

## 1. JUC 简介

## 2. Lock

### 2.1. Lock简介

### 2.2. Lock的实现

### 2.3. Lock的类关系图

## 3. ReentrantLock重入锁

### 3.1. 重入锁的设计目的

### 3.2. ReentrantLock的使用案例

### 3.3. ReentrantReadWriteLock

## 3. ReentrantLock的实现原理

### 3.1. AQS是什么

### 3.2. AQS的两种功能

### 3.3. AQS的内部实现

### 3.4. Node的组成

### 3.5. 释放锁以及添加线程对于队列的变化

## 4. ReentrantLock的源码分析

### 4.1. ReentrantLock的时序图

### 4.2. ReentrantLock.lock()

### 4.3. NonfairSync.lock()

#### 4.3.1. CAS实现原理

#### 4.3.2. Unsafe类

#### 4.3.3. stateOffset

#### 4.3.4. compareAndSwapInt

### 4.4. AQS.acquire()

#### 4.4.1. NonfairSync.tryAcquire()

#### 4.4.2. ReentrantLock.nonfairTryAcquire()

### 4.5. AQS.addWaiter()

#### 4.5.1. enq

#### 4.5.2. 图解分析

### 4.6. AQS.acquireQueued()

#### 4.6.1. NonfairSync.tryAcquire()

#### 4.6.2. shouldParkAfterFailedAcquire()

#### 4.6.3. parkAndCheckInterrupt()

#### 4.6.4. 图解分析

#### 4.6.5. LockSupport

## 5. 锁的释放过程

### 5.1. ReentrantLock.unlock()

### 5.2. ReentrantLock.tryRelease()

#### 5.2.1. unparkSuccessor()

#### 5.2.2. 为什么在释放锁的时候是从tail进行扫描

#### 5.2.3. 图解分析

## 6. 原本挂起的线程继续执行

### 6.1. AQS.acquireQueued()

### 6.2. 图解分析

## 7. 公平锁和非公平锁的区别

### 7.1. NonfairSync.tryAcquire()

### 7.2. FairSync.tryAcquire()

## 8. Condition

### 8.1. Condition的基本使用

#### 8.1.1. ConditionWait

#### 8.1.2. ConditionSignal

#### 8.1.3. 测试

## 9. Condition源码分析

### 9.1. Condition.await()

### 9.2. Condition.signal()

#### 9.2.1. Condition.doSignal()

#### 9.2.2. AQS.transferForSignal()

### 9.3. Condition总结

# 1. JUC 简介

Java.util.concurrent 是在并发编程中比较常用的工具类，里面包含很多用来在并发场景使用的组件。比如线程池、阻塞队列、计时器、同步器、并发集合等等。并发包的作者是大名鼎鼎的 Doug Lea。我们在接下来的课程中，回去剖析一些经典的比较常用的组件的设计思想

## 2. Lock

Lock 在 J.U.C 中是最核心的组件，前面我们讲 synchronized 的时候说过，锁最重要的特性就是解决并发安全问题。为什么要以 Lock 作为切入点呢？如果有同学看过 J.U.C 包中的所有组件，一定会发现绝大部分的组件都有用到了 Lock。所以通过 Lock 作为切入点使得在后续的学习过程中会更加轻松。

### 2.1. Lock简介

在 Lock 接口出现之前，Java 中的应用程序对于多线程的并发安全处理只能基于

synchronized 关键字来解决。但是 synchronized 在有些场景中会存在一些短板，也就是它并不适合于所有的并发场景。但是在 Java5 以后，Lock 的出现可以解决synchronized 在某些场景中的短板，它比 synchronized 更加灵活。

### 2.2. Lock的实现

Lock 本质上是一个接口，它定义了释放锁和获得锁的抽象方法，定义成接口就意

味着它定义了锁的一个标准规范，也同时意味着锁的不同实现。实现 Lock 接口的类有很多，以下为几个常见的锁实现

ReentrantLock：表示重入锁，它是唯一一个实现了 Lock 接口的类。重入锁指的是线程在获得锁之后，再次获取该锁不需要阻塞，而是直接关联一次计数器增加重入次数

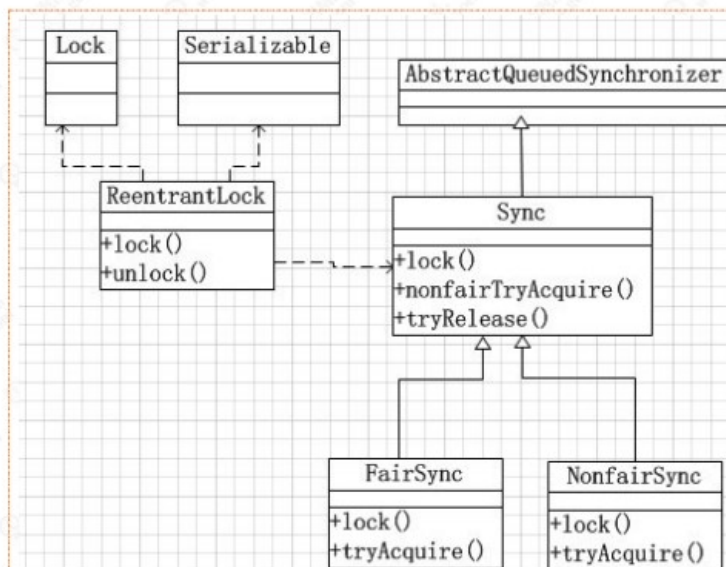
ReentrantReadWriteLock：重入读写锁，它实现了 ReadWriteLock 接口，在这个类中维护了两个锁，一个是 ReadLock，一个是 WriteLock，他们都分别实现了 Lock接口。读写锁是一种适合读多写少的场景下解决线程安全问题的工具，基本原则是：读和读不互斥、读和写互斥、写和写互斥。也就是说涉及到影响数据变化的

操作都会存在互斥。

StampedLock：stampedLock 是 JDK8 引入的新的锁机制，可以简单认为是读写锁的一个改进版本，读写锁虽然通过分离读和写的功能使得读和读之间可以完全并发，但是读和写是有冲突的，如果大量的读线程存在，可能会引起写线程的饥饿。stampedLock 是一种乐观的读策略，使得乐观锁完全不会阻塞写线程

### 2.3. Lock的类关系图

Lock 有很多的锁的实现，但是直观的实现是 ReentrantLock 重入锁



void lock() // 如果锁可用就获得锁，如果锁不可用就阻塞直到锁释放

void lockInterruptibly() // 和lock()方法相似，但阻塞的线程可中断，抛出java.lang.InterruptedException异常

boolean tryLock() // 非阻塞获取锁;尝试获取锁，如果成功返回 true

boolean tryLock(long timeout, TimeUnit timeUnit)

//带有超时时间的获取锁方法

void unlock() // 释放锁

## 3. ReentrantLock重入锁

重入锁，表示支持重新进入的锁，也就是说，如果当前线程 t1 通过调用 lock 方法获取了锁之后，再次调用 lock，是不会再阻塞去获取锁的，直接增加重试次数就行了。synchronized 和 ReentrantLock 都是可重入锁。很多同学不理解为什么锁会存在重入的特性，那是因为对于同步锁的理解程度还不够，比如在下面这类的场景中，存在多个加锁的方法的相互调用，其实就是一种重入特性的场景。

### 3.1. 重入锁的设计目的

比如调用 demo 方法获得了当前的对象锁，然后在这个方法中再去调用demo2，demo2 中的存在同一个实例锁，这个时候当前线程会因为无法获得demo2 的对象锁而阻塞，就会产生死锁。重入锁的设计目的是避免线程的死锁。

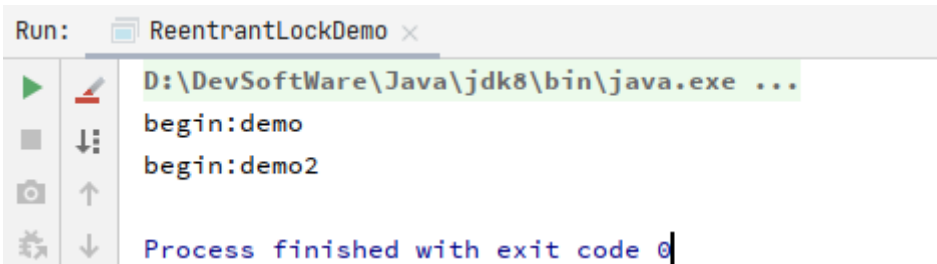
```

1 package cn.sitedev.reentrantlock;
2
3 public class ReentrantLockDemo {
4     public synchronized void demo() {
5         System.out.println("begin:demo");
  
```

```

6      demo2();
7  }
8
9  public void demo2() {
10     System.out.println("begin:demo2");
11     synchronized (this) {
12
13     }
14 }
15
16 public static void main(String[] args) {
17     ReentrantLockDemo demo = new ReentrantLockDemo();
18     new Thread(demo::demo).start();
19 }
20 }

```



```

Run: ReentrantLockDemo x
D:\DevSoftWare\Java\jdk8\bin\java.exe ...
begin:demo
begin:demo2
Process finished with exit code 0

```

## 3.2. ReentrantLock的使用案例

```

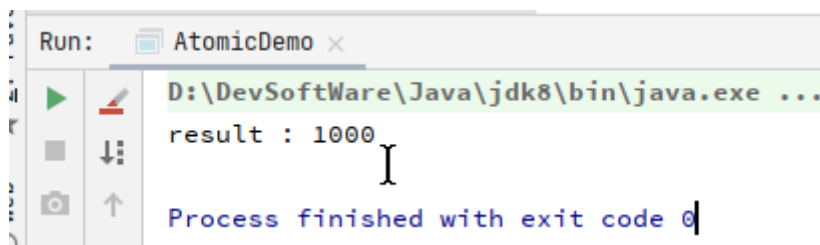
1 package cn.sitedev.reentrantlock;
2
3 import java.util.concurrent.locks.Lock;
4 import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;
5
6 public class AtomicDemo {
7     private static int count = 0;
8
9     private static Lock lock = new ReentrantLock();
10
11     public static void inc() {
12         lock.lock();
13         try {
14             Thread.sleep(1);
15         } catch (InterruptedException e) {
16             e.printStackTrace();
17         } finally {

```

```

18         lock.unlock();
19     }
20     count++;
21 }
22
23 public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
24     for (int i = 0; i < 1000; i++) {
25         new Thread(() -> AtomicDemo.inc()).start();
26     }
27     Thread.sleep(3000);
28     System.out.println("result : " + count);
29 }
30 }

```



### 3.3. ReentrantReadWriteLock

我们以前理解的锁，基本都是排他锁，也就是这些锁在同一时刻只允许一个线程进行访问，而读写所在同一时刻可以允许多个线程访问，但是在写线程访问时，所有的读线程和其他写线程都会被阻塞。读写锁维护了一对锁，一个读锁、一个写锁；

一般情况下，读写锁的性能都会比排它锁好，因为大多数场景读是多于写的。在读多于写的情况下，读写锁能够提供比排它锁更好的并发性和吞吐量。

```

1 package cn.sitedev.reentrantlock;
2
3 import java.util.HashMap;
4 import java.util.Map;
5 import java.util.concurrent.locks.ReentrantReadWriteLock;
6
7 public class LockDemo {
8     private static Map<String, Object> cacheMap = new HashMap<>();
9     private static ReentrantReadWriteLock rwl = new ReentrantReadWriteLock();
10    private static ReentrantReadWriteLock.ReadLock readLock = rwl.readLock();
11    private static ReentrantReadWriteLock.WriteLock writeLock = rwl.writeLock();
12
13    public static final Object get(String key) {

```

```

14         System.out.println("开始读数据");
15         readLock.lock(); // 读锁
16         try {
17             return cacheMap.get(key);
18         } finally {
19             readLock.unlock();
20         }
21     }
22
23     public static final Object put(String key, Object value) {
24         writeLock.lock();
25         System.out.println("开始写数据");
26         try {
27             return cacheMap.put(key, value);
28         } finally {
29             writeLock.unlock();
30         }
31     }
32 }

```

在这个案例中，通过 hashmap 来模拟了一个内存缓存，然后使用读写锁来保证这个内存缓存的线程安全性。当执行读操作的时候，需要获取读锁，在并发访问的时候，读锁不会被阻塞，因为读操作不会影响执行结果。

在执行写操作是，线程必须要获取写锁，当已经有线程持有写锁的情况下，当前线程会被阻塞，只有当写锁释放以后，其他读写操作才能继续执行。使用读写锁提升读操作的并发性，也保证每次写操作对所有的读写操作的可见性

- 读锁与读锁可以共享
- 读锁与写锁不可以共享（排他）
- 写锁与写锁不可以共享（排他）

### 3. ReentrantLock的实现原理

我们知道锁的基本原理是，基于将多线程并行任务通过某一种机制实现线程的串行执行，从而达到线程安全性的目的。在 synchronized 中，我们分析了偏向锁、轻量级锁、乐观锁。基于乐观锁以及自旋锁来优化了 synchronized 的加锁开销，同时在重量级锁阶段，通过线程的阻塞以及唤醒来达到线程竞争和同步的目的。

那么在 ReentrantLock 中，也一定会存在这样的需要去解决的问题。就是在多线程竞争重入锁时，竞争失败的线程是如何实现阻塞以及被唤醒的呢？

#### 3.1. AQS是什么



在 Lock 中，用到了一个同步队列 AQS，全称 AbstractQueuedSynchronizer，它是一个同步工具，也是 Lock 用来实现线程同步的核心组件。如果你搞懂了 AQS，那么 J.U.C 中绝大部分的工具都能轻松掌握。

## 3.2. AQS的两种功能

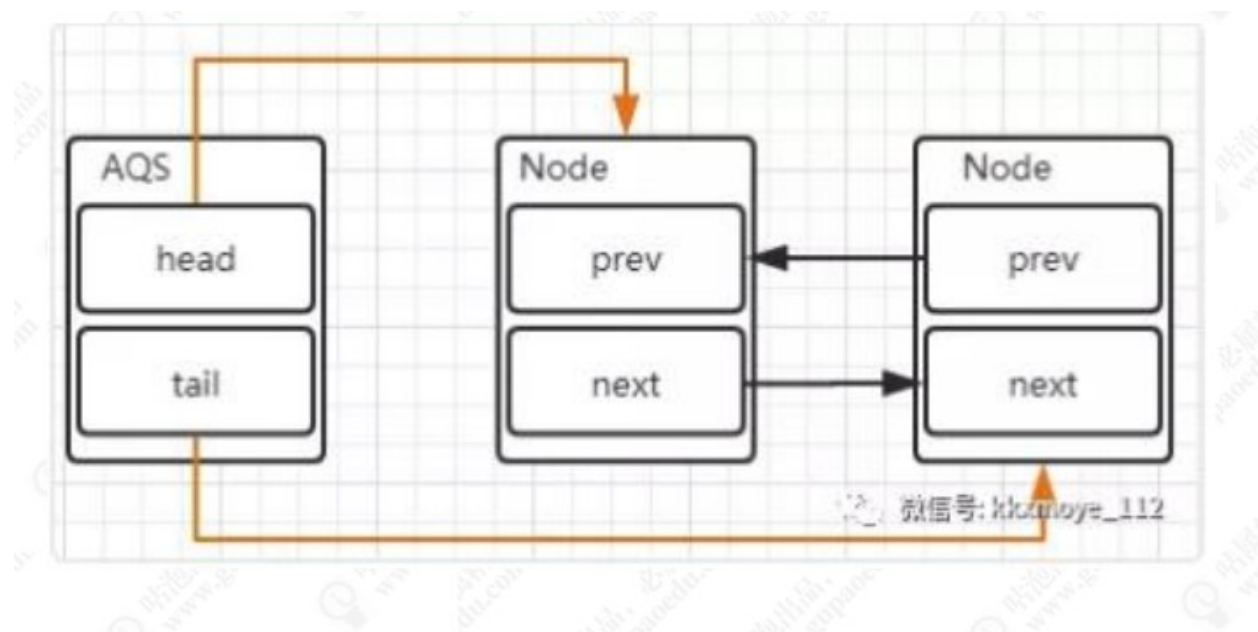
从使用层面来说，AQS 的功能分为两种：独占和共享

独占锁，每次只能有一个线程持有锁，比如前面给大家演示的 ReentrantLock 就是以独占方式实现的互斥锁

共享锁，允许多个线程同时获取锁，并发访问共享资源，比如 ReentrantReadWriteLock

## 3.3. AQS的内部实现

AQS 队列内部维护的是一个 FIFO 的双向链表，这种结构的特点是每个数据结构都有两个指针，分别指向直接的后继节点和直接前驱节点。所以双向链表可以从任意一个节点开始很方便的访问前驱和后继。每个 Node 其实是由线程封装，当线程争抢锁失败后会封装成 Node 加入到 ASQ 队列中去；当获取锁的线程释放锁以后，会从队列中唤醒一个阻塞的节点(线程)。



## 3.4. Node的组成

```
1 static final class Node {
2     /** Marker to indicate a node is waiting in shared mode */
3     static final Node SHARED = new Node();
4     /** Marker to indicate a node is waiting in exclusive mode */
5     static final Node EXCLUSIVE = null;
6
7     /** waitStatus value to indicate thread has cancelled */
```



```

8      static final int CANCELLED = 1;
9      /** waitStatus value to indicate successor's thread needs unparking */
10     static final int SIGNAL     = -1;
11     /** waitStatus value to indicate thread is waiting on condition */
12     static final int CONDITION = -2;
13     /**
14      * waitStatus value to indicate the next acquireShared should
15      * unconditionally propagate
16      */
17     static final int PROPAGATE = -3;
18
19     /**
20      * Status field, taking on only the values:
21      *   SIGNAL:    The successor of this node is (or will soon be)
22      *               blocked (via park), so the current node must
23      *               unpark its successor when it releases or
24      *               cancels. To avoid races, acquire methods must
25      *               first indicate they need a signal,
26      *               then retry the atomic acquire, and then,
27      *               on failure, block.
28      *   CANCELLED: This node is cancelled due to timeout or interrupt.
29      *               Nodes never leave this state. In particular,
30      *               a thread with cancelled node never again blocks.
31      *   CONDITION: This node is currently on a condition queue.
32      *               It will not be used as a sync queue node
33      *               until transferred, at which time the status
34      *               will be set to 0. (Use of this value here has
35      *               nothing to do with the other uses of the
36      *               field, but simplifies mechanics.)
37      *   PROPAGATE: A releaseShared should be propagated to other
38      *               nodes. This is set (for head node only) in
39      *               doReleaseShared to ensure propagation
40      *               continues, even if other operations have
41      *               since intervened.
42      *   0:         None of the above
43      *
44      * The values are arranged numerically to simplify use.
45      * Non-negative values mean that a node doesn't need to
46      * signal. So, most code doesn't need to check for particular
47      * values, just for sign.
48      *
49      * The field is initialized to 0 for normal sync nodes, and
50      * CONDITION for condition nodes. It is modified using CAS

```

```

51     * (or when possible, unconditional volatile writes).
52     */
53     volatile int waitStatus;
54
55     /**
56      * Link to predecessor node that current node/thread relies on
57      * for checking waitStatus. Assigned during enqueueing, and nulled
58      * out (for sake of GC) only upon dequeuing. Also, upon
59      * cancellation of a predecessor, we short-circuit while
60      * finding a non-cancelled one, which will always exist
61      * because the head node is never cancelled: A node becomes
62      * head only as a result of successful acquire. A
63      * cancelled thread never succeeds in acquiring, and a thread only
64      * cancels itself, not any other node.
65      */
66     volatile Node prev; // 前驱结点
67
68     /**
69      * Link to the successor node that the current node/thread
70      * unparks upon release. Assigned during enqueueing, adjusted
71      * when bypassing cancelled predecessors, and nulled out (for
72      * sake of GC) when dequeued. The enq operation does not
73      * assign next field of a predecessor until after attachment,
74      * so seeing a null next field does not necessarily mean that
75      * node is at end of queue. However, if a next field appears
76      * to be null, we can scan prev's from the tail to
77      * double-check. The next field of cancelled nodes is set to
78      * point to the node itself instead of null, to make life
79      * easier for isOnSyncQueue.
80      */
81     volatile Node next; // 后继节点
82
83     /**
84      * The thread that enqueued this node. Initialized on
85      * construction and nulled out after use.
86      */
87     volatile Thread thread; // 当前线程
88
89     /**
90      * Link to next node waiting on condition, or the special
91      * value SHARED. Because condition queues are accessed only
92      * when holding in exclusive mode, we just need a simple
93      * linked queue to hold nodes while they are waiting on

```

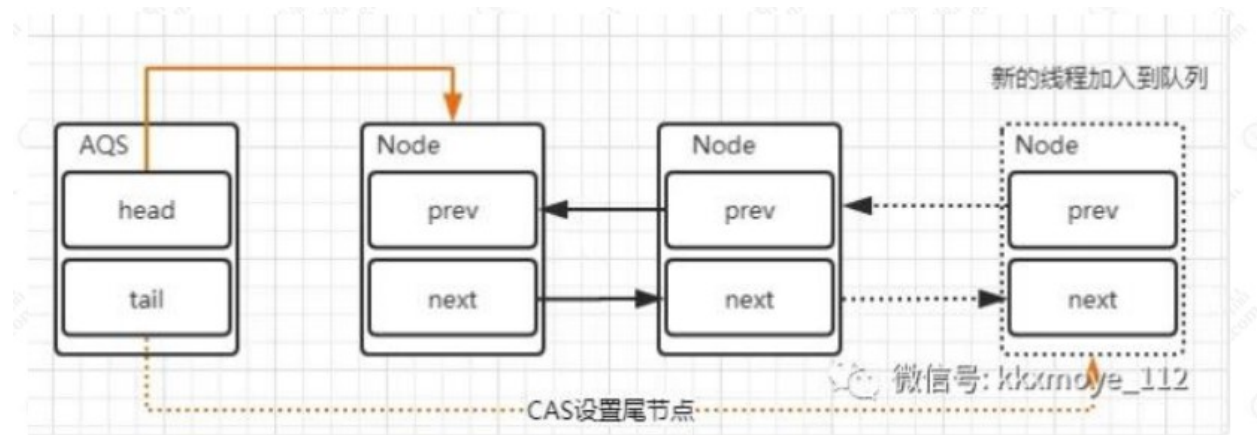
```

94     * conditions. They are then transferred to the queue to
95     * re-acquire. And because conditions can only be exclusive,
96     * we save a field by using special value to indicate shared
97     * mode.
98     */
99     Node nextWaiter; // 存储在condition队列中的后继节点
100
101     /**
102     * Returns true if node is waiting in shared mode.
103     */
104     final boolean isShared() { // 是否为共享锁
105         return nextWaiter == SHARED;
106     }
107
108     /**
109     * Returns previous node, or throws NullPointerException if null.
110     * Use when predecessor cannot be null. The null check could
111     * be elided, but is present to help the VM.
112     *
113     * @return the predecessor of this node
114     */
115     final Node predecessor() throws NullPointerException {
116         Node p = prev;
117         if (p == null)
118             throw new NullPointerException();
119         else
120             return p;
121     }
122
123     Node() { // Used to establish initial head or SHARED marker
124     }
125
126     // 将线程构造一个Node，添加到等待队列中
127     Node(Thread thread, Node mode) { // Used by addWaiter
128         this.nextWaiter = mode;
129         this.thread = thread;
130     }
131
132     // 这个方法会在Condition队列中使用
133     Node(Thread thread, int waitStatus) { // Used by Condition
134         this.waitStatus = waitStatus;
135         this.thread = thread;
136     }

```

### 3.5. 释放锁以及添加线程对于队列的变化

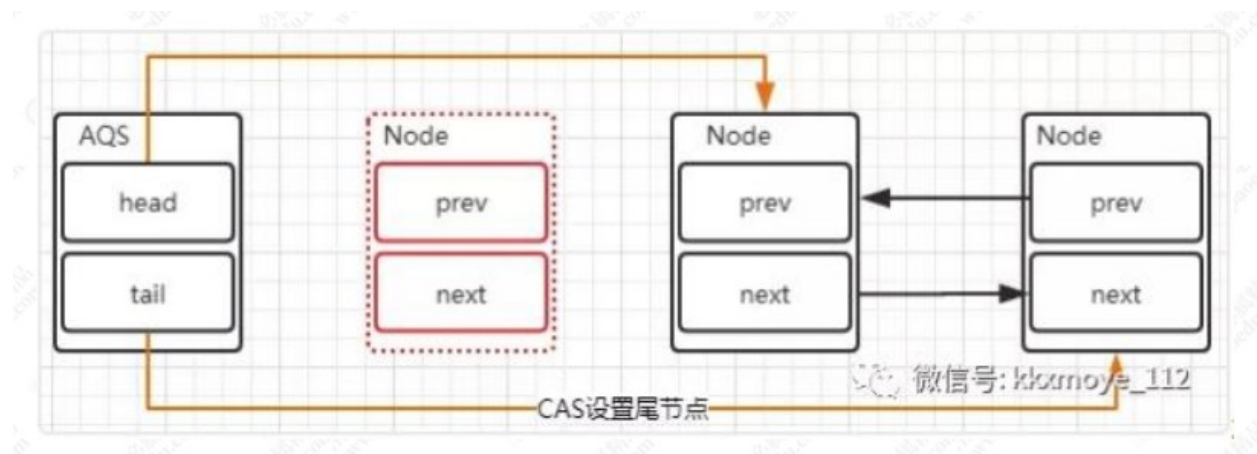
当出现锁竞争以及释放锁的时候，AQS 同步队列中的节点会发生变化，首先看以下添加节点的场景。



这里会涉及到两个变化

1. 新的线程封装成 Node 节点追加到同步队列中，设置 prev 节点以及修改当前节点的前置节点的 next 节点指向自己
2. 通过 CAS 将 tail 重新指向新的尾部节点

head 节点表示获取锁成功的节点，当头结点在释放同步状态时，会唤醒后继节点，如果后继节点获得锁成功，会把自己设置为头结点，节点的变化过程如下



这个过程也是涉及到两个变化

1. 修改 head 节点指向下一个获得锁的节点
2. 新的获得锁的节点，将 prev 的指针指向 null

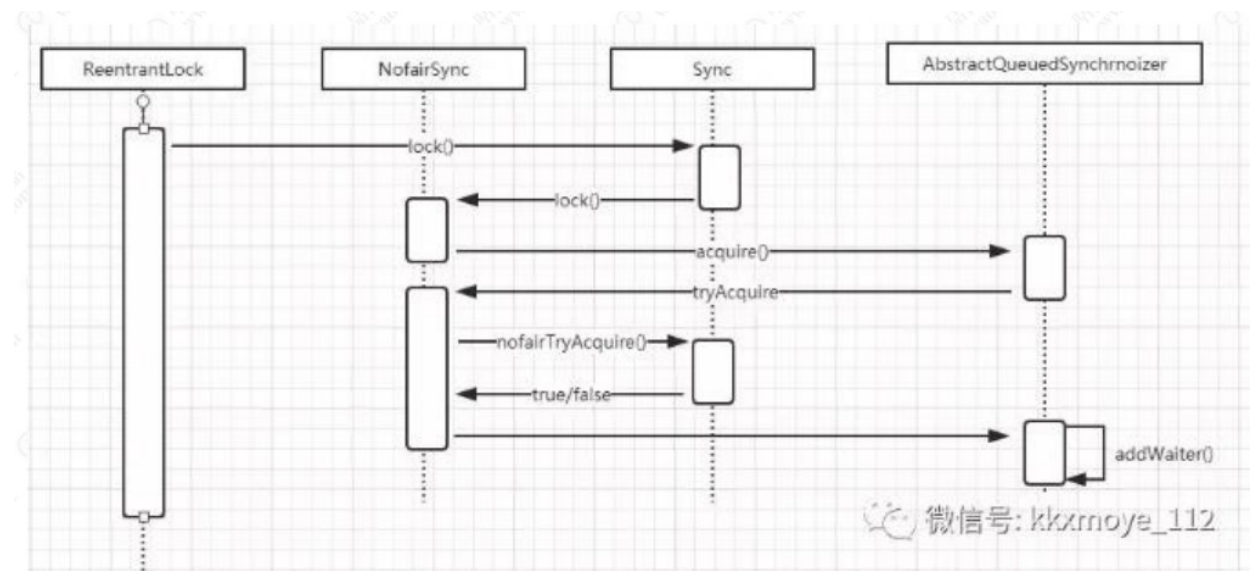
设置 head 节点不需要用 CAS，原因是设置 head 节点是由获得锁的线程来完成的，而同步锁只能由一个线程获得，所以不需要 CAS 保证，只需要把 head 节点设置为原首节点的后继节点，并且断开原 head 节点的 next 引用即可

## 4. ReentrantLock的源码分析

以 ReentrantLock 作为切入点，来看看在这个场景中是如何使用 AQS 来实现线程的同步的

### 4.1. ReentrantLock的时序图

调用 ReentrantLock 中的 lock()方法，源码的调用过程我使用了时序图来展现。



### 4.2. ReentrantLock.lock()

这个是 ReentrantLock 获取锁的入口

```
1 public void lock() {
2     sync.lock();
3 }
```

sync 实际上是一个抽象的静态内部类，它继承了 AQS 来实现重入锁的逻辑，我们前面说过 AQS 是一个同步队列，它能够实现线程的阻塞以及唤醒，但它并不具备业务功能，所以在不同的同步场景中，会继承 AQS 来实现对应场景的功能

Sync 有两个具体的实现类，分别是：

NonfairSync：表示可以存在抢占锁的功能，也就是说不管当前队列上是否存在其他线程等待，新线程都有机会抢占锁

FailSync：表示所有线程严格按照 FIFO 来获取锁

### 4.3. NonfairSync.lock()

以非公平锁为例，来看看 lock 中的实现

1. 非公平锁和公平锁最大的区别在于，在非公平锁中我抢占锁的逻辑是，不管有没有线程排队，我先上来 cas 去抢占一下
2. CAS 成功，就表示成功获得了锁
3. CAS 失败，调用 acquire(1)走锁竞争逻辑

```
1      final void lock() {
2          if (compareAndSetState(0, 1))
3              setExclusiveOwnerThread(Thread.currentThread());
4          else
5              acquire(1);
6      }
```

### 4.3.1. CAS实现原理

```
1      protected final boolean compareAndSetState(int expect, int update) {
2          // See below for intrinsics setup to support this
3          return unsafe.compareAndSwapInt(this, stateOffset, expect, update);
4      }
```

通过 cas 乐观锁的方式来做比较并替换，这段代码的意思是，如果当前内存中的state 的值和预期值 expect 相等，则替换为 update。更新成功返回 true，否则返回 false。

这个操作是原子的，不会出现线程安全问题，这里面涉及到 Unsafe 这个类的操作，以及涉及到 state 这个属性的意义。

state 是 AQS 中的一个属性，它在不同的实现中所表达的含义不一样，对于重入锁的实现来说，表示一个同步状态。它有两个含义的表示

1. 当 state=0 时，表示无锁状态
2. 当 state>0 时，表示已经有线程获得了锁，也就是 state=1，但是因为ReentrantLock 允许重入，所以同一个线程多次获得同步锁的时候，state 会递增，比如重入 5 次，那么 state=5。而在释放锁的时候，同样需要释放 5 次直到 state=0, 其他线程才有资格获得锁

### 4.3.2. Unsafe类

Unsafe 类是在 sun.misc 包下，不属于 Java 标准。但是很多 Java 的基础类库，包括一些被广泛使用的高性能开发库都是基于 Unsafe 类开发的，比如 Netty、Hadoop、Kafka 等；

Unsafe 可认为是 Java 中留下的后门，提供了一些低层次操作，如直接内存访问、线程的挂起和恢复、CAS、线程同步、内存屏障

而 CAS 就是 Unsafe 类中提供的一个原子操作，第一个参数为需要改变的对象，第二个为偏移量（即之前求出来的 headOffset 的值），第三个参数为期待的值，第四个为更新后的值。整个方法的作用是如果当前时刻的值等于预期值 var4 相等，则更新为新的期望值 var5，如果更新成功，则返回 true，否则返回 false；

```
1 public final native boolean compareAndSwapInt(Object var1, long var2, int var4,
```

### 4.3.3. stateOffset

一个 Java 对象可以看成是一段内存，每个字段都得按照一定的顺序放在这段内存里，通过这个方法可以准确地告诉你某个字段相对于对象的起始内存地址的字节偏移。用于在后面的 compareAndSwapInt 中，去根据偏移量找到对象在内存中的具体位置

所以 stateOffset 表示 state 这个字段在 AQS 类的内存中相对于该类首地址的偏移量

### 4.3.4. compareAndSwapInt

在 unsafe.cpp 文件中，可以找到 compareAndSwapInt 的实现

```
1 UNSAFE_ENTRY(jboolean, Unsafe_CompareAndSwapInt(JNIEnv *env, jobject unsafe, jobject
2   UnsafeWrapper("Unsafe_CompareAndSwapInt"));
3 // 将java对象解析成JVM的oop(普通对象指针)
4   oop p = JNIHandles::resolve(obj);
5 // 根据对象p和地址偏移量找到地址
6   jint* addr = (jint *) index_oop_from_field_offset_long(p, offset);
7 //基于CAS比较并替换
8 // x表示需要更新的值
9 // add表示state在内存中的地址
10 // e表示预期值
11   return (jint)(Atomic::cmpxchg(x, addr, e)) == e;
12 UNSAFE_END
```

## 4.4. AQS.acquire()

acquire 是 AQS 中的方法，如果 CAS 操作未能成功，说明 state 已经不为 0，此时继续 acquire(1)操作

➤ 大家思考一下，acquire 方法中的 1 的参数是用来做什么呢？

这个方法的主要逻辑是

1. 通过 tryAcquire 尝试获取独占锁，如果成功返回 true，失败返回 false



2. 如果 tryAcquire 失败，则会通过 addWaiter 方法将当前线程封装成 Node 添加到 AQS 队列尾部
3. acquireQueued，将 Node 作为参数，通过自旋去尝试获取锁。

```
1 public final void acquire(int arg) {
2     if (!tryAcquire(arg) &&
3         acquireQueued(addWaiter(Node.EXCLUSIVE), arg))
4         selfInterrupt();
5 }
```

#### 4.4.1. NonfairSync.tryAcquire()

这个方法的作用是尝试获取锁，如果成功返回 true，不成功返回 false

它是重写 AQS 类中的 tryAcquire 方法，并且大家仔细看一下 AQS 中 tryAcquire方法的定义，并没有实现，而是抛出异常。

```
1 protected boolean tryAcquire(int arg) {
2     throw new UnsupportedOperationException();
3 }
```

按照一般的思维模式，既然是一个不实现的模版方法，那应该定义成 abstract，让子类来实现呀？大家想想为什么

```
1 protected final boolean tryAcquire(int acquires) {
2     return nonfairTryAcquire(acquires);
3 }
```

#### 4.4.2. ReentrantLock.nonfairTryAcquire()

1. 获取当前线程，判断当前的锁的状态
2. 如果 state=0 表示当前是无锁状态，通过 cas 更新 state 状态的值
3. 当前线程是属于重入，则增加重入次数

```
1 final boolean nonfairTryAcquire(int acquires) {
2     // 获取当前执行的线程
3     final Thread current = Thread.currentThread();
4     // 获取state值
```

```

5         int c = getState();
6         // c == 0 =>无锁状态
7         if (c == 0) {
8             // CAS替换state的值
9             // CAS成功表示获取锁成功
10            if (compareAndSetState(0, acquires)) {
11                // 保存当前获得锁的线程
12                // 下次再来的时候就不要再尝试竞争锁
13                setExclusiveOwnerThread(current);
14                return true;
15            }
16        }
17        // 如果同一个线程来获得锁，直接增加重入次数
18        else if (current == getExclusiveOwnerThread()) {
19            // 增加重入次数
20            int nextc = c + acquires;
21            if (nextc < 0) // overflow
22                throw new Error("Maximum lock count exceeded");
23            setState(nextc);
24            return true;
25        }
26        return false;
27    }

```

## 4.5. AQS.addWaiter()

当 tryAcquire 方法获取锁失败以后，则会先调用 addWaiter 将当前线程封装成 Node。

入参 mode 表示当前节点的状态，传递的参数是 Node.EXCLUSIVE，表示独占状态。意味着重入锁用到了 AQS 的独占锁功能

1. 将当前线程封装成 Node
2. 当前链表中的 tail 节点是否为空，如果不为空，则通过 cas 操作把当前线程的 node 添加到 AQS 队列
3. 如果为空或者 cas 失败，调用 enq 将节点添加到 AQS 队列

```

1     private Node addWaiter(Node mode) {
2         // 将当前线程封装为Node
3         Node node = new Node(Thread.currentThread(), mode);
4         // Try the fast path of enq; backup to full enq on failure
5         // tail是AQS中表示同比队列队尾的属性，默认为null

```

```

6      Node pred = tail;
7      // tail不为空的情况下，说明队列中存在节点
8      if (pred != null) {
9          // 把当前线程的Node的prev指向tail
10         node.prev = pred;
11         // 通过CAS把node加入到AQS队列，也就是设置为tail
12         if (compareAndSetTail(pred, node)) {
13             // 设置成功以后，把原tail节点的next指向当前node
14             pred.next = node;
15             return node;
16         }
17     }
18     // tail = null, 把node添加到同步队列
19     enq(node);
20     return node;
21 }

```

### 4.5.1. enq

enq 就是通过自旋操作把当前节点加入到队列中

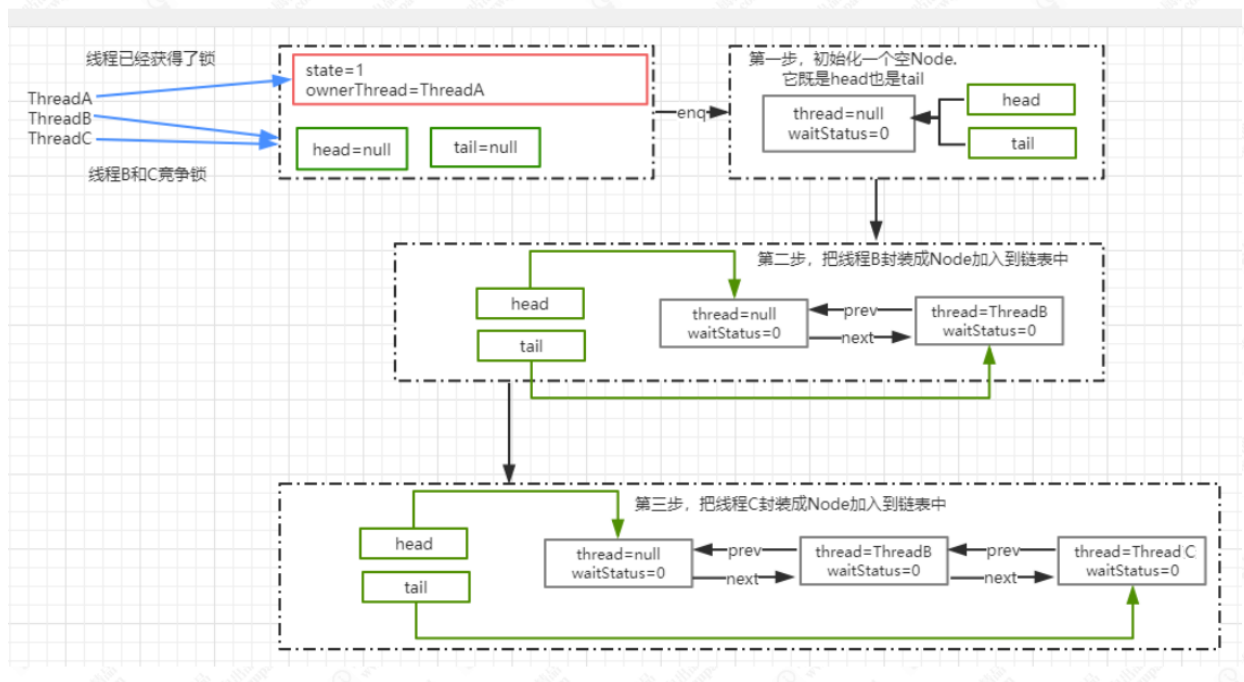
```

1      private Node enq(final Node node) {
2          for (;;) {
3              Node t = tail;
4              if (t == null) { // Must initialize
5                  if (compareAndSetHead(new Node()))
6                      tail = head;
7              } else {
8                  node.prev = t;
9                  if (compareAndSetTail(t, node)) {
10                     t.next = node;
11                     return t;
12                 }
13             }
14         }
15     }

```

### 4.5.2. 图解分析

假设 3 个线程来争抢锁，那么截止到 enq 方法运行结束之后，或者调用 addwaiter方法结束后，AQS 中的链表结构图



## 4.6. AQS.acquireQueued()

通过 addWaiter 方法把线程添加到链表后, 会接着把 Node 作为参数传递给acquireQueued 方法, 去竞争锁

1. 获取当前节点的 prev 节点
2. 如果 prev 节点为 head 节点, 那么它就有资格去争抢锁, 调用 tryAcquire 抢占锁
3. 抢占锁成功以后, 把获得锁的节点设置为 head, 并且移除原来的初始化 head节点
4. 如果获得锁失败, 则根据 waitStatus 决定是否需要挂起线程
5. 最后, 通过 cancelAcquire 取消获得锁的操作

```

1    final boolean acquireQueued(final Node node, int arg) {
2        boolean failed = true;
3        try {
4            boolean interrupted = false;
5            for (;;) {
6                // 获取当前节点的prev节点
7                final Node p = node.predecessor();
8                // 如果是head节点, 说明有资格去争抢锁
9                if (p == head && tryAcquire(arg)) {
10                   // 获取锁成功
11                   // 也就是ThreadA已经释放了锁
12                   // 然后设置head为ThreadB 获得执行权限
13                   setHead(node);
14                   // 把原head节点从链表中移除
15                   p.next = null; // help GC

```

```

16         failed = false;
17         return interrupted;
18     }
19     // ThreadA可能还没有释放锁，使得ThreadB在执行tryAcquire时会返回false
20     if (shouldParkAfterFailedAcquire(p, node) &&
21         parkAndCheckInterrupt())
22         // 并且返回当前线程在等待过程中有没有中断过
23         interrupted = true;
24     }
25     } finally {
26         if (failed)
27             cancelAcquire(node);
28     }
29 }

```

#### 4.6.1. NonfairSync.tryAcquire()

这个方法在前面分析过，就是通过 state 的状态来判断是否处于无锁状态，然后再通过 cas 进行竞争锁操作。成功表示获得锁，失败表示获得锁失败

```

1     protected final boolean tryAcquire(int acquires) {
2         return nonfairTryAcquire(acquires);
3     }
4
5     final boolean nonfairTryAcquire(int acquires) {
6         final Thread current = Thread.currentThread();
7         int c = getState();
8         if (c == 0) {
9             if (compareAndSetState(0, acquires)) {
10                 setExclusiveOwnerThread(current);
11                 return true;
12             }
13         }
14         else if (current == getExclusiveOwnerThread()) {
15             int nextc = c + acquires;
16             if (nextc < 0) // overflow
17                 throw new Error("Maximum lock count exceeded");
18             setState(nextc);
19             return true;
20         }
21         return false;
22     }

```

## 4.6.2. shouldParkAfterFailedAcquire()

如果 ThreadA 的锁还没有释放的情况下，ThreadB 和 ThreadC 来争抢锁肯定是会失败，那么失败以后会调用 shouldParkAfterFailedAcquire 方法

Node 有 5 种状态，分别是：CANCELLED (1) ， SIGNAL (-1) 、 CONDITION (-2) 、 PROPAGATE(-3)、默认状态(0)

CANCELLED: 在同步队列中等待的线程等待超时或被中断，需要从同步队列中取消该 Node 的结点，其结点的 waitStatus 为 CANCELLED，即结束状态，进入该状态后的结点将不会再变化

SIGNAL: 只要前置节点释放锁，就会通知标识为 SIGNAL 状态的后续节点的线程

CONDITION: 和 Condition 有关系，后续会讲解

PROPAGATE: 共享模式下，PROPAGATE 状态的线程处于可运行状态

0:初始状态

这个方法的主要作用是，通过 Node 的状态来判断，ThreadA 竞争锁失败以后是否应该被挂起。

1. 如果 ThreadA 的 pred 节点状态为 SIGNAL，那就表示可以放心挂起当前线程
2. 通过循环扫描链表把 CANCELLED 状态的节点移除
3. 修改 pred 节点的状态为 SIGNAL,返回 false.

返回 false 时，也就是不需要挂起，返回 true，则需要调用 parkAndCheckInterrupt挂起当前线程

```
1     private static boolean shouldParkAfterFailedAcquire(Node pred, Node node) {
2         // 前置节点的waitStatus
3         int ws = pred.waitStatus;
4         // 如果前置节点为SIGNAL，意味着只需要等待其他前置节点的线程被释放
5         if (ws == Node.SIGNAL)
6             /*
7              * This node has already set status asking a release
8              * to signal it, so it can safely park.
9              */
10            // 返回true，意味着可以直接放心的挂起了
11            return true;
12        // ws大于0，意味着prev节点取消了排队，直接移除这个节点就行了
13        if (ws > 0) {
14            /*
15             * Predecessor was cancelled. Skip over predecessors and
16             * indicate retry.
17             */
```

```

18         do {
19             // 相当于:
20             // pred = pred.prev;
21             // node.prev = pred;
22             node.prev = pred = pred.prev;
23             // 这里采用循环, 从双向链表中移除CANCELLED的节点
24         } while (pred.waitStatus > 0);
25         pred.next = node;
26     } else {
27         /*
28          * waitStatus must be 0 or PROPAGATE. Indicate that we
29          * need a signal, but don't park yet. Caller will need to
30          * retry to make sure it cannot acquire before parking.
31          */
32         // 利用CAS设置prev节点的状态为SIGNAL(-1)
33         compareAndSetWaitStatus(pred, ws, Node.SIGNAL);
34     }
35     return false;
36 }

```

### 4.6.3. parkAndCheckInterrupt()

使用 LockSupport.park 挂起当前线程变成 WAITING 状态

Thread.interrupted, 返回当前线程是否被其他线程触发过中断请求, 也就是 thread.interrupt(); 如果有触发过中断请求, 那么这个方法会返回当前的中断标识true, 并且对中断标识进行复位标识已经响应过了中断请求。如果返回 true, 意味着在 acquire 方法中会执行 selfInterrupt()。

```

1     private final boolean parkAndCheckInterrupt() {
2         LockSupport.park(this);
3         return Thread.interrupted();
4     }

```

selfInterrupt: 标识如果当前线程在 acquireQueued 中被中断过, 则需要产生一个中断请求, 原因是线程在调用 acquireQueued 方法的时候是不会响应中断请求的

```

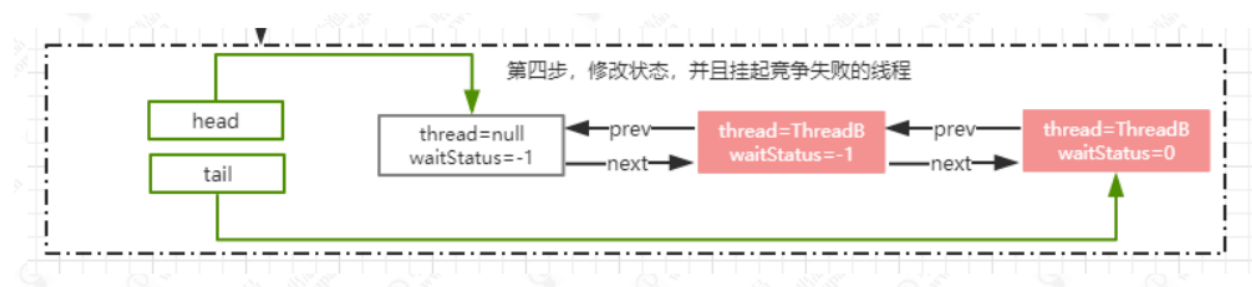
1     static void selfInterrupt() {
2         Thread.currentThread().interrupt();
3     }

```



#### 4.6.4. 图解分析

通过 `acquireQueued` 方法来竞争锁，如果 ThreadA 还在执行中没有释放锁的话，意味着 ThreadB 和 ThreadC 只能挂起了。



#### 4.6.5. LockSupport

LockSupport 类是 Java6 引入的一个类，提供了基本的线程同步原语。LockSupport 实际上是调用了 Unsafe 类里的函数，归结到 Unsafe 里，只有两个函数

```
1 public native void unpark(Thread jthread);
2
3 public native void park(boolean isAbsolute, long time);
```

unpark 函数为线程提供“许可(permit)”，线程调用 park 函数则等待“许可”。这个有点像信号量，但是这个“许可”是不能叠加的，“许可”是一次性的。

permit 相当于 0/1 的开关，默认是 0，调用一次 unpark 就加 1 变成了 1。调用一次 park 会消费 permit，又会变成 0。如果再调用一次 park 会阻塞，因为 permit 已经是 0 了。直到 permit 变成 1。这时调用 unpark 会把 permit 设置为 1。每个线程都有一个相关的 permit，permit 最多只有一个，重复调用 unpark 不会累积

### 5. 锁的释放过程

如果这个时候 ThreadA 释放锁了，那么我们来看锁被释放后会产生什么效果

#### 5.1. ReentrantLock.unlock()

```
1 public void unlock() {
2     sync.release(1);
3 }
```

在 unlock 中，会调用 release 方法来释放锁

```

1      public final boolean release(int arg) {
2          // 释放锁成功
3          if (tryRelease(arg)) {
4              // 得到AQS中的head节点
5              Node h = head;
6              if (h != null && h.waitStatus != 0)
7                  // 唤醒后续节点
8                  unparkSuccessor(h);
9              return true;
10         }
11         return false;
12     }

```

## 5.2. ReentrantLock.tryRelease()

这个方法可以认为是一个设置锁状态的操作，通过将 state 状态减掉传入的参数值（参数是 1），如果结果状态为 0，就将排它锁的 Owner 设置为 null，以使得其它的线程有机会进行执行。

在排它锁中，加锁的时候状态会增加 1（当然可以自己修改这个值），在解锁的时候减掉 1，同一个锁，在可以重入后，可能会被叠加为 2、3、4 这些值，只有 unlock() 的次数与 lock() 的次数对应才会将 Owner 线程设置为空，而且也只有这种情况下才会返回 true。

```

1      protected final boolean tryRelease(int releases) {
2          int c = getState() - releases;
3          if (Thread.currentThread() != getExclusiveOwnerThread())
4              throw new IllegalMonitorStateException();
5          boolean free = false;
6          if (c == 0) {
7              free = true;
8              setExclusiveOwnerThread(null);
9          }
10         setState(c);
11         return free;
12     }

```

### 5.2.1. unparkSuccessor()

```

1      private void unparkSuccessor(Node node) {
2          /*

```

```

3      * If status is negative (i.e., possibly needing signal) try
4      * to clear in anticipation of signalling. It is OK if this
5      * fails or if status is changed by waiting thread.
6      */
7      // 获得head节点的状态
8      int ws = node.waitStatus;
9      if (ws < 0)
10         // 设置head节点状态为0
11         compareAndSetWaitStatus(node, ws, 0);
12
13     /*
14     * Thread to unpark is held in successor, which is normally
15     * just the next node. But if cancelled or apparently null,
16     * traverse backwards from tail to find the actual
17     * non-cancelled successor.
18     */
19     // 得到head节点的下一个节点
20     Node s = node.next;
21     // 如果下一个节点为null或者status > 0 表示cancelled状态
22     if (s == null || s.waitStatus > 0) {
23         // 通过从尾部节点开始扫描，找到距离head最近的一个waitStatus<=0的节点
24         s = null;
25         for (Node t = tail; t != null && t != node; t = t.prev)
26             if (t.waitStatus <= 0)
27                 s = t;
28     }
29     // next节点不为空，直接唤醒这个线程即可
30     if (s != null)
31         LockSupport.unpark(s.thread);
32 }

```

### 5.2.2. 为什么在释放锁的时候是从tail进行扫描

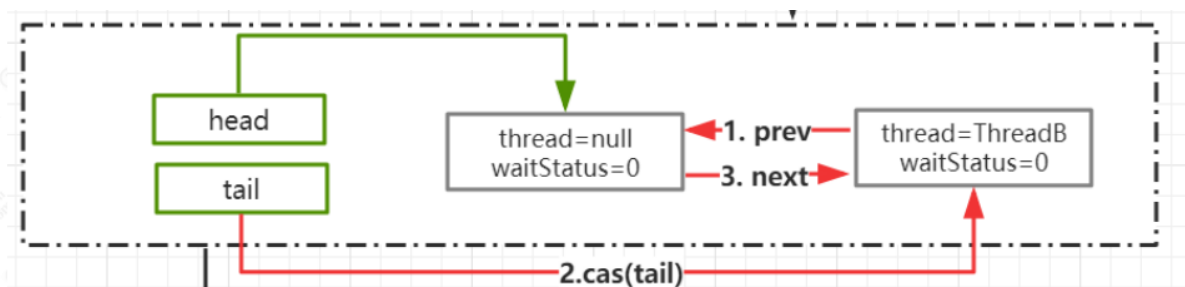
我们再回到 enq那个方法。在标注为红色部分的代码来看一个新的节点是如何加入到链表中的

1. 将新的节点的 prev 指向 tail
2. 通过 cas 将 tail 设置为新的节点，因为 cas 是原子操作所以能够保证线程安全性
3. t.next=node; 设置原 tail 的 next 节点指向新的节点

```

private Node enq(final Node node) {
    for (;;) {
        Node t = tail;
        if (t == null) { // Must initialize
            if (compareAndSetHead(new Node()))
                tail = head;
        } else {
            node.prev = t;
            if (compareAndSetTail(t, node)) {
                t.next = node;
                return t;
            }
        }
    }
}

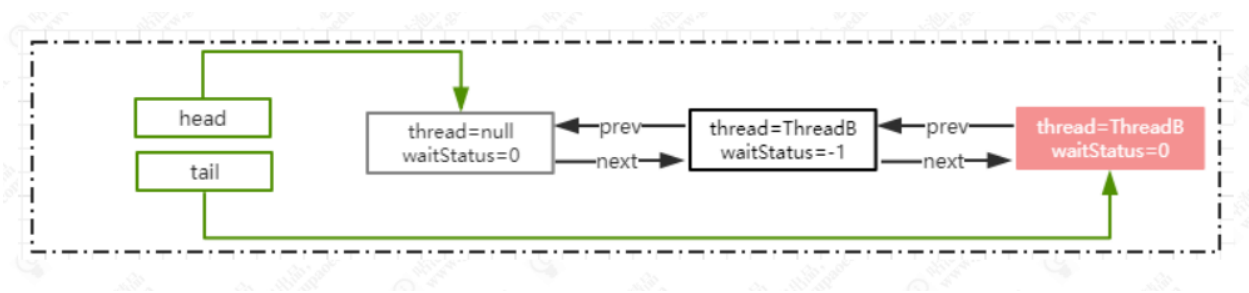
```



在 cas 操作之后，t.next=node 操作之前。存在其他线程调用 unlock 方法从 head 开始往后遍历，由于 t.next=node 还没执行意味着链表的关系还没有建立完整。就会导致遍历到 t 节点的时候被中断。所以从后往前遍历，一定不会存在这个问题。

### 5.2.3. 图解分析

通过锁的释放，原本的结构就发生了一些变化。head 节点的 waitStatus 变成了 0，ThreadB 被唤醒



## 6. 原本挂起的线程继续执行

通过 `ReentrantLock.unlock`，原本挂起的线程被唤醒以后继续执行，应该从哪里执行大家还有印象吧。原来被挂起的线程是在 `acquireQueued` 方法中，所以被唤醒以后继续从这个方法开始执行

### 6.1. AQS.acquireQueued()

这个方法前面已经完整分析过了，我们只关注一下 ThreadB 被唤醒以后的执行流程。

由于 ThreadB 的 prev 节点指向的是 head，并且 ThreadA 已经释放了锁。所以这个时候调用 `tryAcquire` 方法时，可以顺利获取到锁

1. 把 ThreadB 节点当成 head
2. 把原 head 节点的 next 节点指向为 null

```

1  final boolean acquireQueued(final Node node, int arg) {
2      boolean failed = true;
3      try {
4          boolean interrupted = false;
5          for (;;) {
6              final Node p = node.predecessor();
7              if (p == head && tryAcquire(arg)) {
8                  setHead(node);
9                  p.next = null; // help GC
10                 failed = false;
11                 return interrupted;
12             }
13             if (shouldParkAfterFailedAcquire(p, node) &&
14                 parkAndCheckInterrupt())
15                 interrupted = true;
16         }
17     } finally {
18         if (failed)
19             cancelAcquire(node);
20     }
  
```



```

20         int c = getState();
21         if (c == 0) {
22             if (compareAndSetState(0, acquires)) {
23                 setExclusiveOwnerThread(current);
24                 return true;
25             }
26         }
27         else if (current == getExclusiveOwnerThread()) {
28             int nextc = c + acquires;
29             if (nextc < 0) // overflow
30                 throw new Error("Maximum lock count exceeded");
31             setState(nextc);
32             return true;
33         }
34         return false;
35     }

```

非公平锁在获取锁的时候，会先通过 CAS 进行抢占，而公平锁则不会

## 7.2. FairSync.tryAcquire()

```

1         final void lock() {
2             acquire(1);
3         }
4
5     public final void acquire(int arg) {
6         if (!tryAcquire(arg) &&
7             acquireQueued(addWaiter(Node.EXCLUSIVE), arg))
8             selfInterrupt();
9     }
10
11     protected final boolean tryAcquire(int acquires) {
12         final Thread current = Thread.currentThread();
13         int c = getState();
14         if (c == 0) {
15             if (!hasQueuedPredecessors() &&
16                 compareAndSetState(0, acquires)) {
17                 setExclusiveOwnerThread(current);
18                 return true;
19             }
20         }

```



```

21         else if (current == getExclusiveOwnerThread()) {
22             int nextc = c + acquires;
23             if (nextc < 0)
24                 throw new Error("Maximum lock count exceeded");
25             setState(nextc);
26             return true;
27         }
28         return false;
29     }
30 }

```

这个方法与 `nonfairTryAcquire(int acquires)` 比较，不同的地方在于判断条件多了 `hasQueuedPredecessors()` 方法，也就是加入了[同步队列中当前节点是否有前驱节点]的判断，如果该方法返回 `true`，则表示有线程比当前线程更早地请求获取锁，因此需要等待前驱线程获取并释放锁之后才能继续获取锁。

## 8. Condition

在前面学习 `synchronized` 的时候，有讲到 `wait/notify` 的基本使用，结合 `synchronized` 可以实现对线程的通信。那么这个时候我就在思考了，既然 J.U.C 里面提供了锁的实现机制，那 J.U.C 里面有没有提供类似的线程通信的工具呢？于是找阿找，发现了一个 `Condition` 工具类。

`Condition` 是一个多线程协调通信的工具类，可以让某些线程一起等待某个条件 (condition)，只有满足条件时，线程才会被唤醒

### 8.1. Condition的基本使用

#### 8.1.1. ConditionWait

```

1 package cn.sitedev.condition;
2
3 import java.util.concurrent.locks.Condition;
4 import java.util.concurrent.locks.Lock;
5
6 public class ConditionWait implements Runnable {
7     private Lock lock;
8     private Condition condition;
9
10    public ConditionWait(Lock lock, Condition condition) {
11        this.lock = lock;
12        this.condition = condition;
13    }

```

```

14
15     @Override
16     public void run() {
17         System.out.println("begin: ConditionWait");
18         lock.lock();
19         try {
20             condition.await();
21             System.out.println("end: ConditionWait");
22         } catch (InterruptedException e) {
23             e.printStackTrace();
24         } finally {
25             lock.unlock();
26         }
27     }
28 }

```

## 8.1.2. ConditionSignal

```

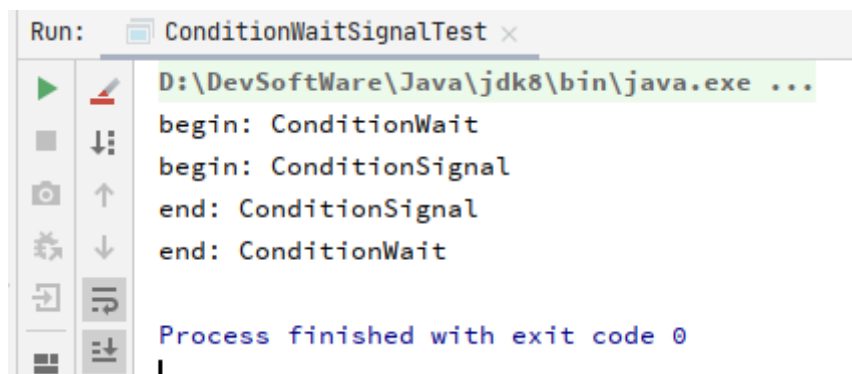
1 package cn.sitedev.condition;
2
3 import java.util.concurrent.locks.Condition;
4 import java.util.concurrent.locks.Lock;
5
6 public class ConditionSignal implements Runnable {
7     private Lock lock;
8     private Condition condition;
9
10    public ConditionSignal(Lock lock, Condition condition) {
11        this.lock = lock;
12        this.condition = condition;
13    }
14
15    @Override
16    public void run() {
17        System.out.println("begin: ConditionSignal");
18        lock.lock();
19        try {
20            condition.signal();
21            System.out.println("end: ConditionSignal");
22        } finally {
23            lock.unlock();

```

```
24     }
25 }
26 }
```

### 8.1.3. 测试

```
1 package cn.sitedev.condition;
2
3 import java.util.concurrent.locks.Condition;
4 import java.util.concurrent.locks.Lock;
5 import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;
6
7 public class ConditionWaitSignalTest {
8     public static void main(String[] args) {
9         Lock lock = new ReentrantLock();
10        Condition condition = lock.newCondition();
11        new Thread(new ConditionWait(lock,condition)).start();
12        new Thread(new ConditionSignal(lock,condition)).start();
13    }
14 }
```



通过这个案例简单实现了 wait 和 notify 的功能，当调用 await 方法后，当前线程会释放锁并等待，而其他线程调用 condition 对象的 signal 或者 signalAll 方法通知并被阻塞的线程，然后自己执行 unlock 释放锁，被唤醒的线程获得之前的锁继续执行，最后释放锁。

所以，condition 中两个最重要的方法，一个是 await，一个是 signal 方法

await:把当前线程阻塞挂起

signal:唤醒阻塞的线程

## 9. Condition源码分析

调用 Condition，需要获得 Lock 锁，所以意味着会存在一个 AQS 同步队列，先来看 Condition.await 方法

## 9.1. Condition.await()

调用 Condition 的 await()方法（或者以 await 开头的方法），会使当前线程进入等待队列并释放锁，同时线程状态变为等待状态。当从 await()方法返回时，当前线程一定获取了 Condition 相关联的锁

```
1      public final void await() throws InterruptedException {
2          if (Thread.interrupted())
3              throw new InterruptedException();
4          // 创建一个新的节点，节点状态为condition,采用的数据结构仍是链表
5          Node node = addConditionWaiter();
6          // 释放当前的锁，得到锁的状态
7          // 并唤醒AQS队列中的一个线程
8          int savedState = fullyRelease(node);
9          int interruptMode = 0;
10         // 如果当前节点没有在同步队列上，
11         // 即还没有被signal，则将当前线程阻塞
12         // 判断这个节点是否在AQS队列上，第一次判断的是false，因为前面已经释放锁了
13         while (!isOnSyncQueue(node)) {
14             // 第一次总是park自己，开始阻塞等待
15             LockSupport.park(this);
16             // 线程判断自己在等待过程中是否被中断了
17             // 如果没有中断，则再次循环，会在isOnSyncQueue中判断自己是否在队列上
18             // isOnSyncQueue判断当前node状态，
19             // 如果是CONDITION状态，或者不在队列上了，就继续阻塞
20             if ((interruptMode = checkInterruptWhileWaiting(node)) != 0)
21                 // isOnSyncQueue判断当前node还在队列上且不是CONDITION状态了，就继续阻塞
22                 break;
23         }
24         // 当这个线程醒来，会尝试拿锁。当acquireQueued返回false就是拿到锁了
25         // interruptMode != THROW_IE => 表示这个线程没有成功将node入队，但signal
26         if (acquireQueued(node, savedState) && interruptMode != THROW_IE)
27             // 将interruptMode设置为REINTERRUPT
28             interruptMode = REINTERRUPT;
29         // 如果node的下一个等待者不是null,则进行清理，清理Condition队列上的节点。
30         // 如果不是null，就没有什么好清理的了
31         if (node.nextWaiter != null) // clean up if cancelled
32             unlinkCancelledWaiters();
33         // 如果线程被中断了，需要抛出异常，或者什么都不做
34         if (interruptMode != 0)
```

```

35         reportInterruptAfterWait(interruptMode);
36     }

```

## 9.2. Condition.signal()

调用 Condition 的 signal()方法，将会唤醒在等待队列中等待时间最长的节点（首节点），在唤醒节点之前，会将节点移到同步队列中

```

1     public final void signal() {
2         // 先判断当前线程是否获得了锁
3         if (!isHeldExclusively())
4             throw new IllegalMonitorStateException();
5         // 拿到Condition队列上的第一个节点
6         Node first = firstWaiter;
7         if (first != null)
8             doSignal(first);
9     }

```

### 9.2.1. Condition.doSignal()

```

1     private void doSignal(Node first) {
2         do {
3             // 如果第一个节点的下一个节点是null，那么最后一个节点也是null
4             if ( (firstWaiter = first.nextWaiter) == null)
5                 // 将next节点设置为null
6                 lastWaiter = null;
7             first.nextWaiter = null;
8             } while (!transferForSignal(first) &&
9                     (first = firstWaiter) != null);
10    }

```

### 9.2.2. AQS.transferForSignal()

该方法先是 CAS 修改了节点状态，如果成功，就将这个节点放到 AQS 队列中，然后唤醒这个节点上的线程。此时，那个节点就会在 await 方法中苏醒

```

1     final boolean transferForSignal(Node node) {
2         /*

```

...

```

3      * If cannot change waitStatus, the node has been cancelled.
4      */
5      if (!compareAndSetWaitStatus(node, Node.CONDITION, 0))
6          return false;
7
8      /*
9      * Splice onto queue and try to set waitStatus of predecessor to
10     * indicate that thread is (probably) waiting. If cancelled or
11     * attempt to set waitStatus fails, wake up to resync (in which
12     * case the waitStatus can be transiently and harmlessly wrong).
13     */
14     Node p = enq(node);
15     int ws = p.waitStatus;
16     // 如果当一个节点的状态被取消了,或者尝试设置上一个节点的状态为SIGNAL失败了
17     // SIGNAL表示 它的next节点需要停止阻塞
18     if (ws > 0 || !compareAndSetWaitStatus(p, ws, Node.SIGNAL))
19         // 唤醒节点上的线程
20         LockSupport.unpark(node.thread);
21     return true;
22 }

```

### 9.3. Condition总结

阻塞：await()方法中，在线程释放锁资源之后，如果节点不在 AQS 等待队列，则阻塞当前线程，如果在等待队列，则自旋等待尝试获取锁

释放：signal()后，节点会从 condition 队列移动到 AQS 等待队列，则进入正常锁的获取流程