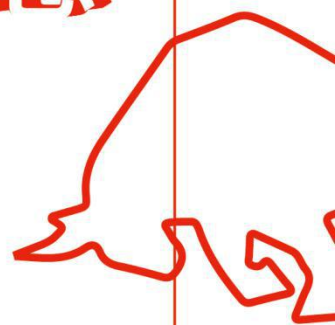
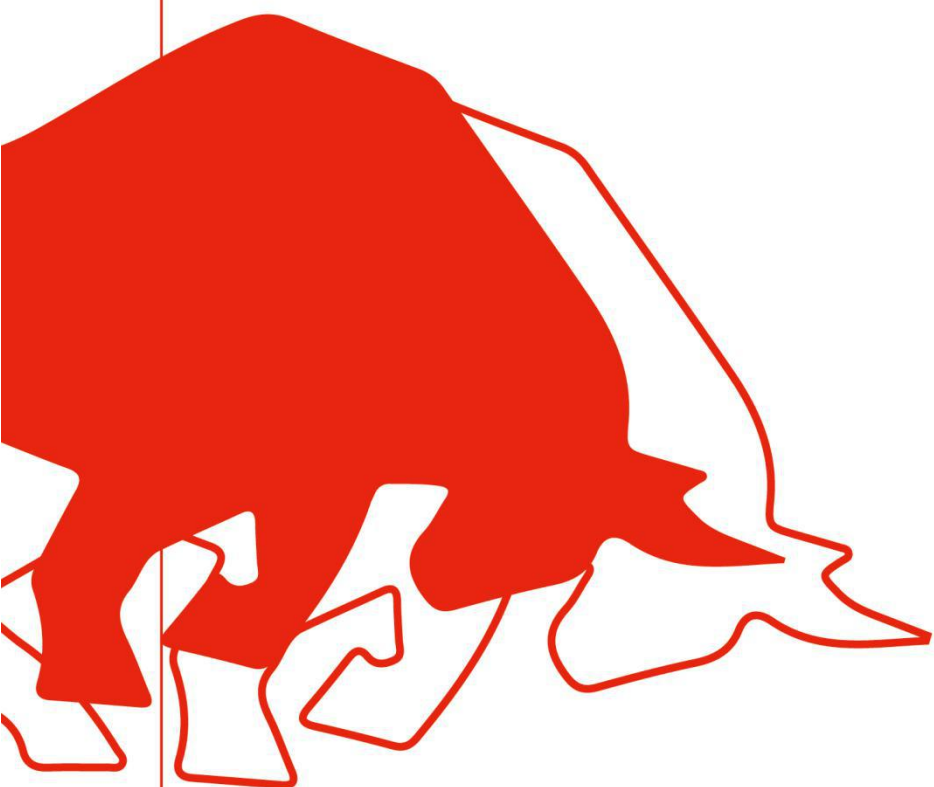




主观题汇总

操作系统概论



使用说明：

1. 此主观题汇总文档是按题型整理的，而题型来自于对历年真题的总结。参考 1810 考期，本科目主观题总分为 60 分，各题型分值分布为：①简答题：5*4 分=20 分；②综合题：4*10 分=40 分。
2. 所有知识点分高中低三个频次，以该知识点被考察次数和最新考试大纲为依据进行排序。
3. 每道题前数字表示曾经被考到的年份和考期，比如 1804，表示该题目在 2018 年 4 月份被考到。没有数字表示的为模拟题。

简答题汇总

高频知识点：

一、操作系统的发展

1、请说明单道批处理系统、多道批处理系统的特点及优缺点。

答案：

单道批处理系统特点有**自动性、顺序性、单道性**。单道批处理系统与无操作系统的计算机系统相比而言，**减少了等待人工操作的时间**。但是单道批处理系统，由于作业独占 CPU 和内存，当作业进行 I/O 时，CPU 只能等待 I/O 完成而无事可做，使得 **CPU 资源不能得到充分利用**。

多道批处理系统特点是**多道性、无序性、调度性、复杂性**。优点是能够**提高 CPU、内存和 I/O 设备的利用率和系统的吞吐量**。缺点是**系统平均周转时间长，缺乏交互能力**。

2、简述分时系统的优点。

答案：

分时系统的优点是向用户提供了**人机交互**的方便性，使多个用户可以通过不同的终端共享主机。

二、操作系统的特征

1、简述现代操作系统的特征。

答案：

现代操作系统都支持多任务，具有并发、共享、虚拟和异步性特征。

并发是指两个或多个事件在**同一时间间隔内**发生。

共享是指系统中的资源可供内存中多个并发执行的进程共同使用。资源共享有两种方式，即**互斥共享和同时共享**。

异步性是指进程以**不可预知的速度**向前推进。

虚拟是指通过某种技术把一个**物理实体**变成**若干逻辑**上的对应物。

三、操作系统的功能

1、简述进程管理的功能。

答案：

进程可以被认为是程序的执行实体。进程管理功能主要包括**进程的描述与组织、进程控制、进程同步、进程通信及进程调度**。

进程控制完成**进程创建、撤销进程、唤醒进程和阻塞进程**等操作。

进程同步功能完成**多个进程**（含线程）运行的**协调与互斥**。

进程通信功能用来实现进程之间的**信息交换**。

进程调度功能是从多个可执行的进程中**选出一个进程**，把**处理机分配**给它。

四、进程的描述

1、进程具有哪些特征？

答案：

（1）**并发性**。（2）**动态性**。（3）**独立性**。（4）**异步性**。（5）**结构特征**。

2、说明进程与程序的区别和联系。

答案：

区别：程序是**静态的**，进程是**动态的**；程序是**永久的**，进程是**暂时存在的**；程序与进程的存在实体不同。**程序是指令的集合**，而**进程是包含了正文段、用户数据段和进程控制块的实体**。

联系：**进程是程序的一次执行**，进程总是对应至少一个特定的程序，执行程序的代码。一个程序可以对应多个进程。

3、请说明进程控制块中所包含的信息。

答案：

（1）**进程标识符信息**；（2）**处理机状态信息**；（3）**进程调度信息**；（4）**进程控制信息**。

五、操作系统内核

1、（1810）何为系统调用？请简述系统调用与一般函数调用的区别。

答案：

系统调用是一群**预先定义好的模块**，它们提供一条**管道**让应用程序或一般用户能由此**得到核心程序的服务**。

系统调用与一般函数调用的区别如下：

- 1) **系统调用运行在系统态(核心态)**，而**一般函数运行在用户态**。
- 2) 系统调用与一般函数调用的**执行过程不同**。**系统调用**执行时，当前进程被**中断**，由系统找相应的系统调用**子程序**，并在**系统态下执行**，执行结果返回进程。
- 3) **系统调用要进行“中断处理”**，比一般函数调用**多了一些系统开销**。

2、请说明单重中断的处理过程。

答案：

（1）**系统关闭中断，保护断点**，把当前要执行的下一条指令的地址保存到内存中，以便

中断返回时，能把这个地址恢复到程序计数器 PC 中，使被中断的程序从断点处开始继续执行。

(2) **转中断处理程序。** 在中断处理程序中完成保护现场的工作，就是把相关的硬件上下文信息保存到内存中。

(3) **保护完现场后**，要根据中断向量到中断向量表中找到与中断处理子例程入口地址相关的信息，由这些信息得到中断处理子例程的入口地址，以**执行中断处理子例程**，完成本次中断处理的特定处理工作。

(4) **恢复现场，开中断**，CPU 返回断点处继续执行被中断的程序。

六、进程同步

1、请说明同步机制应遵循的准则。

答案：

- (1) **空闲让进**
- (2) **忙则等待**
- (3) **有限等待**
- (4) **让权等待**

2、请说明进程同步的任务。

答案：

一是对具有**资源共享关系**的进程，保证诸进程**以互斥的方式访问临界资源**。**临界资源**是必须以互斥方式访问的共享资源。二是对具有**相互合作关系**的进程，保证相互合作的诸进程**协调执行**。

七、线程

1、(1804) 相比于进程，请简述线程在地址空间资源、通信关系、并发性及系统开销方面有哪些特点。

答案：

- (1) **地址空间资源。** 不同进程的地址空间是相互独立的，而同一进程中的各线程共享同一地址空间。
- (2) **通信关系。** 进程之间的通信必须使用操作系统提供的进程间通信机制，而同一进程中的各线程间可以通过直接读或写全局变量来进行通信，甚至无需操作系统的参与。
- (3) **并发性。** 多进程之间可以并发执行，多线程之间也可以并发执行，而且同一进程中的多个线程之间也可并发执行。
- (4) **系统开销。** 由于创建进程或撤销进程时，系统都要为之分配或回收资源，操作系统

所付出的开销远大于创建或撤销线程时的开销。

八、进程调度算法

1、请简述选择进程调度算法的准则。

答案：

- (1) **周转时间短**
- (2) **响应时间快**
- (3) **截止时间的保证**
- (4) **系统吞吐量高**
- (5) **处理机利用率好**

九、实时系统中的调度

1、(1804) 为了实现实时调度，系统需要为调度程序提供哪些信息？(至少写出4个)

在单处理机情况下，如果有6个实时进程，周期时间都是30ms，系统为每个进程分配6ms的处理时间，请问系统能否保证每个实时进程都能在截止时间内完成吗？为什么？

答案：

- (1) **就绪时间、开始截止时间和完成截止时间、处理时间、资源要求、优先级。**
- (2) 不能。因为 $6 \div 30 \times 6 = 1.2 > 1$ 即不满足限制条件，所以不能在截止时间内完成。

2、请说明实现实时调度的基本条件。

答案：

(1) 提供必要的**调度信息**；(2) **系统处理能力强**；(3) 采用**抢占式调度机制**；(4) 具有**快速切换机制**。

3、快速切换机制具有什么能力？

答案：

对外部中断的**快速响应能力**和快速的**进程切换能力**。

十、死锁

1、(1810) 什么是安全状态？写出用于避免死锁的银行家算法的过程。

答案：

当系统**能找到一个进程执行序列**，使系统只要按此序列为每个进程分配资源，就可以保证进程的资源分配和执行**顺利完成**，**不会发生死锁**时，称系统处于**安全状态**。

银行家算法的过程：一个进程**提出资源请求**后，系统先进行资源的**试分配**。然后**检测**本次的

试分配是否使系统处于安全状态，**若安全则按试分配方案分配资源，否则不分配资源。**

2、银行家算法为什么能避免死锁？

答案：

银行家算法是一种能够避免死锁的资源分配算法。其**基本思想**是一个进程提出资源请求后，系统先进行资源的**试分配**。然后**检测**本次的试分配是否使系统处于安全状态，若安全则按试分配方案分配资源，否则不分配资源。

3、系统有同类资源 m 个，被 n 个进程共享，当 $m \leq n$ 时，每个进程最多可以申请多少个资源使系统不会发生死锁？并说明为什么。

答案：

每个进程最多可以申请 1 个资源使系统不会发生死锁。设每个进程最多可申请 x 个资源。**最坏的情况**是：在每个进程都占用了 $(x-1)$ 个资源情况下，系统仍至少剩余一个资源。这样就能保证不发生死锁。即 $n(x-1) + 1 \leq m$ ，得到 $x \leq 1 + (m-1)/n$ ，因为 $m \leq n$ ，故 $x=1$ 。

4、设有 15 个同类资源可供 4 个进程共享，进程对资源的需求量及资源分配情况如下：

| 进程 | 已占资源数 | 最大需求量 |
|----|-------|-------|
| P1 | 3 | 5 |
| P2 | 4 | 7 |
| P3 | 5 | 8 |
| P4 | 1 | 4 |

试问：目前系统是否处于安全状态？为什么？

答案：

目前系统处于**安全状态**。因为**存在安全序列**，目前还有 2 个资源，可以先分配给 P1 进程达到它的最大需求；然后 P1 释放其原来占有的资源，系统就会有 5 个资源，此时能满足 P2、P3 和 P4 的最大需求。

5、什么是死锁？引起死锁的原因是什么？

答案：

由于多个进程**竞争共享资源**而引起的进程不能向前推进的**僵死状态**称为**死锁**。产生死锁的**原因**：**竞争共享资源且分配资源的顺序不当**。

6、请说明产生死锁的必要条件。

答案：

- (1) 互斥条件
- (2) 请求和保持条件
- (3) 不剥夺条件
- (4) 环路等待条件

7、如何预防发生死锁？

答案：

预防死锁可以通过摒弃下列三个必要条件之一来实现：

- (1) 摒弃请求和保持条件
- (2) 摒弃不剥夺条件
- (3) 摒弃环路等待条件

8、请说明解除死锁的途径。

答案：

- (1) 终止处于死锁状态的进程
- (2) 抢占死锁进程占有的资源

十一、程序的链接和装入

1、请说明可重定位装入方式的特点。

答案：

- (1) 编译程序使目标模块的起始地址从 0 开始。
- (2) 程序装入时，装入程序根据内存的使用情况将装入模块装入到内存的某个位置，并对模块进行重定位。

2、采用动态链接的优点是什么？

答案：

采用动态链接的优点是节省内存和外存空间，方便了程序开发。

3、什么叫重定位？

答案：

在程序装入时对目标程序中的指令和数据地址的修改过程称为重定位。

十二、基于分页的虚拟存储系统

1、(1810) 引入虚拟存储技术的目的是什么？虚拟存储系统有哪些特征？

答案：

- 1) **提高内存利用率。**
- 2) **提高多道程序度。**
- 3) 把**逻辑地址空间**和**物理地址空间**分开，使程序员不用关心物理内存的容量对编程的限制。

虚拟存储系统具有以下几个主要特征：**离散性、多次性、对换性、虚拟性。**

2、什么是抖动？抖动产生的原因是什么？

答案：

多道程序度太高，使运行进程的大部分时间都用于进行**页的换入、换出**，而几乎不能完成任何有效工作的状态称为**抖动**。

原因：系统中的进程数量太多，每个进程能分配到的页框太少，以至于进程运行过程中频繁请求调页。

3、简述预防抖动发生的方法。

答案：

- (1) 采用**局部置换策略**
- (2) 在 CPU 调度程序中引入**工作集算法**
- (3) **挂起若干进程**

4、请说明缺页异常机构的主要作用。

答案：

缺页异常机构的主要作用是在**访问内存过程中发现缺页时产生缺页异常信号**，使 CPU **中断当前控制流的执行**，转去**执行操作系统的缺页异常处理程序**，完成请求调页。

5、简述缺页异常机构具体实现过程。

答案：

- (1) 分页硬件通过页表完成逻辑地址到物理地址的映射时，通过**检查页表中的状态位 P**，判断当前被访问的页是否在内存中。如果不在，则产生缺页异常信号。
- (2) 执行操作系统的**缺页异常处理过程**。先在内存中为请求调入的页找一个空闲页框。然后，调度磁盘操作，把需要的页装入找到的空闲页框中。
- (3) **修改页表**，更新已经调入页的存在位、在内存中的页框号、访问位和保护位等字段的值。
- (4) **重新开始执行**因缺页而被中断的指令。

6、什么叫最少页框数？

答案：

最少页框数，是指**能保证进程正常运行所需要的最少的页框数**。如果系统为进程分配的页框数少于这个值，进程将无法正常运行。

十三、分段存储管理

1、(1804) 在内存管理中，分页管理和分段管理的主要区别是什么？

答案：

- (1) **页**是按物理单位划分的，**段**是按逻辑单位划分的。
- (2) **页的大小是固定的**，而**段的大小不固定**。
- (3) **分页的地址空间是一维的**，**分段的地址空间是二维的**。

2、简述段页式存储管理系统的地址变换过程。

答案：

- (1) 以段号 s 作索引，找到段 s 的段表项，得到该**段页表的起始地址**。
- (2) 通过分页机制从**段内偏移 d** 中分离出**页号 P** 和**页内偏移 W** 。
- (3) 以段内页号 P 作索引，从段 s 的页表中搜索**页号 P 对应的页表项**。
- (4) 从**页表项**中得到页所在的**页框号**。
- (5) 由**页框号**与**页内偏移 W** 得到某逻辑地址对应的**物理地址**。

十四、文件系统的实现

1、(1810) 磁盘文件系统可以使用磁盘链接表实现文件存储，也可以使用内存的链接表分配文件的存储空间。请论述它们在空间利用率和存储时间上的各自特点。

答案：

使用**磁盘链接表**的分配：可以**充分利用每个簇**，不会因为磁盘碎片（除了最后一块中的内部碎片）而浪费存储空间，管理也比较**简单**。**缺点**是随机存取相当**缓慢**。

使用**内存的链接表**分配：将文件所在的磁盘的簇号存放在内存的表（文件分配表）中。访问文件时，只需从内存文件分配表中顺着某种链接关系查找簇的簇号。不管文件有多大，在目录项中**只需记录文件的第一块数据所在簇的簇号**，根据它查找到文件的所有块。这种方法的一个**缺点**是必须把整个表都存放在内存中，**不适合大容量的磁盘**。

2、(1804) 某文件系统的 i 结点包括 12 个地址项，每个地址项存 64 位地址（8 个字节），其中 10 个地址项用来存直接地址，一个地址项存一次间接地址，一个地址项存二次间接地

址，当簇大小为 4KB 时，请问，系统能管理的单个文件最大长度是多少？（请写出计算的中间步骤）。

答案：

簇大小：4KB=4*1024B=4096B；

每个簇能存放的**簇号数量**：4096B/8B=512 个；

10 个直接地址项能访问的**磁盘空间大小**：10*4KB=40KB；

1 个**一次间接地址**项能访问的磁盘空间大小：512*4KB=2MB；

1 个**二次间接地址**项能访问的磁盘空间大小：512*512*4KB=1GB；

所以，系统能管理的单个文件**最大长度**是 40KB+2MB+1GB。

3、简述使用磁盘链接表的分配的优缺点。

答案：

优点：可以充分利用每个簇，**不会**因为磁盘碎片而**浪费存储空间**，**管理**也比较简单。**缺点**：随机存取相当**缓慢**。

4、磁盘空间管理的主要内容是什么？

答案：

磁盘空间管理是文件系统的重要功能，包括**记录空闲磁盘信息**、**设计文件的存放方式**，以及**规定文件系统的簇大小**等内容。

5、实现文件存储有哪几种常用方式？

答案：

实现文件存储，有以下几种常用方式：（1）**连续分配方式**；（2）使用**磁盘连接表**的分配方式；（3）使用**内存的连接表**分配方式；（4）**i-结点**方式。

十五、I/O 系统的组成

1、设备控制器的组成有哪些？

答案：

设备控制器的逻辑构成主要包括以下 3 部分：1）**设备控制器与处理机的接口**：数据线、控制线和地址线；2）**设备控制器与设备的接口**：设备与设备控制器接口中的 3 类信号为数据、状态和控制信号；3）**I/O 逻辑**：I/O 逻辑主要由指令译码器和地址译码器两部分功能部件构成，将 CPU 的命令和地址分别译码，控制指令设备进行 I/O 操作。

2、说明设备控制器的结构和功能。

答案：

设备控制器的功能如下：1) 接收和识别命令；2) 数据交换；3) 设备状态的了解和报告；4) 地址识别；5) 数据缓冲；6) 差错控制。

设备控制器的逻辑构成主要包括以下 3 部分：1) 设备控制器与处理机的接口；2) 设备控制器与设备的接口；3) I/O 逻辑。

十六、I/O 控制方式

1、在 DMA 控制器中，实现主机与设备控制器的数据传输，需要设置哪几类寄存器？

答案：

为了实现主机与设备控制器之间成块数据的传送，在 DMA 控制器中设计了 4 类寄存器：命令/状态寄存器 CR、内存地址寄存器 MAR、数据寄存器 DR 和数据计数器 DC。

2、简述采用轮询方式的缺点。

答案：

使用轮询控制方式使 CPU 经常处于由于输入/输出而造成的循环测试状态，造成 CPU 的极大浪费，影响整个系统的吞吐量。

十七、设备分配

1、(1804) 请简述 SPOOLing 系统的优点。

答案：

- (1) 提高了 I/O 速度；
- (2) 将独占设备改造为共享设备；
- (3) 实现了虚拟设备功能。

2、简述 SPOOLing 系统的组成。

答案：

- (1) 输入井和输出井
- (2) 输入缓冲区和输出缓冲区
- (3) 输入进程和输出进程
- (4) 请求 I/O 队列

十八、磁盘管理

1、(1810) 磁盘的访问时间由哪几部分组成？其中花费时间最长的是哪个？

答案：

磁盘的访问时间分为以下三部分：1. **寻道时间**；2. **旋转延迟时间**；3. **传输时间**。

其中，花费时间最长的是**寻道时间和旋转延迟时间**

中频知识点：

一、操作系统的功能

1、什么叫地址映射？

答案：

CPU 执行程序过程中访问内存时，需要把程序的**逻辑地址转变为物理地址**，这个转换的过程称为地址映射。

2、请说明内存管理的主要任务。

答案：

内存管理的主要任务是为**多道程序**的运行提供良好的**环境**，**方便用户使用内存**，**提高内存的利用率**，以及从逻辑上扩充内存以实现**虚拟存储**。

3、简述设备管理应具有的功能。

答案：

设备管理应该具有以下功能。

- 1) **缓冲管理**。管理各种缓冲区。
- 2) **设备分配**。分配用户 I/O 所需要的设备。
- 3) **设备处理**。由设备驱动程序来实现 CPU 与设备控制器之间的通信。
- 4) **设备独立性和虚拟设备**。设备独立性功能使应用程序独立于物理设备。虚拟设备的功能是把一个物理设备变换为多个对应的逻辑设备，使一个物理设备能供多个用户共享。

4、简述内存扩充可以实现的功能。

答案：

(1) **请求调入功能**。允许系统在装入一部分用户程序时就启动该程序的运行，在程序运行过程中若发现要执行的指令或要访问的数据尚未装入内存，通过请求调入将需要的指令或数据装入内存。

(2) **置换功能**。在请求调入时，若发现内存空间不足，需要系统先将内存中的一部分内容置换到外存中，以便腾出内存空间装入当前需要的内容。

二、多处理器调度

1、自调度有什么优缺点？

答案：

自调度的**优点是易移植和有利于提高 CPU 的利用率。缺点是瓶颈问题、低效性和线程切换频繁。**

2、什么是自调度方式？

答案：

采用自调度的系统中设置有一个**公共的就绪队列**，任何一个空闲的处理器都可以自行从该就绪队列中选取一个进程或者一个线程运行。

3、什么是专用处理器分配？

答案：

在一个应用程序执行期间，**专门为该应用程序分配一组处理器**，每个线程一个，这组处理器供该应用程序专用，直至应用程序完成。

三、程序的链接和装入

1、静态链接程序完成什么功能？

答案：

- (1) **对逻辑地址进行修改；**
- (2) **变换外部调用符号。**

2、什么叫动态运行时装入？

答案：

进程在装入内存后，还可能**从内存的一个区域移动到另一个区域**，这种情况可能发生在支持虚拟存储的系统中。一个进程在被换出之前所在的内存位置与后来被从外存重新调入内存时所在的内存位置不同，在这种情况下，**地址映射**必须延迟到**进程执行时**再进行，把这种装入方式称为动态运行装入。

四、连续分配存储管理方式

1、请说明连续分配方式的种类。

答案：

- (1) **单一连续区分配方式**
- (2) **固定分区分配方式**
- (3) **动态分区分配方式**

2、内存回收流程是什么？

- (1) **释放**一块连续的内存区域。
- (2) 如果被释放区域与其他空闲区相邻，则**合并空闲区**。
- (3) **修改空闲分区链**。

3、简述动态分区分配算法的原理。

答案：

系统初始只有一个大空闲区，当进程请求空间时，由系统**根据进程需要的空间大小划分出一片空闲区**分配给进程。系统运行一段时间后，内存的空闲区可能**散布在不连续的区域**。系统维护一个**记录当前空闲区情况的数据结构**，当进程请求内存时，系统从所有空闲区中找到**大小合适的空闲区进行分配**。系统中分区的大小和数量都是变化的，空闲区的大小和数量也是变化的。

4、使用空闲分区表的缺点是什么？

答案：

若设置**太多**表项，会**浪费**内存空间；设置**太少**的表项，当空闲分区较多时，**无法记录**所有空闲分区的情况。在实现时，**结构数组的大小不容易确定**。

5、简述动态分区分配时内存分配的流程。

答案：

- (1) **检索空闲分区链**。
- (2) 如果 $m.size - u.size \leq size$ ，则直接把该空闲分区分配给进程。
- (3) 将分配给进程的**分区起始地址**返回给内存分配程序的调用者。
- (4) **修改空闲分区链表**。

五、基本分页存储管理方式

1、请说明引入 TLB 之后的地址变换过程。

答案：

- (1) CPU 产生分页的**逻辑地址页号**和**页内偏移**后，将该逻辑地址的页号提交给 **TLB**。
- (2) **查找 TLB**，如果找到**页号**，则把该页所在的页框号用于形成物理地址。否则(TLB 失效)查找**内存页表**，从内存页表中找到相应的页表项，读取页所在的页框号，以**形成物理地址**。
- (3) 如果所查找的页表项不在 TLB 中，在访问完内存页表后，要把找到的**页表项中的页号和页框号**写到 **TLB 中**。如果 TLB 中的条目已满，系统会根据某种策略(如最近最少使用替

换)选择一个 TLB 中的条目，用**刚访问的页表项信息**替换选中的这个 TLB 条目。

2、请说明页与页框的基本概念。

答案：

- (1) 将一个进程的逻辑地址空间分成若干个**大小相等**的片，称为**页**。
- (2) 将物理内存空间分成与**页大小相同**的若干个存储块，称为**页框或页帧**。

3、什么是页内碎片？

答案：

进程的**最后一页**一般装不满一个页框，而形成了**不可利用的碎片**，称为“页内碎片”，是一种内部碎片。

4、什么是页表？它的作用是什么？

答案：

页表是系统为**进程**建立的**数据结构**，页表的作用是实现**从页号到页框号**的映射。

5、简述分页地址变换过程。

答案：

- (1) 进程执行，PCB 中**页表起始地址**和**页表长度**送 **CPU 的页表寄存器**。
- (2) CPU **访问**逻辑单元 A。
- (3) 由分页地址变换硬件自动将 A 分为**页号**和**页内偏移**两部分。
- (4) 由硬件检索页表，得到 A 所在的页对应的**页框号**。页号对应的**页表项起始地址=页表起始地址+页表项长度*页号**(页表项中存有页框号)。从该地址指示的内存单元中读取页框号。
- (5) **页框号**和**页内偏移地址**送**物理地址寄存器**，计算物理地址。

六、文件

1、简述什么是 ASCII 文件？

答案：

ASCII 文件由**多行正文**组成，在某些系统中每行用**回车符**结束，某些则用**换行符**结束，而有些系统还同时采用回车符和换行符，如 MS-DOS。各行的长度不必相同。

2、文件的类型有哪些？

答案：

文件的类型有**正规文件**、**目录文件**、**字符设备文件**和**块设备文件**等。

3、简述 ASCII 文件的优势。

答案：

ASCII 文件的明显优势是**可以显示和打印**，也可以用通常的**文本编辑器**进行编辑。另外，如果程序以 ASCII 文件作为**输入和输出**，就很容易把一个程序的输出作为另一个程序的输入。

七、文件系统的实现

1、什么是 i 结点？在 i 结点中使用间接地址项有什么好处？

答案：

在使用**内存的链接表分配**方法中，为每个文件赋予一个被称为 i 结点的数据结构，其中列出了**文件属性**和**文件块的磁盘地址**；

如果每个 i 结点只能存储固定数量的磁盘地址，那么当一个文件比较大，所含簇的数目太多时，i 结点将无法记录所有的簇号，这个时候采用**间接地址项**可以解决这个问题，即使一个磁盘地址不存放数据块，而是**存放簇号**。对于一个大文件，i 结点内的其中一个地址是一次间接块的簇号，这个块包含了**存放文件数据的簇的簇号**。如果还不够的话，在 i 结点中还有**二次间接块**的簇号，其中存放了若干个一次间接块的簇号。如果文件再大的话，可以使用**三次间接块**。

2、简述簇的定义。

答案：

文件系统通常是以 **2 的 n 次方个连续的扇区**为单位对文件进行磁盘空间分配，把分配给文件的连续扇区构成的**磁盘块**称为簇。

3、请说明连续分配的优点。

答案：

实现简单，记录每个文件用到的簇**仅需存储两个数字即可** **第一块的磁盘地址和文件的块数**。其次，**读操作性能好**，在单个操作中就能从磁盘上读取整个文件。

八、I/O 软件原理

1、操作系统的设备管理软件可以实现哪些功能？

答案：

操作系统的设备管理软件可以实现如下功能：1.**实现 I/O 设备的独立性**；2.**错误处理**；3.**异步传输**；4.**缓冲管理**；5.**设备的分配和释放**；6.**实现 I/O 控制方式**

2、简述用户程序及操作系统中设备管理软件的组织层次。

答案：

在用户程序及操作系统中设备管理软件的构成和关系中，将设备管理软件组织成 4 个层次：

1.用户层软件；2.与设备无关的软件层；3.设备驱动程序；4.中断处理程序（底层）。

3、请描述中断处理程序发挥作用的过程。

答案：

用户进程在发出 I/O 请求后，由于等待 I/O 的完成而被**阻塞**。CPU **转去执行其他任务**，当**I/O 任务完成**，**控制器向 CPU 发中断请求信号**，CPU 转去执行中断处理程序，由中断处理程序**唤醒**被阻塞的设备用户进程。

4、简述设备驱动程序的定义及主要任务。

答案：

设备驱动程序是 I/O 进程与设备控制器之间的通信程序，其主要任务是**接受上层软件发来的抽象的 I/O 请求**，如 read 或 write 命令，把它们**转换**为具体的要求后，**发送给设备控制器**，**启动**设备去执行。此外，它也将由设备控制器发来的信号传送给上层软件。

九、磁盘管理

1、简述 NStepSCAN 算法是怎样解决“磁臂粘着”现象的。

答案：

NStepSCAN 算法是将**磁盘请求队列分成若干个长度为 N 的子队列**，磁盘调度将按**先来先服务（FCFS）算法**依次处理这些子队列。每处理一个队列时又按**扫描（SCAN）算法**，对一个队列处理完后，再处理其他队列。当正在处理某子队列时，如果又出现**新的磁盘 I/O 请求**，便将新请求进程放入其他队列，这样就避免出现“磁臂粘着”现象。

2、请说明什么是进程“饥饿”现象。

答案：

在最短寻道时间优先（SSTF）算法中，只要不断有**新的进程**的请求到达，且其所要访问的磁道与磁头当前所在磁道的**距离较近**，这种新进程的 I/O 请求必然优先被满足，导致所要访问的**磁道距离与磁头所在位置较远的磁盘任务总是不能得到调度的现象**称为“饥饿”现象。

低频知识点：

一．什么是操作系统

1、简述操作系统必须完成的两个主要目标。

答案：

操作系统必须完成的两个主要目标如下：

- 1) **与硬件部分相互作用**，为包含在硬件平台上的所有底层可编程部件提供服务。
- 2) 为运行在计算机系统上的应用程序（即所谓用户程序）**提供执行环境**。

二、进程的控制

1、调用创建新进程的系统调用来创建进程的一般步骤有哪些？

答案：

- (1) 申请**空白 PCB**；(2) 为**新进程分配资源**；(3) **初始化**进程控制块；(4) 将新进程**插入就绪队列**。

2、请简述进程的唤醒过程。

答案：

- (1) 将进程从阻塞队列中**移出**；
- (2) 将进程状态由阻塞态改为**就绪态**；
- (3) 将进程**插入就绪队列**。

3、操作系统在什么情况下可能进行进程的阻塞和唤醒操作？

答案：

- (1) **请求**系统服务；(2) **启动**某种操作；(3) **新数据尚未到达**；(4) **无新工作可做**。

4、简述操作系统通过系统调用完成进程终止的一般过程。

答案：

操作系统通过系统调用完成进程终止的一般过程如下：

- (1) 从进程 PCB 中**读进程状态**。
- (2) 若进程正在执行，则**终止**进程的执行。
- (3) 若进程有子孙进程，在大多数情况下需要**终止子孙进程**。
- (4) **释放资源**。
- (5) 将终止进程的 PCB **移出**。

5、操作系统在什么情况下需要创建进程？

答案：

- (1) **用户登录**。

(2) 作业调度。

(3) 提供服务。

(4) 应用请求。

6、请简化描述完成进程阻塞的过程。

答案：

(1) 将进程的状态改为**阻塞态**。

(2) 将进程**插入相应的阻塞队列**。

(3) 转进程调度程序，从**就绪进程中选择进程**为其分配 CPU。

三、操作系统内核

1、请简述引起中断的原因。

答案：

(1) **人为**设置中断；(2) **程序性**事故；(3) **硬件**故障；(4) **I/O** 设备；(5) **外部事件**。

2、请简述操作系统内核的功能。

答案：

(1) **支撑**功能；(2) **资源管理**功能。

3、时钟驱动程序完成什么功能？

答案：

(1) 维护**日期和时间**；(2) **递减**当前进程在一个**时间片**内的**剩余执行时间**，并检查是否为零，防止进程运行超时；(3) 对 CPU 的使用情况**记账**；(4) **递减报警计数器**。

4、时钟中断信号是如何产生的？

答案：

OS 时钟管理硬件（可编程间隔定时器 PIT）主要由 3 部分构成：**晶振、计数器和保持寄存器**。**晶振**能够产生固定频率的**脉冲**，每产生一次脉冲，**计数器的值减 1**，当计数器的值减为**0**时，产生一次时钟**中断信号**，保持寄存器的值再次送计数器。由可编程间隔定时器产生的时钟中断信号送到可编程中断控制器的时钟中断信号引脚上。

四、进程通信

1、进程之间的高级通信机制分为哪几类？

答案：

- (1) 共享存储器系统；
- (2) 消息传递系统；
- (3) 管道通信系统；
- (4) 消息缓冲队列。

五、线程

1、请说明用户线程的阻塞过程。

答案：

- (1) 停止该线程的执行，将该**线程**的状态改为**阻塞态**。
- (2) 将该线程控制块**插入相应的线程阻塞队列**。
- (3) 将该线程所属**进程**的状态改为**阻塞态**。
- (4) 将该线程所属进程的进程控制块**插入相应的进程阻塞队列**。
- (5) 将控制传递给进程调度程序，**重新进行进程调度**。

2、请说明用户线程的唤醒过程。

答案：

- (1) 将该线程所属**进程**的状态由阻塞改为**就绪**。
- (2) 将该线程所属**进程**的进程控制块从进程阻塞队列中**移出**。
- (3) 将该线程所属**进程**的进程控制块**插入进程就绪队列**。
- (4) 将该**线程**状态由阻塞改为**就绪**。
- (5) 将该**线程**的线程控制块从线程阻塞队列中**移出**。
- (6) 将该**线程**的线程控制块**插入线程就绪队列**。

3、请说明内核线程的唤醒过程。

答案：

- (1) 将该线程状态由阻塞态改为**就绪态**。
- (2) 将该线程的线程控制块从线程阻塞队列中**移出**。
- (3) 将该线程的线程控制块**插入线程就绪队列**。

4、请说明内核线程的阻塞过程。

答案：

- (1) 停止该线程的执行，将该线程的状态改为**阻塞态**。
- (2) 将该线程控制块**插入相应的线程阻塞队列**。

(3) 将控制传递给线程调度程序，**重新进行线程调度**。

5、简述内核线程创建的过程。

答案：

内核线程的创建是由**内核**完成的。内核为新线程**申请空白线程控制块**，并**初始化线程控制块**，然后将新线程**插入其所属进程的就绪线程队列**。

六、进程调度算法

1、说明什么是时间片轮转调度算法？

答案：

时间片轮转调度算法：系统将所有的就绪进程按**先来先服务的原则**，排成一个队列，每次调度时把 CPU 分配给**队首**进程，并令其执行一个时间片。当**时间片用完时**，调度程序**终止**当前进程的**执行**，并将它送到就绪队列的**队尾**。

2、时间片大小的确定应考虑什么因素？

答案：

系统对**响应时间的要求**、就绪队列中**进程的数目**、**系统的处理能力**。

3、请说明短进程优先调度算法的优缺点。

答案：

优点：能有效**降低进程的平均等待时间**，**提高系统的吞吐量**。

缺点：**对长进程不利**；不能保证紧迫进程的及时处理；进程的长短根据用户的估计而定，故**不一定能真正做到短进程优先**。

七、进程切换

1、请简述进程切换的步骤。

答案：

- (1) **保存**包括程序计数器和其他寄存器在内的 **CPU 上下文环境**。
- (2) **更新**被替换进程的进程控制块。
- (3) **修改进程状态**，把执行态改为就绪态或者阻塞态。
- (4) 将被**替换进程**的进程控制块**移到**就绪队列或阻塞队列。
- (5) 执行通过进程调度程序选择的新进程，并**更新**该进程的进程控制块。
- (6) **更新**内存管理的**数据结构**。
- (7) **恢复**被调度程序选中的进程的**硬件上下文**。

八、分段存储管理

1、简述采用段页式内存管理的好处。

答案：

采用段页式内存管理的一个显然的好处是，程序员可以使用分段的逻辑地址，而实际上进程却以**页为单位**存放于物理内存中。

2、引入分段机制的优点是什么？

答案：

引入分段机制的优点是**方便编程、分段共享、分段保护、动态链接**，以及**存储空间的动态增长**。

3、请说明段页式存储管理的基本原理。

答案：

在段页式存储管理系统中，将用户进程的逻辑空间先划分成**若干个段**，每个段再划分成**若干个页**。进程以**页为单位**在物理内存中离散存放，每个段中被离散的页具有逻辑相关性。为了实现段页式存储管理的**地址映射**，操作系统为每个进程建立一个**段表**，为进程的每个段建立一个**页表**。进程段表的每一个**段表项**存放某个段的**页表起始地址和页表长度**。

4、请说明分段系统的地址变换过程，求相应物理地址的步骤。

答案：

若已知逻辑单元的地址为 $s:d$ ，求相应物理地址的步骤如下。

(1) 以**段号**作索引，从段表中找到段号为 s 的**段表项**。

(2) 从找到的**段表项**中读出 s 段的**基地址和段大小**。

(3) 如果 $d \leq \text{段大小}$ ，则将**段基址与段内偏移 d 相加**，得到与逻辑单元 $s:d$ 相应的物理单元地址。

九、Linux 的伙伴系统

1、请说明满足什么条件时，两个块可以称为伙伴。

答案：

(1) 具有**相同的大小**，记作 b 。

(2) 他们的**物理地址是连续的**，**起始地址是 $2b$ 的整数倍**。

十、目录

1、简述树形目录的优缺点。

答案：

树形目录的**优点是便于文件的分类，层次结构清晰**，便于管理和保护，解决了重名问题，查找速度**加快**。**缺点是**找一个文件按路径名逐层检查，由于每个文件都放在外存中，多次访问磁盘**会影响速度，结构相对复杂**。

十一、缓冲管理

1、简述缓冲池中的三种缓冲队列。

答案：

三种缓冲队列分别是：**1.空缓冲队列 emq**：是由空缓冲区链接而成的队列；**2.输入队列 inq**：是由装满输入数据的缓冲区链接成的队列；**3.输出队列 outq**：是由装满输出数据的缓冲区链接成的队列。

2、简述什么是双缓冲技术。

答案：

双缓冲技术是通过给操作系统指定两个系统缓冲区，对单缓冲技术进行改进，当一个进程**往这一个缓冲区中传送数据时**，操作系统正在**清空另一个缓冲区**，这种技术又叫做缓冲交换。

3、在缓冲池的组成中，包含哪几种类型的缓冲区？

答案：

公共缓冲池既可用于输入，又可用于输出，其中至少包含三种类型的缓冲区，分别是：**空缓冲区、装满输入数据的缓冲区和装满输出数据的缓冲区**。

4、简述缓冲区有哪几种工作方式？

答案：

缓冲区的工作方式有以下四种：**收容输入、提取输入、收容输出和提取输出**。

5、简述引入缓冲区的作用。

答案：

引入缓冲区除了可以**缓和 CPU 与 I/O 设备之间速度不匹配的矛盾**，还能**降低对 CPU 中断频率的要求**，**放宽对中断响应时间的限制**，**提高 CPU 和 I/O 设备之间的并行性**。

十二、设备分配

1、简述对于具有 I/O 通道的系统，在进程提出 I/O 请求后，系统的设备分配程序进行设备

分配的步骤。

答案：

(1) 分配设备

(2) 分配控制器

(3) 分配通道

2、通道控制表包含哪些信息？

答案：

通道标识符、通道状态、与通道连接的控制器表首址、通道队列的队首指针、通道队列的队尾指针。

3、实现设备独立性有哪些好处？

答案：

实现设备独立性好处如下：1.应用程序与**物理设备无关**，系统增减或变更外围设备时不要修改应用程序；2.**易于处理输入输出设备的故障**；3.提高了系统的**可靠性**，增加了设备分配的灵活性。

4、设备独立软件可以完成什么功能？

答案：

主要功能如下：**1.执行所有设备的公有操作**。执行的操作包括：独占设备的分配与回收、将逻辑设备名映射为物理设备名、对设备进行保护、缓冲管理和差错控制；**2.向用户层软件提供统一的接口**。设备独立软件向用户层屏蔽访问硬件的细节，向应用软件和最终用户提供简单、统一的访问接口。

5、设备独立性的概念是什么？

答案：

为了提高操作系统的**可适应性和可扩展性**，在现代操作系统中都毫无例外地实现了**设备独立性**，也称为**设备无关性**。其基本含义是**应用程序独立于具体使用的物理设备**。

综合题汇总

高频知识点：

一、信号量机制

(1810, 1804) 某展览会任何时刻最多可容纳 500 名参观者，当展览厅中少于 500 名参观者时，则厅外的参观者可立即进入，否则需在外面等待。参观者进入展厅时，都必须在入口处登记（并领取资料和礼品），假定入口处有 5 位工作人员，每位工作人员每次只能接待一个参观者登记，请用记录型信号量机制实现参观者进程的同步算法。

register() 是完成登记并领取资料和礼品的函数；visit() 是完成参观展览的函数；leave() 是表示参观完毕离开的函数。下面已经给出了部分代码，请填写 1~2 空白处的代码。

注：每一空可能不止一行代码。

```
struct semaphore cap, officer;           //分别表示展览会容量、工作人员的信号量  
_____(1)_____
```

```
void process Visitor()                  //参观者  
{  
    _____(2)_____  
}
```

答案：

```
(1) cap.value=500;  
officer.value=5;  
(2) wait(cap);  
wait(officer);  
register();  
signal(officer);  
visit();  
leave();  
signal(cap);
```

二、基本分页存储管理方式

1、(1810, 1804) 某基本分页存储系统中，内存容量为 64k，每页的大小为 1k，对一个 4 页大的作业，其 0、1、2、3 页分别被分配到内存的 2、4、6、7 页框中。

(1) 请简述地址转换的基本思想。

答案：

地址转换时，先从**页表控制寄存器**中找到相应的**页表**，再以**页号**为索引去检索页表。查找操作由硬件执行。在执行检索**之前**，先将**页号与页表长度进行比较**，如果页号大于或等于页表长度，则表示本次所访问的地址已超越进程的地址空间。于是，这一错误将被系统发现并产生地址越界中断。若未出现越界错误，则将**页表始址与页号和页表项长度的乘积相加**，便得到该表项在页表中的位置，于是可从中得到该页的**物理块号**，将之装入物理地址寄存器中。与此同时，再将有效地址寄存器中的**页内地址**送入物理地址寄存器的块内地址字段中。这样便完成从逻辑地址到物理地址的变换。

(2) 根据上面的已知条件计算出下列逻辑地址对应的物理地址是什么？(本题所有数字均为十进制表示) ①1023 ②2500 ③4500

答案：

①**页号** $P = \text{INT}(1023/1024) = 0$ ，**页框号**为 2， $W = \text{MOD}(1023/1024) = 1023$ ，**物理地址** $= 2 \times 1024 + 1023 = 3071$

②**页号** $P = \text{INT}(2500/1024) = 2$ ，**页框号**为 6， $W = \text{MOD}(2500/1024) = 452$ ，**物理地址** $= 6 \times 1024 + 452 = 6596$

③**页号** $P = \text{INT}(4500/1024) = 4$ ，因**页号超过页表长度**，故该逻辑地址非法。

三、磁盘调度

1、(1810, 1804) 假设磁盘有 400 个磁道，磁盘请求中是一些随机请求，它们按照到达的次序分别处于 358、129、383、418、59、256、450、238、179、420 号磁道上，当前磁头在 220 号磁道上，并向磁道号增加的方向移动。

(1) 请给出按 **SSTF 算法** 进行磁盘调度时满足请求的次序，并计算出它们的平均寻道长度。

答案：

| (从 220 号磁道开始) | |
|---------------|-----------|
| 被访问的下一个磁道号 | 移动距离(磁道数) |
| 238 | 18 |
| 256 | 18 |
| 179 | 77 |
| 129 | 50 |
| 59 | 70 |
| 358 | 299 |
| 383 | 25 |
| 418 | 35 |
| 420 | 2 |
| 450 | 30 |
| 平均寻道长度：62.4 | |

(2) 请给出按 **SCAN 算法** 进行磁盘调度时满足请求的次序 ,并计算出它们的平均寻道长度。

答案：

| (从 220 号磁道开始 , 向磁道号增加的方向移动) | |
|-------------------------------|--------------|
| 被访问的下一个磁道号 | 移动距离 (磁道数) |
| 238 | 18 |
| 256 | 18 |
| 358 | 102 |
| 383 | 25 |
| 418 | 35 |
| 420 | 2 |
| 450 | 30 |
| 179 | 271 |
| 129 | 50 |
| 59 | 70 |
| 平均寻道长度 : 62.1 | |

中频知识点：

一、进程调度算法

1、(1810) 有 4 个进程 A、B、C、D , 它们的到达时间、预计运行时间以及优先级数值 (优先级数值越小 , 表示优先级越高) 如下表所示。(注 : 精确到小数点后 2 位)

| 进程名 | 到达时间 | 预计运行时间 | 优先数 |
|-----|------|--------|-----|
| A | 0 | 34 | 3 |
| B | 1 | 7 | 1 |
| C | 2 | 15 | 2 |
| D | 3 | 4 | 4 |

(1) 请计算采用**短进程优先调度算法**的平均周转时间和平均带权周转时间。

答案：

| 进程名 | 到达时间 | 预计运行时间 | 运行顺序 | 开始运行时间 | 等待时间 | 周转时间 |
|-----|------|--------|------|--------|------|------|
| A | 0 | 34 | 1 | 0 | 0 | 34 |
| B | 1 | 7 | 3 | 38 | 7 | 44 |
| C | 2 | 15 | 4 | 45 | 43 | 58 |
| D | 3 | 4 | 2 | 34 | 31 | 35 |

平均周转时间 : $(34+44+58+35) / 4=42.75$

平均带权周转时间 : $(34/34+44/7+58/15+35/4) / 4 \approx 4.98$

(2) 请计算采用**抢占式优先权调度算法**的平均周转时间和平均带权周转时间。

答案：

| 进程名 | 到达时间 | 预计运行时间 | 优先数 | 运行顺序 | 完成时间 | 周转时间 |
|-----|------|--------|-----|------|------|------|
| A | 0 | 34 | 3 | 1、4 | 56 | 56 |
| B | 1 | 7 | 1 | 2 | 8 | 7 |
| C | 2 | 15 | 2 | 3 | 23 | 21 |
| D | 3 | 4 | 4 | 5 | 60 | 57 |

平均周转时间： $(56+7+21+57)/4=35.25$

平均带权周转时间： $(56/34+7/7+21/15+57/4)/4=4.57$

二、银行家算法

1、(1804) 设系统中有三种类型的资源 A、B、C，资源数量分别为 15、7、18，系统有五个进程 P1、P2、P3、P4、P5，其最大资源需求量分别为 (5, 4, 9)、(4, 3, 5)、(3, 0, 5)、(5, 2, 5)、(4, 2, 4)。在 T0 时刻，系统为各进程已经分配的资源数量分别为 (2, 1, 2)、(3, 0, 2)、(3, 0, 4)、(2, 0, 4)、(3, 1, 4)。若系统采用银行家算法实施死锁避免策略，则请回答：

(1) 列表画出 **T0 时刻**的资源分配状态表，在表中显示进程**还需要的**资源数量和系统**可用**的资源数量。

答案：

| 进程名称 | 已分配 | 最大需求 | 还需要 | 可用资源 |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| P1 | (2, 1, 2) | (5, 4, 9) | (3, 3, 7) | (2, 5, 2) |
| P2 | (3, 0, 2) | (4, 3, 5) | (1, 3, 3) | |
| P3 | (3, 0, 4) | (3, 0, 5) | (0, 0, 1) | |
| P4 | (2, 0, 4) | (5, 2, 5) | (3, 2, 1) | |
| P5 | (3, 1, 4) | (4, 2, 4) | (1, 1, 0) | |

(2) T0 时刻是否为安全状态？若是，请给出安全序列。

答案：

T0 时刻是**安全状态**。

安全序列为：**<P3, P4, P5, P1, P2>**

(3) 在 T0 时刻若进程 P1 请求资源 (3, 0, 3)，是否能实施资源分配？为什么？

答案：

不能。(3, 0, 3) > (2, 5, 2)，所以无法分配。

(4) 在 T0 时刻若进程 P4 请求资源 (2, 0, 1)，则是否能实施资源分配？为什么？

答案：**能实施资源分配**。因为，若同意申请，此时可以找到一个**安全序列**<P3, P4, P5,

P1 , P2>。

| 进程名称 | 已分配 | 最大需求 | 还需要 | 可用资源 |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| P1 | (2 , 1 , 2) | (5 , 4 , 9) | (3 , 3 , 7) | (0 , 5 , 1) |
| P2 | (3 , 0 , 2) | (4 , 3 , 5) | (1 , 3 , 3) | |
| P3 | (3 , 0 , 4) | (3 , 0 , 5) | (0 , 0 , 1) | |
| P4 | (4 , 0 , 5) | (5 , 2 , 5) | (1 , 2 , 0) | |
| P5 | (3 , 1 , 4) | (4 , 2 , 4) | (1 , 1 , 0) | |

低频知识点：

一、基于分页的虚拟存储系统

1、已知某程序访问以下页面：0、1、4、2、0、2、6、5、1、2、3、2、1、2、6、2、1、3、6、2，如果程序有 3 个页框可用，所有内存开始时都是空的，凡第一次用到的页面都会产生一次缺页中断。

要求：

（1）采用 FIFO 替换算法，求缺页率(要求写出计算过程)。

答案：

FIFO 算法总是选择在内存驻留时间最长的页予以淘汰。

算法如下所示：

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 4 | 2 | 0 | 2 | 6 | 5 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 6 | 2 | 1 | 3 | 6 | 2 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | | 2 | 0 | 6 | 5 | 1 | | | | 2 | | 3 | | | 6 |
| | 1 | 1 | 4 | 2 | | 0 | 6 | 5 | 1 | 2 | | | | 3 | | 6 | | | 1 |
| | | 4 | 2 | 0 | | 6 | 5 | 1 | 2 | 3 | | | | 6 | | 1 | | | 2 |

缺页率=13/20=65%

（2）采用 LRU 替换算法，求缺页率(要求写出计算过程)。

答案：

LRU 算法总是选择最近最久未使用的页面予以淘汰。

算法如下所示：

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | 1 | 4 | 2 | 0 | 2 | 6 | <u>5</u> | <u>1</u> | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 6 | 2 | 1 | 3 | 6 | 2 |
| 0 ₀ | 0 ₀ | 0 ₀ | 2 ₀ | 2 ₀ | 0 ₀ | 2 ₀ | 2 ₀ | 1 ₀ | 5 ₀ | 3 ₀ | 0 ₀ | 0 ₀ | 0 ₀ | 6 ₀ | 0 ₀ | 0 ₀ | 3 ₀ | 3 ₀ | 3 ₀ |
| 0 ₁ | 1 ₁ | 1 ₁ | 1 ₁ | 0 ₁ | 0 ₁ | 0 ₁ | 5 ₁ | 5 ₁ | 1 ₁ | 1 ₁ | 0 ₁ | 0 ₁ | 0 ₁ | 1 ₁ | 0 ₁ | 0 ₁ | 1 ₁ | 1 ₁ | 2 ₁ |
| 0 ₂ | 0 ₂ | 4 ₂ | 4 ₂ | 4 ₂ | 0 ₂ | 6 ₂ | 6 ₂ | 6 ₂ | 2 ₂ | 2 ₂ | 0 ₂ | 0 ₂ | 0 ₂ | 2 ₂ | 0 ₂ | 0 ₂ | 2 ₂ | 6 ₂ | 6 ₂ |

缺页率=14/20=70%