Beijing Forest Studio
北京理工大学信息系统及安全对抗实验中心

操作系统与内核安全基础

博士研究生　张毅飞

2019年11月10日

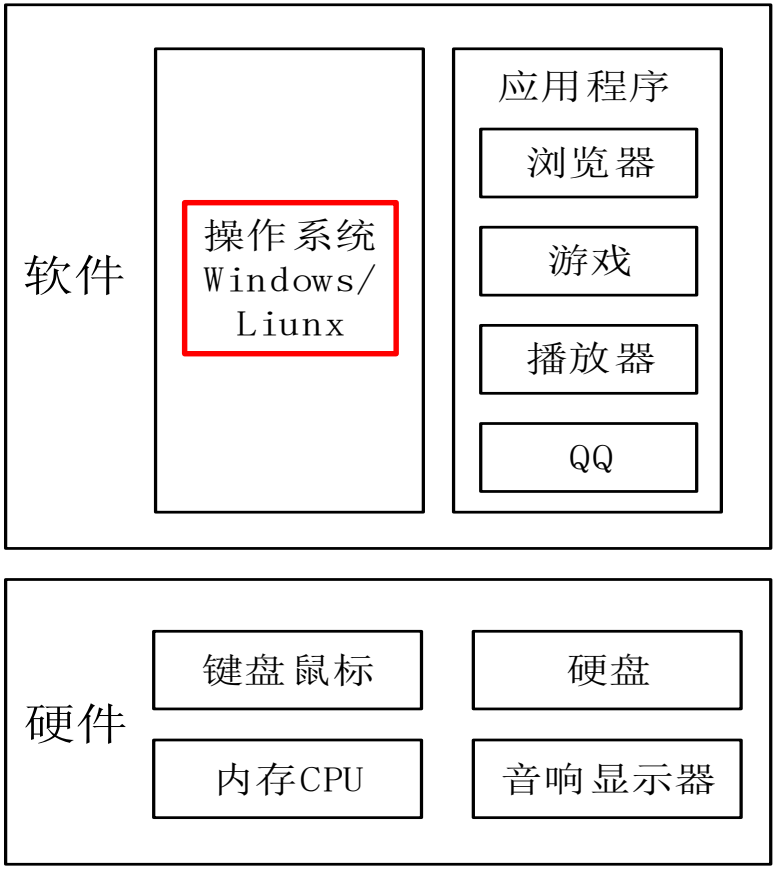
内容提要

- 基本概念
  - 计算机总体结构
- 操作系统及其内核
  - 操作系统与操作系统内核的关系
  - 操作系统内核功能
- 用户层与内核层关系
- 内核安全基础

基本概念

基本概念

- 对计算机的一个基本认识：



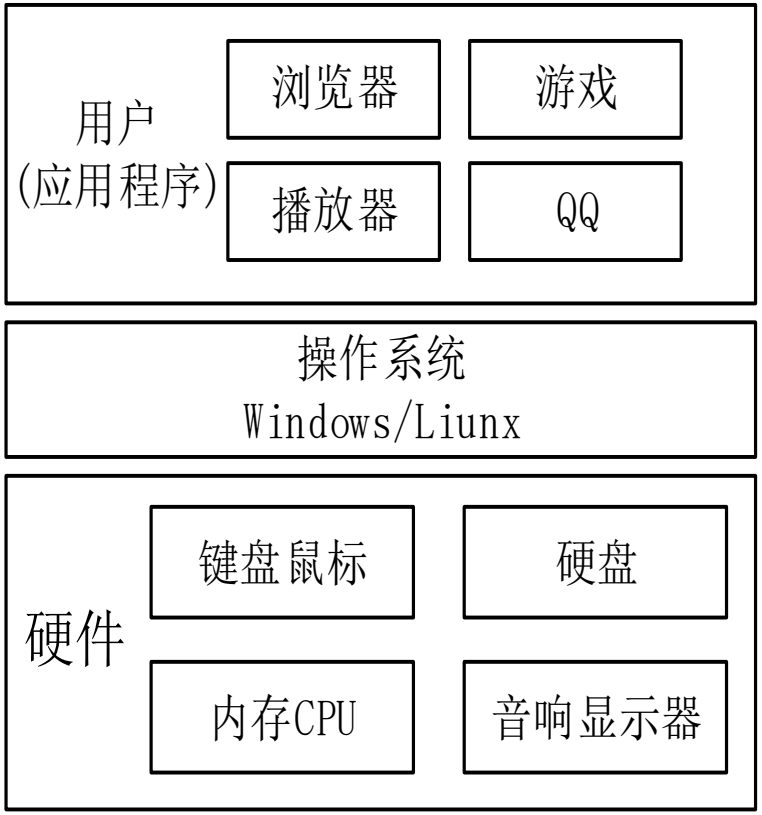
- 操作系统是什么、包含哪些内容、作用?

基本概念

- 操作系统是为了实现以下3个目的：
  - 屏蔽差异
    - 不同的物理硬件在访问控制、数据交互等方面千差万别，需要一个统一的平台来进行规范，降低应用程序开发难度
    - 操作系统这种屏蔽硬件差异的“能力”——硬件抽象概念
  - 管理资源
    - 计算机需要“同时”运行多个程序（进程），需要有一个管理者来分配和管理硬件资源，保证每个程序都正常运行
  - 任务调度
    - “同时”运行多个程序（进程）时，不同程序（进程）对硬件进行时分复用，特殊事件的中断处理等

基本概念

- 计算机系统的组成
  - 应用程序
  - 操作系统
  - 硬件
- 计算机系统的层次划分
  - 用户层
  - 内核层
  - 硬件层



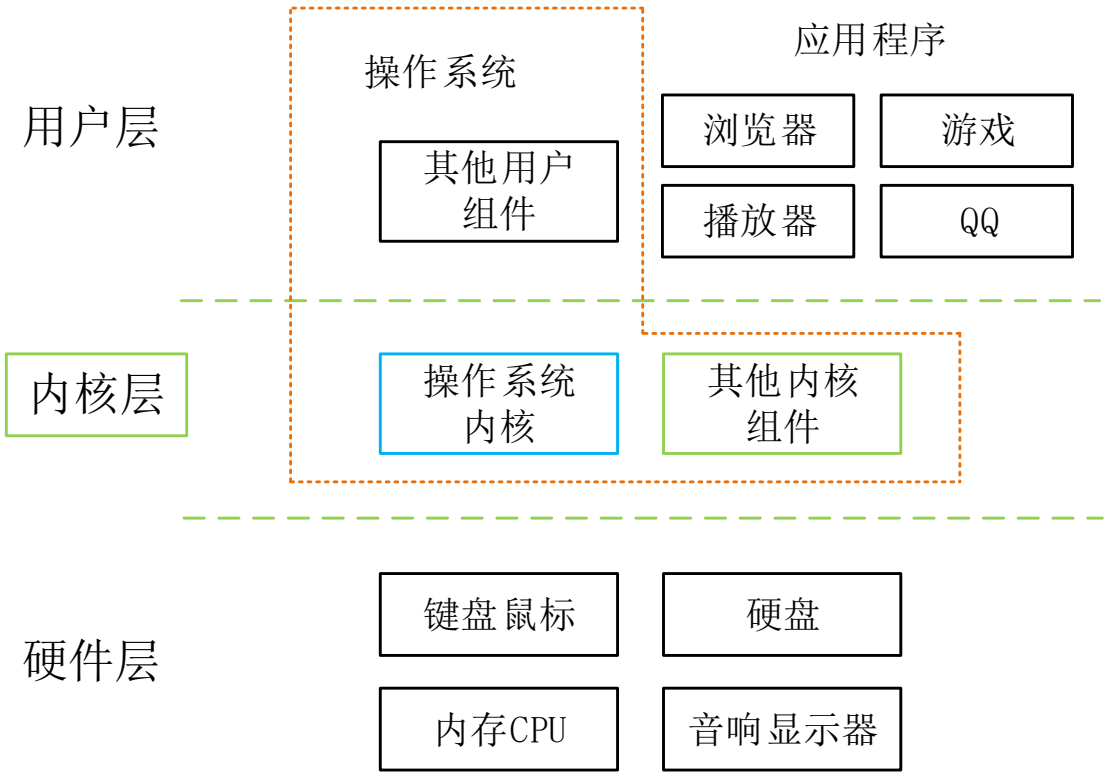
操作系统及其内核

操作系统及其内核——关系

- 操作系统与操作系统内核的关系
  - 起初，“操作系统=操作系统内核”，即实现硬件抽象和资源管理的一套程序
  - 后来，为了进一步丰富功能，为上层用户、应用程序提供便利，逐渐在操作系统内核的基础上增加了许多功能：
    - 文件系统
    - 桌面系统
    - DLL、API等
    - 系统工具（cmd/bash、ls、cat、rm、磁盘整理……）
    - 其他（……）

操作系统及其内核——关系

- 在组成上，操作系统包含操作系统内核与其他组件
  - 操作系统内核完全处于“内核层”
  - 其他组件中部分处于“内核层”，部分处于“用户层”
- 在计算机安全领域，当提到“内核”时指的是操作系统中处于内核层中的全部内容，而不仅仅只是操作系统内核



操作系统及其内核——功能

- 操作系统内核的核心功能是硬件抽象、资源管理和任务调度
- 1、硬件抽象
  - 操作系统内核将底层的具体的、有差异的真实硬件设备，抽象成为一个抽象的、相同的虚拟硬件设备（linux设备文件等），并规范出一套统一的交互接口
  - 上层的用户、应用程序不需要关注真实硬件设备的具体型号、交互方式等细节问题，只需要通过这套统一的交互接口访问硬件即可
  - 内存、硬盘、键盘、显示器……

操作系统及其内核——功能

- 硬件抽象的实现不仅仅是靠内核完成的，还需要硬件的配合——驱动程序
  - 驱动程序即添加到操作系统中的模块化代码，其中包含有关硬件设备的信息，操作系统以此与设备进行通信
- 内核的工作就是管理这些硬件的驱动程序，做一个上层程序与底层硬件的之间的“翻译官”

操作系统及其内核——功能

- 2、资源管理
  - 操作系统内核统筹规划整个计算机的硬件使用情况，为上层的应用程序分配和调度资源
  - 典型的资源有
    - CPU寄存器
    - 内存
    - I/O设备
  - CPU寄存器管理
    - 上层不同的应用程序对应不同的进程、线程，每个线程运行过程中CPU寄存器值不同
    - 因此在线程切换的过程中需要进行“现场保护”：保存上一个线程的寄存器状态、载入下一个线程的寄存器状态
    - 程序计数器（PC），堆栈指针（SP），通用寄存器以及MMU(Memory Management Uinit)页表等

操作系统及其内核——功能

- 2、资源管理
  - 内存管理
    - 多线程环境下，每个进程/线程有自己独立的虚拟内存空间，操作系统内核需要将虚拟内存空间映射到实际物理内存中
    - 在现代操作系统“页式内存管理” 模式下，内存管理体现为对内存页的管理，包括
      - 在线程申请新的内存、访问到未分配的内存空间时新建页
      - 线程结束、释放内存时回收页
      - 物理内存不足时将部分内存页交换到硬盘空间

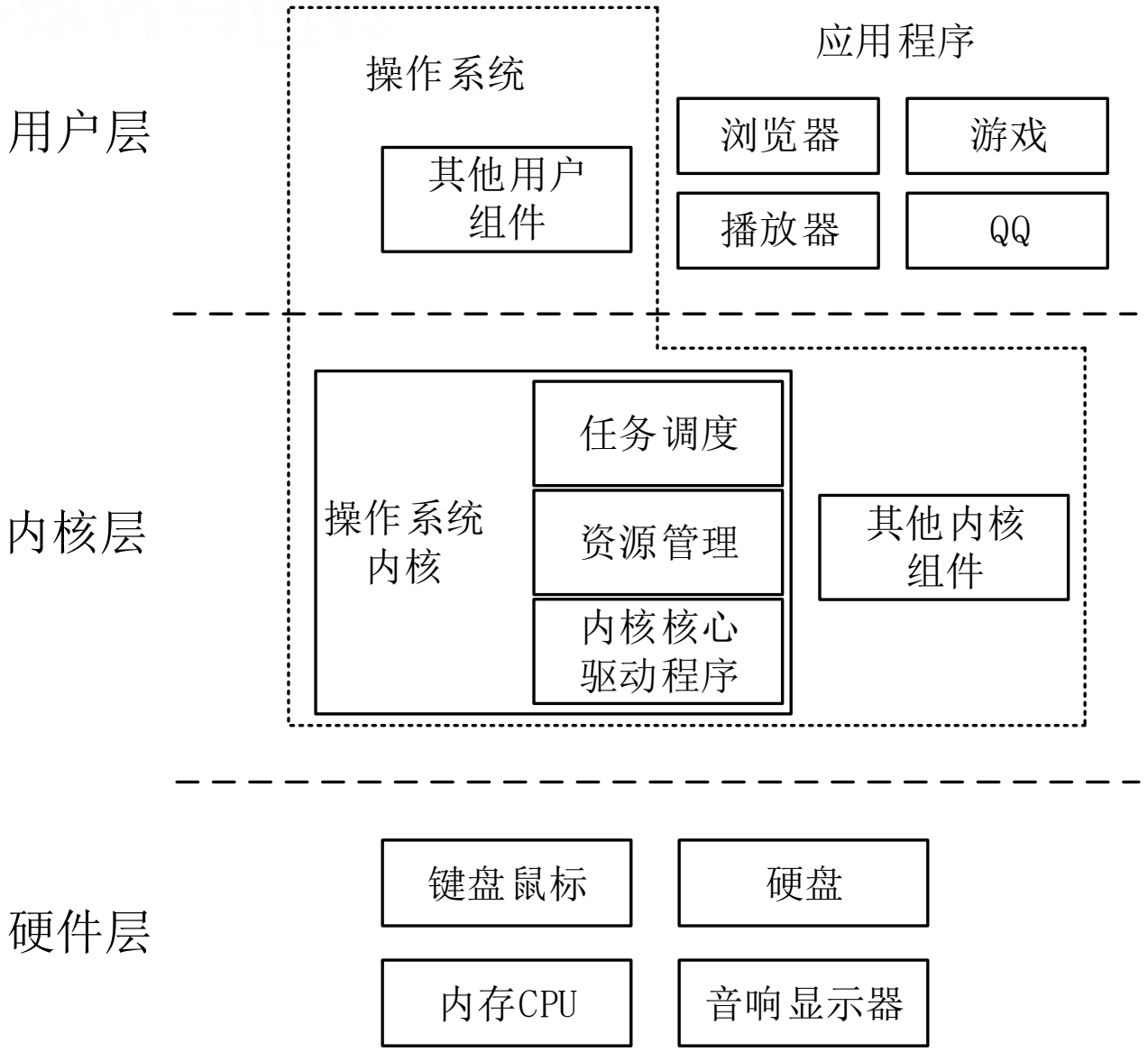
操作系统及其内核——功能

- 2、资源管理
  - I/O设备管理
    - 计算机I/O设备众多，部分设备具有独占性（硬盘、打印机）、部分具有公用性（鼠标、键盘）
    - I/O设备的资源管理十分重要，在保证高效的基础上还需要避免各种死锁、竞争、饥饿等资源调度问题

操作系统及其内核——功能

- 3、任务调度
  - 对于单个CPU核心，同一时间只能运行一个线程，因此需要通过时分复用的方式将CPU轮流分配给不同线程以实现任务的“并行”处理
  - 操作系统的任务调度包括进程/线程切换、上下文环境保存与恢复、中断/事件处理等
  - 其中涉及到很多任务调度算法，以实现任务调度的“最优化”，以及实现特殊事件的处理

操作系统及其内核


用户层
操作系统
其他用户组件
应用程序
浏览器
游戏
播放器
QQ
内核层
操作系统内核
任务调度
资源管理
内核核心驱动程序
其他内核组件
硬件层
键盘鼠标
硬盘
内存CPU
音响显示器

用户层与内核层关系

用户层与内核层关系

- 操作系统内核要处于内核层
  - CPU厂商在设计CPU时使用了权限分层的架构
    - 例如X86架构的CPU工作模式有四层：RING0、RING1、RING2、RING3
    - RING0是内核层， RING3是用户层
    - 当CPU工作在RING0模式下时，称为内核模式
    - 当CPU工作在RING3模式下时，称为用户模式
  - 层级值越低，能执行指令权限越高，通过这种方式能够实现计算机访问控制，从而保证计算机的安全

用户层与内核层关系

- 内核模式与用户模式的区别?
  - 用户模式下进程/线程的内存空间相互独立，内核模式下线程的内存空间是统一的
    - 用户模式下，每个进程/线程有单独的内存空间，无法直接跨进程访问其他进程的内存空间，也无法访问属于内核模式的内存空间
    - 内核模式下，所有进程/线程统一使用同一段内存空间，同时可以访问属于用户层模式内存空间
    - “保护模式”的内容

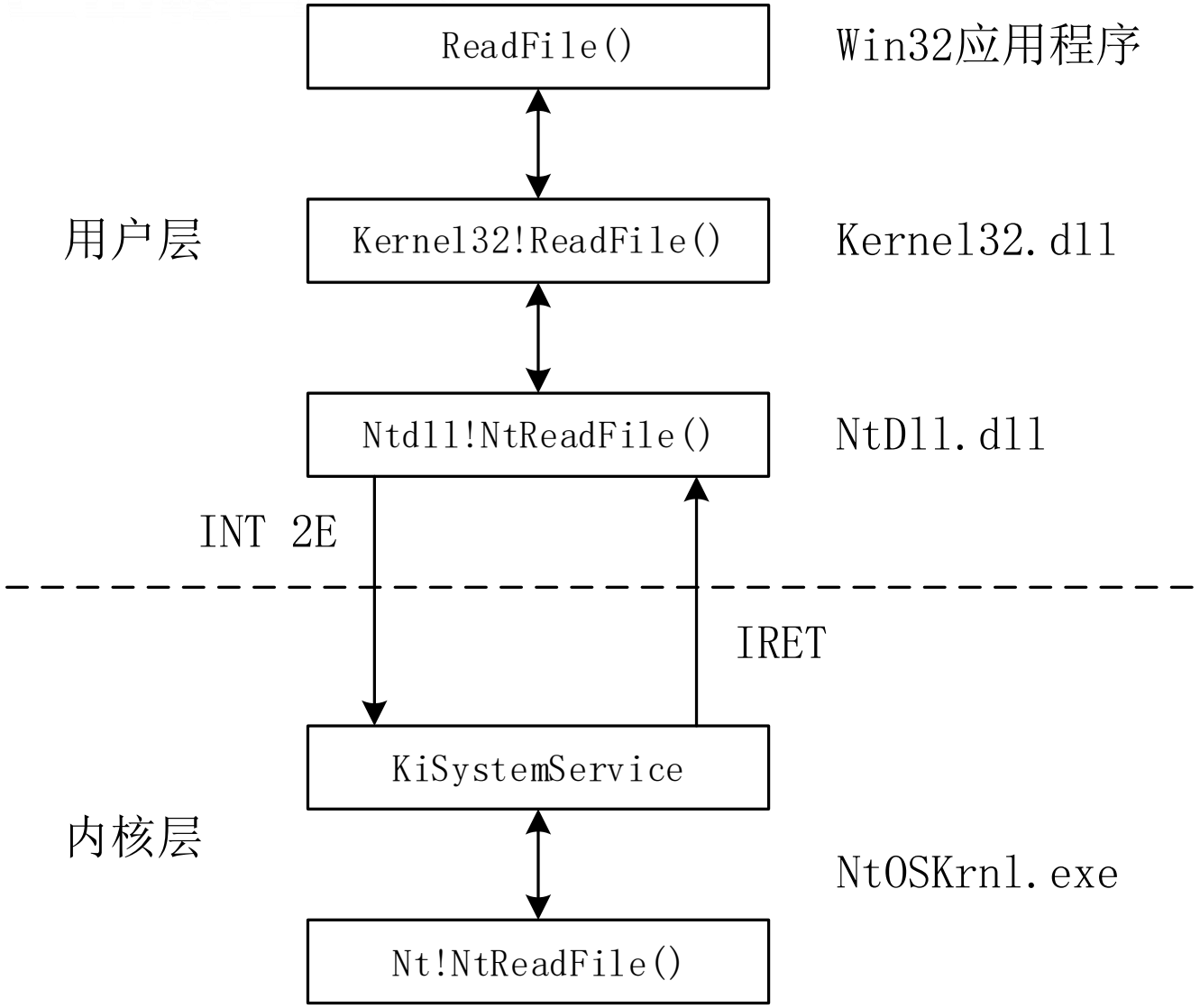
用户层与内核层关系

- 为了方便用户层的程序能够顺利使用一些需要在内核模式下才能完成的功能，操作内核提供了“系统调用（system call）”
- 系统调用通常通过中断的方式实现，用户层的程序通过发送中断请求，使得CPU由用户模式切换到内核模式并响应该请求，在完成请求内容后返回
  - 例如在用户模式下执行INT 2E中断，会调用内核模式下的nt!KiSystemService
- 操作系统内核提供了一张中断向量描述表(IDT）来保存各种中断对应的内核模式处理函数，用户模式中的程序可以按需使用

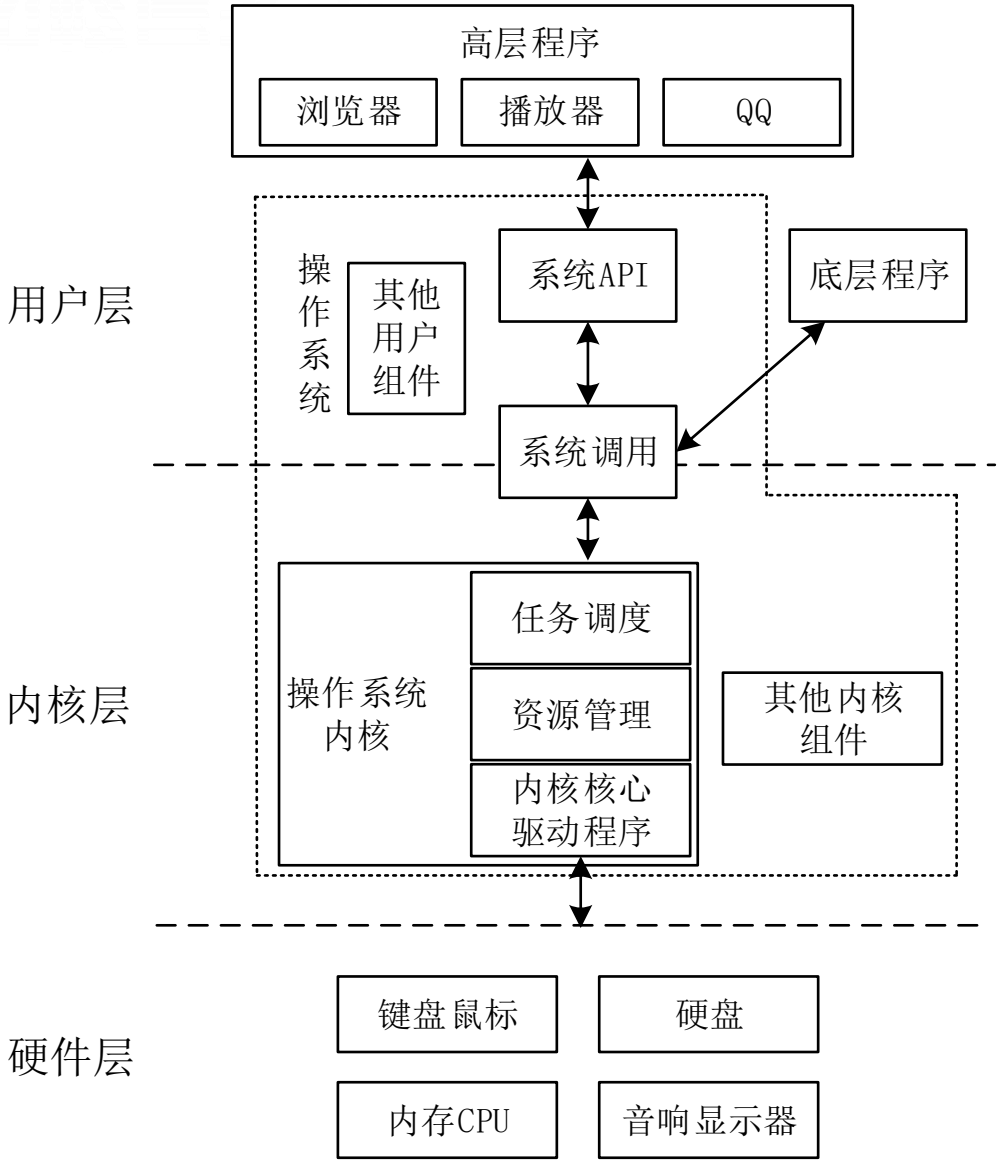
用户层与内核层关系

- 操作系统在此基础上通过进一步包装，将常用的功能分门别类提前设计好，形成一套应用程序编程接口（API）供应用程序使用
  - 例如ntdll.dll中有各种windows提供的从用户模式切换到内核模式的API接口函数，并以此为基础进一步封装形成了kernel32.dll和user32.dll
  - 当然也有不使用API直接通过系统调用来实现内核模式切换的程序

用户层与内核层关系


ReadFile()
Win32应用程序
用户层
Kernel32!ReadFile()
Kernel32.dll
Ntdll!NtReadFile()
NtDll.dll
INT 2E
IRET
KiSystemService
内核层
NtOSKrnl.exe
Nt!NtReadFile()

用户层与内核层关系


高层程序
浏览器
播放器
QQ
用户层
操作系统
其他用户组件
系统API
底层程序
系统调用
内核层
操作系统内核
任务调度
资源管理
内核核心驱动程序
其他内核组件
硬件层
键盘鼠标
硬盘
内存CPU
音响显示器

内核安全

内核安全

- 由于内核模式下的高权限（可以执行特殊指令）和自由性（共享内存、可以访问全部内存空间），在内核模式下可以完成用户层无法完成的任务，因此安全软件和病毒程序都十分青睐于“深入”到内核空间
  - 获取恶意信息、拦截异常行为、保护用户文件等
  - 键盘记录、修改内核数据结构、隐藏进程/文件等
- 在内核层中增加一个自定义的功能最常用的方式是“加载内核驱动”，即将自己的代码放到内核空间中并在操作系统内核里注册和执行
  - 实际中，内核层里有大量并非操作系统自身的驱动
  - 这些驱动程序通常来自于可信赖的第三方，例如硬件厂商、网络服务供应商等等

内核安全

- 但是如果有恶意程序进入到了内核空间，会带来极大的安全问题
  - 由于任意内核线程都可以访问全部内核空间，因此恶意程序可造成的破坏后果很严重
  - 所有内核线程的权限相等，恶意程序与反恶意程序可以互相攻击，胜负难料

内核安全

- 目前，对操作系统内核安全的保障依赖于2个方面
  - 严控入口：通过修复漏洞、访问控制、特征识别等方式防止恶意程序进入内核空间
  - 权限提升：通过底层的硬件或虚拟化技术获得更高的权限从而有效对抗恶意程序
- 与此同时，恶意代码的攻击方式也向着2个方面发展
  - 深度伪装，通过利用各种漏洞、反签名、ROP等方式绕过“入口控制”进入内核空间
  - 底层攻击，利用VMBR（bluepill等）或虚拟化逃逸等方式进入更底层的空间对抗反恶意软件

谢谢！

大成若缺，其用不弊。大盈若冲，其用不穷。大直若屈。大巧若拙。大辩若讷。静胜躁，寒胜热。清静为天下正。