

2025 华为软件精英挑战赛

初赛任务书

文档版本

v1

发布日期

2025-03-10



目 录

目 录	2
1 更新记录	3
2 赛题背景	4
3 赛题描述	4
3.1 赛题概述	6
3.2 分布式对象存储系统介绍.....	6
3.3 对象冗余机制介绍	7
3.4 对象标签介绍	7
3.5 存储介质（硬盘）介绍	8
4 判题过程	8
5 得分规则	11
6 输入与输出	12
6.1 全局预处理阶段	12
6.2 每个时间片的交互	13
6.2.1 时间片对齐事件交互	13
6.2.2 对象删除事件交互	14
6.2.3 对象写入事件交互	15
6.2.4 对象读取事件交互	16
6.3 交互注意事项	17

1 更新记录

表1-1 更新记录

版本	修改说明	发布时间
v1	正式发布	2025-03-10

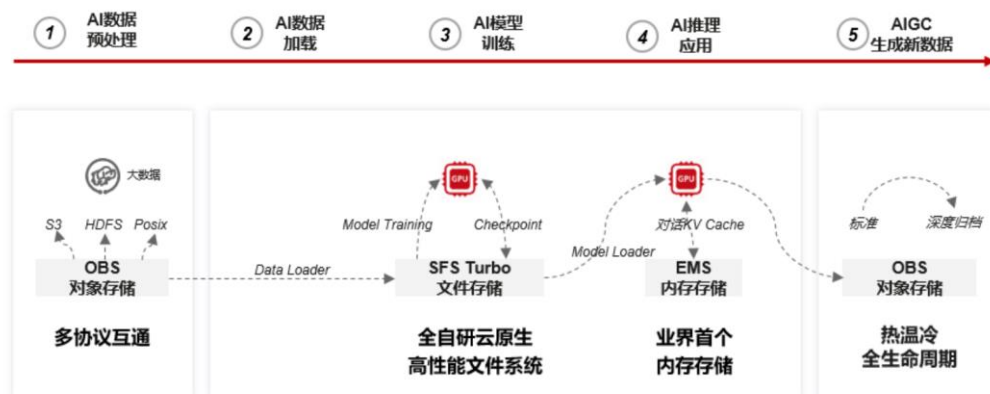
2 赛题背景

*术语表（下述背景中如 **对象**（斜体、下划线、加粗）的字样为相关术语，可在此查阅）

背景术语	对象存储服务	【链接】一种基于 对象 的存储服务，为客户提供海量、安全、高可靠、低成本的数据存储能力，使用时无需考虑容量限制。
	OBS	【链接】华为云提供的 对象存储服务 ，提供安全稳定、性能领先、无限弹性扩展的存储能力，降低使用成本，驱动千行百业数据价值变现。
	SFS Turbo	【链接】华为云提供的高性能弹性文件服务，提供按需扩展的高性能文件存储，用于 AI 训练、AIGC、自动驾驶、渲染、EDA 仿真、企业 NAS 应用等高性能场景，为其提供共享存储访问能力。
通用术语	机械硬盘	【链接】传统普通硬盘，有盘片，磁头，盘片转轴等组成。 随机读写 时需要频繁寻道，也就需要磁头和探针频繁的转动，性能远差于 顺序读写 。
	磁头	【链接】硬盘存储的结构中的一部分，负责读取与写入数据至硬盘。从硬盘中读取数据时，它会在硬盘上方浮动。
	随机读写	【链接】在存储设备上的不同位置进行非连续的读取或写入操作。每次操作的目标位置是随机的。对于机械硬盘而言，磁头需要频繁移动以定位数据。
	顺序读写	【链接】在存储设备上从某个位置开始按顺序连续读取或写入。对于机械硬盘友好，性能为 随机读写 场景的数倍。
对象存储相关术语	对象	【链接】 对象存储服务 提供的数据存储基本单位，一个对象是一个文件的数据与其相关属性信息（元数据）的集合体。用户上传至对象存储服务的数据都以对象的形式保存。
	对象标签	【链接】用户可以对上传的 对象 进行标签标记，通常来说，同一标签的对象具有潜在的不固定相似性（例如文件格式、文件大小、 生命周期 等）。
	生命周期	【链接】对象的生命周期指的是对象从创建开始，经过一系列的状态变化，直到最终被删除或归档的整个过程。
	碎片化	【链接】指存储空间使用效率低下，结果导致功能、运行效率变低等现象。
	副本	将对象复制多份分别存储到多块硬盘上，每一份为该对象的一个副本。多副本存储可避免单次故障导致的数据丢失，提升存储系统的可靠性与可用性。
赛题规则	时间片	真实业务场景中存储系统与外界的交互过程过于复杂，本题将一段时间内交互抽象为在一个时间片内的交互。时间片为本题的“单位时间”。
	令牌	本题将 磁头 进行一系列动作需要的时间开销抽象为令牌这一概念。磁头每一个动作均需要消耗令牌，且在单位时间内只能消耗有限数量的令牌。
	对象块	指对象在存储系统中可进一步细分的更小单元，在本题中为划分对象的“最小单元”。
	对象大小	每个对象拆分成 对象块 的数量。
	控制模块	分布式存储系统中用于全局管理和调度的逻辑组件，在本题中控制系统的写入、读取和删除对象操作。
	存储单元	硬盘上存储数据的单位。在本题中，一个存储单元可以恰好存放一个对象块。

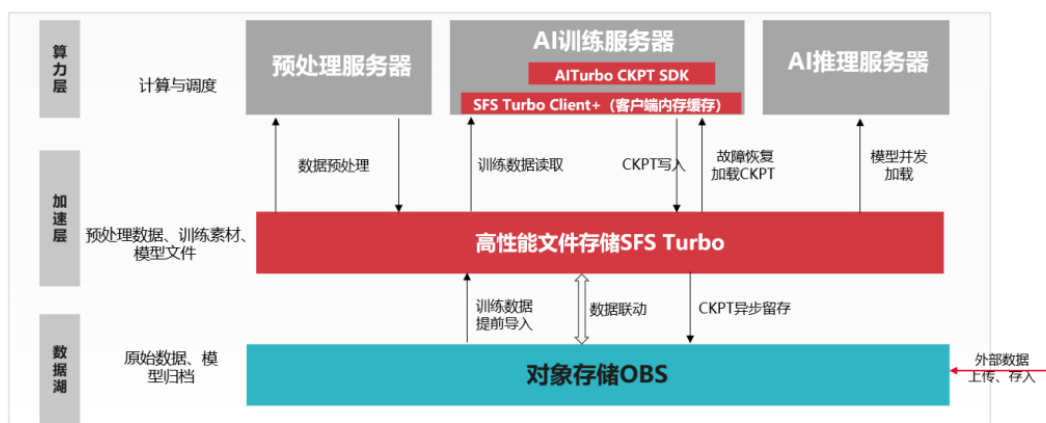
大模型的生成式 AI 技术的突破性发展推动了人工智能应用范围从传统的分类任务向广泛的生成任务扩展，引发了 AI 应用的爆发式增长，并引领 IT 产业进入全新的“AI 时代”。在此背景下，AI 产业的快速发展也促使云计算基础设施从以通用算力为核心向以智能算力为核心转变。在这一新型云计算基础设施中，数据的“算力”与“存力”相辅相成。尽管云数据中心在智能算力方面取得了显著进展，但存力方面的不足已成为制约效率的关键瓶颈。具体而言，存力问题主要体现在以下三个方面：海量数据存储成本高昂、大模型训练过程中的存储性能不足，以及推理过程中显存面临的“内存墙”问题。为有效解决这些存力挑战，华为云针对 AI 场景推出了 AI-Native 智算存储解决方案，通过提供高效且具有成本优势的先进存力，助力客户降低训练和推理成本，提升整体效率。

图 1-1 AI-Native 智算存储加速 AI 全生命周期业务



Source: 《AI-Native 智算存储技术白皮书》

针对 AI 训练环节中对海量小文件高性能、低时延处理以及大模型训练 CheckPoint 快速存储与恢复的特殊需求，在数据湖 OBS 之上，华为云引入了高性能存储加速缓存层 **SFS Turbo** 作为补充。SFS Turbo 能够为 AI 训练集群提供高性能数据读写能力，满足训练数据加载和故障恢复过程中 CheckPoint 机制的性能要求。然而，由于成本优化的需求，SFS Turbo 中的冷数据会被分级存储到 OBS 中。如何实现 OBS 中数据向 SFS Turbo 的快速加载，是云存储面临的重要挑战，同时也对加速 AI 训练效率具有关键意义。

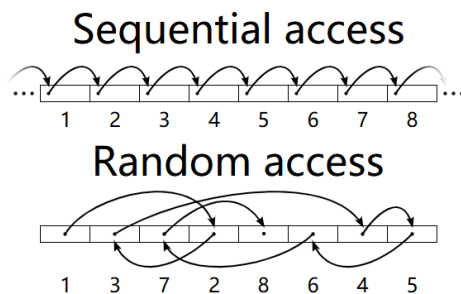


基于 OBS+SFS Turbo 的华为云 AI 云存储解决方案

3 赛题描述

3.1 赛题概述

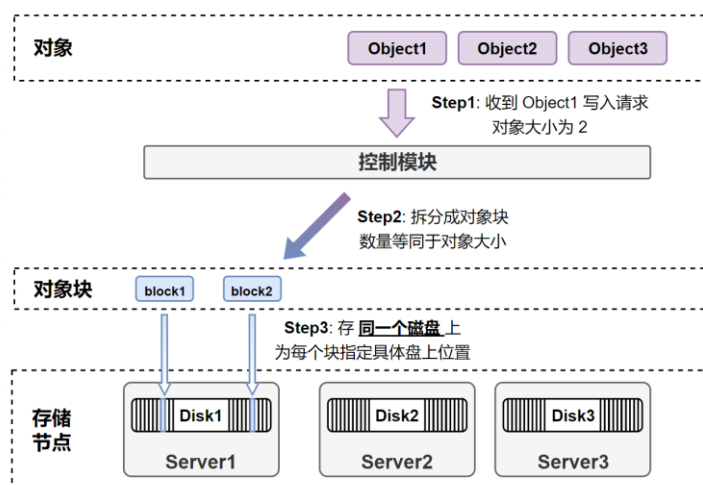
在数据存储领域，尤其是在 对象存储服务 等产品中，硬盘的读写性能是衡量产品竞争力的关键指标之一。在相同的 机械硬盘 上，顺序读写 性能显著优于 随机读写 性能。在本题中，选手需要设计一个分布式对象存储系统，接受外界的写入、读取和删除对象请求。选手需要根据题目提供的 对象标签、对象大小 等信息，将具有相似特征的对象尽可能聚合写入，降低硬盘上数据的 碎片化 程度。在读取时，选手需要合理规划 磁头 的动作，提高系统读取对象的效率。



Source: wikipedia

3.2 分布式对象存储系统介绍

一个分布式存储系统由多个包含复数块硬盘的节点组成，并以基于对象的接口对外提供服务。外部服务可向该系统发起写入、读取和删除对象的请求。这些请求将被转发至系统中的 控制模块 并由控制模块执行。在本题中，你需要为该系统实现负责处理外部请求的控制模块。为简化问题，**本题中每个节点仅管理一块硬盘**。下图展示了这个系统的基本组成与一个 对象 的写入流程案例。



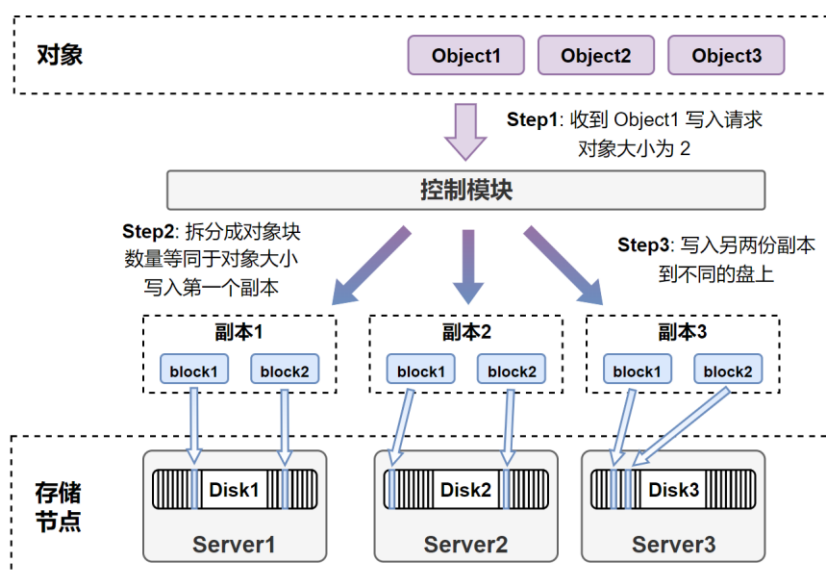
图例 1：对象经过控制模块拆分成对象块，以对象块的粒度存储到具体的存储节点的硬盘

- **Step1:** 系统收到了 Object1 对象的写入请求，该对象的大小是 2。
- **Step2:** 控制模块需要先将其拆分成 2 个 对象块，然后指定一个盘，将 2 个对象块写入同一个盘中。
- **Step3:** 控制模块需要为每个对象块指定盘上的具体写入位置。

3.3 对象冗余机制介绍

对于分布式对象存储系统来说，数据可靠性是重中之重。在本题中，数据可靠性由多副本存储机制保证，每个对象需要保证恰好有 **三个副本**（包括本体，总共三份），且你需要**保证同一个副本的对象块写在同一块盘上**，不同副本的对象块写在不同的盘上，引入冗余机制后，Object1 的写入流程案例如下：

- **Step1:** 系统收到了 Object1 对象的写入请求，该对象的大小是 2。
- **Step2:** 控制模块需先将其拆分成 2 个对象块，然后指定一个盘，和每个对象块的具体写入位置，将 2 个对象块写入，完成第一个副本的写入。
- **Step3:**（重复两次）再次指定一个不同的盘，将 2 个对象块再次写入，指定每个对象块的具体写入位置，完成第二/三个副本的写入。

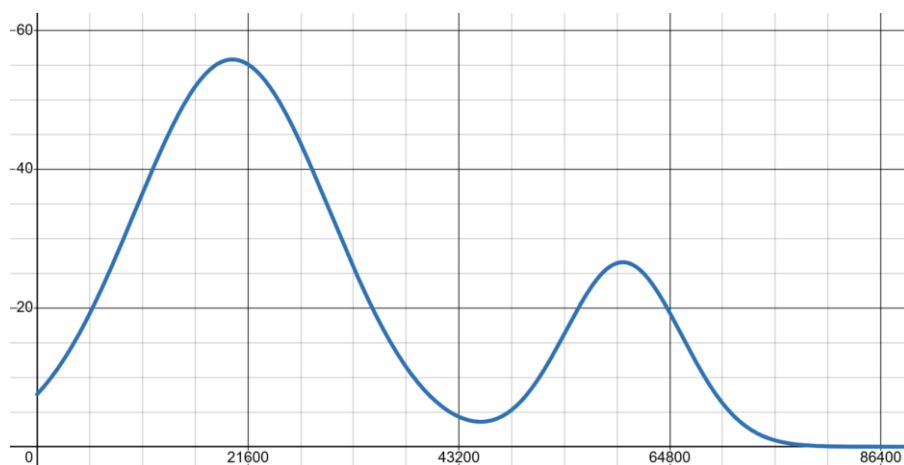


图例2：每个对象需要写入三个副本，三个副本写入不同的盘上，每个副本内的对象块各自写入指定的盘上位置

3.4 对象标签介绍

对象标签 是对象的一种属性。通常，对象标签由用户指定，同一标签的对象在某些特征上具有相似性（例如文件格式、文件大小、生命周期 等）。在本题中，对象标签提炼自真实业务场景。**如果两个对象具有相同的标签，他们将会有更大概率在同一时间或者较近时间被读取。**

优化的关键



图例 3：一种标签读取请求数量随时间变化示例图

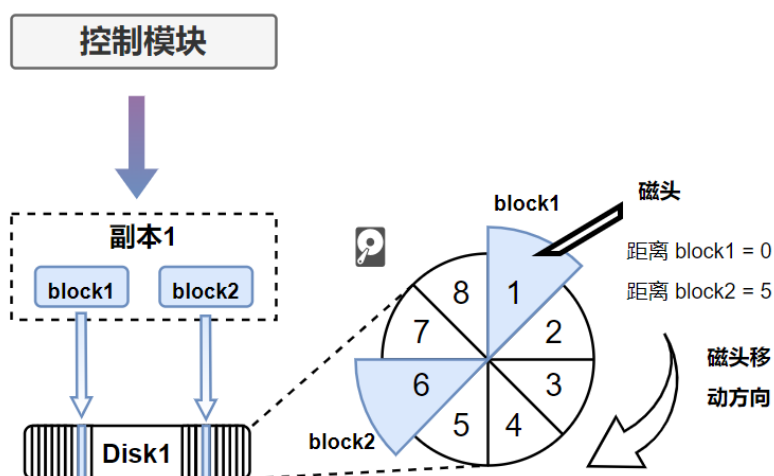
对于每一种对象标签，请求在时间轴上的分布具有规律性。选手可以通过赛题组提供的公开数据数据观察和运用该规律，利用标签信息降低硬盘上数据的碎片化程度，最终使存储系统性能得到提升。例如上图描述了一个标签在时间轴上读请求数量大致分布。关于下发的数据，请参照附件《题目与判题器补充说明》。

在本题中，判题器在 时间片 交互开始前，将1800个时间片作为一个整体，将这段时间内每一种标签对应的删除、写入和读取对象的总对象块数量输入到控制模块。选手可以利用该信息设计相应的策略。

3.5 存储介质（硬盘）介绍

在本题中，存储介质为经高度抽象的机械硬盘。每块硬盘由数个存储单元和磁头组成：

- **存储单元**：每块硬盘由 V 个 存储单元 组成，存储单元编号为1到 V 。每块存储单元的大小是相同的，可以恰好存放一个对象块。存储单元是环形排列的，第 V 个存储单元的下一个存储单元编号为1。
- **磁头**：每块硬盘有一个可以单向移动的 磁头。磁头可以用于读取数据。



图例 4：存储单元在磁盘中排成环形结构。磁头需要挪到放置了对象块的存储单元才能读取该对象块

4 判题过程

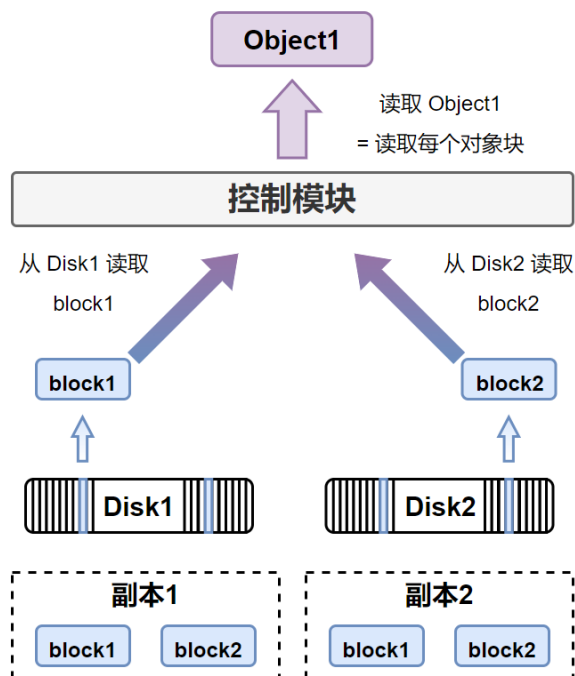
整个判题过程包含若干次时间片交互，每次交互包含数个事件，事件类型如下：

- **时间片对齐事件：**给定当前时间片(TIMESTAMP)
 - **你的任务：**返回当前的时间片(TIMESTAMP) 没有实际意义
 - **规则备注：**用于交互器和选手程序同步，方便选手调试使用。 到这个时间点还没有被读取，结果对象被删了，前面的努力都白费了(这个主要是预处理的时候分配一下多少个时间片来读取一个对象)
- **对象删除事件：**给定 (id) 代表需要删除一个编号为 id 的对象。
 - **你的任务：**输出该对象当前所有还没完成的读取请求，这些请求将被直接取消（记为 0 分）。
 - **规则备注：**删除与磁头的位置无关，且立即生效，即盘上数据立即被删除。
- **对象写入事件：**给定 (id, size, tag) 代表需要写入一个编号为 id、大小为 size、对象标签为 tag 的对象。
 - **你的任务：**针对这个对象的三个副本，给出每份副本各自写入目标的硬盘编号，以及每个副本中的每个对象块在该硬盘中的写入位置。写入的存储单元不能有其他对象的数据。
 - **规则备注：**
 - ▲ 写入与磁头的位置无关，且立即生效。 每个副本只能存一块盘上，不能存多块盘上
 - ▲ 需要保证同一个副本的对象块写在同一块盘上，不同副本的对象块写在不同的盘上。 不同副本的对象块不能存在同一个盘上
 - ▲ 某个副本的对象块可以在硬盘上不连续存放。例如可以将对象某副本存放在存储单元 1,3 中。 但实际上连续存放，读的效率更高
 - ▲ 若选手无法选出三块有足够空间的硬盘存放该对象，则选手程序被判为 0 分。
- **对象读取事件：**给定 (req_id, id) 代表需要读取请求编号为 req_id，读取的是编号为 id 的对象。
 - **你的任务：**
 - ▲ 在接下来的时间片中（包含当前时间片），你需要给某些盘的磁头发送一系列的动作指令将该对象的所有对象块读出并组成完整的对象（见图例 5）。
 - ▲ 每块硬盘有一个磁头。磁头初始位置在存储单元 1。磁头能向存储单元编号更大的一侧移动（特殊的，在第 V 个存储单元的磁头移动一次后到存储单元 1）。
 - ▲ 磁头可以执行动作，每个动作均需要消耗 **令牌**。每个磁头在每个时间片内最多消耗 G 个令牌，假设当前磁头在存储单元 x，磁头可以执行下列动作： 一次跳跃操作就能把该时间片消耗完
 - ★ **Jump：**跳跃到某个指定的存储单元 y。磁头挪动至存储单元 y。"Jump"动作固定消耗 G 个令牌。
 - ★ 只能在每个时间片的开始执行"Jump"动作，且执行后该磁头不能再有其他动作。
 - ★ **Pass：**忽略当前的存储单元 x，磁头直接挪动至下一个存储单元 $(x \% V) + 1$ 。其中，% 代表取模操作。"Pass"动作固定消耗 1 个令牌。 顺序往后移动 1 个
 - ★ **Read：**读取当前的存储单元 x，磁头挪动至下一个存储单元 $(x \% V) + 1$ 。读取消耗的令牌数规则如下：
 - ★ 若该磁头上一次动作不是"Read"，消耗 64 个令牌。第一个时间片 **首次"Read"消耗 64 个令牌**。
 - ★ 否则，若磁头上一次动作消耗的令牌数为 pre_token，本次动作消耗令牌数为 $\max(16, \text{ceil}(\text{pre_token} \times 0.8))$ 。其中， $\text{ceil}(x)$ 表示 x 向上取整。
 - ★ 磁头在每个时间片的首次动作的上一个动作为该磁头上一个时间片的最后一个动作。
 - ▲ 不同硬盘间的磁头动作相互 **独立**。
 - ▲ 对于每一个请求，若其目标对象的每一个对象块均有至少一个副本在选手程序收到请求后被其所在硬盘读取过，则选手程序可上报该请求已完成。 对象的每一个对象块都必须被读，但只需要对象块被读了即可，不论读的是哪个副本块

64
52
42
34
28
23
19
16



- ✦ 选手可以读取该对象的同一个副本，例如，如果你想完整的从这个盘上读取该对象的所有对象块（block1 和 block2），就需要分别挪动磁头到两个块位置进行读取，在读取途中也可以读取其他对象。
- ✦ 选手也可以读取该对象不同副本的对象块组成完整的对象，从而实现更快的读取性能。例如：



图例 5：从多个副本中分别读取同个对象的不同块

- ✦ 选手程序应在输出所有磁头动作后上报已完成的读取请求。
- 规则备注：
 - ✦ 同一时间可能有多个读请求读同一个对象。
 - ✦ 在读取请求到达后，若目标对象的每个对象块均被读取了至少一次，则选手可上报该请求读取成功。每个对象块的任意一个副本被读取可视为该对象块被读取。
 - ★ 例如，对于一个由2个对象块（block1，block2）组成的对象，在时间片1接收到读取请求1；在时间片2读取了 block1；在时间片3接收到读取请求2；在时间片4读取了 block2；那么在时间片4可以上报读取请求1成功。读取请求2在请求到来后（时间片3后）没有读取 block1，故不能上报读取成功。
 - ✦ 对象读取请求可跨越多个时间片，如在时间片 t 到达并在时间片 $t + 10$ 才完成。
 - ✦ 对于一个读取请求，在存储系统读取完毕后，可以选择不上报读取成功，且可以选择在之后某个时间片再上报读取成功，但是这样做不会让得分更高。
 - ✦ 磁头仅与读取操作相关，写入和删除操作无需移动磁头。

5 得分规则

选手程序得分为每个读请求的得分之和。对于每个读请求，其得分计算方式如下：

一个大小为 $size$ 的对象，假设某个读取请求在第 i 个时间片发送给存储系统，在第 $i + x$ 个时间片上报读取成功，则其得分 $SCORES$ 为：

$$SCORES = f(x) * g(size)$$

其中：

$$f(x) = \begin{cases} -0.005x + 1, & 0 \leq x \leq 10 \\ -0.01x + 1.05, & 10 < x \leq 105 \\ 0, & 105 < x \end{cases}$$

$$g(size) = (size + 1) * 0.5$$

若一个读请求在交互完成后仍未返回，记 0 分。

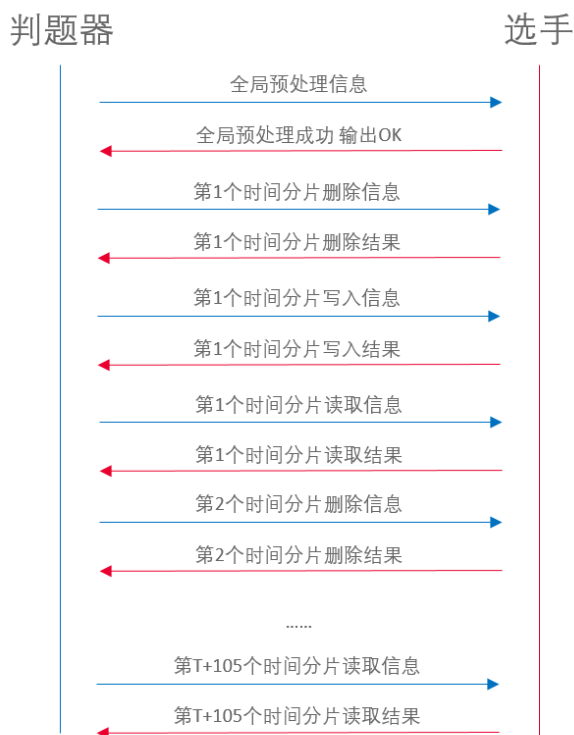
更多与得分相关的问题，请参附件《题目与判题器补充说明》。

x 表示延迟的时间
显然 x 越小得分越高，当 x 不超过10时，到底是几并无大碍，但当 x 超过10之后，就需要立刻响应，否则分扣得越多
当 $x > 105$ 时不得分

$size$ 表示此对象的大小，
显然 $size$ 越大，得分越大

6 输入与输出

选手程序与判题器的交互包含两个阶段：全局预处理阶段和每个时间片的交互。



6.1 全局预处理阶段

首先，判题器会给出以下输入：

```

1. T M N V G
2. fre_del[1][1] fre_del[1][2] ... fre_del[1][ceil(T/1800)]
3. fre_del[2][1] fre_del[2][2] ... fre_del[2][ceil(T/1800)]
4. ...
5. fre_del[M][1] fre_del[M][2] ... fre_del[M][ceil(T/1800)]
6. fre_write[1][1] fre_write[1][2] ... fre_write[1][ceil(T/1800)]
7. fre_write[2][1] fre_write[2][2] ... fre_write[2][ceil(T/1800)]
8. ...
9. fre_write[M][1] fre_write[M][2] ... fre_write[M][ceil(T/1800)]
10. fre_read[1][1] fre_read[1][2] ... fre_read[1][ceil(T/1800)]
11. fre_read[2][1] fre_read[2][2] ... fre_read[2][ceil(T/1800)]
12. ...
13. fre_read[M][1] fre_read[M][2] ... fre_read[M][ceil(T/1800)]
  
```

二维数组，下标0都不用

其中：

• T: 代表本次数据有 $T + 105$ 个时间片, 后续输入第二阶段 (见章节 6.2) 将循环交互 $T + 105$ 次。时间片编号为 $1 \sim T + 105$ 。输入数据保证 $1 \leq T \leq 86400$ 。对于第 $T + 1 \sim T + 105$ 个时间片, 输入数据保证没有删除、写入和读取请求。

• M: 代表对象标签数。对象标签编号为 $1 \sim M$ 。输入数据保证 $1 \leq M \leq 16$ 。

• N: 代表存储系统中硬盘的个数, 硬盘编号为 $1 \sim N$ 。输入数据保证 $3 \leq N \leq 10$ 。

• V: 代表存储系统中每个硬盘的存储单元个数。存储单元编号为 $1 \sim V$ 。输入数据保证 $1 \leq V \leq 16384$, 任何时间存储系统中空余的存储单元数占总存储单元数的至少 10%。

• G: 代表每个磁头每个时间片最多消耗的令牌数。输入数据保证 $64 \leq G \leq 1000$ 。

• 接下来 $3 * m$ 行, 每行 $\text{ceil}(T/1800)$ 个数, 其中 ceil 代表向上取整。输入数据保证这些数均为 $0 \sim 2^{31} - 1$ 的整数。

非负整数, 代表对象块数目

i 表示标签, j 表示时间片 (1800 为单位的) 的下标

fre_del 为删除操作 ○ 前 m 行中, 第 i 行第 j 个数 $\text{fre_del}[i][j]$ 表示时间片编号 id 满足 $(j - 1) * 1800 + 1 \leq id \leq j * 1800$ 的情况下, 所有删除操作中对象标签为 i 的对象大小之和。

就是对象块的数目

fre_write 为写入 ○ 接下来 m 行, 第 i 行第 j 个数 $\text{fre_write}[i][j]$ 表示时间片编号 id 满足 $(j - 1) * 1800 + 1 \leq id \leq j * 1800$ 的情况下, 所有写入操作中对象标签为 i 的对象大小之和。

fre_read 为读取 ○ 接下来 m 行, 第 i 行第 j 个数 $\text{fre_read}[i][j]$ 表示时间片编号 id 满足 $(j - 1) * 1800 + 1 \leq id \leq j * 1800$ 的情况下, 所有读取操作中对象标签为 i 的对象大小之和。同一个对象的多次读取会重复计算。

这里说明了同一个对象可能会被多次读取

例如 (更具体的样例解释, 见附件《样例数据》):

```
1. 5 2 3 10 100 T M N V G
2. 0 M行删除
3. 2
4. 3
5. 2 M行写入
6. 6
7. 4 M行读入
```

代表在本数据中, 有 $5 + 105$ 个时间片, 2 种对象标签, 3 个硬盘, 每个硬盘有 10 个存储单元, 每个磁头在每个时间片最多消耗 100 个令牌。在时间片 $1 \sim 110$ 中, 对象标签 1, 2 分别总共删除了 0, 2 个对象块, 写入了 3, 2 个对象块, 读取了 6, 4 个对象块。 $[0 * 1800 + 1, 5 * 105]$

对于全局预处理阶段, 选手预处理完成后, 需要输出:

```
1. OK
```

请注意: 每行输出带 $\backslash n$, 并且刷新 $\text{cout.flush}()$

• 选手输出完毕后, 需要刷新输出缓冲区。具体操作和注意事项见章节 6.3。

6.2 每个时间片的交互

每个时间片会按顺序进行时间片对齐事件, 对象删除事件, 对象写入事件, 对象读取事件。

交互将循环进行 $T + 105$ 次。

6.2.1 时间片对齐事件交互

判题器会给出以下输入:

```
1. TIMESTAMP current_timestamp
```

• 其中, 大写的 "TIMESTAMP" 为固定的字符串, current_timestamp 为当前的时间片编号, 范围为 $1 \sim T + 105$ 且每次单调递增 1。

例如:

```
1. TIMESTAMP 1
```

对于时间片对齐事件, 选手处理完成后, 需要输出:

1. `TIMESTAMP current_timestamp`

• 其中，大写的"`TIMESTAMP`"为固定的字符串，`current_timestamp` 为当前的时间片编号。选手的输出和判题器的输入需要保持一致。

例如：

```
1. TIMESTAMP 1
```

请注意：

- 时间片对齐事件是方便选手调试代码的事件，其本身没有特殊含义。
- 选手输出完毕后，需要刷新输出缓冲区。具体操作和注意事项见章节 6.3。

6.2.2 对象删除事件交互

判题器会给出以下输入：

```
1. n_delete
2. obj_id[1]
3. obj_id[2]
4. ...
5. obj_id[n_delete]
```

其中：

- `n_delete`：代表这一时间片被删除的对象个数。请注意，`n_delete` 可能为 0。输入数据保证总删除次数小于等于 100000。¹⁰⁵
- 接下来 `n_delete` 行，每行一个数 `obj_id[i]`，代表删除对象的对象编号。输入数据保证删除的对象一定在存储系统中。

例如：

```
1. 1
2. 2
```

代表在本时间片中，共有 1 个对象被删除，其对象编号为 2。

对于对象删除事件，选手处理完成后，需要输出：

```
1. n_abort
2. req_id[1]
3. req_id[2]
4. ...
5. req_id[n_abort]
```

其中：

- `n_abort`：代表这一秒被取消的读取请求的数量。请注意，如果没有需要取消的请求，选手也需要输出一个"0"。
- 接下来 `n_abort` 行，每行一个数 `req_id[i]`，代表被取消的读取请求编号。这里编号可以按任意顺序输出。

例如：

```
1. 1
2. 6
```

代表在本时间片中，共有 1 个读取请求被取消，其读取请求编号为 6。

请注意：

- 选手输出的请求编号必须为删除对象的**当前未完成的读请求**，否则判题器会报错。
- 选手需要保证 `n_abort` 与接下来输出的 `req_id` 数量一致，否则判题器可能会报错或一直等待选手输入而卡住。
- 选手输出完毕后，需要刷新输出缓冲区。具体操作和注意事项见章节 6.3。

6.2.3 对象写入事件交互

判题器会给出以下输入：

```
1. n_write
2. obj_id[1] obj_size[1] obj_tag[1]
3. obj_id[2] obj_size[2] obj_tag[2]
4. ...
5. obj_id[n_write] obj_size[n_write] obj_tag[n_write]
```

其中：

- **n_write**：代表这一时间片写入对象的个数。输入数据保证总写入次数小于等于100000。
- 接下来 **n_write** 行，每行三个数 **obj_id[i]**、**obj_size[i]**、**obj_tag[i]**，代表当前时间片写入的对象编号，对象大小，对象标签编号。输入数据保证 **obj_id** 为1开始每次递增1的整数，且 $1 \leq \text{obj_size}[i] \leq 5$ ， $1 \leq \text{obj_tag}[i] \leq M$ 。

例如：

```
1. 2
2. 1 1 5
3. 2 2 6
```

代表在本时间片中，共有 2 个对象写入，1 号对象大小为 1，标签编号为 5。2 号对象大小为 2，标签编号为 6。

对于对象写入事件，选手处理完成后，需要输出：

```
1. obj_id[1]
2. rep[1] unit[1][1] unit[1][2] ... unit[1][obj_size[obj_id[1]]]
3. rep[2] unit[2][1] unit[2][2] ... unit[2][obj_size[obj_id[1]]]
4. rep[3] unit[3][1] unit[3][2] ... unit[3][obj_size[obj_id[1]]]
5. obj_id[2]
6. rep[1] unit[1][1] unit[1][2] ... unit[1][obj_size[obj_id[2]]]
7. rep[2] unit[2][1] unit[2][2] ... unit[2][obj_size[obj_id[2]]]
8. rep[3] unit[3][1] unit[3][2] ... unit[3][obj_size[obj_id[2]]]
9. ...
10. obj_id[n_write]
11. rep[1] unit[1][1] unit[1][2] ... unit[1][obj_size[obj_id[n_write]]]
12. rep[2] unit[2][1] unit[2][2] ... unit[2][obj_size[obj_id[n_write]]]
13. rep[3] unit[3][1] unit[3][2] ... unit[3][obj_size[obj_id[n_write]]]
```

其中：

- 输出包含 $4 * n_write$ 行，每4行代表一个对象：
 - 第一行一个整数 **obj_id[i]**，表示该对象的对象编号。
 - 接下来一行，第一个整数 **rep[1]** 表示该对象的第一个副本写入的硬盘编号，接下来对象大小 (**obj_size**) 个整数 **unit[1][j]**，代表第一个副本第 **j** 个对象块写入的存储单元编号。
 - 第三行，第四行格式与第二行相同，为写入第二，第三个副本的结果。

例如：

```
1. 2
2. 1 2 3
3. 2 4 5
4. 3 4 5
5. 1
6. 1 1
7. 2 3
8. 3 3
```

代表2号对象的第1个副本写入了1号盘的第2,3个存储单元中，2号副本写入了2号盘的第4,5个存储单元中，3号副本写入了3号盘的第4,5个存储单元中。1号对象的3个副本分别写入了1,2,3号盘的第1,3,3个存储单元。

请注意：

- 当前时间片写入的对象数可能为0，此时选手无需有任何输出。
- 选手输出的写入对象顺序无需和输入保持一致，但是需要在该时间片处理所有的写入请求。

- 选手输出的每个副本的存储单元数需要与该对象大小一致，否则判题器可能会报错或一直等待选手的输入而卡住。
- 如果当前时间片有输入的情况下，选手输出完毕后，需要刷新输出缓冲区。具体操作和注意事项见章节 6.3。

6.2.4 对象读取事件交互

判题器会给出以下输入：

```
1. n_read
2. req_id[1] obj_id[1]
3. req_id[2] obj_id[2]
4. ...
5. req_id[n_read] obj_id[n_read]
```

其中：

- `n_read`：代表这一时间片读取对象的个数。输入数据保证总读取次数小于等于30000000。
- 接下来 `n_read` 行，每行两个数 `req_id[i]`、`obj_id[i]`，代表当前时间片读取的请求编号和请求的对象编号。输入数据保证读请求编号为 1 开始每次递增 1 的整数，读取的对象在请求到来的时刻一定在存储系统中。

例如：

```
1. 2
2. 5 3
3. 6 2
```

代表在本时间片中，共有2个对象读请求，5号请求为读取3号对象，6号请求为读取2号对象。

对于读取事件，选手处理完成后，需要输出：

```
1. action[1]
2. action[2]
3. ...
4. action[N]
5. n_rsp
6. req_id[1]
7. req_id[2]
8. ...
9. req_id[n_rsp]
```

其中：

- 前 `N` 行是磁头的运动输出，第 `i` 行 `action[i]` 代表编号为 `i` 的硬盘所对应的磁头的运动方式：
 - 1. 该磁头执行了"Jump"动作：这一行输出空格隔开的两个字符串，第一个字符串固定为"j"；第二个字符串为一个整数，表示跳跃到的存储单元编号。
 - 2. 该磁头没有执行"Jump"动作：这一行输出一个字符串，仅包含字符'p'、'r'、'#'，代表该磁头在当前时间片的所有动作，每一个字符代表一个动作。其中'p'字符代表"Pass"动作，'r'字符代表"Read"动作。运动结束用字符'#'表示。
- `n_rsp`：代表当前时间片上报读取完成的请求个数。
- 接下来 `n_rsp` 行，每行 1 个数 `req_id[i]`，代表本时间片上报读取完成的读取请求编号。

例如：

```
1. rr#
2. j 10
3. #
4. 1
5. 4
```

代表1号硬盘的磁头执行了2次"Read"动作，2号硬盘的磁头执行了"Jump"动作，跳跃到10号存储单元，3号硬盘没有进行任何动作。在本时间片中，有1个请求读取成功，为4号请求。

请注意：

- `n_rsp` 可以为 0，这意味着这一时间片内没有上报成功的读请求。

每个请求的读是独立的，不能说一个请求把对象给读完了，另一个请求恰好也读这个对象，这两个请求都算读完了。正确的是，后面这个请求没读完，它和前面的请求不共享数据。

- 一个请求只能上报一次读成功或者被取消，多次上报会被判题器报错。
- 在 $T + 105$ 个时间分片后，未完成的读请求会被记为 0 分，不影响完成交互。
- 请严格按照题目规定的格式输出，格式错误可能会被判题器判错。
- 选手输出完毕后，需要刷新输出缓冲区。具体操作和注意事项见章节 6.3。

6.3 交互注意事项

选手在完成一个阶段交互后，需要进行刷新输出缓冲区操作，具体的：

- C 语言： `fflush(stdout);`
- C++ 语言： `cout.flush();`
- Java 语言： `System.out.flush();`
- Python 语言： `stdout.flush();`

特别提醒：

- 在任意阶段结束时，若选手有输出，都要以换行符为结束。例如，在全局预处理阶段，选手输出 "OK" 字符串后，需要输出一个换行符，再刷新输出缓冲区。
- 选手不得输出多余的字符（包括空格和换行符），否则判题器可能会将选手程序判为 0 分。
- 判题器会在选手首次出错的位置报错，具体错误见附件《题目与判题器补充说明》。只有完成完整交互的程序才能获得得分。
- 选手可能会在同一时间片接受到大量请求。题目对单个时间片的运行时间不做限制，仅限制程序交互运行的总时间。
- 题目输入输出总量较大，请注意代码效率问题。
- 选手程序在判题平台运行时没有任何写权限，请不要将日志落盘，避免程序报错。
- 其他问题请参照附件《题目与判题器补充说明》。