

讲堂 □ [深入拆解 Java 虚拟机](#) □ [文章详情](#)

12 | 垃圾回收（下）

2018-08-17 郑雨迪



12 | 垃圾回收（下）

朗读人：郑雨迪 10'29" | 4.81M

0:00 / 0:00

在读博士的时候，我曾经写过一个统计 Java 对象生命周期的动态分析，并且用它来跑了一些基准测试。

其中一些程序的结果，恰好验证了许多研究人员的假设，即大部分的 Java 对象只存活一小段时间，而存活下来的小部分 Java 对象则会存活很长一段时间。

（pmd 中 Java 对象生命周期的直方图，红色的表示被逃逸分析优化掉的对象）

之所以要提到这个假设，是因为它造就了 Java 虚拟机的分代回收思想。简单来说，就是将堆空间划分为两代，分别叫做新生代和老年代。新生代用来存储新建的对象。当对象存活时间够长时，则将其移动到老年代。

Java 虚拟机可以给不同代使用不同的回收算法。对于新生代，我们猜测大部分的 Java 对象只存活一小段时间，那么便可以频繁地采用耗时较短的垃圾回收算法，让大部分的垃圾都能够在新生代被回收掉。

对于老年代，我们猜测大部分的垃圾已经在新生代中被回收了，而在老年代中的对象有大概率会继续存活。当真正触发针对老年代的回收时，则代表这个假设出错了，或者堆的空间已经耗尽了。

这时候，Java 虚拟机往往需要做一次全堆扫描，耗时也将不计成本。（当然，现代的垃圾回收器都在并发收集的道路上发展，来避免这种全堆扫描的情况。）

今天这一篇我们来关注一下针对新生代的 Minor GC。首先，我们来看看 Java 虚拟机中的堆具体是怎么划分的。

Java 虚拟机的堆划分

前面提到，Java 虚拟机将堆划分为新生代和老年代。其中，新生代又被划分为 Eden 区，以及两个大小相同的 Survivor 区。

默认情况下，Java 虚拟机采取的是一种动态分配的策略（对应 Java 虚拟机参数 -XX:+UsePSAdaptiveSurvivorSizePolicy），根据生成对象的速率，以及 Survivor 区的使用情况动态调整 Eden 区和 Survivor 区的比例。

当然，你也可以通过参数 `-XX:SurvivorRatio` 来固定这个比例。但是需要注意的是，其中一个 Survivor 区会一直为空，因此比例越低浪费的堆空间将越高。

通常来说，当我们调用 `new` 指令时，它会在 Eden 区中划出一块作为存储对象的内存。由于堆空间是线程共享的，因此直接在这里边划空间是需要进行同步的。

否则，将有可能出现两个对象共用一段内存的事故。如果你还记得前两篇我用“停车位”打的比方的话，这里就相当于两个司机（线程）同时将车停入同一个停车位，因而发生剐蹭事故。

Java 虚拟机的解决方法是为每个司机预先申请多个停车位，并且只允许该司机停在自己的停车位上。那么当司机的停车位用完了该怎么办呢（假设这个司机代客泊车）？

答案是：再申请多个停车位便可以了。这项技术被称之为 TLAB（Thread Local Allocation Buffer，对应虚拟机参数 `-XX:+UseTLAB`，默认开启）。

具体来说，每个线程可以向 Java 虚拟机申请一段连续的内存，比如 2048 字节，作为线程私有的 TLAB。

这个操作需要加锁，线程需要维护两个指针（实际上可能更多，但重要也就两个），一个指向 TLAB 中空余内存的起始位置，一个则指向 TLAB 末尾。

接下来的 `new` 指令，便可以直接通过指针加法（bump the pointer）来实现，即把指向空余内存位置的指针加上所请求的字节数。

我猜测会有留言问为什么不把 bump the pointer 翻译成指针碰撞。这里先解释一下，在英语中我们通常省略了 bump up the pointer 中的 up。在这个上下文中 bump 的含义应为“提高”。另外一个例子是当我们发布软件的新版本时，也会说 bump the version number。

如果加法后空余内存指针的值仍小于或等于指向末尾的指针，则代表分配成功。否则，TLAB 已经没有足够的空间来满足本次新建操作。这个时候，便需要当前线程重新申请新的 TLAB。

当 Eden 区的空间耗尽了怎么办？这个时候 Java 虚拟机便会触发一次 Minor GC，来收集新生代的垃圾。存活下来的对象，则会被送到 Survivor 区。

前面提到，新生代共有两个 Survivor 区，我们分别用 from 和 to 来指代。其中 to 指向的 Survivor 区是空的。

当发生 Minor GC 时，Eden 区和 from 指向的 Survivor 区中的存活对象会被复制到 to 指向的 Survivor 区中，然后交换 from 和 to 指针，以保证下一次 Minor GC 时，to 指向的 Survivor 区还是空的。

Java 虚拟机会记录 Survivor 区中的对象一共被来回复制了几次。如果一个对象被复制的次数为 15（对应虚拟机参数 `-XX:+MaxTenuringThreshold`），那么该对象将被晋升

（promote）至老年代。另外，如果单个 Survivor 区已经被占用了 50%（对应虚拟机参数 `-XX:TargetSurvivorRatio`），那么较高复制次数的对象也会被晋升至老年代。

总而言之，当发生 Minor GC 时，我们应用了标记 - 复制算法，将 Survivor 区中的老存活对象晋升到老年代，然后将剩下的存活对象和 Eden 区的存活对象复制到另一个 Survivor 区中。理想情况下，Eden 区中的对象基本都死亡了，那么需要复制的数据将非常少，因此采用这种标记 - 复制算法的效果极好。

Minor GC 的另外一个好处是不用对整个堆进行垃圾回收。但是，它却有一个问题，那就是老年代的对象可能引用新生代的对象。也就是说，在标记存活对象的时候，我们需要扫描老年代中的对象。如果该对象拥有对新生代对象的引用，那么这个引用也会被作为 GC Roots。

这样一来，岂不是又做了一次全堆扫描呢？

卡表

HotSpot 给出的解决方案是一项叫做卡表（Card Table）的技术。该技术将整个堆划分为一个个大小为 512 字节的卡，并且维护一个卡表，用来存储每张卡的一个标识位。这个标识位代表对应的卡是否可能存有指向新生代对象的引用。如果可能存在，那么我们就认为这张卡是脏的。

在进行 Minor GC 的时候，我们便可以不用扫描整个老年代，而是在卡表中寻找脏卡，并将脏卡中的对象加入到 Minor GC 的 GC Roots 里。当完成所有脏卡的扫描之后，Java 虚拟机便会将所有脏卡的标识位清零。

由于 Minor GC 伴随着存活对象的复制，而复制需要更新指向该对象的引用。因此，在更新引用的同时，我们又会设置引用所在的卡的标识位。这个时候，我们可以确保脏卡中必定包含指向新生代对象的引用。

在 Minor GC 之前，我们并不能确保脏卡中包含指向新生代对象的引用。其原因和如何设置卡的标识位有关。

首先，如果想要保证每个可能有指向新生代对象引用的卡都被标记为脏卡，那么 Java 虚拟机需要截获每个引用型实例变量的写操作，并作出对应的写标识位操作。

这个操作在解释执行器中比较容易实现。但是在即时编译器生成的机器码中，则需要插入额外的逻辑。这也就是所谓的写屏障（write barrier，注意不要和 volatile 字段的写屏障混淆）。

写屏障需要尽可能地保持简洁。这是因为我们并不希望在每条引用型实例变量的写指令后跟着一大串注入的指令。

因此，写屏障并不会判断更新后的引用是否指向新生代中的对象，而是宁可错杀，不可放过，一律当成可能指向新生代对象的引用。

这么一来，写屏障便可精简为下面的伪代码 [1]。这里右移 9 位相当于除以 512，Java 虚拟机便是通过这种方式来从地址映射到卡表中的索引的。最终，这段代码会被编译成一条移位指令和一条存储指令。

```
1CARD_TABLE [this address >> 9] = DIRTY;
```

□ 复制代码

虽然写屏障不可避免地带来一些开销，但是它能够加大 Minor GC 的吞吐率（应用运行时间 / (应用运行时间 + 垃圾回收时间)）。总的来说还是值得的。不过，在高并发环境下，写屏障又带来了虚共享（false sharing）问题 [2]。

在介绍对象内存布局中我曾提到虚共享问题，讲的是几个 volatile 字段出现在同一缓存行里造成的虚共享。这里的虚共享则是卡表中不同卡的标识位之间的虚共享问题。

在 HotSpot 中，卡表是通过 byte 数组来实现的。对于一个 64 字节的缓存行来说，如果用它来加载部分卡表，那么它将对对应 64 张卡，也就是 32KB 的内存。

如果同时有两个 Java 线程，在这 32KB 内存中进行引用更新操作，那么也将造成存储卡表的同一部分的缓存行的写回、无效化或者同步操作，因而间接影响程序性能。

为此，HotSpot 引入了一个新的参数 `-XX:+UseCondCardMark`，来尽量减少写卡表的操作。其伪代码如下所示：

```
1 if (CARD_TABLE [this address >> 9] != DIRTY)
2 CARD_TABLE [this address >> 9] = DIRTY;
```

[□ 复制代码](#)

总结与实践

今天我介绍了 Java 虚拟机中垃圾回收具体实现的一些通用知识。

Java 虚拟机将堆分为新生代和老年代，并且对不同代采用不同的垃圾回收算法。其中，新生代分为 Eden 区和两个大小一致的 Survivor 区，并且其中一个 Survivor 区是空的。

在只针对新生代的 Minor GC 中，Eden 区和非空 Survivor 区的存活对象会被复制到空的 Survivor 区中，当 Survivor 区中的存活对象复制次数超过一定数值时，它将被晋升至老年代。

因为 Minor GC 只针对新生代进行垃圾回收，所以在枚举 GC Roots 的时候，它需要考虑从老年代到新生代的引用。为了避免扫描整个老年代，Java 虚拟机引入了名为卡表的技术，大致地标出可能存在老年代到新生代引用的内存区域。

由于篇幅的原因，我没有讲解 Java 虚拟机中具体的垃圾回收器。我在文章的末尾附了一段简单的介绍，如果你有兴趣的话可以参阅一下。

今天的实践环节，我们来看看 Java 对象的生命周期对垃圾回收的影响。

前面提到，Java 虚拟机的分代垃圾回收是基于大部分对象只存活一小段时间，小部分对象却存活一大段时间的假设的。

然而，实际情况中并非每个程序都符合前面提到的假设。如果一个程序拥有中等生命周期的对象，并且刚移动到老年代便不再使用，那么将给默认的垃圾回收策略造成极大的麻烦。

下面这段程序将生成 64G 的 Java 对象。并且，我通过 `ALIVE_OBJECT_SIZE` 这一变量来定义同时存活的 Java 对象的大小。这也是一种对于垃圾回收器来说比较直观的生命周期。

当我们使用 Java 8 的默认 GC，并且将新生代的空间限制在 100M 时，试着估算当 `ALIVE_OBJECT_SIZE` 为多少时，这段程序不会触发 Full GC（提示一下，如果 Survivor 区没法存储所有存活对象，将发生什么。）。实际运行情况又是怎样的？

```
1 // Run with java -XX:+PrintGC -Xmn100M -XX:PretenureSizeThreshold=10000 LifetimeTest □ 复制代码
2 // You may also try with -XX:+PrintHeapAtGC, -XX:-UsePSAdaptiveSurvivorSizePolicy or -
  XX:SurvivorRatio=N
3 public class LifetimeTest {
4     private static final int K = 1024;
5     private static final int M = K * K;
6     private static final int G = K * M;
7
8     private static final int ALIVE_OBJECT_SIZE = 32 * M;
9
10    public static void main(String[] args) {
11        int length = ALIVE_OBJECT_SIZE / 64;
12        ObjectOf64Bytes[] array = new ObjectOf64Bytes[length];
13        for (long i = 0; i < G; i++) {
14            array[(int) (i % length)] = new ObjectOf64Bytes();
15        }
16    }
17 }
```

```
15}  
16}  
17}  
18  
19class ObjectOf64Bytes {  
20long placeholder0;  
21long placeholder1;  
22long placeholder2;  
23long placeholder3;  
24long placeholder4;  
25long placeholder5;  
26}
```

附录：Java 虚拟机中的垃圾回收器

针对新生代的垃圾回收器共有三个：Serial，Parallel Scavenge 和 Parallel New。这三个采用的都是标记 - 复制算法。其中，Serial 是一个单线程的，Parallel New 可以看成 Serial 的多线程版本。Parallel Scavenge 和 Parallel New 类似，但更加注重吞吐率。此外，Parallel Scavenge 不能与 CMS 一起使用。

针对老年代的垃圾回收器也有三个：刚刚提到的 Serial Old 和 Parallel Old，以及 CMS。Serial Old 和 Parallel Old 都是标记 - 压缩算法。同样，前者是单线程的，而后者可以看成前者的多线程版本。

CMS 采用的是标记 - 清除算法，并且是并发的。除了少数几个操作需要 Stop-the-world 之外，它可以在应用程序运行过程中进行垃圾回收。在并发收集失败的情况下，Java 虚拟机会使用其他两个压缩型垃圾回收器进行一次垃圾回收。由于 G1 的出现，CMS 在 Java 9 中已被废弃 [3]。

G1 (Garbage First) 是一个横跨新生代和老年代的垃圾回收器。实际上，它已经打乱了前面所说的堆结构，直接将堆分成极其多个区域。每个区域都可以充当 Eden 区、Survivor 区或者老年代中的一个。它采用的是标记 - 压缩算法，而且和 CMS 一样都能够在应用程序运行过程中并发地进行垃圾回收。

G1 能够针对每个细分的区域来进行垃圾回收。在选择进行垃圾回收的区域时，它会优先回收死亡对象较多的区域。这也是 G1 名字的由来。

即将到来的 Java 11 引入了 ZGC，宣称暂停时间不超过 10ms。如果你感兴趣的话，可参考 R 大的这篇文章 [4]。

[1]

<http://psy-lob-saw.blogspot.com/2014/10/the-jvm-write-barrier-card-marking.html>

[2]

<https://blogs.oracle.com/dave/false-sharing-induced-by-card-table-marking>

[3]

<http://openjdk.java.net/jeps/291>

[4] <https://www.zhihu.com/question/287945354/answer/458761494>

版权归极客邦科技所有，未经许可不得转载

写留言

精选留言



godtrue

6

写的非常棒，又帮我看到了一个小黑盒中的天地。

小结：

1:二八法则-适用于许多的领域，对象在JVM对内存空间的生命周期也同样符合

2:为了更好的JVM性能以及充分利用对象生命周期的二八法则，JVM的作者将JVM的对内存空间进行了分代的处理

3:堆内存空间=年轻代+老年代

年轻代=Eden+from+to

年轻代用于分配新生的对象

Eden-通常用于存储新创建的对象，对内存空间是共享的，所以，直接在这里面划分空间需要进行同步

from-当Eden区的空间耗尽时，JVM便会出发一次Minor GC 来收集新生代的垃圾，会把存活下来的对象放入Survivor区，也就是from区

注意，from和to是变动的

to-指向的Survivor区是空的，用于当发生Minor GC 时，存储Eden和from区中的存活对象，然后再交换from和to指针，以保证下一次Minor GC 时to指向的Survivor区还是空的。

老年代-用于存储存活时间更久的对象，比如：15次Minor GC 还存活的对象就放入老年代中

4:堆内存分代后，会根据他们的不同特点来区别对待，进行垃圾回收的时候会使用不同的垃圾回收方式，针对新生代的垃圾回收器有如下三个：Serial、Parallel Scavenge、Parallel New，他们采用的都是标记-复制的垃圾回收算法。

针对老年代的垃圾回收器有如下三个：Serial Old、Parallel Old、CMS，他们使用的都是标记-压缩的垃圾回收算法。

5:TLAB (Thread Local Allocation Buffer) -这个技术是用于解决多线程竞争堆内存分配问题的，核心原理是对分配一些连续的内存空间

6:卡表-这个技术是用于解决减少老年代的全堆空间扫描

2018-08-21

作者回复

好长的总结，赞一个

2018-08-22



阿杜

5

写得真好，搞清楚了之前没掌握透彻的概念：

(1) TLAB是为了避免对象分配时对内存的竞争

(2) 卡表是为了处理minor gc时老年代对新生代的引用，为了避免整堆扫描而提出

了卡表的概念

提个问题：JVM中堆内存根系统的物理内存是如何对应的，这个可以从哪里看？

2018-08-17

 作者回复

根系统指的是？

GC roots分布在HotSpot中的每个子系统里。可以在源码中搜oops_do

2018-08-22



herome

□ 3

老师 建议是能画点图吗 😊 每一篇都是文字。相信画了图 不仅能让文章通俗易懂，也能让老师的文笔更好。

2018-08-19

 作者回复

多谢建议！

2018-08-20



公子_小白

□ 2

多谢老师的回复

2018-08-24



公子_小白


□ 1

老师您好

请问JVM分代收集新生代对象进入老年代，年龄为什么是15而不是其他的？

谢谢

2018-08-23

 作者回复

HotSpot会在对象头中的标记字段里记录年龄，分配到的空间只有4位，最多只能记录到15

2018-08-24




code-artist

□ 1

通过GC_roots探索存活对象的时候，有的对象在新生代，有的对象在老年代。如果当前对象处在老年代而且在脏卡中，需要继续深度遍历对象。若不在脏卡中，就没必要进一步深度遍历下去了。不知道我的理解对不对？

2018-08-17

 作者回复

对的。卡表就是为了避免探索整个老年代，而只将脏表中的对象作为GC roots。

2018-08-20



魏全运

□ 0

老师你好，练习题里你的问题是存活对象为多大时不发生Full GC，请问问题是不是问错了，是Minor GC？如果按照8 1 1原则，存活对象不超过10M应该就不会发生M

inor GC了，不知是否正确。还有一个问题，如果在发生复制时Eden和Survivor中对象空间超过To空间，但还是第一次复制，这时JVM怎么处理呢？会晋升到老年代吗？

2018-10-06



果然如此

0

请问个问题，网上找不到好的答案，两个线程同时运行，其中一个oom而终止了，另一个还可以正常运行，这个oom是什么内存？单个线程可分配的内存是否有限制多少？

2018-09-29



Geek_987169

0

卡表中将堆划分为大小为512字节的卡，意思是将512字节的数据作为一个卡吗？然后用卡片中的比特位1,0代表是否存在GC root？

2018-09-25

作者回复

1. 可以这么说。
2. 指的是这张卡上的对象很可疑，可能存在GC roots。

2018-09-28



Geek_987169

0

老师，GC ROOT到底指的是对象本身，还是引用？

2018-09-24

作者回复

严格来说应该是对象。像局部变量中存放的引用只是导致对象成为GC roots的原因。我个人倾向于将这些引用作为GC roots，因为GC是从这些地方出发开始探索的。看各人理解方便吧。

你可以参考eclipse MAT定义的GC roots:

<https://help.eclipse.org/luna/index.jsp?topic=%2Forg.eclipse.mat.ui.help%2Fconcepts%2Fgcroots.html>

2018-09-28



白院伟

0

郑老师，你好，请问一下，怎么计算出一个线程向虚拟机申请了多少内存？

2018-09-18



Leon Wong

0

老师你好，写屏障不会判断引用是否指向新生代的对象，这里会不会提高MinorGC的成本呢？

2018-09-12



小橙橙

0

Minor GC 也会造成stop the world吗？

2018-08-31



o

0

笔者您好！我想请问一个问题，就是jvm的survivor区如果满了。并且没有发生15次gc，也就是没有对象能够进入老年带的时候会发生什么问题？我今天遇到的问题，还

在排查中。就是运行一段时间假死，然后java进程挂掉没有一点点信息留下。不是系统kill，因为连kill信息都没有。望您能给个方向和建议。

2018-08-30



abs

0

新生代回收的时候会把老年代的所有对象当做gcroot吗

2018-08-29

作者回复

原本是的。但使用了脏卡技术之后，JVM只需要把脏卡中的对象当成GC roots

2018-08-30



潇潇

0

希望老师在这个基础上也讲一下G1的内容

2018-08-22



潇潇

0

有一个疑问，卡表是只运用在老年代这块内存吗？

2018-08-22



啃yi嘴泥

0

老师，还有一个问题，对于实验程序，按理说，active object size 大小略小于 survivor区大小的话，就不应该有对象会被复制到老年代，因为没有对象会被复制15次，可是实际程序运行中，老年代也有对象被复制过去，请问这是什么原因？多谢！

2018-08-22



啃yi嘴泥

0

当ACTIVE_OBJECT_SIZE小于SURVIVOR区的大小时，就不会发生full gc 了，不知道对否？

2018-08-22



永烁星光

0

因此，写屏障并不会判断更新后的引用是否指向新生代中的对象，而是宁可错杀，不可放过，一律当成可能指向新生代对象的引用。一意思是更新引用指向时，要是之前是指向新时代的 对象的那么就是脏卡,不管之后是否有变成老年代对象呢？

2018-08-21



永烁星光

0

这里老年代对象存在对新生代对象的引用，那么这个指的引用是栈里存储的reference 吗？还是对象内的引用

2018-08-21

作者回复

对象内的引用

2018-08-22



godtrue

0

疑问☹

1:什么场景下老年代的对象会引用新生代的对象？是有些对象可以移到老年代了但是他引用的对象还不能是吗？

2:我觉得卡表的维护很重要，并发环境怎么保证卡表的健壮性？

2018-08-21

作者回复

1. 对的。还有一种可能，就是更新老年代对象的引用型字段，使之指向新生代对象。

2. (我的理解) 应用程序只设置脏位而不清除，垃圾回收前需要强制flush CPU缓存。

2018-08-22



杨春鹏

如何防止频繁的进行full gc

2018-08-21

0



imfenglei

郑老师，什么时候维护卡表中的卡是不是脏卡呢？

2018-08-20

0



Scott

你好，请问在copy对象的时候，card table也需要更新吧？

2018-08-19

作者回复

0

Copy对象指的是垃圾回收器的copy吗？垃圾回收时会更新卡表的。

或者你说的是克隆？我认为Object.clone也会更新卡表。

2018-08-20



Alex 1984

TLAB 和 工作内存是什么关系？

2018-08-19

作者回复

0

如果你说的是JMM中的工作内存，那是JMM抽象出来的一个概念，在现实的体系架构中可以映射为CPU中的缓存，属于硬件技术。

TLAB是用来优化多线程分配的，属于软件技术。两者没啥关系。

2018-08-22



赤云

请求方法为线程私有，上面那个问方法局部变量的，，，搞清楚了，，，n个线程会复制n份。不冲突，只有多线程写成员变量才会出现。

2018-08-18

0



郭俊杰

老师，你好，一直想问个问题，多线程访问共享变量会存在线程安全问题，那么方法内部通过new的局部变量是不是也存在安全问题呢？希望老师帮忙回答下感谢

2018-08-18

作者回复

0

如果你把new后的对象发布出去，就是放到其他共享变量中，也会存在线程安全问题。如果new后只是在方法中使用该对象而不作为参数传出去(以它为调用者的实例方法也不会传出去)，那么没有问题。

2018-08-22



侯金彪

0

看某些资料介绍说tlab是将对象创建在栈内存上，并且与逃逸分析一起用，这样在释放栈内存时就直接将这部分内存一起释放了，降低了gc成本。您讲解的说tlab是提前在堆内存中分配空间，这样没有降低gc成本呀！

2018-08-18

作者回复

HotSpot不支持在栈上新建对象。

C2里的逃逸分析是静态分析，和TLAB没什么关系。它和标量替换一起使用，能够完全不分配对象，仅在寄存器中维护这个对象的字段。

2018-08-20



齐帜

0

希望老师多画些图，更好理解

2018-08-17



John(易筋)

0

第二条只能用这个通过

```
java -XX:+PrintHeapAtGC -XX:-UsePSAdaptiveSurvivorSizePolicy LifetimeTest
```

2018-08-17