第五，六次作业

1. 使用 Condition Variables 编写生产者消费者问题(假设缓冲区大小为 10, 系统中有 5 个生产者，10 个消费者)。并回答以下问题： 1. 在生产者和消费者线程中修改条件时为什么要加 mutex? 2. 消费者线程中判断条件为什么要放在 while 而不是 if 中?

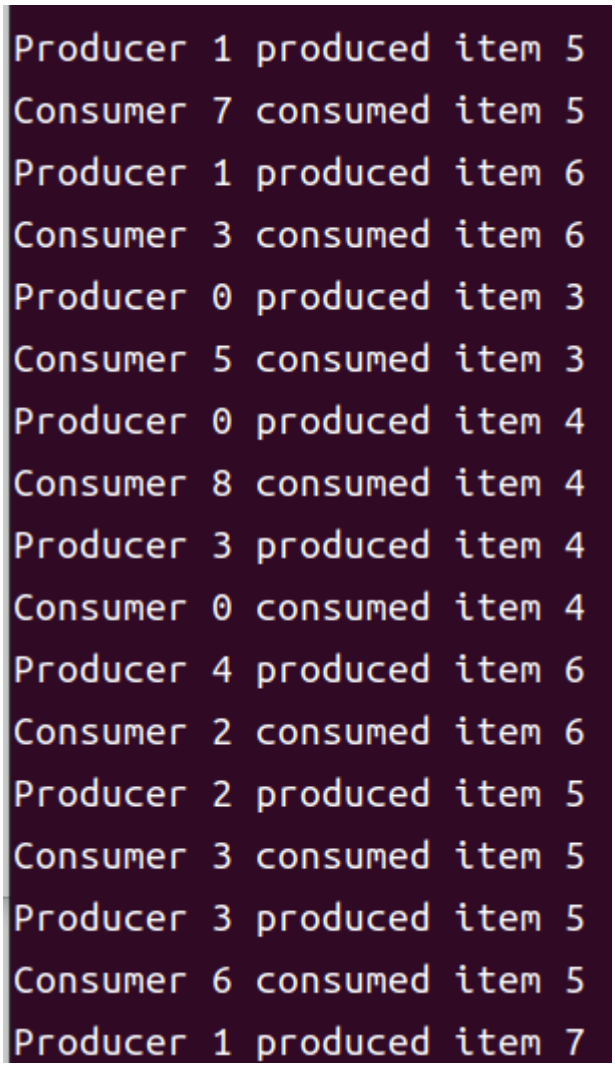
   代码：

```cpp
#include <iostream>
 #include <thread>
 #include <mutex>
 #include <condition_variable>
 #include <queue>
std::mutex mtx;  // 互斥锁
std::condition_variable producer_cv, consumer_cv;  // 条件变量
std::queue<int> buffer;  // 缓冲区
const int BUFFER_SIZE = 10;  // 缓冲区大小
const int NUM_PRODUCERS = 5;  // 生产者数量
const int NUM_CONSUMERS = 10;  // 消费者数量
void producer(int id) {
 for (int i = 0; i < 20; ++i) {
 std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(rand() % 500));  // 模拟生产时间
 std::unique_lock<std::mutex> lock(mtx);  // 加锁
// 如果缓冲区已满，等待消费者消费
while (buffer.size() == BUFFER_SIZE) {
 producer_cv.wait(lock);
 }
 buffer.push(i);
 std::cout << "Producer " << id << " produced item " << i << std::endl;
 consumer_cv.notify_one();  // 唤醒一个消费者
}
 }
 void consumer(int id) {
 for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds(rand() % 500));  // 模拟消费时间
        std::unique_lock<std::mutex> lock(mtx);  // 加锁
        // 如果缓冲区为空，等待生产者生产
        while (buffer.empty()) {
            consumer_cv.wait(lock);
        }
        int item = buffer.front();
        buffer.pop();
        std::cout << "Consumer " << id << " consumed item " << item << std::endl;
        producer_cv.notify_one();  // 唤醒一个生产者
    }
}
int main() {
```

```cpp
int main() {
    srand(time(nullptr));
    std::vector<std::thread> producers;
    std::vector<std::thread> consumers;
    // 创建生产者线程
    for (int i = 0; i < NUM_PRODUCERS; ++i) {
        producers.emplace_back(producer, i);
    }
    // 创建消费者线程
    for (int i = 0; i < NUM_CONSUMERS; ++i) {
        consumers.emplace_back(consumer, i);
    }
    // 等待生产者线程结束
    for (auto& producerThread : producers) {
        producerThread.join();
    }
    // 等待消费者线程结束
    for (auto& consumerThread : consumers) {
        consumerThread.join();
    }
    return 0;
}
```

运行该程序：

```
Producer 2 produced item 0
Consumer 6 consumed item 0
Producer 0 produced item 0
Consumer 1 consumed item 0
Producer 1 produced item 0
Consumer 4 consumed item 0
Producer 4 produced item 0
Consumer 3 consumed item 0
Producer 3 produced item 0
Consumer 8 consumed item 0
Producer 1 produced item 1
Consumer 2 consumed item 1
Producer 3 produced item 1
Consumer 2 consumed item 1
Producer 4 produced item 1
Consumer 0 consumed item 1
Producer 1 produced item 2
Consumer 9 consumed item 2
Producer 4 produced item 2
Consumer 7 consumed item 2
Producer 2 produced item 1
```



问题：1. 在生产者和消费者线程中修改条件时为什么要加 mutex?

答：确保线程之间的互斥访问。如果没有互斥锁的保护，可能会出现竞争条件（Race Condition），导致 数据不一致或不正确的结果。互斥锁的作用是保证在访问共享资源（如缓冲区）之前，线程会先获取 锁，保证只有一个线程能够修改共享资源，其他线程需要等待。

2. 消费者线程中判断条件为什么要放在 while 而不是 if 中?

答：防止虚假唤醒（Spurious Wakeup）。虚假唤醒指的是在没有收到显式的通知或信号的情况下，等待 条件的线程被唤醒。如果使用 if 语句来判断条件，当线程被虚假唤醒时，它将继续执行后续代码，可能 会导致程序逻辑错误。使用 while 循环来判断条件可以在虚假唤醒时再次检查条件，确保条件满足才继 续执行后续代码，避免了逻辑错误。

2.4 个线程，线程 1 循环打印 A，线程 2 循环打印 B，线程 3 循环打印 C，线程 4 循环打印 D。完成下面两个问题：1. 输出 ABCDABCDABCD…2. 输出 DCBADCBADCBA…

答：

```cpp
#include <iostream>
#include <thread>
#include <mutex>
#include <condition_variable>
std::mutex mtx;
std::condition_variable cv;
int count = 0;
void printA() {
    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        std::unique_lock<std::mutex> lock(mtx);
        cv.wait(lock, [] { return count % 4 == 0; });
        std::cout << "A";
        count++;
        cv.notify_all();
    }
}
void printB() {
    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        std::unique_lock<std::mutex> lock(mtx);
        cv.wait(lock, [] { return count % 4 == 1; });
        std::cout << "B";
        count++;
        cv.notify_all();
    }
}
```

```cpp
void printC() {
    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        std::unique_lock<std::mutex> lock(mtx);
        cv.wait(lock, [] { return count % 4 == 2; });
        std::cout << "C";
        count++;
        cv.notify_all();
    }
}
void printD() {
    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        std::unique_lock<std::mutex> lock(mtx);
        cv.wait(lock, [] { return count % 4 == 3; });
        std::cout << "D";
        count++;
        cv.notify_all();
    }
}
```

```cpp
int main() {
    std::thread t1(printA);
    std::thread t2(printB);
    std::thread t3(printC);
    std::thread t4(printD);
    t1.join();
    t2.join();
    t3.join();
    t4.join();
    std::cout << std::endl;
    return 0;
}
```

运行代码。得到结果：

```
ABCDABCDABCDABCDABCDABCDABCDABCDABCDABCD
```

```cpp
#include <iostream>
#include <thread>
#include <mutex>
#include <condition_variable>
std::mutex mtx;
std::condition_variable cv;
int count = 0;
void printA() {
    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        std::unique_lock<std::mutex> lock(mtx);
        cv.wait(lock, [] { return count % 4 == 3; });
        std::cout << "A";
        count++;
        cv.notify_all();
    }
}
void printB() {
    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        std::unique_lock<std::mutex> lock(mtx);
        cv.wait(lock, [] { return count % 4 == 2; });
        std::cout << "B";
        count++;
        cv.notify_all();
    }
}
void printC() {
    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        std::unique_lock<std::mutex> lock(mtx);
        cv.wait(lock, [] { return count % 4 == 1; });
        std::cout << "C";
        count++;
        cv.notify_all();
    }
}
void printD() {
    for (int i = 0; i < 10; ++i) {
        std::unique_lock<std::mutex> lock(mtx);
        cv.wait(lock, [] { return count % 4 == 0; });
        std::cout << "D";
        count++;
        cv.notify_all();
    }
}
```

```
int main() {
    std::thread t1(printA);
    std::thread t2(printB);
    std::thread t3(printC);
    std::thread t4(printD);
    t1.join();
    t2.join();
    t3.join();
    t4.join();
    std::cout << std::endl;
    return 0;
}
```

运行程序得到结果：

```
DCBADCBADCBADCBADCBADCBADCBADCBADCBA
[1] + Done                       "/usr/bin/gdb" --interpreter=mi --tty=${DbgTerm} 0<"/tmp/Microsoft-MIEngine-
In-5jwxihxc.e30" 1>"/tmp/Microsoft-MIEngine-Out-4j1jblzt.k2c"
oslab@oslab-virtual-machine:~/桌面/os 作业$
```

写者优先作业：1. 写者线程的优先级高于读者线程。 2. 当写者到来 时，只有那些已经获得授权的读进程才被允许完成 它们的操 作，写者之后到来的读者将被推迟，直到写者完成。 3. 当没有写者进程时读者进程应该能够同时读取文件。

要实现写者优先的读者写者问题，可以使用互斥锁和条件变量来实现同步。下面是一个示例代码：

```
#include <iostream>
#include <thread>
#include <mutex>
#include <condition_variable>
#include <chrono>
std::mutex read_mutex;  // 读者互斥锁
std::mutex write_mutex;  // 写者互斥锁
std::condition_variable read_cv;  // 读者条件变量
std::condition_variable write_cv;  // 写者条件变量
int num_readers = 0;  // 当前读者数量
bool is_writer_active = false;  // 写者是否处于活跃状态
void reader(int id) {
std::unique_lock<std::mutex> read_lock(read_mutex);
// 当有写者活跃时，读者等待
read_cv.wait(read_lock, [] { return !is_writer_active; });
num_readers++;
read_lock.unlock();
// 读取文件操作
std::cout << "Reader " << id << " is reading the file." << std::endl;
read_lock.lock();
num_readers--;
```

```
// 如果当前没有读者，则唤醒写者
if (num_readers == 0) {
write_cv.notify_one();
}
read_lock.unlock();
}
void writer(int id) {
std::unique_lock<std::mutex> write_lock(write_mutex);
// 当有读者或写者活跃时，写者等待
write_cv.wait(write_lock, [] { return num_readers == 0 && !is_writer_active; });
is_writer_active = true;
write_lock.unlock();
// 写入文件操作
std::cout << "Writer " << id << " is writing to the file." << std::endl;
write_lock.lock();
is_writer_active = false;
// 唤醒下一个等待的读者或写者
if (read_cv.wait_for(write_lock, std::chrono::seconds(0)) ==
std::cv_status::no_timeout) {
read_cv.notify_one();
} else {
write_cv.notify_one();
```

```
read_cv.notify_one();
} else {
write_cv.notify_one();
}
write_lock.unlock();
}
int main() {
    std::thread writers[3];
    std::thread readers[5];
    // 创建写者线程
    for (int i = 0; i < 3; ++i) {
        writers[i] = std::thread(writer, i);
    }
    // 创建读者线程
    for (int i = 0; i < 5; ++i) {
        readers[i] = std::thread(reader, i);
    }
    // 等待写者线程结束
    for (int i = 0; i < 3; ++i) {
        writers[i].join();
    }
```

```
    // 等待写者线程结束
    for (int i = 0; i < 3; ++i) {
        writers[i].join();
    }
    // 等待读者线程结束
    for (int i = 0; i < 5; ++i) {
        readers[i].join();
    }
    return 0;
}
```

运行程序得到结果：

```
Writer 0 is writing to the file.
Writer 1 is writing to the file.
Writer 2 is writing to the file.
Reader 0 is reading the file.
Reader 1 is reading the file.
Reader 2 is reading the file.
Reader 3 is reading the file.
Reader 4 is reading the file.
[1] + Done                       "/usr/bin/gdb" --interpreter=mi --tty=${DbgTerm} 0<"/tmp/Microsoft-MIEngine-
In-pfkeqtqu.hbj" 1>"/tmp/Microsoft-MIEngine-Out-fn0x1h2p.u1f"
oslab@oslab-virtual-machine:~/桌面/os 作业$
```

在上述代码中，读者线程和写者线程通过互斥锁（read_mutex 和 write_mutex）和条件变量 （read_cv 和 write_cv）来实现同步。读者在执行读取文件操作前，会先检查是否有活跃的写者，如 果有则等待条件变量 read_cv 的通知。写者在执行写入文件操作前，会先检查是否有活跃的读者或写 者，如果有则等待条件变量 write_cv 的通知。这样就实现了写者优先的效果。 当没有写者进程时，读者进程可以同时读取文件。读者在执行读取操作前，会先检查是否有活跃的写 者，如果没有则直接进行读取操作，而不需要等待。这是通过在读者线程中使用条件变量的等待函数 read_cv.wait(read_lock, [] { return !is_writer_active; });来实现的。只有当没有活跃的写者 时，读者线程才会被唤醒执行读取操作。

公平竞争：1. 优先级相同。 2. 写者、读者互斥访问。 3. 只能有 一个写者访问临界区。 4. 可以有多个读者同时访问临界资源。

要实现公平竞争的读者写者问题，可以使用互斥锁和条件变量来实现同步。

代码：

```
void reader(int id) {
 std::unique_lock<std::mutex> read_lock(read_mutex);
 // 当有写者活跃时，读者等待
read_cv.wait(read_lock, [] { return !is_writer_active; });
 num_readers++;
 read_lock.unlock();
 // 读取文件操作
std::cout << "Reader " << id << " is reading the file." << std::endl;
 read_lock.lock();
 num_readers--;
 // 如果当前没有读者，则唤醒写者
if (num_readers == 0) {
 write_cv.notify_one();
 }
 read_lock.unlock();
 }
 void writer(int id) {
 std::unique_lock<std::mutex> write_lock(write_mutex);
 // 当有读者或写者活跃时，写者等待
write_cv.wait(write_lock, [] { return num_readers == 0 && !is_writer_active; });
 is_writer_active = true;
 write_lock.unlock();
 // 写入文件操作
std::cout << "Writer " << id << " is writing to the file." << std::endl;
 write_lock.lock();
 is_writer_active = false;
```

```
// 唤醒下一个等待的读者或写者
if (read_cv.wait_for(write_lock, std::chrono::seconds(0)) ==
std::cv_status::no_timeout) {
 read_cv.notify_one();
 } else {
 write_cv.notify_one();
 }
 write_lock.unlock();
}
int main() {
    std::thread writers[3];
    std::thread readers[5];
    // 创建写者线程
    for (int i = 0; i < 3; ++i) {
        writers[i] = std::thread(writer, i);
    }
    // 创建读者线程
    for (int i = 0; i < 5; ++i) {
        readers[i] = std::thread(reader, i);
    }
    // 等待写者线程结束
    for (int i = 0; i < 3; ++i) {
        writers[i].join();
    }
    // 等待读者线程结束
    for (int i = 0; i < 5; ++i) {
        readers[i].join();
    }
    return 0;
```

运行程序得到结果：

```
Writer 0 is writing to the file.
Writer 1 is writing to the file.
Reader 0 is reading the file.
Writer 2 is writing to the file.
Reader 1 is reading the file.
Reader 2 is reading the file.
Reader 3 is reading the file.
Reader 4 is reading the file.
[1] + Done                       "/usr/bin/gdb" --interpreter=mi --tty=${DbgTerm} 0<"/tmp/Microsoft-MIEngine-
In-2pxmc0de.nzh" 1>"/tmp/Microsoft-MIEngine-Out-w3wftfki.i3m"
oslab@oslab-virtual-machine:~/桌面/os 作业$
```

在上述代码中，读者和写者线程使用互斥锁（read_mutex 和 write_mutex）和条件变量（read_cv 和 write_cv）来实现同步。读者在执行读取文件操作前，会先检查是否有活跃的写者，如果有则等待 条件变量 read_cv 的通知。写者在执行写入文件操作前，会先检查是否有活跃的读者或写者，如果有则等待条件变量 write_cv 的通知。 公平竞争的要点是，在互斥锁和条件变量中使用适当的等待和唤醒机制，以确保读者和写者能够按照公 平的顺序访问临界区。