

## 07 | 安全性、活跃性以及性能问题

2019-03-14 王宝令

Java并发编程实战

[进入课程 >](#)



讲述：王宝令

时长 13:01 大小 11.94M



通过前面六篇文章，我们开启了一个简单的并发旅程，相信现在你对并发编程需要注意的问题已经有了更深入的理解，这是一个很大的进步，正所谓只有发现问题，才能解决问题。但是前面六篇文章的知识点可能还是有点分散，所以是时候将其总结一下了。

并发编程中我们需要注意的问题有很多，很庆幸前人已经帮我们总结过了，主要有三个方面，分别是：**安全性问题、活跃性问题和性能问题**。下面我就来一一介绍这些问题。

### 安全性问题

相信你一定听说过类似这样的描述：这个方法不是线程安全的，这个类不是线程安全的，等等。

那什么是线程安全呢？其实本质上就是正确性，而正确性的含义就是**程序按照我们期望的执行，不要让我们感到意外**。在[第一篇文章《可见性、原子性和有序性问题：并发编程 Bug 的源头》](#)中，我们已经见识过很多诡异的 Bug，都是出乎我们预料的，它们都没有按照我们期望的执行。

那如何才能写出线程安全的程序呢？[第一篇文章](#)中已经介绍了并发 Bug 的三个主要源头：原子性问题、可见性问题和有序性问题。也就是说，理论上线程安全的程序，就要避免出现原子性问题、可见性问题和有序性问题。

那是不是所有的代码都需要认真分析一遍是否存在这三个问题呢？当然不是，其实只有一种情况需要：**存在共享数据并且该数据会发生变化，通俗地讲就是有多个线程会同时读写同一数据**。那如果能够做到不共享数据或者数据状态不发生变化，不就能够保证线程的安全性了嘛。有不少技术方案都是基于这个理论的，例如线程本地存储（Thread Local Storage, TLS）、不变模式等等，后面我会详细介绍相关的技术方案是如何在 Java 语言中实现的。

但是，现实生活中，**必须共享会发生变化的数据**，这样的应用场景还是很多的。

当多个线程同时访问同一数据，并且至少有一个线程会写这个数据的时候，如果我们不采取防护措施，那么就会导致并发 Bug，对此还有一个专业的术语，叫做**数据竞争**（Data Race）。比如，前面[第一篇文章](#)里有个 add10K() 的方法，当多个线程调用时候就会发生**数据竞争**，如下所示。

 复制代码

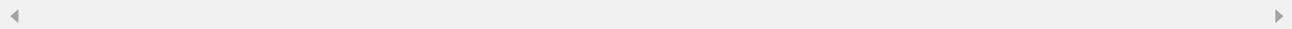
```
1 public class Test {  
2     private long count = 0;  
3     void add10K() {  
4         int idx = 0;  
5         while(idx++ < 10000) {  
6             count += 1;  
7         }  
8     }  
9 }
```

那是不是在访问数据的地方，我们加个锁保护一下就能解决所有的并发问题了呢？显然没有这么简单。例如，对于上面示例，我们稍作修改，增加两个被 synchronized 修饰的 get() 和 set() 方法，add10K() 方法里面通过 get() 和 set() 方法来访问 value 变量，修改后的

代码如下所示。对于修改后的代码，所有访问共享变量 value 的地方，我们都增加了互斥锁，此时是不存在数据竞争的。但很显然修改后的 add10K() 方法并不是线程安全的。

 复制代码

```
1 public class Test {  
2     private long count = 0;  
3     synchronized long get(){  
4         return count;  
5     }  
6     synchronized void set(long v){  
7         count = v;  
8     }  
9     void add10K() {  
10        int idx = 0;  
11        while(idx++ < 10000) {  
12            set(get()+1)  
13        }  
14    }  
15 }
```



假设 count=0，当两个线程同时执行 get() 方法时，get() 方法会返回相同的值 0，两个线程执行 get()+1 操作，结果都是 1，之后两个线程再将结果 1 写入了内存。你本来期望的是 2，而结果却是 1。

这种问题，有个官方的称呼，叫**竞态条件** (Race Condition)。所谓**竞态条件，指的是程序的执行结果依赖线程执行的顺序**。例如上面的例子，如果两个线程完全同时执行，那么结果是 1；如果两个线程是前后执行，那么结果就是 2。在并发环境里，线程的执行顺序是不确定的，如果程序存在竞态条件问题，那就意味着程序执行的结果是不确定的，而执行结果不确定这可是个大 Bug。

下面再结合一个例子来说明**竞态条件**，就是前面文章中提到的转账操作。转账操作里面有个判断条件——转出金额不能大于账户余额，但在并发环境里面，如果不加控制，当多个线程同时对一个账号执行转出操作时，就有可能出现超额转出问题。假设账户 A 有余额 200，线程 1 和线程 2 都要从账户 A 转出 150，在下面的代码里，有可能线程 1 和线程 2 同时执行到第 6 行，这样线程 1 和线程 2 都会发现转出金额 150 小于账户余额 200，于是就会发生超额转出的情况。

 复制代码

```
1 class Account {  
2     private int balance;  
3     // 转账  
4     void transfer(  
5         Account target, int amt){  
6         if (this.balance > amt) {  
7             this.balance -= amt;  
8             target.balance += amt;  
9         }  
10    }  
11 }
```

复制代码

所以你也可以按照下面这样来理解**竞态条件**。在并发场景中，程序的执行依赖于某个状态变量，也就是类似于下面这样：

```
1 if (状态变量 满足 执行条件) {  
2     执行操作  
3 }
```

当某个线程发现状态变量满足执行条件后，开始执行操作；可是就在这个线程执行操作的时候，其他线程同时修改了状态变量，导致状态变量不满足执行条件了。当然很多场景下，这个条件不是显式的，例如前面 addOne 的例子中，`set(get() + 1)` 这个复合操作，其实就隐式依赖 `get()` 的结果。

那面对数据竞争和竞态条件问题，又该如何保证线程的安全性呢？其实这两类问题，都可以用**互斥**这个技术方案，而实现**互斥**的方案有很多，CPU 提供了相关的互斥指令，操作系统、编程语言也会提供相关的 API。从逻辑上来看，我们可以统一归为：**锁**。前面几章我们也粗略地介绍了如何使用锁，相信你已经胸中有丘壑了，这里就不再赘述了，你可以结合前面的文章温故知新。

## 活跃性问题

所谓活跃性问题，指的是某个操作无法执行下去。我们常见的“死锁”就是一种典型的活跃性问题，当然除了死锁外，还有两种情况，分别是“活锁”和“饥饿”。

通过前面的学习你已经知道，发生“死锁”后线程会互相等待，而且会一直等待下去，在技术上的表现形式是线程永久地“阻塞”了。

但有时线程虽然没有发生阻塞，但仍然会存在执行不下去的情况，这就是所谓的“活锁”。可以类比现实世界里的例子，路人甲从左手边出门，路人乙从右手边进门，两人为了不相撞，互相谦让，路人甲让路走右手边，路人乙也让路走左手边，结果是两人又相撞了。这种情况，基本上谦让几次就解决了，因为人会交流啊。可是如果这种情况发生在编程世界了，就有可能会一直没完没了地“谦让”下去，成为没有发生阻塞但依然执行不下去的“活锁”。

解决“活锁”的方案很简单，谦让时，尝试等待一个随机的时间就可以了。例如上面的那个例子，路人甲走左手边发现前面有人，并不是立刻换到右手边，而是等待一个随机的时间后，再换到右手边；同样，路人乙也不是立刻切换路线，也是等待一个随机的时间再切换。由于路人甲和路人乙等待的时间是随机的，所以同时相撞后再次相撞的概率就很低了。“等待一个随机时间”的方案虽然很简单，却非常有效，Raft这样知名的分布式一致性算法中也用到了它。

那“饥饿”该怎么去理解呢？所谓“饥饿”指的是线程因无法访问所需资源而无法执行下去的情况。“不患寡，而患不均”，如果线程优先级“不均”，在CPU繁忙的情况下，优先级低的线程得到执行的机会很小，就可能发生线程“饥饿”；持有锁的线程，如果执行的时间过长，也可能导致“饥饿”问题。

解决“饥饿”问题的方案很简单，有三种方案：一是保证资源充足，二是公平地分配资源，三就是避免持有锁的线程长时间执行。这三个方案中，方案一和方案三的适用场景比较有限，因为很多场景下，资源的稀缺性是没办法解决的，持有锁的线程执行的时间也很难缩短。倒是方案二的适用场景相对来说更多一些。

那如何公平地分配资源呢？在并发编程里，主要是使用公平锁。所谓公平锁，是一种先来后到的方案，线程的等待是有顺序的，排在等待队列前面的线程会优先获得资源。

## 性能问题

使用“锁”要非常小心，但是如果小心过度，也可能出“性能问题”。“锁”的过度使用可能导致串行化的范围过大，这样就不能够发挥多线程的优势了，而我们之所以使用多线程搞并发程序，为的就是提升性能。

所以我们要尽量减少串行，那串行对性能的影响是怎么样的呢？假设串行百分比是 5%，我们用多核多线程相比单核单线程能提速多少呢？

有个阿姆达尔（Amdahl）定律，代表了处理器并行运算之后效率提升的能力，它正好可以解决这个问题，具体公式如下：

$$S = \frac{1}{(1-p) + \frac{p}{n}}$$

公式里的  $n$  可以理解为 CPU 的核数， $p$  可以理解为并行百分比，那  $(1-p)$  就是串行百分比了，也就是我们假设的 5%。我们再假设 CPU 的核数（也就是  $n$ ）无穷大，那加速比  $S$  的极限就是 20。也就是说，如果我们的串行率是 5%，那么我们无论采用什么技术，最高也就只能提高 20 倍的性能。

所以使用锁的时候一定要关注对性能的影响。那怎么才能避免锁带来的性能问题呢？这个问题很复杂，**Java SDK 并发包里之所以有那么多东西，有很大一部分原因就是要提升在某个特定领域的性能。**

不过从方案层面，我们可以这样来解决这个问题。

第一，既然使用锁会带来性能问题，那最好的方案自然就是使用无锁的算法和数据结构了。在这方面有很多相关的技术，例如线程本地存储（Thread Local Storage, TLS）、写入时复制（Copy-on-write）、乐观锁等；Java 并发包里面的原子类也是一种无锁的数据结构；Disruptor 则是一个无锁的内存队列，性能都非常好……

第二，减少锁持有的时间。互斥锁本质上是将并行的程序串行化，所以要增加并行度，一定要减少持有锁的时间。这个方案具体的实现技术也有很多，例如使用细粒度的锁，一个典型的例子就是 Java 并发包里的 ConcurrentHashMap，它使用了所谓分段锁的技术（这个技术后面我们会详细介绍）；还可以使用读写锁，也就是读是无锁的，只有写的时候才会互斥。

性能方面的度量指标有很多，我觉得有三个指标非常重要，就是：吞吐量、延迟和并发量。

1. 吞吐量：指的是单位时间内能处理的请求数量。吞吐量越高，说明性能越好。
2. 延迟：指的是从发出请求到收到响应的时间。延迟越小，说明性能越好。

3. 并发量：指的是能同时处理的请求数量，一般来说随着并发量的增加、延迟也会增加。所以延迟这个指标，一般都会是基于并发量来说的。例如并发量是 1000 的时候，延迟是 50 毫秒。

## 总结

并发编程是一个复杂的技术领域，微观上涉及到原子性问题、可见性问题和有序性问题，宏观则表现为安全性、活跃性以及性能问题。

我们在设计并发程序的时候，主要是从宏观出发，也就是要重点关注它的安全性、活跃性以及性能。安全性方面要注意数据竞争和竞态条件，活跃性方面需要注意死锁、活锁、饥饿等问题，性能方面我们虽然介绍了两个方案，但是遇到具体问题，你还是要具体分析，根据特定的场景选择合适的数据结构和算法。

要解决问题，首先要把问题分析清楚。同样，要写好并发程序，首先要了解并发程序相关的问题，经过这 7 章的内容，相信你一定对并发程序相关的问题有了深入的理解，同时对并发程序也一定心存敬畏，因为一不小心就出问题了。不过这恰恰也是一个很好的开始，因为你已经学会了分析并发问题，然后解决并发问题也就不远了。

## 课后思考

Java 语言提供的 `Vector` 是一个线程安全的容器，有同学写了下面的代码，你看看是否存在并发问题呢？

 复制代码

```
1 void addIfNotExist(Vector v,
2         Object o){
3     if(!v.contains(o)) {
4         v.add(o);
5     }
6 }
```

欢迎在留言区与我分享你的想法，也欢迎你在留言区记录你的思考过程。感谢阅读，如果你觉得这篇文章对你有帮助的话，也欢迎把它分享给更多的朋友。

# Java 并发编程实战

全面系统提升你的并发编程能力

王宝令

资深架构师



新版升级：点击「 请朋友读」，20位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 06 | 用“等待-通知”机制优化循环等待

下一篇 08 | 管程：并发编程的万能钥匙

## 精选留言 (90)

 写留言



峰

2019-03-14

37

vector是线程安全，指的是它方法单独执行的时候没有并发正确性问题，并不代表把它的操作组合在一起问木有，而这个程序显然有老师讲的竞态条件问题。

展开 ▼

作者回复: 

 虎虎

2019-03-14

12

老师讲的太好了。我没有并发的编程经验，但是可以看懂每一篇文章，也可以正确回答每节课后的习题。我觉得这次跟对了人，觉得很有希望跟着老师学好并发。

但是，这样跟着学完课程就能学好并发编程吗？老师可以给些建议吗？除了跟着课程，我还需要做些什么来巩固战果？老师能不能给加餐一篇学习方法，谢谢！...

展开 ▼

作者回复: 能看懂说明基本功很扎实啊。你的建议我会考虑的。



易水南风

2019-03-15

1 9

add10k的例子不明白，因为两个方法都已经加上锁了，同一个test对象应该不可能两个线程同时执行吧？

作者回复: 同时执行，指的是同时被调用。被锁串行后，还是有问题



亮亮

2019-03-14

1 8

```
void addIfNotExist(Vector v,  
    Object o){  
    synchronized(v) {  
        if(!v.contains(o)) {  
            v.add(o);...  
    }  
}
```

展开 ▼

作者回复: 对的



刘章周

2019-03-14

1 7

contains和add之间不是原子操作，有可能重复添加。

展开 ▼



kaixiao7  
2019-03-29

5

老师，串行百分比一般怎么得出来呢（依据是什么）？

展开 ▼

作者回复：你可以这么理解：临界区都是串行的，非临界区都是并行的，用单线程执行临界区的时间/用单线程执行(临界区+非临界区)的时间就是串行百分比

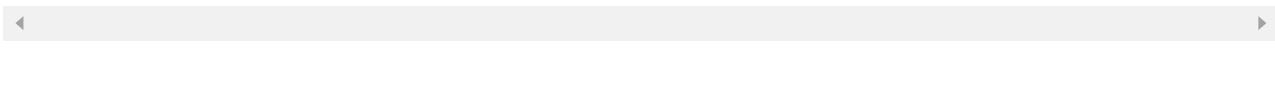


Demter  
2019-03-14

5

老师说两个线程同时访问get()，所以可能返回1.但是两个线程不可能同时访问get(),get () 上面有互斥锁啊，所以这个不是很懂啊

作者回复：同时访问，被串行化后，一先一后，结果两个线程都得到1



ken  
2019-03-14

5

实例不是线程安全的，Vector容器虽然是安全的单这个安全的原子性范围紧紧是每个成员方法。当需要调用多个方法来完成一个操作时Vector容器的原子性就适用于需要受到控制原子性，可以通过在方法上加synchronize保证安全性原子性。

作者回复：方法上加还不行



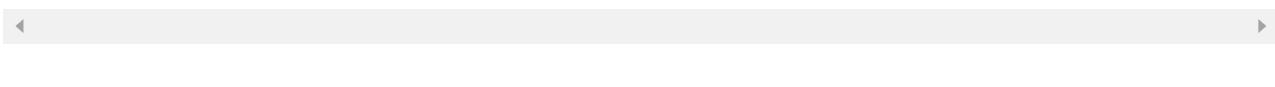
塞铁  
2019-04-03

4

add10K() 如果用synchronized修饰 应该就没有问题了吧？get和set是synchronized不能保证调用get和set之间的没有其他线程进入get和set，所以这是导致出错的根本原因。

展开 ▼

作者回复：凸





飘呀飘的小...

2019-03-14

4

Vector实现线程安全是通过给主要的写方法加了synchronized，类似contains这样的读方法并没有synchronized，该题的问题就出在不是线程安全的contains方法，两个线程如果同时执行到if(!v.contains(o)) 是可以都通过的，这时就会执行两次add方法，重复添加。也就是老师说的竞态条件。

作者回复: ↗



hanmshasho...

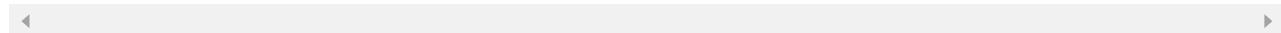
2019-03-14

4

ConcurrentHashMap 1.8后没有分段锁 syn + cas

展开 ▼

作者回复: 是这样，高手！



iron\_man

2019-03-16

3

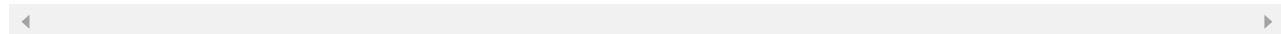
关于活锁，看了老师举的例子还是不太明白。

死锁是多个线程互相持有彼此需要的资源，形成依赖循环。

活锁是多个线程类似死锁的情况下，同时释放掉自己已经获取的资源，然后同时获取另外一种资源，又形成依赖循环，导致都不能执行下去？不知道总结的对不对，老师可否点评一下？

展开 ▼

作者回复: 总结的对。就是同时放弃，然后又重试竞争，最后死循环在里面了。



探索无止境

2019-03-14

2

吞吐量和并发量从文中描述的概念上来看，总觉得很像，具体该怎么区分？期待指点！

作者回复: 对于一台webserver，吞吐量一般指的是server每秒钟能处理多少请求；并发量指的是有多少个客户端同时访问。



duff

2019-05-18

1

「临界区串行，非临界区并行」，就很好理解，`set (get ())` 符合操作时在并发场景下的安全性问题了。



你只是看起...

2019-03-19

1

```
void addIfNotExist(Vector v,  
    Object o){  
    synchronized(v) {  
        if(!v.contains(o)) {  
            v.add(o);...  
    }  
}
```

展开 ▼

作者回复: vector的地址不会变，只是个指针而已



李林杰

2019-03-17

1

add10K例子中，`set`,`get`都是同一把锁，而且执行规则是`set`方法拿到锁之后，`get`方法再次获取该锁，不存在两个线程同时执行`get`方法啊，请老师解答下

作者回复: 指的是方法被同时调用，不是先拿`set`的锁，是先拿`get`的锁。先计算参数，后调用方法



陈华应

2019-03-17

1

老师这里说被串行化还是1，是不是可见性问题？先执行的线程的`count`最新值并没有对后一个执行的可见啊

作者回复: 执行`count=1`，压根就没有读操作，哪里来的可见性问题？



王玉坤

2019-03-16

1

老师, add10K()那块不是很懂, 就算两个线程get()方法都读到0, 他们在s调set()方法时因为是同步方法, 总会一前一后的, 根据happens-before原则, 前面修改的值应该对后面可见, 为什么这个地方会出错呢?

展开 ▼

作者回复: 两个线程同时执行set(1){count=1}, 即便有同步, 写到内存里的值也是1



果然如此

2019-03-15

1

问题是非线程安全的。

线程锁从两个方面考虑, 一是颗粒度, 二是被锁的对象。

假设把锁加在addIfNotExist方法上虽然颗粒度达到了, 但是多线程被锁的对象可能不是同一个, 所以还要调整锁定的对象。



不靠谱的琴...

2019-03-15

1

```
void addIfNotExist(Vector v,  
    Object o){  
    sync (o) {  
        if(!v.contains(o)) {  
            v.add(o);...  
    }  
}
```

展开 ▼

作者回复: 我觉得锁v会更好

