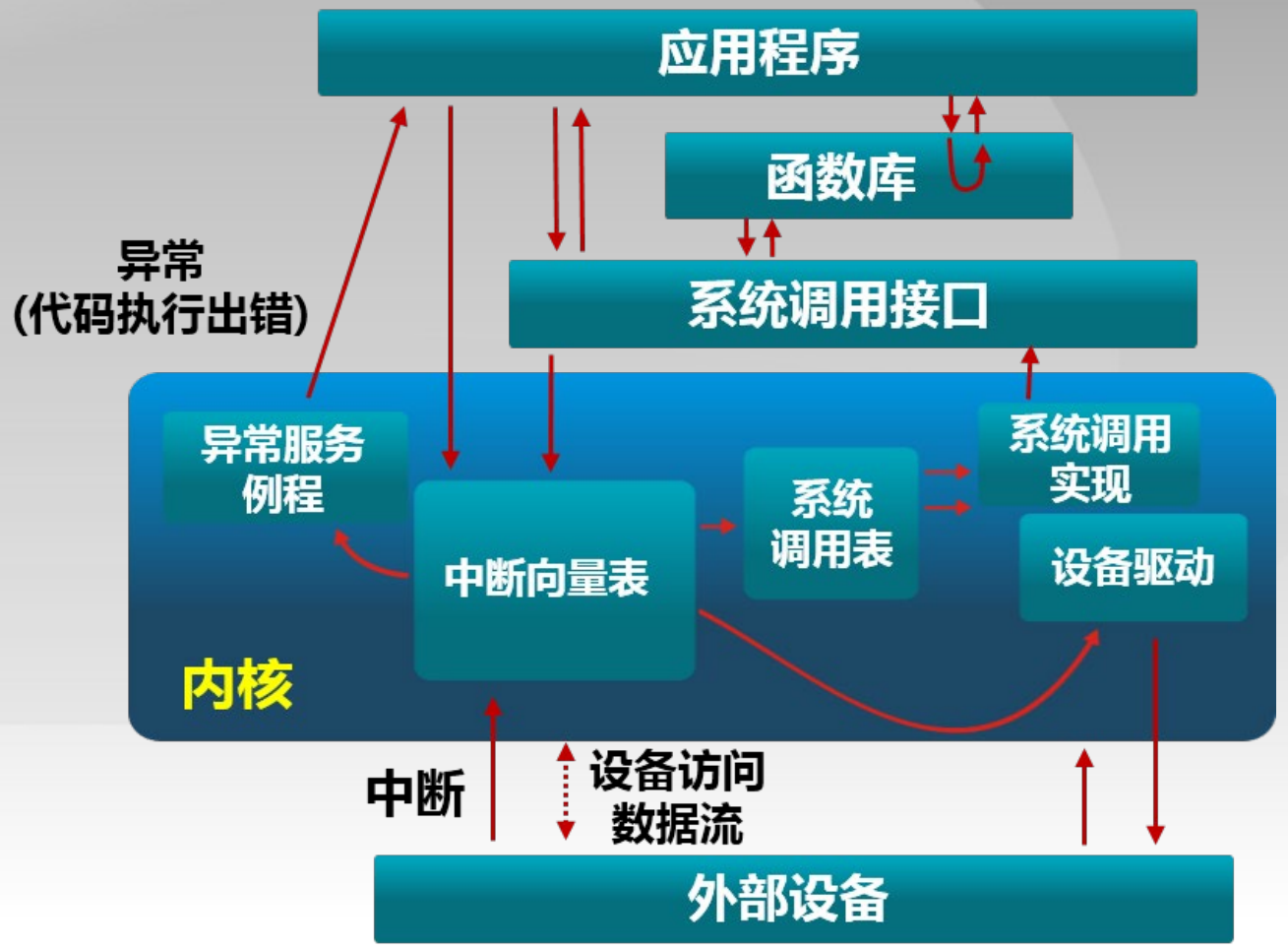
系统调用

- 操作系统服务的编程接口
- 通常由高级语言编写（C或者C++）
- 程序访问通常是通过高层次的API接口而不是直接进行系统调用
- 三种最常用的应用程序编程接口（API）
  - Win32 API 用于 Windows
  - POSIX API 用于 POSIX-based systems (包括UNIX，LINUX，Mac OS X的所有版本)
  - Java API 用于JAVA虚拟机(JVM)

ABI 和API的区别是?

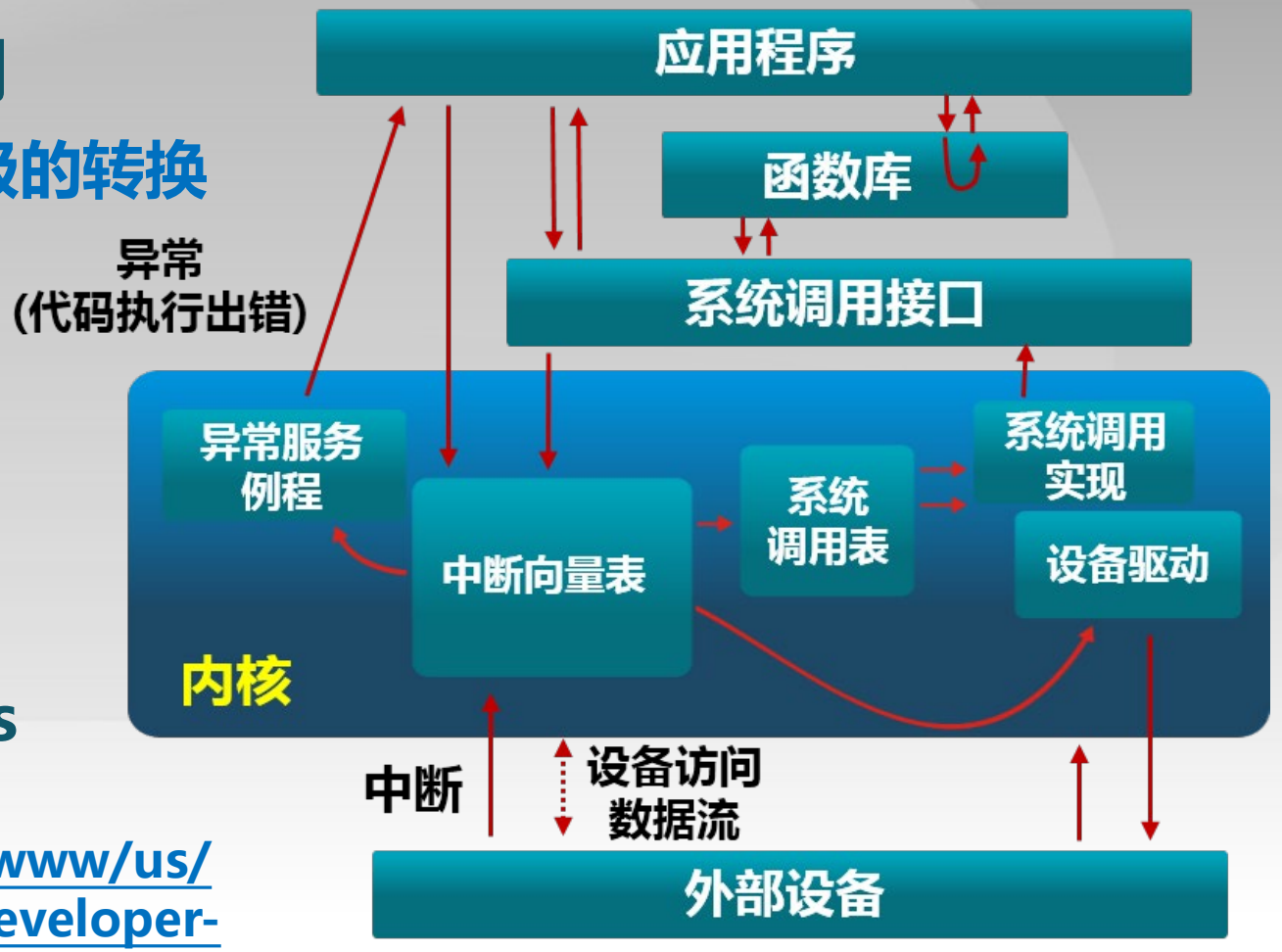
系统调用的实现

- 每个系统调用对应一个系统调用号
  - 系统调用接口根据系统调用号来维护表的索引
- 系统调用接口调用内核态中的系统调用功能实现，并返回系统调用的状态和结果
- 用户不需要知道系统调用的实现
  - 需要设置调用参数和获取返回结果
  - 操作系统接口的细节大部分都隐藏在应用编程接口后
    - 通过运行程序支持的库来管理



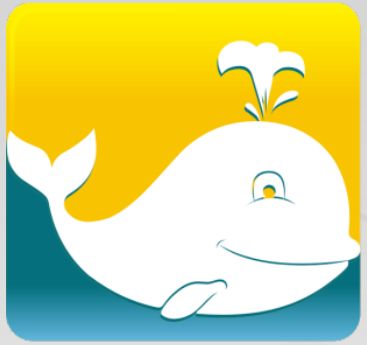
函数调用和系统调用的不同处

- 系统调用
  - INT和IRET指令用于系统调用
    - 系统调用时，堆栈切换和特权级的转换
- 函数调用
  - CALL和RET用于常规调用
    - 常规调用时没有堆栈切换
- Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer Manualshttp://www.intel.com/content/www/us/en/processors/architectures-software-developer-manuals.html



中断、异常和系统调用的开销

- 超过函数调用
- 开销：
  - 引导机制
  - 建立内核堆栈
  - 验证参数
  - 内核态映射到用户态的地址空间
    - 更新页面映射权限
  - 内核态独立地址空间
    - TLB

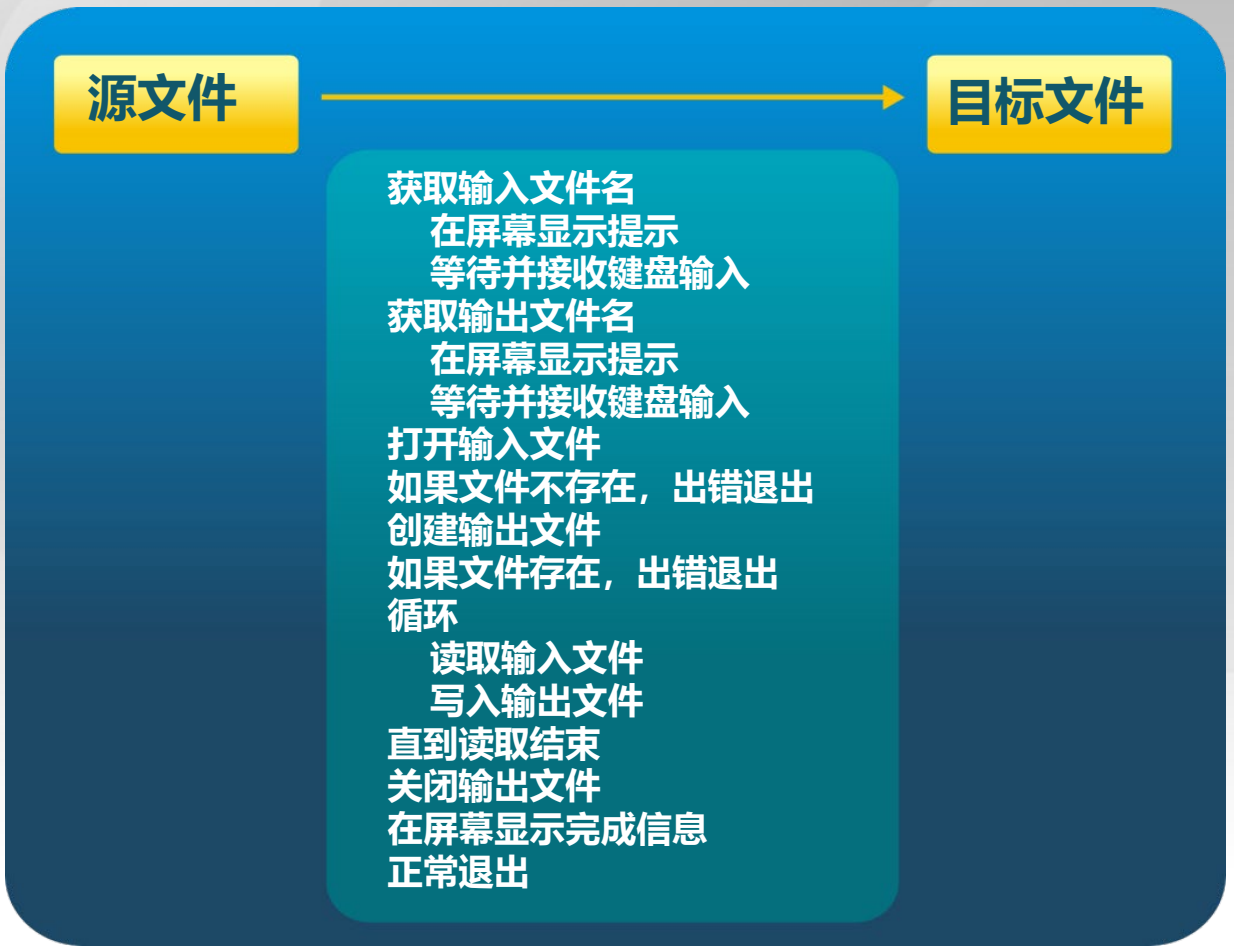


操作系统

Operating System

系统调用示例

- 文件复制过程中的系统调用序列




```
// System call numbers
#define SYS_fork    1
#define SYS_exit    2
#define SYS_wait    3
#define SYS_pipe    4
#define SYS_write   5
#define SYS_read    6
#define SYS_close   7
#define SYS_kill    8
#define SYS_exec    9
#define SYS_open   10
#define SYS_mknod  11
#define SYS_unlink 12
#define SYS_fstat  13
#define SYS_link   14
#define SYS_mkdir  15
#define SYS_chdir  16
#define SYS_dup    17
#define SYS_getpid 18
#define SYS_sbrk   19
#define SYS_sleep  20
#define SYS_procmem 21
```

系统调用示例

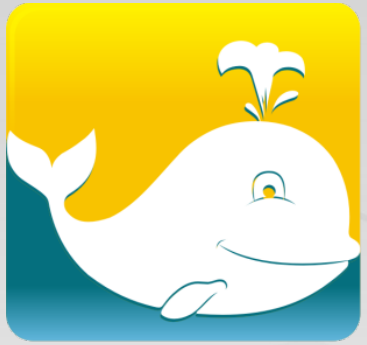
- 在ucore中库函数read()的功能是读文件
  - user/libs/file.h: int read(int fd, void * buf, int length)
- 库函数read()的参数和返回值
  - int fd—文件句柄
  - void * buf—数据缓冲区指针
  - int length—数据缓冲区长度
  - int return_value:返回读出数据长度
- 库函数read()使用示例
  - in sfs_filetest1.c: ret = read(fd, data, len);

系统调用库接口示例

```
sfs_filetest1.c: ret=read(fd,data,len);
 ......
  8029a1:        8b 45 10          mov    0x10(%ebp),%eax
  8029a4:        89 44 24 08       mov    %eax,0x8(%esp)
  8029a8:        8b 45 0c          mov    0xc(%ebp),%eax
  8029ab:        89 44 24 04       mov    %eax,0x4(%esp)
  8029af:        8b 45 08          mov    0x8(%ebp),%eax
  8029b2:        89 04 24          mov    %eax,(%esp)
  8029b5:        e8 33 d8 ff ff    call   8001ed <read>
syscall(int num, ...) {
...
        asm volatile (
                        "int %1;"
                        : "=a" (ret)
                        : "i" (T_SYSCALL),
                          "a" (num),
                          "d" (a[0]),
                          "c" (a[1]),
                          "b" (a[2]),
                          "D" (a[3]),
                          "S" (a[4])
                        : "cc", "memory");
        return ret;
```

ucore系统调用read(fd, buffer, length)的实现

1. kern/trap/trapentry.S: alltraps()
2. kern/trap/trap.c: trap()
   tf->trapno == T_SYSCALL
3. kern/syscall/syscall.c: syscall()
   tf->tf_regs.reg_eax ==SYS_read
4. kern/syscall/syscall.c: sys_read()
   从 tf->sp 获取 fd, buf, length
5. kern/fs/sysfile.c: sysfile_read()
   读取文件
6. kern/trap/trapentry.S: trapret()



操作系统

Operating System