

54|算法实战（三）：剖析高性能队列Disruptor背后的数据结构和算法

Disruptor你是否听说过呢？它是一种内存消息队列。从功能上讲，它其实有点儿类似Kafka。不过，和Kafka不同的是，Disruptor是线程之间用于消息传递的队列。它在Apache Storm、Camel、Log4j 2等很多知名项目中都有广泛应用。

之所以如此受青睐，主要还是因为它的性能表现非常优秀。它比Java中另外一个非常常用的内存消息队列ArrayBlockingQueue（ABS）的性能，要高一个数量级，可以算得上是最快的内存消息队列了。它还因此获得过Oracle官方的Duke大奖。

如此高性能的内存消息队列，在设计和实现上，必然有它独到的地方。今天，我们就来一块儿看下，Disruptor是如何做到如此高性能的？其底层依赖了哪些数据结构和算法？

基于循环队列的“生产者-消费者模型”

什么是内存消息队列？对很多业务工程师或者前端工程师来说，可能会比较陌生。不过，如果我说“生产者-消费者模型”，估计大部分人都知道。在这个模型中，“生产者”生产数据，并且将数据放到一个中心存储容器中。之后，“消费者”从中心存储容器中，取出数据消费。

这个模型非常简单、好理解，那你有没有思考过，这里面存储数据的中心存储容器，是用什么样的数据结构来实现的呢？

实际上，实现中心存储容器最常用的一种数据结构，就是我们在[第9节](#)讲的队列。队列支持数据的先进先出。正是这个特性，使得数据被消费的顺序性可以得到保证，也就是说，早被生产的数据就会早被消费。

我们在[第9节](#)讲过，队列有两种实现思路。一种是基于链表实现的链式队列，另一种是基于数组实现的顺序队列。不同的需求背景下，我们会选择不同的实现方式。

如果我们要实现一个无界队列，也就是说，队列的大小事先不确定，理论上可以支持无限大。这种情况下，我们适合选用链表来实现队列。因为链表支持快速地动态扩容。如果我们要实现一个有界队列，也就是说，队列的大小事先确定，当队列中数据满了之后，生产者就需要等待。直到消费者消费了数据，队列有空闲位置的时候，生产者才能将数据放入。

实际上，相较于无界队列，有界队列的应用场景更加广泛。毕竟，我们的机器内存是有限的。而无界队列占用的内存数量是不可控的。对于实际的软件开发来说，这种不可控的因素，就会有潜在的风险。在某些极端情况下，无界队列就有可能因为内存持续增长，而导致OOM（Out of Memory）错误。

在[第9节](#)中，我们还讲过一种特殊的顺序队列，循环队列。我们讲过，非循环的顺序队列在添加、删除数据的工程中，会涉及数据的搬移操作，导致性能变差。而循环队列正好可以解决这个数据搬移的问题，所以，性能更加好。所以，大部分用到顺序队列的场景中，我们都选择用顺序队列中的循环队列。

实际上，循环队列这种数据结构，就是我们今天要讲的内存消息队列的雏形。我借助循环队列，实现了一个最简单的“生产者-消费者模型”。对应的代码我贴到这里，你可以看看。

为了方便你理解，对于生产者和消费者之间操作的同步，我并没有用到线程相关的操作。而是采用了“当队列满了之后，生产者就轮训等待；当队列空了之后，消费者就轮训等待”这样的措施。

```
public class Queue {
    private Long[] data;
    private int size = 0, head = 0, tail = 0;
    public Queue(int size) {
        this.data = new Long[size];
    }
}
```

```
        this.size = size;
    }

    public boolean add(Long element) {
        if ((tail + 1) % size == head) return false;
        data[tail] = element;
        tail = (tail + 1) % size;
        return true;
    }

    public Long poll() {
        if (head == tail) return null;
        long ret = data[head];
        head = (head + 1) % size;
        return ret;
    }
}

public class Producer {
    private Queue queue;
    public Producer(Queue queue) {
        this.queue = queue;
    }

    public void produce(Long data) throws InterruptedException {
        while (!queue.add(data)) {
            Thread.sleep(100);
        }
    }
}

public class Consumer {
    private Queue queue;
    public Consumer(Queue queue) {
        this.queue = queue;
    }

    public void consume() throws InterruptedException {
        while (true) {
            Long data = queue.poll();
            if (data == null) {
                Thread.sleep(100);
            } else {
                // TODO:...消费数据的业务逻辑...
            }
        }
    }
}
```

基于加锁的并发“生产者-消费者模型”

实际上，刚刚的“生产者-消费者模型”实现代码，是不完善的。为什么这么说呢？

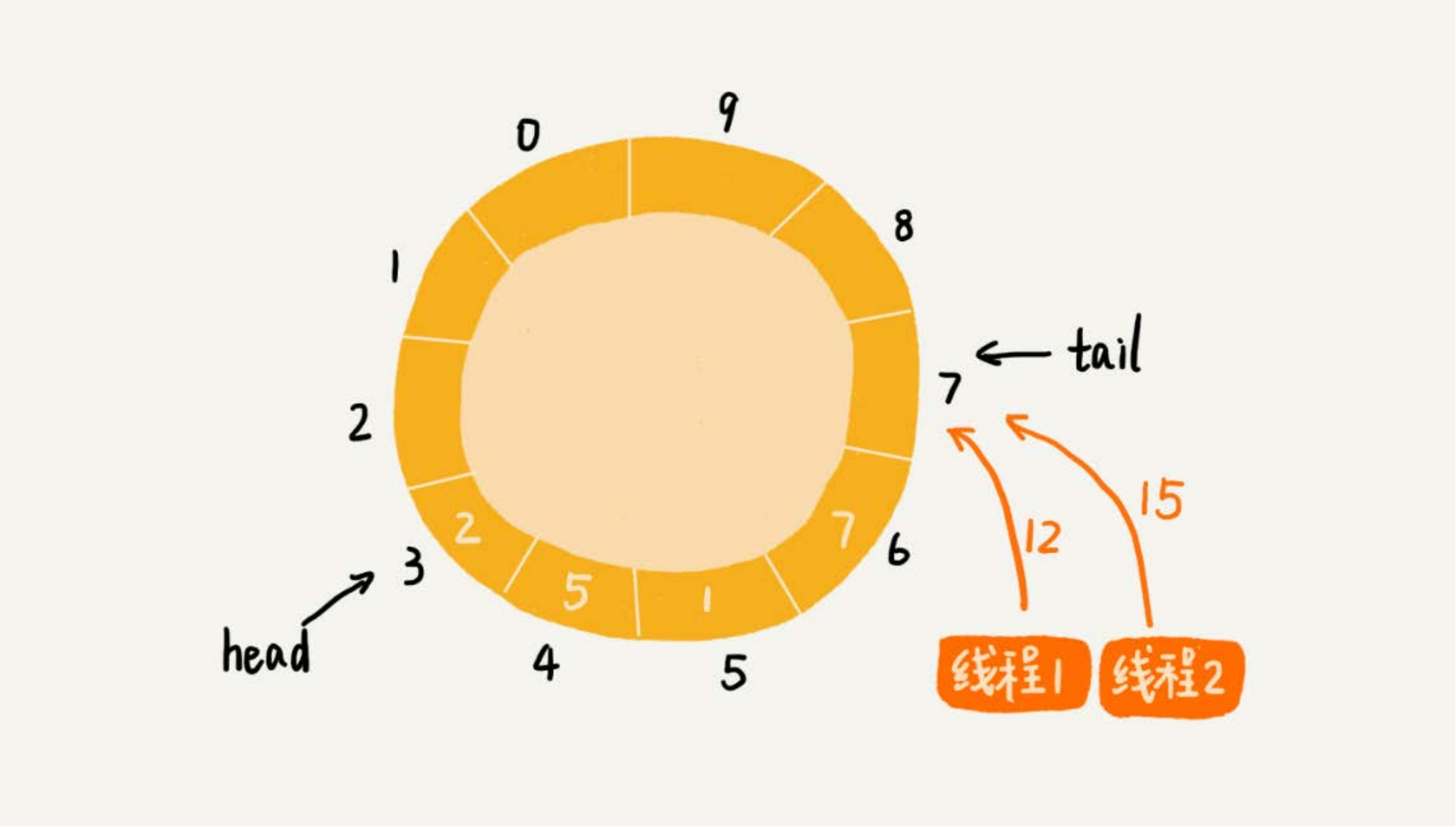
如果我们只有一个生产者往队列中写数据，一个消费者从队列中读取数据，那上面的代码是没有问题的。但是，如果有多个生产者在并发地往队列中写入数据，或者多个消费者并发地从队列中消费数据，那上面的代码就不能正确工作了。我来给你讲讲为什么。

在多个生产者或者多个消费者并发操作队列的情况下，刚刚的代码主要会有下面两个问题：

- 多个生产者写入的数据可能会互相覆盖；
- 多个消费者可能会读取重复的数据。

因为第一个问题和第二个问题产生的原理是类似的。所以，我着重讲解第一个问题是如何产生的以及如何解决。对于第二个问题，你可以类比我对第一个问题的解决思路自己来想一想。

两个线程同时往队列中添加数据，也就相当于两个线程同时执行类Queue中的add()函数。我们假设队列的大小size是10，当前的tail指向下标7，head指向下标3，也就是说，队列中还有空闲空间。这个时候，线程1调用add()函数，往队列中添加一个值为12的数据；线程2调用add()函数，往队列中添加一个值为15的数据。在极端情况下，本来是往队列中添加了两个数据（12和15），最终可能只有一个数据添加成功，另一个数据会被覆盖。这是为什么呢？

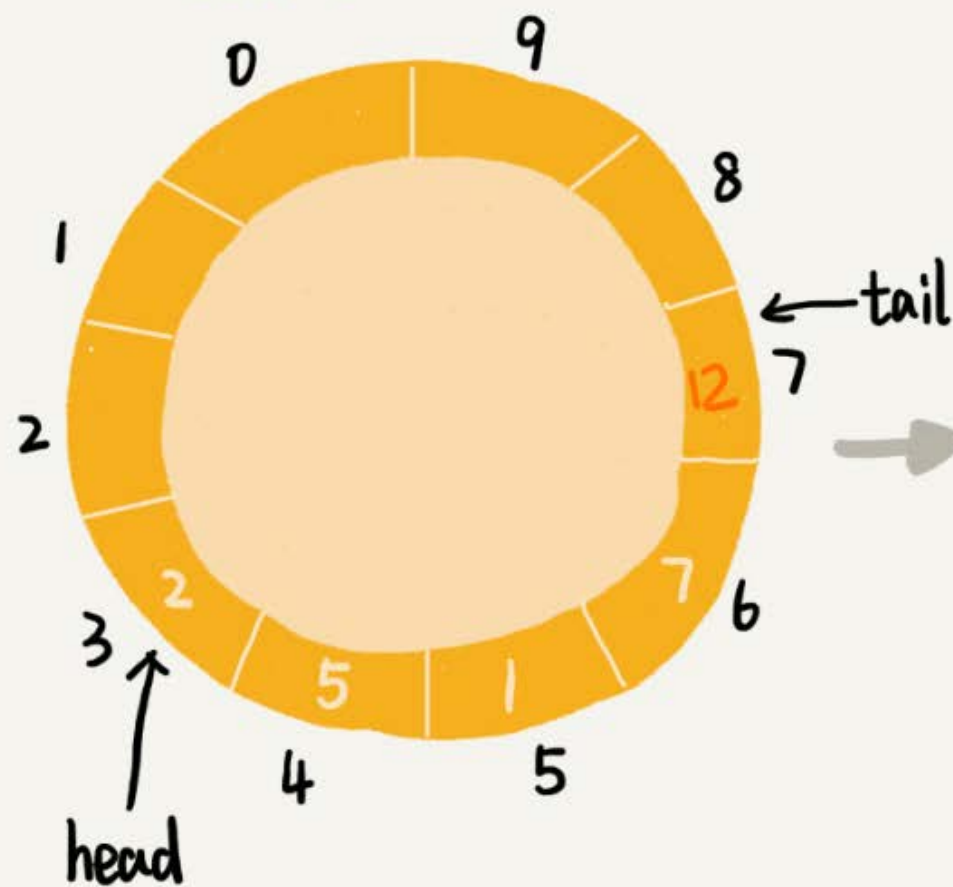


为了方便你查看队列Queue中的add()函数，我把它从上面的代码中摘录出来，贴在这里。

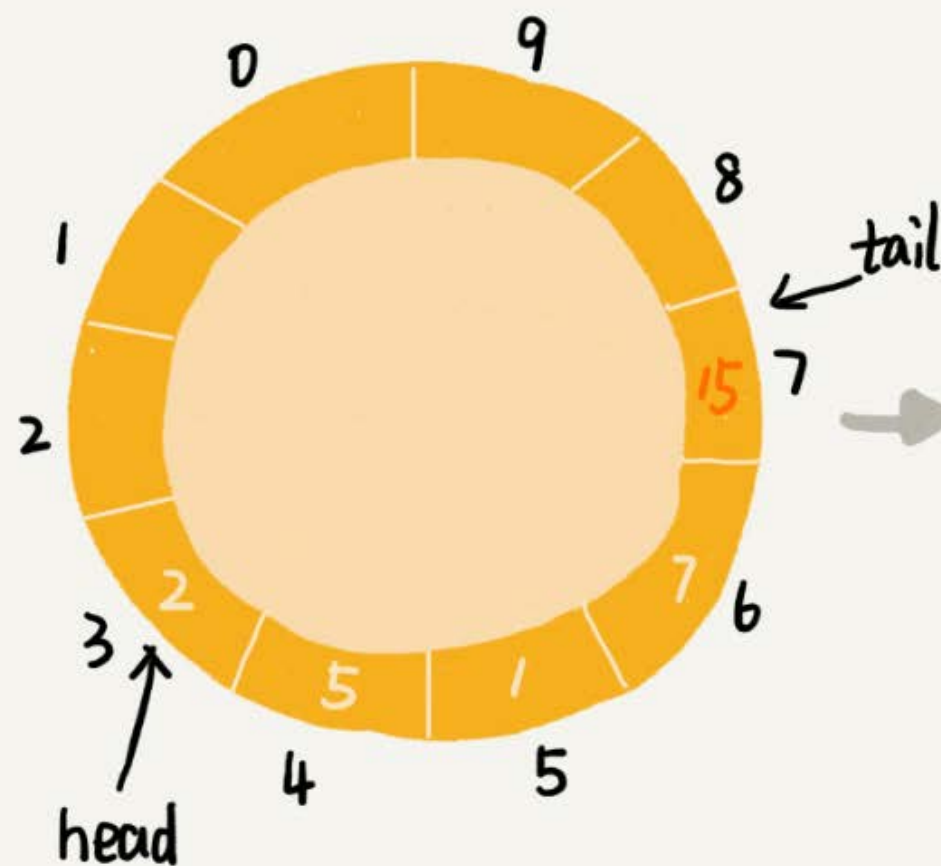
```
public boolean add(Long element) {
    if ((tail + 1) % size == head) return false;
    data[tail] = element;
    tail = (tail + 1) % size;
    return true;
}
```

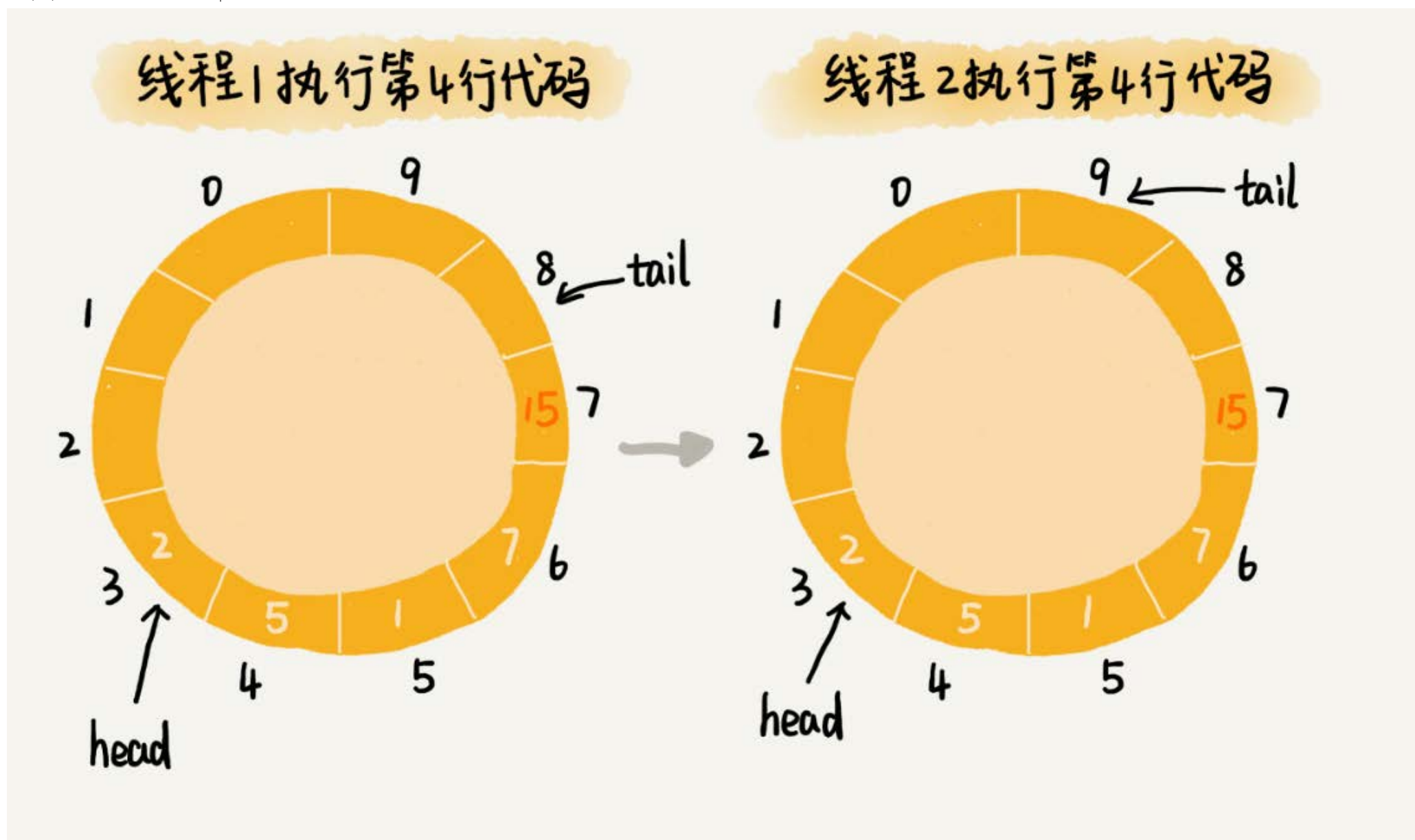
从这段代码中，我们可以看到，第3行给data[tail]赋值，然后第4行才给tail的值加一。赋值和tail加一两个操作，并非原子操作。这就会导致这样的情况发生：当线程1和线程2同时执行add()函数的时候，线程1先执行完了第3行语句，将data[7]（tail等于7）的值设置为12。在线程1还未执行到第4行语句之前，也就是还未将tail加一之前，线程2执行了第3行语句，又将data[7]的值设置为15，也就是说，那线程2插入的数据覆盖了线程1插入的数据。原本应该插入两个数据（12和15）的，现在只插入了一个数据（15）。

线程1执行第3行代码



线程2执行第3行代码





那如何解决这种线程并发往队列中添加数据时，导致的数据覆盖、运行不正确问题呢？

最简单的处理方法就是给这段代码加锁，同一时间只允许一个线程执行`add()`函数。这就相当于将这段代码的执行，由并行改成了串行，也就不存在我们刚刚说的

问题了。不过，天下没有免费的午餐，加锁将并行改成串行，必然导致多个生产者同时生产数据的时候，执行效率的下降。当然，我们可以继续优化代码，用CAS (compare and swap, 比较并交换) 操作等减少加锁的粒度，但是，这不是我们这节的重点。我们直接看Disruptor的处理方法。

基于无锁的并发“生产者-消费者模型”

尽管Disruptor的源码读起来很复杂，但是基本思想其实非常简单。实际上，它是换了一种队列和“生产者-消费者模型”的实现思路。

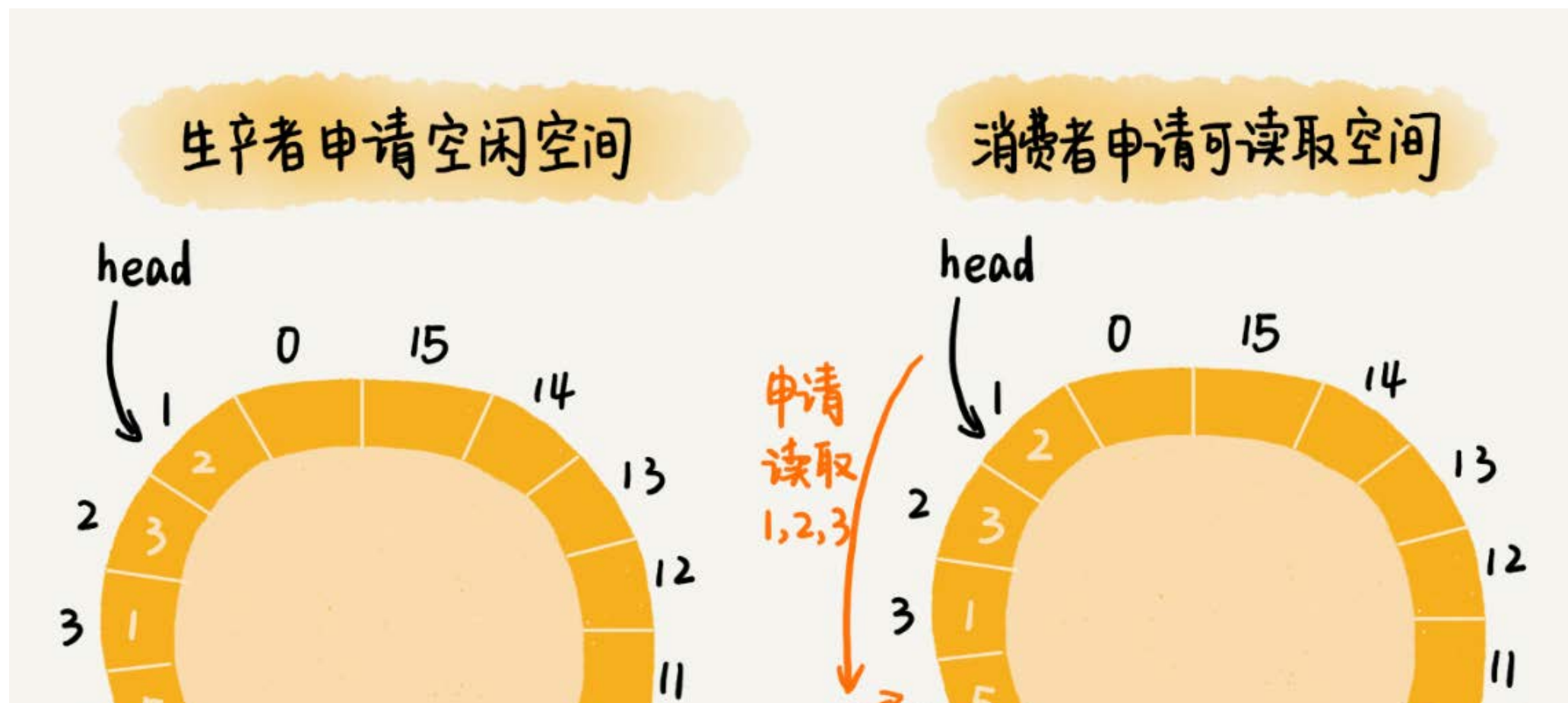
之前的实现思路中，队列只支持两个操作，添加数据和读取并移除数据，分别对应代码中的add()函数和poll()函数，而Disruptor采用了另一种实现思路。

对于生产者来说，它往队列中添加数据之前，先申请可用空闲存储单元，并且是批量地申请连续的n个（ $n \geq 1$ ）存储单元。当申请到这组连续的存储单元之后，后续往队列中添加元素，就可以不用加锁了，因为这组存储单元是这个线程独享的。不过，从刚刚的描述中，我们可以看出，申请存储单元的过程是需要加锁的。

对于消费者来说，处理的过程跟生产者是类似的。它先去申请一批连续可读的存储单元（这个申请的过程也是需要加锁的），当申请到这批存储单元之后，后续的读取操作就可以不用加锁了。

不过，还有一个需要特别注意的地方，那就是，如果生产者A申请到了一组连续的存储单元，假设是下标为3到6的存储单元，生产者B紧跟着申请到了下标是7到9的存储单元，那在3到6没有完全写入数据之前，7到9的数据是无法读取的。这个也是Disruptor实现思路的一个弊端。

文字描述不好理解，我画了一个图，给你展示一下这个操作过程。





实际上，Disruptor采用的是RingBuffer和AvailableBuffer这两个结构，来实现我刚刚讲的功能。不过，因为我们主要聚焦在数据结构和算法上，所以我对这两种结构做了简化，但是基本思想是一致的。如果你对Disruptor感兴趣，可以去阅读一下它的[源码](#)。

总结引申

今天，我讲了如何实现一个高性能的并发队列。这里的“并发”两个字，实际上就是多线程安全的意思。

常见的内存队列往往采用循环队列来实现。这种实现方法，对于只有一个生产者和一个消费者的场景，已经足够了。但是，当存在多个生产者或者多个消费者的时候，单纯的循环队列的实现方式，就无法正确工作了。

这主要是因为，多个生产者在同时往队列中写入数据的时候，在某些情况下，会存在数据覆盖的问题。而多个消费者同时消费数据，在某些情况下，会存在消费重复数据的问题。

针对这个问题，最简单、暴力的解决方法就是，对写入和读取过程加锁。这种处理方法，相当于将原来可以并行执行的操作，强制串行执行，相应地就会导致操作性能的下降。

为了在保证逻辑正确的前提下，尽可能地提高队列在并发情况下的性能，Disruptor采用了“两阶段写入”的方法。在写入数据之前，先加锁申请批量的空闲存储单元，之后往队列中写入数据的操作就不需要加锁了，写入的性能因此就提高了。Disruptor对消费过程的改造，跟对生产过程的改造是类似的。它先加锁申请批量的可读取的存储单元，之后从队列中读取数据的操作也就不需要加锁了，读取的性能因此也就提高了。

你可能会觉得这个优化思路非常简单。实际上，不管架构设计还是产品设计，往往越简单的设计思路，越能更好地解决问题。正所谓“大道至简”，就是这个意思。

课后思考

为了提高存储性能，我们往往通过分库分表的方式设计数据库表。假设我们有8张表用来存储用户信息。这个时候，每张用户表中的ID字段就不能通过自增的方式来产生了。因为这样的话，就会导致不同表之间的用户ID值重复。

为了解决这个问题，我们需要实现一个ID生成器，可以为所有的用户表生成唯一的ID号。那现在问题是，如何设计一个高性能、支持并发的、能够生成全局唯一ID的ID生成器呢？

欢迎留言和我分享，也欢迎点击“请朋友读”，把今天的内容分享给你的好友，和他一起讨论、学习。



数据结构与算法之美

为工程师量身打造的数据结构与算法私教课

王争

前 Google 工程师



新版升级：点击「请朋友读」，10位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

精选留言：

- Smallfly 2019-01-30 10:29:31

没有读过 **Disruptor** 的源码，从老师的文章理解，一个线程申请了一组存储空间，如果这组空间还没有被完全填满之前，另一个线程又进来，在这组空间之后申请空间并添加数据，之后第一组空间又继续填充数据，那在消费时如何保证队列是按照添加顺序读取的呢？

即使控制读取时前面不能有空闲空间，是为了保证能按内存空间顺序消费，但是如果生产的时候没有保证顺序存储，似乎就不满足队列的条件了。[1赞]

- 想当上帝的司机 2019-01-30 08:44:47

为什么3到6没有完全写入前，7到9无法读取，不是两个写入操作吗[1赞]

- Victor 2019-01-30 15:10:46

课后问题：设计高性能、支持并发的全局唯一ID生成器

使用Redis生成全局唯一ID

1、redis Incr为原子操作，支持并发

2、redis基于内存，性能较高

- Yakmoz 2019-01-30 14:11:37

像TDDL采用的也是类似的思想，由一个sequence维护当前已用的最大ID，然后也是取一个ID区间自己缓存起来，用的是乐观锁控制并发。另外比起zookeeper来说etcd更适合生成全局唯一的ID，因为ZK只能保证最终一致性，etcd是强一致性，在性能上也要比ZK更好

- belongcai蔡炳榕 2019-01-30 10:35:19

看完还是有很多困惑（可能跟我不了解线程安全有关）

一是申请一段连续存储空间，怎么成为线程独享的呢？生产者ab分别申请后，消费者为啥无法跨区域读取呢

二是这种方法应该是有实验证明效率高的，私下去了解下。

- M.Y 2019-01-30 10:07:55

课后思考。

如果不是分布式应用：

1.用JDK自带的AtomicLong

2.用Oracle数据库中的Sequence

如果是分布式应用：

1.用zookeeper生成全局ID

2.用Redis中的Redlock 生产全局ID

- Keep-Moving 2019-01-30 10:06:44

思考题：加锁批量生成ID，使用时就不用加锁了

- 神盾局闹别扭 2019-01-30 09:56:45

有个问题，按照老师所说，a线程只写1-3区块，b线程只写4-6块，假设a线程先写了块1，切换到线程b，b写块4，然后再切回线程a，a写块2。虽然没有数据覆盖问题，但是最终块1-6的顺序不是按写入先后顺序排布的，读取不是乱套了吗，怎么解决这个问题？求老师能说的详细点。

- Keep-Moving 2019-01-30 09:52:01

“当申请到这组连续的存储单元之后，后续往队列中添加元素，就可以不用加锁了”，这句话不太理解，老师能不能再说得详细些？

- Jamin 2019-01-30 09:46:31

那在 3 到 6 没有完全写入数据之前，是想说3到6的数据无法被读取吧？

- yann [扬] :曹同学 2019-01-30 09:43:38

应该是读不需要锁，生成id时加锁，各个表的id去生成器上查一下有没有用过，不行，需要整理一下了

- 朝夕心 2019-01-30 08:49:04

即使3-6完全写入了，7-9也不一定可以消费吧，如果此时7-9没有完全写入，也不会释放锁啊。7-9无法消费是因为生产者B拿到了写锁吧，和生产者A释不释放3-6的锁没有关系吧

个人理解，请老师指正

- 沉睡的木木夕 2019-01-30 08:31:51

还是没说加存储单元是干嘛的啊，为什么在往队列添加元素之前申请存储单元就不用加锁了？能说的在详细点么

- K战神 2019-01-30 08:27:01

而是采用了“当队列满了之后，生产者就轮训等待；当队列空了之后，消费者就轮训等待”这样的措施。~是不是有错别字？轮询？