4.4 死锁

面试过程中，死锁也是高频的考点，因为如果线上环境真多发生了死锁，那真的出大事了。

这次，我们就来系统地聊聊死锁的问题。

- 死锁的概念；
- 模拟死锁问题的产生；
- 利用工具排查死锁问题；
- 避免死锁问题的发生；

死锁的概念

在多线程编程中，我们为了防止多线程竞争共享资源而导致数据错乱，都会在操作共享资源之前加上互斥锁，只有成功获得到锁的线程，才能操作共享资源，获取不到锁的线程就只能等待，直到锁被释放。

那么，当两个线程为了保护两个不同的共享资源而使用了两个互斥锁，那么这两个互斥锁应用不当的时候，可能会造成**两个线程都在等待对方释放锁**，在没有外力的作用下，这些线程会一直相互等待，就没办法继续运行，这种情况就是发生了**死锁**。

举个例子，小林拿了小美房间的钥匙，而小林在自己的房间里，小美拿了小林房间的钥匙，而小美也在自己的房间里。如果小林要从自己的房间里出去，必须拿到小美手中的钥匙，但是小美要出去，又必须拿到小林手中的钥匙，这就形成了死锁。

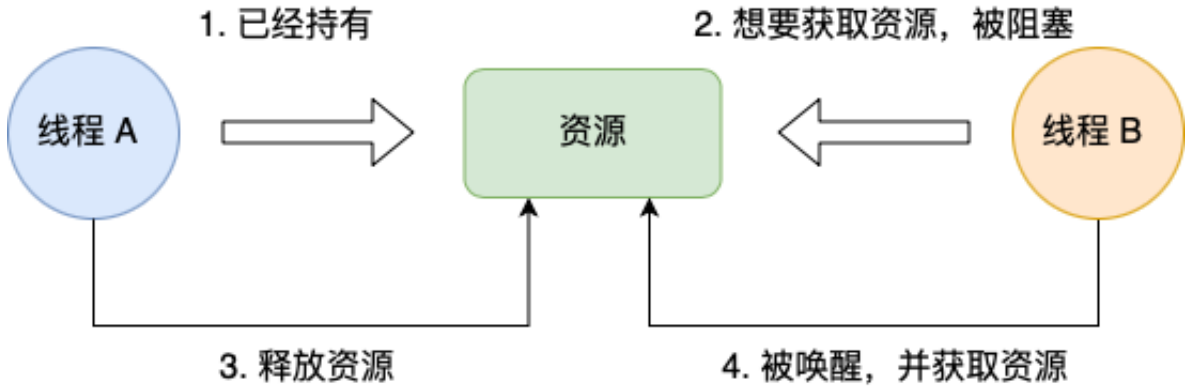
死锁只有**同时满足**以下四个条件才会发生：

- 互斥条件；
- 持有并等待条件；
- 不可剥夺条件；
- 环路等待条件；

互斥条件

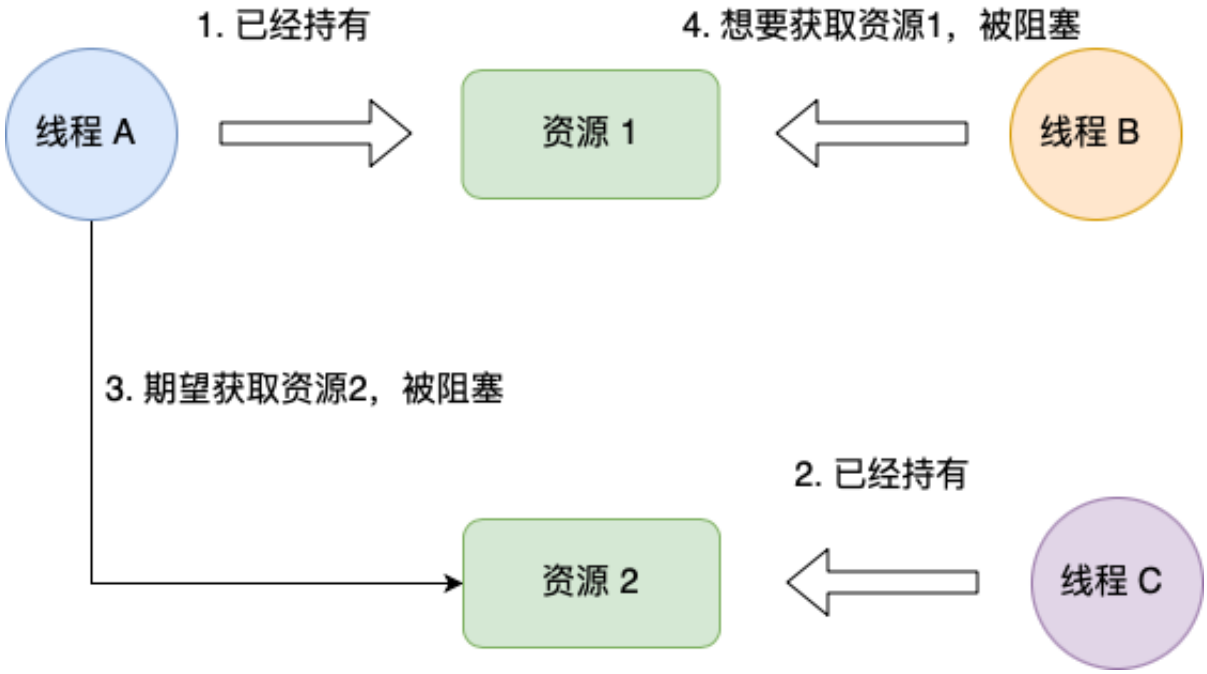
互斥条件是指**多个线程不能同时使用同一个资源**。

比如下图，如果线程 A 已经持有的资源，不能再同时被线程 B 持有，如果线程 B 请求获取线程 A 已经占用的资源，那线程 B 只能等待，直到线程 A 释放了资源。



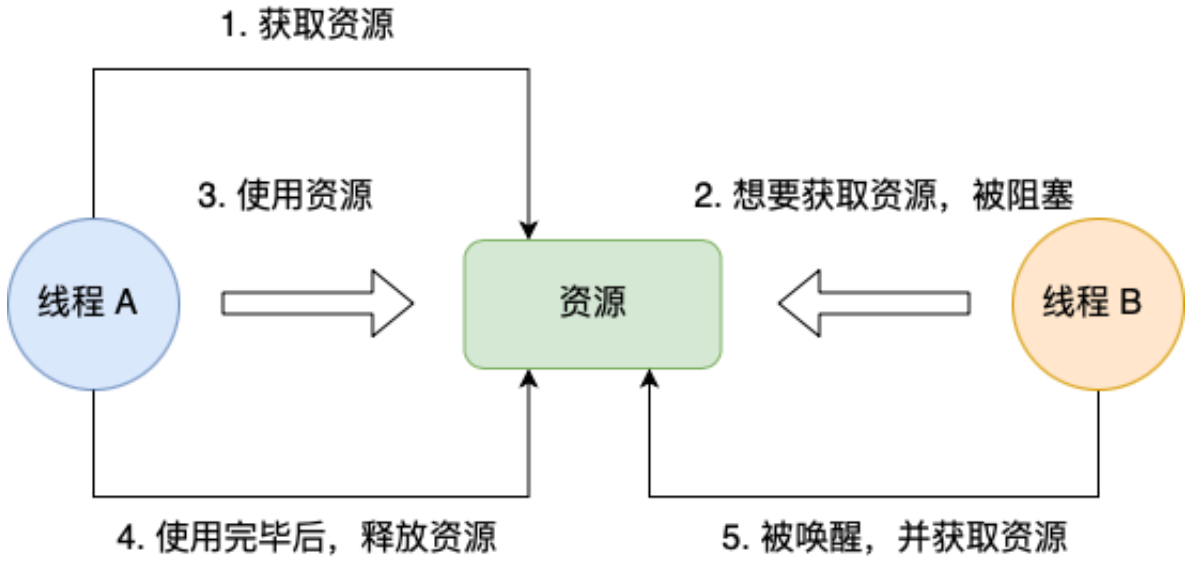
持有并等待条件

持有并等待条件是指，当线程 A 已经持有了资源 1，又想申请资源 2，而资源 2 已经被线程 C 持有了，所以线程 A 就会处于等待状态，但是**线程 A 在等待资源 2 的同时并不会释放自己已经持有的资源 1**。



不可剥夺条件

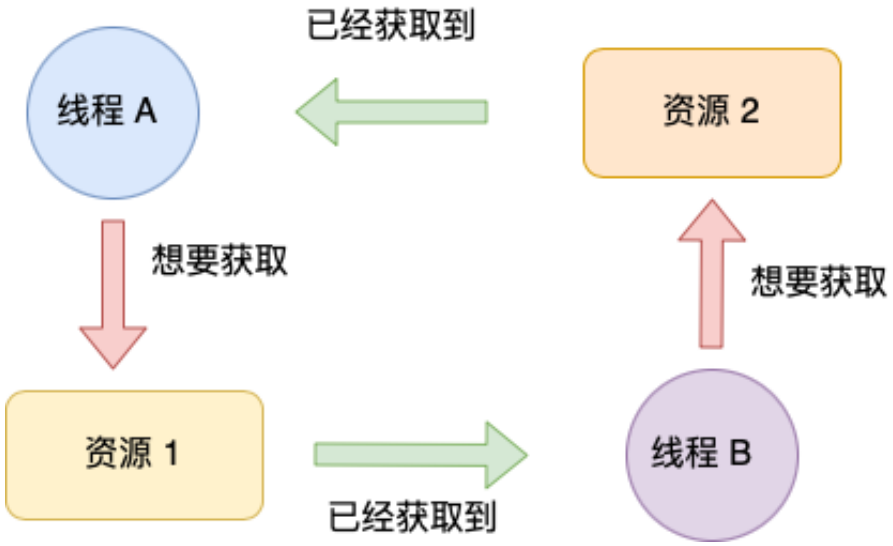
不可剥夺条件是指，当线程已经持有了资源，**在自己使用完之前不能被其他线程获取**，线程 B 如果也想使用此资源，则只能在线程 A 使用完并释放后才能获取。



环路等待条件

环路等待条件指都是，在死锁发生的时候，**两个线程获取资源的顺序构成了环形链**。

比如，线程 A 已经持有资源 2，而想请求资源 1， 线程 B 已经获取了资源 1，而想请求资源 2，这就形成资源请求等待的环形图。



模拟死锁问题的产生

Talk is cheap. Show me the code.

下面，我们用代码来模拟死锁问题的产生。

首先，我们先创建 2 个线程，分别为线程 A 和 线程 B，然后有两个互斥锁，分别是 mutex_A 和 mutex_B，代码如下：

```
pthread_mutex_t mutex_A = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_mutex_t mutex_B = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

int main()
{
    pthread_t tidA, tidB;

    //创建两个线程
    pthread_create(&tidA, NULL, threadA_proc, NULL);
    pthread_create(&tidB, NULL, threadB_proc, NULL);

    pthread_join(tidA, NULL);
    pthread_join(tidB, NULL);

    printf("exit\n");

    return 0;
}
```

接下来，我们看下线程 A 函数做了什么。

```
//线程函数 A
void *threadA_proc(void *data)
{
    printf("thread A waiting get ResourceA \n");
    pthread_mutex_lock(&mutex_A);
    printf("thread A got ResourceA \n");

    sleep(1);

    printf("thread A waiting get ResourceB \n");
    pthread_mutex_lock(&mutex_B);
    printf("thread A got ResourceB \n");

    pthread_mutex_unlock(&mutex_B);
    pthread_mutex_unlock(&mutex_A);
    return (void *)0;
}
```

可以看到，线程 A 函数的过程：

- 先获取互斥锁 A，然后睡眠 1 秒；
- 再获取互斥锁 B，然后释放互斥锁 B；
- 最后释放互斥锁 A；

```
//线程函数 B
void *threadB_proc(void *data)
{
    printf("thread B waiting get ResourceB \n");
```

```
    pthread_mutex_lock(&mutex_B);
    printf("thread B got ResourceB \n");

    sleep(1);

    printf("thread B waiting  get ResourceA \n");
    pthread_mutex_lock(&mutex_A);
    printf("thread B got ResourceA \n");

    pthread_mutex_unlock(&mutex_A);
    pthread_mutex_unlock(&mutex_B);
    return (void *)0;
}
```

可以看到，线程 B 函数的过程：

- 先获取互斥锁 B，然后睡眠 1 秒；
- 再获取互斥锁 A，然后释放互斥锁 A；
- 最后释放互斥锁 B；

然后，我们运行这个程序，运行结果如下：

```
thread B waiting get ResourceB
thread B got ResourceB
thread A waiting get ResourceA
thread A got ResourceA
thread B waiting get ResourceA
thread A waiting get ResourceB
// 阻塞中。。。
```

可以看到线程 B 在等待互斥锁 A 的释放，线程 A 在等待互斥锁 B 的释放，双方都在等待对方资源的释放，很明显，产生了死锁问题。

利用工具排查死锁问题

如果你想排查你的 Java 程序是否死锁，则可以使用 `jstack` 工具，它是 jdk 自带的线程堆栈分析工具。

由于小林的死锁代码例子是 C 写的，在 Linux 下，我们可以使用 `pstack` + `gdb` 工具来定位死锁问题。

pstack 命令可以显示每个线程的栈跟踪信息（函数调用过程），它的使用方式也很简单，只需要 `pstack <pid>` 就可以了。

那么，在定位死锁问题时，我们可以多次执行 pstack 命令查看线程的函数调用过程，多次对比结果，确认哪几个线程一直没有变化，且是因为在等待锁，那么大概率是由于死锁问题导致的。

我用 pstack 输出了我前面模拟死锁问题的进程的所有线程的情况，我多次执行命令后，其结果都一样，如下：

```
$ pstack 87746
Thread 3 (Thread 0x7f60a610a700 (LWP 87747)):
#0  0x0000003720e0da1d in __lll_lock_wait () from /lib64/libpthread.so.0
#1  0x0000003720e093ca in _L_lock_829 () from /lib64/libpthread.so.0
#2  0x0000003720e09298 in pthread_mutex_lock () from /lib64/libpthread.so.0
#3  0x0000000000400725 in threadA_proc ()
#4  0x0000003720e07893 in start_thread () from /lib64/libpthread.so.0
#5  0x00000037206f4bfd in clone () from /lib64/libc.so.6
Thread 2 (Thread 0x7f60a5709700 (LWP 87748)):
#0  0x0000003720e0da1d in __lll_lock_wait () from /lib64/libpthread.so.0
#1  0x0000003720e093ca in _L_lock_829 () from /lib64/libpthread.so.0
#2  0x0000003720e09298 in pthread_mutex_lock () from /lib64/libpthread.so.0
#3  0x0000000000400792 in threadB_proc ()
#4  0x0000003720e07893 in start_thread () from /lib64/libpthread.so.0
#5  0x00000037206f4bfd in clone () from /lib64/libc.so.6
Thread 1 (Thread 0x7f60a610c700 (LWP 87746)):
#0  0x0000003720e080e5 in pthread_join () from /lib64/libpthread.so.0
#1  0x0000000000400806 in main ()

....

$ pstack 87746
Thread 3 (Thread 0x7f60a610a700 (LWP 87747)):
#0  0x0000003720e0da1d in __lll_lock_wait () from /lib64/libpthread.so.0
#1  0x0000003720e093ca in _L_lock_829 () from /lib64/libpthread.so.0
#2  0x0000003720e09298 in pthread_mutex_lock () from /lib64/libpthread.so.0
#3  0x0000000000400725 in threadA_proc ()
#4  0x0000003720e07893 in start_thread () from /lib64/libpthread.so.0
#5  0x00000037206f4bfd in clone () from /lib64/libc.so.6
Thread 2 (Thread 0x7f60a5709700 (LWP 87748)):
#0  0x0000003720e0da1d in __lll_lock_wait () from /lib64/libpthread.so.0
#1  0x0000003720e093ca in _L_lock_829 () from /lib64/libpthread.so.0
#2  0x0000003720e09298 in pthread_mutex_lock () from /lib64/libpthread.so.0
#3  0x0000000000400792 in threadB_proc ()
#4  0x0000003720e07893 in start_thread () from /lib64/libpthread.so.0
#5  0x00000037206f4bfd in clone () from /lib64/libc.so.6
Thread 1 (Thread 0x7f60a610c700 (LWP 87746)):
#0  0x0000003720e080e5 in pthread_join () from /lib64/libpthread.so.0
#1  0x0000000000400806 in main ()
```

可以看到，Thread 2 和 Thread 3 一直阻塞获取锁（*pthread_mutex_lock*）的过程，而且 pstack 多次输出信息都没有变化，那么可能大概率发生了死锁。

但是，还不能够确认这两个线程是在互相等待对方的锁的释放，因为我们看不到它们是等在哪个锁对象，于是我们可以使用 gdb 工具进一步确认。

整个 gdb 调试过程，如下：

```
// gdb 命令
$ gdb -p 87746

// 打印所有的线程信息
(gdb) info thread
  3 Thread 0x7f60a610a700 (LWP 87747)  0x0000003720e0da1d in __lll_lock_wait ()
from /lib64/libpthread.so.0
  2 Thread 0x7f60a5709700 (LWP 87748)  0x0000003720e0da1d in __lll_lock_wait ()
from /lib64/libpthread.so.0
* 1 Thread 0x7f60a610c700 (LWP 87746)  0x0000003720e080e5 in pthread_join () from
/lib64/libpthread.so.0
//最左边的 * 表示 gdb 锁定的线程，切换到第二个线程去查看

// 切换到第2个线程
(gdb) thread 2
[Switching to thread 2 (Thread 0x7f60a5709700 (LWP 87748))]#0  0x0000003720e0da1d
in __lll_lock_wait () from /lib64/libpthread.so.0

// bt 可以打印函数堆栈，却无法看到函数参数，跟 pstack 命令一样
(gdb) bt
#0  0x0000003720e0da1d in __lll_lock_wait () from /lib64/libpthread.so.0
#1  0x0000003720e093ca in _L_lock_829 () from /lib64/libpthread.so.0
#2  0x0000003720e09298 in pthread_mutex_lock () from /lib64/libpthread.so.0
#3  0x0000000000400792 in threadB_proc (data=0x0) at dead_lock.c:25
#4  0x0000003720e07893 in start_thread () from /lib64/libpthread.so.0
#5  0x00000037206f4bfd in clone () from /lib64/libc.so.6

// 打印第三帧信息，每次函数调用都会有压栈的过程，而 frame 则记录栈中的帧信息
(gdb) frame 3
#3  0x0000000000400792 in threadB_proc (data=0x0) at dead_lock.c:25
27    printf("thread B waiting get ResourceA \n");
28    pthread_mutex_lock(&mutex_A);

// 打印mutex_A的值 ,  __owner表示gdb中标示线程的值，即LWP
(gdb) p mutex_A
$1 = {__data = {__lock = 2, __count = 0, __owner = 87747, __nusers = 1, __kind =
0, __spins = 0, __list = {__prev = 0x0, __next = 0x0}},
  __size = "\002\000\000\000\000\000\000\303V\001\000\001", '\000' <repeats 26
times>, __align = 2}

// 打印mutex_B的值 ,  __owner表示gdb中标示线程的值，即LWP
(gdb) p mutex_B
$2 = {__data = {__lock = 2, __count = 0, __owner = 87748, __nusers = 1, __kind =
0, __spins = 0, __list = {__prev = 0x0, __next = 0x0}},
  __size = "\002\000\000\000\000\000\000\304V\001\000\001", '\000' <repeats 26
times>, __align = 2}
```

我来解释下，上面的调试过程：

1. 通过 `info thread` 打印了所有的线程信息，可以看到有 3 个线程，一个是主线程（LWP 87746），另外两个都是我们自己创建的线程（LWP 87747 和 87748）；
2. 通过 `thread 2`，将切换到第 2 个线程（LWP 87748）；
3. 通过 `bt`，打印线程的调用栈信息，可以看到有 threadB_proc 函数，说明这个是线程 B 函数，也就说 LWP 87748 是线程 B;
4. 通过 `frame 3`，打印调用栈中的第三个帧的信息，可以看到线程 B 函数，在获取互斥锁 A 的时候阻塞了；
5. 通过 `p mutex_A`，打印互斥锁 A 对象信息，可以看到它被 LWP 为 87747（线程 A） 的线程持有着；
6. 通过 `p mutex_B`，打印互斥锁 A 对象信息，可以看到他被 LWP 为 87748 （线程 B） 的线程持有着；

因为线程 B 在等待线程 A 所持有的 mutex_A, 而同时线程 A 又在等待线程 B 所拥有的mutex_B, 所以可以断定该程序发生了死锁。

避免死锁问题的发生

前面我们提到，产生死锁的四个必要条件是：互斥条件、持有并等待条件、不可剥夺条件、环路等待条件。

那么避免死锁问题就只需要破坏其中一个条件就可以，最常见的并且可行的就是**使用资源有序分配法，来破坏环路等待条件**。

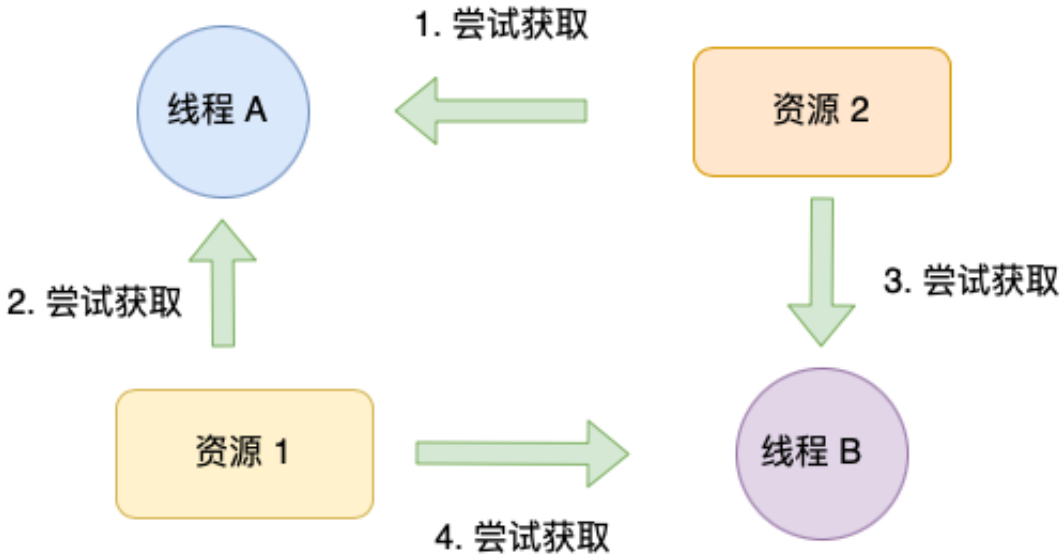
那什么是资源有序分配法呢?

线程 A 和 线程 B 获取资源的顺序要一样，当线程 A 是先尝试获取资源 A，然后尝试获取资源 B 的时候，线程 B 同样也是先尝试获取资源 A，然后尝试获取资源 B。也就是说，线程 A 和 线程 B 总是以相同的顺序申请自己想要的资源。

我们使用资源有序分配法的方式来修改前面发生死锁的代码，我们可以不改动线程 A 的代码。

我们先要清楚线程 A 获取资源的顺序，它是先获取互斥锁 A，然后获取互斥锁 B。

所以我们只需将线程 B 改成以相同顺序的获取资源，就可以打破死锁了。



线程 B 函数改进后的代码如下：

```
//线程 B 函数，同线程 A 一样，先获取互斥锁 A，然后获取互斥锁 B
void *threadB_proc(void *data)
{
    printf("thread B waiting get ResourceA \n");
    pthread_mutex_lock(&mutex_A);
    printf("thread B got ResourceA \n");

    sleep(1);

    printf("thread B waiting  get ResourceB \n");
    pthread_mutex_lock(&mutex_B);
    printf("thread B got ResourceB \n");

    pthread_mutex_unlock(&mutex_B);
    pthread_mutex_unlock(&mutex_A);
    return (void *)0;
}
```

执行结果如下，可以看，没有发生死锁。

```
thread B waiting get ResourceA
thread B got ResourceA
thread A waiting get ResourceA
thread B waiting  get ResourceB
thread B got ResourceB
thread A got ResourceA
thread A waiting get ResourceB
thread A got ResourceB
exit
```
