

并发编程

1. 概览

1.1 这门课讲什么

这门课中的【并发】一词涵盖了在 Java 平台上的

- 进程
- 线程
- 并发
- 并行

以及 Java 并发工具、并发问题以及解决方案，同时我也会讲解一些其它领域的并发

1.2 为什么学这么课

- 我工作中用不到并发啊？

1.3 课程特色

本课程以并发、并行为主线，穿插讲解

- **应用** - 结合实际
- **原理** - 了然于胸
- **模式** - 正确姿势



Java 并发

进程



线程



并发之共享模型

管程-悲观锁（阻塞）



JMM

原子性

可见性

有序性

无锁-乐观锁（非阻塞）

不可变

并发工具

线程池



J.U.C

Lock

Semaphore

CountDownLatch

CyclicBarrier

ConcurrentHashMap

ConcurrentLinkedQueue

BlockingQueue

CopyOnWriteArrayList

disruptor

guava



异步编程

应用

效率

限流

同步

异步

缓存

队列

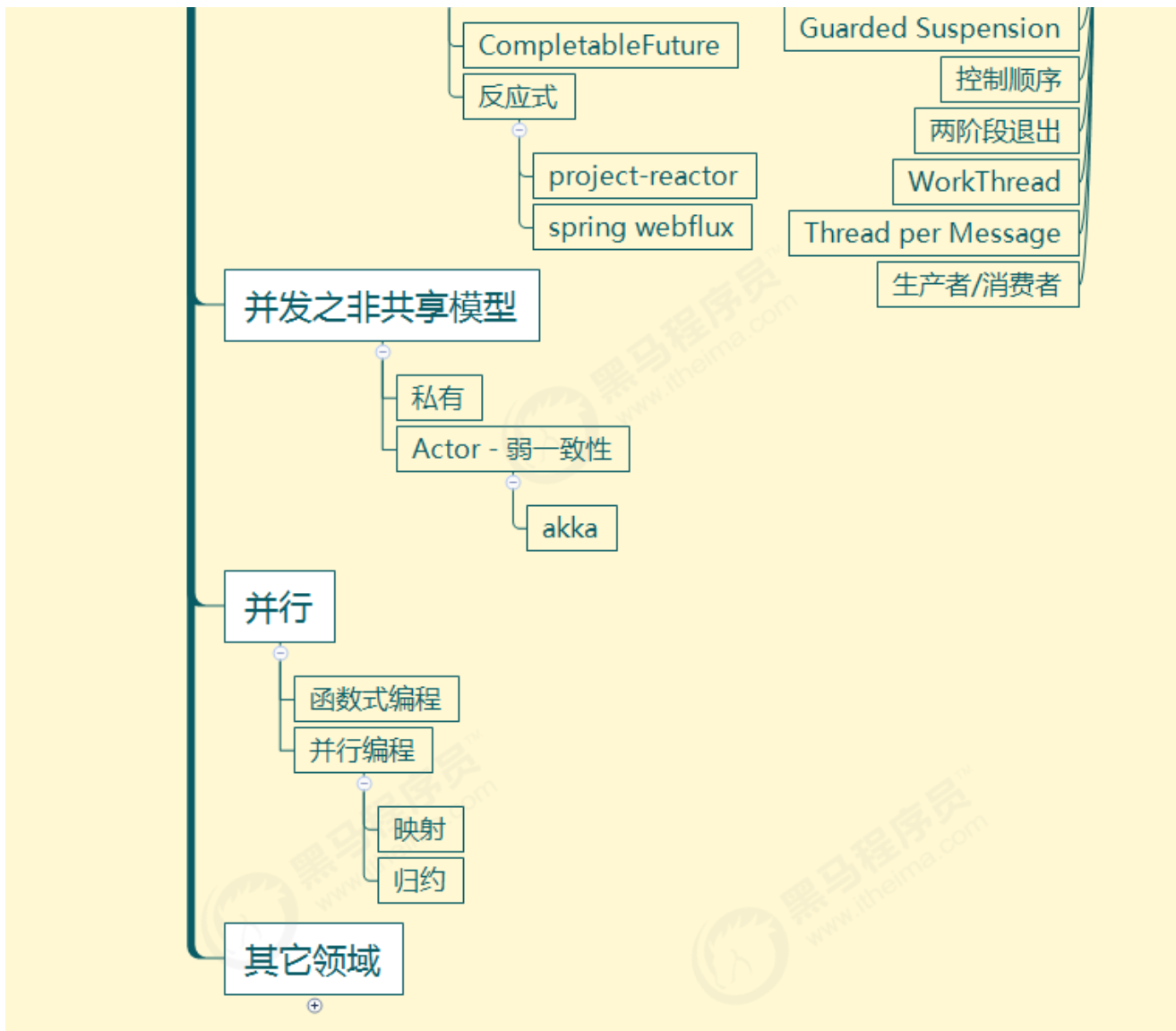
分治

统筹

原理

模式

Balking



1.4 预备知识

- 希望你不是一个初学者
- 线程安全问题，需要你接触过 Java Web 开发、Jdbc 开发、Web 服务器、分布式框架时才会遇到
- 基于 JDK 8，最好对函数式编程、lambda 有一定了解
- 采用了 slf4j 打印日志，这是好的实践
- 采用了 lombok 简化 java bean 编写
- 给每个线程好名字，这也是一项好的实践

pom.xml 依赖如下

```
<properties>
    <maven.compiler.source>1.8</maven.compiler.source>
    <maven.compiler.target>1.8</maven.compiler.target>
</properties>

<dependencies>
```



```
<dependency>
  <groupId>org.projectlombok</groupId>
  <artifactId>lombok</artifactId>
  <version>1.18.10</version>
</dependency>
<dependency>
  <groupId>ch.qos.logback</groupId>
  <artifactId>logback-classic</artifactId>
  <version>1.2.3</version>
</dependency>
</dependencies>
```

logback.xml 配置如下

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<configuration
  xmlns="http://ch.qos.logback/xml/ns/logback"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://ch.qos.logback/xml/ns/logback logback.xsd">
  <appender name="STDOUT" class="ch.qos.logback.core.ConsoleAppender">
    <encoder>
      <pattern>%date{HH:mm:ss} [%t] %logger - %m%n</pattern>
    </encoder>
  </appender>

  <logger name="c" level="debug" additivity="false">
    <appender-ref ref="STDOUT"/>
  </logger>

  <root level="ERROR">
    <appender-ref ref="STDOUT"/>
  </root>
</configuration>
```

2. 进程与线程

本章内容

- 进程和线程的概念
- 并行和并发的概念
- 线程基本应用

2.1 进程与线程

进程

- 程序由指令和数据组成，但这些指令要运行，数据要读写，就必须将指令加载至 CPU，数据加载至内存。在指令运行过程中还需要用到磁盘、网络等设备。进程就是用来加载指令、管理内存、管理 IO 的
- 当一个程序被运行，从磁盘加载这个程序的代码至内存，这时就开启了一个进程。
- 进程就可以视为程序的一个实例。大部分程序可以同时运行多个实例进程（例如记事本、画图、浏览器等），也有的程序只能启动一个实例进程（例如网易云音乐、360 安全卫士等）

线程

- 一个进程之内可以分为一到多个线程。
- 一个线程就是一个指令流，将指令流中的一条条指令以一定的顺序交给 CPU 执行
- Java 中，线程作为最小调度单位，进程作为资源分配的最小单位。在 windows 中进程是不活动的，只是作为线程的容器

二者对比

- 进程基本上相互独立的，而线程存在于进程内，是进程的一个子集
- 进程拥有共享的资源，如内存空间等，供其内部的线程共享
- 进程间通信较为复杂
 - 同一台计算机的进程通信称为 IPC (Inter-process communication)
 - 不同计算机之间的进程通信，需要通过网络，并遵守共同的协议，例如 HTTP
- 线程通信相对简单，因为它们共享进程内的内存，一个例子是多个线程可以访问同一个共享变量
- 线程更轻量，线程上下文切换成本一般上要比进程上下文切换低

2.2 并行与并发

单核 cpu 下，线程实际还是 **串行执行** 的。操作系统中有一个组件叫做任务调度器，将 cpu 的时间片 (windows 下时间片最小约为 15 毫秒) 分给不同的程序使用，只是由于 cpu 在线程间 (时间片很短) 的切换非常快，人类感觉是 **同时运行的**。总结为一句话就是：**微观串行，宏观并行**，

一般会将这种 **线程轮流使用 CPU** 的做法称为并发， concurrent

| CPU | 时间片 1 | 时间片 2 | 时间片 3 | 时间片 4 |
|------|-------|-------|-------|-------|
| core | 线程 1 | 线程 2 | 线程 3 | 线程 4 |



多核 cpu 下，每个核 (core) 都可以调度运行线程，这时候线程可以是并行的。

| CPU | 时间片 1 | 时间片 2 | 时间片 3 | 时间片 4 |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| core 1 | 线程 1 | 线程 1 | 线程 3 | 线程 3 |
| core 2 | 线程 2 | 线程 4 | 线程 2 | 线程 4 |



引用 Rob Pike 的一段描述：

- 并发 (concurrent) 是同一时间应对 (dealing with) 多件事情的能力
- 并行 (parallel) 是同一时间动手做 (doing) 多件事情的能力

例子

- 家庭主妇做饭、打扫卫生、给孩子喂奶，她一个人轮流交替做这多件事，这时就是并发
- 家庭主妇雇了个保姆，她们一起这些事，这时既有并发，也有并行（这时会产生竞争，例如锅只有一口，一个人用锅时，另一个人就得等待）

- 雇了3个保姆，一个专做饭、一个专打扫卫生、一个专喂奶，互不干扰，这时是并行

Rob Pike 资料

- golang 语言的创造者
- [Rob Pike - 百度百科](#)

2.3 应用

* 应用之异步调用（案例1）

以调用方角度来讲，如果

- 需要等待结果返回，才能继续运行就是同步
- 不需要等待结果返回，就能继续运行就是异步

1) 设计

多线程可以让方法执行变为异步的（即不要巴巴干等着）比如说读取磁盘文件时，假设读取操作花费了 5 秒钟，如果没有线程调度机制，这 5 秒 cpu 什么都做不了，其它代码都得暂停...

2) 结论

- 比如在项目中，视频文件需要转换格式等操作比较费时，这时开一个新线程处理视频转换，避免阻塞主线程
- tomcat 的异步 servlet 也是类似的目的，让用户线程处理耗时较长的操作，避免阻塞 tomcat 的工作线程
- ui 程序中，开线程进行其他操作，避免阻塞 ui 线程

* 应用之提高效率（案例1）

充分利用多核 cpu 的优势，提高运行效率。想象下面的场景，执行 3 个计算，最后将计算结果汇总。

计算 1 花费 10 ms

计算 2 花费 11 ms

计算 3 花费 9 ms

汇总需要 1 ms

- 如果是串行执行，那么总共花费的时间是 $10 + 11 + 9 + 1 = 31\text{ms}$
- 但如果是四核 cpu，各个核心分别使用线程 1 执行计算 1，线程 2 执行计算 2，线程 3 执行计算 3，那么 3 个线程是并行的，花费时间只取决于最长的那个线程运行的时间，即 11ms 最后加上汇总时间只会花费 12ms

注意

需要在多核 cpu 才能提高效率，单核仍然是轮流执行

1) 设计

>>>>> 代码见【应用之效率-案例1】 <<<<<

2) 结论

- 单核 cpu 下，多线程不能实际提高程序运行效率，只是为了能够在不同的任务之间切换，不同线程轮流使用 cpu，不至于一个线程总占用 cpu，别的线程没法干活
- 多核 cpu 可以并行跑多个线程，但能否提高程序运行效率还是要分情况的
 - 有些任务，经过精心设计，将任务拆分，并行执行，当然可以提高程序的运行效率。但不是所有计算任务都能拆分（参考后文的【阿姆达尔定律】）
 - 也不是所有任务都需要拆分，任务的目的如果不同，谈拆分和效率没啥意义
- IO 操作不占用 cpu，只是我们一般拷贝文件使用的是【阻塞 IO】，这时相当于线程虽然不用 cpu，但需要一直等待 IO 结束，没能充分利用线程。所以才有后面的【非阻塞 IO】和【异步 IO】优化

3. Java 线程

本章内容

- 创建和运行线程
- 查看线程
- 线程 API
- 线程状态

3.1 创建和运行线程

方法一，直接使用 Thread



```
// 创建线程对象
Thread t = new Thread() {
    public void run() {
        // 要执行的任务
    }
};
// 启动线程
t.start();
```

例如：

```
// 构造方法的参数是给线程指定名字，推荐
Thread t1 = new Thread("t1") {
    @Override
    // run 方法内实现了要执行的任务
    public void run() {
        log.debug("hello");
    }
};
t1.start();
```

输出

```
19:19:00 [t1] c.ThreadStarter - hello
```

方法二，使用 Runnable 配合 Thread

把【线程】和【任务】（要执行的代码）分开

- Thread 代表线程
- Runnable 可运行的任务（线程要执行的代码）

```
Runnable runnable = new Runnable() {
    public void run(){
        // 要执行的任务
    }
};
// 创建线程对象
Thread t = new Thread( runnable );
// 启动线程
t.start();
```

例如：

```
// 创建任务对象
Runnable task2 = new Runnable() {
    @Override
    public void run() {
        log.debug("hello");
    }
};

// 参数1 是任务对象；参数2 是线程名字，推荐
Thread t2 = new Thread(task2, "t2");
t2.start();
```

输出

```
19:19:00 [t2] c.ThreadStarter - hello
```

Java 8 以后可以使用 lambda 精简代码

```
// 创建任务对象
Runnable task2 = () -> log.debug("hello");

// 参数1 是任务对象；参数2 是线程名字，推荐
Thread t2 = new Thread(task2, "t2");
t2.start();
```

* 原理之 Thread 与 Runnable 的关系

分析 Thread 的源码，理清它与 Runnable 的关系

小结

- 方法1 是把线程和任务合并在了一起，方法2 是把线程和任务分开了
- 用 Runnable 更容易与线程池等高级 API 配合
- 用 Runnable 让任务类脱离了 Thread 继承体系，更灵活

方法三，FutureTask 配合 Thread

FutureTask 能够接收 Callable 类型的参数，用来处理有返回结果的情况

```
// 创建任务对象
FutureTask<Integer> task3 = new FutureTask<>(() -> {
    log.debug("hello");
    return 100;
});

// 参数1 是任务对象；参数2 是线程名字，推荐
new Thread(task3, "t3").start();

// 主线程阻塞，同步等待 task 执行完毕的结果
Integer result = task3.get();
log.debug("结果是:{}", result);
```

输出

```
19:22:27 [t3] c.ThreadStarter - hello
19:22:27 [main] c.ThreadStarter - 结果是:100
```

3.2 观察多个线程同时运行

主要是理解

- 交替执行
- 谁先谁后，不由我们控制

3.3 查看进程线程的方法

windows

- 任务管理器可以查看进程和线程数，也可以用来杀死进程
- `tasklist` 查看进程
- `taskkill` 杀死进程

linux

- `ps -fe` 查看所有进程
- `ps -fT -p <PID>` 查看某个进程（PID）的所有线程
- `kill` 杀死进程
- `top` 按大写 H 切换是否显示线程
- `top -H -p <PID>` 查看某个进程（PID）的所有线程

Java

- `jps` 命令查看所有 Java 进程
- `jstack <PID>` 查看某个 Java 进程（PID）的所有线程状态
- `jconsole` 来查看某个 Java 进程中线程的运行情况（图形界面）

jconsole 远程监控配置

- 需要以如下方式运行你的 java 类

```
java -Djava.rmi.server.hostname=`ip地址` -Dcom.sun.management.jmxremote -
Dcom.sun.management.jmxremote.port=`连接端口` -Dcom.sun.management.jmxremote.ssl=是否安全连接 -
Dcom.sun.management.jmxremote.authenticate=是否认证 java类
```

- 修改 /etc/hosts 文件将 127.0.0.1 映射至主机名

如果要认证访问，还需要做如下步骤

- 复制 jmxremote.password 文件
- 修改 jmxremote.password 和 jmxremote.access 文件的权限为 600 即文件所有者可读写
- 连接时填入 controlRole（用户名），R&D（密码）

3.4 * 原理之线程运行

栈与栈帧

Java Virtual Machine Stacks (Java 虚拟机栈)

我们都知道 JVM 中由堆、栈、方法区所组成，其中栈内存是给谁用的呢？其实就是线程，每个线程启动后，虚拟机就会为其分配一块栈内存。

- 每个栈由多个栈帧 (Frame) 组成，对应着每次方法调用时所占用的内存
- 每个线程只能有一个活动栈帧，对应着当前正在执行的那个方法

线程上下文切换 (Thread Context Switch)

因为以下一些原因导致 cpu 不再执行当前的线程，转而执行另一个线程的代码

- 线程的 cpu 时间片用完
- 垃圾回收
- 有更高优先级的线程需要运行
- 线程自己调用了 sleep、yield、wait、join、park、synchronized、lock 等方法

当 Context Switch 发生时，需要由操作系统保存当前线程的状态，并恢复另一个线程的状态，Java 中对应的概念就是程序计数器 (Program Counter Register)，它的作用是记住下一条 jvm 指令的执行地址，是线程私有的

- 状态包括程序计数器、虚拟机栈中每个栈帧的信息，如局部变量、操作数栈、返回地址等
- Context Switch 频繁发生会影响性能

3.5 常见方法

| 方法名 | static | 功能说明 | 注意 |
|------------------|--------|----------------------------|---|
| start() | | 启动一个新线程，在新的线程运行 run 方法中的代码 | start 方法只是让线程进入就绪，里面代码不一定立刻运行（CPU 的时间片还没分给它）。每个线程对象的 start 方法只能调用一次，如果调用了多次会出现 <code>IllegalThreadStateException</code> |
| run() | | 新线程启动后会调用的方法 | 如果在构造 Thread 对象时传递了 Runnable 参数，则线程启动后会调用 Runnable 中的 run 方法，否则默认不执行任何操作。但可以创建 Thread 的子类对象，来覆盖默认行为 |
| join() | | 等待线程运行结束 | |
| join(long n) | | 等待线程运行结束,最多等待 n 毫秒 | |
| getId() | | 获取线程长整型的 id | id 唯一 |
| getName() | | 获取线程名 | |
| setName(String) | | 修改线程名 | |
| getPriority() | | 获取线程优先级 | |
| setPriority(int) | | 修改线程优先级 | java 中规定线程优先级是 1~10 的整数，较大的优先级能提高该线程被 CPU 调度的机率 |
| getState() | | 获取线程状态 | Java 中线程状态是用 6 个 enum 表示，分别为：NEW, RUNNABLE, BLOCKED, WAITING, TIMED_WAITING, TERMINATED |
| isInterrupted() | | 判断是否被打断， | 不会清除 <code>打断标记</code> |
| isAlive() | | 线程是否存活（还没有运行完毕） | |
| interrupt() | | 打断线程 | 如果被打断线程正在 sleep, wait, join 会导致被打断的线程抛出 <code>InterruptedException</code> ，并清除 <code>打断标记</code> ；如果打断的正在运行的线程，则会设置 <code>打断标记</code> ；park 的线程被打断，也会设置 <code>打断标记</code> |
| interrupted() | static | 判断当前线程是否被打断 | 会清除 <code>打断标记</code> |
| currentThread() | static | 获取当前正在执行的线程 | |



| 方法名 | static | 功能说明 | 注意 |
|---------------|--------|---------------------------------|------------|
| sleep(long n) | static | 让当前执行的线程休眠n毫秒，休眠时让出cpu的时间片给其它线程 | |
| yield() | static | 提示线程调度器让出当前线程对CPU的使用 | 主要是为了测试和调试 |

3.6 start 与 run

调用 run

```
public static void main(String[] args) {  
    Thread t1 = new Thread("t1") {  
        @Override  
        public void run() {  
            log.debug(Thread.currentThread().getName());  
            FileReader.read(Constants.MP4_FULL_PATH);  
        }  
    };  
  
    t1.run();  
    log.debug("do other things ...");  
}
```

输出

```
19:39:14 [main] c.TestStart - main  
19:39:14 [main] c.FileReader - read [1.mp4] start ...  
19:39:18 [main] c.FileReader - read [1.mp4] end ... cost: 4227 ms  
19:39:18 [main] c.TestStart - do other things ...
```

程序仍在 main 线程运行，`FileReader.read()` 方法调用还是同步的

调用 start

将上述代码的 `t1.run()` 改为

```
t1.start();
```

输出

```
19:41:30 [main] c.TestStart - do other things ...
19:41:30 [t1] c.TestStart - t1
19:41:30 [t1] c.FileReader - read [1.mp4] start ...
19:41:35 [t1] c.FileReader - read [1.mp4] end ... cost: 4542 ms
```

程序在 t1 线程运行，`FileReader.read()` 方法调用是异步的

小结

- 直接调用 run 是在主线程中执行了 run，没有启动新的线程
- 使用 start 是启动新的线程，通过新的线程间接执行 run 中的代码

3.7 sleep 与 yield

sleep

1. 调用 sleep 会让当前线程从 *Running* 进入 *Timed Waiting* 状态（阻塞）
2. 其它线程可以使用 interrupt 方法打断正在睡眠的线程，这时 sleep 方法会抛出 `InterruptedException`
3. 睡眠结束后的线程未必会立刻得到执行
4. 建议用 TimeUnit 的 sleep 代替 Thread 的 sleep 来获得更好的可读性

yield

1. 调用 yield 会让当前线程从 *Running* 进入 *Runnable* 就绪状态，然后调度执行其它线程
2. 具体的实现依赖于操作系统的任务调度器

线程优先级

- 线程优先级会提示（hint）调度器优先调度该线程，但它仅仅是一个提示，调度器可以忽略它
- 如果 cpu 比较忙，那么优先级高的线程会获得更多的时间片，但 cpu 闲时，优先级几乎没作用

```
Runnable task1 = () -> {
    int count = 0;
    for (;;) {
        System.out.println("---->1 " + count++);
    }
};

Runnable task2 = () -> {
    int count = 0;
    for (;;) {
        // Thread.yield();
        System.out.println("---->2 " + count++);
    }
};

Thread t1 = new Thread(task1, "t1");
```

```
Thread t2 = new Thread(task2, "t2");
// t1.setPriority(Thread.MIN_PRIORITY);
// t2.setPriority(Thread.MAX_PRIORITY);
t1.start();
t2.start();
```

* 应用之效率（案例2）

3.8 join 方法详解

为什么需要 join

下面的代码执行，打印 r 是什么？

```
static int r = 0;
public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    test1();
}
private static void test1() throws InterruptedException {
    log.debug("开始");
    Thread t1 = new Thread(() -> {
        log.debug("开始");
        sleep(1);
        log.debug("结束");
        r = 10;
    });
    t1.start();
    log.debug("结果为:{}", r);
    log.debug("结束");
}
```

分析

- 因为主线程和线程 t1 是并行执行的，t1 线程需要 1 秒之后才能算出 `r=10`
- 而主线程一开始就要打印 r 的结果，所以只能打印出 `r=0`

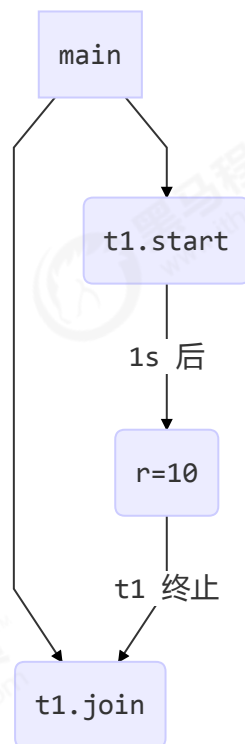
解决方法

- 用 sleep 行不行？为什么？
- 用 join，加在 `t1.start()` 之后即可

* 应用之同步（案例1）

以调用方角度来讲，如果

- 需要等待结果返回，才能继续运行就是同步
- 不需要等待结果返回，就能继续运行就是异步



等待多个结果

问，下面代码 cost 大约多少秒？

```
static int r1 = 0;
static int r2 = 0;
public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    test2();
}
private static void test2() throws InterruptedException {
    Thread t1 = new Thread(() -> {
        sleep(1);
        r1 = 10;
    });
    Thread t2 = new Thread(() -> {
        sleep(2);
        r2 = 20;
    });
}
```



```
});  
long start = System.currentTimeMillis();  
t1.start();  
t2.start();  
t1.join();  
t2.join();  
long end = System.currentTimeMillis();  
log.debug("r1: {} r2: {} cost: {}", r1, r2, end - start);  
}
```

分析如下

- 第一个 join：等待 t1 时, t2 并没有停止, 而在运行
- 第二个 join：1s 后, 执行到此, t2 也运行了 1s, 因此也只需再等待 1s

如果颠倒两个 join 呢？

最终都是输出

```
20:45:43.239 [main] c.TestJoin - r1: 10 r2: 20 cost: 2005
```



有时效的 join

等够时间

```
static int r1 = 0;
static int r2 = 0;
public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    test3();
}
public static void test3() throws InterruptedException {
    Thread t1 = new Thread(() -> {
        sleep(1);
        r1 = 10;
    });

    long start = System.currentTimeMillis();
    t1.start();
```

```
// 线程执行结束会导致 join 结束
t1.join(1500);
long end = System.currentTimeMillis();
log.debug("r1: {} r2: {} cost: {}", r1, r2, end - start);
}
```

输出

```
20:48:01.320 [main] c.TestJoin - r1: 10 r2: 0 cost: 1010
```

没等够时间

```
static int r1 = 0;
static int r2 = 0;
public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    test3();
}
public static void test3() throws InterruptedException {
    Thread t1 = new Thread(() -> {
        sleep(2);
        r1 = 10;
    });

    long start = System.currentTimeMillis();
    t1.start();

    // 线程执行结束会导致 join 结束
    t1.join(1500);
    long end = System.currentTimeMillis();
    log.debug("r1: {} r2: {} cost: {}", r1, r2, end - start);
}
```

输出

```
20:52:15.623 [main] c.TestJoin - r1: 0 r2: 0 cost: 1502
```

3.9 interrupt 方法详解

打断 sleep , wait , join 的线程

这几个方法都会让线程进入阻塞状态

打断 sleep 的线程, 会清空打断状态, 以 sleep 为例



```
private static void test1() throws InterruptedException {
    Thread t1 = new Thread()->{
        sleep(1);
    }, "t1";
    t1.start();

    sleep(0.5);
    t1.interrupt();
    log.debug(" 打断状态: {}", t1.isInterrupted());
}
```

输出

```
java.lang.InterruptedException: sleep interrupted
    at java.lang.Thread.sleep(Native Method)
    at java.lang.Thread.sleep(Thread.java:340)
    at java.util.concurrent.TimeUnit.sleep(TimeUnit.java:386)
    at cn.itcast.n2.util.Sleeper.sleep(Sleeper.java:8)
    at cn.itcast.n4.TestInterrupt.lambda$test1$3(TestInterrupt.java:59)
    at java.lang.Thread.run(Thread.java:745)
21:18:10.374 [main] c.TestInterrupt - 打断状态: false
```

打断正常运行的线程

打断正常运行的线程, 不会清空打断状态

```
private static void test2() throws InterruptedException {
    Thread t2 = new Thread()->{
        while(true) {
            Thread current = Thread.currentThread();
            boolean interrupted = current.isInterrupted();
            if(interrupted) {
                log.debug(" 打断状态: {}", interrupted);
                break;
            }
        }
    }, "t2";
    t2.start();

    sleep(0.5);
    t2.interrupt();
}
```

输出

```
20:57:37.964 [t2] c.TestInterrupt - 打断状态: true
```

* 模式之两阶段终止

打断 park 线程

打断 park 线程, 不会清空打断状态

```
private static void test3() throws InterruptedException {  
    Thread t1 = new Thread(() -> {  
        log.debug("park...");  
        LockSupport.park();  
        log.debug("unpark...");  
        log.debug("打断状态: {}", Thread.currentThread().isInterrupted());  
    }, "t1");  
    t1.start();  
  
    sleep(0.5);  
    t1.interrupt();  
}
```

输出

```
21:11:52.795 [t1] c.TestInterrupt - park...  
21:11:53.295 [t1] c.TestInterrupt - unpark...  
21:11:53.295 [t1] c.TestInterrupt - 打断状态: true
```

如果打断标记已经是 true, 则 park 会失效

```
private static void test4() {
    Thread t1 = new Thread(() -> {
        for (int i = 0; i < 5; i++) {
            log.debug("park...");
            LockSupport.park();
            log.debug("打断状态: {}", Thread.currentThread().isInterrupted());
        }
    });
    t1.start();

    sleep(1);
    t1.interrupt();
}
```

输出

```
21:13:48.783 [Thread-0] c.TestInterrupt - park...
21:13:49.809 [Thread-0] c.TestInterrupt - 打断状态: true
21:13:49.812 [Thread-0] c.TestInterrupt - park...
21:13:49.813 [Thread-0] c.TestInterrupt - 打断状态: true
21:13:49.813 [Thread-0] c.TestInterrupt - park...
21:13:49.813 [Thread-0] c.TestInterrupt - 打断状态: true
21:13:49.813 [Thread-0] c.TestInterrupt - park...
21:13:49.813 [Thread-0] c.TestInterrupt - 打断状态: true
21:13:49.813 [Thread-0] c.TestInterrupt - park...
21:13:49.813 [Thread-0] c.TestInterrupt - 打断状态: true
```

提示

可以使用 `Thread.interrupted()` 清除打断状态

3.10 不推荐的方法

还有一些不推荐使用的方法，这些方法已过时，容易破坏同步代码块，造成线程死锁

| 方法名 | static | 功能说明 |
|-----------|--------|------------|
| stop() | | 停止线程运行 |
| suspend() | | 挂起（暂停）线程运行 |
| resume() | | 恢复线程运行 |

3.11 主线程与守护线程

默认情况下，Java 进程需要等待所有线程都运行结束，才会结束。有一种特殊的线程叫做守护线程，只要其它非守护线程运行结束了，即使守护线程的代码没有执行完，也会强制结束。

例：

```
log.debug("开始运行...");
Thread t1 = new Thread(() -> {
    log.debug("开始运行...");
    sleep(2);
    log.debug("运行结束...");
}, "daemon");
// 设置该线程为守护线程
t1.setDaemon(true);
t1.start();

sleep(1);
log.debug("运行结束...");
```

输出

```
08:26:38.123 [main] c.TestDaemon - 开始运行...
08:26:38.213 [daemon] c.TestDaemon - 开始运行...
08:26:39.215 [main] c.TestDaemon - 运行结束...
```

注意

- 垃圾回收器线程就是一种守护线程
- Tomcat 中的 Acceptor 和 Poller 线程都是守护线程，所以 Tomcat 接收到 shutdown 命令后，不会等待它们处理完当前请求

3.12 五种状态

这是从 操作系统 层面来描述的



- 【初始状态】仅是在语言层面创建了线程对象，还未与操作系统线程关联
- 【可运行状态】（就绪状态）指该线程已经被创建（与操作系统线程关联），可以由 CPU 调度执行
- 【运行状态】指获取了 CPU 时间片运行中的状态
 - 当 CPU 时间片用完，会从【运行状态】转换至【可运行状态】，会导致线程的上下文切换
- 【阻塞状态】
 - 如果调用了阻塞 API，如 BIO 读写文件，这时该线程实际不会用到 CPU，会导致线程上下文切换，进入【阻塞状态】
 - 等 BIO 操作完毕，会由操作系统唤醒阻塞的线程，转换至【可运行状态】
 - 与【可运行状态】的区别是，对【阻塞状态】的线程来说只要它们一直不唤醒，调度器就一直不会考虑调度它们
- 【终止状态】表示线程已经执行完毕，生命周期已经结束，不会再转换为其它状态

3.13 六种状态

这是从 Java API 层面来描述的

根据 Thread.State 枚举，分为六种状态



- **NEW** 线程刚被创建，但是还没有调用 `start()` 方法
- **RUNNABLE** 当调用了 `start()` 方法之后，注意，**Java API** 层面的 **RUNNABLE** 状态涵盖了 **操作系统** 层面的【可运行状态】、【运行状态】和【阻塞状态】（由于 BIO 导致的线程阻塞，在 Java 里无法区分，仍然认为是可运行）
- **BLOCKED**，**WAITING**，**TIMED_WAITING** 都是 **Java API** 层面对【阻塞状态】的细分，后面会在状态转换一节详述
- **TERMINATED** 当线程代码运行结束

3.14 习题

阅读华罗庚《统筹方法》，给出烧水泡茶的多线程解决方案，提示

- 参考图二，用两个线程（两个人协作）模拟烧水泡茶过程
 - 文中办法乙、丙都相当于任务串行
 - 而图一相当于启动了 4 个线程，有点浪费
- 用 `sleep(n)` 模拟洗茶壶、洗水壶等耗费的时间

附：华罗庚《统筹方法》

统筹方法，是一种安排工作进程的数学方法。它的实用范围极广泛，在企业管理和基本建设中，以及关系复杂的科研项目的组织与管理中，都可以应用。

怎样应用呢？主要是把工序安排好。

比如，想泡茶喝茶。当时的情况是：开水没有；水壶要洗，茶壶、茶杯要洗；火已生了，茶叶也有了。怎么办？

- 办法甲：洗好水壶，灌上凉水，放在火上；在等待水开的时间里，洗茶壶、洗茶杯、拿茶叶；等水开了，泡茶喝。
- 办法乙：先做好一些准备工作，洗水壶，洗茶壶茶杯，拿茶叶；一切就绪，灌水烧水；坐待水开了，泡茶喝。
- 办法丙：洗净水壶，灌上凉水，放在火上，坐待水开；水开了之后，急急忙忙找茶叶，洗茶壶茶杯，泡茶喝。

哪一种办法省时间？我们能一眼看出，第一种办法好，后两种办法都窝了工。

这是小事，但这是引子，可以引出生产管理等方面有用的方法来。

水壶不洗，不能烧开水，因而洗水壶是烧开水的前提。没开水、没茶叶、不洗茶壶茶杯，就不能泡茶，因而这些又是泡茶的前提。它们的相互关系，可以用下边的箭头图来表示：



从这个图上可以一眼看出，办法甲总共要16分钟（而办法乙、丙需要20分钟）。如果要缩短工时、提高工作效率，应当主要抓烧开水这个环节，而不是抓拿茶叶等环节。同时，洗茶壶茶杯、拿茶叶总共不过4分钟，大可利用“等水开”的时间来做。

是的，这好像是废话，卑之无甚高论。有如走路要用两条腿走，吃饭要一口一口吃，这些道理谁都懂得。但稍有变化，临事而迷的情况，常常是存在的。在近代工业的错综复杂的工艺过程中，往往就不是像泡茶喝这么简单了。任务多了，几百几千，甚至有好几个任务。关系多了，错综复杂，千头万绪，往往出现“万事俱备，只欠东风”的情况。由于一两个零件没完成，耽误了一台复杂机器的出厂时间。或往往因为抓的不是关键，连夜三班，急急忙忙，完成这一环节之后，还得等待旁的环节才能装配。

洗茶壶，洗茶杯，拿茶叶，或先或后，关系不大，而且同是一个人的活儿，因而可以合并成为：



看来这是“小题大做”，但在工作环节太多的时候，这样做就非常必要了。

这里讲的主要是时间方面的事，但在具体生产实践中，还有其他方面的许多事。这种方法虽然不一定能直接解决所有问题，但是，我们利用这种方法来考虑问题，也是不无裨益的。

* 应用之统筹（烧水泡茶）

本章小结

本章的重点在于掌握

- 线程创建
- 线程重要 api，如 start，run，sleep，join，interrupt 等
- 线程状态
- 应用方面
 - 异步调用：主线程执行期间，其它线程异步执行耗时操作
 - 提高效率：并行计算，缩短运算时间
 - 同步等待：join
 - 统筹规划：合理使用线程，得到最优效果
- 原理方面
 - 线程运行流程：栈、栈帧、上下文切换、程序计数器
 - Thread 两种创建方式 的源码
- 模式方面
 - 终止模式之两阶段终止

4. 共享模型之管程

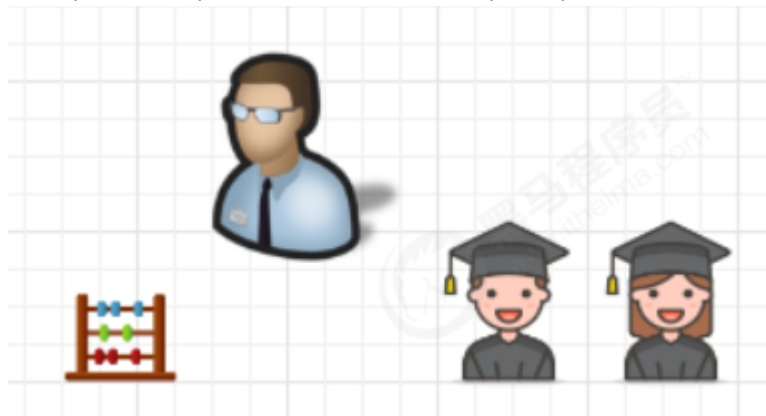
本章内容

- 共享问题
- synchronized
- 线程安全分析
- Monitor
- wait/notify
- 线程状态转换
- 活跃性
- Lock

4.1 共享带来的问题

小故事

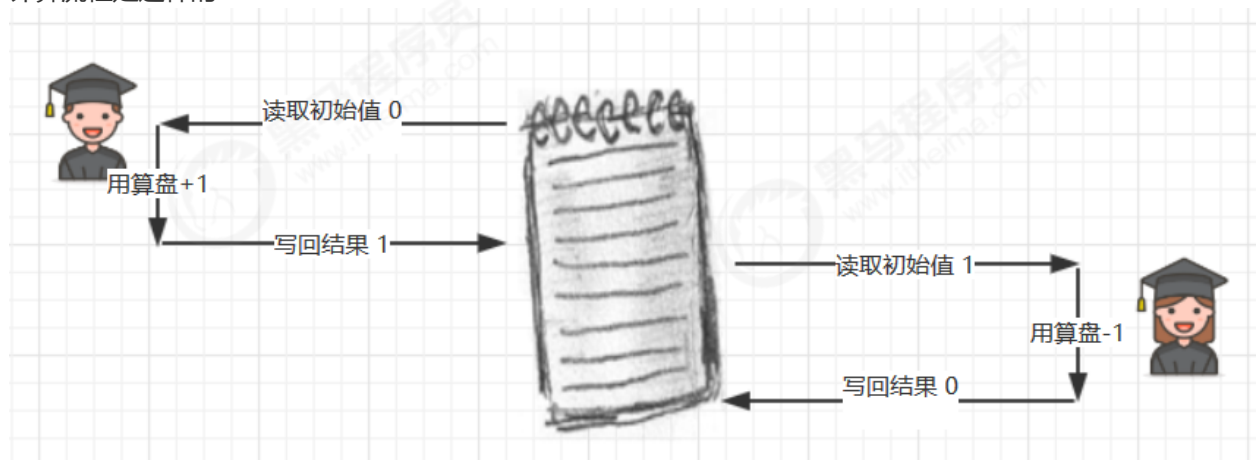
- 老王（操作系统）有一个功能强大的算盘（CPU），现在想把它租出去，赚一点外快



- 小南、小女（线程）来使用这个算盘来进行一些计算，并按照规定时间给老王支付费用
- 但小南不能一天24小时使用算盘，他经常要小憩一会（sleep），又或是去吃饭上厕所（阻塞io操作），有时还需要一根烟，没烟时思路全无（wait）这些情况统称为（阻塞）



- 在这些时候，算盘没利用起来（不能收钱了），老王觉得有点不划算
- 另外，小女也想用用算盘，如果总是小南占着算盘，让小女觉得不公平
- 于是，老王灵机一动，想了个办法 [让他们每人用一会，轮流使用算盘]
- 这样，当小南阻塞的时候，算盘可以分给小女使用，不会浪费，反之亦然
- 最近执行的计算比较复杂，需要存储一些中间结果，而学生们的脑容量（工作内存）不够，所以老王申请了一个笔记本（主存），把一些中间结果先记在本上
- 计算流程是这样的



- 但是由于分时系统，有一天还是发生了事故
- 小南刚读取了初始值 0 做了个 +1 运算，还没来得及写回结果
- 老王说 [小南，你的时间到了，该别人了，记住结果走吧]，于是小南念叨着 [结果是1，结果是1...] 不甘心地到一边待着去了（上下文切换）
- 老王说 [小女，该你了]，小女看到了笔记本上还写着 0 做了一个 -1 运算，将结果 -1 写入笔记本
- 这时小女的时间也用完了，老王又叫醒了小南：[小南，把你上次的题目算完吧]，小南将他脑海中的结果 1 写入了笔记本



- 小南和小女都觉得自己没做错，但笔记本里的结果是 1 而不是 0

Java 的体现

两个线程对初始值为 0 的静态变量一个做自增，一个做自减，各做 5000 次，结果是 0 吗？

```
static int counter = 0;

public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    Thread t1 = new Thread(() -> {
        for (int i = 0; i < 5000; i++) {
            counter++;
        }
    }, "t1");

    Thread t2 = new Thread(() -> {
        for (int i = 0; i < 5000; i++) {
            counter--;
        }
    }, "t2");

    t1.start();
    t2.start();
    t1.join();
    t2.join();
    log.debug("{} ", counter);
}
```

问题分析

以上的结果可能是正数、负数、零。为什么呢？因为 Java 中对静态变量的自增，自减并不是原子操作，要彻底理解，必须从字节码来进行分析

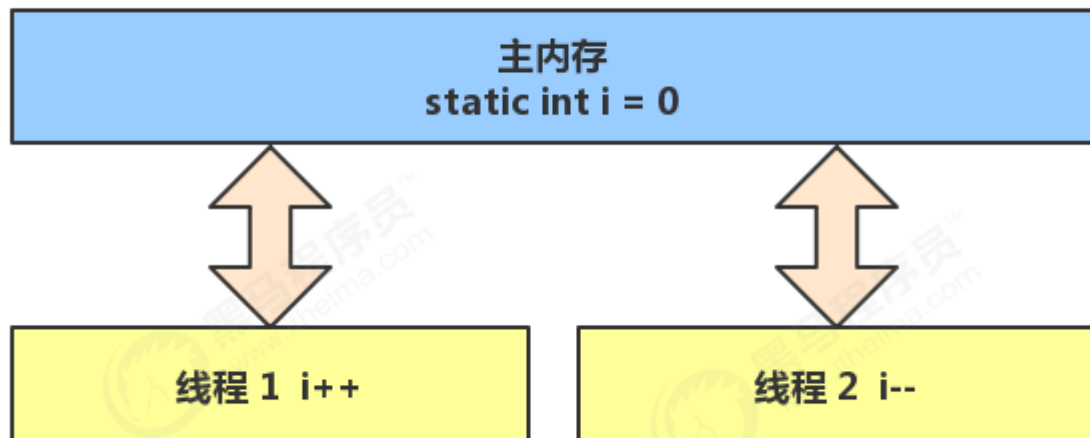
例如对于 `i++` 而言（`i` 为静态变量），实际会产生如下的 JVM 字节码指令：

```
getstatic    i    // 获取静态变量i的值
iconst_1     // 准备常量1
iadd         // 自增
putstatic    i    // 将修改后的值存入静态变量i
```

而对应 `i--` 也是类似：

```
getstatic    i    // 获取静态变量i的值
iconst_1     // 准备常量1
isub         // 自减
putstatic    i    // 将修改后的值存入静态变量i
```

而 Java 的内存模型如下，完成静态变量的自增，自减需要在主存和工作内存中进行数据交换：



如果是单线程以上 8 行代码是顺序执行（不会交错）没有问题：



但多线程下这 8 行代码可能交错运行：

出现负数的情况：



出现正数的情况：



临界区 Critical Section

- 一个程序运行多个线程本身是没有问题的
- 问题出在多个线程访问**共享资源**
 - 多个线程读**共享资源**其实也没有问题
 - 在多个线程对**共享资源**读写操作时发生指令交错，就会出现问题
- 一段代码块内如果存在对**共享资源**的多线程读写操作，称这段代码块为**临界区**

例如，下面代码中的临界区

```
static int counter = 0;

static void increment()
// 临界区
{
    counter++;
}

static void decrement()
// 临界区
{
    counter--;
}
```

竞态条件 Race Condition

多个线程在临界区内执行，由于代码的**执行序列不同**而导致结果无法预测，称之为发生了**竞态条件**

4.2 synchronized 解决方案

* 应用之互斥

为了避免临界区的竞态条件发生，有多种手段可以达到目的。

- 阻塞式的解决方案：synchronized，Lock
- 非阻塞式的解决方案：原子变量

本次课使用阻塞式的解决方案：synchronized，来解决上述问题，即俗称的【对象锁】，它采用互斥的方式让同一时刻至多只有一个线程能持有【对象锁】，其它线程再想获取这个【对象锁】时就会阻塞住。这样就能保证拥有锁的线程可以安全的执行临界区内的代码，不用担心线程上下文切换

注意

虽然 java 中互斥和同步都可以采用 synchronized 关键字来完成，但它们还是有区别的：

- 互斥是保证临界区的竞态条件发生，同一时刻只能有一个线程执行临界区代码
- 同步是由于线程执行的先后、顺序不同、需要一个线程等待其它线程运行到某个点

synchronized

语法

```
synchronized(对象) // 线程1, 线程2(blocked)
{
    临界区
}
```

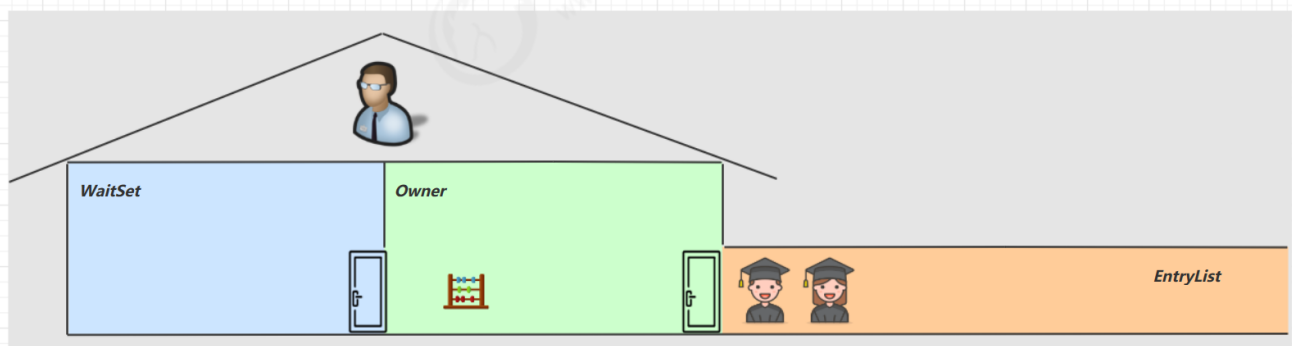
解决

```
static int counter = 0;
static final Object room = new Object();

public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    Thread t1 = new Thread(() -> {
        for (int i = 0; i < 5000; i++) {
            synchronized (room) {
                counter++;
            }
        }
    }, "t1");

    Thread t2 = new Thread(() -> {
        for (int i = 0; i < 5000; i++) {
            synchronized (room) {
                counter--;
            }
        }
    }, "t2");

    t1.start();
    t2.start();
    t1.join();
    t2.join();
    log.debug("{} ", counter);
}
```



你可以做这样的类比：

- `synchronized(对象)` 中的对象，可以想象为一个房间（room），有唯一入口（门）房间只能一次进入一人进行计算，线程 t1，t2 想象成两个人
- 当线程 t1 执行到 `synchronized(room)` 时就好比 t1 进入了这个房间，并锁住了门拿走了钥匙，在门内执行 `count++` 代码
- 这时候如果 t2 也运行到了 `synchronized(room)` 时，它发现门被锁住了，只能在门外等待，发生了上下文切换，阻塞住了
- 这中间即使 t1 的 cpu 时间片不幸用完，被踢出了门外（不要错误理解为锁住了对象就能一直执行下去哦），这时门还是锁住的，t1 仍拿着钥匙，t2 线程还在阻塞状态进不来，只有下次轮到 t1 自己再次获得时间片时才能开门进入
- 当 t1 执行完 `synchronized{}` 块内的代码，这时候才会从 obj 房间出来并解开门上的锁，唤醒 t2 线程把钥匙给他。t2 线程这时才可以进入 obj 房间，锁住了门拿上钥匙，执行它的 `count--` 代码

用图来表示



思考

`synchronized` 实际是用**对象锁**保证了**临界区内代码的原子性**，临界区内的代码对外是不可分割的，不会被线程切换所打断。

为了加深理解，请思考下面的问题

- 如果把 `synchronized(obj)` 放在 for 循环的外面，如何理解？-- 原子性
- 如果 t1 `synchronized(obj1)` 而 t2 `synchronized(obj2)` 会怎样运作？-- 锁对象
- 如果 t1 `synchronized(obj)` 而 t2 没有加会怎么样？如何理解？-- 锁对象

面向对象改进

把需要保护的共享变量放入一个类

```
class Room {  
    int value = 0;  
  
    public void increment() {  
        synchronized (this) {  
            value++;  
        }  
    }  
  
    public void decrement() {  
        synchronized (this) {  
            value--;  
        }  
    }  
  
    public int get() {  
        synchronized (this) {  
            return value;  
        }  
    }  
}  
  
@Slf4j  
public class Test1 {  
  
    public static void main(String[] args) throws InterruptedException {  
        Room room = new Room();  
        Thread t1 = new Thread(() -> {  
            for (int j = 0; j < 5000; j++) {  
                room.increment();  
            }  
        }) {  
            }  
    }  
}
```

```
    }  
    }, "t1");  
  
    Thread t2 = new Thread(() -> {  
        for (int j = 0; j < 5000; j++) {  
            room.decrement();  
        }  
    }, "t2");  
    t1.start();  
    t2.start();  
  
    t1.join();  
    t2.join();  
    log.debug("count: {}", room.get());  
}  
}
```

4.3 方法上的 synchronized

```
class Test{  
    public synchronized void test() {  
  
    }  
}  
等价于  
class Test{  
    public void test() {  
        synchronized(this) {  
  
        }  
    }  
}
```

```
class Test{  
    public synchronized static void test() {  
  
    }  
}  
等价于  
class Test{  
    public static void test() {  
        synchronized(Test.class) {  
  
        }  
    }  
}
```

不加 synchronized 的方法

不加 synchronized 的方法就好比不遵守规则的人，不去老实排队（好比翻窗户进去的）

所谓的“线程八锁”

其实就是考察 synchronized 锁住的是哪个对象

情况1：12 或 21

```
@Slf4j(topic = "c.Number")
class Number{
    public synchronized void a() {
        log.debug("1");
    }
    public synchronized void b() {
        log.debug("2");
    }
}

public static void main(String[] args) {
    Number n1 = new Number();
    new Thread(()->{ n1.a(); }).start();
    new Thread(()->{ n1.b(); }).start();
}
```

情况2：1s后12，或 2 1s后 1

```
@Slf4j(topic = "c.Number")
class Number{
    public synchronized void a() {
        sleep(1);
        log.debug("1");
    }
    public synchronized void b() {
        log.debug("2");
    }
}

public static void main(String[] args) {
    Number n1 = new Number();
    new Thread(()->{ n1.a(); }).start();
    new Thread(()->{ n1.b(); }).start();
}
```

情况3：3 1s 12 或 23 1s 1 或 32 1s 1

```
@Slf4j(topic = "c.Number")
```



```
class Number{
    public synchronized void a() {
        sleep(1);
        log.debug("1");
    }
    public synchronized void b() {
        log.debug("2");
    }
    public void c() {
        log.debug("3");
    }
}

public static void main(String[] args) {
    Number n1 = new Number();
    new Thread(()->{ n1.a(); }).start();
    new Thread(()->{ n1.b(); }).start();
    new Thread(()->{ n1.c(); }).start();
}
```

情况4：2 1s 后 1

```
@Slf4j(topic = "c.Number")
class Number{
    public synchronized void a() {
        sleep(1);
        log.debug("1");
    }
    public synchronized void b() {
        log.debug("2");
    }
}

public static void main(String[] args) {
    Number n1 = new Number();
    Number n2 = new Number();
    new Thread(()->{ n1.a(); }).start();
    new Thread(()->{ n2.b(); }).start();
}
```

情况5：2 1s 后 1

```
@Slf4j(topic = "c.Number")
class Number{
    public static synchronized void a() {
        sleep(1);
        log.debug("1");
    }
    public synchronized void b() {
        log.debug("2");
    }
}
```



```
}

public static void main(String[] args) {
    Number n1 = new Number();
    new Thread(()->{ n1.a(); }).start();
    new Thread(()->{ n1.b(); }).start();
}
```

情况6：1s后12，或2 1s后1

```
@Slf4j(topic = "c.Number")
class Number{
    public static synchronized void a() {
        sleep(1);
        log.debug("1");
    }
    public static synchronized void b() {
        log.debug("2");
    }
}

public static void main(String[] args) {
    Number n1 = new Number();
    new Thread(()->{ n1.a(); }).start();
    new Thread(()->{ n1.b(); }).start();
}
```

情况7：2 1s后1

```
@Slf4j(topic = "c.Number")
class Number{
    public static synchronized void a() {
        sleep(1);
        log.debug("1");
    }
    public synchronized void b() {
        log.debug("2");
    }
}

public static void main(String[] args) {
    Number n1 = new Number();
    Number n2 = new Number();
    new Thread(()->{ n1.a(); }).start();
    new Thread(()->{ n2.b(); }).start();
}
```

情况8：1s后12，或2 1s后1

```
@Slf4j(topic = "c.Number")
```



```
class Number{
    public static synchronized void a() {
        sleep(1);
        log.debug("1");
    }
    public static synchronized void b() {
        log.debug("2");
    }
}

public static void main(String[] args) {
    Number n1 = new Number();
    Number n2 = new Number();
    new Thread(()->{ n1.a(); }).start();
    new Thread(()->{ n2.b(); }).start();
}
```

4.4 变量的线程安全分析

成员变量和静态变量是否线程安全？

- 如果它们没有共享，则线程安全
- 如果它们被共享了，根据它们的状态是否能够改变，又分两种情况
 - 如果只有读操作，则线程安全
 - 如果有读写操作，则这段代码是临界区，需要考虑线程安全

局部变量是否线程安全？

- 局部变量是线程安全的
- 但局部变量引用的对象则未必
 - 如果该对象没有逃离方法的作用访问，它是线程安全的
 - 如果该对象逃离方法的作用范围，需要考虑线程安全

局部变量线程安全分析

```
public static void test1() {
    int i = 10;
    i++;
}
```

每个线程调用 test1() 方法时局部变量 i，会在每个线程的栈帧内存中被创建多份，因此不存在共享

```
public static void test1();

descriptor: ()V
```

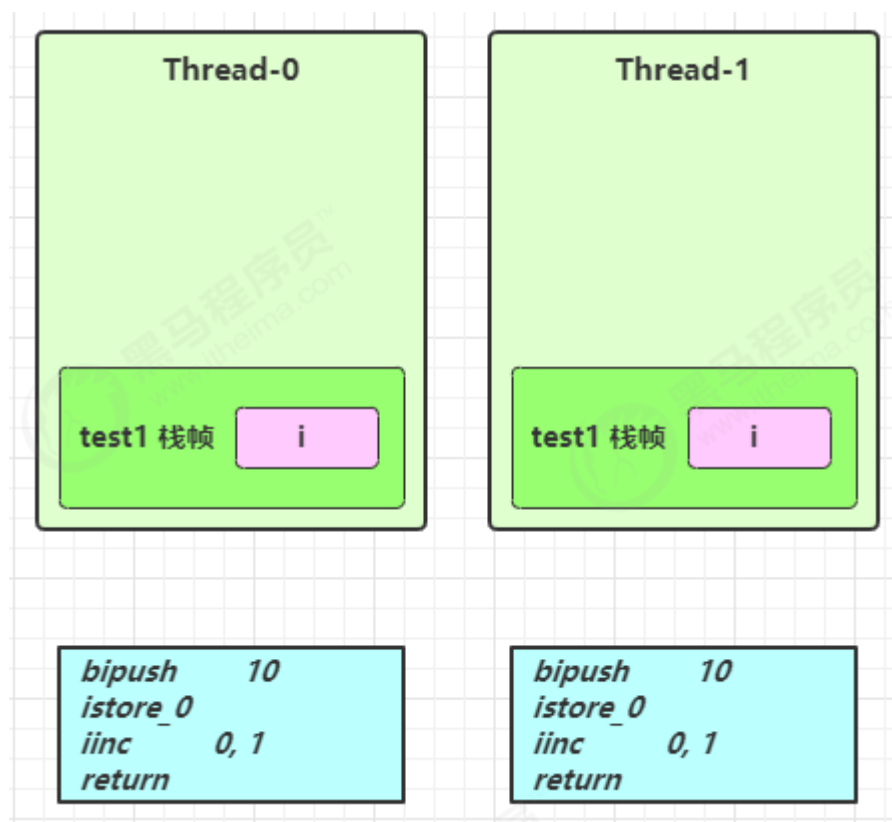


```

flags: ACC_PUBLIC, ACC_STATIC
Code:
  stack=1, locals=1, args_size=0
    0: bipush      10
    2: istore_0
    3: iinc         0, 1
    6: return
LineNumberTable:
  line 10: 0
  line 11: 3
  line 12: 6
LocalVariableTable:
  Start  Length  Slot  Name   Signature
    3       4      0      i      I

```

如图



局部变量的引用稍有不同

先看一个成员变量的例子

```

class ThreadUnsafe {
    ArrayList<String> list = new ArrayList<>();
    public void method1(int loopNumber) {
        for (int i = 0; i < loopNumber; i++) {
            // { 临界区, 会产生竞态条件
            method2();
            method3();
        }
    }
}

```

```
        // } 临界区  
    }  
}  
  
private void method2() {  
    list.add("1");  
}  
  
private void method3() {  
    list.remove(0);  
}  
}
```

执行

```
static final int THREAD_NUMBER = 2;  
static final int LOOP_NUMBER = 200;  
public static void main(String[] args) {  
    ThreadUnsafe test = new ThreadUnsafe();  
    for (int i = 0; i < THREAD_NUMBER; i++) {  
        new Thread(() -> {  
            test.method1(LOOP_NUMBER);  
        }, "Thread" + i).start();  
    }  
}
```

其中一种情况是，如果线程2 还未 add，线程1 remove 就会报错：

```
Exception in thread "Thread1" java.lang.IndexOutOfBoundsException: Index: 0, Size: 0  
    at java.util.ArrayList.rangeCheck(ArrayList.java:657)  
    at java.util.ArrayList.remove(ArrayList.java:496)  
    at cn.itcast.n6.ThreadUnsafe.method3(TestThreadSafe.java:35)  
    at cn.itcast.n6.ThreadUnsafe.method1(TestThreadSafe.java:26)  
    at cn.itcast.n6.TestThreadSafe.lambda$main$0(TestThreadSafe.java:14)  
    at java.lang.Thread.run(Thread.java:748)
```

分析：

- 无论哪个线程中的 method2 引用的都是同一个对象中的 list 成员变量
- method3 与 method2 分析相同



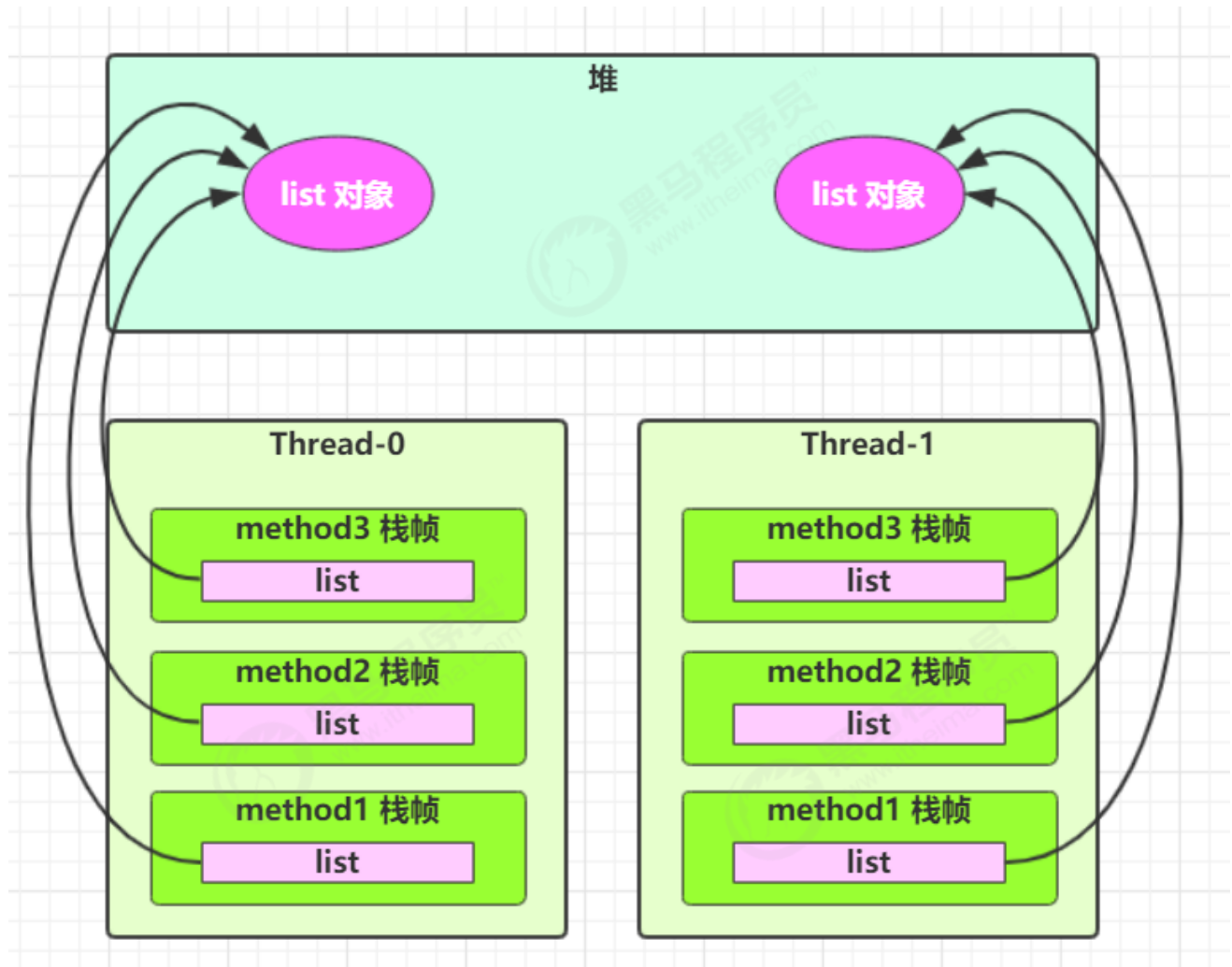
将 list 修改为局部变量

```
class ThreadSafe {  
    public final void method1(int loopNumber) {  
        ArrayList<String> list = new ArrayList<>();  
        for (int i = 0; i < loopNumber; i++) {  
            method2(list);  
            method3(list);  
        }  
    }  
  
    private void method2(ArrayList<String> list) {  
        list.add("1");  
    }  
  
    private void method3(ArrayList<String> list) {  
        list.remove(0);  
    }  
}
```

那么就不会有上述问题了

分析：

- list 是局部变量，每个线程调用时会创建其不同实例，没有共享
- 而 method2 的参数是从 method1 中传递过来的，与 method1 中引用同一个对象
- method3 的参数分析与 method2 相同



方法访问修饰符带来的思考，如果把 method2 和 method3 的方法修改为 public 会不会代理线程安全问题？

- 情况1：有其它线程调用 method2 和 method3
- 情况2：在 情况1 的基础上，为 ThreadSafe 类添加子类，子类覆盖 method2 或 method3 方法，即

```
class ThreadSafe {  
    public final void method1(int loopNumber) {  
        ArrayList<String> list = new ArrayList<>();  
        for (int i = 0; i < loopNumber; i++) {  
            method2(list);  
            method3(list);  
        }  
    }  
  
    private void method2(ArrayList<String> list) {  
  
        list.add("1");  
    }  
}
```



```
}

private void method3(ArrayList<String> list) {
    list.remove(0);
}

}

class ThreadSafeSubClass extends ThreadSafe{
    @Override
    public void method3(ArrayList<String> list) {
        new Thread(() -> {
            list.remove(0);
        }).start();
    }
}
```

从这个例子可以看出 private 或 final 提供【安全】的意义所在，请体会开闭原则中的【闭】

常见线程安全类

- String
- Integer
- StringBuffer
- Random
- Vector
- Hashtable
- java.util.concurrent 包下的类

这里说它们是线程安全的是指，多个线程调用它们同一个实例的某个方法时，是线程安全的。也可以理解为

```
Hashtable table = new Hashtable();

new Thread()->{
    table.put("key", "value1");
}.start();

new Thread()->{
    table.put("key", "value2");
}.start();
```

- 它们的每个方法是原子的
- 但**注意**它们多个方法的组合不是原子的，见后面分析

线程安全类方法的组合

分析下面代码是否线程安全？

```
Hashtable table = new Hashtable();  
// 线程1, 线程2  
if( table.get("key") == null) {  
    table.put("key", value);  
}
```



不可变类线程安全性

String、Integer 等都是不可变类，因为其内部的状态不可以改变，因此它们的方法都是线程安全的

有同学或许有疑问，String 有 `replace`，`substring` 等方法【可以】改变值啊，那么这些方法又是如何保证线程安全的呢？

```
public class Immutable{
    private int value = 0;

    public Immutable(int value){
        this.value = value;
    }

    public int getValue(){
        return this.value;
    }
}
```

如果想增加一个增加的方法呢？

```
public class Immutable{
    private int value = 0;

    public Immutable(int value){
        this.value = value;
    }

    public int getValue(){
        return this.value;
    }

    public Immutable add(int v){
        return new Immutable(this.value + v);
    }
}
```

实例分析

例1：

```
public class MyServlet extends HttpServlet {
    // 是否安全？
    Map<String, Object> map = new HashMap<>();
    // 是否安全？
    String S1 = "...";
    // 是否安全？
    final String S2 = "...";
    // 是否安全？
    Date D1 = new Date();
    // 是否安全？
    final Date D2 = new Date();

    public void doGet(HttpServletRequest request, HttpServletResponse response) {
```



```
// 使用上述变量  
}  
}
```

例2：

```
public class MyServlet extends HttpServlet {  
    // 是否安全？  
    private UserService userService = new UserServiceImpl();  
  
    public void doGet(HttpServletRequest request, HttpServletResponse response) {  
        userService.update(...);  
    }  
}  
  
public class UserServiceImpl implements UserService {  
    // 记录调用次数  
    private int count = 0;  
  
    public void update() {  
        // ...  
        count++;  
    }  
}
```

例3：

```
@Aspect  
@Component  
public class MyAspect {  
    // 是否安全？  
    private long start = 0L;  
  
    @Before("execution(* *(..))")  
    public void before() {  
        start = System.nanoTime();  
    }  
  
    @After("execution(* *(..))")  
    public void after() {  
        long end = System.nanoTime();  
        System.out.println("cost time:" + (end-start));  
    }  
}
```

例4：

```
public class MyServlet extends HttpServlet {
    // 是否安全
    private UserService userService = new UserServiceImpl();

    public void doGet(HttpServletRequest request, HttpServletResponse response) {
        userService.update(...);
    }
}

public class UserServiceImpl implements UserService {
    // 是否安全
    private UserDao userDao = new UserDaoImpl();

    public void update() {
        userDao.update();
    }
}

public class UserDaoImpl implements UserDao {
    public void update() {
        String sql = "update user set password = ? where username = ?";
        // 是否安全
        try (Connection conn = DriverManager.getConnection("", "", "")){
            // ...
        } catch (Exception e) {
            // ...
        }
    }
}
```

例5：

```
public class MyServlet extends HttpServlet {
    // 是否安全
    private UserService userService = new UserServiceImpl();

    public void doGet(HttpServletRequest request, HttpServletResponse response) {
        userService.update(...);
    }
}

public class UserServiceImpl implements UserService {
    // 是否安全
    private UserDao userDao = new UserDaoImpl();

    public void update() {
        userDao.update();
    }
}
```



```
public class UserDaoImpl implements UserDao {  
    // 是否安全  
    private Connection conn = null;  
    public void update() throws SQLException {  
        String sql = "update user set password = ? where username = ?";  
        conn = DriverManager.getConnection("", "", "");  
        // ...  
        conn.close();  
    }  
}
```

例6：

```
public class MyServlet extends HttpServlet {  
    // 是否安全  
    private UserService userService = new UserServiceImpl();  
  
    public void doGet(HttpServletRequest request, HttpServletResponse response) {  
        userService.update(...);  
    }  
}  
  
public class UserServiceImpl implements UserService {  
    public void update() {  
        UserDao userDao = new UserDaoImpl();  
        userDao.update();  
    }  
}  
  
public class UserDaoImpl implements UserDao {  
    // 是否安全  
    private Connection = null;  
    public void update() throws SQLException {  
        String sql = "update user set password = ? where username = ?";  
        conn = DriverManager.getConnection("", "", "");  
        // ...  
        conn.close();  
    }  
}
```

例7：

```
public abstract class Test {  
  
    public void bar() {  
        // 是否安全  
        SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd HH:mm:ss");  
        foo(sdf);  
    }  
}
```



```
}

public abstract foo(SimpleDateFormat sdf);

public static void main(String[] args) {
    new Test().bar();
}
}
```

其中 foo 的行为是不确定的，可能导致不安全的发生，被称之为**外星方法**

```
public void foo(SimpleDateFormat sdf) {
    String dateStr = "1999-10-11 00:00:00";
    for (int i = 0; i < 20; i++) {
        new Thread(() -> {
            try {
                sdf.parse(dateStr);
            } catch (ParseException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }).start();
    }
}
```

请比较JDK中String类的实现

例8：

```
private static Integer i = 0;
public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    List<Thread> list = new ArrayList<>();
    for (int j = 0; j < 2; j++) {
        Thread thread = new Thread(() -> {
            for (int k = 0; k < 5000; k++) {
                synchronized (i) {
                    i++;
                }
            }
        }, "" + j);
        list.add(thread);
    }
    list.stream().forEach(t -> t.start());
    list.stream().forEach(t -> {
        try {
            t.join();
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    });
}
```

```
log.debug("{} ", i);  
}
```

4.5 习题

卖票练习

测试下面代码是否存在线程安全问题，并尝试改正

```
public class ExerciseSell {  
    public static void main(String[] args) {  
        TicketWindow ticketWindow = new TicketWindow(2000);  
        List<Thread> list = new ArrayList<>();  
        // 用来存储买出去多少张票  
        List<Integer> sellCount = new Vector<>();  
        for (int i = 0; i < 2000; i++) {  
            Thread t = new Thread(() -> {  
                // 分析这里的竞态条件  
                int count = ticketWindow.sell(randomAmount());  
                sellCount.add(count);  
            });  
            list.add(t);  
            t.start();  
        }  
        list.forEach((t) -> {  
            try {  
                t.join();  
            } catch (InterruptedException e) {  
                e.printStackTrace();  
            }  
        });  
        // 买出去的票求和  
        log.debug("sold count:{}", sellCount.stream().mapToInt(c -> c).sum());  
        // 剩余票数  
        log.debug("remainder count:{}", ticketWindow.getCount());  
    }  
    // Random 为线程安全  
    static Random random = new Random();  
    // 随机 1~5  
    public static int randomAmount() {  
        return random.nextInt(5) + 1;  
    }  
}  
  
class TicketWindow {  
    private int count;  
  
    public TicketWindow(int count) {  
        this.count = count;  
    }  
}
```

```
public int getCount() {  
    return count;  
}  
  
public int sell(int amount) {  
    if (this.count >= amount) {  
        this.count -= amount;  
        return amount;  
    } else {  
        return 0;  
    }  
}  
}
```

另外，用下面的代码行不行，为什么？

```
List<Integer> sellCount = new ArrayList<>();
```

测试脚本

```
for /L %n in (1,1,10) do java -cp ".;C:\Users\manyh\.m2\repository\ch\qos\logback\logback-  
classic\1.2.3\logback-classic-1.2.3.jar;C:\Users\manyh\.m2\repository\ch\qos\logback\logback-  
core\1.2.3\logback-core-1.2.3.jar;C:\Users\manyh\.m2\repository\org\slf4j\slf4j-  
api\1.7.25\slf4j-api-1.7.25.jar" cn.itcast.n4.exercise.ExerciseSell
```

转账练习

测试下面代码是否存在线程安全问题，并尝试改正

```
public class ExerciseTransfer {  
    public static void main(String[] args) throws InterruptedException {  
        Account a = new Account(1000);  
        Account b = new Account(1000);  
        Thread t1 = new Thread(() -> {  
            for (int i = 0; i < 1000; i++) {  
                a.transfer(b, randomAmount());  
            }  
        }, "t1");  
        Thread t2 = new Thread(() -> {  
            for (int i = 0; i < 1000; i++) {  
                b.transfer(a, randomAmount());  
            }  
        }, "t2");  
        t1.start();  
        t2.start();  
        t1.join();  
  
        t2.join();  
    }  
}
```



```
// 查看转账2000次后的总金额
log.debug("total:{}", (a.getMoney() + b.getMoney()));
}
// Random 为线程安全
static Random random = new Random();
// 随机 1~100
public static int randomAmount() {
    return random.nextInt(100) + 1;
}
}

class Account {
    private int money;

    public Account(int money) {
        this.money = money;
    }

    public int getMoney() {
        return money;
    }

    public void setMoney(int money) {
        this.money = money;
    }

    public void transfer(Account target, int amount) {
        if (this.money > amount) {
            this.setMoney(this.getMoney() - amount);
            target.setMoney(target.getMoney() + amount);
        }
    }
}
```

这样改正行不行，为什么？

```
public synchronized void transfer(Account target, int amount) {
    if (this.money > amount) {
        this.setMoney(this.getMoney() - amount);
        target.setMoney(target.getMoney() + amount);
    }
}
```

4.6 Monitor 概念

Java 对象头

以 32 位虚拟机为例

普通对象



数组对象



其中 Mark Word 结构为



64 位虚拟机 Mark Word



参考资料

<https://stackoverflow.com/questions/26357186/what-is-in-java-object-header>

* 原理之 Monitor(锁)

* 原理之 synchronized

小故事

故事角色

- 老王 - JVM
- 小南 - 线程
- 小女 - 线程
- 房间 - 对象
- 房间门上 - 防盗锁 - Monitor
- 房间门上 - 小南书包 - 轻量级锁
- 房间门上 - 刻上小南大名 - 偏向锁
- 批量重刻名 - 一个类的偏向锁撤销到达 20 阈值
- 不能刻名字 - 批量撤销该类对象的偏向锁，设置该类不可偏向

小南要使用房间保证计算不被其它人干扰（原子性），最初，他用的是防盗锁，当上下文切换时，锁住门。这样，即使他离开了，别人也进不了门，他的工作就是安全的。

但是，很多情况下没人跟他来竞争房间的使用权。小女是要用房间，但使用的时间上是错开的，小南白天用，小女晚上用。每次上锁太麻烦了，有没有更简单的办法呢？

小南和小女商量了一下，约定不锁门了，而是谁用房间，谁把自己的书包挂在门口，但他们的书包样式都一样，因此每次进门前得翻翻书包，看课本是谁的，如果是自己的，那么就可以进门，这样省的上锁解锁了。万一书包不是自己的，那么就在门外等，并通知对方下次用锁门的方式。

后来，小女回老家了，很长一段时间都不会用这个房间。小南每次还是挂书包，翻书包，虽然比锁门省事了，但仍然觉得麻烦。

于是，小南干脆在门上刻上了自己的名字：【小南专属房间，其它人勿用】，下次来用房间时，只要名字还在，那么说明没人打扰，还是可以安全地使用房间。如果这期间有其它人要用这个房间，那么由使用者将小南刻的名字擦掉，升级为挂书包的方式。

同学们都放假回老家了，小南就膨胀了，在 20 个房间刻上了自己的名字，想进哪个进哪个。后来他自己放假回老家了，这时小女回来了（她也要用这些房间），结果就是得一个个地擦掉小南刻的名字，升级为挂书包的方式。老王觉得这成本有点高，提出了一种批量重刻名的方法，他让小女不用挂书包了，可以直接在门上刻上自己的名字

后来，刻名的现象越来越频繁，老王受不了了：算了，这些房间都不能刻名了，只能挂书包

* 原理之 synchronized 进阶

4.7 wait notify

小故事 - 为什么需要 wait

- 由于条件不满足，小南不能继续进行计算
- 但小南如果一直占用着锁，其它人就是一直阻塞，效率太低



- 于是老王单开了一间休息室（调用 wait 方法），让小南到休息室（WaitSet）等着去了，但这时锁释放在，其它人可以由老王随机安排进屋
- 直到小M将烟送来，大叫一声 [你的烟到了] （调用 notify 方法）



- 小南于是可以离开休息室，重新进入竞争锁的队列



* 原理之 wait / notify

API 介绍

- `obj.wait()` 让进入 object 监视器的线程到 waitSet 等待
- `obj.notify()` 在 object 上正在 waitSet 等待的线程中挑一个唤醒
- `obj.notifyAll()` 让 object 上正在 waitSet 等待的线程全部唤醒

它们都是线程之间进行协作的手段，都属于 Object 对象的方法。必须获得此对象的锁，才能调用这几个方法

```
final static Object obj = new Object();

public static void main(String[] args) {

    new Thread(() -> {
        synchronized (obj) {
            log.debug("执行....");
            try {
                obj.wait(); // 让线程在obj上一直等待下去
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
            log.debug("其它代码....");
        }
    }).start();

    new Thread(() -> {
        synchronized (obj) {
            log.debug("执行....");
            try {
                obj.wait(); // 让线程在obj上一直等待下去
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
            log.debug("其它代码....");
        }
    }).start();

    // 主线程两秒后执行
    sleep(2);
    log.debug("唤醒 obj 上其它线程");
    synchronized (obj) {
        obj.notify(); // 唤醒obj上一个线程
        // obj.notifyAll(); // 唤醒obj上所有等待线程
    }
}
```

notify 的一种结果

```
20:00:53.096 [Thread-0] c.TestWaitNotify - 执行....
20:00:53.099 [Thread-1] c.TestWaitNotify - 执行....
20:00:55.096 [main] c.TestWaitNotify - 唤醒 obj 上其它线程
20:00:55.096 [Thread-0] c.TestWaitNotify - 其它代码....
```

notifyAll 的结果

```
19:58:15.457 [Thread-0] c.TestWaitNotify - 执行....
19:58:15.460 [Thread-1] c.TestWaitNotify - 执行....
19:58:17.456 [main] c.TestWaitNotify - 唤醒 obj 上其它线程
19:58:17.456 [Thread-1] c.TestWaitNotify - 其它代码....
19:58:17.456 [Thread-0] c.TestWaitNotify - 其它代码....
```

`wait()` 方法会释放对象的锁，进入 WaitSet 等待区，从而让其他线程有机会获取对象的锁。无限制等待，直到 `notify` 为止

`wait(long n)` 有时限的等待，到 `n` 毫秒后结束等待，或是被 `notify`

4.8 wait notify 的正确姿势

开始之前先看看

`sleep(long n)` 和 `wait(long n)` 的区别

1) `sleep` 是 `Thread` 方法，而 `wait` 是 `Object` 的方法 2) `sleep` 不需要强制和 `synchronized` 配合使用，但 `wait` 需要和 `synchronized` 一起用 3) `sleep` 在睡眠的同时，不会释放对象锁的，但 `wait` 在等待的时候会释放对象锁 4) 它们状态 TIMED WAITING

step 1

```
static final Object room = new Object();
static boolean hasCigarette = false;
static boolean hasTakeout = false;
```

思考下面的解决方案好不好，为什么？

```
new Thread(() -> {
    synchronized (room) {
        log.debug("有烟没？[{}]", hasCigarette);
        if (!hasCigarette) {
            log.debug("没烟，先歇会！");
            sleep(2);
        }
        log.debug("有烟没？[{}]", hasCigarette);
        if (hasCigarette) {
            log.debug("可以开始干活了");
        }
    }
}, "小南").start();

for (int i = 0; i < 5; i++) {
    new Thread(() -> {
        synchronized (room) {
            log.debug("可以开始干活了");
        }
    }, "其它人").start();
}
```

```
}

sleep(1);
new Thread(() -> {
    // 这里能不能加 synchronized (room)?
    hasCigarette = true;
    log.debug("烟到了噢!");
}, "送烟的").start();
```

输出

```
20:49:49.883 [小南] c.TestCorrectPosture - 有烟没?[false]
20:49:49.887 [小南] c.TestCorrectPosture - 没烟，先歇会！
20:49:50.882 [送烟的] c.TestCorrectPosture - 烟到了噢！
20:49:51.887 [小南] c.TestCorrectPosture - 有烟没?[true]
20:49:51.887 [小南] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了
20:49:51.887 [其它人] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了
20:49:51.887 [其它人] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了
20:49:51.888 [其它人] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了
20:49:51.888 [其它人] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了
20:49:51.888 [其它人] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了
```

- 其它干活的线程，都要一直阻塞，效率太低
- 小南线程必须睡足 2s 后才能醒来，就算烟提前送到，也无法立刻醒来
- 加了 `synchronized (room)` 后，就好比小南在里面反锁了门睡觉，烟根本没法送进门，main 没加 `synchronized` 就好像 main 线程是翻窗户进来的
- 解决方法，使用 wait - notify 机制

step 2

思考下面的实现行吗，为什么？

```
new Thread(() -> {
    synchronized (room) {
        log.debug("有烟没? [{}]", hasCigarette);
        if (!hasCigarette) {
            log.debug("没烟，先歇会!");
            try {
                room.wait(2000);
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
        log.debug("有烟没? [{}]", hasCigarette);
        if (hasCigarette) {
            log.debug("可以开始干活了");
        }
    }
}, "小南").start();
```

```
for (int i = 0; i < 5; i++) {  
    new Thread(() -> {  
        synchronized (room) {  
            log.debug("可以开始干活了");  
        }  
    }, "其它人").start();  
}  
  
sleep(1);  
new Thread(() -> {  
    synchronized (room) {  
        hasCigarette = true;  
        log.debug("烟到了噢!");  
        room.notify();  
    }  
}, "送烟的").start();
```

输出

```
20:51:42.489 [小南] c.TestCorrectPosture - 有烟没? [false]  
20:51:42.493 [小南] c.TestCorrectPosture - 没烟，先歇会！  
20:51:42.493 [其它人] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了  
20:51:42.493 [其它人] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了  
20:51:42.494 [其它人] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了  
20:51:42.494 [其它人] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了  
20:51:42.494 [其它人] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了  
20:51:43.490 [送烟的] c.TestCorrectPosture - 烟到了噢！  
20:51:43.490 [小南] c.TestCorrectPosture - 有烟没? [true]  
20:51:43.490 [小南] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了
```

- 解决了其它干活的线程阻塞的问题
- 但如果有其它线程也在等待条件呢？

step 3

```
new Thread(() -> {  
    synchronized (room) {  
        log.debug("有烟没? [{}]", hasCigarette);  
        if (!hasCigarette) {  
            log.debug("没烟，先歇会!");  
            try {  
                room.wait();  
            } catch (InterruptedException e) {  
                e.printStackTrace();  
            }  
        }  
        log.debug("有烟没? [{}]", hasCigarette);  
        if (hasCigarette) {  
            log.debug("可以开始干活了");  
        } else {
```

```
        log.debug("没干成活...");
    }
}
}, "小南").start();

new Thread(() -> {
    synchronized (room) {
        Thread thread = Thread.currentThread();
        log.debug("外卖送到没? [{}]", hasTakeout);
        if (!hasTakeout) {
            log.debug("没外卖，先歇会!");
            try {
                room.wait();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
        log.debug("外卖送到没? [{}]", hasTakeout);
        if (hasTakeout) {
            log.debug("可以开始干活了");
        } else {
            log.debug("没干成活...");
        }
    }
}, "小女").start();

sleep(1);
new Thread(() -> {
    synchronized (room) {
        hasTakeout = true;
        log.debug("外卖到了噢!");
        room.notify();
    }
}, "送外卖的").start();
```

输出

```
20:53:12.173 [小南] c.TestCorrectPosture - 有烟没? [false]
20:53:12.176 [小南] c.TestCorrectPosture - 没烟，先歇会！
20:53:12.176 [小女] c.TestCorrectPosture - 外卖送到没? [false]
20:53:12.176 [小女] c.TestCorrectPosture - 没外卖，先歇会！
20:53:13.174 [送外卖的] c.TestCorrectPosture - 外卖到了噢！
20:53:13.174 [小南] c.TestCorrectPosture - 有烟没? [false]
20:53:13.174 [小南] c.TestCorrectPosture - 没干成活...
```

- notify 只能随机唤醒一个 WaitSet 中的线程，这时如果有其它线程也在等待，那么就有可能唤醒不了正确的线程，称之为【虚假唤醒】
- 解决方法，改为 notifyAll

step 4

```
new Thread(() -> {  
    synchronized (room) {  
        hasTakeout = true;  
        log.debug("外卖到了噢!");  
        room.notifyAll();  
    }  
}, "送外卖的").start();
```

输出

```
20:55:23.978 [小南] c.TestCorrectPosture - 有烟没? [false]  
20:55:23.982 [小南] c.TestCorrectPosture - 没烟, 先歇会!  
20:55:23.982 [小女] c.TestCorrectPosture - 外卖送到没? [false]  
20:55:23.982 [小女] c.TestCorrectPosture - 没外卖, 先歇会!  
20:55:24.979 [送外卖的] c.TestCorrectPosture - 外卖到了噢!  
20:55:24.979 [小女] c.TestCorrectPosture - 外卖送到没? [true]  
20:55:24.980 [小女] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了  
20:55:24.980 [小南] c.TestCorrectPosture - 有烟没? [false]  
20:55:24.980 [小南] c.TestCorrectPosture - 没干成活...
```

- 用 notifyAll 仅解决某个线程的唤醒问题, 但使用 if + wait 判断仅有一次机会, 一旦条件不成立, 就没有重新判断的机会了
- 解决方法, 用 while + wait, 当条件不成立, 再次 wait

step 5

将 if 改为 while

```
if (!hasCigarette) {  
    log.debug("没烟, 先歇会!");  
    try {  
        room.wait();  
    } catch (InterruptedException e) {  
        e.printStackTrace();  
    }  
}
```

改动后

```
while (!hasCigarette) {  
    log.debug("没烟, 先歇会!");  
    try {  
        room.wait();  
    } catch (InterruptedException e) {  
        e.printStackTrace();  
    }  
}
```


输出

```
20:58:34.322 [小南] c.TestCorrectPosture - 有烟没？[false]
20:58:34.326 [小南] c.TestCorrectPosture - 没烟，先歇会！
20:58:34.326 [小女] c.TestCorrectPosture - 外卖送到没？[false]
20:58:34.326 [小女] c.TestCorrectPosture - 没外卖，先歇会！
20:58:35.323 [送外卖的] c.TestCorrectPosture - 外卖到了噢！
20:58:35.324 [小女] c.TestCorrectPosture - 外卖送到没？[true]
20:58:35.324 [小女] c.TestCorrectPosture - 可以开始干活了
20:58:35.324 [小南] c.TestCorrectPosture - 没烟，先歇会！
```

```
synchronized(lock) {
    while(条件不成立) {
        lock.wait();
    }
    // 干活
}

//另一个线程
synchronized(lock) {
    lock.notifyAll();
}
```

* 模式之保护性暂停

* 模式之生产者消费者

4.9 Park & Unpark

基本使用

它们是 LockSupport 类中的方法

```
// 暂停当前线程
LockSupport.park();

// 恢复某个线程的运行
LockSupport.unpark(暂停线程对象)
```

先 park 再 unpark

```
Thread t1 = new Thread(() -> {
    log.debug("start...");
    sleep(1);
    log.debug("park...");
    LockSupport.park();
    log.debug("resume...");
}, "t1");
t1.start();

sleep(2);
log.debug("unpark...");
LockSupport.unpark(t1);
```

输出

```
18:42:52.585 c.TestParkUnpark [t1] - start...
18:42:53.589 c.TestParkUnpark [t1] - park...
18:42:54.583 c.TestParkUnpark [main] - unpark...
18:42:54.583 c.TestParkUnpark [t1] - resume...
```

先 unpark 再 park

```
Thread t1 = new Thread(() -> {
    log.debug("start...");
    sleep(2);
    log.debug("park...");
    LockSupport.park();
    log.debug("resume...");
}, "t1");
t1.start();

sleep(1);
log.debug("unpark...");
LockSupport.unpark(t1);
```

输出

```
18:43:50.765 c.TestParkUnpark [t1] - start...
18:43:51.764 c.TestParkUnpark [main] - unpark...
18:43:52.769 c.TestParkUnpark [t1] - park...
18:43:52.769 c.TestParkUnpark [t1] - resume...
```

特点

与 Object 的 wait & notify 相比

- wait, notify 和 notifyAll 必须配合 Object Monitor 一起使用，而 park, unpark 不必

- park & unpark 是以线程为单位来【阻塞】和【唤醒】线程，而 notify 只能随机唤醒一个等待线程，notifyAll 是唤醒所有等待线程，就不那么【精确】
- park & unpark 可以先 unpark，而 wait & notify 不能先 notify

* 原理之 park & unpark

4.10 重新理解线程状态转换



假设有线程 Thread t

情况 1 NEW --> RUNNABLE

- 当调用 `t.start()` 方法时，由 NEW --> RUNNABLE

情况 2 RUNNABLE <--> WAITING

t 线程用 `synchronized(obj)` 获取了对象锁后

- 调用 `obj.wait()` 方法时，t 线程从 RUNNABLE --> WAITING
- 调用 `obj.notify()`，`obj.notifyAll()`，`t.interrupt()` 时
 - 竞争锁成功，t 线程从 WAITING --> RUNNABLE
 - 竞争锁失败，t 线程从 WAITING --> BLOCKED

```
public class TestWaitNotify {  
    final static Object obj = new Object();  
  
    public static void main(String[] args) {
```

```
new Thread(() -> {
    synchronized (obj) {
        log.debug("执行....");
        try {
            obj.wait();
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        log.debug("其它代码...."); // 断点
    }
}, "t1").start();

new Thread(() -> {
    synchronized (obj) {
        log.debug("执行....");
        try {
            obj.wait();
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        log.debug("其它代码...."); // 断点
    }
}, "t2").start();

sleep(0.5);
log.debug("唤醒 obj 上其它线程");
synchronized (obj) {
    obj.notifyAll(); // 唤醒obj上所有等待线程 断点
}
}
```

情况 3 RUNNABLE <--> WAITING

- 当前线程调用 `t.join()` 方法时，当前线程从 `RUNNABLE --> WAITING`
 - 注意是当前线程在 `t` 线程对象的监视器上等待
- `t` 线程运行结束，或调用了当前线程的 `interrupt()` 时，当前线程从 `WAITING --> RUNNABLE`

情况 4 RUNNABLE <--> WAITING

- 当前线程调用 `LockSupport.park()` 方法会让当前线程从 `RUNNABLE --> WAITING`
- 调用 `LockSupport.unpark(目标线程)` 或调用了线程的 `interrupt()`，会让目标线程从 `WAITING --> RUNNABLE`

情况 5 RUNNABLE <--> TIMED_WAITING

t 线程用 `synchronized(obj)` 获取了对象锁后

- 调用 `obj.wait(long n)` 方法时，**t 线程**从 `RUNNABLE --> TIMED_WAITING`
- **t 线程**等待时间超过了 n 毫秒，或调用 `obj.notify()`，`obj.notifyAll()`，`t.interrupt()` 时
 - 竞争锁成功，**t 线程**从 `TIMED_WAITING --> RUNNABLE`
 - 竞争锁失败，**t 线程**从 `TIMED_WAITING --> BLOCKED`

情况 6 `RUNNABLE <--> TIMED_WAITING`

- 当前线程调用 `t.join(long n)` 方法时，当前线程从 `RUNNABLE --> TIMED_WAITING`
 - 注意是当前线程在**t 线程**对象的监视器上等待
- 当前线程等待时间超过了 n 毫秒，或**t 线程**运行结束，或调用了当前线程的 `interrupt()` 时，当前线程从 `TIMED_WAITING --> RUNNABLE`

情况 7 `RUNNABLE <--> TIMED_WAITING`

- 当前线程调用 `Thread.sleep(long n)`，当前线程从 `RUNNABLE --> TIMED_WAITING`
- 当前线程等待时间超过了 n 毫秒，当前线程从 `TIMED_WAITING --> RUNNABLE`

情况 8 `RUNNABLE <--> TIMED_WAITING`

- 当前线程调用 `LockSupport.parkNanos(long nanos)` 或 `LockSupport.parkUntil(long millis)` 时，当前线程从 `RUNNABLE --> TIMED_WAITING`
- 调用 `LockSupport.unpark(目标线程)` 或调用了线程的 `interrupt()`，或是等待超时，会让目标线程从 `TIMED_WAITING--> RUNNABLE`

情况 9 `RUNNABLE <--> BLOCKED`

- **t 线程**用 `synchronized(obj)` 获取了对象锁时如果竞争失败，从 `RUNNABLE --> BLOCKED`
- 持 `obj` 锁线程的同步代码块执行完毕，会唤醒该对象上所有 `BLOCKED` 的线程重新竞争，如果其中 **t 线程**竞争成功，从 `BLOCKED --> RUNNABLE`，其它失败的线程仍然 `BLOCKED`

情况 10 `RUNNABLE <--> TERMINATED`

当前线程所有代码运行完毕，进入 `TERMINATED`

4.11 多把锁

多把不相干的锁

一间大屋子有两个功能：睡觉、学习，互不相干。

现在小南要学习，小女要睡觉，但如果只用一间屋子（一个对象锁）的话，那么并发度很低

解决方法是准备多个房间（多个对象锁）

例如

```
class BigRoom {  
  
    public void sleep() {  
        synchronized (this) {  
            log.debug("sleeping 2 小时");  
            Sleeper.sleep(2);  
        }  
    }  
  
    public void study() {  
        synchronized (this) {  
            log.debug("study 1 小时");  
            Sleeper.sleep(1);  
        }  
    }  
}
```

执行

```
BigRoom bigRoom = new BigRoom();  
new Thread(() -> {  
    bigRoom.compute();  
}, "小南").start();  
new Thread(() -> {  
    bigRoom.sleep();  
}, "小女").start();
```

某次结果

```
12:13:54.471 [小南] c.BigRoom - study 1 小时  
12:13:55.476 [小女] c.BigRoom - sleeping 2 小时
```

改进

```
class BigRoom {  
  
    private final Object studyRoom = new Object();  
    private final Object bedRoom = new Object();  
  
    public void sleep() {
```

```
synchronized (bedRoom) {  
    log.debug("sleeping 2 小时");  
    Sleeper.sleep(2);  
}  
  
public void study() {  
    synchronized (studyRoom) {  
        log.debug("study 1 小时");  
        Sleeper.sleep(1);  
    }  
}  
}
```

某次执行结果

```
12:15:35.069 [小南] c.BigRoom - study 1 小时  
12:15:35.069 [小女] c.BigRoom - sleeping 2 小时
```

将锁的粒度细分

- 好处，是可以增强并发度
- 坏处，如果一个线程需要同时获得多把锁，就容易发生死锁

4.12 活跃性

死锁

有这样的情况：一个线程需要同时获取多把锁，这时就容易发生死锁

t1 线程 获得 A对象 锁，接下来想获取 B对象 的锁 t2 线程 获得 B对象 锁，接下来想获取 A对象 的锁 例：

```
Object A = new Object();  
Object B = new Object();  
Thread t1 = new Thread(() -> {  
    synchronized (A) {  
        log.debug("lock A");  
        sleep(1);  
        synchronized (B) {  
            log.debug("lock B");  
            log.debug("操作...");  
        }  
    }  
}, "t1");  
  
Thread t2 = new Thread(() -> {  
    synchronized (B) {  
        log.debug("lock B");  
        sleep(0.5);  
        synchronized (A) {  
            log.debug("lock A");
```



```
        log.debug("操作...");  
    }  
}  
}, "t2");  
t1.start();  
t2.start();
```

结果

```
12:22:06.962 [t2] c.TestDeadLock - lock B  
12:22:06.962 [t1] c.TestDeadLock - lock A
```

定位死锁

- 检测死锁可以使用 jconsole 工具，或者使用 jps 定位进程 id，再用 jstack 定位死锁：

```
cmd > jps  
Picked up JAVA_TOOL_OPTIONS: -Dfile.encoding=UTF-8  
12320 Jps  
22816 KotlinCompileDaemon  
33200 TestDeadLock // JVM 进程  
11508 Main  
28468 Launcher
```

```
cmd > jstack 33200  
Picked up JAVA_TOOL_OPTIONS: -Dfile.encoding=UTF-8  
2018-12-29 05:51:40  
Full thread dump Java HotSpot(TM) 64-Bit Server VM (25.91-b14 mixed mode):  
  
"DestroyJavaVM" #13 prio=5 os_prio=0 tid=0x000000003525000 nid=0x2f60 waiting on condition  
[0x0000000000000000]  
    java.lang.Thread.State: RUNNABLE  
  
"Thread-1" #12 prio=5 os_prio=0 tid=0x000000001eb69000 nid=0xd40 waiting for monitor entry  
[0x000000001f54f000]  
    java.lang.Thread.State: BLOCKED (on object monitor)  
        at thread.TestDeadLock.lambda$main$1(TestDeadLock.java:28)  
        - waiting to lock <0x0000000076b5bf1c0> (a java.lang.Object)  
        - locked <0x0000000076b5bf1d0> (a java.lang.Object)  
        at thread.TestDeadLock$$Lambda$2/883049899.run(Unknown Source)  
        at java.lang.Thread.run(Thread.java:745)  
  
"Thread-0" #11 prio=5 os_prio=0 tid=0x000000001eb68800 nid=0x1b28 waiting for monitor entry  
[0x000000001f44f000]  
    java.lang.Thread.State: BLOCKED (on object monitor)  
        at thread.TestDeadLock.lambda$main$0(TestDeadLock.java:15)  
        - waiting to lock <0x0000000076b5bf1d0> (a java.lang.Object)
```



```
- locked <0x000000076b5bf1c0> (a java.lang.Object)
at thread.TestDeadLock$$Lambda$1/495053715.run(Unknown Source)
at java.lang.Thread.run(Thread.java:745)

// 略去部分输出

Found one Java-level deadlock:
=====
"Thread-1":
  waiting to lock monitor 0x00000000361d378 (object 0x000000076b5bf1c0, a java.lang.Object),
  which is held by "Thread-0"
"Thread-0":
  waiting to lock monitor 0x00000000361e768 (object 0x000000076b5bf1d0, a java.lang.Object),
  which is held by "Thread-1"

Java stack information for the threads listed above:
=====
"Thread-1":
  at thread.TestDeadLock.lambda$main$1(TestDeadLock.java:28)
  - waiting to lock <0x000000076b5bf1c0> (a java.lang.Object)
  - locked <0x000000076b5bf1d0> (a java.lang.Object)
  at thread.TestDeadLock$$Lambda$2/883049899.run(Unknown Source)
  at java.lang.Thread.run(Thread.java:745)
"Thread-0":
  at thread.TestDeadLock.lambda$main$0(TestDeadLock.java:15)
  - waiting to lock <0x000000076b5bf1d0> (a java.lang.Object)
  - locked <0x000000076b5bf1c0> (a java.lang.Object)
  at thread.TestDeadLock$$Lambda$1/495053715.run(Unknown Source)
  at java.lang.Thread.run(Thread.java:745)

Found 1 deadlock.
```

- 避免死锁要注意加锁顺序
- 另外如果由于某个线程进入了死循环，导致其它线程一直等待，对于这种情况 linux 下可以通过 top 先定位到 CPU 占用高的 Java 进程，再利用 `top -Hp 进程id` 来定位是哪个线程，最后再用 jstack 排查

哲学家就餐问题



有五位哲学家，围坐在圆桌旁。

- 他们只做两件事，思考和吃饭，思考一会吃口饭，吃完饭后接着思考。
- 吃饭时要用两根筷子吃，桌上共有 5 根筷子，每位哲学家左右手边各有一根筷子。
- 如果筷子被身边的人拿着，自己就得等待

筷子类

```
class Chopstick {  
    String name;  
  
    public Chopstick(String name) {  
        this.name = name;  
    }  
  
    @Override  
    public String toString() {  
        return "筷子{" + name + '}';  
    }  
}
```

哲学家类

```
class Philosopher extends Thread {  
    Chopstick left;  
    Chopstick right;
```



```
public Philosopher(String name, Chopstick left, Chopstick right) {
    super(name);
    this.left = left;
    this.right = right;
}

private void eat() {
    log.debug("eating...");
    Sleeper.sleep(1);
}

@Override
public void run() {
    while (true) {
        // 获得左手筷子
        synchronized (left) {
            // 获得右手筷子
            synchronized (right) {
                // 吃饭
                eat();
            }
            // 放下右手筷子
        }
        // 放下左手筷子
    }
}
}
```

就餐

```
Chopstick c1 = new Chopstick("1");
Chopstick c2 = new Chopstick("2");
Chopstick c3 = new Chopstick("3");
Chopstick c4 = new Chopstick("4");
Chopstick c5 = new Chopstick("5");
new Philosopher("苏格拉底", c1, c2).start();
new Philosopher("柏拉图", c2, c3).start();
new Philosopher("亚里士多德", c3, c4).start();
new Philosopher("赫拉克利特", c4, c5).start();
new Philosopher("阿基米德", c5, c1).start();
```

执行不多会，就执行不下去了

```
12:33:15.575 [苏格拉底] c.Philosopher - eating...
12:33:15.575 [亚里士多德] c.Philosopher - eating...
12:33:16.580 [阿基米德] c.Philosopher - eating...
12:33:17.580 [阿基米德] c.Philosopher - eating...
// 卡在这里，不向下运行
```

使用 jconsole 检测死锁，发现



名称：阿基米德

状态：cn.itcast.Chopstick@1540e19d (筷子1) 上的BLOCKED, 拥有者：苏格拉底

总阻止数：2, 总等待数：1

堆栈跟踪：

```
cn.itcast.Philosopher.run(TestDinner.java:48)
```

- 已锁定 cn.itcast.Chopstick@6d6f6e28 (筷子5)

名称：苏格拉底

状态：cn.itcast.Chopstick@677327b6 (筷子2) 上的BLOCKED, 拥有者：柏拉图

总阻止数：2, 总等待数：1

堆栈跟踪：

```
cn.itcast.Philosopher.run(TestDinner.java:48)
```

- 已锁定 cn.itcast.Chopstick@1540e19d (筷子1)

名称：柏拉图

状态：cn.itcast.Chopstick@14ae5a5 (筷子3) 上的BLOCKED, 拥有者：亚里士多德

总阻止数：2, 总等待数：0

堆栈跟踪：

```
cn.itcast.Philosopher.run(TestDinner.java:48)
```

- 已锁定 cn.itcast.Chopstick@677327b6 (筷子2)

名称：亚里士多德

状态：cn.itcast.Chopstick@7f31245a (筷子4) 上的BLOCKED, 拥有者：赫拉克利特

总阻止数：1, 总等待数：1

堆栈跟踪：

```
cn.itcast.Philosopher.run(TestDinner.java:48)
```

- 已锁定 cn.itcast.Chopstick@14ae5a5 (筷子3)

名称：赫拉克利特

状态：cn.itcast.Chopstick@6d6f6e28 (筷子5) 上的BLOCKED, 拥有者：阿基米德

总阻止数：2, 总等待数：0

堆栈跟踪：

```
cn.itcast.Philosopher.run(TestDinner.java:48)
```

- 已锁定 cn.itcast.Chopstick@7f31245a (筷子4)

这种线程没有按预期结束，执行不下去的情况，归类为【活跃性】问题，除了死锁以外，还有活锁和饥饿者两种情况

活锁

活锁出现在两个线程互相改变对方的结束条件，最后谁也无法结束，例如

```
public class TestLiveLock {  
  
    static volatile int count = 10;
```

```
static final Object lock = new Object();

public static void main(String[] args) {
    new Thread() -> {
        // 期望减到 0 退出循环
        while (count > 0) {
            sleep(0.2);
            count--;
            log.debug("count: {}", count);
        }
    }, "t1").start();
    new Thread() -> {
        // 期望超过 20 退出循环
        while (count < 20) {
            sleep(0.2);
            count++;
            log.debug("count: {}", count);
        }
    }, "t2").start();
}
```

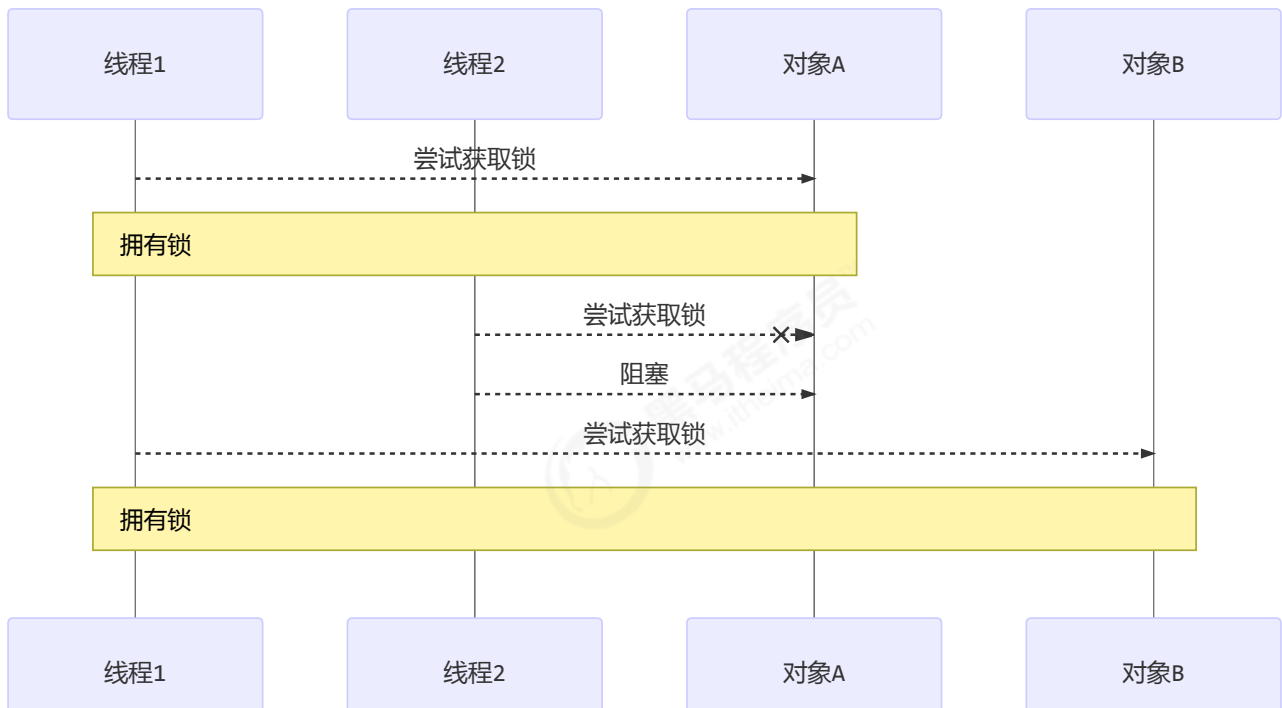
饥饿

很多教程中把饥饿定义为，一个线程由于优先级太低，始终得不到 CPU 调度执行，也不能够结束，饥饿的情况不易演示，讲读写锁时会涉及饥饿问题

下面我讲一下我遇到的一个线程饥饿的例子，先来看看使用顺序加锁的方式解决之前的死锁问题



顺序加锁的解决方案



4.13 ReentrantLock

相对于 `synchronized` 它具备如下特点

- 可中断
- 可以设置超时时间
- 可以设置为公平锁
- 支持多个条件变量

与 `synchronized` 一样，都支持可重入

基本语法

```
// 获取锁
reentrantLock.lock();
try {
    // 临界区
} finally {
    // 释放锁
    reentrantLock.unlock();
}
```

可重入

可重入是指同一个线程如果首次获得了这把锁，那么因为它是这把锁的拥有者，因此有权利再次获取这把锁

如果是不可重入锁，那么第二次获得锁时，自己也会被锁挡住



```
static ReentrantLock lock = new ReentrantLock();

public static void main(String[] args) {
    method1();
}

public static void method1() {
    lock.lock();
    try {
        log.debug("execute method1");
        method2();
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}

public static void method2() {
    lock.lock();
    try {
        log.debug("execute method2");
        method3();
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}

public static void method3() {
    lock.lock();
    try {
        log.debug("execute method3");
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}
```

输出

```
17:59:11.862 [main] c.TestReentrant - execute method1
17:59:11.865 [main] c.TestReentrant - execute method2
17:59:11.865 [main] c.TestReentrant - execute method3
```

可打断

示例

```
ReentrantLock lock = new ReentrantLock();

Thread t1 = new Thread(() -> {
```



```
log.debug("启动...");
try {
    lock.lockInterruptibly();
} catch (InterruptedException e) {
    e.printStackTrace();
    log.debug("等锁的过程中被打断");
    return;
}
try {
    log.debug("获得了锁");
} finally {
    lock.unlock();
}
}, "t1");

lock.lock();
log.debug("获得了锁");
t1.start();
try {
    sleep(1);
    t1.interrupt();
    log.debug("执行打断");
} finally {
    lock.unlock();
}
```

输出

```
18:02:40.520 [main] c.TestInterrupt - 获得了锁
18:02:40.524 [t1] c.TestInterrupt - 启动...
18:02:41.530 [main] c.TestInterrupt - 执行打断
java.lang.InterruptedException
    at
    java.util.concurrent.locks.AbstractQueuedSynchronizer.doAcquireInterruptibly(AbstractQueuedSynchronizer.java:898)
    at
    java.util.concurrent.locks.AbstractQueuedSynchronizer.acquireInterruptibly(AbstractQueuedSynchronizer.java:1222)
    at java.util.concurrent.locks.ReentrantLock.lockInterruptibly(ReentrantLock.java:335)
    at cn.itcast.n4.reentrant.TestInterrupt.lambda$main$0(TestInterrupt.java:17)
    at java.lang.Thread.run(Thread.java:748)
18:02:41.532 [t1] c.TestInterrupt - 等锁的过程中被打断
```

注意如果是不可中断模式，那么即使使用了 interrupt 也不会让等待中断

```
ReentrantLock lock = new ReentrantLock();

Thread t1 = new Thread(() -> {
    log.debug("启动...");
```



```
lock.lock();
try {
    log.debug("获得了锁");
} finally {
    lock.unlock();
}
}, "t1");
```

```
lock.lock();
log.debug("获得了锁");
t1.start();
try {
    sleep(1);
    t1.interrupt();
    log.debug("执行打断");
    sleep(1);
} finally {
    log.debug("释放了锁");
    lock.unlock();
}
```

输出

```
18:06:56.261 [main] c.TestInterrupt - 获得了锁
18:06:56.265 [t1] c.TestInterrupt - 启动...
18:06:57.266 [main] c.TestInterrupt - 执行打断 // 这时 t1 并没有被真正打断，而是仍继续等待锁
18:06:58.267 [main] c.TestInterrupt - 释放了锁
18:06:58.267 [t1] c.TestInterrupt - 获得了锁
```

锁超时

立刻失败

```
ReentrantLock lock = new ReentrantLock();
Thread t1 = new Thread(() -> {
    log.debug("启动...");
    if (!lock.tryLock()) {
        log.debug("获取立刻失败，返回");
        return;
    }
    try {
        log.debug("获得了锁");
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}, "t1");

lock.lock();
log.debug("获得了锁");
```

```
t1.start();
try {
    sleep(2);
} finally {
    lock.unlock();
}
```

输出

```
18:15:02.918 [main] c.TestTimeout - 获得了锁
18:15:02.921 [t1] c.TestTimeout - 启动...
18:15:02.921 [t1] c.TestTimeout - 获取立刻失败，返回
```

超时失败

```
ReentrantLock lock = new ReentrantLock();
Thread t1 = new Thread(() -> {
    log.debug("启动...");
    try {
        if (!lock.tryLock(1, TimeUnit.SECONDS)) {
            log.debug("获取等待 1s 后失败，返回");
            return;
        }
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }
    try {
        log.debug("获得了锁");
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}, "t1");

lock.lock();
log.debug("获得了锁");
t1.start();
try {
    sleep(2);
} finally {
    lock.unlock();
}
```

输出

```
18:19:40.537 [main] c.TestTimeout - 获得了锁
18:19:40.544 [t1] c.TestTimeout - 启动...
18:19:41.547 [t1] c.TestTimeout - 获取等待 1s 后失败，返回
```

使用 tryLock 解决哲学家就餐问题



```
class Chopstick extends ReentrantLock {
    String name;

    public Chopstick(String name) {
        this.name = name;
    }

    @Override
    public String toString() {
        return "筷子{" + name + '}';
    }
}
```

```
class Philosopher extends Thread {
    Chopstick left;
    Chopstick right;

    public Philosopher(String name, Chopstick left, Chopstick right) {
        super(name);
        this.left = left;
        this.right = right;
    }

    @Override
    public void run() {
        while (true) {
            // 尝试获得左手筷子
            if (left.tryLock()) {
                try {
                    // 尝试获得右手筷子
                    if (right.tryLock()) {
                        try {
                            eat();
                        } finally {
                            right.unlock();
                        }
                    }
                } finally {
                    left.unlock();
                }
            }
        }
    }

    private void eat() {
        log.debug("eating...");
        Sleeper.sleep(1);
    }
}
```

公平锁

ReentrantLock 默认是不公平的

```
ReentrantLock lock = new ReentrantLock(false);

lock.lock();
for (int i = 0; i < 500; i++) {
    new Thread(() -> {
        lock.lock();
        try {
            System.out.println(Thread.currentThread().getName() + " running...");
        } finally {
            lock.unlock();
        }
    }, "t" + i).start();
}

// 1s 之后去争抢锁
Thread.sleep(1000);
new Thread(() -> {
    System.out.println(Thread.currentThread().getName() + " start...");
    lock.lock();
    try {
        System.out.println(Thread.currentThread().getName() + " running...");
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}, "强行插入").start();
lock.unlock();
```

强行插入，有机会在中间输出

注意：该实验不一定总能复现

```
t39 running...
t40 running...
t41 running...
t42 running...
t43 running...
强行插入 start...
强行插入 running...
t44 running...
t45 running...
t46 running...
t47 running...
t49 running...
```

改为公平锁后

```
ReentrantLock lock = new ReentrantLock(true);
```

强行插入，总是在最后输出

```
t465 running...
t464 running...
t477 running...
t442 running...
t468 running...
t493 running...
t482 running...
t485 running...
t481 running...
强行插入 running...
```

公平锁一般没有必要，会降低并发度，后面分析原理时会讲解

条件变量

synchronized 中也有条件变量，就是我们讲原理时那个 waitSet 休息室，当条件不满足时进入 waitSet 等待

ReentrantLock 的条件变量比 synchronized 强大之处在于，它是支持多个条件变量的，这就好比

- synchronized 是那些不满足条件的线程都在一间休息室等消息
- 而 ReentrantLock 支持多间休息室，有专门等烟的休息室、专门等早餐的休息室、唤醒时也是按休息室来唤醒

使用要点：

- await 前需要获得锁
- await 执行后，会释放锁，进入 conditionObject 等待
- await 的线程被唤醒（或打断、或超时）取重新竞争 lock 锁
- 竞争 lock 锁成功后，从 await 后继续执行

例子：

```
static ReentrantLock lock = new ReentrantLock();
static Condition waitCigaretteQueue = lock.newCondition();
static Condition waitbreakfastQueue = lock.newCondition();
static volatile boolean hasCigarette = false;
static volatile boolean hasBreakfast = false;

public static void main(String[] args) {
    new Thread(() -> {
        try {
            lock.lock();

            while (!hasCigarette) {
```



```
        try {
            waitCigaretteQueue.await();
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
    log.debug("等到了它的烟");
} finally {
    lock.unlock();
}
}).start();

new Thread(() -> {
    try {
        lock.lock();
        while (!hasBreakfast) {
            try {
                waitbreakfastQueue.await();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
        log.debug("等到了它的早餐");
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}).start();

sleep(1);
sendBreakfast();
sleep(1);
sendCigarette();
}

private static void sendCigarette() {
    lock.lock();
    try {
        log.debug("送烟来了");
        hasCigarette = true;
        waitCigaretteQueue.signal();
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}

private static void sendBreakfast() {
    lock.lock();
    try {
        log.debug("送早餐来了");
        hasBreakfast = true;
        waitbreakfastQueue.signal();
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}
```

```
}  
}
```

输出

```
18:52:27.680 [main] c.TestCondition - 送早餐来了  
18:52:27.682 [Thread-1] c.TestCondition - 等到了它的早餐  
18:52:28.683 [main] c.TestCondition - 送烟来了  
18:52:28.683 [Thread-0] c.TestCondition - 等到了它的烟
```

* 同步模式之顺序控制

本章小结

本章我们需要重点掌握的是

- 分析多线程访问共享资源时，哪些代码片段属于临界区
- 使用 synchronized 互斥解决临界区的线程安全问题
 - 掌握 synchronized 锁对象语法
 - 掌握 synchronized 加载成员方法和静态方法语法
 - 掌握 wait/notify 同步方法
- 使用 lock 互斥解决临界区的线程安全问题
 - 掌握 lock 的使用细节：可打断、锁超时、公平锁、条件变量
- 学会分析变量的线程安全性、掌握常见线程安全类的使用
- 了解线程活跃性问题：死锁、活锁、饥饿
- 应用方面
 - 互斥：使用 synchronized 或 Lock 达到共享资源互斥效果
 - 同步：使用 wait/notify 或 Lock 的条件变量来达到线程间通信效果
- 原理方面
 - monitor、synchronized、wait/notify 原理
 - synchronized 进阶原理
 - park & unpark 原理
- 模式方面
 - 同步模式之保护性暂停
 - 异步模式之生产者消费者
 - 同步模式之顺序控制

5. 共享模型之内存

本章内容

上一章讲解的 Monitor 主要关注的是访问共享变量时，保证临界区代码的原子性

这一章我们进一步深入学习共享变量在多线程间的【可见性】问题与多条指令执行时的【有序性】问题

5.1 Java 内存模型

JMM 即 Java Memory Model，它定义了主存、工作内存抽象概念，底层对应着 CPU 寄存器、缓存、硬件内存、CPU 指令优化等。

JMM 体现在以下几个方面

- 原子性 - 保证指令不会受到线程上下文切换的影响
- 可见性 - 保证指令不会受 cpu 缓存的影响
- 有序性 - 保证指令不会受 cpu 指令并行优化的影响

5.2 可见性

退不出的循环

先来看一个现象，main 线程对 run 变量的修改对于 t 线程不可见，导致了 t 线程无法停止：

```
static boolean run = true;

public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    Thread t = new Thread(()->{
        while(run){
            // ....
        }
    });
    t.start();

    sleep(1);
    run = false; // 线程t不会如预想的停下来
}
```

为什么呢？分析一下：

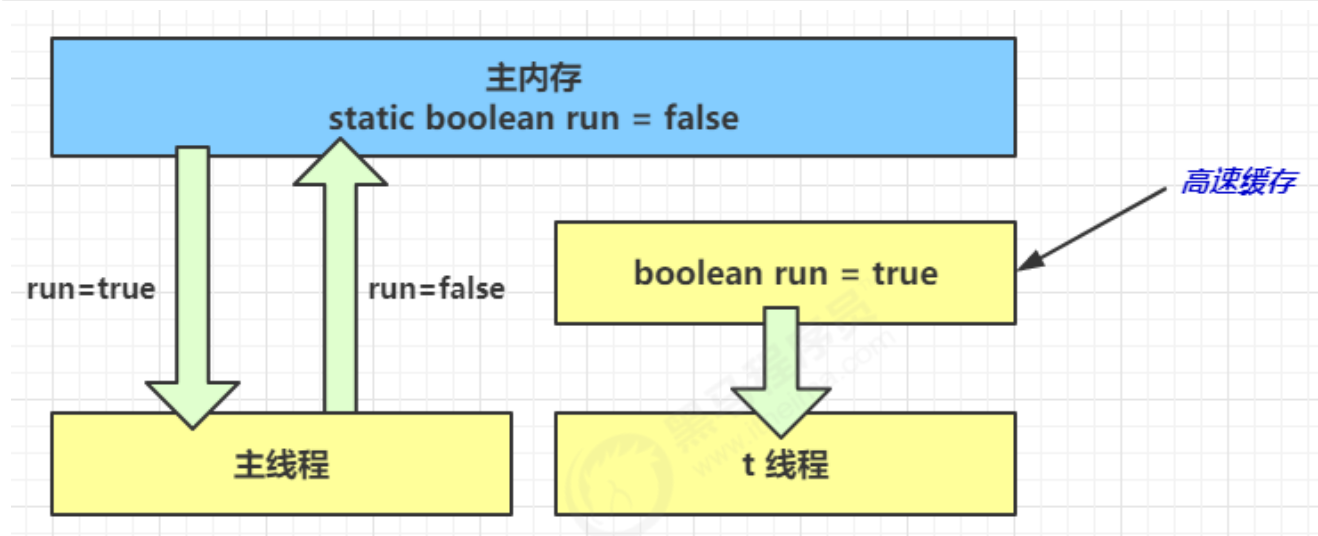
1. 初始状态，t 线程刚开始从主内存读取了 run 的值到工作内存。



2. 因为 t 线程要频繁从主内存中读取 run 的值，JIT 编译器会将 run 的值缓存至自己工作内存中的高速缓存中，减少对主存中 run 的访问，提高效率



3. 1 秒之后，main 线程修改了 run 的值，并同步至主存，而 t 是从自己工作内存中的高速缓存中读取这个变量的值，结果永远是旧值



解决方法

volatile (易变关键字)

它可以用来修饰成员变量和静态成员变量，它可以避免线程从自己的工作缓存中查找变量的值，必须到主存中获取它的值，线程操作 volatile 变量都是直接操作主存

可见性 vs 原子性

前面例子体现的实际就是可见性，它保证的是在多个线程之间，一个线程对 volatile 变量的修改对另一个线程可见，不能保证原子性，仅用在写线程，多个读线程的情况：上例从字节码理解是这样的：

```
getstatic    run    // 线程 t 获取 run true
getstatic    run    // 线程 t 获取 run true
getstatic    run    // 线程 t 获取 run true
getstatic    run    // 线程 t 获取 run true
putstatic    run    // 线程 main 修改 run 为 false，仅此一次
getstatic    run    // 线程 t 获取 run false
```

比较一下之前我们将线程安全时举的例子：两个线程一个 `i++` 一个 `i--`，只能保证看到最新值，不能解决指令交错

```
// 假设i的初始值为0
getstatic    i    // 线程2-获取静态变量i的值 线程内i=0

getstatic    i    // 线程1-获取静态变量i的值 线程内i=0
iconst_1     // 线程1-准备常量1
iadd         // 线程1-自增 线程内i=1
putstatic    i    // 线程1-将修改后的值存入静态变量i 静态变量i=1

iconst_1     // 线程2-准备常量1
isub         // 线程2-自减 线程内i=-1
putstatic    i    // 线程2-将修改后的值存入静态变量i 静态变量i=-1
```

注意 synchronized 语句块既可以保证代码块的原子性，也同时**保证代码块内变量的可见性**。但缺点是 synchronized 是属于重量级操作，性能相对更低

如果在前面示例的死循环中加入 System.out.println() 会发现即使不加 volatile 修饰符，线程 t 也能正确看到对 run 变量的修改了，想一想为什么？

* 原理之 CPU 缓存结构

* 模式之两阶段终止

* 模式之 Balking

5.3 有序性

JVM 会在不影响正确性的前提下，可以调整语句的执行顺序，思考下面一段代码

```
static int i;  
static int j;  
  
// 在某个线程内执行如下赋值操作  
i = ...;  
j = ...;
```

可以看到，至于是先执行 i 还是 先执行 j，对最终的结果不会产生影响。所以，上面代码真正执行时，既可以是

```
i = ...;  
j = ...;
```

也可以是

```
j = ...;  
i = ...;
```

这种特性称之为『指令重排』，多线程下『指令重排』会影响正确性。为什么要有重排指令这项优化呢？从 CPU 执行指令的原理来理解一下吧

* 原理之指令级并行

诡异的结果

```
int num = 0;
```

```
boolean ready = false;

// 线程1 执行此方法
public void actor1(I_Result r) {
    if(ready) {
        r.r1 = num + num;
    } else {
        r.r1 = 1;
    }
}

// 线程2 执行此方法
public void actor2(I_Result r) {
    num = 2;
    ready = true;
}
```

I_Result 是一个对象，有一个属性 r1 用来保存结果，问，可能的结果有几种？

有同学这么分析

情况1：线程1 先执行，这时 ready = false，所以进入 else 分支结果为 1

情况2：线程2 先执行 num = 2，但没来得及执行 ready = true，线程1 执行，还是进入 else 分支，结果为1

情况3：线程2 执行到 ready = true，线程1 执行，这回进入 if 分支，结果为 4（因为 num 已经执行过了）

但我告诉你，结果还有可能是 0 😏😏😏，信不信吧！

这种情况下是：线程2 执行 ready = true，切换到线程1，进入 if 分支，相加为 0，再切回线程2 执行 num = 2

相信很多人已经晕了 😏😏😏

这种现象叫做指令重排，是 JIT 编译器在运行时的一些优化，这个现象需要通过大量测试才能复现：

借助 java 并发压测工具 jcstress <https://wiki.openjdk.java.net/display/CodeTools/jcstress>

```
mvn archetype:generate -DinteractiveMode=false -DarchetypeGroupId=org.openjdk.jcstress -
DarchetypeArtifactId=jcstress-java-test-archetype -DarchetypeVersion=0.5 -DgroupId=cn.itcast -
DartifactId=ordering -Dversion=1.0
```

创建 maven 项目，提供如下测试类

```
@JCStressTest
@Outcome(id = {"1", "4"}, expect = Expect.ACCEPTABLE, desc = "ok")
@Outcome(id = "0", expect = Expect.ACCEPTABLE_INTERESTING, desc = "!!!!")
@State
public class ConcurrencyTest {

    int num = 0;

    boolean ready = false;
```

```
@Actor
public void actor1(I_Result r) {
    if(ready) {
        r.r1 = num + num;
    } else {
        r.r1 = 1;
    }
}

@Actor
public void actor2(I_Result r) {
    num = 2;
    ready = true;
}
}
```

执行

```
mvn clean install
java -jar target/jcstress.jar
```

会输出我们感兴趣的结果，摘录其中一次结果：

```
*** INTERESTING tests
Some interesting behaviors observed. This is for the plain curiosity.

2 matching test results.
[OK] test.ConcurrencyTest
(JVM args: [-XX:-TieredCompilation])
Observed state  Occurrences      Expectation  Interpretation
                0             1,729  ACCEPTABLE_INTERESTING  !!!!
                1      42,617,915      ACCEPTABLE      ok
                4      5,146,627      ACCEPTABLE      ok

[OK] test.ConcurrencyTest
(JVM args: [])
Observed state  Occurrences      Expectation  Interpretation
                0             1,652  ACCEPTABLE_INTERESTING  !!!!
                1     46,460,657      ACCEPTABLE      ok
                4     4,571,072      ACCEPTABLE      ok
```

可以看到，出现结果为 0 的情况有 638 次，虽然次数相对很少，但毕竟是出现了。

解决方法

volatile 修饰的变量，可以禁用指令重排

```
@JCStressTest
```



```
@Outcome(id = {"1", "4"}, expect = Expect.ACCEPTABLE, desc = "ok")
@Outcome(id = "0", expect = Expect.ACCEPTABLE_INTERESTING, desc = "!!!!")
@State
public class ConcurrencyTest {

    int num = 0;
    volatile boolean ready = false;

    @Actor
    public void actor1(I_Result r) {
        if(ready) {
            r.r1 = num + num;
        } else {
            r.r1 = 1;
        }
    }

    @Actor
    public void actor2(I_Result r) {
        num = 2;
        ready = true;
    }
}
```

结果为：

```
*** INTERESTING tests
    Some interesting behaviors observed. This is for the plain curiosity.

    0 matching test results.
```

* 原理之 volatile

happens-before

happens-before 规定了对共享变量的写操作对其它线程的读操作可见，它是可见性与有序性的一套规则总结，抛开以下 happens-before 规则，JMM 并不能保证一个线程对共享变量的写，对于其它线程对该共享变量的读可见

- 线程解锁 m 之前对变量的写，对于接下来对 m 加锁的其它线程对该变量的读可见

```
static int x;
static Object m = new Object();

new Thread(()->{
    synchronized(m) {
        x = 10;
    }
})
```

```
    }  
    }, "t1").start();  
  
    new Thread(() -> {  
        synchronized(m) {  
            System.out.println(x);  
        }  
    }, "t2").start();
```

- 线程对 volatile 变量的写，对接下来其它线程对该变量的读可见

```
volatile static int x;  
  
new Thread(() -> {  
    x = 10;  
}, "t1").start();  
  
new Thread(() -> {  
    System.out.println(x);  
}, "t2").start();
```

- 线程 start 前对变量的写，对该线程开始后对该变量的读可见

```
static int x;  
  
x = 10;  
  
new Thread(() -> {  
    System.out.println(x);  
}, "t2").start();
```

- 线程结束前对变量的写，对其它线程得知它结束后的读可见（比如其它线程调用 t1.isAlive() 或 t1.join() 等待它结束）

```
static int x;  
  
Thread t1 = new Thread(() -> {  
    x = 10;  
}, "t1");  
t1.start();  
  
t1.join();  
System.out.println(x);
```




- 线程 t1 打断 t2 (interrupt) 前对变量的写，对于其他线程得知 t2 被打断后对变量的读可见 (通过 t2.interrupted 或 t2.isInterrupted)

```
static int x;

public static void main(String[] args) {
    Thread t2 = new Thread()->{
        while(true) {
            if(Thread.currentThread().isInterrupted()) {
                System.out.println(x);
                break;
            }
        }
    }, "t2");
    t2.start();

    new Thread()->{
        sleep(1);
        x = 10;
        t2.interrupt();
    }, "t1").start();

    while(!t2.isInterrupted()) {
        Thread.yield();
    }
    System.out.println(x);
}
```

- 对变量默认值 (0 , false , null) 的写，对其它线程对该变量的读可见
- 具有传递性，如果 $x \text{ hb} \rightarrow y$ 并且 $y \text{ hb} \rightarrow z$ 那么有 $x \text{ hb} \rightarrow z$ ，配合 volatile 的防指令重排，有下面的例子

```
volatile static int x;
static int y;

new Thread()->{
    y = 10;
    x = 20;
}, "t1").start();

new Thread()->{
    // x=20 对 t2 可见，同时 y=10 也对 t2 可见
    System.out.println(x);
}, "t2").start();
```

变量都是指成员变量或静态成员变量

参考：第17页

习题

balking 模式习题

希望 doInit() 方法仅被调用一次，下面的实现是否有问题，为什么？

```
public class TestVolatile {  
  
    volatile boolean initialized = false;  
  
    void init() {  
        if (initialized) {  
            return;  
        }  
        doInit();  
        initialized = true;  
    }  
  
    private void doInit() {  
  
    }  
}
```

线程安全单例习题

单例模式有很多实现方法，饿汉、懒汉、静态内部类、枚举类，试分析每种实现下获取单例对象（即调用 getInstance）时的线程安全，并思考注释中的问题

饿汉式：类加载就会导致该单实例对象被创建

懒汉式：类加载不会导致该单实例对象被创建，而是首次使用该对象时才会创建

实现1：

```
// 问题1：为什么加 final  
// 问题2：如果实现了序列化接口，还要做什么来防止反序列化破坏单例  
public final class Singleton implements Serializable {  
    // 问题3：为什么设置为私有？是否能防止反射创建新的实例？  
    private Singleton() {}  
    // 问题4：这样初始化是否能保证单例对象创建时的线程安全？  
    private static final Singleton INSTANCE = new Singleton();  
    // 问题5：为什么提供静态方法而不是直接将 INSTANCE 设置为 public，说出你知道的理由  
    public static Singleton getInstance() {  
        return INSTANCE;  
    }  
    public Object readResolve() {  
        return INSTANCE;  
    }  
}
```



实现2：

```
// 问题1：枚举单例是如何限制实例个数的
// 问题2：枚举单例在创建时是否有并发问题
// 问题3：枚举单例能否被反射破坏单例
// 问题4：枚举单例能否被反序列化破坏单例
// 问题5：枚举单例属于懒汉式还是饿汉式
// 问题6：枚举单例如果希望加入一些单例创建时的初始化逻辑该如何做
enum Singleton {
    INSTANCE;
}
```

实现3：

```
public final class Singleton {
    private Singleton() { }
    private static Singleton INSTANCE = null;
    // 分析这里的线程安全，并说明有什么缺点
    public static synchronized Singleton getInstance() {
        if( INSTANCE != null ){
            return INSTANCE;
        }
        INSTANCE = new Singleton();
        return INSTANCE;
    }
}
```

实现4：DCL

```
public final class Singleton {
    private Singleton() { }
    // 问题1：解释为什么要加 volatile ?
    private static volatile Singleton INSTANCE = null;

    // 问题2：对比实现3，说出这样做的意义
    public static Singleton getInstance() {
        if (INSTANCE != null) {
            return INSTANCE;
        }
        synchronized (Singleton.class) {
            // 问题3：为什么还要在这里加为空判断，之前不是判断过了吗
            if (INSTANCE != null) { // t2
                return INSTANCE;
            }
            INSTANCE = new Singleton();
            return INSTANCE;
        }
    }
}
```

实现5：

```
public final class Singleton {
    private Singleton() { }
    // 问题1：属于懒汉式还是饿汉式
    private static class LazyHolder {
        static final Singleton INSTANCE = new Singleton();
    }
    // 问题2：在创建时是否有并发问题
    public static Singleton getInstance() {
        return LazyHolder.INSTANCE;
    }
}
```

本章小结

本章重点讲解了 JMM 中的

- 可见性 - 由 JVM 缓存优化引起
- 有序性 - 由 JVM 指令重排序优化引起
- happens-before 规则
- 原理方面
 - CPU 指令并行
 - volatile
- 模式方面
 - 两阶段终止模式的 volatile 改进
 - 同步模式之 balking

6. 共享模型之无锁

本章内容

- CAS 与 volatile
- 原子整数
- 原子引用
- 原子累加器
- Unsafe

6.1 问题提出

有如下需求，保证 `account.withdraw` 取款方法的线程安全

```
package cn.itcast;

import java.util.ArrayList;
import java.util.List;

interface Account {
    // 获取余额
    Integer getBalance();

    // 取款
    void withdraw(Integer amount);

    /**
     * 方法内会启动 1000 个线程，每个线程做 -10 元 的操作
     * 如果初始余额为 10000 那么正确的结果应当是 0
     */
    static void demo(Account account) {
        List<Thread> ts = new ArrayList<>();
        long start = System.nanoTime();
        for (int i = 0; i < 1000; i++) {
            ts.add(new Thread(() -> {
                account.withdraw(10);
            }));
        }
        ts.forEach(Thread::start);
        ts.forEach(t -> {
            try {
                t.join();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        });
        long end = System.nanoTime();
        System.out.println(account.getBalance()
            + " cost: " + (end-start)/1000_000 + " ms");
    }
}
```

原有实现并不是线程安全的

```
class AccountUnsafe implements Account {
    private Integer balance;

    public AccountUnsafe(Integer balance) {
        this.balance = balance;
    }
}
```



```
@Override
public Integer getBalance() {
    return balance;
}

@Override
public void withdraw(Integer amount) {
    balance -= amount;
}
}
```

执行测试代码

```
public static void main(String[] args) {
    Account.demo(new AccountUnsafe(10000));
}
```

某次的执行结果

330 cost: 306 ms

为什么不安全

withdraw 方法

```
public void withdraw(Integer amount) {
    balance -= amount;
}
```

对应的字节码

```
ALOAD 0 // <- this
ALOAD 0
GETFIELD cn/itcast/AccountUnsafe.balance : Ljava/lang/Integer; // <- this.balance
INVOKEVIRTUAL java/lang/Integer.intValue ()I // 拆箱
ALOAD 1 // <- amount
INVOKEVIRTUAL java/lang/Integer.intValue ()I // 拆箱
ISUB // 减法
INVOKESTATIC java/lang/Integer.valueOf (I)Ljava/lang/Integer; // 结果装箱
PUTFIELD cn/itcast/AccountUnsafe.balance : Ljava/lang/Integer; // -> this.balance
```

多线程执行流程

```
ALOAD 0 // thread-0 <- this
ALOAD 0
GETFIELD cn/itcast/AccountUnsafe.balance // thread-0 <- this.balance
INVOKEVIRTUAL java/lang/Integer.intValue // thread-0 拆箱
ALOAD 1 // thread-0 <- amount
INVOKEVIRTUAL java/lang/Integer.intValue // thread-0 拆箱
```



```
ISUB                                // thread-0 减法
INVOKESTATIC java/lang/Integer.valueOf // thread-0 结果装箱
PUTFIELD cn/itcast/AccountUnsafe.balance // thread-0 -> this.balance

ALOAD 0                            // thread-1 <- this
ALOAD 0
GETFIELD cn/itcast/AccountUnsafe.balance // thread-1 <- this.balance
INVOKEVIRTUAL java/lang/Integer.intValue // thread-1 拆箱
ALOAD 1                            // thread-1 <- amount
INVOKEVIRTUAL java/lang/Integer.intValue // thread-1 拆箱
ISUB                                // thread-1 减法
INVOKESTATIC java/lang/Integer.valueOf // thread-1 结果装箱
PUTFIELD cn/itcast/AccountUnsafe.balance // thread-1 -> this.balance
```

- 单核的指令交错
- 多核的指令交错

解决思路-锁

首先想到的是给 Account 对象加锁

```
class AccountUnsafe implements Account {
    private Integer balance;

    public AccountUnsafe(Integer balance) {
        this.balance = balance;
    }

    @Override
    public synchronized Integer getBalance() {
        return balance;
    }

    @Override
    public synchronized void withdraw(Integer amount) {
        balance -= amount;
    }
}
```

结果为

0 cost: 399 ms

解决思路-无锁

```
class AccountSafe implements Account {
    private AtomicInteger balance;

    public AccountSafe(Integer balance) {
        this.balance = new AtomicInteger(balance);
    }
}
```

```
}

@Override
public Integer getBalance() {
    return balance.get();
}

@Override
public void withdraw(Integer amount) {
    while (true) {
        int prev = balance.get();
        int next = prev - amount;
        if (balance.compareAndSet(prev, next)) {
            break;
        }
    }
    // 可以简化为下面的方法
    // balance.addAndGet(-1 * amount);
}
}
```

执行测试代码

```
public static void main(String[] args) {
    Account.demo(new AccountSafe(10000));
}
```

某次的执行结果

0 cost: 302 ms

6.2 CAS 与 volatile

前面看到的 `AtomicInteger` 的解决方法，内部并没有用锁来保护共享变量的线程安全。那么它是如何实现的呢？

```
public void withdraw(Integer amount) {
    while(true) {
        // 需要不断尝试，直到成功为止
        while (true) {
            // 比如拿到了旧值 1000
            int prev = balance.get();
            // 在这个基础上 1000-10 = 990
            int next = prev - amount;
            /*
            compareAndSet 正是做这个检查，在 set 前，先比较 prev 与当前值
            - 不一致了，next 作废，返回 false 表示失败
              比如，别的线程已经做了减法，当前值已经被减成了 990
              那么本线程的这次 990 就作废了，进入 while 下次循环重试
            - 一致，以 next 设置为新值，返回 true 表示成功
            */
        }
    }
}
```



```
if (balance.compareAndSet(prev, next)) {  
    break;  
}  
}  
}  
}
```

其中的关键是 `compareAndSet`，它的简称就是 CAS（也有 Compare And Swap 的说法），它必须是原子操作。



注意

其实 CAS 的底层是 `lock cmpxchg` 指令（X86 架构），在单核 CPU 和多核 CPU 下都能够保证【比较-交换】的原子性。

- 在多核状态下，某个核执行到带 lock 的指令时，CPU 会让总线锁住，当这个核把此指令执行完毕，再开启总线。这个过程中不会被线程的调度机制所打断，保证了多个线程对内存操作的准确性，是原子的。

慢动作分析

```
@Slf4j
public class SlowMotion {

    public static void main(String[] args) {
        AtomicInteger balance = new AtomicInteger(10000);
        int mainPrev = balance.get();
        log.debug("try get {}", mainPrev);

        new Thread(() -> {
            sleep(1000);
            int prev = balance.get();
            balance.compareAndSet(prev, 9000);
            log.debug(balance.toString());
        }, "t1").start();

        sleep(2000);
        log.debug("try set 8000...");
        boolean isSuccess = balance.compareAndSet(mainPrev, 8000);
        log.debug("is success ? {}", isSuccess);
        if(!isSuccess){
            mainPrev = balance.get();
            log.debug("try set 8000...");
            isSuccess = balance.compareAndSet(mainPrev, 8000);
            log.debug("is success ? {}", isSuccess);
        }
    }

    private static void sleep(int millis) {
        try {
            Thread.sleep(millis);
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
}
```

输出结果

```
2019-10-13 11:28:37.134 [main] try get 10000
2019-10-13 11:28:38.154 [t1] 9000
2019-10-13 11:28:39.154 [main] try set 8000...
2019-10-13 11:28:39.154 [main] is success ? false
2019-10-13 11:28:39.154 [main] try set 8000...
2019-10-13 11:28:39.154 [main] is success ? true
```

volatile

获取共享变量时，为了保证该变量的可见性，需要使用 volatile 修饰。

它可以用来修饰成员变量和静态成员变量，它可以避免线程从自己的工作缓存中查找变量的值，必须到主存中获取它的值，线程操作 volatile 变量都是直接操作主存。即一个线程对 volatile 变量的修改，对另一个线程可见。

注意

volatile 仅仅保证了共享变量的可见性，让其它线程能够看到最新值，但不能解决指令交错问题（不能保证原子性）

CAS 必须借助 volatile 才能读取到共享变量的最新值来实现【比较并交换】的效果

为什么无锁效率高

- 无锁情况下，即使重试失败，线程始终在高速运行，没有停歇，而 synchronized 会让线程在没有获得锁的时候，发生上下文切换，进入阻塞。打个比喻
- 线程就好像高速跑道上的赛车，高速运行时，速度超快，一旦发生上下文切换，就好比赛车要减速、熄火，等被唤醒又得重新打火、启动、加速... 恢复到高速运行，代价比较大
- 但无锁情况下，因为线程要保持运行，需要额外 CPU 的支持，CPU 在这里就好比高速跑道，没有额外的跑道，线程想高速运行也无从谈起，虽然不会进入阻塞，但由于没有分到时间片，仍然会进入可运行状态，还是会导致上下文切换。



CAS 的特点

结合 CAS 和 volatile 可以实现无锁并发，适用于线程数少、多核 CPU 的场景下。

- CAS 是基于乐观锁的思想：最乐观的估计，不怕别的线程来修改共享变量，就算改了也没关系，我吃亏点再重试呗。
- synchronized 是基于悲观锁的思想：最悲观的估计，得防着其它线程来修改共享变量，我上了锁你们都别想改，我改完了解开锁，你们才有机会。
- CAS 体现的是无锁并发、无阻塞并发，请仔细体会这两句话的意思
 - 因为没有使用 synchronized，所以线程不会陷入阻塞，这是效率提升的因素之一
 - 但如果竞争激烈，可以想到重试必然频繁发生，反而效率会受影响

6.3 原子整数

J.U.C 并发包提供了：

- AtomicBoolean
- AtomicInteger
- AtomicLong

以 AtomicInteger 为例

```
AtomicInteger i = new AtomicInteger(0);

// 获取并自增 (i = 0, 结果 i = 1, 返回 0) , 类似于 i++
System.out.println(i.getAndIncrement());

// 自增并获取 (i = 1, 结果 i = 2, 返回 2) , 类似于 ++i
System.out.println(i.incrementAndGet());

// 自减并获取 (i = 2, 结果 i = 1, 返回 1) , 类似于 --i
System.out.println(i.decrementAndGet());

// 获取并自减 (i = 1, 结果 i = 0, 返回 1) , 类似于 i--
System.out.println(i.getAndDecrement());

// 获取并加值 (i = 0, 结果 i = 5, 返回 0)
System.out.println(i.getAndAdd(5));

// 加值并获取 (i = 5, 结果 i = 0, 返回 0)
System.out.println(i.addAndGet(-5));

// 获取并更新 (i = 0, p 为 i 的当前值, 结果 i = -2, 返回 0)
// 其中函数中的操作能保证原子, 但函数需要无副作用
System.out.println(i.getAndUpdate(p -> p - 2));

// 更新并获取 (i = -2, p 为 i 的当前值, 结果 i = 0, 返回 0)
// 其中函数中的操作能保证原子, 但函数需要无副作用
System.out.println(i.updateAndGet(p -> p + 2));

// 获取并计算 (i = 0, p 为 i 的当前值, x 为参数1, 结果 i = 10, 返回 0)
// 其中函数中的操作能保证原子, 但函数需要无副作用
// getAndUpdate 如果在 lambda 中引用了外部的局部变量, 要保证该局部变量是 final 的
// getAndAccumulate 可以通过 参数1 来引用外部的局部变量, 但因为其不在 lambda 中因此不必是 final
System.out.println(i.getAndAccumulate(10, (p, x) -> p + x));

// 计算并获取 (i = 10, p 为 i 的当前值, x 为参数1, 结果 i = 0, 返回 0)
// 其中函数中的操作能保证原子, 但函数需要无副作用
System.out.println(i.accumulateAndGet(-10, (p, x) -> p + x));
```

6.4 原子引用

为什么需要原子引用类型？

- AtomicReference
- AtomicMarkableReference
- AtomicStampedReference

有如下方法

```
public interface DecimalAccount {
    // 获取余额
    BigDecimal getBalance();

    // 取款
    void withdraw(BigDecimal amount);

    /**
     * 方法内会启动 1000 个线程，每个线程做 -10 元 的操作
     * 如果初始余额为 10000 那么正确的结果应当是 0
     */
    static void demo(DecimalAccount account) {
        List<Thread> ts = new ArrayList<>();
        for (int i = 0; i < 1000; i++) {
            ts.add(new Thread(() -> {
                account.withdraw(BigDecimal.TEN);
            }));
        }
        ts.forEach(Thread::start);
        ts.forEach(t -> {
            try {
                t.join();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        });
        System.out.println(account.getBalance());
    }
}
```

试着提供不同的 DecimalAccount 实现，实现安全的取款操作

不安全实现

```
class DecimalAccountUnsafe implements DecimalAccount {
    BigDecimal balance;

    public DecimalAccountUnsafe(BigDecimal balance) {
        this.balance = balance;
    }
}
```



```
@Override
public BigDecimal getBalance() {
    return balance;
}

@Override
public void withdraw(BigDecimal amount) {
    BigDecimal balance = this.getBalance();
    this.balance = balance.subtract(amount);
}
}
```

安全实现-使用锁

```
class DecimalAccountSafeLock implements DecimalAccount {
    private final Object lock = new Object();
    BigDecimal balance;

    public DecimalAccountSafeLock(BigDecimal balance) {
        this.balance = balance;
    }

    @Override
    public BigDecimal getBalance() {
        return balance;
    }

    @Override
    public void withdraw(BigDecimal amount) {
        synchronized (lock) {
            BigDecimal balance = this.getBalance();
            this.balance = balance.subtract(amount);
        }
    }
}
```

安全实现-使用 CAS

```
class DecimalAccountSafeCas implements DecimalAccount {
    AtomicReference<BigDecimal> ref;

    public DecimalAccountSafeCas(BigDecimal balance) {
        ref = new AtomicReference<>(balance);
    }

    @Override
```



```
public BigDecimal getBalance() {  
    return ref.get();  
}  
  
@Override  
public void withdraw(BigDecimal amount) {  
    while (true) {  
        BigDecimal prev = ref.get();  
        BigDecimal next = prev.subtract(amount);  
        if (ref.compareAndSet(prev, next)) {  
            break;  
        }  
    }  
}  
}
```

测试代码

```
DecimalAccount.demo(new DecimalAccountUnsafe(new BigDecimal("10000")));  
DecimalAccount.demo(new DecimalAccountSafeLock(new BigDecimal("10000")));  
DecimalAccount.demo(new DecimalAccountSafeCas(new BigDecimal("10000")));
```

运行结果

```
4310 cost: 425 ms  
0 cost: 285 ms  
0 cost: 274 ms
```

ABA 问题及解决

ABA 问题

```
static AtomicReference<String> ref = new AtomicReference<>("A");  
public static void main(String[] args) throws InterruptedException {  
    log.debug("main start...");  
    // 获取值 A  
    // 这个共享变量被它线程修改过？  
    String prev = ref.get();  
    other();  
    sleep(1);  
    // 尝试改为 C  
    log.debug("change A->C {}", ref.compareAndSet(prev, "C"));  
}  
  
private static void other() {  
    new Thread(() -> {  
        log.debug("change A->B {}", ref.compareAndSet(ref.get(), "B"));  
    }, "t1").start();  
    sleep(0.5);  
}
```




```
new Thread(() -> {
    log.debug("change B->A {}", ref.compareAndSet(ref.get(), "A"));
}, "t2").start();
}
```

输出

```
11:29:52.325 c.Test36 [main] - main start...
11:29:52.379 c.Test36 [t1] - change A->B true
11:29:52.879 c.Test36 [t2] - change B->A true
11:29:53.880 c.Test36 [main] - change A->C true
```

主线程仅能判断出共享变量的值与最初值 A 是否相同，不能感知到这种从 A 改为 B 又改回 A 的情况，如果主线程希望：

只要有其它线程【动过了】共享变量，那么自己的 cas 就算失败，这时，仅比较值是不够的，需要再加一个版本号

AtomicStampedReference

```
static AtomicStampedReference<String> ref = new AtomicStampedReference<>("A", 0);

public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    log.debug("main start...");
    // 获取值 A
    String prev = ref.getReference();
    // 获取版本号
    int stamp = ref.getStamp();
    log.debug("版本 {}", stamp);
    // 如果中间有其它线程干扰，发生了 ABA 现象
    other();
    sleep(1);
    // 尝试改为 C
    log.debug("change A->C {}", ref.compareAndSet(prev, "C", stamp, stamp + 1));
}

private static void other() {
    new Thread(() -> {
        log.debug("change A->B {}", ref.compareAndSet(ref.getReference(), "B",
            ref.getStamp(), ref.getStamp() + 1));

        log.debug("更新版本为 {}", ref.getStamp());
    }, "t1").start();
    sleep(0.5);
    new Thread(() -> {
        log.debug("change B->A {}", ref.compareAndSet(ref.getReference(), "A",
            ref.getStamp(), ref.getStamp() + 1));

        log.debug("更新版本为 {}", ref.getStamp());
    }, "t2").start();
}
```

输出为

```
15:41:34.891 c.Test36 [main] - main start...
15:41:34.894 c.Test36 [main] - 版本 0
15:41:34.956 c.Test36 [t1] - change A->B true
15:41:34.956 c.Test36 [t1] - 更新版本为 1
15:41:35.457 c.Test36 [t2] - change B->A true
15:41:35.457 c.Test36 [t2] - 更新版本为 2
15:41:36.457 c.Test36 [main] - change A->C false
```

AtomicStampedReference 可以给原子引用加上版本号，追踪原子引用整个的变化过程，如：A -> B -> A -> C，通过AtomicStampedReference，我们可以知道，引用变量中途被更改了几次。

但是有时候，并不关心引用变量更改了几次，只是单纯的关心**是否更改过**，所以就有了AtomicMarkableReference



AtomicMarkableReference

```
class GarbageBag {
    String desc;

    public GarbageBag(String desc) {
        this.desc = desc;
    }

    public void setDesc(String desc) {
        this.desc = desc;
    }
}
```



```
}

@Override
public String toString() {
    return super.toString() + " " + desc;
}
}
```

```
@Slf4j
public class TestABAAtomicMarkableReference {
    public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
        GarbageBag bag = new GarbageBag("装满了垃圾");
        // 参数2 mark 可以看作一个标记，表示垃圾袋满了
        AtomicMarkableReference<GarbageBag> ref = new AtomicMarkableReference<>(bag, true);

        log.debug("主线程 start...");
        GarbageBag prev = ref.getReference();
        log.debug(prev.toString());

        new Thread(() -> {
            log.debug("打扫卫生的线程 start...");
            bag.setDesc("空垃圾袋");
            while (!ref.compareAndSet(bag, bag, true, false)) {}
            log.debug(bag.toString());
        }).start();

        Thread.sleep(1000);
        log.debug("主线程想换一只新垃圾袋？");
        boolean success = ref.compareAndSet(prev, new GarbageBag("空垃圾袋"), true, false);
        log.debug("换了么？" + success);

        log.debug(ref.getReference().toString());
    }
}
```

输出

```
2019-10-13 15:30:09.264 [main] 主线程 start...
2019-10-13 15:30:09.270 [main] cn.itcast.GarbageBag@5f0fd5a0 装满了垃圾
2019-10-13 15:30:09.293 [Thread-1] 打扫卫生的线程 start...
2019-10-13 15:30:09.294 [Thread-1] cn.itcast.GarbageBag@5f0fd5a0 空垃圾袋
2019-10-13 15:30:10.294 [main] 主线程想换一只新垃圾袋？
2019-10-13 15:30:10.294 [main] 换了么？false
2019-10-13 15:30:10.294 [main] cn.itcast.GarbageBag@5f0fd5a0 空垃圾袋
```

可以注释掉打扫卫生线程代码，再观察输出

6.5 原子数组

- AtomicIntegerArray
- AtomicLongArray
- AtomicReferenceArray

有如下方法

```
/**
 * 参数1, 提供数组、可以是线程不安全数组或线程安全数组
 * 参数2, 获取数组长度的方法
 * 参数3, 自增方法, 回传 array, index
 * 参数4, 打印数组的方法
 */
// supplier 提供者 无中生有 ()->结果
// function 函数 一个参数一个结果 (参数)->结果 , BiFunction (参数1,参数2)->结果
// consumer 消费者 一个参数没结果 (参数)->void, BiConsumer (参数1,参数2)->
private static <T> void demo(
    Supplier<T> arraySupplier,
    Function<T, Integer> lengthFun,
    BiConsumer<T, Integer> putConsumer,
    Consumer<T> printConsumer ) {
    List<Thread> ts = new ArrayList<>();
    T array = arraySupplier.get();
    int length = lengthFun.apply(array);
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        // 每个线程对数组作 10000 次操作
        ts.add(new Thread(() -> {
            for (int j = 0; j < 10000; j++) {
                putConsumer.accept(array, j%length);
            }
        }));
    }

    ts.forEach(t -> t.start()); // 启动所有线程
    ts.forEach(t -> {
        try {
            t.join();
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }); // 等所有线程结束
    printConsumer.accept(array);
}
```

不安全的数组

```
demo(  
    ()->new int[10],  
    (array)->array.length,  
    (array, index) -> array[index]++,  
    array-> System.out.println(Arrays.toString(array))  
);
```

结果

```
[9870, 9862, 9774, 9697, 9683, 9678, 9679, 9668, 9680, 9698]
```

安全的数组

```
demo(  
    ()-> new AtomicIntegerArray(10),  
    (array) -> array.length(),  
    (array, index) -> array.getAndIncrement(index),  
    array -> System.out.println(array)  
);
```

结果

```
[10000, 10000, 10000, 10000, 10000, 10000, 10000, 10000, 10000, 10000]
```

6.6 字段更新器

- AtomicReferenceFieldUpdater // 域 字段
- AtomicIntegerFieldUpdater
- AtomicLongFieldUpdater

利用字段更新器，可以针对对象的某个域（Field）进行原子操作，只能配合 volatile 修饰的字段使用，否则会出现异常

```
Exception in thread "main" java.lang.IllegalArgumentException: Must be volatile type
```

```
public class Test5 {  
  
    private volatile int field;  
  
    public static void main(String[] args) {  
  
        AtomicIntegerFieldUpdater fieldUpdater =
```

```
AtomicIntegerFieldUpdater.newUpdater(Test5.class, "field");

    Test5 test5 = new Test5();
    fieldUpdater.compareAndSet(test5, 0, 10);

    // 修改成功 field = 10
    System.out.println(test5.field);

    // 修改成功 field = 20
    fieldUpdater.compareAndSet(test5, 10, 20);
    System.out.println(test5.field);

    // 修改失败 field = 20
    fieldUpdater.compareAndSet(test5, 10, 30);
    System.out.println(test5.field);
}
}
```

输出

```
10
20
20
```

6.7 原子累加器

累加器性能比较

```
private static <T> void demo(Supplier<T> adderSupplier, Consumer<T> action) {
    T adder = adderSupplier.get();

    long start = System.nanoTime();

    List<Thread> ts = new ArrayList<>();
    // 4 个线程，每人累加 50 万
    for (int i = 0; i < 40; i++) {
        ts.add(new Thread(() -> {
            for (int j = 0; j < 500000; j++) {
                action.accept(adder);
            }
        }));
    }
    ts.forEach(t -> t.start());
    ts.forEach(t -> {
        try {
            t.join();
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    });
}
```

```
    }  
});  
  
long end = System.nanoTime();  
System.out.println(adder + " cost:" + (end - start)/1000_000);  
}
```

比较 AtomicLong 与 LongAdder

```
for (int i = 0; i < 5; i++) {  
    demo(() -> new LongAdder(), adder -> adder.increment());  
}  
  
for (int i = 0; i < 5; i++) {  
    demo(() -> new AtomicLong(), adder -> adder.getAndIncrement());  
}
```

输出

```
1000000 cost:43  
1000000 cost:9  
1000000 cost:7  
1000000 cost:7  
1000000 cost:7  
  
1000000 cost:31  
1000000 cost:27  
1000000 cost:28  
1000000 cost:24  
1000000 cost:22
```

性能提升的原因很简单，就是在有竞争时，设置多个累加单元，Thread-0 累加 Cell[0]，而 Thread-1 累加 Cell[1]... 最后将结果汇总。这样它们在累加时操作的不同的 Cell 变量，因此减少了 CAS 重试失败，从而提高性能。

* 源码之 LongAdder

LongAdder 是并发大师 @author Doug Lea (大哥李) 的作品，设计的非常精巧

LongAdder 类有几个关键域

```
// 累加单元数组，懒惰初始化  
transient volatile Cell[] cells;  
  
// 基础值，如果没有竞争，则用 cas 累加这个域  
transient volatile long base;  
  
// 在 cells 创建或扩容时，置为 1，表示加锁  
transient volatile int cellsBusy;
```

cas 锁

```
// 不要用于实践!!!
public class LockCas {
    private AtomicInteger state = new AtomicInteger(0);

    public void lock() {
        while (true) {
            if (state.compareAndSet(0, 1)) {
                break;
            }
        }
    }

    public void unlock() {
        log.debug("unlock...");
        state.set(0);
    }
}
```

测试

```
LockCas lock = new LockCas();
new Thread(() -> {
    log.debug("begin...");
    lock.lock();
    try {
        log.debug("lock...");
        sleep(1);
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}).start();

new Thread(() -> {
    log.debug("begin...");
    lock.lock();
    try {
        log.debug("lock...");
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}).start();
```

输出


```
18:27:07.198 c.Test42 [Thread-0] - begin...
18:27:07.202 c.Test42 [Thread-0] - lock...
18:27:07.198 c.Test42 [Thread-1] - begin...
18:27:08.204 c.Test42 [Thread-0] - unlock...
18:27:08.204 c.Test42 [Thread-1] - lock...
18:27:08.204 c.Test42 [Thread-1] - unlock...
```

* 原理之伪共享

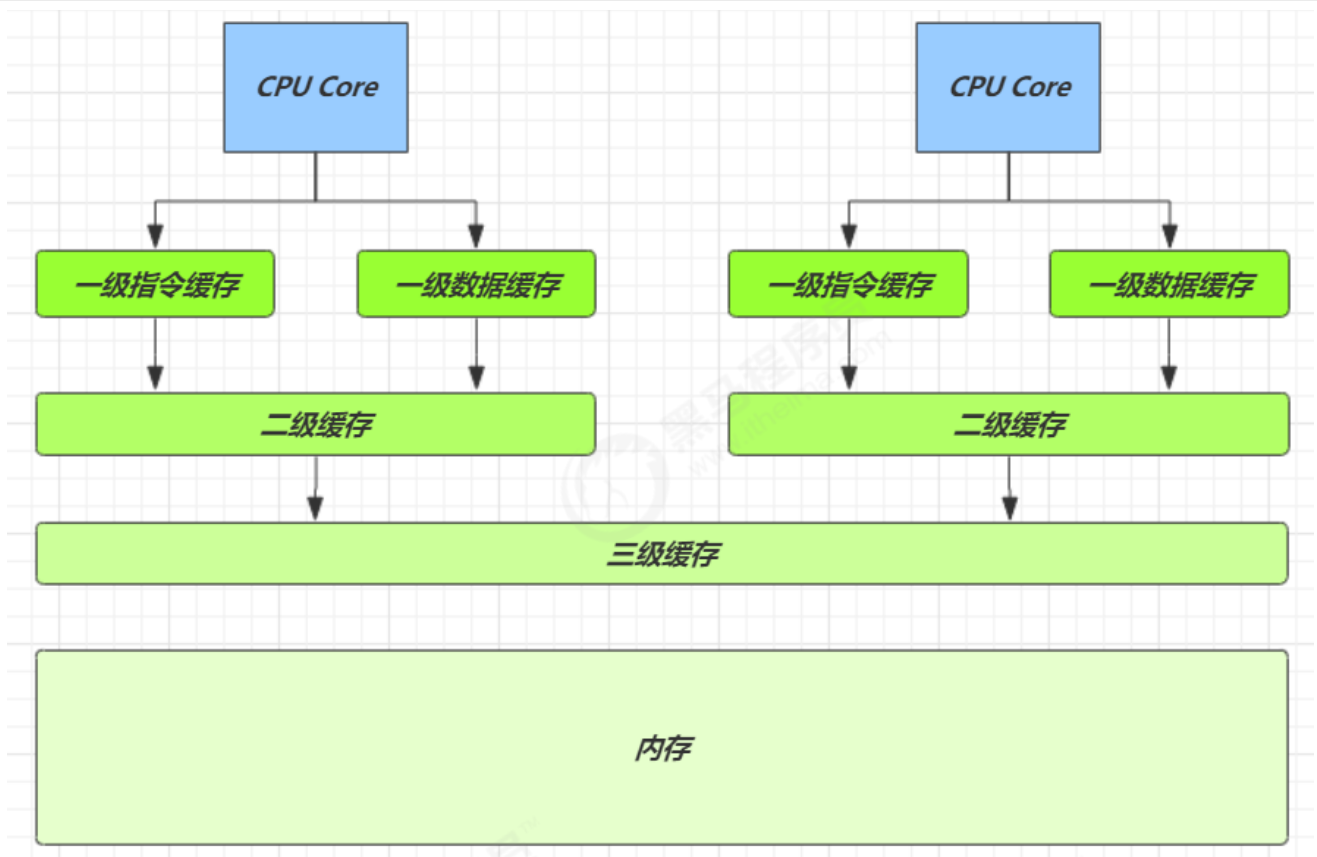
其中 Cell 即为累加单元

```
// 防止缓存行伪共享
@sun.misc.Contended
static final class Cell {
    volatile long value;
    Cell(long x) { value = x; }

    // 最重要的方法，用来 cas 方式进行累加，prev 表示旧值，next 表示新值
    final boolean cas(long prev, long next) {
        return UNSAFE.compareAndSwapLong(this, valueOffset, prev, next);
    }
    // 省略不重要代码
}
```

得从缓存说起

缓存与内存的速度比较



| 从 cpu 到 | 大约需要的时钟周期 |
|---------|-------------------------------|
| 寄存器 | 1 cycle (4GHz 的 CPU 约为0.25ns) |
| L1 | 3~4 cycle |
| L2 | 10~20 cycle |
| L3 | 40~45 cycle |
| 内存 | 120~240 cycle |

因为 CPU 与 内存的速度差异很大，需要靠预读数据至缓存来提升效率。

而缓存以缓存行为单位，每个缓存行对应着一块内存，一般是 64 byte (8 个 long)

缓存的加入会造成数据副本的产生，即同一份数据会缓存在不同核心的缓存行中

CPU 要保证数据的一致性，如果某个 CPU 核心更改了数据，其它 CPU 核心对应的整个缓存行必须失效



因为 Cell 是数组形式，在内存中是连续存储的，一个 Cell 为 24 字节（16 字节的对象头和 8 字节的 value），因此缓存行可以存下 2 个的 Cell 对象。这样问题来了：

- Core-0 要修改 Cell[0]
- Core-1 要修改 Cell[1]

无论谁修改成功，都会导致对方 Core 的缓存行失效，比如 Core-0 中 Cell[0]=6000, Cell[1]=8000 要累加 Cell[0]=6001, Cell[1]=8000，这时会让 Core-1 的缓存行失效

@sun.misc.Contended 用来解决这个问题，它的原理是在使用此注解的对象或字段的前后各增加 128 字节大小的 padding，从而让 CPU 将对象预读至缓存时占用不同的缓存行，这样，不会造成对方缓存行的失效



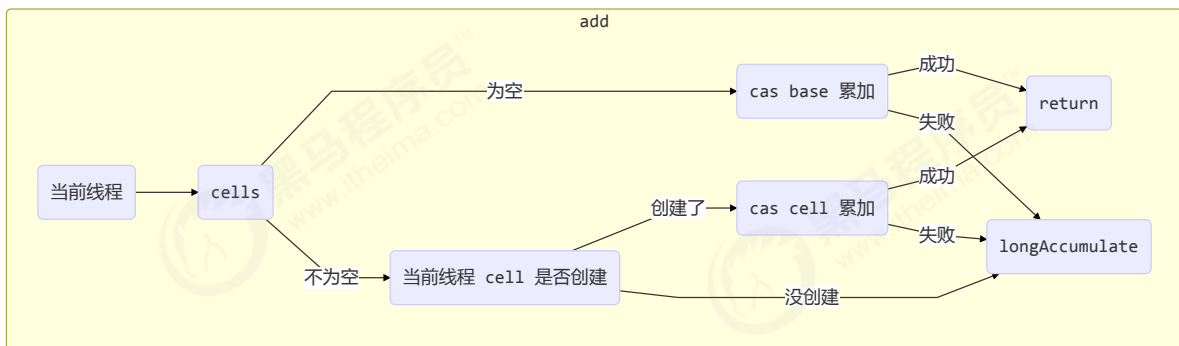
累加主要调用下面的方法

```
public void add(long x) {  
    // as 为累加单元数组  
    // b 为基础值  
    // x 为累加值  
    Cell[] as; long b, v; int m; Cell a;  
    // 进入 if 的两个条件  
    // 1. as 有值，表示已经发生过竞争，进入 if
```



```
// 2. cas 给 base 累加时失败了，表示 base 发生了竞争，进入 if
if ((as = cells) != null || !casBase(b = base, b + x)) {
    // uncontended 表示 cell 没有竞争
    boolean uncontended = true;
    if (
        // as 还没有创建
        as == null || (m = as.length - 1) < 0 ||
        // 当前线程对应的 cell 还没有
        (a = as[getProbe() & m]) == null ||
        // cas 给当前线程的 cell 累加失败 uncontended=false ( a 为当前线程的 cell )
        !(uncontended = a.cas(v = a.value, v + x))
    ) {
        // 进入 cell 数组创建、cell 创建的流程
        longAccumulate(x, null, uncontended);
    }
}
}
```

add 流程图

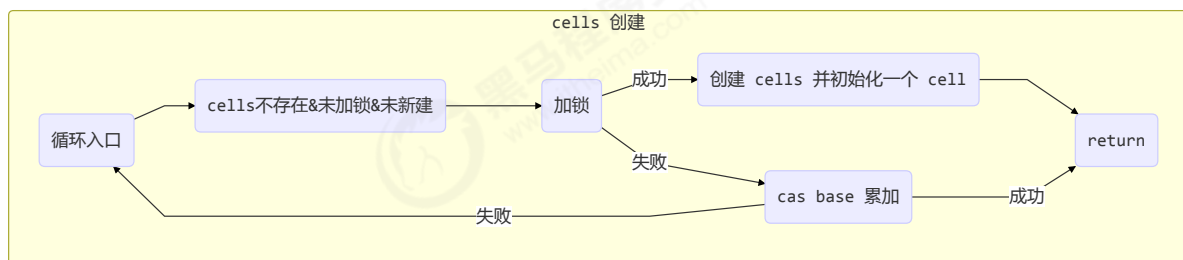


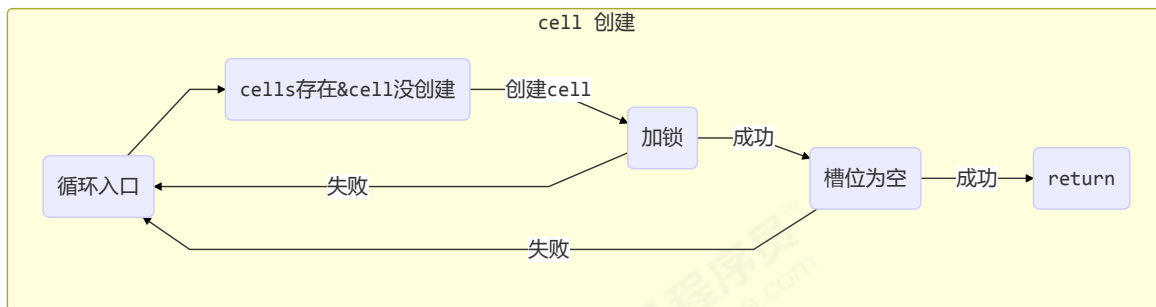
```
final void longAccumulate(long x, LongBinaryOperator fn,
                          boolean wasUncontended) {
    int h;
    // 当前线程还没有对应的 cell，需要随机生成一个 h 值用来将当前线程绑定到 cell
    if ((h = getProbe()) == 0) {
        // 初始化 probe
        ThreadLocalRandom.current();
        // h 对应新的 probe 值，用来对应 cell
        h = getProbe();
        wasUncontended = true;
    }
    // collide 为 true 表示需要扩容
    boolean collide = false;
    for (;;) {
        Cell[] as; Cell a; int n; long v;
        // 已经有了 cells
        if ((as = cells) != null && (n = as.length) > 0) {
            // 还没有 cell
```



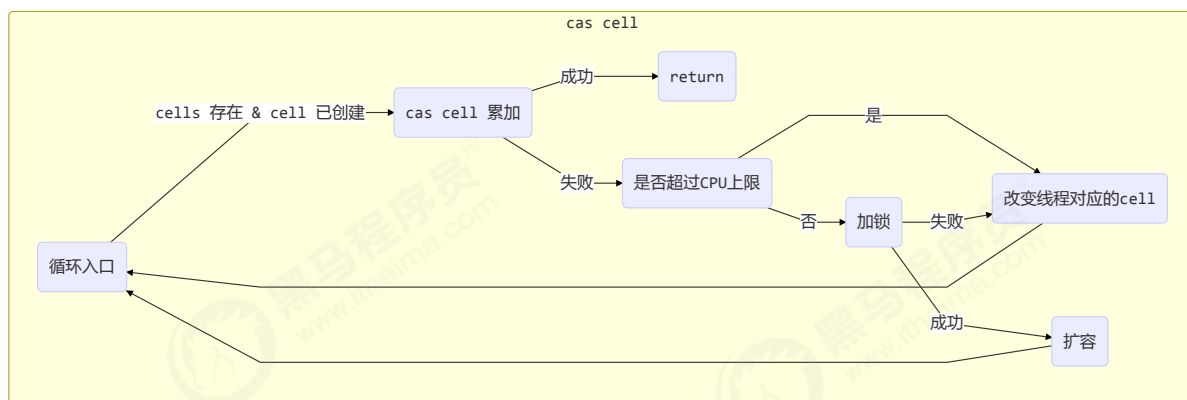
```
if ((a = as[(n - 1) & h]) == null) {
    // 为 cellsBusy 加锁, 创建 cell, cell 的初始累加值为 x
    // 成功则 break, 否则继续 continue 循环
}
// 有竞争, 改变线程对应的 cell 来重试 cas
else if (!wasUncontended)
    wasUncontended = true;
// cas 尝试累加, fn 配合 LongAccumulator 不为 null, 配合 LongAdder 为 null
else if (a.cas(v = a.value, ((fn == null) ? v + x : fn.applyAsLong(v, x))))
    break;
// 如果 cells 长度已经超过了最大长度, 或者已经扩容, 改变线程对应的 cell 来重试 cas
else if (n >= NCPU || cells != as)
    collide = false;
// 确保 collide 为 false 进入此分支, 就不会进入下面的 else if 进行扩容了
else if (!collide)
    collide = true;
// 加锁
else if (cellsBusy == 0 && casCellsBusy()) {
    // 加锁成功, 扩容
    continue;
}
// 改变线程对应的 cell
h = advanceProbe(h);
}
// 还没有 cells, 尝试给 cellsBusy 加锁
else if (cellsBusy == 0 && cells == as && casCellsBusy()) {
    // 加锁成功, 初始化 cells, 最开始长度为 2, 并填充一个 cell
    // 成功则 break;
}
// 上两种情况失败, 尝试给 base 累加
else if (casBase(v = base, ((fn == null) ? v + x : fn.applyAsLong(v, x))))
    break;
}
}
```

longAccumulate 流程图





每个线程刚进入 longAccumulate 时，会尝试对应一个 cell 对象（找到一个坑位）



获取最终结果通过 sum 方法

```
public long sum() {  
    Cell[] as = cells; Cell a;  
    long sum = base;  
    if (as != null) {  
        for (int i = 0; i < as.length; ++i) {  
            if ((a = as[i]) != null)  
                sum += a.value;  
        }  
    }  
    return sum;  
}
```

6.8 Unsafe

概述

Unsafe 对象提供了非常底层的，操作内存、线程的方法，Unsafe 对象不能直接调用，只能通过反射获得

```
public class UnsafeAccessor {
    static Unsafe unsafe;

    static {
        try {
            Field theUnsafe = Unsafe.class.getDeclaredField("theUnsafe");
            theUnsafe.setAccessible(true);
            unsafe = (Unsafe) theUnsafe.get(null);
        } catch (NoSuchFieldException | IllegalAccessException e) {
            throw new Error(e);
        }
    }

    static Unsafe getUnsafe() {
        return unsafe;
    }
}
```

Unsafe CAS 操作

```
@Data
class Student {
    volatile int id;
    volatile String name;
}
```

```
Unsafe unsafe = UnsafeAccessor.getUnsafe();
Field id = Student.class.getDeclaredField("id");
Field name = Student.class.getDeclaredField("name");
// 获得成员变量的偏移量
long idOffset = UnsafeAccessor.unsafe.objectFieldOffset(id);
long nameOffset = UnsafeAccessor.unsafe.objectFieldOffset(name);

Student student = new Student();
// 使用 cas 方法替换成员变量的值
UnsafeAccessor.unsafe.compareAndSwapInt(student, idOffset, 0, 20); // 返回 true
UnsafeAccessor.unsafe.compareAndSwapObject(student, nameOffset, null, "张三"); // 返回 true

System.out.println(student);
```

输出

```
Student(id=20, name=张三)
```

使用自定义的 AtomicData 实现之前线程安全的原子整数 Account 实现

```
class AtomicData {
    private volatile int data;
    static final Unsafe unsafe;
    static final long DATA_OFFSET;

    static {
        unsafe = UnsafeAccessor.getUnsafe();
        try {
            // data 属性在 DataContainer 对象中的偏移量，用于 Unsafe 直接访问该属性
            DATA_OFFSET = unsafe.objectFieldOffset(AtomicData.class.getDeclaredField("data"));
        } catch (NoSuchFieldException e) {
            throw new Error(e);
        }
    }

    public AtomicData(int data) {
        this.data = data;
    }

    public void decrease(int amount) {
        int oldValue;
        while(true) {
            // 获取共享变量旧值，可以在这一行加入断点，修改 data 调试来加深理解
            oldValue = data;
            // cas 尝试修改 data 为 旧值 + amount，如果期间旧值被别的线程改了，返回 false
            if (unsafe.compareAndSwapInt(this, DATA_OFFSET, oldValue, oldValue - amount)) {
                return;
            }
        }
    }

    public int getData() {
        return data;
    }
}
```

Account 实现


```
Account.demo(new Account() {  
    AtomicData atomicData = new AtomicData(10000);  
    @Override  
    public Integer getBalance() {  
        return atomicData.getData();  
    }  
  
    @Override  
    public void withdraw(Integer amount) {  
        atomicData.decrease(amount);  
    }  
});
```

本章小结

- CAS 与 volatile
- API
 - 原子整数
 - 原子引用
 - 原子数组
 - 字段更新器
 - 原子累加器
- Unsafe
- * 原理方面
 - LongAdder 源码
 - 伪共享

7. 共享模型之不可变

本章内容

- 不可变类的使用
- 不可变类设计
- 无状态类设计

7.1 日期转换的问题

问题提出

下面的代码在运行时，由于 SimpleDateFormat 不是线程安全的

```
SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd");
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    new Thread(() -> {
        try {
            log.debug("{} ", sdf.parse("1951-04-21"));
        } catch (Exception e) {
            log.error("{} ", e);
        }
    }).start();
}
```

有很大几率出现 java.lang.NumberFormatException 或者出现不正确的日期解析结果，例如：

```
19:10:40.859 [Thread-2] c.TestDateParse - {}
java.lang.NumberFormatException: For input string: ""
    at java.lang.NumberFormatException.forInputString(NumberFormatException.java:65)
    at java.lang.Long.parseLong(Long.java:601)
    at java.lang.Long.parseLong(Long.java:631)
    at java.text.DigitList.getLong(DigitList.java:195)
    at java.text.DecimalFormat.parse(DecimalFormat.java:2084)
    at java.text.SimpleDateFormat.subParse(SimpleDateFormat.java:2162)
    at java.text.SimpleDateFormat.parse(SimpleDateFormat.java:1514)
    at java.text.DateFormat.parse(DateFormat.java:364)
    at cn.itcast.n7.TestDateParse.lambda$test1$0(TestDateParse.java:18)
    at java.lang.Thread.run(Thread.java:748)
19:10:40.859 [Thread-1] c.TestDateParse - {}
java.lang.NumberFormatException: empty String
    at sun.misc.FloatingDecimal.readJavaFormatString(FloatingDecimal.java:1842)
    at sun.misc.FloatingDecimal.parseDouble(FloatingDecimal.java:110)
    at java.lang.Double.parseDouble(Double.java:538)
    at java.text.DigitList.getDouble(DigitList.java:169)
    at java.text.DecimalFormat.parse(DecimalFormat.java:2089)
    at java.text.SimpleDateFormat.subParse(SimpleDateFormat.java:2162)
    at java.text.SimpleDateFormat.parse(SimpleDateFormat.java:1514)
    at java.text.DateFormat.parse(DateFormat.java:364)
    at cn.itcast.n7.TestDateParse.lambda$test1$0(TestDateParse.java:18)
    at java.lang.Thread.run(Thread.java:748)
19:10:40.857 [Thread-8] c.TestDateParse - Sat Apr 21 00:00:00 CST 1951
19:10:40.857 [Thread-9] c.TestDateParse - Sat Apr 21 00:00:00 CST 1951
19:10:40.857 [Thread-6] c.TestDateParse - Sat Apr 21 00:00:00 CST 1951
19:10:40.857 [Thread-4] c.TestDateParse - Sat Apr 21 00:00:00 CST 1951
19:10:40.857 [Thread-5] c.TestDateParse - Mon Apr 21 00:00:00 CST 178960645
19:10:40.857 [Thread-0] c.TestDateParse - Sat Apr 21 00:00:00 CST 1951
19:10:40.857 [Thread-7] c.TestDateParse - Sat Apr 21 00:00:00 CST 1951
19:10:40.857 [Thread-3] c.TestDateParse - Sat Apr 21 00:00:00 CST 1951
```

思路 - 同步锁

这样虽能解决问题，但带来的是性能上的损失，并不算很好：

```
SimpleDateFormat sdf = new SimpleDateFormat("yyyy-MM-dd");
for (int i = 0; i < 50; i++) {
    new Thread(() -> {
        synchronized (sdf) {
            try {
                log.debug("{} ", sdf.parse("1951-04-21"));
            } catch (Exception e) {
                log.error("{} ", e);
            }
        }
    }).start();
}
```

思路 - 不可变

如果一个对象在不能够修改其内部状态（属性），那么它就是线程安全的，因为不存在并发修改啊！这样的对象在Java中有很多，例如在Java 8后，提供了一个新的日期格式化类：

```
DateTimeFormatter dtf = DateTimeFormatter.ofPattern("yyyy-MM-dd");
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    new Thread(() -> {
        LocalDate date = dtf.parse("2018-10-01", LocalDate::from);
        log.debug("{} ", date);
    }).start();
}
```

可以看 `DateTimeFormatter` 的文档：

```
@implSpec
This class is immutable and thread-safe.
```

不可变对象，实际是另一种避免竞争的方式。

7.2 不可变设计

另一个大家更为熟悉的 `String` 类也是不可变的，以它为例，说明一下不可变设计的要素

```
public final class String
    implements java.io.Serializable, Comparable<String>, CharSequence {
    /** The value is used for character storage. */
    private final char value[];

    /** Cache the hash code for the string */
    private int hash; // Default to 0

    // ...

}
```

final 的使用

发现该类、类中所有属性都是 final 的

- 属性用 final 修饰保证了该属性是只读的，不能修改
- 类用 final 修饰保证了该类中的方法不能被覆盖，防止子类无意间破坏不可变性

保护性拷贝

但有同学会说，使用字符串时，也有一些跟修改相关的方法啊，比如 substring 等，那么下面就看一看这些方法是如何实现的，就以 substring 为例：

```
public String substring(int beginIndex) {  
    if (beginIndex < 0) {  
        throw new StringIndexOutOfBoundsException(beginIndex);  
    }  
    int subLen = value.length - beginIndex;  
    if (subLen < 0) {  
        throw new StringIndexOutOfBoundsException(subLen);  
    }  
    return (beginIndex == 0) ? this : new String(value, beginIndex, subLen);  
}
```

发现其内部是调用 String 的构造方法创建了一个新字符串，再进入这个构造看看，是否对 final char[] value 做出了修改：

```
public String(char value[], int offset, int count) {  
    if (offset < 0) {  
        throw new StringIndexOutOfBoundsException(offset);  
    }  
    if (count <= 0) {  
        if (count < 0) {  
            throw new StringIndexOutOfBoundsException(count);  
        }  
        if (offset <= value.length) {  
            this.value = "".value;  
            return;  
        }  
    }  
    if (offset > value.length - count) {  
        throw new StringIndexOutOfBoundsException(offset + count);  
    }  
    this.value = Arrays.copyOfRange(value, offset, offset+count);  
}
```

结果发现也没有，构造新字符串对象时，会生成新的 char[] value，对内容进行复制。这种通过创建副本对象来避免共享的手段称之为【保护性拷贝（defensive copy）】

* 模式之享元

* 原理之 final

7.3 无状态

在 web 阶段学习时，设计 Servlet 时为了保证其线程安全，都会有这样的建议，不要为 Servlet 设置成员变量，这种没有任何成员变量的类是线程安全的

因为成员变量保存的数据也可以称为状态信息，因此没有成员变量就称之为【无状态】

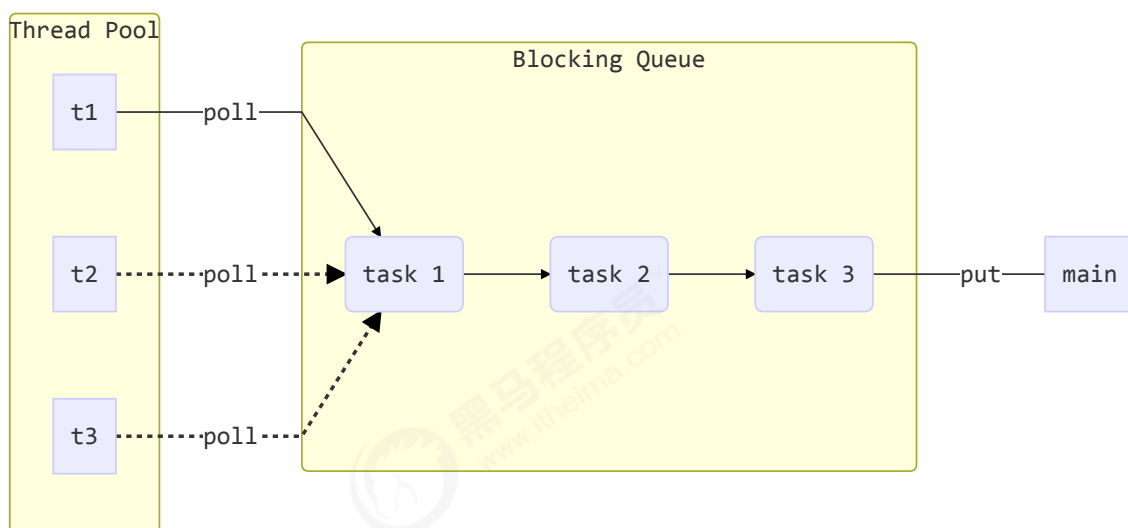
本章小结

- 不可变类使用
- 不可变类设计
- * 原理方面
 - final
- 模式方面
 - 享元

8. 共享模型之工具

8.1 线程池

1. 自定义线程池



步骤1：自定义拒绝策略接口



```
@FunctionalInterface // 拒绝策略
interface RejectPolicy<T> {
    void reject(BlockingQueue<T> queue, T task);
}
```

步骤2：自定义任务队列

```
class BlockingQueue<T> {
    // 1. 任务队列
    private Deque<T> queue = new ArrayDeque<>();

    // 2. 锁
    private ReentrantLock lock = new ReentrantLock();

    // 3. 生产者条件变量
    private Condition fullWaitSet = lock.newCondition();

    // 4. 消费者条件变量
    private Condition emptyWaitSet = lock.newCondition();

    // 5. 容量
    private int capacity;

    public BlockingQueue(int capacity) {
        this.capacity = capacity;
    }

    // 带超时阻塞获取
    public T poll(long timeout, TimeUnit unit) {
        lock.lock();
        try {
            // 将 timeout 统一转换为 纳秒
            long nanos = unit.toNanos(timeout);
            while (queue.isEmpty()) {
                try {
                    // 返回值是剩余时间
                    if (nanos <= 0) {
                        return null;
                    }
                    nanos = emptyWaitSet.awaitNanos(nanos);
                } catch (InterruptedException e) {
                    e.printStackTrace();
                }
            }
            T t = queue.removeFirst();
            fullWaitSet.signal();
            return t;
        } finally {
            lock.unlock();
        }
    }
}
```



```
}

// 阻塞获取
public T take() {
    lock.lock();
    try {
        while (queue.isEmpty()) {
            try {
                emptyWaitSet.await();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
        T t = queue.removeFirst();
        fullWaitSet.signal();
        return t;
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}

// 阻塞添加
public void put(T task) {
    lock.lock();
    try {
        while (queue.size() == capacity) {
            try {
                log.debug("等待加入任务队列 {} ...", task);
                fullWaitSet.await();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
        log.debug("加入任务队列 {}", task);
        queue.addLast(task);
        emptyWaitSet.signal();
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}

// 带超时时间阻塞添加
public boolean offer(T task, long timeout, TimeUnit timeUnit) {
    lock.lock();
    try {
        long nanos = timeUnit.toNanos(timeout);
        while (queue.size() == capacity) {
            try {
                if(nanos <= 0) {
                    return false;
                }
                log.debug("等待加入任务队列 {} ...", task);

                nanos = fullWaitSet.awaitNanos(nanos);
            }
        }
    }
}
```



```
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
    log.debug("加入任务队列 {}", task);
    queue.addLast(task);
    emptyWaitSet.signal();
    return true;
} finally {
    lock.unlock();
}
}

public int size() {
    lock.lock();
    try {
        return queue.size();
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}

public void tryPut(RejectPolicy<T> rejectPolicy, T task) {
    lock.lock();
    try {
        // 判断队列是否满
        if(queue.size() == capacity) {
            rejectPolicy.reject(this, task);
        } else { // 有空闲
            log.debug("加入任务队列 {}", task);
            queue.addLast(task);
            emptyWaitSet.signal();
        }
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}
}
```

步骤3：自定义线程池

```
class ThreadPool {
    // 任务队列
    private BlockingQueue<Runnable> taskQueue;

    // 线程集合
    private HashSet<Worker> workers = new HashSet<>();

    // 核心线程数
    private int coreSize;

    // 获取任务时的超时时间
```




```
private long timeout;

private TimeUnit timeUnit;

private RejectPolicy<Runnable> rejectPolicy;

// 执行任务
public void execute(Runnable task) {
    // 当任务数没有超过 coreSize 时，直接交给 worker 对象执行
    // 如果任务数超过 coreSize 时，加入任务队列暂存
    synchronized (workers) {
        if(workers.size() < coreSize) {
            Worker worker = new Worker(task);
            log.debug("新增 worker{}", {}, worker, task);
            workers.add(worker);
            worker.start();
        } else {
            taskQueue.put(task);
            // 1) 死等
            // 2) 带超时等待
            // 3) 让调用者放弃任务执行
            // 4) 让调用者抛出异常
            // 5) 让调用者自己执行任务
            taskQueue.tryPut(rejectPolicy, task);
        }
    }
}

public ThreadPool(int coreSize, long timeout, TimeUnit timeUnit, int queueCapacity,
RejectPolicy<Runnable> rejectPolicy) {
    this.coreSize = coreSize;
    this.timeout = timeout;
    this.timeUnit = timeUnit;
    this.taskQueue = new BlockingQueue<>(queueCapacity);
    this.rejectPolicy = rejectPolicy;
}

class Worker extends Thread{
    private Runnable task;

    public Worker(Runnable task) {
        this.task = task;
    }

    @Override
    public void run() {
        // 执行任务
        // 1) 当 task 不为空，执行任务
        // 2) 当 task 执行完毕，紧接着从任务队列获取任务并执行
        while(task != null || (task = taskQueue.take()) != null) {
            while(task != null || (task = taskQueue.poll(timeout, timeUnit)) != null) {
                try {
                    log.debug("正在执行...{}", task);
                }
            }
        }
    }
}
```

```
        task.run();
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    } finally {
        task = null;
    }
}
synchronized (workers) {
    log.debug("worker 被移除{}", this);
    workers.remove(this);
}
}
}
```

步骤4：测试

```
public static void main(String[] args) {
    ThreadPool threadPool = new ThreadPool(1,
        1000, TimeUnit.MILLISECONDS, 1, (queue, task)->{
        // 1. 死等
        queue.put(task);
        // 2) 带超时等待
        queue.offer(task, 1500, TimeUnit.MILLISECONDS);
        // 3) 让调用者放弃任务执行
        log.debug("放弃{}", task);
        // 4) 让调用者抛出异常
        throw new RuntimeException("任务执行失败 " + task);
        // 5) 让调用者自己执行任务
        task.run();
    });
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        int j = i;
        threadPool.execute(() -> {
            try {
                Thread.sleep(1000L);
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
            log.debug("{} ", j);
        });
    }
}
```

2. ThreadPoolExecutor



1) 线程池状态

ThreadPoolExecutor 使用 int 的高 3 位来表示线程池状态，低 29 位表示线程数量

| 状态名 | 高 3 位 | 接收新任务 | 处理阻塞队列任务 | 说明 |
|------------|-------|-------|----------|------------------------|
| RUNNING | 111 | Y | Y | |
| SHUTDOWN | 000 | N | Y | 不会接收新任务，但会处理阻塞队列剩余任务 |
| STOP | 001 | N | N | 会中断正在执行的任务，并抛弃阻塞队列任务 |
| TIDYING | 010 | - | - | 任务全执行完毕，活动线程为 0 即将进入终结 |
| TERMINATED | 011 | - | - | 终结状态 |

从数字上比较，TERMINATED > TIDYING > STOP > SHUTDOWN > RUNNING

这些信息存储在一个原子变量 ctl 中，目的是将线程池状态与线程个数合二为一，这样就可以用一次 cas 原子操作进行赋值

```
// c 为旧值，ctlOf 返回结果为新值
ctl.compareAndSet(c, ctlOf(targetState, workerCountOf(c)));

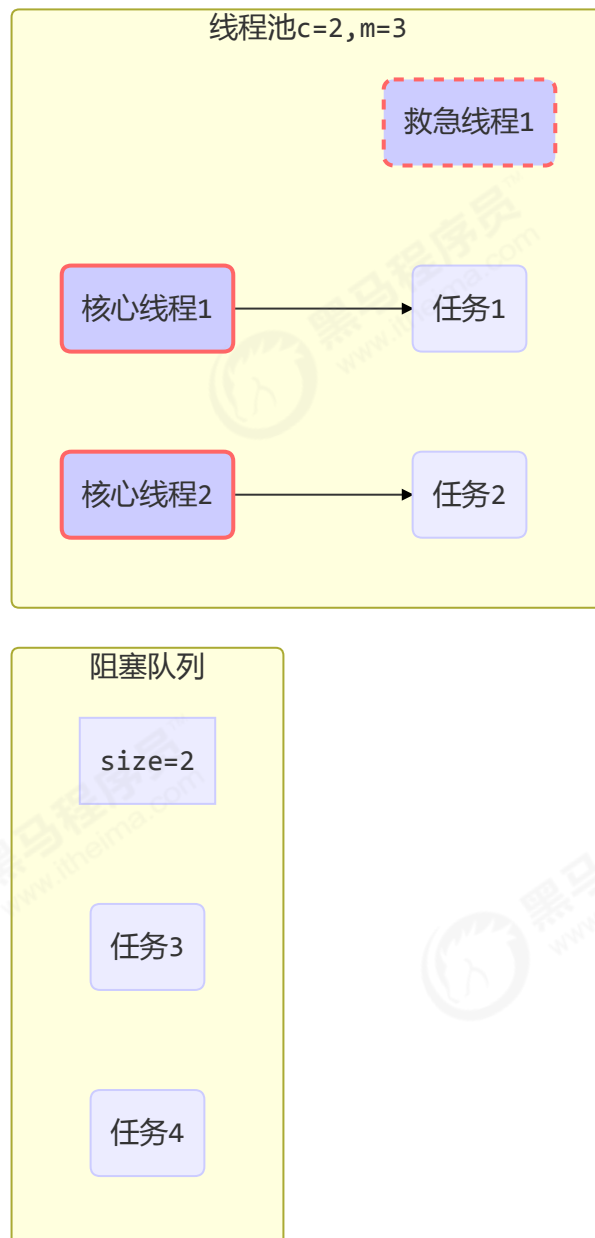
// rs 为高 3 位代表线程池状态，wc 为低 29 位代表线程个数，ctl 是合并它们
private static int ctlOf(int rs, int wc) { return rs | wc; }
```

2) 构造方法

```
public ThreadPoolExecutor(int corePoolSize,  
                           int maximumPoolSize,  
                           long keepAliveTime,  
                           TimeUnit unit,  
                           BlockingQueue<Runnable> workQueue,  
                           ThreadFactory threadFactory,  
                           RejectedExecutionHandler handler)
```

- corePoolSize 核心线程数目 (最多保留的线程数)
- maximumPoolSize 最大线程数目
- keepAliveTime 生存时间 - 针对救急线程
- unit 时间单位 - 针对救急线程
- workQueue 阻塞队列
- threadFactory 线程工厂 - 可以为线程创建时起个好名字
- handler 拒绝策略

工作方式：



- 线程池中刚开始没有线程，当一个任务提交给线程池后，线程池会创建一个新线程来执行任务。
- 当线程数达到 `corePoolSize` 并没有线程空闲，这时再加入任务，新加的任务会被加入 `workQueue` 队列排队，直到有空闲的线程。
- 如果队列选择了有界队列，那么任务超过了队列大小时，会创建 `maximumPoolSize - corePoolSize` 数目的线程来救急。
- 如果线程到达 `maximumPoolSize` 仍然有新任务这时会执行拒绝策略。拒绝策略 jdk 提供了 4 种实现，其它著名框架也提供了实现
 - `AbortPolicy` 让调用者抛出 `RejectedExecutionException` 异常，这是默认策略

- CallerRunsPolicy 让调用者运行任务
 - DiscardPolicy 放弃本次任务
 - DiscardOldestPolicy 放弃队列中最早的任务，本任务取而代之
 - Dubbo 的实现，在抛出 RejectedExecutionException 异常之前会记录日志，并 dump 线程栈信息，方便定位问题
 - Netty 的实现，是创建一个新线程来执行任务
 - ActiveMQ 的实现，带超时等待（60s）尝试放入队列，类似我们之前自定义的拒绝策略
 - PinPoint 的实现，它使用了一个拒绝策略链，会逐一尝试策略链中每种拒绝策略
- 当高峰过去后，超过corePoolSize 的救急线程如果一段时间没有任务做，需要结束节省资源，这个时间由 keepAliveTime 和 unit 来控制。



根据这个构造方法，JDK Executors 类中提供了众多工厂方法来创建各种用途的线程池

3) newFixedThreadPool

```
public static ExecutorService newFixedThreadPool(int nThreads) {
    return new ThreadPoolExecutor(nThreads, nThreads,
        0L, TimeUnit.MILLISECONDS,
        new LinkedBlockingQueue<Runnable>());
}
```

特点

- 核心线程数 == 最大线程数（没有救急线程被创建），因此也无需超时时间
- 阻塞队列是无界的，可以放任意数量的任务

评价 适用于任务量已知，相对耗时的任务

4) newCachedThreadPool

```
public static ExecutorService newCachedThreadPool() {
    return new ThreadPoolExecutor(0, Integer.MAX_VALUE,
        60L, TimeUnit.SECONDS,
        new SynchronousQueue<Runnable>());
}
```

特点

- 核心线程数是 0，最大线程数是 Integer.MAX_VALUE，救急线程的空闲生存时间是 60s，意味着
 - 全部都是救急线程（60s 后可以回收）

- 救急线程可以无限创建
- 队列采用了 SynchronousQueue 实现特点是，它没有容量，没有线程来取是放不进去的（一手交钱、一手交货）

```
SynchronousQueue<Integer> integers = new SynchronousQueue<>();
new Thread(() -> {
    try {
        log.debug("putting {} ", 1);
        integers.put(1);
        log.debug("{} putted...", 1);

        log.debug("putting...{} ", 2);
        integers.put(2);
        log.debug("{} putted...", 2);
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}, "t1").start();

sleep(1);

new Thread(() -> {
    try {
        log.debug("taking {}", 1);
        integers.take();
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}, "t2").start();

sleep(1);

new Thread(() -> {
    try {
        log.debug("taking {}", 2);
        integers.take();
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}, "t3").start();
```

输出

```
11:48:15.500 c.TestSynchronousQueue [t1] - putting 1
11:48:16.500 c.TestSynchronousQueue [t2] - taking 1
11:48:16.500 c.TestSynchronousQueue [t1] - 1 putted...
11:48:16.500 c.TestSynchronousQueue [t1] - putting...2
11:48:17.502 c.TestSynchronousQueue [t3] - taking 2
11:48:17.503 c.TestSynchronousQueue [t1] - 2 putted...
```

评价 整个线程池表现为线程数会根据任务量不断增长，没有上限，当任务执行完毕，空闲 1 分钟后释放线程。适合任务数比较密集，但每个任务执行时间较短的情况

5) newSingleThreadExecutor

```
public static ExecutorService newSingleThreadExecutor() {  
    return new FinalizableDelegatedExecutorService  
        (new ThreadPoolExecutor(1, 1,  
                                0L, TimeUnit.MILLISECONDS,  
                                new LinkedBlockingQueue<Runnable>()));  
}
```

使用场景：

希望多个任务排队执行。线程数固定为 1，任务数多于 1 时，会放入无界队列排队。任务执行完毕，这唯一的线程也不会被释放。

区别：

- 自己创建一个单线程串行执行任务，如果任务执行失败而终止那么没有任何补救措施，而线程池还会新建一个线程，保证池的正常工作
- Executors.newSingleThreadExecutor() 线程个数始终为1，不能修改
 - FinalizableDelegatedExecutorService 应用的是装饰器模式，只对外暴露了 ExecutorService 接口，因此不能调用 ThreadPoolExecutor 中特有的方法
- Executors.newFixedThreadPool(1) 初始时为1，以后还可以修改
 - 对外暴露的是 ThreadPoolExecutor 对象，可以强转后调用 setCorePoolSize 等方法进行修改

6) 提交任务

```
// 执行任务  
void execute(Runnable command);  
  
// 提交任务 task, 用返回值 Future 获得任务执行结果  
<T> Future<T> submit(Callable<T> task);  
  
// 提交 tasks 中所有任务  
<T> List<Future<T>> invokeAll(Collection<? extends Callable<T>> tasks)  
    throws InterruptedException;  
  
// 提交 tasks 中所有任务，带超时时间  
<T> List<Future<T>> invokeAll(Collection<? extends Callable<T>> tasks,  
    long timeout, TimeUnit unit)  
    throws InterruptedException;  
  
// 提交 tasks 中所有任务，哪个任务先成功执行完毕，返回此任务执行结果，其它任务取消  
<T> T invokeAny(Collection<? extends Callable<T>> tasks)  
    throws InterruptedException, ExecutionException;
```



```
// 提交 tasks 中所有任务，哪个任务先成功执行完毕，返回此任务执行结果，其它任务取消，带超时时间
<T> T invokeAny(Collection<? extends Callable<T>> tasks,
                long timeout, TimeUnit unit)
    throws InterruptedException, ExecutionException, TimeoutException;
```

7) 关闭线程池

shutdown

```
/*
线程池状态变为 SHUTDOWN
- 不会接收新任务
- 但已提交任务会执行完
- 此方法不会阻塞调用线程的执行
*/
void shutdown();
```

```
public void shutdown() {
    final ReentrantLock mainLock = this.mainLock;
    mainLock.lock();
    try {
        checkShutdownAccess();
        // 修改线程池状态
        advanceRunState(SHUTDOWN);
        // 仅会打断空闲线程
        interruptIdleWorkers();
        onShutdown(); // 扩展点 ScheduledThreadPoolExecutor
    } finally {
        mainLock.unlock();
    }
    // 尝试终结(没有运行的线程可以立刻终结，如果还有运行的线程也不会等)
    tryTerminate();
}
```

shutdownNow

```
/*
线程池状态变为 STOP
- 不会接收新任务
- 会将队列中的任务返回
- 并用 interrupt 的方式中断正在执行的任务
*/
List<Runnable> shutdownNow();
```

```
public List<Runnable> shutdownNow() {
```



```
List<Runnable> tasks;
final ReentrantLock mainLock = this.mainLock;
mainLock.lock();
try {
    checkShutdownAccess();
    // 修改线程池状态
    advanceRunState(STOP);
    // 打断所有线程
    interruptWorkers();
    // 获取队列中剩余任务
    tasks = drainQueue();
} finally {
    mainLock.unlock();
}
// 尝试终结
tryTerminate();
return tasks;
}
```

其它方法

```
// 不在 RUNNING 状态的线程池，此方法就返回 true
boolean isShutdown();

// 线程池状态是否是 TERMINATED
boolean isTerminated();

// 调用 shutdown 后，由于调用线程并不会等待所有任务运行结束，因此如果它想在线程池 TERMINATED 后做些事情，可以利用此方法等待
boolean awaitTermination(long timeout, TimeUnit unit) throws InterruptedException;
```

* 模式之 Worker Thread

8) 任务调度线程池

在『任务调度线程池』功能加入之前，可以使用 java.util.Timer 来实现定时功能，Timer 的优点在于简单易用，但由于所有任务都是由同一个线程来调度，因此所有任务都是串行执行的，同一时间只能有一个任务在执行，前一个任务的延迟或异常都将会影响到之后的任务。

```
public static void main(String[] args) {
    Timer timer = new Timer();
    TimerTask task1 = new TimerTask() {
        @Override
        public void run() {
            log.debug("task 1");

            sleep(2);
        }
    };
    timer.schedule(task1, 0);
}
```

```
}  
};  
TimerTask task2 = new TimerTask() {  
    @Override  
    public void run() {  
        log.debug("task 2");  
    }  
};  
// 使用 timer 添加两个任务，希望它们都在 1s 后执行  
// 但由于 timer 内只有一个线程来顺序执行队列中的任务，因此『任务1』的延时，影响了『任务2』的执行  
timer.schedule(task1, 1000);  
timer.schedule(task2, 1000);  
}
```

输出

```
20:46:09.444 c.TestTimer [main] - start...  
20:46:10.447 c.TestTimer [Timer-0] - task 1  
20:46:12.448 c.TestTimer [Timer-0] - task 2
```

使用 ScheduledExecutorService 改写：

```
ScheduledExecutorService executor = Executors.newScheduledThreadPool(2);  
// 添加两个任务，希望它们都在 1s 后执行  
executor.schedule(() -> {  
    System.out.println("任务1，执行时间：" + new Date());  
    try { Thread.sleep(2000); } catch (InterruptedException e) { }  
}, 1000, TimeUnit.MILLISECONDS);  
executor.schedule(() -> {  
    System.out.println("任务2，执行时间：" + new Date());  
}, 1000, TimeUnit.MILLISECONDS);
```

输出

```
任务1，执行时间：Thu Jan 03 12:45:17 CST 2019  
任务2，执行时间：Thu Jan 03 12:45:17 CST 2019
```

scheduleAtFixedRate 例子：

```
ScheduledExecutorService pool = Executors.newScheduledThreadPool(1);  
log.debug("start...");  
pool.scheduleAtFixedRate(() -> {  
    log.debug("running...");  
}, 1, 1, TimeUnit.SECONDS);
```

输出

```
21:45:43.167 c.TestTimer [main] - start...
21:45:44.215 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
21:45:45.215 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
21:45:46.215 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
21:45:47.215 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
```

scheduleAtFixedRate 例子（任务执行时间超过了间隔时间）：

```
ScheduledExecutorService pool = Executors.newScheduledThreadPool(1);
log.debug("start...");
pool.scheduleAtFixedRate(() -> {
    log.debug("running...");
    sleep(2);
}, 1, 1, TimeUnit.SECONDS);
```

输出分析：一开始，延时 1s，接下来，由于任务执行时间 > 间隔时间，间隔被『撑』到了 2s

```
21:44:30.311 c.TestTimer [main] - start...
21:44:31.360 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
21:44:33.361 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
21:44:35.362 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
21:44:37.362 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
```

scheduleWithFixedDelay 例子：

```
ScheduledExecutorService pool = Executors.newScheduledThreadPool(1);
log.debug("start...");
pool.scheduleWithFixedDelay(()-> {
    log.debug("running...");
    sleep(2);
}, 1, 1, TimeUnit.SECONDS);
```

输出分析：一开始，延时 1s，scheduleWithFixedDelay 的间隔是 上一个任务结束 <-> 延时 <-> 下一个任务开始 所以间隔都是 3s

```
21:40:55.078 c.TestTimer [main] - start...
21:40:56.140 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
21:40:59.143 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
21:41:02.145 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
21:41:05.147 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - running...
```

评价 整个线程池表现为：线程数固定，任务数多于线程数时，会放入无界队列排队。任务执行完毕，这些线程也不会被释放。用来执行延迟或反复执行的任务

9) 正确处理执行任务异常

方法1：主动捉异常

```
ExecutorService pool = Executors.newFixedThreadPool(1);
pool.submit(() -> {
    try {
        log.debug("task1");
        int i = 1 / 0;
    } catch (Exception e) {
        log.error("error:", e);
    }
});
```

输出

```
21:59:04.558 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - task1
21:59:04.562 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - error:
java.lang.ArithmeticException: / by zero
    at cn.itcast.n8.TestTimer.lambda$main$0(TestTimer.java:28)
    at java.util.concurrent.Executors$RunnableAdapter.call(Executors.java:511)
    at java.util.concurrent.FutureTask.run(FutureTask.java:266)
    at java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor.runWorker(ThreadPoolExecutor.java:1149)
    at java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor$Worker.run(ThreadPoolExecutor.java:624)
    at java.lang.Thread.run(Thread.java:748)
```

方法2：使用 Future

```
ExecutorService pool = Executors.newFixedThreadPool(1);
Future<Boolean> f = pool.submit(() -> {
    log.debug("task1");
    int i = 1 / 0;
    return true;
});
log.debug("result:{", f.get());
```

输出

```
21:54:58.208 c.TestTimer [pool-1-thread-1] - task1
Exception in thread "main" java.util.concurrent.ExecutionException:
java.lang.ArithmeticException: / by zero
    at java.util.concurrent.FutureTask.report(FutureTask.java:122)
    at java.util.concurrent.FutureTask.get(FutureTask.java:192)
    at cn.itcast.n8.TestTimer.main(TestTimer.java:31)
Caused by: java.lang.ArithmeticException: / by zero
    at cn.itcast.n8.TestTimer.lambda$main$0(TestTimer.java:28)
    at java.util.concurrent.FutureTask.run(FutureTask.java:266)
    at java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor.runWorker(ThreadPoolExecutor.java:1149)
    at java.util.concurrent.ThreadPoolExecutor$Worker.run(ThreadPoolExecutor.java:624)
    at java.lang.Thread.run(Thread.java:748)
```

* 应用之定时任务

10) Tomcat 线程池

Tomcat 在哪里用到了线程池呢

- LimitLatch 用来限流，可以控制最大连接个数，类似 J.U.C 中的 Semaphore 后面再讲
- Acceptor 只负责【接收新的 socket 连接】
- Poller 只负责监听 socket channel 是否有【可读的 I/O 事件】
- 一旦可读，封装一个任务对象（socketProcessor），提交给 Executor 线程池处理
- Executor 线程池中的工作线程最终负责【处理请求】

Tomcat 线程池扩展了 ThreadPoolExecutor，行为稍有不同

- 如果总线程数达到 maximumPoolSize
 - 这时不会立刻抛 RejectedExecutionException 异常
 - 而是再次尝试将任务放入队列，如果还失败，才抛出 RejectedExecutionException 异常

源码 tomcat-7.0.42

```
public void execute(Runnable command, long timeout, TimeUnit unit) {
    submittedCount.incrementAndGet();
    try {
        super.execute(command);
    } catch (RejectedExecutionException rx) {
        if (super.getQueue() instanceof TaskQueue) {
            final TaskQueue queue = (TaskQueue)super.getQueue();
            try {
                if (!queue.force(command, timeout, unit)) {
                    submittedCount.decrementAndGet();
                    throw new RejectedExecutionException("Queue capacity is full.");
                }
            }
        } catch (InterruptedException x) {
            submittedCount.decrementAndGet();
            Thread.interrupted();
            throw new RejectedExecutionException(x);
        }
    }
}
```

```
    } else {  
        submittedCount.decrementAndGet();  
        throw rx;  
    }  
  
    }  
}
```

TaskQueue.java

```
public boolean force(Runnable o, long timeout, TimeUnit unit) throws InterruptedException {  
    if ( parent.isShutdown() )  
        throw new RejectedExecutionException(  
            "Executor not running, can't force a command into the queue"  
        );  
    return super.offer(o,timeout,unit); //forces the item onto the queue, to be used if the task  
    is rejected  
}
```

Connector 配置

| 配置项 | 默认值 | 说明 |
|---------------------|-----|------------------------------|
| acceptorThreadCount | 1 | acceptor 线程数量 |
| pollerThreadCount | 1 | poller 线程数量 |
| minSpareThreads | 10 | 核心线程数，即 corePoolSize |
| maxThreads | 200 | 最大线程数，即 maximumPoolSize |
| executor | - | Executor 名称，用来引用下面的 Executor |

Executor 线程配置

| 配置项 | 默认值 | 说明 |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| <code>threadPriority</code> | 5 | 线程优先级 |
| <code>daemon</code> | true | 是否守护线程 |
| <code>minSpareThreads</code> | 25 | 核心线程数，即 <code>corePoolSize</code> |
| <code>maxThreads</code> | 200 | 最大线程数，即 <code>maximumPoolSize</code> |
| <code>maxIdleTime</code> | 60000 | 线程生存时间，单位是毫秒，默认值即 1 分钟 |
| <code>maxQueueSize</code> | <code>Integer.MAX_VALUE</code> | 队列长度 |
| <code>prestartminSpareThreads</code> | false | 核心线程是否在服务器启动时启动 |



3. Fork/Join

1) 概念

Fork/Join 是 JDK 1.7 加入的新的线程池实现，它体现的是一种分治思想，适用于能够进行任务拆分的 cpu 密集型运算

所谓的任务拆分，是将一个大任务拆分为算法上相同的小任务，直至不能拆分可以直接求解。跟递归相关的一些计算，如归并排序、斐波那契数列、都可以用分治思想进行求解

Fork/Join 在分治的基础上加入了多线程，可以把每个任务的分解和合并交给不同的线程来完成，进一步提升了运算效率

Fork/Join 默认会创建与 cpu 核心数大小相同的线程池

2) 使用

提交给 Fork/Join 线程池的任务需要继承 `RecursiveTask`（有返回值）或 `RecursiveAction`（没有返回值），例如下面定义了一个对 1~n 之间的整数求和的任务

```
@Slf4j(topic = "c.AddTask")
```




```
class AddTask1 extends RecursiveTask<Integer> {  
  
    int n;  
  
    public AddTask1(int n) {  
        this.n = n;  
    }  
  
    @Override  
    public String toString() {  
        return "{" + n + '}';  
    }  
  
    @Override  
    protected Integer compute() {  
        // 如果 n 已经为 1, 可以求得结果了  
        if (n == 1) {  
            log.debug("join() {}", n);  
            return n;  
        }  
  
        // 将任务进行拆分(fork)  
        AddTask1 t1 = new AddTask1(n - 1);  
        t1.fork();  
        log.debug("fork() {} + {}", n, t1);  
  
        // 合并(join)结果  
        int result = n + t1.join();  
        log.debug("join() {} + {} = {}", n, t1, result);  
        return result;  
    }  
}
```

然后提交给 ForkJoinPool 来执行

```
public static void main(String[] args) {  
    ForkJoinPool pool = new ForkJoinPool(4);  
    System.out.println(pool.invoke(new AddTask1(5)));  
}
```

结果

```
[ForkJoinPool-1-worker-0] - fork() 2 + {1}
[ForkJoinPool-1-worker-1] - fork() 5 + {4}
[ForkJoinPool-1-worker-0] - join() 1
[ForkJoinPool-1-worker-0] - join() 2 + {1} = 3
[ForkJoinPool-1-worker-2] - fork() 4 + {3}
[ForkJoinPool-1-worker-3] - fork() 3 + {2}
[ForkJoinPool-1-worker-3] - join() 3 + {2} = 6
[ForkJoinPool-1-worker-2] - join() 4 + {3} = 10
[ForkJoinPool-1-worker-1] - join() 5 + {4} = 15
15
```

用图来表示



改进

```
class AddTask3 extends RecursiveTask<Integer> {

    int begin;
    int end;

    public AddTask3(int begin, int end) {
        this.begin = begin;
        this.end = end;
    }

    @Override
    public String toString() {
        return "{" + begin + "," + end + '}';
    }

    @Override
    protected Integer compute() {
        // 5, 5
        if (begin == end) {
            log.debug("join() {}", begin);
            return begin;
        }

        // 4, 5
```

```
        if (end - begin == 1) {
            log.debug("join() {} + {} = {}", begin, end, end + begin);
            return end + begin;
        }

        // 1 5
        int mid = (end + begin) / 2; // 3

        AddTask3 t1 = new AddTask3(begin, mid); // 1,3
        t1.fork();
        AddTask3 t2 = new AddTask3(mid + 1, end); // 4,5
        t2.fork();
        log.debug("fork() {} + {} = ?", t1, t2);

        int result = t1.join() + t2.join();
        log.debug("join() {} + {} = {}", t1, t2, result);
        return result;
    }
}
```

然后提交给 ForkJoinPool 来执行

```
public static void main(String[] args) {
    ForkJoinPool pool = new ForkJoinPool(4);
    System.out.println(pool.invoke(new AddTask3(1, 10)));
}
```

结果

```
[ForkJoinPool-1-worker-0] - join() 1 + 2 = 3
[ForkJoinPool-1-worker-3] - join() 4 + 5 = 9
[ForkJoinPool-1-worker-0] - join() 3
[ForkJoinPool-1-worker-1] - fork() {1,3} + {4,5} = ?
[ForkJoinPool-1-worker-2] - fork() {1,2} + {3,3} = ?
[ForkJoinPool-1-worker-2] - join() {1,2} + {3,3} = 6
[ForkJoinPool-1-worker-1] - join() {1,3} + {4,5} = 15
15
```

用图来表示



8.2 J.U.C

1. * AQS 原理

2. * ReentrantLock 原理

3. 读写锁

3.1 ReentrantReadWriteLock

当读操作远远高于写操作时，这时候使用 **读写锁** 让 **读-读** 可以并发，提高性能。类似于数据库中的 `select ... from ... lock in share mode`

提供一个 **数据容器类** 内部分别使用读锁保护数据的 `read()` 方法，写锁保护数据的 `write()` 方法

```
class DataContainer {
    private Object data;
    private ReentrantReadWriteLock rw = new ReentrantReadWriteLock();
    private ReentrantReadWriteLock.ReadLock r = rw.readLock();
    private ReentrantReadWriteLock.WriteLock w = rw.writeLock();

    public Object read() {
        log.debug("获取读锁...");
        r.lock();
        try {
            log.debug("读取");
            sleep(1);
            return data;
        } finally {
            log.debug("释放读锁...");
        }
    }
}
```

```
        r.unlock();
    }
}

public void write() {
    log.debug("获取写锁...");
    w.lock();
    try {
        log.debug("写入");
        sleep(1);
    } finally {
        log.debug("释放写锁...");
        w.unlock();
    }
}
}
```

测试 读锁-读锁 可以并发

```
DataContainer dataContainer = new DataContainer();
new Thread(() -> {
    dataContainer.read();
}, "t1").start();

new Thread(() -> {
    dataContainer.read();
}, "t2").start();
```

输出结果，从这里可以看到 Thread-0 锁定期间，Thread-1 的读操作不受影响

```
14:05:14.341 c.DataContainer [t2] - 获取读锁...
14:05:14.341 c.DataContainer [t1] - 获取读锁...
14:05:14.345 c.DataContainer [t1] - 读取
14:05:14.345 c.DataContainer [t2] - 读取
14:05:15.365 c.DataContainer [t2] - 释放读锁...
14:05:15.386 c.DataContainer [t1] - 释放读锁...
```

测试 读锁-写锁 相互阻塞

```
DataContainer dataContainer = new DataContainer();
new Thread(() -> {
    dataContainer.read();
}, "t1").start();

Thread.sleep(100);
new Thread(() -> {
    dataContainer.write();
}, "t2").start();
```

输出结果



```
14:04:21.838 c.DataContainer [t1] - 获取读锁...
14:04:21.838 c.DataContainer [t2] - 获取写锁...
14:04:21.841 c.DataContainer [t2] - 写入
14:04:22.843 c.DataContainer [t2] - 释放写锁...
14:04:22.843 c.DataContainer [t1] - 读取
14:04:23.843 c.DataContainer [t1] - 释放读锁...
```

写锁-写锁 也是相互阻塞的，这里就不测试了

注意事项

- 读锁不支持条件变量
- 重入时升级不支持：即持有读锁的情况下去获取写锁，会导致获取写锁永久等待

```
r.lock();
try {
    // ...
    w.lock();
    try {
        // ...
    } finally{
        w.unlock();
    }
} finally{
    r.unlock();
}
```

- 重入时降级支持：即持有写锁的情况下去获取读锁

```
class CachedData {
    Object data;
    // 是否有效，如果失效，需要重新计算 data
    volatile boolean cacheValid;
    final ReentrantReadWriteLock rwl = new ReentrantReadWriteLock();
    void processCachedData() {
        rwl.readLock().lock();
        if (!cacheValid) {
            // 获取写锁前必须释放读锁
            rwl.readLock().unlock();
            rwl.writeLock().lock();
            try {
                // 判断是否有其它线程已经获取了写锁、更新了缓存，避免重复更新
                if (!cacheValid) {
                    data = ...
                    cacheValid = true;
                }
                // 降级为读锁，释放写锁，这样能够让其它线程读取缓存
                rwl.readLock().lock();
            } finally {
```

```
        rwl.writeLock().unlock();
    }
}
// 自己用完数据，释放读锁
try {
    use(data);
} finally {
    rwl.readLock().unlock();
}
}
```

* 应用之缓存

* 读写锁原理

3.2 StampedLock

该类自 JDK 8 加入，是为了进一步优化读性能，它的特点是在使用读锁、写锁时都必须配合【戳】使用加解读锁

```
long stamp = lock.readLock();
lock.unlockRead(stamp);
```

加解写锁

```
long stamp = lock.writeLock();
lock.unlockWrite(stamp);
```

乐观读，StampedLock 支持 `tryOptimisticRead()` 方法（乐观读），读取完毕后需要做一次【戳校验】如果校验通过，表示这期间确实没有写操作，数据可以安全使用，如果校验没通过，需要重新获取读锁，保证数据安全。

```
long stamp = lock.tryOptimisticRead();
// 验戳
if(!lock.validate(stamp)){
    // 锁升级
}
```

提供一个 数据容器类 内部分别使用读锁保护数据的 `read()` 方法，写锁保护数据的 `write()` 方法

```
class DataContainerStamped {
    private int data;
```



```
private final StampedLock lock = new StampedLock();

public DataContainerStamped(int data) {
    this.data = data;
}

public int read(int readTime) {
    long stamp = lock.tryOptimisticRead();
    log.debug("optimistic read locking...{}", stamp);
    sleep(readTime);
    if (lock.validate(stamp)) {
        log.debug("read finish...{}, data:{}", stamp, data);
        return data;
    }
    // 锁升级 - 读锁
    log.debug("updating to read lock... {}", stamp);
    try {
        stamp = lock.readLock();
        log.debug("read lock {}", stamp);
        sleep(readTime);
        log.debug("read finish...{}, data:{}", stamp, data);
        return data;
    } finally {
        log.debug("read unlock {}", stamp);
        lock.unlockRead(stamp);
    }
}

public void write(int newData) {
    long stamp = lock.writeLock();
    log.debug("write lock {}", stamp);
    try {
        sleep(2);
        this.data = newData;
    } finally {
        log.debug("write unlock {}", stamp);
        lock.unlockWrite(stamp);
    }
}
}
```

测试 **读-读** 可以优化


```
public static void main(String[] args) {
    DataContainerStamped dataContainer = new DataContainerStamped(1);
    new Thread(() -> {
        dataContainer.read(1);
    }, "t1").start();
    sleep(0.5);
    new Thread(() -> {
        dataContainer.read(0);
    }, "t2").start();
}
```

输出结果，可以看到实际没有加读锁

```
15:58:50.217 c.DataContainerStamped [t1] - optimistic read locking...256
15:58:50.717 c.DataContainerStamped [t2] - optimistic read locking...256
15:58:50.717 c.DataContainerStamped [t2] - read finish...256, data:1
15:58:51.220 c.DataContainerStamped [t1] - read finish...256, data:1
```

测试 **读-写** 时优化读补加读锁

```
public static void main(String[] args) {
    DataContainerStamped dataContainer = new DataContainerStamped(1);
    new Thread(() -> {
        dataContainer.read(1);
    }, "t1").start();
    sleep(0.5);
    new Thread(() -> {
        dataContainer.write(100);
    }, "t2").start();
}
```

输出结果

```
15:57:00.219 c.DataContainerStamped [t1] - optimistic read locking...256
15:57:00.717 c.DataContainerStamped [t2] - write lock 384
15:57:01.225 c.DataContainerStamped [t1] - updating to read lock... 256
15:57:02.719 c.DataContainerStamped [t2] - write unlock 384
15:57:02.719 c.DataContainerStamped [t1] - read lock 513
15:57:03.719 c.DataContainerStamped [t1] - read finish...513, data:1000
15:57:03.719 c.DataContainerStamped [t1] - read unlock 513
```

注意

- StampedLock 不支持条件变量
- StampedLock 不支持可重入

4. Semaphore

基本使用

[`'semə,for`] 信号量，用来限制能同时访问共享资源的线程上限。

```
public static void main(String[] args) {  
    // 1. 创建 semaphore 对象  
    Semaphore semaphore = new Semaphore(3);  
  
    // 2. 10个线程同时运行  
    for (int i = 0; i < 10; i++) {  
        new Thread(() -> {  
            // 3. 获取许可  
            try {  
                semaphore.acquire();  
            } catch (InterruptedException e) {  
                e.printStackTrace();  
            }  
            try {  
                log.debug("running...");  
                sleep(1);  
                log.debug("end...");  
            } finally {  
                // 4. 释放许可  
                semaphore.release();  
            }  
        }).start();  
    }  
}
```

输出

```
07:35:15.485 c.TestSemaphore [Thread-2] - running...  
07:35:15.485 c.TestSemaphore [Thread-1] - running...  
07:35:15.485 c.TestSemaphore [Thread-0] - running...  
07:35:16.490 c.TestSemaphore [Thread-2] - end...  
07:35:16.490 c.TestSemaphore [Thread-0] - end...  
07:35:16.490 c.TestSemaphore [Thread-1] - end...  
07:35:16.490 c.TestSemaphore [Thread-3] - running...  
07:35:16.490 c.TestSemaphore [Thread-5] - running...  
07:35:16.490 c.TestSemaphore [Thread-4] - running...  
07:35:17.490 c.TestSemaphore [Thread-5] - end...  
07:35:17.490 c.TestSemaphore [Thread-4] - end...  
07:35:17.490 c.TestSemaphore [Thread-3] - end...  
07:35:17.490 c.TestSemaphore [Thread-6] - running...  
07:35:17.490 c.TestSemaphore [Thread-7] - running...  
07:35:17.490 c.TestSemaphore [Thread-9] - running...  
07:35:18.491 c.TestSemaphore [Thread-6] - end...  
07:35:18.491 c.TestSemaphore [Thread-7] - end...  
07:35:18.491 c.TestSemaphore [Thread-9] - end...  
07:35:18.491 c.TestSemaphore [Thread-8] - running...  
07:35:19.492 c.TestSemaphore [Thread-8] - end...
```

* Semaphore 应用

* Semaphore 原理

5. CountdownLatch

用来进行线程同步协作，等待所有线程完成倒计时。

其中构造参数用来初始化等待计数值，await() 用来等待计数归零，countDown() 用来让计数减一

```
public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    CountdownLatch latch = new CountdownLatch(3);

    new Thread(() -> {
        log.debug("begin...");
        sleep(1);
        latch.countDown();
        log.debug("end...{}", latch.getCount());
    }).start();

    new Thread(() -> {
        log.debug("begin...");
        sleep(2);
        latch.countDown();
        log.debug("end...{}", latch.getCount());
    }).start();

    new Thread(() -> {
        log.debug("begin...");
        sleep(1.5);
        latch.countDown();
        log.debug("end...{}", latch.getCount());
    }).start();

    log.debug("waiting...");
    latch.await();
    log.debug("wait end...");
}
```

输出

```
18:44:00.778 c.TestCountDownLatch [main] - waiting...
18:44:00.778 c.TestCountDownLatch [Thread-2] - begin...
18:44:00.778 c.TestCountDownLatch [Thread-0] - begin...
18:44:00.778 c.TestCountDownLatch [Thread-1] - begin...
18:44:01.782 c.TestCountDownLatch [Thread-0] - end...2
18:44:02.283 c.TestCountDownLatch [Thread-2] - end...1
18:44:02.782 c.TestCountDownLatch [Thread-1] - end...0
18:44:02.782 c.TestCountDownLatch [main] - wait end...
```

可以配合线程池使用，改进如下

```
public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
    CountDownLatch latch = new CountDownLatch(3);
    ExecutorService service = Executors.newFixedThreadPool(4);
    service.submit(() -> {
        log.debug("begin...");
        sleep(1);
        latch.countDown();
        log.debug("end...{}", latch.getCount());
    });
    service.submit(() -> {
        log.debug("begin...");
        sleep(1.5);
        latch.countDown();
        log.debug("end...{}", latch.getCount());
    });
    service.submit(() -> {
        log.debug("begin...");
        sleep(2);
        latch.countDown();
        log.debug("end...{}", latch.getCount());
    });
    service.submit(()->{
        try {
            log.debug("waiting...");
            latch.await();
            log.debug("wait end...");
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    });
}
```

输出

```
18:52:25.831 c.TestCountDownLatch [pool-1-thread-3] - begin...
18:52:25.831 c.TestCountDownLatch [pool-1-thread-1] - begin...
18:52:25.831 c.TestCountDownLatch [pool-1-thread-2] - begin...
18:52:25.831 c.TestCountDownLatch [pool-1-thread-4] - waiting...
18:52:26.835 c.TestCountDownLatch [pool-1-thread-1] - end...2
18:52:27.335 c.TestCountDownLatch [pool-1-thread-2] - end...1
18:52:27.835 c.TestCountDownLatch [pool-1-thread-3] - end...0
18:52:27.835 c.TestCountDownLatch [pool-1-thread-4] - wait end...
```

* 应用之同步等待多线程准备完毕

```
AtomicInteger num = new AtomicInteger(0);

ExecutorService service = Executors.newFixedThreadPool(10, (r) -> {
```



```
        return new Thread(r, "t" + num.getAndIncrement());
    });
    CountDownLatch latch = new CountDownLatch(10);
    String[] all = new String[10];
    Random r = new Random();
    for (int j = 0; j < 10; j++) {
        int x = j;
        service.submit(() -> {
            for (int i = 0; i <= 100; i++) {
                try {
                    Thread.sleep(r.nextInt(100));
                } catch (InterruptedException e) {
                }
                all[x] = Thread.currentThread().getName() + "(" + (i + "%") + ")";
                System.out.print("\r" + Arrays.toString(all));
            }
            latch.countDown();
        });
    }
    latch.await();
    System.out.println("\n游戏开始...");
    service.shutdown();
```

中间输出

```
[t0(52%), t1(47%), t2(51%), t3(40%), t4(49%), t5(44%), t6(49%), t7(52%), t8(46%), t9(46%)]
```

最后输出

```
[t0(100%), t1(100%), t2(100%), t3(100%), t4(100%), t5(100%), t6(100%), t7(100%), t8(100%),
t9(100%)]
游戏开始...
```

* 应用之同步等待多个远程调用结束

```
@RestController
public class TestCountDownLatchController {

    @GetMapping("/order/{id}")
    public Map<String, Object> order(@PathVariable int id) {
        HashMap<String, Object> map = new HashMap<>();
        map.put("id", id);
        map.put("total", "2300.00");
        sleep(2000);
        return map;
    }

    @GetMapping("/product/{id}")
    public Map<String, Object> product(@PathVariable int id) {
```



```
HashMap<String, Object> map = new HashMap<>();
if (id == 1) {
    map.put("name", "小爱音箱");
    map.put("price", 300);
} else if (id == 2) {
    map.put("name", "小米手机");
    map.put("price", 2000);
}
map.put("id", id);
sleep(1000);
return map;
}

@GetMapping("/logistics/{id}")
public Map<String, Object> logistics(@PathVariable int id) {
    HashMap<String, Object> map = new HashMap<>();
    map.put("id", id);
    map.put("name", "中通快递");
    sleep(2500);
    return map;
}

private void sleep(int millis) {
    try {
        Thread.sleep(millis);
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}
}
```

rest 远程调用

```
RestTemplate restTemplate = new RestTemplate();
log.debug("begin");
ExecutorService service = Executors.newCachedThreadPool();
CountDownLatch latch = new CountDownLatch(4);
Future<Map<String, Object>> f1 = service.submit(() -> {
    Map<String, Object> r =
        restTemplate.getForObject("http://localhost:8080/order/{1}", Map.class, 1);
    return r;
});
Future<Map<String, Object>> f2 = service.submit(() -> {
    Map<String, Object> r =
        restTemplate.getForObject("http://localhost:8080/product/{1}", Map.class, 1);
    return r;
});
Future<Map<String, Object>> f3 = service.submit(() -> {
    Map<String, Object> r =
        restTemplate.getForObject("http://localhost:8080/product/{1}", Map.class, 2);
    return r;
});
```

```
Future<Map<String, Object>> f4 = service.submit(() -> {
    Map<String, Object> r =
        restTemplate.getForObject("http://localhost:8080/logistics/{1}", Map.class, 1);
    return r;
});

System.out.println(f1.get());
System.out.println(f2.get());
System.out.println(f3.get());
System.out.println(f4.get());
log.debug("执行完毕");
service.shutdown();
```

执行结果

```
19:51:39.711 c.TestCountDownLatch [main] - begin
{total=2300.00, id=1}
{price=300, name=小爱音箱, id=1}
{price=2000, name=小米手机, id=2}
{name=中通快递, id=1}
19:51:42.407 c.TestCountDownLatch [main] - 执行完毕
```

6. CyclicBarrier

[ˈsaɪklɪk ˈbæriə] 循环栅栏，用来进行线程协作，等待线程满足某个计数。构造时设置『计数个数』，每个线程执行到某个需要“同步”的时刻调用 `await()` 方法进行等待，当等待的线程数满足『计数个数』时，继续执行

```
CyclicBarrier cb = new CyclicBarrier(2); // 个数为2时才会继续执行

new Thread(()->{
    System.out.println("线程1开始.." + new Date());
    try {
        cb.await(); // 当个数不足时，等待
    } catch (InterruptedException | BrokenBarrierException e) {
        e.printStackTrace();
    }
    System.out.println("线程1继续向下运行..." + new Date());
}).start();

new Thread(()->{
    System.out.println("线程2开始.." + new Date());
    try { Thread.sleep(2000); } catch (InterruptedException e) { }
    try {
        cb.await(); // 2 秒后，线程个数够2，继续运行
    } catch (InterruptedException | BrokenBarrierException e) {
        e.printStackTrace();
    }
    System.out.println("线程2继续向下运行..." + new Date());
}).start();
```

注意 `CyclicBarrier` 与 `CountDownLatch` 的主要区别在于 `CyclicBarrier` 是可以重用的 `CyclicBarrier` 可以被比喻为『人满发车』

7. 线程安全集合类概述



线程安全集合类可以分为三大类：

- 遗留的线程安全集合如 `Hashtable` , `Vector`
- 使用 `Collections` 装饰的线程安全集合，如：
 - `Collections.synchronizedCollection`
 - `Collections.synchronizedList`
 - `Collections.synchronizedMap`
 - `Collections.synchronizedSet`
 - `Collections.synchronizedNavigableMap`
 - `Collections.synchronizedNavigableSet`
 - `Collections.synchronizedSortedMap`
 - `Collections.synchronizedSortedSet`
- `java.util.concurrent.*`

重点介绍 `java.util.concurrent.*` 下的线程安全集合类，可以发现它们有规律，里面包含三类关键词：`Blocking`、`CopyOnWrite`、`Concurrent`

- `Blocking` 大部分实现基于锁，并提供用来阻塞的方法
- `CopyOnWrite` 之类容器修改开销相对较重
- `Concurrent` 类型的容器
 - 内部很多操作使用 `cas` 优化，一般可以提供较高吞吐量
 - 弱一致性
 - 遍历时弱一致性，例如，当利用迭代器遍历时，如果容器发生修改，迭代器仍然可以继续遍历，这时内容是旧的
 - 求大小弱一致性，`size` 操作未必是 100% 准确
 - 读取弱一致性

遍历时如果发生了修改，对于非安全容器来讲，使用 **fail-fast** 机制也就是让遍历立刻失败，抛出 `ConcurrentModificationException`，不再继续遍历

8. ConcurrentHashMap

练习：单词计数

生成测试数据

```
static final String ALPHA = "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz";

public static void main(String[] args) {
    int length = ALPHA.length();
    int count = 200;
    List<String> list = new ArrayList<>(length * count);
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        char ch = ALPHA.charAt(i);
        for (int j = 0; j < count; j++) {
            list.add(String.valueOf(ch));
        }
    }
    Collections.shuffle(list);
    for (int i = 0; i < 26; i++) {
        try (PrintWriter out = new PrintWriter(
            new OutputStreamWriter(
                new FileOutputStream("tmp/" + (i+1) + ".txt"))) {
            String collect = list.subList(i * count, (i + 1) * count).stream()
                .collect(Collectors.joining("\n"));
            out.print(collect);
        } catch (IOException e) {
        }
    }
}
```

模版代码，模版代码中封装了多线程读取文件的代码

```
private static <V> void demo(Supplier<Map<String,V>> supplier,
    BiConsumer<Map<String,V>,List<String>> consumer) {
    Map<String, V> counterMap = supplier.get();
    List<Thread> ts = new ArrayList<>();
    for (int i = 1; i <= 26; i++) {
        int idx = i;
        Thread thread = new Thread(() -> {
            List<String> words = readFromFile(idx);
            consumer.accept(counterMap, words);
        });
        ts.add(thread);
    }

    ts.forEach(t->t.start());
    ts.forEach(t-> {
        try {
            t.join();
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    });
}
```

```
    }  
    });  
  
    System.out.println(counterMap);  
}  
  
public static List<String> readFromFile(int i) {  
    ArrayList<String> words = new ArrayList<>();  
    try (BufferedReader in = new BufferedReader(new InputStreamReader(new FileInputStream("tmp/"  
+ i + ".txt")))) {  
        while(true) {  
            String word = in.readLine();  
            if(word == null) {  
                break;  
            }  
            words.add(word);  
        }  
        return words;  
    } catch (IOException e) {  
        throw new RuntimeException(e);  
    }  
}
```

你要做的是实现两个参数

- 一是提供一个 map 集合，用来存放每个单词的计数结果，key 为单词，value 为计数
- 二是提供一组操作，保证计数的安全性，会传递 map 集合以及 单词 List

正确结果输出应该是每个单词出现 200 次

```
{a=200, b=200, c=200, d=200, e=200, f=200, g=200, h=200, i=200, j=200, k=200, l=200, m=200,  
n=200, o=200, p=200, q=200, r=200, s=200, t=200, u=200, v=200, w=200, x=200, y=200, z=200}
```

下面的实现为：

```
demo(  
    // 创建 map 集合  
    // 创建 ConcurrentHashMap 对不对？  
    () -> new HashMap<String, Integer>(),  
  
    // 进行计数  
    (map, words) -> {  
        for (String word : words) {  
            Integer counter = map.get(word);  
            int newValue = counter == null ? 1 : counter + 1;  
            map.put(word, newValue);  
        }  
    }  
);
```

有没有问题？请改进

参考解答1

```
demo(  
    () -> new ConcurrentHashMap<String, LongAdder>(),  
    (map, words) -> {  
        for (String word : words) {  
            // 注意不能使用 putIfAbsent, 此方法返回的是上一次的 value, 首次调用返回 null  
            map.computeIfAbsent(word, (key) -> new LongAdder()).increment();  
        }  
    }  
);
```

参考解答2

```
demo(  
    () -> new ConcurrentHashMap<String, Integer>(),  
    (map, words) -> {  
        for (String word : words) {  
            // 函数式编程, 无需原子变量  
            map.merge(word, 1, Integer::sum);  
        }  
    }  
);
```

*** ConcurrentHashMap 原理****9. BlockingQueue***** BlockingQueue 原理****10. ConcurrentLinkedQueue**

ConcurrentLinkedQueue 的设计与 LinkedBlockingQueue 非常像，也是

- 两把【锁】，同一时刻，可以允许两个线程同时（一个生产者与一个消费者）执行
- dummy 节点的引入让两把【锁】将来锁住的是不同对象，避免竞争
- 只是这【锁】使用了 cas 来实现

事实上，ConcurrentLinkedQueue 应用还是非常广泛的

例如之前讲的 Tomcat 的 Connector 结构时，Acceptor 作为生产者向 Poller 消费者传递事件信息时，正是采用了 ConcurrentLinkedQueue 将 SocketChannel 给 Poller 使用

11. CopyOnWriteArrayList

`CopyOnWriteArraySet` 是它的马甲 底层实现采用了 `写入时拷贝` 的思想，增删改操作会将底层数组拷贝一份，更改操作在新数组上执行，这时不影响其它线程的**并发读**，**读写分离**。以新增为例：

```
public boolean add(E e) {
    synchronized (lock) {
        // 获取旧的数组
        Object[] es = getArray();
        int len = es.length;
        // 拷贝新的数组（这里是比较耗时的操作，但不影响其它读线程）
        es = Arrays.copyOf(es, len + 1);
        // 添加新元素
        es[len] = e;
        // 替换旧的数组
        setArray(es);
        return true;
    }
}
```

这里的源码版本是 Java 11，在 Java 1.8 中使用的是可重入锁而不是 `synchronized`

其它读操作并未加锁，例如：

```
public void forEach(Consumer<? super E> action) {
    Objects.requireNonNull(action);
    for (Object x : getArray()) {
        @SuppressWarnings("unchecked") E e = (E) x;
        action.accept(e);
    }
}
```

适合『读多写少』的应用场景

get 弱一致性



| 时间点 | 操作 |
|-----|------------------------------|
| 1 | Thread-0 getArray() |
| 2 | Thread-1 getArray() |
| 3 | Thread-1 setArray(arrayCopy) |
| 4 | Thread-0 array[index] |

不容易测试，但问题确实存在

迭代器弱一致性

```

CopyOnWriteArrayList<Integer> list = new CopyOnWriteArrayList<>();
list.add(1);
list.add(2);
list.add(3);
Iterator<Integer> iter = list.iterator();
new Thread(() -> {
    list.remove(0);
    System.out.println(list);
}).start();

sleep(1s);
while (iter.hasNext()) {
    System.out.println(iter.next());
}
    
```

不要觉得弱一致性就不好

- 数据库的 MVCC 都是弱一致性的表现
- 并发高和一致性是矛盾的，需要权衡