三、CMS的GC日志解读

CMS也可称为 `并发标记清除垃圾收集器` 。其设计目标是避免在老年代GC时出现长时间的卡顿。默认情况下，CMS 使用的并发线程数等于CPU内核数的 `1/4` 。
通过以下选项来指定CMS垃圾收集器：

```
-XX:+UseConcMarkSweepGC
```

如果CPU资源受限，CMS的吞吐量会比并行GC差一些。示例：

```
# 请注意命令行启动时没有换行，此处是方便大家阅读。
java -XX:+UseConcMarkSweepGC
-Xms512m
-Xmx512m
-Xloggc: gc.demo.log
-XX:+PrintGCDetails
-XX:+PrintGCDateStamps
demo.jvm0204.GCLogAnalysis
```

和前面分析的串行G/并行GC一样，我们将程序启动起来，看看CMS算法生成的GC日志是什么样子：

```
Java HotSpot(TM) 64-Bit Server VM (25.162-b12) 。。。
Memory:  4k page, physical 16777216k(1168104k free)

CommandLine flags:
  -XX:InitialHeapSize=536870912 -XX:MaxHeapSize=536870912
  -XX:MaxNewSize=178958336 -XX:MaxTenuringThreshold=6
```

```
  -XX:NewSize=178958336 -XX:OldPLABSize=16 -XX:OldSize=357912576
  -XX:+PrintGC -XX:+PrintGCDateStamps
  -XX:+PrintGCDetails -XX:+PrintGCTimeStamps
  -XX:+UseCompressedClassPointers -XX:+UseCompressedOops
  -XX:+UseConcMarkSweepGC -XX:+UseParNewGC

2019-12-22T00:00:31.865-0800: 1.067:
  [GC (Allocation Failure)
    2019-12-22T00:00:31.865-0800: 1.067:
    [ParNew:  136418K->17311K(157248K), 0.0233955 secs]
    442378K->360181K(506816K), 0.0234719 secs]
  [Times: user=0.10 sys=0.02, real=0.02 secs]

2019-12-22T00:00:31.889-0800: 1.091:
  [GC (CMS Initial Mark)
    [1 CMS-initial-mark: 342870K(349568K)]
    363883K(506816K), 0.0002262 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
2019-12-22T00:00:31.889-0800: 1.091:
  [CMS-concurrent-mark-start]
2019-12-22T00:00:31.890-0800: 1.092:
  [CMS-concurrent-mark: 0.001/0.001 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.01 secs]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.092:
  [CMS-concurrent-preclean-start]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [CMS-concurrent-preclean: 0.001/0.001 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [CMS-concurrent-abortable-preclean-start]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [CMS-concurrent-abortable-preclean: 0.000/0.000 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [GC (CMS Final Remark)
    [YG occupancy: 26095 K (157248 K)]
    2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
      [Rescan (parallel) , 0.0002680 secs]
    2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
      [weak refs processing, 0.0000230 secs]
    2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
      [class unloading, 0.0004008 secs]
    2019-12-22T00:00:31.892-0800: 1.094:
      [scrub symbol table, 0.0006072 secs]
    2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
      [scrub string table, 0.0001769 secs]
```

```
      [1 CMS-remark: 342870K(349568K)]
    368965K(506816K), 0.0015928 secs]
  [Times: user=0.01 sys=0.00,real=0.00 secs]
2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
  [CMS-concurrent-sweep-start]
2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
  [CMS-concurrent-sweep:  0.000/0.000 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
  [CMS-concurrent-reset-start]
2019-12-22T00:00:31.894-0800: 1.096:
  [CMS-concurrent-reset: 0.000/0.000 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
```

这只是摘录的一部分GC日志。比起串行GC/并行GC来说，CMS的日志信息复杂了很多，这一方面是因为CMS拥有更加精细的GC步骤，另一方面GC日志很详细就意味着暴露出来的信息也就更全面细致。

Minor GC日志分析

最前面的几行日志是清理年轻代的Minor GC事件：

```
2019-12-22T00:00:31.865-0800: 1.067:
  [GC (Allocation Failure)
    2019-12-22T00:00:31.865-0800: 1.067:
    [ParNew:  136418K->17311K(157248K), 0.0233955 secs]
    442378K->360181K(506816K), 0.0234719 secs]
  [Times: user=0.10 sys=0.02, real=0.02 secs]
```

> 我们一起来解读：
> 1，`2019-12-22T00:00:31.865-0800: 1.067:` – GC事件开始的时间。
> 2，`GC (Allocation Failure)` – 用来区分 Minor GC 还是 Full GC 的标志。`GC` 表明这是一次`小型GC`；`Allocation Failure` 表示触发GC的原因。本次GC事件，是由于年轻代可用空间不足，新对象的内存分配失败引起的。
> 3，`[ParNew:  136418K->17311K(157248K), 0.0233955 secs]` - 其中 `ParNew` 是垃圾收集器的名称，对应的就是前面日志中打印的 `-XX:+UseParNewGC` 这个命令行标志。表示在年轻代中使用的：`并行的标记-复制(mark-copy)` 垃圾收集器，专门设计了用来配合 CMS 垃圾收集器，因为CMS只负责回收老年代。后面的数字表示GC前后的年轻代使用量变化，以及年轻代的总大小。`0.0233955 secs` 是消耗的时间。
> 4，`442378K->360181K(506816K), 0.0234719 secs` – 表示GC前后堆内存的使用量变化，以及堆内存空间的大小。消耗的时间是 `0.0234719 secs`，和前面的 ParNew 部分的时间基本上一样。
> 5，`[Times: user=0.10 sys=0.02, real=0.02 secs]` – GC事件的持续时间。`user` 是GC

> 线程所消耗的总CPU时间；`sys` 是操作系统调用和系统等待事件消耗的时间；应用程序实际暂停的时间 `real ~= (user + sys)/GC线程数`。我的机器是4核8线程，而这里是6倍的比例，因为总有一定比例的处理过程是不能并行执行的。

进一步计算和分析可以得知，在GC之前，年轻代使用量为 `136418K / 157248K = 86%`。堆内存的使用率为 `442378K / 506816K = 87%`。稍微估算一下，老年代的使用率为：`(442378K-136418K) / (506816K-157248K) = (305960K /349568K) = 87%`。这里是凑巧了，GC之前3个比例都在87%左右。

GC之后呢？年轻代使用量为 `17311K ~= 17%`，下降了 `119107K`。堆内存使用量为 `360181K ~= 71%`，只下降了 `82197K`。两个下降值相减，就是年轻代提升到老年代的内存量：`119107-82197=36910K`。

> 那么老年代空间有多大？老年代使用量是多少？正在阅读的同学，请开动脑筋，用这些数字算一下。

此次GC的内存变化示意图为：

CMS: 年轻代GC

内存池	Eden区	存活区S0	存活区S1	老年代
GC前				87%
GC后				98%

哇塞，这个数字不得了，老年代使用量 98%了，非常高了。后面紧跟着就是一条Full GC的日志，请接着往下看。

Full GC日志分析

实际上这次截取的年轻代GC日志和FullGC日志是紧连着的，我们从间隔时间也能大致看出来，`1.067 + 0.02secs ~ 1.091`。

CMS的日志是一种完全不同的格式，并且很长，因为CMS对老年代进行垃圾收集时每个阶段都会有自己的日志。为了简洁，我们将对这部分日志按照阶段依次介绍。

首先来看CMS这次FullGC的日志：

```
2019-12-22T00:00:31.889-0800: 1.091:
  [GC (CMS Initial Mark)
    [1 CMS-initial-mark: 342870K(349568K)]
    363883K(506816K), 0.0002262 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
2019-12-22T00:00:31.889-0800: 1.091:
  [CMS-concurrent-mark-start]
2019-12-22T00:00:31.890-0800: 1.092:
  [CMS-concurrent-mark: 0.001/0.001 secs]
```

```
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.01 secs]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.092:
  [CMS-concurrent-preclean-start]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [CMS-concurrent-preclean: 0.001/0.001 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [CMS-concurrent-abortable-preclean-start]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [CMS-concurrent-abortable-preclean: 0.000/0.000 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [GC (CMS Final Remark)
    [YG occupancy: 26095 K (157248 K)]
    2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
      [Rescan (parallel) , 0.0002680 secs]
    2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
      [weak refs processing, 0.0000230 secs]
    2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
      [class unloading, 0.0004008 secs]
    2019-12-22T00:00:31.892-0800: 1.094:
      [scrub symbol table, 0.0006072 secs]
    2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
      [scrub string table, 0.0001769 secs]
      [1 CMS-remark: 342870K(349568K)]
    368965K(506816K), 0.0015928 secs]
  [Times: user=0.01 sys=0.00,real=0.00 secs]
2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
  [CMS-concurrent-sweep-start]
2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
  [CMS-concurrent-sweep:  0.000/0.000 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
  [CMS-concurrent-reset-start]
2019-12-22T00:00:31.894-0800: 1.096:
  [CMS-concurrent-reset: 0.000/0.000 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
```

在实际运行中，CMS在进行老年代的并发垃圾回收时，可能会伴随着多次年轻代的Minor GC（想想是为什么）。在这种情况下，Full GC的日志中可能会掺杂着多次Minor GC事件。

阶段 1: Initial Mark(初始标记)

前面章节提到过，这个阶段伴随着STW暂停。初始标记的目标是标记所有的根对象，包括 `GC ROOT` 直接引用的对象，以及被年轻代中所有存活对象所引用的对象。后面这部分也非常重要，因为老年代是独立进行

回收的。
先看这个阶段的日志：

```
2019-12-22T00:00:31.889-0800: 1.091:
  [GC (CMS Initial Mark)
    [1 CMS-initial-mark: 342870K(349568K)]
    363883K(506816K), 0.0002262 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
```

> 让我们简单解读一下：
> 1，`2019-12-22T00:00:31.889-0800: 1.091:` – 时间部分就不讲了，参考前面的解读。后面的其他阶段也一样，不再进行重复介绍。
> 2，`CMS Initial Mark` – 这个阶段的名称为 “Initial Mark”，会标记所有的 GC Root。
> 3，`[1 CMS-initial-mark: 342870K(349568K)]` – 这部分数字表示老年代的使用量，以及老年代的空间大小。
> 4，`363883K(506816K), 0.0002262 secs` – 当前堆内存的使用量，以及可用堆的大小、消耗的时间。可以看出这个时间非常短，只有 0.2毫秒左右，因为要标记的这些Roo数量很少。
> 5，`[Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]` – 初始标记事件暂停的时间，可以看到可以忽略不计。

阶段 2：Concurrent Mark(并发标记)

在并发标记阶段，CMS 从前一阶段 “Initial Mark” 找到的 ROOT 开始算起，遍历老年代并标记所有的存活对象。
看看这个阶段的GC日志：

```
2019-12-22T00:00:31.889-0800: 1.091:
  [CMS-concurrent-mark-start]
2019-12-22T00:00:31.890-0800: 1.092:
  [CMS-concurrent-mark: 0.001/0.001 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.01 secs]
```

> 简单解读一下：
> 1，`CMS-concurrent-mark` – 指明了是CMS垃圾收集器所处的阶段为并发标记("Concurrent Mark")。
> 2，`0.001/0.001 secs` – 此阶段的持续时间，分别是GC线程消耗的时间和实际消耗的时间。
> 3，`[Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.01 secs]` – `Times` 对并发阶段来说这些时间并没多少意义，因为是从并发标记开始时刻计算的，而这段时间应用线程也在执行，所以这个时间只是一个大概的值。

阶段 3：Concurrent Preclean(并发预清理)

此阶段同样是与应用线程并发执行的，不需要停止应用线程。
看看并发预清理阶段的GC日志：

```
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.092:
  [CMS-concurrent-preclean-start]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [CMS-concurrent-preclean: 0.001/0.001 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
```

> 简单解读：
> 1，`CMS-concurrent-preclean` – 表明这是并发预清理阶段的日志，这个阶段会统计前面的并发标记阶段执行过程中发生了改变的对象。
> 2，`0.001/0.001 secs` – 此阶段的持续时间，分别是GC线程运行时间和实际占用的时间。
>
> 1. `[Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]` – Times 这部分对并发阶段来说没多少意义，因为是从开始时间计算的，而这段时间内不仅GC线程在执行并发预清理，应用线程也在运行。

阶段 4：Concurrent Abortable Preclean(可取消的并发预清理)

此阶段也不停止应用线程，尝试在会触发STW 的 Final Remark 阶段开始之前，尽可能地多干一些活。
本阶段的具体时间取决于多种因素，因为它循环做同样的事情，直到满足某一个退出条件(如迭代次数，有用工作量，消耗的系统时间等等)。
看看GC日志：

```
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [CMS-concurrent-abortable-preclean-start]
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [CMS-concurrent-abortable-preclean: 0.000/0.000 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
```

> 简单解读：
> 1，`CMS-concurrent-abortable-preclean` – 指示此阶段的名称：“Concurrent Abortable Preclean”。
> 2，`0.000/0.000 secs` – 此阶段GC线程的运行时间和实际占用的时间。从本质上讲，GC线程试图在执行 STW 暂停之前等待尽可能长的时间。默认条件下，此阶段可以持续最长5秒钟的时间。
> 3，`[Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]` – “Times” 这部分对并发阶段来说没多少意义，因为程序在并发阶段中持续运行。

此阶段完成的工作可能对STW停顿的时间有较大影响，并且有许多重要的 配置选项和失败模式。

阶段 5： Final Remark(最终标记)

最终标记阶段是此次GC事件中的第二次(也是最后一次)STW停顿。
本阶段的目标是完成老年代中所有存活对象的标记。因为之前的预清理阶段是并发执行的，有可能GC线程跟不上应用程序的修改速度。所以需要一次 STW 暂停来处理各种复杂的情况。
通常CMS会尝试在年轻代尽可能空的情况下执行 final remark 阶段，以免连续触发多次 STW 事件。

这部分的GC日志看起来稍微复杂一些：

```
2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
  [GC (CMS Final Remark)
    [YG occupancy: 26095 K (157248 K)]
    2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
      [Rescan (parallel) , 0.0002680 secs]
    2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
      [weak refs processing, 0.0000230 secs]
    2019-12-22T00:00:31.891-0800: 1.093:
      [class unloading, 0.0004008 secs]
    2019-12-22T00:00:31.892-0800: 1.094:
      [scrub symbol table, 0.0006072 secs]
    2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
      [scrub string table, 0.0001769 secs]
      [1 CMS-remark: 342870K(349568K)]
    368965K(506816K), 0.0015928 secs]
  [Times: user=0.01 sys=0.00,real=0.00 secs]
```

> 一起来进行解读：
> 1, `CMS Final Remark` – 这是此阶段的名称，最终标记阶段，会标记老年代中所有的存活对象，包括此前的并发标记过程中创建/修改的引用。
> 2, `YG occupancy: 26095 K (157248 K)` – 当前年轻代的使用量和总容量。
> 3, `[Rescan (parallel) , 0.0002680 secs]` – 在程序暂停后进行重新扫描(Rescan)，以完成存活对象的标记。这部分是并行执行的，消耗的时间为 `0.0002680秒` 。
> 4, `weak refs processing, 0.0000230 secs` – 第一个子阶段： 处理弱引用的持续时间。
> 5, `class unloading, 0.0004008 secs` – 第二个子阶段： 卸载不使用的类，以及持续时间。
> 6, `scrub symbol table, 0.0006072 secs` – 第三个子阶段： 清理符号表，即持有class级别metadata 的符号表(symbol tables)。
> 7, `scrub string table, 0.0001769 secs` – 第四个子阶段： 清理内联字符串对应的 string tables。
> 8, `[1 CMS-remark: 342870K(349568K)]` – 此阶段完成后老年代的使用量和总容量。
> 9, `368965K(506816K), 0.0015928 secs` – 此阶段完成后，整个堆内存的使用量和总容量。
> 10, `[Times: user=0.01 sys=0.00,real=0.00 secs]` – GC事件的持续时间。

在这5个标记阶段完成后，老年代中的所有存活对象都被标记上了，接下来JVM会将所有不使用的对象清除，以回收老年代空间。

阶段 6： Concurrent Sweep(并发清除)

此阶段与应用程序并发执行，不需要STW停顿。目的是删除不再使用的对象，并回收他们占用的内存空间。
看看这部分的GC日志：

```
2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
  [CMS-concurrent-sweep-start]
2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
  [CMS-concurrent-sweep: 0.000/0.000 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
```

> 简单解读：
> 1，`CMS-concurrent-sweep` – 此阶段的名称，“Concurrent Sweep”，并发清除老年代中所有未被标记的对象、也就是不再使用的对象，以释放内存空间。
> 2，`0.000/0.000 secs` – 此阶段的持续时间和实际占用的时间，这是一个四舍五入值，只精确到小数点后3位。
> 3，`[Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]` – “Times”部分对并发阶段来说没有多少意义，因为是从并发标记开始时计算的，而这段时间内不仅是并发标记线程在执行，程序线程也在运行。

阶段 7： Concurrent Reset(并发重置)

此阶段与应用程序线程并发执行，重置CMS算法相关的内部数据结构，下一次触发GC时就可以直接使用。
对应的日志为：

```
2019-12-22T00:00:31.893-0800: 1.095:
  [CMS-concurrent-reset-start]
2019-12-22T00:00:31.894-0800: 1.096:
  [CMS-concurrent-reset: 0.000/0.000 secs]
  [Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]
```

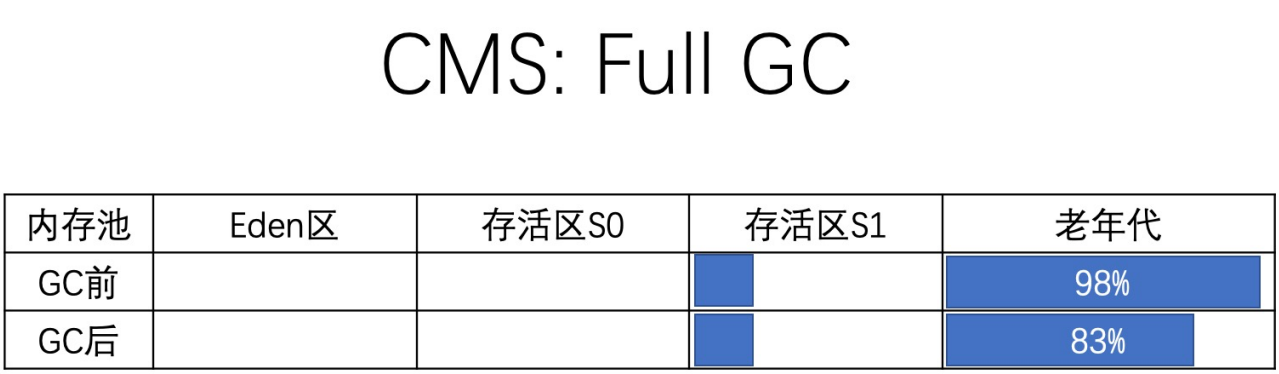
> 简单解读：
>
> 1. `CMS-concurrent-reset` – 此阶段的名称，“Concurrent Reset”，重置CMS算法的内部数据结构，为下一次GC循环做准备。
> 2. `0.000/0.000 secs` – 此阶段的持续时间和实际占用的时间
> 3. `[Times: user=0.00 sys=0.00,real=0.00 secs]` – “Times”部分对并发阶段来说没多少意义，因为是从并发标记开始时计算的，而这段时间内不仅GC线程在运行，程序也在运行。

那么问题来了，CMS 之后老年代内存使用量是多少呢? 很抱歉这里分析不了，只能通过后面的Minor GC日志来分析了。
例如本次运行，后面的GC日志是这样的：

```
```

```
2019-12-22T00:00:31.921-0800: 1.123:
  [GC (Allocation Failure) 2019-12-22T00:00:31.921-0800: 1.123:
    [ParNew: 153242K->16777K(157248K), 0.0070050 secs]
    445134K->335501K(506816K),
    0.0070758 secs]
  [Times: user=0.05 sys=0.00,real=0.00 secs]
```

参照前面年轻代GC日志的分析方法，我们推算出来，上面的CMS Full GC之后，老年代的使用量应该是：`445134K - 153242K = 291892K`，老年代的总容量 `506816K - 157248K = 349568K`，所以Full GC之后老年代的使用量占比是 `291892K / 349568K = 83%`。这个占比不低。说明什么问题呢？ 一般来说就是分配的内存小了，毕竟我们才指定了512MB的最大堆内存。
按照惯例，来一张GC前后的内存使用情况示意图：



总之，CMS垃圾收集器在减少停顿时间上做了很多给力的工作，很大一部分GC线程是与应用线程并发运行的，不需要暂停应用线程，这样就可以在一般情况下每次暂停的时候较少。当然，CMS也有一些缺点，其中最大的问题就是老年代的内存碎片问题，在某些情况下GC会有不可预测的暂停时间，特别是堆内存较大的情况下。

> 透露一个学习 CMS 的诀窍： 参考上面各个阶段的示意图，请同学们自己画一遍。

本节的学习到此就结束了，下一节我们继续介绍G1日志分析。