THE UNIVERSITY OF QUEENSLAND
AUSTRALIA

This exam paper must not be removed from the venue

Venue _____
Seat Number _____
Student Number |__|__|__|__|__|__|__|__|
Family Name _____
First Name _____

School of Information Technology and Electrical Engineering

EXAMINATION

Semester Two Final Examinations, 2021

COMP3301 Operating Systems Architecture

This paper is for St Lucia Campus students.

Examination Duration: 120 minutes

Reading Time: 10 minutes

Exam Conditions:

This is a Closed Book examination - no written materials permitted
Casio FX82 series or a calculator on the UQ approved list
During reading time (= planning time) - students are encouraged to review and plan responses to the exam questions
This examination paper will be released to the Library

Materials Permitted In The Exam Venue:
(No electronic aids are permitted e.g. laptops, phones)

None

Materials To Be Supplied To Students:

None

Instructions To Students:

Additional exam materials (e.g. answer booklets, rough paper) will be provided upon request.

Answer all questions.
Answer questions in the spaces provided on the exam paper.
Total 120 Marks

For Examiner Use Only

Question	Mark

Total _____

下面这页是试卷封面，不包含任何具体题目。我先把封面上每一块信息都翻译并解释清楚，并给出应对建议；若你把后续页面（题目部分）也上传，我再逐题中文讲解“怎么做”。

这页都写了什么＆怎么理解/怎么做

1. 标题与课程

- “Semester Two Final Examinations, 2021 / COMP3301 Operating Systems Architecture”
  含义：昆士兰大学（UQ）信息学院《操作系统体系结构》学期末考试。适用于 St Lucia 校园学生。

2. 个人信息栏

- Venue（考场）、Seat Number（座位号）、Student Number（学号）、Family Name（姓）、First Name（名）
  做法：入座后按监考指示用黑/蓝笔填写；学号通常要按框填。别忘了写姓与名。

3. 考试时长与读题时间

- Examination Duration: 120 minutes（正式答题120分钟）
- Reading Time: 10 minutes（读题时间10分钟，仅阅读与规划，不得动笔作答，除非监考特别允许）
  做法：前10分钟只看题、画时间分配。之后120分钟作答。总分120分 ⇒ **经验法则：1分≈1分钟**（留5–10分钟最后检查）。

4. 考试条件（Exam Conditions）

- Closed Book：**闭卷**，不许带纸质资料或笔记。
- 计算器：只允许 Casio FX82 系列或 UQ 批准名单上的计算器。
- 读题时间建议：鼓励在读题期**审题与做答规划**。
- “This examination paper will be released to the Library”：考后试卷题目版本会公开到图书馆（利于复习存档）。
  做法：只带符合规定的计算器与文具；读题期先圈关键字、标难度、排顺序。

5. 允许携带的材料（Materials Permitted In The Exam Venue）

- 明确写了 “None（无）”，并强调**禁止电子设备（laptops, phones 等）**。
  做法：手机关机或按要求放到指定位置，智能手表也通常不允许。

6. 学校提供的材料（Materials To Be Supplied To Students）

- “None（无）”。
  做法：一般只发试卷本身；若需要草稿纸或答题册，可**按下面指示申请**。

7. 学生须知（Instructions To Students）

- 可按需提供 “Additional exam materials（如答题册、草稿纸）” —— **举手向监考索取**。
- “Answer all questions（全部作答）”。
- “Answer questions in the spaces provided on the exam paper（在试卷预留空白处作答）”。
- “Total 120 Marks（满分120）”。
  做法：确认题量并在指定区域作答；空间不够就申请答题册，并在册和试卷上**清楚标注题号**与姓名/学号。

8. 右侧“仅供阅卷人填写”表格（For Examiner Use Only）

- 这是评分表。你无需填写。
  做法：不要在该表里写任何内容，避免遮挡评分格。

时间与得分规划（实用策略）

- **读题10分钟：**
  ① 快速扫全卷；② 给每题标难度（★=难、○=易）；③ 记录每题分值并按“1分≈1分钟”初配时间；④ 先做拿分稳的题。
- **作答120分钟：**
- 若遇到大题（例如设计/证明型）占20分，目标控制在 ~20 分钟；超时就先跳过，最后回头补。
- 每道题**写出关键步骤与理由**（OS题常看重过程：算法名、关键数据结构、时序/状态转换、复杂度或正确性说明）。

- **预留 5–10 分钟检查**：补漏题号、补充边界情况、统一符号/单位。

可能涉及的典型题型（仅供你读题时定位思路）

> 本页没有题目，我不能逐题解析；下面只是按 COMP3301 常见内容给的“看到此类题怎么下手”的模版思路。

- **进程/线程与同步**：
- 识别临界区、死锁四条件；能用信号量/管程/条件变量写出同步伪代码；画出状态机或时序图。
- **调度算法**（FCFS/SJF/SRTF/RR/优先级/多级反馈队列）：
- 列时间轴，算平均等待时间/周转时间；写出选用算法的性质与饥饿/响应时间分析。
- **内存管理**（分页/分段、TLB、页替换）：
- 计算逻辑地址→物理地址；FIFO/LRU/OPT 缺页次数；解释抖动与工作集。
- **文件系统**（inode、目录、分配方式、日志/一致性）：
- 路径解析、块号计算、空闲空间管理（bitmap等）；崩溃后恢复流程（journaling）。
- **并发与锁**（自旋锁、读写锁、无锁结构）：
- 指出 race 的根因，给出加锁/原子操作或条件变量的正确用法与证明不死锁。
- **I/O 与中断**（轮询/中断/DMA、缓冲）：
- 画出数据流图；分析吞吐/延迟瓶颈与缓冲区大小对性能的影响。
- **虚拟化/容器/系统调用路径**（若课程覆盖）：
- 陷入/返回的时序、上下文切换开销、影子页表/EPT 概念等。

> 一旦你把后续 16 页题目发来，我会按上述模板逐题：**审题→公式/算法→步骤→易错点→标准答案要点** 全流程讲解。

[口语化表达] 这页其实就是试卷封面：告诉你这是 UQ 的 COMP3301 期末，先读题 10 分钟，再写 120 分钟，闭卷，只能用学校认可的计算器，手机电脑都不许带；需要草稿纸或答题册就举手要；所有题都要做，直接写在试卷给的空白里，满分 120 分。我的建议是：读题时先扫全卷、按分值给时间配比（基本就是 1 分 1 分钟），先把稳拿分的做了，难题卡 3–5 分钟就先跳过，最后留 5–10 分钟检查。真正的题目不在这一页，等你把后面的页面也发上来，我就一题一题带你做。

第2页

Question 1. (20 marks)

Calculate performance metrics for various process schedulers.

All of the schedulers are pre-emptive – a process is pre-empted as soon as a higher priority process appears.

In the following tables, times are all in milliseconds.
Assume processes do not stall for I/O. Ignore scheduler delays.
Processes that miss their deadline are not included in the calculation of individual and average completion time, turnaround time, waiting time or throughput. The CPU time of aborted processes is included in CPU utilisation.

(a) Complete both of the following tables for a Shortest Job First (SJF) Scheduler. (10 marks)

Process Number	Arrival Time	Execution Time	Deadline	Completion Time	Turnaround Time	Waiting Time
P1	0	5	7			
P2	5	4	10			
P3	6	3	11			
P4	10	2	14			
P5	13	1	20			
P6	14	5	25			
P7	20	3	30			

Average Waiting Time	
Average Turnaround Time	
Actual CPU Utilisation	
Average Throughput	

Process Timeline Table (Mark where a process Starts (S), Runs (R), Pauses (P), Ends (E). You can add more columns if required.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
P1																																							
P2																																							
P3																																							
P4																																							
P5																																							
P6																																							
P7																																							

../Question 1 continued over the page

下面这页是**第1题（20分）**，要求你在**“抢占式（pre-emptive）”前提下**，计算不同调度器的性能指标。本页的(a)小问只做**SJF（Shortest Job First，最短作业优先）**，因为是抢占式，所以等价于**SRTF（Shortest Remaining Time First，最短剩余时间优先）**。

通用规则（题干里给的关键信息，做题一定要用上）

- 全部调度器都是**抢占式**：一旦有“更高优先级”（在SJF里就是**剩余时间更短**）的进程到达，**立刻抢占**。
- 时间单位是毫秒（ms）。
- **无I/O阻塞、无调度开销**。
- **过期（没在截止时间前完成）的进程会被终止**；这些进程**不计入**“各自/平均 完成时间、周转时间、等待时间、吞吐量”的计算，**但它们已消耗的CPU时间计入CPU利用率**。

(a) 用 SJF（SRTF）完成表格（10分）

给定进程：
P1(到达0, 执行5, 截止7)
P2(5, 4, 10)
P3(6, 3, 11)
P4(10, 2, 14)
P5(13, 1, 20)
P6(14, 5, 25)
P7(20, 3, 30)

1)先排时间线（抢占式SRTF）

按时间推进，随时选择**就绪队列中剩余时间最短**者运行；若有新进程到达并且剩余更短，立刻抢占。

- **0–5**：只有P1（5ms）→ 运行至完成。P1在t=5完成（<=截止7）。
- **t=5**：P2到达（4ms）→ 立刻开始。
- **5–6**：P2运行1ms；
  t=6：P3到达（3ms）。此时P2剩余3，P3是3，打平→不抢占（通常同优先级按先到先服务）。

- **6–9**：P2继续3ms并**在t=9完成**（<=10）。
- **9–11**：轮到P3运行2ms（此时P3还剩1ms）。
  t=11：达到P3的**截止时间11**，**尚未完成（还差1ms）→被终止/abort**。
- **11–13**：就绪队列有P4(2)（t=10已到），运行至t=13完成（<=14）。
- **13–14**：P5(1)到达即运行，t=14完成（<=20）。
- **14–19**：P6(5)运行，t=19完成（<=25）。
- **19–20**：**CPU空闲**（无就绪任务）。
- **20–23**：P7(3)运行，t=23完成（<=30）。

> 小结：**P3超时被终止**；其余都按时完成。
> CPU忙时段：0–19（共19ms）和20–23（3ms），一共**22ms忙、1ms空闲**。

2)计算每个（按时完成的）进程的指标

- 完成时间CT：完成时刻t。
- 周转时间TAT：CT − 到达时间（Arrival）。
- 等待时间WT：TAT − 执行时间（Execution）。

> **过期被终止的P3**不参与这些统计。

逐个计算：

- **P1**：CT=5；TAT=5−0=5；WT=5−5=0
- **P2**：CT=9；TAT=9−5=4；WT=4−4=0
- **P3**：**终止**（不填CT/TAT/WT）
- **P4**：CT=13；TAT=13−10=3；WT=3−2=1
- **P5**：CT=14；TAT=14−13=1；WT=1−1=0
- **P6**：CT=19；TAT=19−14=5；WT=5−5=0
- **P7**：CT=23；TAT=23−20=3；WT=3−3=0

3)汇总平均值、CPU利用率、吞吐量

- **平均等待时间**（只算按时完成的6个）：(0+0+1+0+0+0)/6 = **0.1667 ms**
- **平均周转时间**：(5+4+3+1+5+3)/6 = **3.5 ms**
- **CPU利用率**：CPU忙22ms，时间跨度0–23共23ms → **22/23 ≈ 95.65%**

> 注意：P3虽然被终止，但其2ms运行时间**计入**CPU忙时。

- **平均吞吐量**：在0–23ms内完成了6个进程 → **6/23 ≈ 0.2609 个/ms**

> 若需要“每秒”的单位，可乘以1000：约 **260.9 个/秒**（但题面单位是ms，用个/ms即可）。

填好的主表（本页空格应填的数）

进程	到达	执行	截止	完成CT	周转TAT	等待WT
P1	0	5	7	**5**	**5**	**0**
P2	5	4	10	**9**	**4**	**0**
P3	6	3	11	**—（超时终止）**	**—**	**—**
P4	10	2	14	**13**	**3**	**1**
P5	13	1	20	**14**	**1**	**0**
P6	14	5	25	**19**	**5**	**0**
P7	20	3	30	**23**	**3**	**0**

平均等待时间 = **0.1667 ms**
平均周转时间 = **3.5 ms**
实际CPU利用率 ≈ 95.65%
平均吞吐量 ≈ 0.2609 个/ms

时间线表（S/R/P/E 的写法建议）

- P1：**S**@0，R到5，**E**@5
- P2：**S**@5，R到9，**E**@9（6时刻P3到达但与P2剩余打平，不抢占）
- P3：**S**@9，R到11，在**截止11被终止**（可在11格写“E*”或在备注注明“aborted”）
- P4：**S**@11，R到13，**E**@13
- P5：**S**@13，R到14，**E**@14
- P6：**S**@14，R到19，**E**@19
- （**19–20 空闲**）
- P7：**S**@20，R到23，**E**@23

> 你的答题纸下面的网格可按上述在相应时间刻度标注 S/R/P/E；对“终止”没有固定字母，通常在E旁加注释，或写“X/Abort”。

[口语化表达] 这题要你用“抢占式SJF（其实就是SRTF）”来排进程。我把时间线按到达和剩余时间一步步排好了：P1(0–5)→P2(5–9)→P3(9–11但11点到截止没做完被终止)→P4(11–13)→P5(13–14)→P6(14–19)→空闲(19–20)→P7(20–23)。因此P3不参与那些平均值的计算，只算其余6个。最后填表：P1(CT5,TAT5,WT0)、P2(9,4,0)、P4(13,3,1)、P5(14,1,0)、P6(19,5,0)、P7(23,3,0)；平均等待0.1667ms、平均周转3.5ms；CPU利用率22/23≈95.65%，吞吐量6/23≈0.2609个/ms。时间线网格就按这些时刻标S/R/E，P3在11标注“终止”说明一下就好。

Question 1 (continued).

(b) Repeat part a) but now assume that two CPU cores (core 1 and core 2) can be used to run processes, concurrently. Complete the three following tables for a Shortest Job First (SJF) Scheduler. You must consider the core affinity (core 1, core 2 or X – any core). You can assume that a process with no affinity (X) can run on any core. (10 marks)

Process Number	Arrival Time	Execution Time	Deadline	Core Affinity	Completion Time	Turnaround Time	Waiting Time
P1	0	5	7	1			
P2	5	4	10	2			
P3	6	3	11	X			
P4	10	2	14	2			
P5	13	1	20	1			
P6	14	5	25	X			
P7	20	3	30	X			

Average Waiting Time	
Average Turnaround Time	
Actual CPU Utilisation	
Average Throughput	

Process Timeline Table (Mark where a process Starts (S), Runs (R), Pauses (P), Ends (E). You can add more columns if required.

Core 1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
P1																																								
P5																																							
P3																																							
P6																																							
P7																																							

Core 2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
P2																																								
P4																																							
P3																																							
P6																																							
P7																																							

这是第1题的 **(b)**（10分）：在 **两颗CPU核（core1 / core2）** 同时工作的前提下、仍使用 **SJF 抢占式**（= SRTF）调度；但必须遵守 **核亲和性（Core Affinity）**：标成 **1** 的只能在 core1 上跑，**2** 的只能在 core2 上跑，**X** 的可以在任意核上跑。仍然：无I/O、无调度开销；**超过截止时间未完成的进程会被终止，不计入平均/吞吐量，但消耗的CPU时间算入利用率。**

思路与步骤

1. **逐时刻推进**。每个核各自看“就绪队列中能在该核运行的进程”，选择**剩余时间最短**的那个运行；一旦该核上出现剩余时间更短的新到达进程，即发生**抢占**。
2. **尽量并行**：同一时刻可以同时选两个（各一个核）。
3. **记录完成时刻（CT）→ 周转时间（TAT=CT−到达）→ 等待时间（WT=TAT−执行时长）**。
4. **平均值**只对**按时完成**的进程求。
5. **CPU利用率（两核）** = （两核总忙碌时间）/（2 × 总历时）。
6. **平均吞吐量** = 完成进程数/总历时。

时间线推演（满足亲和性）

- **t=0**：只有 **P1(5ms, Aff=1)** → **core1: P1(0–5)**；**core2 空闲**
- **t=5**：**P1完成**；**P2(4ms, Aff=2)** 到达 → **core2: P2(5–9)**；**core1 空闲**
- **t=6**：**P3(3ms, Aff=X)** 到达，可上任意核 → 让 **core1: P3(6–9)**（与P2并行；P2剩余3与P3=3打平，不必抢占）
- **t=9**：**P2、P3都完成**；两核空闲
- **t=10**：**P4(2ms, Aff=2)** 到达 → **core2: P4(10–12)**；core1空闲
- **t=13**：**P5(1ms, Aff=1)** 到达 → **core1: P5(13–14)**
- **t=14**：**P6(5ms, Aff=X)** 到达 → 安排在 **core2: P6(14–19)**（core1此时刚跑完P5）
- **t=19–20**：两核暂时空闲
- **t=20**：**P7(3ms, Aff=X)** 到达 → **core1: P7(20–23)**
- **t=23**：所有进程都在截止前完成（这次 **没有终止进程**）

> 注：X类任务（P3/P6/P7）我在上面给了一个合理的核分配；你也可以把P6放core1、P7放core2，只要不违反亲和性并保持最短剩余优先、结果的CT不变即可。

填表结果

进程	到达	执行	截止	亲和性	完成CT	周转TAT	等待WT
P1	0	5	7	1	**5**	**5**	**0**
P2	5	4	10	2	**9**	**4**	**0**
P3	6	3	11	X	**9**	**3**	**0**
P4	10	2	14	2	**12**	**2**	**0**
P5	13	1	20	1	**14**	**1**	**0**
P6	14	5	25	X	**19**	**5**	**0**
P7	20	3	30	X	**23**	**3**	**0**

- **平均等待时间**：(0+0+0+0+0+0+0)/7 = **0 ms**
- **平均周转时间**：(5+4+3+2+1+5+3)/7 = **23/7 ≈ 3.2857 ms**
- **实际CPU利用率**（两核）：
- 两核总忙碌时间 = 执行总量 = 5+4+3+2+1+5+3 = **23 core-ms**
- 总历时 = 0→23 = **23 ms**；两核容量 = 2×23 = **46 core-ms**
- 利用率 = 23 / 46 = **50%**
- **平均吞吐量**：7 个 / 23 ms = **≈ 0.3043 个/ms**

时间线（在下方两条网格上标 S/R/E）

Core 1：

- P1：S\@0, R→5, E\@5
- P3：S\@6, R→9, E\@9
- P5：S\@13, R→14, E\@14
- P7：S\@20, R→23, E\@23

Core 2：

- P2：S\@5, R→9, E\@9
- P4：S\@10, R→12, E\@12
- P6：S\@14, R→19, E\@19

> 其余时间的空白格就是该核空闲（如 core1 的 9–13、14–20；core2 的 0–5、12–14、19–20）。

[口语化表达] 这小题就是把上一问换成两颗核，并且要遵守“只能跑在1核/2核/任意核”的限制。我按“哪个核能跑、谁的剩余时间更短就上谁”的原则，把时间线排出来了：core1 先跑P1(0–5)，然后跑P3(6–9)，再跑P5(13–14)和P7(20–23)；core2 跑P2(5–9)、P4(10–12)、P6(14–19)。所有进程这次都在截止前做完，没有被终止。因此各自的完成时间是：P1=5、P2=9、P3=9、P4=12、P5=14、P6=19、P7=23；周转分别是5、4、3、2、1、5、3，等待时间全是0。汇总：平均等待0、平均周转约3.29ms；两核实际利用率是23/46=50%；吞吐量是7/23≈0.304个/ms。你在网格上把这些时刻标上S/R/E就能完整画出时间线了。

Question 2. (20 marks)

Suppose that a disk drive has 3000 cylinders, numbered 0 to 2999. The disk rotates at 250 rpm. The drive is currently serving a request at cylinder 303, and the previous request was at cylinder 101. The queue of pending requests, in FIFO order, is:

201; 310; 2200; 330; 1500; 300; 1200; 655;

For each of the indicated disk scheduling algorithms (a) to (d) below, calculate the following information:

(i) Starting from the current head position, where a block has just been read, and assuming the previously read block was in cylinder 101, what is the order in which pending blocks are read?

(ii) Assume that a disk seek takes 15ms + 20 μs per cylinder. Assume that the rotational latency is 50% of the rotation time, and also assume that there are 250 blocks per track. Based on the block read order, calculate the total time to read each block (latencies + read time).

(iii) Then calculate the total time to read the 8 blocks, starting from the time the read at 303 was completed.

(a) FCFS (5 marks)

(i)Block Read Order:

303								
(ii)Block Read Time								
(iii) Total Time								

(b) SCAN (5 marks)

(i)Block Read Order:

303								
(ii)Block Read Time								
(iii) Total Time								

../Question 2 continued over the page

这是**第2题（20分）**的前半页，考的是**磁盘调度**与**时间开销**的计算。已知条件：

- 柱面（cylinders）0–2999；转速 250 rpm。
- **当前**刚读完的柱面：**303**；**上一个**读的是柱面 **101**（用于判断SCAN初始移动方向）。
- 等待队列（FIFO顺序给出）：`201, 310, 2200, 330, 1500, 300, 1200, 655`（共8个块）。
- **寻道时间**：$15\ \text{ms} + 20\ \mu s\ /\text{cylinder}$
  $\Rightarrow$ 每跨一个柱面再加 0.02 ms。
- **平均旋转延迟**：转一圈时间的 50%。
- **每磁道块数**：250 个。
- 读一个块的**服务时间**（本题要你算的“Block Read Time”）= **寻道** + **旋转延迟** + **读出时间**。

先把常数算好：

- 一圈时间 $= \frac{60\,000}{250} = 240$ ms
- 平均旋转延迟 $= 0.5 \times 240 = 120$ ms
- 单块读出时间 $= \frac{240}{250} = 0.96$ ms
- 寻道(跨 Δ 柱面)：$15 + 0.02\Delta$（单位：ms）

(a) FCFS（5分）

(i) Block Read Order（读块顺序）

FCFS 按队列来，不考虑方向：

303 → 201 → 310 → 2200 → 330 → 1500 → 300 → 1200 → 655

> 303 是题面给的“刚完成”的位置，用来当下一次寻道的起点；真正要读的 8 个块就是后面这 8 个。

(ii) Block Read Time（逐块时间）

对每一步，用上一位置到目标柱面的距离 Δ 算寻道，再加上 120 + 0.96：

从→到	Δ	寻道(ms)	该块总时间(ms)
303→201	102	17.04	**138.00**
201→310	109	17.18	**138.14**
310→2200	1890	52.80	**173.76**
2200→330	1870	52.40	**173.36**
330→1500	1170	38.40	**159.36**
1500→300	1200	39.00	**159.96**
300→1200	900	33.00	**153.96**
1200→655	545	25.90	**146.86**

(iii) Total Time（8块总耗时）

1243.40 ms

(b) SCAN（5分）

SCAN 要“扫过去再扫回来”。**方向**用“上一次在 101、这次读在 303”来判断：磁头刚从**内向外**移动到 303，因此先**继续向外**扫，再回头扫内侧。

(i) Block Read Order（读块顺序）

从 303 向外（升序）读完所有 ≥303 的：310, 330, 655, 1200, 1500, 2200；
到达外侧后再回扫内侧：300, 201。
因此：
303 → 310 → 330 → 655 → 1200 → 1500 → 2200 → 300 → 201

(ii) Block Read Time（逐块时间）

从→到		寻道(ms)	该块总时间(ms)
303→310	7	15.14	**136.10**
310→330	20	15.40	**136.36**

从→到	Δ	寻道(ms)	该块总时间(ms)
330→655	325	21.50	**142.46**
655→1200	545	25.90	**146.86**
1200→1500	300	21.00	**141.96**
1500→2200	700	29.00	**149.96**
2200→300	1900	53.00	**173.96**
300→201	99	16.98	**137.94**

(iii) Total Time（8块总耗时）
1165.60 ms

> 直觉上 SCAN 比 FCFS 少了几次“大跳跃”的来回，因而总时间更短（1165.6 ms < 1243.4 ms）。

解题要点套路

1. 先确定**顺序**（FCFS=队列顺；SCAN=按柱面从当前方向扫）。
2. 每一步计算 Δ =相邻目标柱面差 $\Rightarrow$ 寻道 $= 15 + 0.02\Delta$。
3. 加上固定的 120 ms 旋转延迟与 0.96 ms 读时。
4. 累加得到总时间。

[口语化表达] 这页意思是：磁盘刚读完303、之前在101，所以SCAN要先往外扫。FCFS就按队列：201→310→2200→330→1500→300→1200→655；每一步时间=“寻道(15+0.02×柱面差)”+“平均转延(120)”+“读一个块(0.96)”。我算出来 FCFS 每块分别是 138.00、138.14、173.76、173.36、159.36、159.96、153.96、146.86 ms，总共 1243.40 ms。SCAN 的顺序是往外：310→330→655→1200→1500→2200，然后回内侧：300→201；对应时间是 136.10、136.36、142.46、146.86、141.96、149.96、173.96、137.94 ms，总共 1165.60 ms。SCAN 少折返，所以更快。

第5页

Question 2 (continued)

Cylinders: 0-2999 Previous:101 Current 303
201; 310; 2200; 330; 1500; 300; 1200; 655;

(c) C-SCAN (5 marks)
(i)Block Read Order:

303								
(ii)Block Read Time								
(iii) Total Time								

(d) C-LOOK (5 marks)
(i)Block Read Order:

303								
(ii)Block Read Time								
(iii) Total Time								

这页题是关于**磁盘调度算法（Disk Scheduling Algorithms）**的题，主要考察**C-SCAN**和**C-LOOK**两种算法。下面我给你详细讲解每一小题该怎么做。

🧭 已知条件

- **磁道范围（Cylinders）**：0–2999
- **上一个位置（Previous）**：101
- **当前磁头位置（Current）**：303
- **请求序列（Requests）**：201, 310, 2200, 330, 1500, 300, 1200, 655

（c）C-SCAN（Circular SCAN）

① Block Read Order（磁道访问顺序）

C-SCAN 的工作原理是：

> 磁头**朝一个方向**移动（一般向高号磁道方向），服务途中所有请求；到达最末端（最大磁道）后，**直接回到磁盘的起点（0）**，然后再继续向上移动。

所以，我们按升序排列请求并确定方向：

- 当前磁头：303
- 请求（升序）：201, 300, 310, 330, 655, 1200, 1500, 2200
- 当前在 303，向高号方向扫描 → 从 310 开始。

访问顺序：

```
303 → 310 → 330 → 655 → 1200 → 1500 → 2200 → (跳到0) → 201 → 300
```

---

② Block Read Time（磁道移动距离）

计算每一步的移动距离（绝对值差）：

移动	距离
303→310	7
310→330	20
330→655	325
655→1200	545
1200→1500	300
1500→2200	700
2200→2999	799（到磁盘最末端）
2999→0	2999（回到开头）
0→201	201
201→300	99

---

③ Total Time（总移动距离）

将这些加起来：

7 + 20 + 325 + 545 + 300 + 700 + 799 + 2999 + 201 + 99
= **5996 个磁道单位**

（d）C-LOOK（Circular LOOK）

① Block Read Order（磁道访问顺序）

C-LOOK 是 C-SCAN 的优化版本：

> 不会移动到磁盘最末端，而是**只在请求范围内循环**。

请求排序（升序）：201, 300, 310, 330, 655, 1200, 1500, 2200
方向同样向高号：

访问顺序：

```
303 → 310 → 330 → 655 → 1200 → 1500 → 2200 → (跳回最小请求) → 201 → 300
```

---

② Block Read Time（磁道移动距离）

移动	距离
303→310	7
310→330	20
330→655	325
655→1200	545
1200→1500	300
1500→2200	700
2200→201	1999（跳回最小请求）
201→300	99

---

③ Total Time（总移动距离）

7 + 20 + 325 + 545 + 300 + 700 + 1999 + 99
= **3995 个磁道单位**

✳ 总结归纳

算法	访问顺序	总移动距离
C-SCAN	303 → 310 → 330 → 655 → 1200 → 1500 → 2200 → 0 → 201 → 300	**5996**
C-LOOK	303 → 310 → 330 → 655 → 1200 → 1500 → 2200 → 201 → 300	**3995**

[口语化表达]

这页其实就是考你两种循环扫描算法的区别。C-SCAN 会一直扫到磁盘尽头再跳回 0，然后继续往上；C-LOOK 则只在有请求的范围内循环，不会跑到边界去。所以你先把请求排个序，然后看磁头从 303 往高号方向走，依次算每次移动的距离加起来。C-SCAN 因为多跑到 2999 再回 0，所以总路程最长，大约 5996；C-LOOK 少走一大截，只在 201–2200 范围内循环，差不多 3995。

第6页

Question 3. (20 marks)

The following memory pages are accessed:

7,0,1,2,0,3,0,7,2,3,0,3,0,3,2,1,2,0,1,7,0,1

(a) Calculate the number of page faults if the First In First Out (FIFO) page replacement algorithm is used, with a 3 page buffer. (5 marks)

(b) Calculate the number of page faults if the Least Recently Used (LRU) page replacement algorithm is used, with a 3 page buffer. (5 marks)

(c) Calculate the number of page faults if the Optimal page replacement algorithm is used, with a 3 page buffer. (5 marks)

../Question 3 continued over the page

这页（Question 3）考的是**页面置换算法**。给定一条访问序列，在**3 个页框（3-page buffer）**下，分别用 FIFO、LRU、Optimal 三种算法，计算**缺页次数（page faults）**。

访问序列：
7, 0, 1, 2, 0, 3, 0, 7, 2, 3, 0, 3, 2, 1, 2, 0, 1, 7, 0, 1
（共 20 次访问；初始内存为空）

(a) FIFO（先进先出）

规则要点： 总是淘汰**最早进入**内存的页（队首）。

跟踪过程（括号内为页框内容，按“最老→最新”展示；M=缺页/H=命中）：

1. 7 → (7) M
2. 0 → (7,0) M
3. 1 → (7,0,1) M
4. 2 → 淘汰7 → (0,1,2) M
5. 0 → 命中 (0,1,2) H
6. 3 → 淘汰0 → (1,2,3) M
7. 0 → 淘汰1 → (2,3,0) M
8. 7 → 淘汰2 → (3,0,7) M
9. 2 → 淘汰3 → (0,7,2) M
10. 3 → 淘汰0 → (7,2,3) M
11. 0 → 淘汰7 → (2,3,0) M
12. 3 → 命中 (2,3,0) H
13. 2 → 命中 (2,3,0) H
14. 1 → 淘汰2 → (3,0,1) M
15. 2 → 淘汰3 → (0,1,2) M
16. 0 → 命中 (0,1,2) H

17. 1 → 命中 (0,1,2) H
18. 7 → 淘汰0 → (1,2,7) M
19. 0 → 淘汰1 → (2,7,0) M
20. 1 → 淘汰2 → (7,0,1) M

缺页总数：15

(b) LRU（最近最少使用）

规则要点： 淘汰**最长时间未被访问**的页（按最近使用时间排序）。

简明跟踪（列出发生淘汰的关键步）：

- 初装：7,0,1（3 次缺页）
- 访问 2：淘汰 **7** → {0,1,2}
- 访问 3：淘汰 **1** → {0,2,3}
- 访问 0：命中
- 访问 7：淘汰 **2** → {0,3,7}
- 访问 2：淘汰 **7** → {0,3,2}
- 访问 3：命中
- 访问 0：命中
- 访问 1：淘汰 **2** → {0,3,1}
- 访问 2：淘汰 **3** → {0,1,2}
- 访问 0：命中
- 访问 1：命中
- 访问 7：淘汰 **2** → {0,1,7}
- 访问 0：命中
- 访问 1：命中

缺页总数：12

(c) Optimal（最优置换）

规则要点： 未来视角，淘汰**下一次使用最晚**（或**将不再使用**）的页。
（最优算法缺页数是理论下界）

关键淘汰：

- 初装：7,0,1（3 次缺页）
- 访问 2：看未来：7 的下次在很远（第 18 步），0 在 5，1 在 14 → 淘汰 **7** → {0,1,2}
- 访问 3：未来：0 在 7，1 在 14，2 在 9 → 淘汰 **1** → {0,2,3}
- 访问 7：未来：0 在 11，2 在 13，3 在 12 → 淘汰 **2** → {0,3,7}
- 访问 2：未来：0 在 11，3 在 12，7 在 18 → 淘汰 **7** → {0,3,2}
- 访问 1：未来：0 在 16，3 在 12，2 在 15 → 淘汰 **3** → {0,2,1}
- 访问 7：未来：0 在 19，2 = 不再使用（最后一次是第 15 步），1 在 20 → 淘汰 **2** → {0,1,7}
  （其余多为命中）

缺页总数：8

结论对比

算法	缺页次数
FIFO	**15**
LRU	**12**
Optimal	**8**

> 规律：在相同访问序列和页框数下，**Optimal ≤ LRU ≤ FIFO**（最优算法给出下界，LRU通常优于FIFO）。

[口语化表达]

这题就是给你一串页号，只有 3 个格子装页，让你分别用三种策略数一数要“换页”多少次。FIFO 就是谁先进去谁先滚，结果换了 **15 次**；LRU 是把“最久没用”的踢出去，聪明点，所以 **12 次**；Optimal 是开上帝视角，把未来用得最晚的干掉，最省，只要 **8 次**。做法都一样：从空内存开始，一步步看是命中还是缺页，缺页就按各自规则决定踢谁，最后把次数加起来就行了。

第7页

Question 3 (continued)

(d) What is demand paging? (2 marks)

(e) What is page ‘thrashing’ and how can it be avoided? (3 marks)

这页是前面“页面置换算法”题（Question 3）的延续，考察的是**虚拟内存管理的概念题**，主要涉及**需求分页（Demand Paging）** 和 **抖动（Thrashing）** 两个知识点。下面我详细讲解每题的含义、解题思路和标准答案。

(d) What is demand paging? （2 marks）

✅ 含义解释：

需求分页（Demand Paging） 是虚拟内存的一种实现方式。
在这种机制中：

- 程序在执行时，**只有当一个页面被真正访问（需要）时**，该页才会被加载到内存中。
- 其他未使用的页面仍保留在外存（如磁盘）中。
- 当访问的页面不在内存时，会产生**缺页中断（Page Fault）**，然后操作系统从外存中加载该页到内存。

✅ 答案示例：

> Demand paging is a memory management scheme where pages are loaded into memory **only when they are needed** during program execution. If a required page is not present, a **page fault** occurs, and the OS loads the page from secondary storage into memory.

（中文理解：只有在真正访问时才加载页面，缺页才触发从磁盘调入。）

(e) What is page ‘thrashing’ and how can it be avoided? （3 marks）

✅ 含义解释：

抖动（Thrashing） 指的是：

- 系统内存过小、页面频繁置换，导致 CPU 时间几乎都花在**处理缺页中断和页面换入换出**上；
- 实际上几乎没有时间执行用户程序，导致系统性能急剧下降。

换句话说，进程运行时频繁访问不在内存的页面，系统一直在“忙着换页”，就像“原地打转”，CPU 利用率反而降低。

✅ 如何避免：

常见的解决或缓解方法有：

1. **增加物理内存容量**（让更多页留在内存中）；
2. **限制多道程序并发数**（减少同时运行的进程）；
3. **使用工作集模型（Working Set Model）** — 保证每个进程所需的活跃页都能驻留内存；
4. **使用更合理的页面置换算法**（如 LRU 或带局部性优化的算法）。

✅ 答案示例：

> Thrashing occurs when a process spends more time swapping pages in and out of memory than executing instructions, due to insufficient memory.
> It can be avoided by **increasing physical memory**, **reducing the degree of multiprogramming**, or **using working set models** to keep frequently used pages in memory.

（中文理解：抖动就是系统一直在换页不干正事；可以通过增加内存、减少并发、优化算法来避免。）

✳ 总结归纳

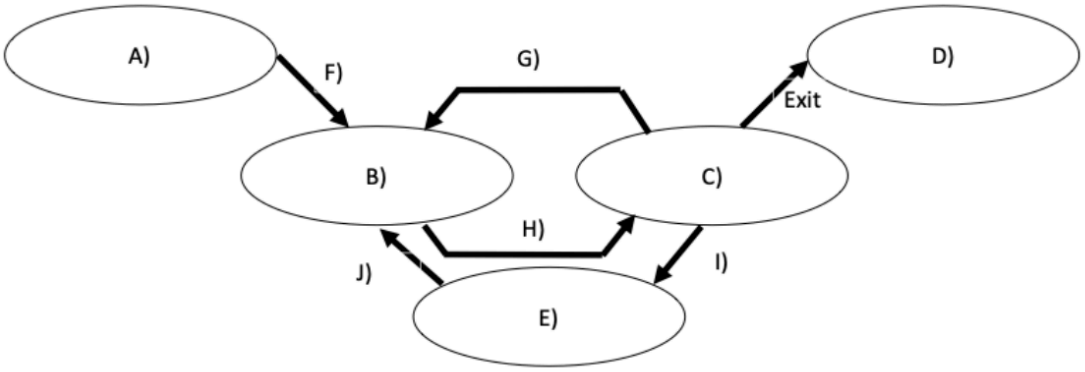
小题	概念	核心要点
(d) Demand Paging	按需加载页面	只有访问时才装入内存，缺页触发调页
(e) Thrashing	系统频繁换页	性能急降，可通过增加内存或优化调度避免

[口语化表达]

这页主要是问两个虚拟内存的概念。第一个“需求分页”其实就是说，程序不会一次性把所有页面都放进内存，只有真用到时才装进来，不用的先留在磁盘上，要用的时候才触发“缺页中断”。第二个“抖动”就是内存不够、系统老在换页，CPU 时间都浪费在搬来搬去，程序几乎跑不动了。解决方法嘛，就是多给点内存、少开点程序，或者让系统聪明点，比如用工作集算法，让常用的页一直留着别老换来换去。

第8页

Question 4. (20 marks)



(a) For the Process State Machine shown above, what is represented by letters A) to J)? List each item (A to J). (10 marks)

(b) Using the previous diagram, what possible action (e.g. what c function called) will cause a process to move from state C) to E) to B). (2 marks)

../Question 4 continued over the page

这页（Question 4）考“**进程状态机**”。图里 A—E 是**状态**，F—J 是**状态转换的原因/动作**。右上角的“Exit → D)” 已经暗示 D 是结束态。按经典五态模型来识别即可。

(a) 标出 A)–J) 代表什么（各 1 分，共 10 分）

状态（椭圆）：

- **A) New（新建）**：进程刚创建，还未进入就绪队列
- **B) Ready（就绪）**：已在内存，等 CPU
- **C) Running（运行）**：占用 CPU 正在执行
- **D) Terminated / Exit（终止/退出）**：执行结束
- **E) Blocked / Waiting（阻塞/等待）**：等待 I/O 或事件

转换（带字母的箭头）：

- **F) Admit / Create（接纳/创建进入就绪）**：A→B（操作系统把新建进程加入就绪队列）
- **G) Dispatch / Time-out（调度进入运行 / 时间片用尽被抢占）**：B⇄C
- B→C：调度器分派（dispatch）
- C→B：时间片到/被更高优先级进程抢占（preemption）
- **H) Block on event（运行中因等待事件而阻塞）**：C→E（例如发起 I/O、等待信号量/条件变量）
- **I) Event done & CPU idle → 直接运行**：E→C（事件完成且 CPU 空闲时，可能直接被运行 —— 有些教材会画这条可选路径）
- **J) Event done（事件完成回就绪）**：E→B（更常见：事件就绪后先回就绪队列，等待调度）

> 注：若你的课件只给 E→B（J）而没有 E→C（I），也完全成立；本图把两种教材画法都体现出来了。

(b) 让进程从 C) → E) → B) 的可能动作（举 C 语言调用）

示例动作：

- 在 **C（Running）** 时调用一个**会阻塞**的系统调用/库函数，例如
- `read(fd, buf, n)`（当无数据可读时阻塞）
- `recv()`、`accept()`（网络 I/O 阻塞）
- `sleep()`、`sem_wait()`、`pthread_cond_wait()` 等
  → 进程因等待 I/O/事件 **C→E（Blocked）**
- I/O 完成或被唤醒后，进程**事件就绪**，返回**就绪队列**
  → **E→B（Ready）**，等待调度器再把它 **B→C** 分派到 CPU

一句话：**“阻塞型调用把 Running 变 Blocked；事件完成把 Blocked 送回 Ready。”**

[口语化表达]

这页就是让你认进程五个状态和几条典型的状态迁移。A 是新建，B 就绪，C 运行，E 阻塞，D 退出；F 是把新建的进程丢进就绪队列，G 是就绪和运行之间来回（调度上 CPU、时间片到被抢回来），H 是运行时发起 I/O 等导致阻塞，J 是事件好了回到就绪，I 画的是事件好了且刚好 CPU 空闲就直接跑起来（有的书不画这条）。第二问要你举个 C 里会触发 C→E→B 的例子，比如 `read()` / `recv()` / `sleep()` / `sem_wait()` 这些会让进程在运行时阻塞，等 I/O 或信号到了再回就绪队列。

Question 4 (continued)

(c) What Kernel based operation will manipulate the process state in the PCB? (2 marks)

(d) What is the difference between a job and a process (2 marks)

(e) Describe what the following Scheduler Queues do? Also state which Queue will have the longest wait time and why? (4 marks)

i) Job Queue

ii) Ready Queue

iii) IO Device Queue

这页（Question 4 续页）继续考察操作系统中“**进程控制与调度（Process Control & Scheduling）**”的内容，主要涉及 **PCB（进程控制块）操作**、**Job vs Process 区别**、以及 **三种调度队列（Scheduler Queues）** 的功能与等待时间比较。下面我详细解释每题的意思与写法。

(c) What Kernel-based operation will manipulate the process state in the PCB? （2 marks）

✅ 解析:

- **PCB（Process Control Block）** 是操作系统内核为每个进程维护的一张“身份证”，记录了进程的各种信息（状态、寄存器值、优先级、内存信息、I/O 状态等）。
- 改变 PCB 中的“进程状态（process state）”的操作，是由**内核中的调度程序（Scheduler）**或系统调用（System Call）**完成的。

✅ 答案:

> **Context Switching（上下文切换）** is the kernel operation that manipulates the process state in the PCB.
> During context switching, the CPU saves the current process's state into its PCB and loads another process's state from its PCB.

（中文理解：当操作系统进行上下文切换时，会保存当前进程状态并加载下一个进程的状态，PCB 中的状态字段因此被更新。）

(d) What is the difference between a job and a process? （2 marks）

✅ 解析:

- “**Job**” 是在 **批处理系统**（batch system）中使用的术语，表示**还未被操作系统加载到内存的任务或程序**；
- “**Process**” 是程序被**调入内存后正在执行**的实例。

✅ **答案：**

> A **job** is a program that is submitted to the system for processing, typically residing in the job pool (not yet in main memory).
> A **process** is a program in **execution**, which has been loaded into memory and assigned resources such as CPU time and memory space.

（中文理解：Job 是静态的、等待执行的任务；Process 是动态的、已经运行起来的程序。）

(e) Scheduler Queues（调度队列）

✅ **背景知识：**

在操作系统中，调度程序维护三个主要的队列：

队列	内容	对应调度器
Job Queue	系统中所有等待进入内存的作业	长程调度（long-term）
Ready Queue	已在内存中、等待 CPU 的进程	短程调度（short-term）
I/O Queue	正在等待 I/O 完成的进程	I/O 调度器（I/O Scheduler）

---

i) Job Queue

- 包含所有提交到系统但还未进入主存执行的“作业”。
- 由**长程调度器**负责，从作业池中挑选作业进入内存（即创建进程）。
- 调度策略关注**系统负载与并发度**。

ii) Ready Queue

- 保存已在内存中、等待 CPU 调度的进程。
- 由**短程调度器**（CPU scheduler）负责决定谁下一个运行。
- 调度策略通常是时间片轮转（Round Robin）或优先级调度。

iii) I/O Device Queue

- 存放等待 I/O 完成的进程（例如等待磁盘、网络、打印机）。
- 由**I/O 调度器**负责选择下一个进行 I/O 操作的进程。

✅ 哪个队列等待时间最长？为什么？

通常是 **Job Queue**。
因为作业在被加载进内存前，可能需要等待很久，直到系统资源足够或负载下降。
Ready Queue 和 I/O Queue 中的等待时间较短，因为它们已经在内存中或正在活动中。

✅ 答案简写示例：

Queue	Function	Longest Wait?
i) Job Queue	Holds all submitted jobs waiting to enter main memory.	✅ Longest wait — jobs may wait a long time before being admitted.
ii) Ready Queue	Holds processes in main memory waiting for CPU.	Shorter wait.
iii) I/O Device Queue	Holds processes waiting for I/O completion.	Variable, but typically less than Job Queue.

✳ 总结归纳

小题	主要知识点	核心答案
(c)	PCB 状态操作	Context Switch（上下文切换）
(d)	Job vs Process	Job 是静态任务；Process 是执行中的程序
(e)	调度队列功能	Job Queue（所有任务）、Ready Queue（等 CPU）、I/O Queue（等 I/O）
	最长等待队列	Job Queue（因等待资源加载内存）

[口语化表达]

这页其实是在问操作系统里“调度”和“进程管理”的基本概念。第一题问谁会改 PCB 里的进程状态，那就是内核在做上下文切换时，保存当前进程、加载下一个进程；第二题问 job 和 process 区别，job 是还没进内存的任务，process 是已经在跑的程序；第三题三个队列：Job Queue 是所有等着被载入的作业、Ready Queue 是在内存等 CPU 的进程、I/O Queue 是等 I/O 完成的进程。等得最久的肯定是 Job Queue，因为它得排队等系统资源放它进内存，别的两个都已经“在系统里转”了。

第10页

Question 5 (20 marks)

(a) CPU emulation is program that emulates a CPU and Memory. Answer the following (8 marks)

i) What key element must CPU emulation represent and maintain the state of?

ii) How is memory emulated?

iii) What memory is the code loaded into?

iv) What are the loaded instructions applied to?

../Question 5 continued over the page

这页是 **Question 5（CPU 模拟，CPU Emulation）**，考察的是操作系统体系结构中关于“**CPU 和内存仿真器（Emulator）**”的基本原理。也就是说——一个程序如何模拟 CPU 的执行过程与内存行为。题目分成四个小问，都是关于 CPU 仿真器需要实现的关键要素。

(a) CPU emulation （8 marks）

i) What key element must CPU emulation represent and maintain the state of?

（CPU 仿真器必须表示并维护哪部分的状态？）

✅ 答案：

> The CPU emulator must represent and maintain the state of the **CPU registers** and **program counter (PC)**.
> These include general-purpose registers, stack pointer, instruction register, and flags (e.g., zero flag, carry flag, condition codes).

🧠 解释：
CPU 的“状态”主要就是寄存器的内容（registers）和当前执行位置（Program Counter）。仿真器要模拟 CPU 的行为，就必须在软件中维护这些变量的值，因为每条指令的执行都会改变它们。

---

ii) How is memory emulated?

（内存是怎么被仿真的？）

✅ 答案：

> Memory is emulated as a **large array or data structure** (e.g., an array of bytes or words) that represents the addressable memory space.
> Each element in this array corresponds to a memory address.

🧠 解释：
在程序中，我们通常用一个数组（如 `uint8_t memory[65536];`）表示内存。读写内存就相当于访问这个数组的元素（模拟真实的加载与存储操作）。

iii) What memory is the code loaded into?

（程序代码是加载到哪一部分内存里的？）

✅ 答案：

> The code is loaded into **main memory** (RAM) in the emulated memory space. Typically, it is placed starting from a specific address, just like in a real system.

🧠 解释：
在仿真器里，程序指令会被放入模拟内存的某个区域中，就像真正计算机把机器码加载到主存中一样（例如从地址 `0x0000` 开始）。

---

iv) What are the loaded instructions applied to?

（加载的指令会作用在什么上？）

✅ 答案：

> The loaded instructions are applied to the **emulated CPU state**, i.e., they operate on the registers, memory, and program counter maintained by the emulator.

🧠 解释：
CPU 执行指令时，改变的是“寄存器内容”和“内存数据”。仿真器执行指令时，同样修改软件中表示这些的变量。

✳ 总结归纳

小问	重点	答案摘要
i)	CPU 状态	寄存器 + 程序计数器（PC）
ii)	内存仿真	用数组或类似结构表示
iii)	代码加载位置	模拟内存中的主存区域

小问	重点	答案摘要
iv)	指令作用对象	仿真的 CPU 状态（寄存器、内存、PC）

[口语化表达]

这一页讲的是“仿真器怎么假装自己是一颗 CPU”。第一个问题说仿真器要维持什么状态，那当然是寄存器和程序计数器这些核心东西；第二个问内存怎么模拟，其实就用一个大数组当虚拟内存；第三个问代码放哪儿，就放在这个模拟的主存里，比如从 0 地址开始；第四个问指令作用在哪儿，其实就是修改仿真器维护的寄存器、内存和 PC 的值。总结一下就是：仿真器用程序变量模拟硬件部件，然后逐条解释指令去改变这些变量，看起来就像真 CPU 在跑一样。

Question 5 (continued)

(b) Device emulation is similar to CPU emulation. If read and write register operations for devices become messages passed to a device emulator process, then what must the “read register” message contain? And what does a “write register” message contain? (4 marks)

(c) A virtual machine consists of three components: host, Virtual Machine Manager (VMM) or Hypervisor and a guest. Describe each component. (6 marks)

../Question 5 continued over the page

这页是 **Question 5（续）**，讲的是**设备仿真（Device Emulation）**与**虚拟机体系结构（Virtual Machine Architecture）**。
题目 (b) 和 (c) 对应操作系统或虚拟化架构中的底层概念。下面是详细解释和写法。

(b) Device emulation and register read/write messages （4 marks）

✅ 题意理解：

设备仿真（Device Emulation）和 CPU 仿真类似。
在计算机系统中，设备（如网卡、磁盘控制器、显卡）都有**寄存器（registers）**用于控制或存取状态。
在虚拟环境下，这些**读/写寄存器的操作**被封装成消息（message）传给设备仿真进程。

题目要求说明：

- “**read register**” 消息需要包含什么内容？
- “**write register**” 消息需要包含什么内容？

✅ 答案：

操作	消息需要包含的内容	解释
Read Register	设备标识符（device ID）、寄存器地址（register address）	告诉仿真器“从哪个设备的哪个寄存器读数据”
Write Register	设备标识符（device ID）、寄存器地址（register address）、要写入的值（data value）	告诉仿真器“往哪个寄存器写什么值”

🧠 扩展说明：

- 仿真器根据设备 ID 定位对应设备对象；
- “read” 操作返回寄存器当前状态值；
- “write” 操作更新寄存器状态（可能触发设备动作，如开始 I/O）。

(c) Virtual Machine Components （6 marks）

✅ 背景知识：

一个虚拟机系统由三个核心组件组成：

1. **Host（主机）**
2. **Virtual Machine Manager (VMM) 或 Hypervisor（虚拟机管理器/监控器）**
3. **Guest（客户机）**

✅ 答案：

组件	描述	举例
Host（宿主机）	实际运行虚拟机的物理计算机，包含真实的硬件资源（CPU、内存、I/O）。运行宿主操作系统（如 Linux、Windows）。	物理服务器、笔记本电脑等
Virtual Machine Manager (VMM) / Hypervisor	管理并调度虚拟机，负责**资源虚拟化**（将真实硬件抽象成多个虚拟资源），并隔离不同虚拟机。它位于宿主与客户机之间。	VMware ESXi、KVM、Xen
Guest（客户机）	运行在虚拟机中的系统，看起来就像在真实硬件上运行。拥有自己的操作系统和应用程序。	Windows 虚拟机、Ubuntu 虚拟机

🧠 补充说明：

- VMM 控制 CPU 时间分配、内存映射、I/O 虚拟化；
- 每个 Guest 都被分配虚拟 CPU、虚拟内存、虚拟设备；
- Host 负责实际的物理资源分配与底层驱动。

✳ 总结归纳

小题	内容	核心答案
(b)	设备寄存器读写仿真	Read → 设备ID + 地址；Write → 设备ID + 地址 + 数据
(c)	虚拟机三部分组成	Host（物理机）、VMM/Hypervisor（虚拟化管理层）、Guest（虚拟操作系统）

[口语化表达]

这页讲的是虚拟化的两层：设备仿真和虚拟机结构。
(b) 那题其实就是在说，如果我们把设备的寄存器操作变成消息，那“读寄存器”的消息就得告诉仿真器要读哪个设备、哪个地址；而“写寄存器”的消息还得再多一个要写进去的值。
(c) 那题讲虚拟机三大件：Host 是真机器、有硬件的那台；VMM 或 Hypervisor 是中间那层，帮你把物理资源分成几份、虚拟成假的 CPU、内存、磁盘；Guest 就是虚拟机里的系统，比如你在 Windows 上跑个虚拟的 Ubuntu。
一句话总结：主机提供硬件，VMM 负责分配和隔离，Guest 以为自己在真机上跑。

Question 5 (continued)

(d) What is paravirtualization? (2 marks)

这页是 **Question 5（续）** 的最后一小问，主题是虚拟化（Virtualization）相关内容，特别是 **半虚拟化（Paravirtualization）** 的概念。这个考点在操作系统和虚拟机体系结构中非常常见。下面是详细解释。

(d) What is paravirtualization? （2 marks）

✅ 答案：

> **Paravirtualization** is a virtualization technique where the **guest operating system is modified** so that it is aware it is running inside a virtualized environment.
> Instead of executing privileged instructions directly, the guest OS makes **hypercalls** to the **hypervisor (VMM)** for such operations.

（翻译）
半虚拟化是一种虚拟化技术，在这种模式下，**客户机操作系统（Guest OS）会被修改**，让它知道自己运行在虚拟机里。
当它需要执行特权操作（比如访问硬件或修改页表）时，不是直接执行，而是通过 **Hypercalls（超调用）** 请求 **VMM/Hypervisor（虚拟机管理器）** 来完成。

✅ 补充理解：

- 在**完全虚拟化（Full Virtualization）**中，Guest OS 不知道自己在虚拟机里，Hypervisor 需要“欺骗”它，通过二进制翻译或硬件虚拟化指令来截获特权操作。
- 而在**半虚拟化**中，Guest OS 是“配合”的，它会主动调用 Hypervisor 提供的接口，这样开销更小，效率更高。
- 典型代表是 **Xen Hypervisor** 的 paravirtualization 模式。

✅ 示例对比：

虚拟化类型	Guest 是否修改	特权操作处理方式	性能
Full Virtualization（完全虚拟化）	❌ 不修改	由 VMM 截获并仿真	较低
Paravirtualization（半虚拟化）	✅ 已修改	由 Guest 主动调用 Hypervisor	较高

✳ 总结归纳

内容	要点
定义	Guest OS 被修改以配合 Hypervisor，通过 Hypercall 完成特权操作
核心思想	“合作式虚拟化”，提高性能
对比	不同于完全虚拟化，半虚拟化不需要二进制翻译
示例	Xen、KVM（部分模式）等

[口语化表达]

这一页的题其实很短，就是问“什么是半虚拟化”。简单说，平常的完全虚拟化是 Hypervisor 在底下偷偷帮忙，让系统以为自己在真机上；半虚拟化就更直接——让 Guest OS 自己知道它在虚拟机里，遇到要操作硬件的地方不瞎搞，主动去问 Hypervisor 帮它干，这个过程叫 Hypercall。这样做速度更快，因为不用去拦截、翻译每条指令。比如 Xen 这种虚拟机系统就用的就是这种机制。

Question 6. (20 marks)

You have been asked to design an operating system for a weather satellite. The weather satellite takes periodic images of the earth, using a camera (high latency, high priority, no security), infrared sensor (high latency, low priority, requires security) and a radar (low latency, high priority, no security). All the image and sensor data is periodically transmitted to an earth ground station. If transmission is not possible, then all data must be stored on the satellite. The satellite is powered by solar panels but must also operate in reduced power mode when sunlight is not available. The satellite must operate in harsh radiation and extreme temperature conditions. Harsh radiation environments can cause errors in various electronic devices such as hard drive storage. Extreme temperatures can affect the running of CPU cores. The operating system should use multiple CPU cores for parallelism.

For each of the indicated aspects of the operating system:

(i) Describe your suggested design alternative,

(ii) Give one other less favourable choice,

(iii) Explain two advantages of the suggested alternative compared to the less favourable choice

(a) What type of Parallelism should be used (Data vs Task) (5 marks) (i) Suggested solution (ii) Less favoured alternative (iii) Two advantages of suggested solution

../Question 6 continued over the page

好的，这页是 **Question 5（d）**，题目问的是：

> “What is paravirtualization?”（什么是半虚拟化？）
> 分值 2 分，考查点在于**理解虚拟化的不同类型**，尤其是**半虚拟化（Paravirtualization）**和完全虚拟化（Full Virtualization）的区别。
> 下面我来一步步讲解该题什么意思、该怎么回答、核心要点是什么。

🔹 题目解释

题目是在问：
当操作系统运行在虚拟机环境中时，有几种不同的虚拟化方式。

- 有一种是“完全虚拟化（Full Virtualization）”，操作系统以为自己直接在物理机上跑。
- 另一种是“半虚拟化（Paravirtualization）”，操作系统知道自己是在虚拟机里跑，会“主动配合”虚拟化层（VMM 或 Hypervisor）。

题目想让你说明：什么是半虚拟化，以及它和普通虚拟化的关键区别。

🔹 答题要点与标准写法

✅ 标准答案（英文表述）

> **Paravirtualization** is a type of virtualization where the **guest operating system is modified** so that it is aware of the virtualized environment.
> Instead of executing privileged instructions directly, it makes **hypercalls** to the **hypervisor** to perform sensitive operations.

✅ 中文解释

半虚拟化（Paravirtualization）是一种虚拟化技术，它要求**客户机操作系统（Guest OS）经过修改**，以便它能意识到自己是在虚拟机环境中运行。
当客户机需要执行一些特权操作（例如访问硬件、控制中断或修改页表）时，它**不会直接执行**，而是通过一种叫 **“Hypercalls（超调用）”** 的机制，向虚拟机监控器（Hypervisor 或 VMM）请求帮助，让

Hypervisor 替它完成这些特权操作。

这样做的好处是——**性能更高**，因为 Hypervisor 不再需要拦截和模拟每条指令，减少了虚拟化的开销。

🔹 举例说明

类型	Guest OS 是否修改	特权指令处理方式	性能
Full Virtualization（完全虚拟化）	不修改	Hypervisor 截获并模拟特权指令	较慢
Paravirtualization（半虚拟化）	已修改	Guest 通过 Hypercall 主动请求 Hypervisor	较快

📘 **示例：**

- **Xen Hypervisor** 早期使用的就是半虚拟化技术。
- 在半虚拟化模式下，Linux 内核会增加专门的接口来调用 Hypervisor，而不再假装自己在物理机上。

✳️ 总结归纳

项目	要点
定义	半虚拟化是修改后的 Guest OS 直接与 Hypervisor 交互的虚拟化方式
核心机制	使用 **Hypercall** 替代直接执行特权指令
优点	减少模拟与截获开销，提高性能
缺点	需要修改 Guest OS（不通用）
示例	Xen、KVM（部分支持）

[口语化表达]

这题其实是在考你虚拟化的分类。半虚拟化就是“合作式虚拟化”，Guest 系统被改过，它知道自己跑在虚拟机里，遇到需要硬件权限的操作时，不再乱动，而是主动去找 Hypervisor 求助，这种调用叫 Hypercall。相比完全虚拟化那种 Hypervisor 在底下偷偷拦截所有特权指令，半虚拟化更快、更高效，但缺点是要改 Guest 系统，比如 Xen 就用这种方式。总结一句话：**半虚拟化=Guest 配合 Hypervisor，用 Hypercall 完成特权操作。**

Question 6 (continued)

(b) Reduce deadlock and starvation of resources (e.g. transmission link). (5 marks) (i) Suggested solution (ii) Less favoured alternative (iii) Two advantages of suggested solution

../Question 6 continued over the page

这页是 **Question 6（续）** 的一部分，主要考察的是操作系统中**死锁（Deadlock）与资源饥饿（Starvation）**的防止或缓解方法。题目让你针对一种资源（例如传输链路 transmission link）提出解决方案，并分析替代方案及优缺点。

(b) Reduce deadlock and starvation of resources （5 marks）

题目要求：

> (i) Suggested solution
> (ii) Less favoured alternative
> (iii) Two advantages of suggested solution

也就是说：

- 你要提出一个能减少死锁和饥饿的方案；
- 再写一个“效果较差但常见”的替代方案；
- 最后列出你方案的两个优点。

一、背景知识：

死锁（Deadlock）：
多个进程相互等待对方释放资源，结果谁也无法继续执行。
例如：
进程 A 拿到资源 1，等待资源 2；
进程 B 拿到资源 2，等待资源 1 —— 都卡住了。

资源饥饿（Starvation）：
某个进程长期得不到资源（比如调度优先级太低或资源一直被别人抢占）。

二、(i) Suggested Solution — 建议方案（推荐写法）

✅ **使用资源分配顺序策略（Resource Ordering）或银行家算法（Banker's Algorithm）**

> **Suggested Solution:**
> Implement a **resource allocation ordering** or **Banker's Algorithm** to ensure that processes request resources in a safe sequence.
> This prevents circular wait and reduces deadlock probability.

🧠 **解释：**

- 资源分配顺序法要求所有进程按照固定顺序请求资源（例如先申请链路 A，再申请链路 B），这样可以避免环形等待；
- 银行家算法会在分配资源前先判断系统是否处于"安全状态"，只有在不造成死锁风险的情况下才允许分配。

三、(ii) Less favoured alternative — 次优方案

✅ **使用超时机制（Timeouts）或抢占策略（Preemption）**

> **Less favoured alternative:**
> Use **timeouts** or **resource preemption** — forcibly release resources if a process holds them too long.

🧠 **解释：**

超时机制能避免长时间等待，但可能会导致效率下降或数据不一致。
抢占策略虽然能打破死锁，但会增加系统开销、造成资源状态复杂化。

四、(iii) Two advantages of suggested solution — 建议方案的两个优点

✅ **Advantages:**

1. **Prevents circular wait** — avoids one of the four necessary conditions for deadlock.

2. **Predictable and fair resource allocation** — ensures all processes can eventually access resources, reducing starvation.

🧠 **解释：**

- 资源按顺序分配能彻底消除“环形等待”，系统不会死锁；
- 通过安全序列控制，每个进程最终都能获得所需资源，避免长期饿死。

✳ 总结归纳

项目	内容
(i) 建议方案	资源分配顺序法 / 银行家算法
(ii) 替代方案	超时机制 / 抢占法
(iii) 两个优点	防止环形等待、保证资源公平与可预测分配

[口语化表达]

这题就是在问怎么防止“系统卡死”和“有的进程一直拿不到资源”。一个靠谱的办法是给资源设个固定的申请顺序，比如大家都先拿 A 再拿 B，这样就不会出现你等我我等你的环形等待，或者用银行家算法，在分资源前先算算安全不安全。一个比较次的办法是搞超时或强制抢资源，虽然能解死锁但系统很乱。推荐的方案好在：一是能彻底防止死锁，二是分配公平、不会让某个进程饿死太久。

第15页

Question 6 (continued)

(c) What security mechanism should be used to ensure that the data is only received by the intended recipient. (5 marks) (i) Suggested solution (ii) Less favoured alternative (iii) Two advantages of suggested solution
.

./Question 6 continued over the page

这页（**Question 6 (c)**）考的是**计算机安全机制（Security Mechanism）**，核心问题是：

> 怎样确保数据只能被预期接收方接收到？
> 即如何保证**数据传输的机密性（Confidentiality）**。
> 题目要求分为三部分：
> (i) 建议方案（Suggested solution）
> (ii) 次优方案（Less favoured alternative）
> (iii) 建议方案的两个优点（Two advantages of suggested solution）

(c) What security mechanism should be used to ensure data is only received by the intended recipient? （5 marks）

✅ (i) Suggested solution — 建议方案

> **Use encryption with public-key cryptography (asymmetric encryption)** — e.g. RSA or ECC.

说明：
使用 **公钥加密机制**（Public-Key Encryption）能确保只有“拥有对应私钥的接收方”才能解密信息。
传输过程：

1. 发送者使用接收方的**公钥（Public Key）**加密数据；
2. 只有接收方能用其**私钥（Private Key）**解密。
   这保证了即使数据在传输途中被拦截，其他人也无法读取。

常见实现方式包括：

- **RSA（Rivest–Shamir–Adleman）**
- **ECC（Elliptic Curve Cryptography）**
- 在网络中广泛使用的 **SSL/TLS（HTTPS）**

✅ (ii) Less favoured alternative — 次优方案

> **Use symmetric encryption (e.g. AES) with pre-shared secret keys.**

说明：
对称加密（如 AES）也能保护机密性，但**通信双方必须事先安全地共享密钥**。
这在大规模网络通信（如互联网）中比较困难，因为密钥传输本身容易被截获。

✅ (iii) Two advantages of suggested solution — 建议方案的两个优点

1. **Secure key distribution:**
   公钥可以公开发布，不需要安全信道传输密钥，解决了“密钥交换难”的问题。
2. **Ensures confidentiality and authenticity:**
   结合数字签名，可同时保证**数据机密性**与**身份真实性**，防止数据被伪造或篡改。

✳ 总结归纳

项目	答案
(i) 建议方案	公钥加密（如 RSA、ECC）
(ii) 次优方案	对称加密（如 AES，需预共享密钥）
(iii) 优点	(1) 不需安全信道传密钥 (2) 保证数据机密性与身份真实性

[口语化表达]

这题其实就是问“怎么保证传输的数据只有对的人能看到”。最常用的办法就是用公钥加密——我用你的公钥把数据加密发给你，只有你手里的私钥能解开，就算中途被别人截获也看不懂。相比之下，对称加密也行，但要先把密钥传过去，这一步就不安全。公钥加密的好处是：一来不用担心密钥怎么传，二来还能配合数字签名一起用，既能保密又能验证身份。总结一句话：**用公钥加密最稳，省心又安全。**

Question 6 (continued)

(d) RAID Disk level (0 to 6) (5 marks) (i) Suggested solution (ii) Less favoured alternative (iii) Two advantages of suggested solution

这页（**Question 6 (d)**）考的是 **RAID（Redundant Array of Independent Disks，独立磁盘冗余阵列）** 的理解与应用。题目要求从 RAID 0~6 里选一种合适的方案、一个次优方案，并说明你的推荐方案的两个优点。重点是理解不同 RAID 级别的**性能、容错性和成本**差异。

(d) RAID Disk level (o to 6)（5 marks）

题目要求：

> (i) Suggested solution
> (ii) Less favoured alternative
> (iii) Two advantages of suggested solution

一、背景知识：RAID 各级别简表

RAID 级别	特点	容错性	性能	磁盘利用率
RAID 0	数据条带化（Striping），无冗余	❌ 无	✅ 最高	100%
RAID 1	镜像（Mirroring）	✅ 高	⚠️ 写入慢	50%
RAID 5	条带化 + 奇偶校验（Parity）	✅ 单盘容错	✅ 性能高、性价比好	~67%
RAID 6	双重奇偶校验	✅ 双盘容错	⚠️ 写入略慢	~50%
RAID 10	RAID 1+0 结合	✅ 高	✅ 高	50%

二、(i) Suggested solution — 建议方案

> **RAID 5** — striping with distributed parity.

解释：
RAID 5 通过在多块磁盘上分布存储奇偶校验信息，能在一块磁盘损坏时仍然恢复数据。
它同时提供了：

- 较高的读写性能（利用条带化并行读写）；
- 一定的冗余能力（通过奇偶校验恢复数据）；
- 较好的存储空间利用率（比 RAID 1 高）。

非常适合**服务器文件存储、数据库系统、Web 服务**等场景。

三、(ii) Less favoured alternative — 次优方案

> **RAID 1 (Mirroring)** — data duplication across two or more disks.

解释：
RAID 1 通过完全复制数据保证可靠性，但需要两倍磁盘空间。
它的读取速度快，但写入速度较慢，成本较高，不适合大容量系统。

四、(iii) Two advantages of suggested solution — RAID 5 的两个优点

1. **Balance between performance and fault tolerance**
   RAID 5 在读性能上接近 RAID 0，同时仍具有单盘故障恢复能力，是性能与可靠性的折中方案。
2. **Efficient use of storage space**
   只需一块磁盘的容量用于校验信息（而不是 RAID 1 的一半空间），整体利用率高。

✳ 总结归纳

项目	内容
(i) 建议方案	RAID 5 — 条带化 + 分布式奇偶校验
(ii) 次优方案	RAID 1 — 镜像冗余
(iii) 优点	(1) 兼顾性能与容错性 (2) 存储利用率高

[口语化表达]

这题是让你选个合适的 RAID 级别来平衡速度、容错和成本。最推荐的是 **RAID 5**，它把数据分块存到多块盘上，同时在不同盘上存奇偶校验位，这样哪怕坏一块盘也能恢复数据。比 RAID 1 那种全镜像省空间多了，而且读写性能也不错。RAID 1 虽然安全但浪费一半硬盘，还写得慢。RAID 5 的好处就是：既快又安全，还不太费盘空间，是最划算的中间方案。

BLANK PAGE FOR WORKING

END OF EXAMINATION

这页（**Page 17 of 17**）其实不是题目页，而是**考试试卷的最后一页**。
上面写着：

> **BLANK PAGE FOR WORKING**
> **END OF EXAMINATION**

意思是：
这是**供学生草稿或计算使用的空白页**，并且提示这里是**试卷的结尾（考试结束）**。
所以这一页**没有任何题目**，也**不需要作答**。

✅ 详细解释

1. **“BLANK PAGE FOR WORKING”**
   → 意思是“空白页，可用于演算、写草稿、画图或计算”。
   在正式考试中，这一页不评分，通常用来让考生写一些辅助步骤、临时运算或验证。
2. **“END OF EXAMINATION”**
   → 表示考试内容已全部结束，后面没有其他题目。
   一般学生看到这里就知道可以开始检查试卷或交卷。

✅ 该页怎么做（或者说：不用做）

- **不需要回答任何问题。**
- 如果你需要在答题过程中写计算过程、画状态图、排查公式等，可以在这里写。
- 在电子版本或 PDF 试卷中，这页可以忽略。

✳ 总结归纳

项目	内容
页类型	空白工作页（非题目页）
作用	供草稿、计算或检查使用
是否计分	否

项目	内容
说明文字	“BLANK PAGE FOR WORKING” + “END OF EXAMINATION” 表示考试结束

[口语化表达]

这页其实没题，就是试卷最后的空白页，官方留给你当草稿纸用的。上面的 “BLANK PAGE FOR WORKING” 就是“空白页，用来演算”，下面的 “END OF EXAMINATION” 是告诉你——考试到这里结束了，别往后翻了。所以这页不用写答案，也不会算分，真要写点东西，就是随手算算题、画个图、记个公式之类的辅助内容。