

38-案例分析（一）：高性能限流器GuavaRateLimiter

从今天开始，我们就进入案例分析模块了。这个模块我们将分析四个经典的开源框架，看看它们是如何处理并发问题的，通过这四个案例的学习，相信你会对如何解决并发问题有个更深入的认识。

首先我们来看看**Guava RateLimiter**是如何解决高并发场景下的限流问题的。Guava是Google开源的Java类库，提供了一个工具类RateLimiter。我们先来看看RateLimiter的使用，让你对限流有个感官的印象。假设我们有一个线程池，它每秒只能处理两个任务，如果提交的任务过快，可能导致系统不稳定，这个时候就需要用到限流。

在下面的示例代码中，我们创建了一个流速为2个请求/秒的限流器，这里的流速该怎么理解呢？直观地看，2个请求/秒指的是每秒最多允许2个请求通过限流器，其实在Guava中，流速还有更深一层的意思：是一种匀速的概念，2个请求/秒等价于1个请求/500毫秒。

在向线程池提交任务之前，调用 `acquire()` 方法就能起到限流的作用。通过示例代码的执行结果，任务提交到线程池的时间间隔基本上稳定在500毫秒。

```
//限流器流速：2个请求/秒
RateLimiter limiter =
    RateLimiter.create(2.0);
//执行任务的线程池
ExecutorService es = Executors
    .newFixedThreadPool(1);
//记录上一次执行时间
prev = System.nanoTime();
//测试执行20次
for (int i=0; i<20; i++){
    //限流器限流
    limiter.acquire();
    //提交任务异步执行
    es.execute()->{
        long cur=System.nanoTime();
        //打印时间间隔：毫秒
        System.out.println(
            (cur-prev)/1000_000);
        prev = cur;
    });
}
```

输出结果：

```
...
500
499
499
500
499
```

经典限流算法：令牌桶算法

Guava的限流器使用上还是很简单的，那它是如何实现的呢？Guava采用的是**令牌桶算法**，其核心是要想**通过限流器，必须拿到令牌**。也就是说，只要我们能够限制发放令牌的速率，那么就能控制流速了。令牌桶算法的详细描述如下：

- 1. 令牌以固定的速率添加到令牌桶中，假设限流的速率是 r /秒，则令牌每 $1/r$ 秒会添加一个；
- 2. 假设令牌桶的容量是 b ，如果令牌桶已满，则新的令牌会被丢弃；
- 3. 请求能够通过限流器的前提是令牌桶中有令牌。

这个算法中，限流的速率 r 还是比较容易理解的，但令牌桶的容量 b 该怎么理解呢？ b 其实是burst的简写，意义是**限流器允许的最大突发流量**。比如 $b=10$ ，而且令牌桶中的令牌已满，此时限流器允许10个请求同时通过限流器，当然只是突发流量而已，这10个请求会带走10个令牌，所以后续流量只能按照速率 r 通过限流器。

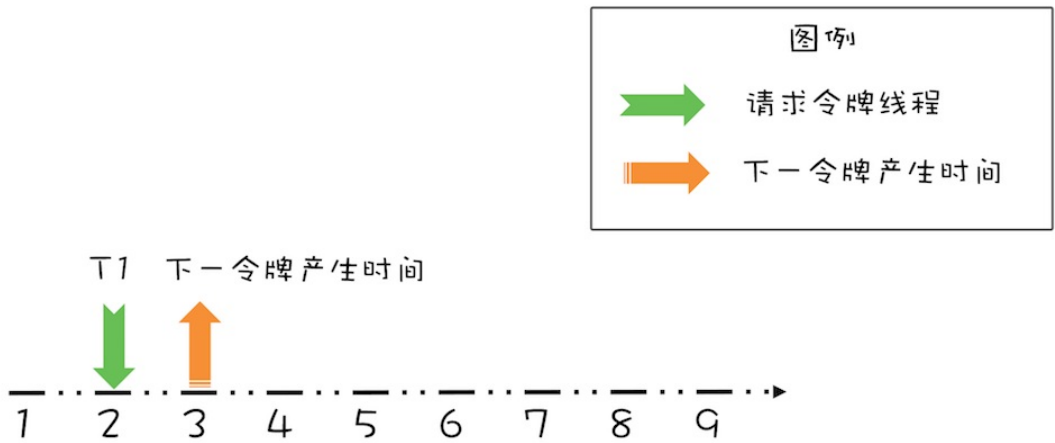
令牌桶这个算法，如何用Java实现呢？很可能你的直觉会告诉你生产者-消费者模式：一个生产者线程定时向阻塞队列中添加令牌，而试图通过限流器的线程则作为消费者线程，只有从阻塞队列中获取到令牌，才允许通过限流器。

这个算法看上去非常完美，而且实现起来非常简单，如果并发量不大，这个实现并没有什么问题。可实际情况却是使用限流的场景大部分都是高并发场景，而且系统压力已经临近极限了，此时这个实现就有问题了。问题就出在定时器上，在高并发场景下，当系统压力已经临近极限的时候，定时器的精度误差会非常大，同时定时器本身会创建调度线程，也会对系统的性能产生影响。

那还有什么好的实现方式呢？当然有，Guava的实现就没有使用定时器，下面我们就来看看它是如何实现的。

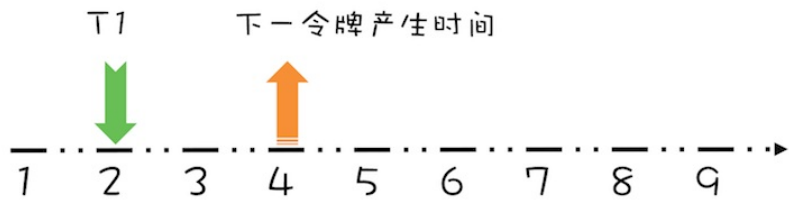
Guava如何实现令牌桶算法

Guava实现令牌桶算法，用了一个很简单的办法，其关键是**记录并动态计算下一令牌发放的时间**。下面我们以一个最简单的场景来介绍该算法的执行过程。假设令牌桶的容量为 $b=1$ ，限流速率 $r = 1$ 个请求/秒，如下图所示，如果当前令牌桶中没有令牌，下一个令牌的发放时间是在第3秒，而在第2秒的时候有一个线程T1请求令牌，此时该如何处理呢？



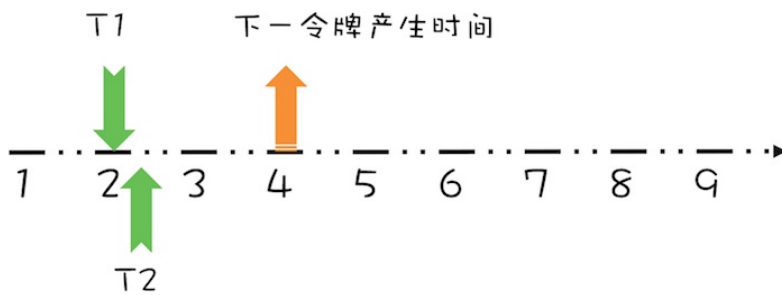
线程T1请求令牌示意图

对于这个请求令牌的线程而言，很显然需要等待1秒，因为1秒以后（第3秒）它就能拿到令牌了。此时需要注意的是，下一个令牌发放的时间也要增加1秒，为什么呢？因为第3秒发放的令牌已经被线程T1预占了。处理之后如下图所示。



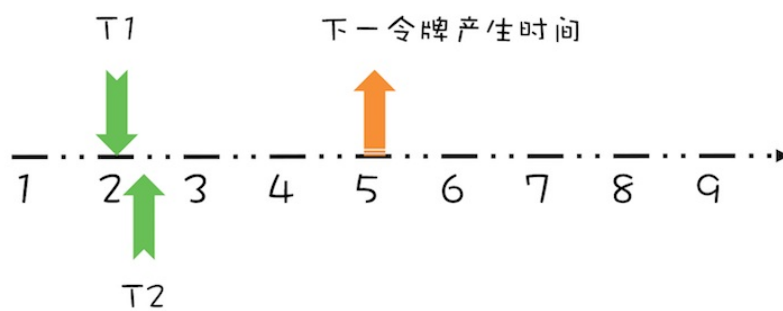
线程T1请求结束示意图

假设T1在预占了第3秒的令牌之后，马上又有一个线程T2请求令牌，如下图所示。



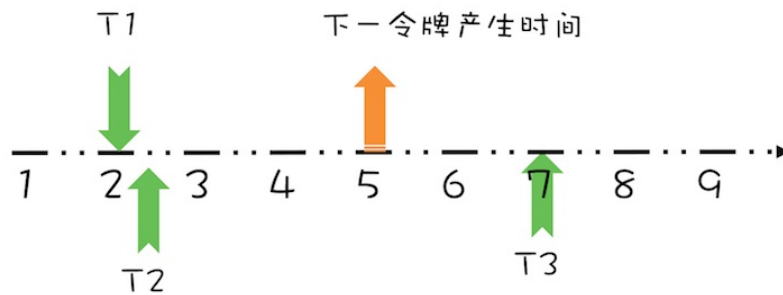
线程T2请求令牌示意图

很显然，由于下一个令牌产生的时间是第4秒，所以线程T2要等待两秒的时间，才能获取到令牌，同时由于T2预占了第4秒的令牌，所以下一令牌产生时间还要增加1秒，完全处理之后，如下图所示。



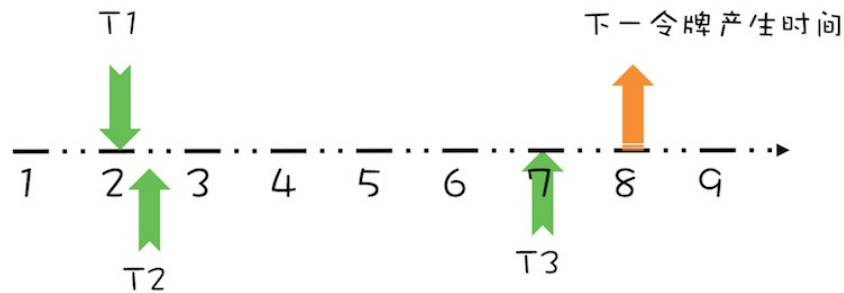
线程T2请求结束示意图

上面线程T1、T2都是在下一令牌产生时间之前请求令牌，如果线程在下一令牌产生时间之后请求令牌会如何呢？假设在线程T1请求令牌之后的5秒，也就是第7秒，线程T3请求令牌，如下图所示。



线程T3请求令牌示意图

由于在第5秒已经产生了一个令牌，所以此时线程T3可以直接拿到令牌，而无需等待。在第7秒，实际上限流器能够产生3个令牌，第5、6、7秒各产生一个令牌。由于我们假设令牌桶的容量是1，所以第6、7秒产生的令牌就丢弃了，其实等价地你也可以认为是保留的第7秒的令牌，丢弃的第5、6秒的令牌，也就是说第7秒的令牌被线程T3占有了，于是下一令牌的产生时间应该是第8秒，如下图所示。



线程T3请求结束示意图

通过上面简要地分析，你会发现，我们只需要记录一个下一令牌产生的时间，并动态更新它，就能够轻松完成限流功能。我们可以将上面的这个算法代码化，示例代码如下所示，依然假设令牌桶的容量是1。关键是 **reserve()** 方法，这个方法会为请求令牌的线程预分配令牌，同时返回该线程能够获取令牌的时间。其实现逻辑就是上面提到的：如果线程请求令牌的时间在下一令牌产生时间之后，那么该线程立刻就能够获取令牌；反之，如果请求时间在下一令牌产生时间之前，那么该线程是在下一令牌产生的时间获取令牌。由于此时下一令牌已经被该线程预占，所以下一令牌产生的时间需要加上1秒。

```
class SimpleLimiter {
    //下一令牌产生时间
    long next = System.nanoTime();
    //发放令牌间隔：纳秒
    long interval = 1000_000_000;
    //预占令牌，返回能够获取令牌的时间
    synchronized long reserve(long now){
        //请求时间在下一令牌产生时间之后
        //重新计算下一令牌产生时间
        if (now > next){
            //将下一令牌产生时间重置为当前时间
            next = now;
        }
        //能够获取令牌的时间
        long at=next;
    }
}
```

```

        //设置下一令牌产生时间
        next += interval;
        //返回线程需要等待的时间
        return Math.max(at, 0L);
    }
    //申请令牌
    void acquire() {
        //申请令牌时的时间
        long now = System.nanoTime();
        //预占令牌
        long at=reserve(now);
        long waitTime=max(at-now, 0);
        //按照条件等待
        if(waitTime > 0) {
            try {
                TimeUnit.NANOSECONDS
                    .sleep(waitTime);
            }catch(InterruptedException e){
                e.printStackTrace();
            }
        }
    }
}

```

如果令牌桶的容量大于1，又该如何处理呢？按照令牌桶算法，令牌要首先从令牌桶中出，所以我们需要按需计算令牌桶中的数量，当有线程请求令牌时，先从令牌桶中出。具体的代码实现如下所示。我们增加了一个**resync()**方法，在这个方法中，如果线程请求令牌的时间在下一令牌产生时间之后，会重新计算令牌桶中的令牌数，**新产生的令牌的计算公式是： $(now - next) / interval$** ，你可对照上面的示意图来理解。reserve()方法中，则增加了先从令牌桶中出令牌的逻辑，不过需要注意的是，如果令牌是从令牌桶中出的，那么next就无需增加一个 interval 了。

```

class SimpleLimiter {
    //当前令牌桶中的令牌数量
    long storedPermits = 0;
    //令牌桶的容量
    long maxPermits = 3;
    //下一令牌产生时间
    long next = System.nanoTime();
    //发放令牌间隔：纳秒
    long interval = 1000_000_000;

    //请求时间在下一令牌产生时间之后,则
    // 1. 重新计算令牌桶中的令牌数
    // 2. 将下一个令牌发放时间重置为当前时间
    void resync(long now) {
        if (now > next) {
            //新产生的令牌数
            long newPermits=(now-next)/interval;
            //新令牌增加到令牌桶
            storedPermits=min(maxPermits,
                storedPermits + newPermits);
            //将下一个令牌发放时间重置为当前时间
            next = now;
        }
    }
    //预占令牌，返回能够获取令牌的时间
    synchronized long reserve(long now){
        resync(now);
    }
}

```

```
//能够获取令牌的时间
long at = next;
//令牌桶中能提供的令牌
long fb=min(1, storedPermits);
//令牌净需求: 首先减掉令牌桶中的令牌
long nr = 1 - fb;
//重新计算下一令牌产生时间
next = next + nr*interval;
//重新计算令牌桶中的令牌
this.storedPermits -= fb;
return at;
}
//申请令牌
void acquire() {
    //申请令牌时的时间
    long now = System.nanoTime();
    //预占令牌
    long at=reserve(now);
    long waitTime=max(at-now, 0);
    //按照条件等待
    if(waitTime > 0) {
        try {
            TimeUnit.NANOSECONDS
                .sleep(waitTime);
        }catch(InterruptedException e){
            e.printStackTrace();
        }
    }
}
```

总结

经典的限流算法有两个，一个是**令牌桶算法 (Token Bucket)**，另一个是**漏桶算法 (Leaky Bucket)**。令牌桶算法是定时向令牌桶发送令牌，请求能够从令牌桶中拿到令牌，然后才能通过限流器；而漏桶算法里，请求就像水一样注入漏桶，漏桶会按照一定的速率自动将水漏掉，只有漏桶里还能注入水的时候，请求才能通过限流器。令牌桶算法和漏桶算法很像一个硬币的正反面，所以你可以参考令牌桶算法的实现来实现漏桶算法。

上面我们介绍了Guava是如何实现令牌桶算法的，我们的示例代码是对Guava RateLimiter的简化，Guava RateLimiter扩展了标准的令牌桶算法，比如还能支持预热功能。对于按需加载的缓存来说，预热后缓存能支持5万TPS的并发，但是在预热前5万TPS的并发直接就把缓存击垮了，所以如果需要给该缓存限流，限流器也需要支持预热功能，在初始阶段，限制的流速 r 很小，但是动态增长的。预热功能的实现非常复杂，Guava构建了一个积分函数来解决这个问题，如果你感兴趣，可以继续深入研究。

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。

精选留言：

- 密码123456 2019-05-25 10:22:57
桶容量为1的时候，我能理解。但是桶容量为多个的时候，就不理解了，比如
// 新产生的令牌数
long newPermits=(now-next)/interval;
这句，不应该1秒生成桶的总容量吗？假设now为2，next为1。interval也为1。那么一个周期也就产生一个令牌啊？
- 遇见阳光 2019-05-25 09:00:12
RateLimiter这个限流器和juc包的信号量有啥区别？
- undifined 2019-05-25 08:58:35
对于这个请求令牌的线程而言，很显然需要等待 1 秒，因为 1 秒以后（第 3 秒）它就能拿到令牌了。此时需要注意的是，下一个令牌发放的时间也要增加 1 秒，为什么呢？因为第 3 秒发放的令牌已经被线程 T1 预占了。处理之后如下图所示。

“下一个令牌发放的时间也要增加 1 秒”这句话没懂，下一个令牌是指可以下一次请求可以拿到的有效令牌吗；我的理解是每秒都产生令牌，第 3 秒的已经被上一个请求占用了，所以下一个请求得等到第 4 秒产生有效的令牌才可以，而不是第 4 秒不产生令牌；这样理解对吗，谢谢老师
- 搏未来 2019-05-25 08:34:29
当我看到积分函数时，感觉数学也要好好学习了😁
- 高原 2019-05-25 08:31:32
还有就是老师我问一下因为我不是在互联网公司工作接触高并发场景少，我又喜欢学习研究提高自己，是不是得多看多练，实战
- 高原 2019-05-25 08:19:51
老师想请教个实际问题，假设单机做服务器端win和下面Linux应用程序实时socket通信，每个消息交互时间大概10毫秒，我现在想提速，想把交互时间变成0.1毫秒，有啥方法解决此问题，服务器端承载业务处理逻辑和数据库读写操作，谢谢，我现在不清楚这个问题如何解决，我想法是更换网络框架，例如换成n

