29 | Copy-on-Write模式：不是延时策略的COW

2019-05-04 王宝令

在上一篇文章中我们讲到Java里String这个类在实现replace()方法的时候，并没有更改原字符串里面value[]数组的内容，而是创建了一个新字符串，这种方法在解决不可变对象的修改问题时经常用到。如果你深入地思考这个方法，你会发现它本质上是一种**Copy-on-Write方法**。所谓Copy-on-Write，经常被缩写为COW或者CoW，顾名思义就是**写时复制**。

不可变对象的写操作往往都是使用Copy-on-Write方法解决的，当然Copy-on-Write的应用领域并不局限于Immutability模式。下面我们先简单介绍一下Copy-on-Write的应用领域，让你对它有个更全面的认识。

Copy-on-Write模式的应用领域

我们前面在《20 | 并发容器：都有哪些“坑”需要我们填？》中介绍过CopyOnWriteArrayList和CopyOnWriteArraySet这两个Copy-on-Write容器，它们背后的设计思想就是Copy-on-Write；通过Copy-on-Write这两个容器实现的读操作是无锁的，由于无锁，所以将读操作的性能发挥到了极致。

除了Java这个领域，Copy-on-Write在操作系统领域也有广泛的应用。

我第一次接触Copy-on-Write其实就是在操作系统领域。类Unix的操作系统中创建进程的API是fork()，传统的fork()函数会创建父进程的一个完整副本，例如父进程的地址空间现在用到了1G的内存，那么fork()子进程的时候要复制父进程整个进程的地址空间（占有1G内存）给子进程，这

个过程是很耗时的。而Linux中的fork()函数就聪明得多了，fork()子进程的时候，并不复制整个进程的地址空间，而是让父子进程共享同一个地址空间；只用在父进程或者子进程需要写入的时候才会复制地址空间，从而使父子进程拥有各自的地址空间。

本质上来讲，父子进程的地址空间以及数据都是要隔离的，使用Copy-on-Write更多地体现的是一种**延时策略，只有在真正需要复制的时候才复制，而不是提前复制好**，同时Copy-on-Write还支持按需复制，所以Copy-on-Write在操作系统领域是能够提升性能的。相比较而言，Java提供的Copy-on-Write容器，由于在修改的同时会复制整个容器，所以在提升读操作性能的同时，是以内存复制为代价的。这里你会发现，同样是应用Copy-on-Write，不同的场景，对性能的影响是不同的。

在操作系统领域，除了创建进程用到了Copy-on-Write，很多文件系统也同样用到了，例如Btrfs(B-Tree File System)、aufs（advanced multi-layered unification filesystem）等。

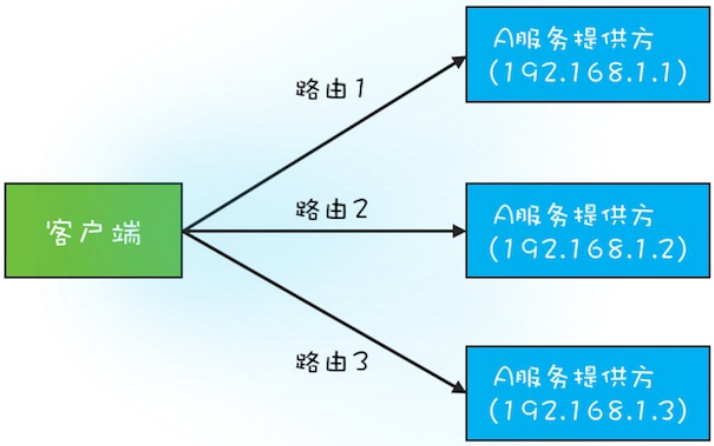
除了上面我们说的Java领域、操作系统领域，很多其他领域也都能看到Copy-on-Write的身影：Docker容器镜像的设计是Copy-on-Write，甚至分布式源码管理系统Git背后的设计思想都有Copy-on-Write.....

不过，**Copy-on-Write最大的应用领域还是在函数式编程领域**。函数式编程的基础是不可变性（Immutability），所以函数式编程里面所有的修改操作都需要Copy-on-Write来解决。你或许会有疑问，“所有数据的修改都需要复制一份，性能是不是会成为瓶颈呢？”你的担忧是有道理的，之所以函数式编程早年间没有兴起，性能绝对拖了后腿。但是随着硬件性能的提升，性能问题已经慢慢变得可以接受了。而且，Copy-on-Write也远不像Java里的CopyOnWriteArrayList那样笨：整个数组都复制一遍。Copy-on-Write也是可以按需复制的，如果你感兴趣可以参考Purely Functional Data Structures这本书，里面描述了各种具备不变性的数据结构的实现。

CopyOnWriteArrayList和CopyOnWriteArraySet这两个Copy-on-Write容器在修改的时候会复制整个数组，所以如果容器经常被修改或者这个数组本身就非常大的时候，是不建议使用的。反之，如果是修改非常少、数组数量也不大，并且对读性能要求苛刻的场景，使用Copy-on-Write容器效果就非常好了。下面我们结合一个真实的案例来讲解一下。

一个真实案例

我曾经写过一个RPC框架，有点类似Dubbo，服务提供方是多实例分布式部署的，所以服务的客户端在调用RPC的时候，会选定一个服务实例来调用，这个选定的过程本质上就是在做负载均衡，而做负载均衡的前提是客户端要有全部的路由信息。例如在下图中，A服务的提供方有3个实例，分别是192.168.1.1、192.168.1.2和192.168.1.3，客户端在调用目标服务A前，首先需要做的是负载均衡，也就是从这3个实例中选出1个来，然后再通过RPC把请求发送选中的目标实例。



RPC路由关系图

RPC框架的一个核心任务就是维护服务的路由关系，我们可以把服务的路由关系简化成下图所示的路由表。当服务提供方上线或者下线的时候，就需要更新客户端的这张路由表。

接口	服务提供方IP	服务提供方端口	状态
io.service.helloword	192.168.1.1	7890	ONLINE
io.service.helloword	192.168.1.2	7890	ONLINE
io.service.hellojava	192.168.2.3	7890	OFFLINE

我们首先来分析一下如何用程序来实现。每次RPC调用都需要通过负载均衡器来计算目标服务的IP和端口号，而负载均衡器需要通过路由表获取接口的所有路由信息，也就是说，每次RPC调用都需要访问路由表，所以访问路由表这个操作的性能要求是很高的。不过路由表对数据的一致性要求并不高，一个服务提供方从上线到反馈到客户端的路由表里，即便有5秒钟，很多时候也都是能接受的（5秒钟，对于以纳秒作为时钟周期的CPU来说，那何止是一万年，所以路由表对一致性的要求并不高）。而且路由表是典型的读多写少类问题，写操作的量相比于读操作，可谓是沧海一粟，少得可怜。

通过以上分析，你会发现一些关键词：对读的性能要求很高，读多写少，弱一致性。它们综合在一起，你会想到什么呢？CopyOnWriteArrayList和CopyOnWriteArraySet天生就适用这种场景啊。所以下面的示例代码中，RouteTable这个类内部我们通过ConcurrentHashMap<String,

CopyOnWriteArraySet<Router>>这个数据结构来描述路由表，ConcurrentHashMap的Key是接口名，Value是路由集合，这个路由集合我们用是CopyOnWriteArraySet。

下面我们再来思考Router该如何设计，服务提供方的每一次上线、下线都会更新路由信息，这时候你有两种选择。一种是通过更新Router的一个状态位来标识，如果这样做，那么所有访问该状态位的地方都需要同步访问，这样很影响性能。另外一种就是采用Immutability模式，每次上线、下线都创建新的Router对象或者删除对应的Router对象。由于上线、下线的频率很低，所以后者是最好的选择。

Router的实现代码如下所示，是一种典型Immutability模式的实现，需要你注意的是我们重写了equals方法，这样CopyOnWriteArraySet的add()和remove()方法才能正常工作。

```
//路由信息
public final class Router{
  private final String  ip;
  private final Integer port;
  private final String  iface;
  //构造函数
  public Router(String ip,
      Integer port, String iface){
    this.ip = ip;
    this.port = port;
    this.iface = iface;
  }
  //重写equals方法
  public boolean equals(Object obj){
    if (obj instanceof Router) {
      Router r = (Router)obj;
      return iface.equals(r.iface) &&
             ip.equals(r.ip) &&
             port.equals(r.port);
    }
    return false;
  }
  public int hashCode() {
    //省略hashCode相关代码
  }
}
```

```
//路由表信息
public class RouterTable {
  //Key:接口名
  //Value:路由集合
  ConcurrentHashMap<String, CopyOnWriteArraySet<Router>>
    rt = new ConcurrentHashMap<>();
  //根据接口名获取路由表
  public Set<Router> get(String iface){
    return rt.get(iface);
  }
  //删除路由
  public void remove(Router router) {
    Set<Router> set=rt.get(router.iface);
    if (set != null) {
      set.remove(router);
    }
  }
  //增加路由
  public void add(Router router) {
    Set<Router> set = rt.computeIfAbsent(
      route.iface, r ->
        new CopyOnWriteArraySet<>());
    set.add(router);
  }
}
```

总结

目前Copy-on-Write在Java并发编程领域知名度不是很高，很多人都在无意中把它忽视了，但其实Copy-on-Write才是最简单的并发解决方案。它是如此简单，以至于Java中的基本数据类型String、Integer、Long等都是基于Copy-on-Write方案实现的。

Copy-on-Write是一项非常通用的技术方案，在很多领域都有着广泛的应用。不过，它也有缺点的，那就是消耗内存，每次修改都需要复制一个新的对象出来，好在随着自动垃圾回收（GC）算法的成熟以及硬件的发展，这种内存消耗已经渐渐可以接受了。所以在实际工作中，如果写操作非常少，那你就可以尝试用一下Copy-on-Write，效果还是不错的。

课后思考

Java提供了CopyOnWriteArrayList，为什么没有提供CopyOnWriteLinkedList呢？

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。

精选留言

GeekAmI

27

CopyOnWriteLinkedList的链表结构读取效率比较低，就违背了读多写少的设计初衷。

2019-05-04

Knight²⁰¹⁸

10

很多童鞋提到了链表copy的代价，个人觉得这并不是最根本的原因。首先数组无论的新增还是删除copy是避免不了的，因此我们采用copy on write的方式在保证代价相当的前提下保证了并发的安全问题，何乐而不为呢。其次是链表的新增删除压根就不需要复制，就算是在并发场景下采用锁的方式性能损耗都不大，因此也就没必要采用copy的方式了，更何况链表的操作可以采用分段锁、节点锁。所以没有CopyOnWriteLinkedList的主要原因是没有这个必要。

2019-05-06

假行僧

7

没有提供CopyOnWriteLinkedList是因为linkedlist的数据结构关系分散到每一个节点里面，对每一个节点的修改都存在竞态条件，需要同步才能保证一致性。arraylist就不一样，数组天然的拥有前驱后继的结构关系，对列表的增删，因为是copy on wirte，所以只需要cas操作数组对象就

能够保证线程安全，效率上也能接受，更重要的是避免锁竞争带来的上下文切换消耗。有一点需要注意的是CopyOnWriteArrayList在使用上有数据不完整的时间窗口，要不要考虑需要根据具体场景定夺

2019-05-05

作者回复

[]

2019-05-20

Corner

6

数组的拷贝效率应该比链表高，一维数组是连续分配内存的，所以可以直接复制内存块就能完成拷贝。但是链表元素之间是通过引用建立连接的，所以要遍历整个链表才能完成拷贝。

2019-05-04

夏天

3

王老师，问一个单例模式的问题： 在双重检查加锁的单例模式中 需不需要加 volatile 关键字修饰？ 自己的理解：是需要。但是我在考虑其中的锁是不是存在happen before规则，不用加volatile也能保证可见性？

2019-05-06

作者回复

必须加，还有指令重排问题

2019-05-20

ban

2

一种是通过更新 Router 的一个状态位来标识，如果这样做，那么所有访问该状态位的地方都需要同步访问，这样很影响性能。

老师好，这句话的意思没怎么看懂，我理解的是route如果下线后更新状态标识，所以每次调用的时候都需要遍历所以route节点，判断每个节点的状态来判断是否下线，所以比较消耗性能的意思吗？所以改成方法二只要下线即删除改route节点，调用的时候不需要判断，只要路由表查到即算都是上线状态。

2019-05-04

nonohony

1

1.链表本身适合于顺序读和写多的场景，和cop读多写少是违背的。
2.链表可以锁节点，力度已经很小了。
3.链表整体复制的性能比数组差太多。

2019-05-08

周治慧

1

本质就是数组查询块增删慢，链表增删块查询慢。copyandwrite本质就是读多写少即查询多增删少的一个过程所以数组更加合适

2019-05-05

晓杰 1

LinkedList本身适用于写多读少的场景，而copy-on-write模式适用于读多写少的场景，两者适用场景相反。

2019-05-04

Darren 1

LinkedList 在复制时，因为其包含前后节点地址，每个节点需要去创建，成本比较高，所以很少或者没有写时复制的Linked 结构吧

2019-05-04

Jxin 0

前者一块大内存，后者一堆小内存。复制时申请内存的次数差距悬殊。另外后者元素的剔除通常伴随内存的回收。老链表实例的回收会伴随大量内存块的回收操作。一句话，成本太高，干脆不要。

2019-06-15

风翱 0

Copy-on-Write方案是适合读多写少的场景，而LinkedList读取的性能不高，这个应该是没有提供CopyOnWriteLinkedList的主要原因。

2019-06-05

污名侦探 0

首先CopyOnWriteLinkedList 可以做分段锁，并且性能很高。其次，复制性能没有数组来的快。

2019-05-17

Vincent 0

既然读多写少，说明数据结构变更频率很少。那么数组结构适合这个场景，链表是适合写多的场景

2019-05-16

Geek_bbbda3 0

链表读操作时间复杂度高，用copy on write 也解决不了这个问题，天生不适合读多场景。

2019-05-16

Zach_ 0

COWLibkedList 违背了 读多写少 读高效的初衷了哇

2019-05-13

Zach_ 0

Sting Long ... 居然可以和CoW、Lock联系起来!

跟着老师默默修行!

希望这个专栏永远不要停!
能希望能一直看到老师写的专栏!

2019-05-13

作者回复

感谢捧场

2019-05-13

刘鹏 0

服务下线了，如果数据不一致，会不会有请求发到下线了的服务器

2019-05-10

作者回复

rpc的客户端和服务提供端会建立一个长连接，定时发心跳，并不完全依赖注册中心的数据。很多rpc的服务端提供了手动下线功能，能解决你说的这个问题

2019-05-12

刘鹏 0

一种策略

2019-05-10

WL 0

请问一下老师copyonwrite如果与volatile结合使用是不是就可以实现强一致性了？

2019-05-08

作者回复

好像没这么简单

2019-05-20