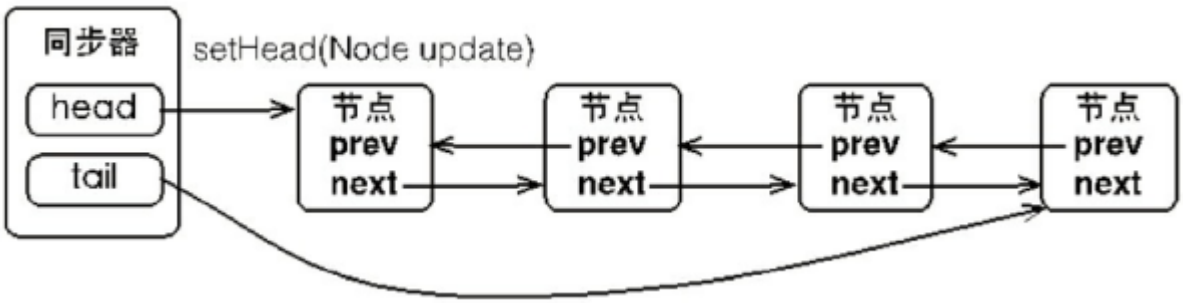
队列同步器

队列同步器**AbstractQueuedSynchronizer**（以下简称同步器），是用来构建锁或者其他同步组件的基础框架，它使用了一个**int**成员变量表示同步状态，通过内置的**FIFO**队列来完成资源获取线程的排队工作，并发包的作者（Doug Lea）期望它能够成为实现大部分同步需求的基础。

一、队列同步器的基本结构

设计思路：节点是构成同步队列（等待队列，在5.6节中将会介绍）的基础，同步器拥有首节点（head） 和尾节点（tail），没有成功获取同步状态的线程将会成为节点加入该队列的尾部，同步队列的基本结构如图所示。




```
public abstract class AbstractQueuedSynchronizer extends
AbstractOwnableSynchronizer
    implements java.io.Serializable {
    protected AbstractQueuedSynchronizer() { }
    static final class Node {
        static final Node SHARED = new Node(); //共享模式标志
        static final Node EXCLUSIVE = null;//独占模式标志
        volatile int waitStatus;
        volatile Node prev; //前驱节点，当节点
        volatile Node next; //后继
        volatile Thread thread;
        ...
    }
    private transient volatile Node head;//同步器的节点
    private transient volatile Node tail;//同步器的尾节点
    private volatile int state;//同步状态
    protected final int getState() {
        return state;
    }
    protected final void setState(int newState) {
        state = newState;

    }
```

```
    protected final boolean compareAndSetState(int expect, int update) {
        return unsafe.compareAndSwapInt(this, stateOffset, expect, update);
    }
    static void selfInterrupt() {//中断当前线程
        Thread.currentThread().interrupt();
    }
    ...
}
```

同步队列中的节点Node，用来保存获取同步状态失败的线程引用，等待状态，前驱和后继节点。描述如下：

```
static final class Node {
    static final Node SHARED = new Node(); //共享模式标志
    static final Node EXCLUSIVE = null;    //独占模式标志
    static final int CANCELLED =  1;
    static final int SIGNAL    = -1;
    static final int CONDITION = -2;
    static final int PROPAGATE = -3;
    volatile int waitStatus;
    //waitStatus等待状态包含如下状态：
    //1. CANCELLLED 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等待，节点进入该状态将不会变化
    //2. SIGNAL 后继节点的线程处于等待状态，而当前节点的线程如果释放了同步状态或者被取消,将会通知后继节点，使得后继节点的线程运行
    //3. CONDITION 节点在等待队列，节点线程等待在Condition上,当其它线程对Condition调用了signal()方法后,该节点将会从等待队列中转移到同步队列中，加入到对同步状态的获取中
    //4. PROPAGATE 表示下一次共享式同步状态获取将会无条件地被传播下去
    volatile Node prev; //前驱节点，当节点
    volatile Node next; //后继
    volatile Thread thread;
    Node nextWaiter;
    final boolean isShared() {
        return nextWaiter == SHARED;
    }
    //获得前驱节点
    final Node predecessor() throws NullPointerException {
        Node p = prev;
        if (p == null)
            throw new NullPointerException();
        else
            return p;
    }
    Node() {}    // Used to establish initial head or SHARED marker
    Node(Thread thread, Node mode) {     // Used by addWaiter
        this.nextWaiter = mode;
        this.thread = thread;
    }
    Node(Thread thread, int waitStatus) { // Used by Condition
        this.waitStatus = waitStatus;
        this.thread = thread;
    }

}
```

同步器的主**要**使用**方**式是继承，子类通过继承同步器并实现它的抽象**方法**来管理同步状态，在抽象方法的实现过程中免不了要对同步状态进行更改，这时就需要使用同步器提供的3个方法（**getState()**、**setState**(int newState)和**compareAndSetState**(int expect,int update)）来进行操作，因为它们能够保证状态的改变是安全的。

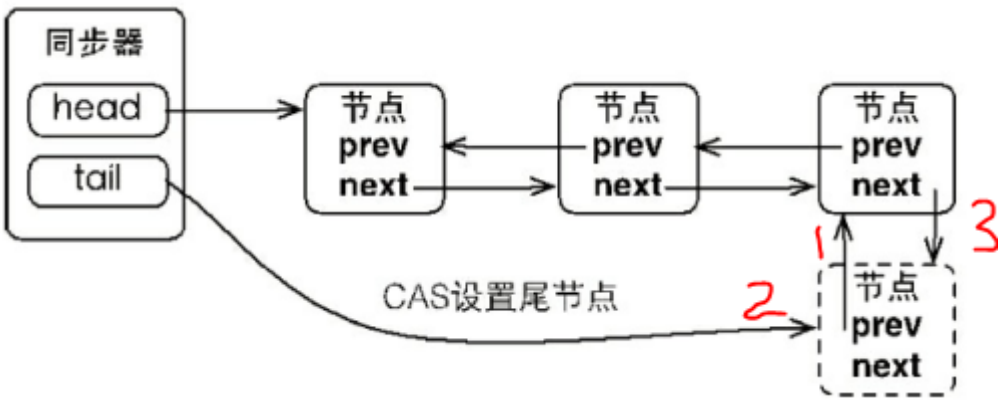
子类推荐被定义为自定义同步组件的*静态内部类*，同步器自身没有实现任何同步接口，它仅仅是定义了若干同步状态获取和释放的方法来供自定义同步组件使用，同步器既可以支持独占式地获取同步状态，也可以支持共享式地获取同步状态，这样就可以方便实现不同类型的同步组件（ReentrantLock、ReentrantReadWriteLock和CountDownLatch等）。

同步器是实现锁（也可以是任意同步组件）的关键，在锁的实现中聚合（组合）同步器，利用同步器实现锁的语义。可以这样理解二者之间的关系：锁是面向使用者的，它定义了使用者与锁交互的接口（比如可以允许两个线程并行访问），隐藏了实现细节；同步器面向的是锁的实现者，它简化了锁的实现方式，屏蔽了同步状态管理、线程的排队、等待与唤醒等底层操作。锁和同步器很好地隔离了使用者和实现者所需关注的领域。

同步器的设计是基于**模**板**方法模**式的，也就是说，使用者需要继承同步器并重写指定的方法，随后将同步器组合在自定义同步组件的实现中，并调用同步器提供的**模**板**方法，而**这些模板方法将会调用使用者重写的**方法**。 重写同步器指定的方法时，需要使用同步器提供的如下3个方法来访问或修改同步状态。 **getState()**：获取当前同步状态。 **setState**(int newState)：设置当前同步状态。 **compareAndSetState**(int expect,int update)：使用CAS设置当前状态，该方法能够保证状态设置的原子性。

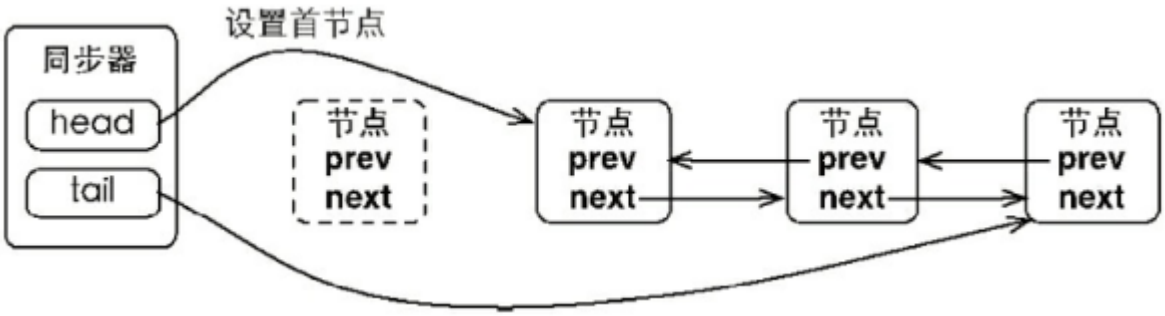
同步器将节点加入到同步队列：

1. 如果tail为null，则需要先进行初始化。先将node.pre = 原来的尾节点t
2. cas设置tail为新的节点node。CAS机制保障线程安全。
3. 原来尾节点t.next = node



同步队列设置首节点：

同步队列遵循FIFO，首节点是获取同步状态成功的节点，首节点的线程在释放同步状态时，将会唤醒后继节点，而后继节点将会在获取同步状态成功时将自己设置为首节点。设置首节点是通过获取到同步状态成功的线程来完成，只有一个线程能获取成功，因此是线程安全的，不需要CAS来保证。只需要将head设置为原首节点的next，并断开原首节点的next引用即可。



二、独占式同步状态的获取与释放

需要重写的方法(即未实现）：

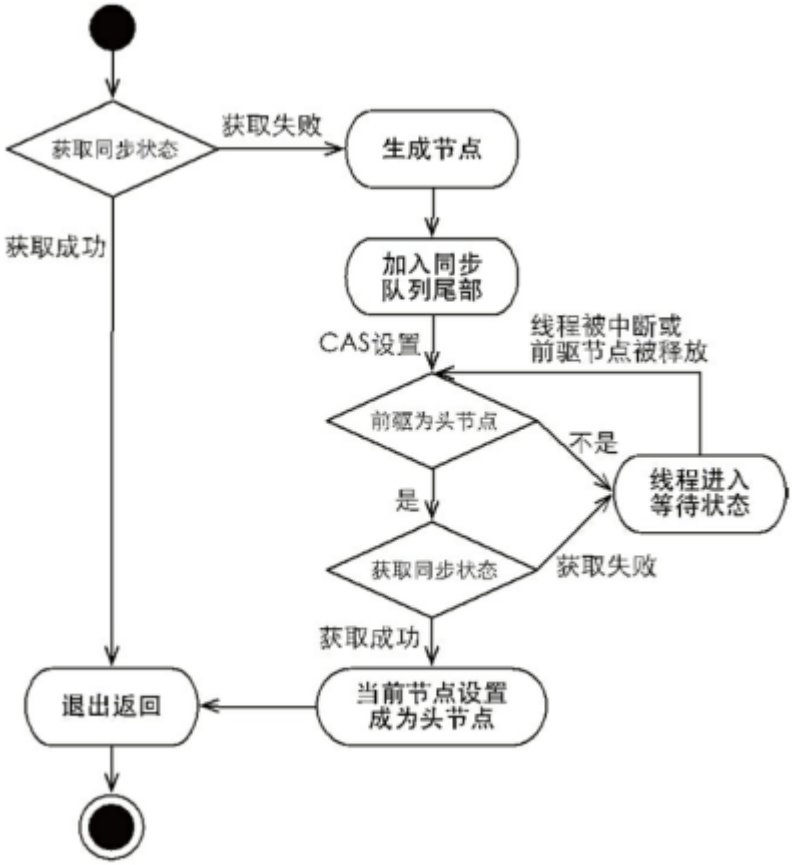
```
//独占式获取同步状态，实现该方法需要查询当前状态并判断同步状态是否符合预期，然后再进行CAS设置同步状态
protected boolean tryAcquire(int arg)
//独占式释放同步状态，等待获取同步状态的线程将有机会获取同步状态
protected boolean tryRelease(int arg)
//当前同步器是否在独占模式下被线程占用，一般该方法表示是否被当前线程所独占
protected boolean isHeldExclusively()
```

同步器提供的模板方法:

```
//独占式获取同步状态，如果当前线程获取同步状态成功，立即返回。否则，将会进入同步队列等待，且不响应中断
//该方法将会重复调用重写的tryAcquire(int arg)方法
public final void acquire(int arg)
//与acquire(int arg)基本相同，但是该方法响应中断。
public final void acquireInterruptibly(int arg)
//独占式释放同步状态，该方法会在释放同步状态后,将同步队列中第一个节点包含的线程唤醒
public final boolean release(int arg)
```

模板方法的实现：

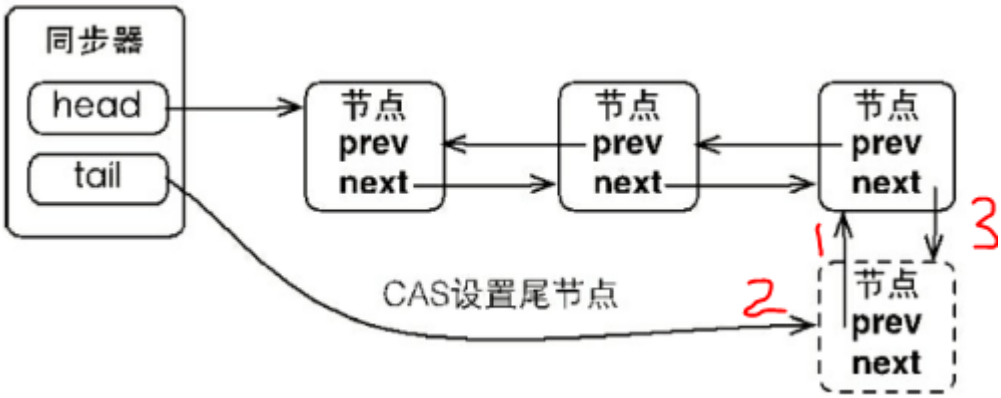
主要逻辑：首先调用自定义同步器实现的**tryAcquire**(int arg)方法,该方法保证线程安全的获取同步状态，如果同步状态获取失败，则构造同步节点（独占式Node.EXCLUSIVE，同一时刻只能有一个线程成功获取同步状态）并通过**addWaiter**(Node node)方法将该节点加入到同步队列的尾部，最后调用**acquireQueued**(Node node,int arg)方法,使得该节点以“死循环”的方式获取同步状态。




```
public final void acquire(int arg) {
    if (!tryAcquire(arg) &&  //先通过tryAcquire获取同步状态
        acquireQueued(addWaiter(Node.EXCLUSIVE), arg))//获取同步状态失败则生成节点并加入同步队列
        selfInterrupt();
}
```

生成节点并加入同步队列：

```
private Node addWaiter(Node mode) {
    Node node = new Node(Thread.currentThread(), mode);//将当前线程以独占模式生成节点
    //快速尝试在尾部添加
    Node pred = tail;
    if (pred != null) {
        node.prev = pred; //1.先将当前节点node的前驱指向当前tail
        if (compareAndSetTail(pred, node)) { //2.CAS尝试将tail设置为node
            //如果CAS成功，说明"设置当前节点node的前驱"与"CAS设置tail"之间没有别的线程设置tail成功
            pred.next = node;  //3.将"之前的tail"的后继节点指向node即可
            return node;
        }
    }
    enq(node);//如果失败，同步器则进行初始化,或者通过死循环的方式来保证正确添加尾部节点。
    return node;
}
```



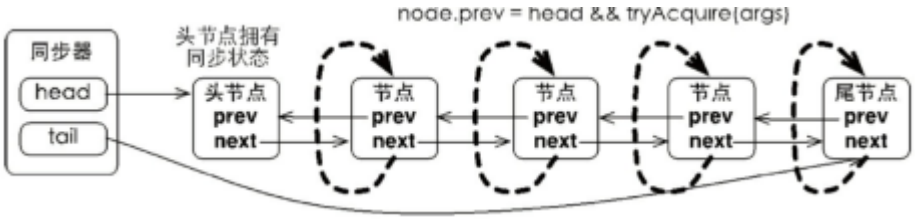

```java
//通过死循环来保证节点的正确添加，将并发添加节点变为串行话
private Node enq(final Node node) {
    for (;;) {//通过死循环来保证节点的正确添加
        Node t = tail;
        if (t == null) { //如果没有初始化,则进行初始化
            if (compareAndSetHead(new Node()))
                tail = head;
        } else {
            node.prev = t;
            if (compareAndSetTail(t, node)) {//直到CAS成功为止
                t.next = node;
                return t; //结束死循环
            }
        }
    }
}
```

CAS串行化的优点：

如果通过加锁同步的方式添加节点，线程必须获取锁后才能添加尾节点，那么必然会导致其他线程等待加锁而阻塞，获取锁的线程释放锁后阻塞的线程又会被唤醒，而线程的阻塞和唤醒需要依赖于系统内核完成，因此程序的执行需要从用户态切换到核心态，而这样的切换是非常耗时的操作。如果我们通过”循环CAS“来添加节点的话，所有线程都不会被阻塞，而是不断失败重试，线程不需要进行锁同步，不仅消除了线程阻塞唤醒的开销而且消除了加锁解锁的时间开销。但是循环CAS也有其缺点，循环CAS通过不断尝试来添加节点，如果说CAS操作失败那么将会占用处理器资源。

节点在同步队列中自旋：

节点进入同步队列之后，就进入了一个*自旋*的过程，每个节点（或者说是线程）都在自省地观察，当条件满足，获取到了同步状态，就可以从这个自旋过程中退出，否则依旧留在这个自旋过程中。




```java
//不可中断地自旋

final boolean acquireQueued(final Node node, int arg) {
```

```
    boolean failed = true;
    try {
        boolean interrupted = false;
        for (;;) {
            final Node p = node.predecessor();//获取前驱姐节点
            //如果前驱节点是首节点 head -> first   node.pre -> first
            //则尝试获取同步状态，如果成功，则代表当前线程获取了同步状态
            if (p == head && tryAcquire(arg)) {
                //当前线程获取同步状态成功
                setHead(node); //将自己设置为首节点 head -> node
                p.next = null; // help GC
                failed = false;
                return interrupted;//从自旋中退出
            }
            //如果前驱不是首节点 或者 获取同步状态失败后判断是否需要阻塞或中断
            if (shouldParkAfterFailedAcquire(p, node) && //判断是否需要阻塞或中断
                parkAndCheckInterrupt())//阻塞当前线程
                interrupted = true;
        }
    } finally {
        if (failed)
            cancelAcquire(node);
    }
}
```

```
//判断是否需要阻塞或中断
private static boolean shouldParkAfterFailedAcquire(Node pred, Node node) {
    int ws = pred.waitStatus;//获取前驱节点的等待状态
    if (ws == Node.SIGNAL)
        //SIGNAL状态：前驱节点释放同步状态或者被取消,将会通知后继节点。因此，可以放心的阻塞当前线程，返回true。
         /* This node has already set status asking a release
          * to signal it, so it can safely park.
          */
        return true;
    if (ws > 0) {
        //前驱节点被取消了，跳过前驱节点并重试
        do {
            node.prev = pred = pred.prev;
        } while (pred.waitStatus > 0);
        pred.next = node;
    } else {//独占模式下，一般情况下这里指前驱节点等待状态为SIGNAL
        /*
         * waitStatus must be 0 or PROPAGATE.  Indicate that we
         * need a signal, but don't park yet.  Caller will need to
         * retry to make sure it cannot acquire before parking.
         */
        compareAndSetWaitStatus(pred, ws, Node.SIGNAL);//设置当前节点等待状态为SIGNAL
    }
    return false;
}
```

```
/** Convenience method to park and then check if interrupted
 * @return {@code true} if interrupted*/
private final boolean parkAndCheckInterrupt() {
    LockSupport.park(this);//阻塞当前线程
    return Thread.interrupted();
}
```

释放同步状态：

```
public final boolean release(int arg) {
      if (tryRelease(arg)) {//释放同步状态
          Node h = head;
          if (h != null && h.waitStatus != 0)//独占模式下这里表示SIGNAL
              unparkSuccessor(h);//唤醒后继节点
          return true;
      }
      return false;
  }
```

```
// Wakes up node's successor, if one exists. 唤醒后继节点
private void unparkSuccessor(Node node) {
    /*If status is negative (i.e., possibly needing signal) try
     * to clear in anticipation of signalling.  It is OK if this
     * fails or if status is changed by waiting thread.*/
    int ws = node.waitStatus;//获取当前节点等待状态
    if (ws < 0)
        compareAndSetWaitStatus(node, ws, 0);//更新等待状态为0，初始化状态？
    /*Thread to unpark is held in successor, which is normally
     * just the next node.  But if cancelled or apparently null,
     * traverse backwards from tail to find the actual
     * non-cancelled successor.*/
    Node s = node.next;//得到后继节点s，即待唤醒的节点
    if (s == null || s.waitStatus > 0) {//如果没有后继节点，或者后继节点取消了(状态为1)
        s = null;
        //从队列的末尾tail开始往前找,找到第一个状态<=0的节点给s
        for (Node t = tail; t != null && t != node; t = t.prev)
            if (t.waitStatus <= 0)
                s = t;
    }
    if (s != null)
        LockSupport.unpark(s.thread);//唤醒后继线程
}
```

总结：在获取同步状态时，同步器维护一个同步队列，获取状态失败的线程都会被加入到队列中并在队列中进行自旋；移出队列（或停止自旋）的条件是前驱节点为头节点且成功获取了同步状态。在释放同步状态时，同步器调用`tryRelease(int arg)`方法释放同步状态，然后唤醒头节点的后继节点。

三、共享式同步状态的获取与释放

需要重写的方法：

```
//共享式获取同步状态，返回大于等于0的值，表示获取成功，反之获取失败
protected int tryAcquireShared(int arg)
//共享式释放同步状态
protected boolean tryReleaseShared(int arg)
protected int tryReleaseShared(int arg)
```

同步器提供的模板方法：

```
//共享式获取同步状态，如果当前线程未获取到同步状态，将会进入同步队列等待
//与独占式获取的主要区别是在同一时刻可以有多个线程获取到同步状态
public final void acquireShared(int arg)
//该方法可以响应中断
public final void acquireInterruptibly(int arg)
public final boolean releaseShared(int arg)
```

获取同步状态：

```
public final void acquireShared(int arg) {
    if (tryAcquireShared(arg) < 0)//尝试获取同步状态
        doAcquireShared(arg);//获取失败，则加入构建共享节点，加入队列自旋
}
```

在doAcquireShared(int arg)方法的*自旋*过程中，如果当前节点的前驱为头节点时，尝试获取同步状态，如果返回值大于等于0，表示该次获取同步状态成功并从自旋过程中退出。

```
private void doAcquireShared(int arg) {
    final Node node = addWaiter(Node.SHARED);//构建共享节点
    boolean failed = true;
    try {
        boolean interrupted = false;
        for (;;) {
            final Node p = node.predecessor();//得到前驱节点
            if (p == head) {//如果前驱节点为首节点
                int r = tryAcquireShared(arg);//尝试获取同步状态
                if (r >= 0) {//同步状态获取成功，则退出同步队列
                    setHeadAndPropagate(node, r);//设置头节点和r
                    p.next = null; // help GC 断开引用
                    if (interrupted)
                        selfInterrupt();
                    failed = false;
                    return;
                }
            }
            if (shouldParkAfterFailedAcquire(p, node) &&
                parkAndCheckInterrupt())
                interrupted = true;
```

```
        }
    } finally {
        if (failed)
            cancelAcquire(node);
    }
}
```

释放同步状态：

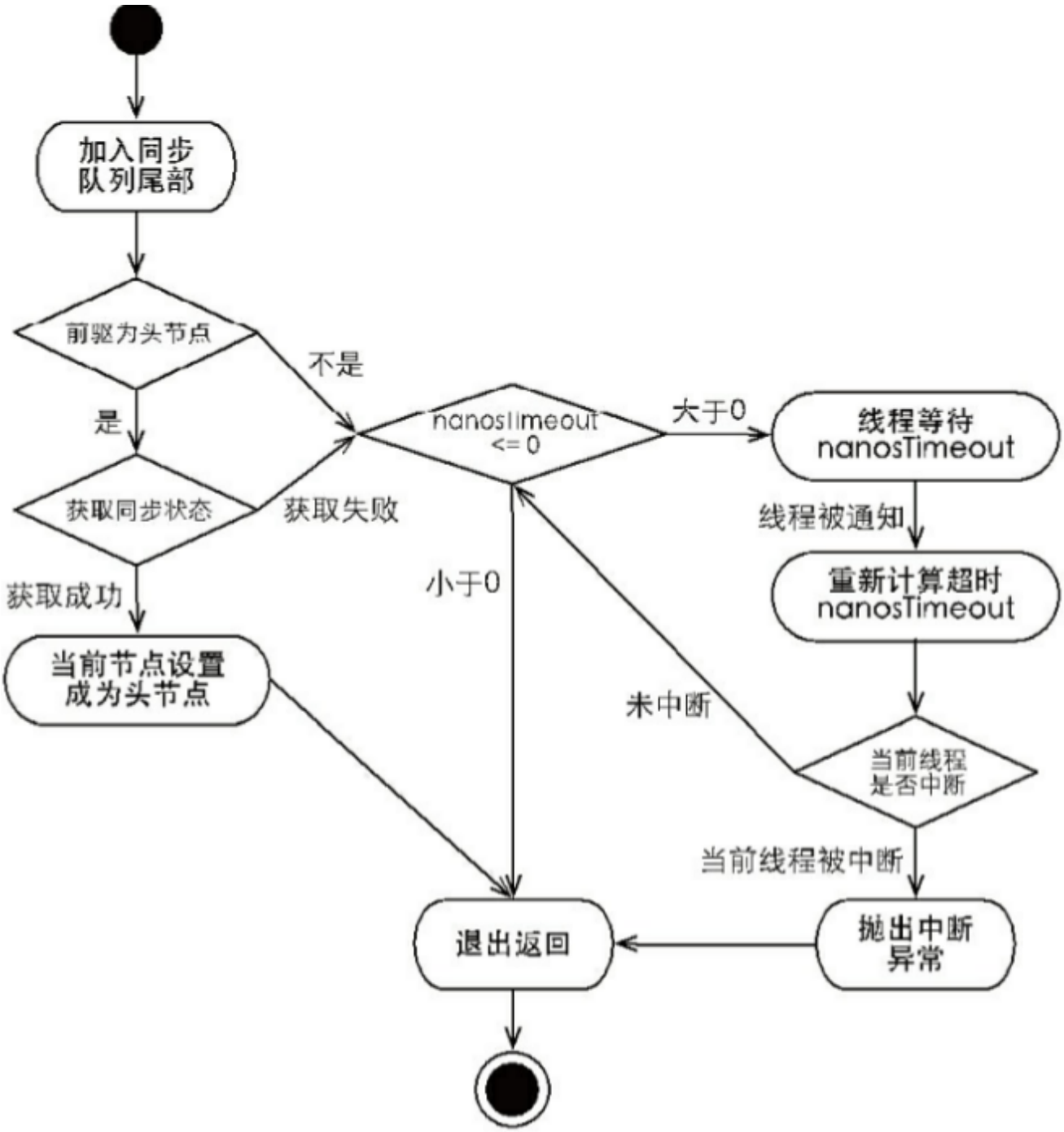
```
public final boolean releaseShared(int arg) {
    if (tryReleaseShared(arg)) {
        doReleaseShared();
        return true;
    }
    return false;
}
```

该方法在释放同步状态之后,将会唤醒后续处于等待状态的节点。对于能够支持多个线程同时访问的并发组件(比如Semaphore),它和独占式主要区别在于tryReleaseShared(int arg)方法必须确保同步状态(或者资源数)线程安全释放,一般是通过循环和CAS来保证的,因为释放同步状态的操作会同时来自多个线程。

```
private void doReleaseShared() {
    /*
     * Ensure that a release propagates, even if there are other
     * in-progress acquires/releases.  This proceeds in the usual
     * way of trying to unparkSuccessor of head if it needs
     * signal. But if it does not, status is set to PROPAGATE to
     * ensure that upon release, propagation continues.
     * Additionally, we must loop in case a new node is added
     * while we are doing this. Also, unlike other uses of
     * unparkSuccessor, we need to know if CAS to reset status
     * fails, if so rechecking.
     */
    for (;;) {
        Node h = head;
        if (h != null && h != tail) {
            int ws = h.waitStatus;
            if (ws == Node.SIGNAL) {
                if (!compareAndSetWaitStatus(h, Node.SIGNAL, 0))
                    continue;            // loop to recheck cases
                unparkSuccessor(h);
            }
            else if (ws == 0 &&
                     !compareAndSetWaitStatus(h, 0, Node.PROPAGATE))
                continue;                // loop on failed CAS
        }
        if (h == head)                   // loop if head changed
            break;
    }
}
```

四、独占式超时获取同步状态

doAcquireNanos(int arg,long nanosTimeout)方法在支持响应中断的基础上,增加了超时获取的 特性。针对超时获取,主要需要计算出需要睡眠的时间间隔nanosTimeout,为了防止过早通知,nanosTimeout计算公式为:nanosTimeout-=now-lastTime,其中now为当前唤醒时间,lastTime为上次唤醒时间,如果nanosTimeout大于0则表示超时时间未到,需要继续睡眠nanosTimeout纳秒,反之,表示已经超时。




```
private boolean doAcquireNanos(int arg, long nanosTimeout)
        throws InterruptedException {
    if (nanosTimeout <= 0L)

        return false;
```

```
    final long deadline = System.nanoTime() + nanosTimeout;
    final Node node = addWaiter(Node.EXCLUSIVE);//构造节点，并加入队列
    boolean failed = true;
    try {
        for (;;) {
            final Node p = node.predecessor();//获取前驱节点
            //如果前驱为首节点并获得同步状态，则重设首节点并返回
            if (p == head && tryAcquire(arg)) {
                setHead(node);
                p.next = null; // help GC
                failed = false;
                return true;
            }
            //获取同步状态失败，则等待
            //重新计算得到还需要睡眠的时间
            nanosTimeout = deadline - System.nanoTime();
            //如果没有超时,重新计算超时间隔nanosTimeout,然后使当前线程等待nanosTimeout纳秒(当已到设置的超时时间,该线程会从LockSupport.parkNanos(Objectblocker,long nanos)方法返回)
            if (nanosTimeout <= 0L)
                return false;
            //如果nanosTimeout小于等于spinForTimeoutThreshold(1000纳秒)时,将不会使该线程进行超时等待,而是进入快速的自旋过程。原因在于,非常短的超时等待无法做到十分精确,如果这时再进行超时等待,相反会让nanosTimeout的超时从整体上表现得反而不精确。因此,在超时非常短的场景下,同步器会进入无条件的快速自旋。
            if (shouldParkAfterFailedAcquire(p, node) &&
                nanosTimeout > spinForTimeoutThreshold)
                LockSupport.parkNanos(this, nanosTimeout);
            if (Thread.interrupted())
                throw new InterruptedException();
        }
    } finally {
        if (failed)
            cancelAcquire(node);
    }
}
```

五、自定义同步组件

要求：设计一个同步工具，在同一时刻，只运行之多两个线程同时访问，超过两个线程的访问将被阻塞。

首先,确定访问模式。TwinsLock能够在同一时刻支持多个线程的访问,这显然是共享式访问,因此,需要使用同步器提供的acquireShared(int args)方法等和Shared相关的方法,这就要求TwinsLock必须重写tryAcquireShared(int args)方法和tryReleaseShared(int args)方法,这样才能保证同步器的共享式同步状态的获取与释放方法得以执行。

其次,定义资源数。TwinsLock在同一时刻允许至多两个线程的同时访问,表明同步资源数为2,这样可以设置初始状态status为2,当一个线程进行获取,status减1,该线程释放,则status加1,状态的合法范围为0、1和2,其中0表示当前已经有两个线程获取了同步资源,此时再有其他线程对同步状态进行获取,该线程只能被阻塞。在同步状态变更时,需要使用compareAndSet(int expect,int update)方法做原子性保障。

最后,组合自定义同步器。前面的章节提到,自定义同步组件通过组合自定义同步器来完成同步功能,一般情况下自定义同步器会被定义为自定义同步组件的内部类。

TwinsLock.class

```
public class TwinsLock implements Lock{
  private final Sync sync = new Sync(2);
  //静态内部类
  private static final class Sync extends AbstractQueuedSynchronizer{
    public Sync(int count) {
      if( count <= 0 ) {
        throw new IllegalArgumentException("count must larger than zero.");
      }
      setState(count);
    }
    public int tryAcquireShared(int reduceCount) {
      for (;;) {
        int current = getState();
        int newCount = current - reduceCount;
        if( newCount < 0 || compareAndSetState(current, newCount))
          return newCount;
      }
    }
    public boolean tryReleaseShared(int returnCount) {
      for (;;) {
        int current = getState();
        int newCount = current + returnCount;
        if( compareAndSetState(current, newCount) )
          return true;
      }
    }
  }
  @Override
  public void lock() {
    sync.acquireShared(1);
  }
  @Override
  public void unlock() {
    sync.releaseShared(1);
  }
  ...//略过其它接口方法
}
```

在上述示例中,TwinsLock实现了Lock接口,提供了面向使用者的接口,使用者调用lock()方法获取锁,随后调用unlock()方法释放锁,而同一时刻只能有两个线程同时获取到锁。TwinsLock同时包含了一个自定义同步器Sync,而该同步器面向线程访问和同步状态控制。以共享式获取同步状态为例:同步器会先计算出获取后的同步状态,然后通过CAS确保状态的正确设置,当tryAcquireShared(int reduceCount)方法返回值大于等于0时,当前线程才获取同步状态,对于上层的TwinsLock而言,则表示当前线程获得了锁。 同步器作为一个桥梁,连接线程访问以及同步状态控制等底层技术与不同并发组件(比如Lock、CountDownLatch等)的接口语义。

在测试用例中,定义了工作者线程Worker,该线程在执行过程中获取锁,当获取锁之后使当前线程睡眠1秒(并不释放锁),随后打印当前线程名称,最后再次睡眠1秒并释放锁。

```java
public void test() {
  final Lock lock = new TwinsLock();
  class Worker extends Thread{
    public void run() {
      while(true) {
        lock.lock(); //加锁，即获取同步状态
        try {
          sleep(1000);
          System.out.println(Thread.currentThread().getName());
          sleep(1000);
        } finally {
          lock.unlock(); //解锁，即释放同步状态
        }
      }
    }
  }
  //启动10个线程
  for ( int i = 0; i < 10; i++ ) {
    Worker worker = new Worker();
    worker.setDaemon(true);
    worker.start();
  }
  for ( int i = 0; i < 10; i++ ) {//每隔1秒换行
    sleep(1000);
    System.out.println();
  }
}
```

运行该测试用例,可以看到线程名称成对输出,也就是在同一时刻只有两个线程能够获取到锁,这表明TwinsLock可以按照预期正确工作。

参考：

https://blog.csdn.net/summer_yuxia/article/details/71452310

《Java并发编程的艺术》

20180808