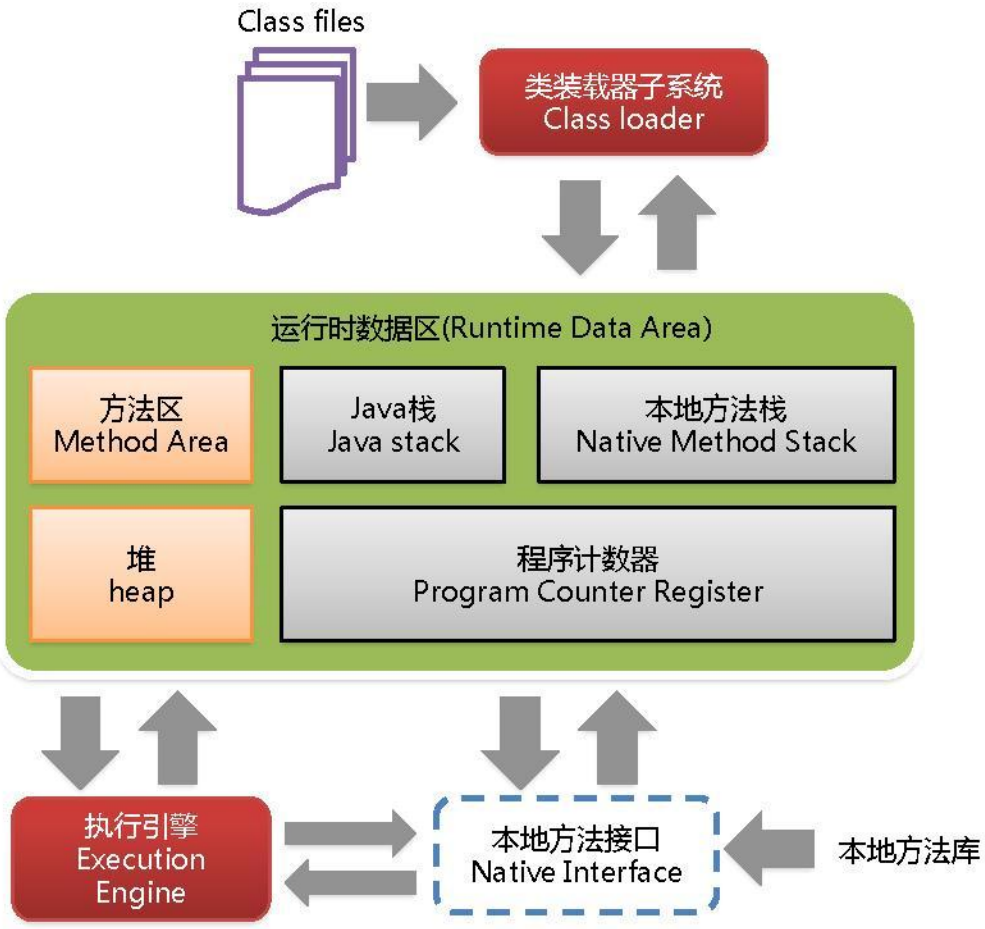
JVM GC调优

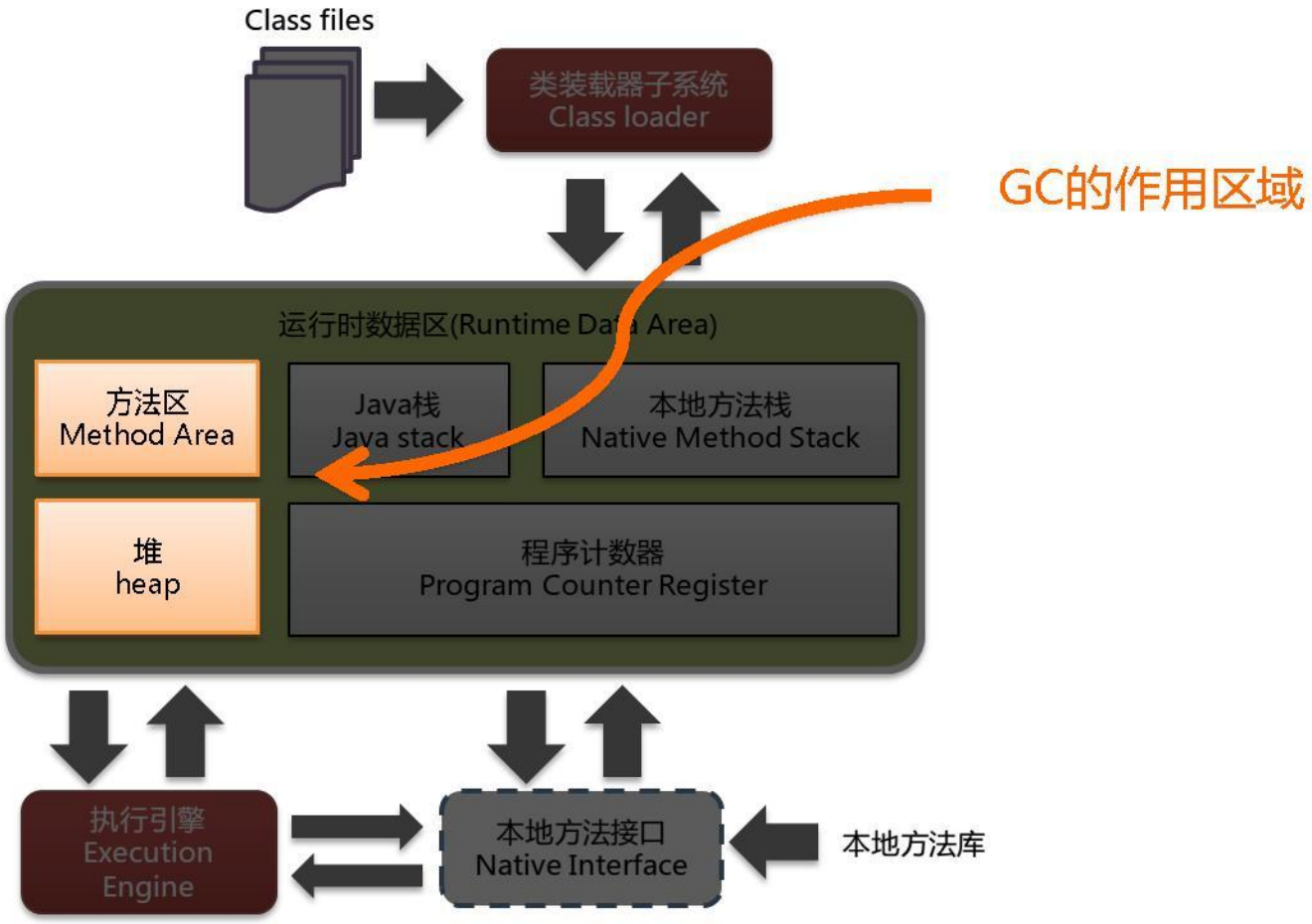
导航


GC
1 JVM体系结构概述
2 GC算法
3 Hotspot 内存管理
4 Hotspot 垃圾回收器
5 调优
6 监控工具

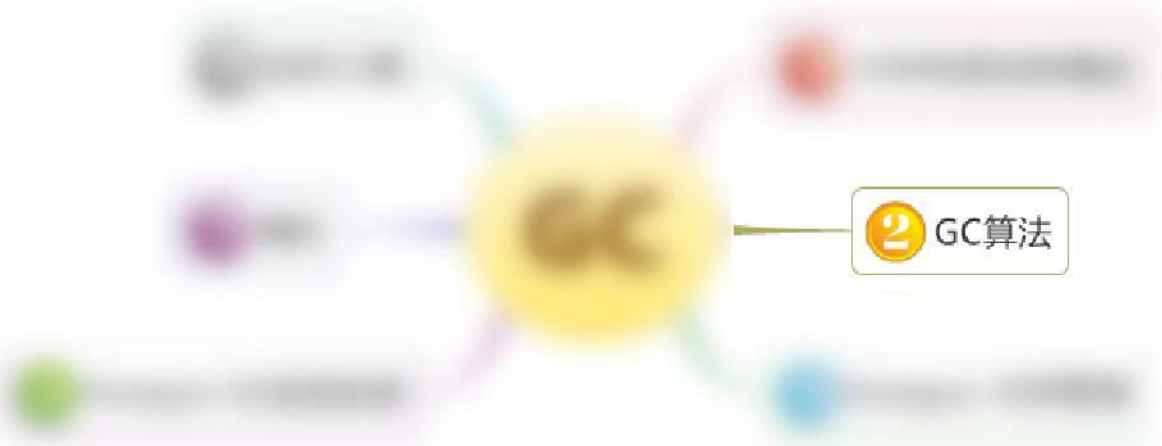
JVM体系结构概览


Class files
类装载器子系统
Class loader
运行时数据区(Runtime Data Area)
方法区
Method Area
Java栈
Java stack
本地方法栈
Native Method Stack
堆
heap
程序计数器
Program Counter Register
执行引擎
Execution
Engine
本地方法接口
Native Interface
本地方法库

JVM体系结构概览


Class files
类装载器子系统
Class loader
GC的作用区域
运行时数据区(Runtime Data Area)
方法区
Method Area
Java栈
Java stack
本地方法栈
Native Method Stack
堆
heap
程序计数器
Program Counter Register
执行引擎
Execution
Engine
本地方法接口
Native Interface
本地方法库

导航



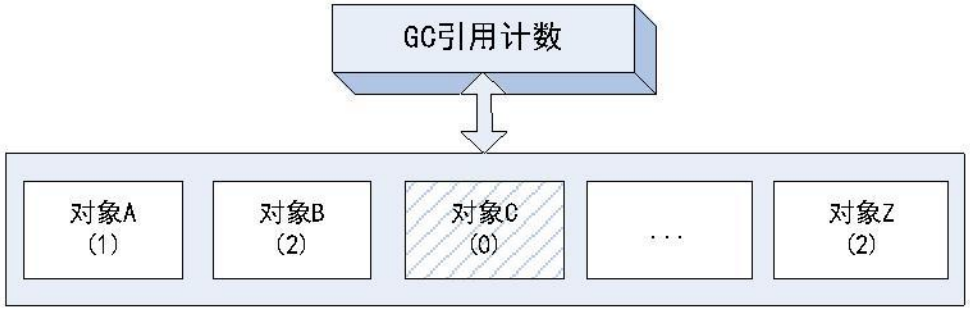
常用GC算法

GC第一步：找到可回收的垃圾

常用GC算法

1. 引用计数法

（应用：微软的COM/ActionScrip3/Python...）

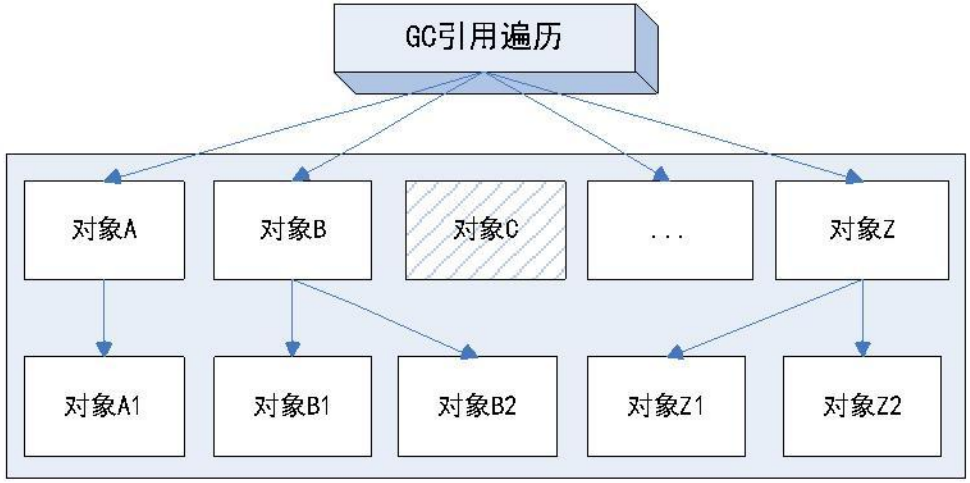


缺点：

- 每次对对象赋值时均要维护引用计数器，且计数器本身也有一定的消耗；
- 较难处理循环引用

JVM的实现一般不采用这种方式

2. 跟踪(Tracing)



- **复制** (Copying)
- **标记-清除** (Mark-Sweep)
- **标记-压缩** (Mark-Compact)
- Mark-Sweep(-Compact)

复制 (Copying)

原理：

- 从根集合(GC Root)开始，通过Tracing从From中找到存活对象，拷贝到To中；
- From 、To交换身份，下次内存分配从To开始；

标记-清除 (Mark-Sweep)

原理：

1. 标记 (Mark)：

从根集合开始扫描，对存活的对象进行标记。

2. 清除 (Sweep)：

扫描整个内存空间，回收未被标记的对象，使用free-list记录可以区域。

不需要额外空间

两次扫描，耗时严重；

会产生**内存碎片**

标记-压缩 (Mark-Compact)

原理：

1. 标记 (Mark)：

与 **标记-清除** 一样。

2. 压缩 (Compact)：

再次扫描，并往一端 **滑动** 存活对象。


没有内存碎片，可以利用bump-the-pointer


需要移动对象的成本

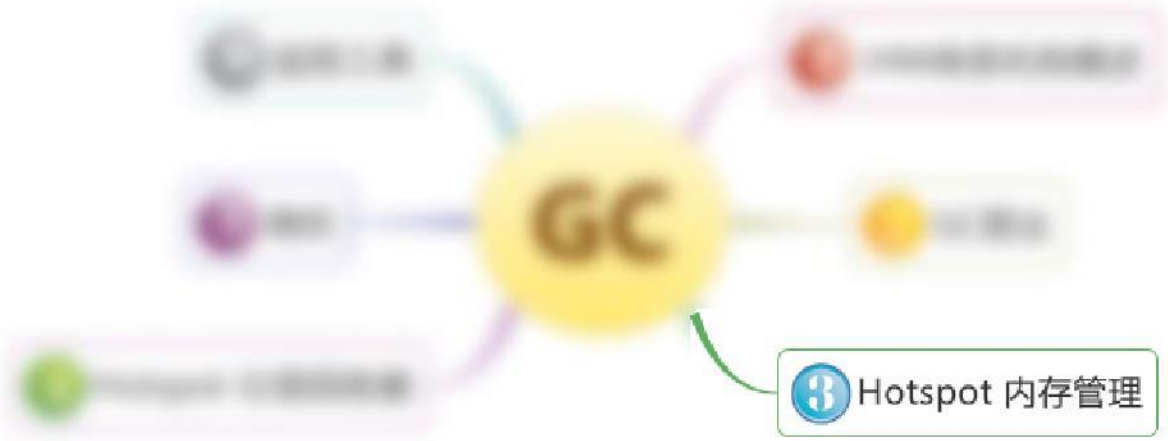
标记-清除-压缩 (Mark-Sweep-Compact)

原理：

1. Mark-Sweep 和 Mark-Compact的结合。
2. 和Mark-Sweep一致，当进行多次GC后才Compact。

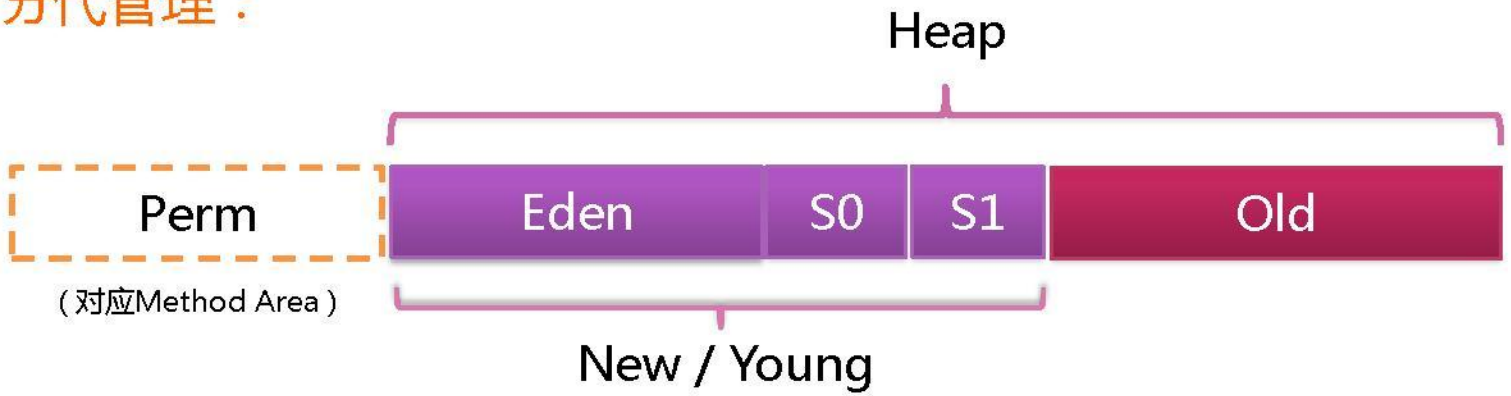

减少移动对象的成本

导航



Sun HotSpot™ 内存管理

分代管理：



Why ?

- 真相：经研究，不同对象的生命周期不同，98%的对象是临时对象。
- 根据各代特点应用不同GC算法，提高GC效率。

GC类型

- Minor GC　针对新生代的GC
- Major GC　针对旧生代的GC
- Full GC　　针对永久代、新生代、旧生代三者的GC

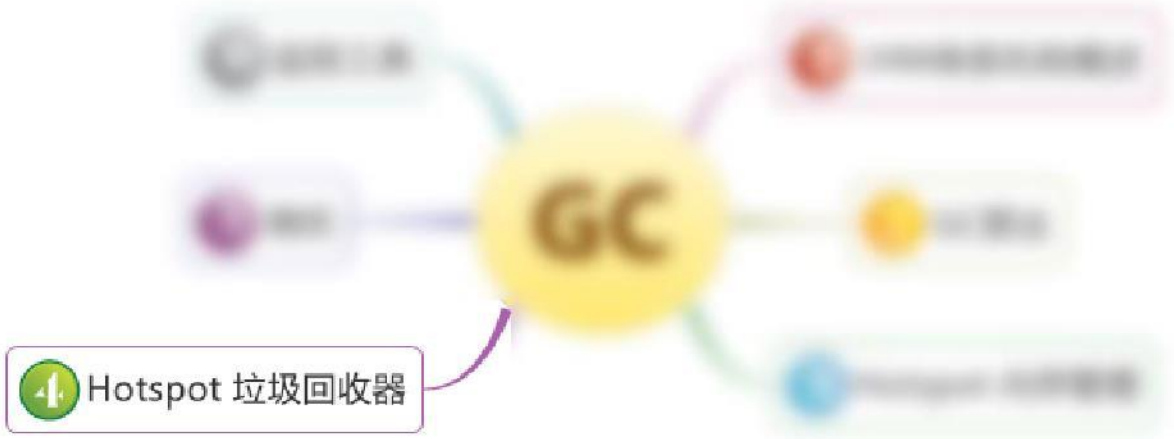
新生代

- 由Eden、两块相同大小的Survivor （又称为from/to,s0/s1）构成，to总为空；
- 一般在Eden分配对象，优化：Thread Local Allocation Buffer；
- 保存80%-90%生命周期较短的对象，GC频率高，采用效率较高的复制算法：

旧生代

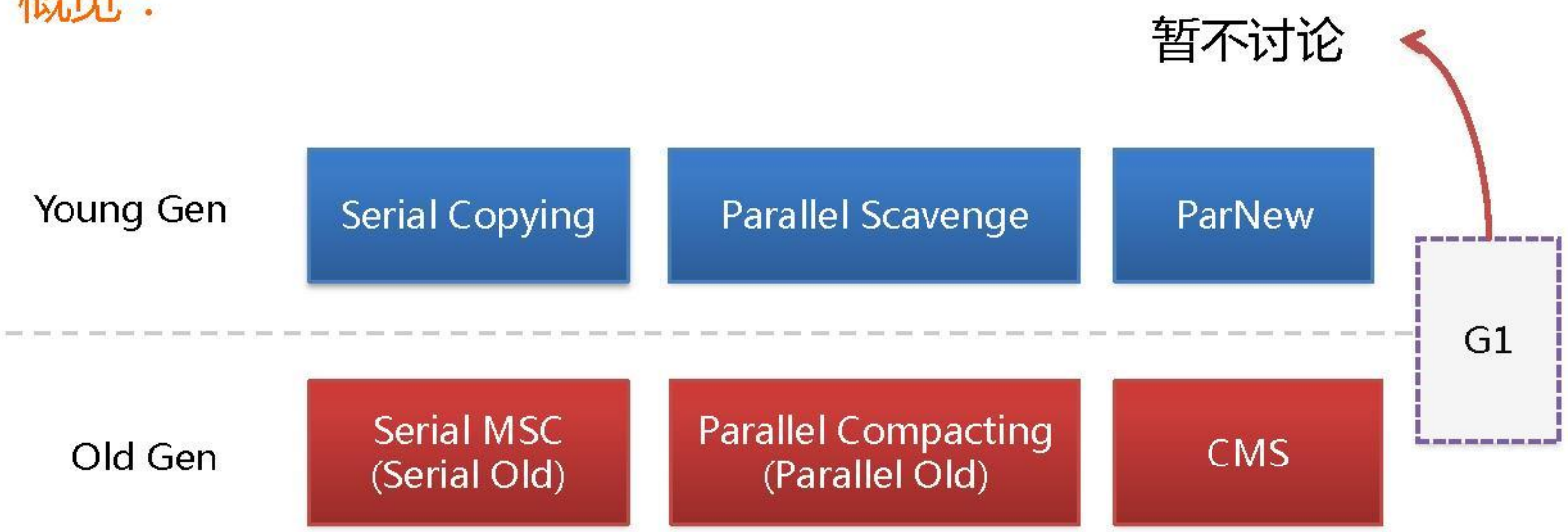
- 存放新生代中经历多次GC仍然存活的对象；
- 新建的对象也有可能直接在旧生代分配，取决于具体GC的实现；
- GC频率相对降低，标记（mark）、清理（sweep）、压缩（compaction）算法的各种结合和优化。

导航



Sun HotSpot™ 垃圾回收器

概览：

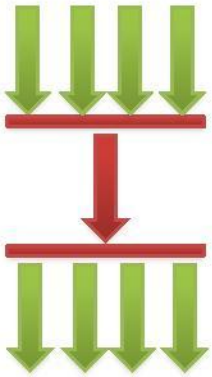


永久代呢？

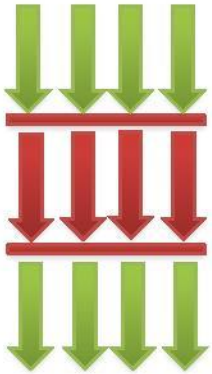
- 当 永久代 和 旧生代 触发GC时，除CMS外均会触发Full GC
  - 首先按照 新生代 配置的GC方式进行 Minor GC
  - 再按照 旧生代 配置的GC方式对 旧生代和永久代 进行GC
  - 若JVM 估计 minor GC后可能会发生晋升失败，则直接采用旧生代配置的GC方式对Young、Old、Perm进行GC。

一些术语I

串行(Serial) vs 并行(Parallel)



Serial



Parallel

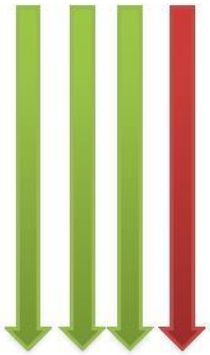
- 在单核CPU下并行可能更慢；

GC线程

应用线程

一些术语II

STW(Stop-the-world) vs 并发(Concurrent)



Concurrent

- STW：暂停整个应用，时间可能会很长；
- 并发(Concurrent)：更为复杂，GC可能会抢占应用的CPU；

新生代可用GC

Serial Copying | Parallel Scavenge | ParNew

- 均使用复制算法，原理上是一致的：
  1. 拷贝eden和from中的存活对象到to中；
  2. 部分对象由于某些原因晋升到old中；
  3. 清空eden、from，from和to交换身份直到下一次GC发生

- 分配对象时，Eden空间不足时触发

Serial Copying

特性

- **Serial、Stop-the-world**

适用场景

- 单CPU、新生代小、对暂停时间要求不高的应用；
- 是client级别或32位windows上的默认选择

对象直接分配在Old的情况

- 对象大小超过eden space大小
- 大对象 (PretenureSizeThreshold)

晋升规则

- 经历多次minor gc仍存活的对象；
- To Survivor放不下的(满或剩余空间不够)对象直接晋升；

Parallel Scanvenge (i)

特性

- **Parallel、Stop-the-world**
- 并行线程数默认值：
  - ✓ CPU核数 <= 8 : =CPU核数
  - ✓ CPU核数 > 8 : =(3 + CPU核数*5)/8

  亦可强制指定线程数 (-XX:ParallelGCThreads=4)
- 会根据minor GC的频率、时间等动态调整Eden/S0/S1的大小，可取消这一特性 (-XX:-UseAdaptiveSizePolicy)

适用场景

- 多CPU、对暂停时间要求较短的应用；
- 是server级别（2核CPU 2G内存）机器上的默认选择

Parallel Scanvenge（ii）

对象直接分配在Old的情况

- 在TLAB和eden上分配失败，且对象大于eden的一半大小；
- PretenureSizeThreshold参数是无效的

晋升规则

- 经历多次minor gc仍存活的对象：
  - ✓ 规则和参数都比Serial Copying复杂
- To Survivor放不下的(满或剩余空间不够)对象直接晋升；

ParNew

特性

- **Parallel、Stop-the-world**
- 可以认为是Serial Copying的多线程版本，各项特征与之基本一致；
- 可以搭配 CMS；
- 不可搭配 Parallel Old。

旧生代可用GC


Serial MSC
(Serial Old)
Parallel Compacting
(Parallel Old)
CMS

Serial MSC

特性

- **Serial、Stop-the-world**
- 使用算法：**Mark-Sweep-Compact**
- 由于是单线程，GC造成的暂停时间可能会很长，可使用-XX:+PrintGCApplicationStoppedTime查看暂停时间

适用场景

- 是client级别或32位windows上的默认选择

Parallel Compacting

特性

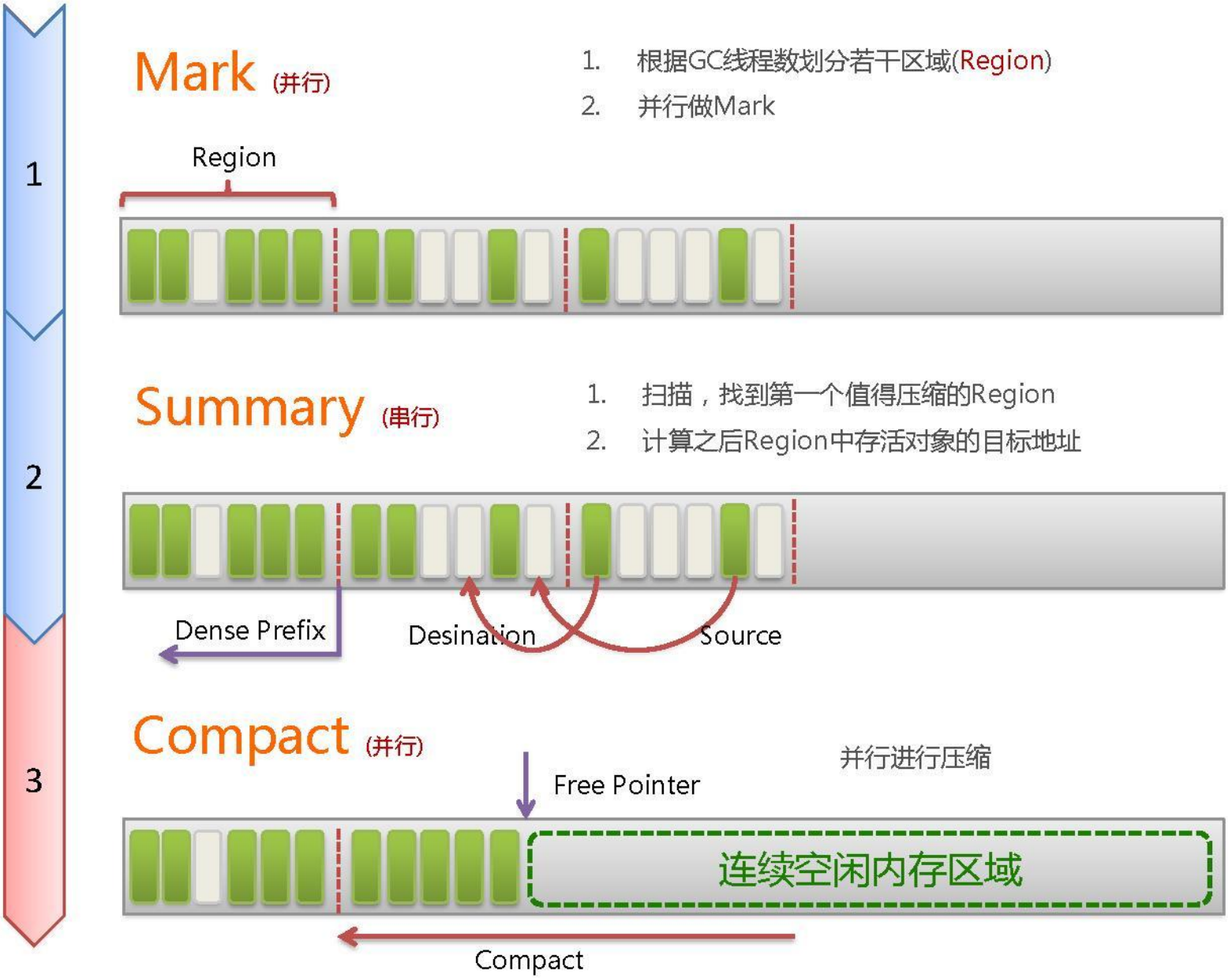
- **Parallel、Stop-the-world**
- 使用算法：**Mark-Compact**

  算法较为复杂，详细描述见下一页

适用场景

- 多核CPU、对暂停时间较敏感的应用；
- 是server级别（2核CPU 2G内存）机器上的默认选择

Parallel Compacting 算法详细描述



Concurrent Mark-Sweep (CMS)

特性

- **Parallel、Concurrent**
- 使用算法：**Mark-Sweep**

  算法更为复杂，描述见下一页
- 缩短GC暂停时间，但相当复杂，增加了GC总时间
- 默认并发线程数 = （新生代并行GC线程数+ 3）/ 4，也可用-XX:ParallelCMS Threads=2来指定。
- 对Perm Generation也可启用CMS：-XX:+CMSPermGenSweepingEnabled，-XX:+CMSClassUnloadingEnabled

适用场景

- 暂停时间短，对追求最快响应速度的应用，尤其是互联网应用很适用

CMS 算法简略描述

Initial Mark

标记GC Root可以**直达**的对象，耗时短。

Stop the World !

Concurrent Mark

从第一步标记的对象出发，并发地标记可达对象。

Concurrent

Remark

重新进行标记，修正Concurrent Mark期间由于用户程序运行而导致对象关系间的变化及新创建的对象。耗时短。

Stop the World !

Concurrent Sweep

并行地进行无用对象的回收。

Concurrent

Concurrent Mark-Sweep (CMS)

缺点

- **与应用抢占CPU**

  Solution: **i-CMS** (incremental CMS) ---- 已被废弃

- **GC总耗时长**
- **浮动垃圾**(Floating Garbage)
  - Concurrent Sweep 阶段有新的垃圾产生，只能下一次GC时被收集
  - GC同时应用也在运行 → Old需要预留空间，达到一定比例即触发GC

    -XX:CMSInitiatingOccupancyFraction=68 指定，68%是默认值
  - 预留空间不够，出现 Concurrent Mode Failure

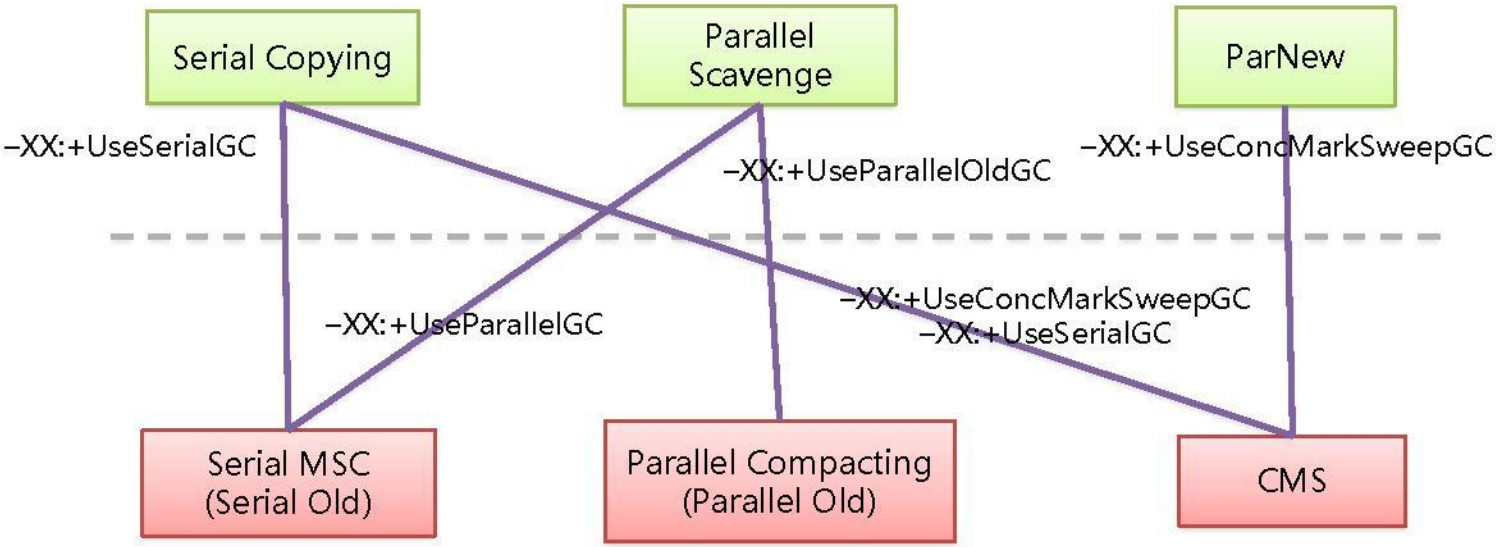
    “临时预案” ：Serial MSC
- **内存碎片**
  - free list中没有合适内存空间来分配对象，只能触发full GC.

    -XX:+UseCMSCompactAtFullCollection 每次full GC后进行压缩

    -XX:CMSFullGCsBeforeCompaction= 多少次full GC后进行压缩
- **Minor GC耗时增长**
  - 每次Promotion都要搜索free list

组合

支持的组合



两个标准

- 吞吐量 (Throughput) = 应用运行时间 / 总时间

  关注GC总耗时

- 暂停时间 (Latency)

  关注每次GC造成的应用暂停

组合

组合的选择

- 单CPU或小内存，单机程序

  -XX:+UseSerialGC

- 多CPU，需要最大吞吐量，如后台计算型应用

  -XX:+UseParallelGC 或者

  -XX:+UseParallelOldGC

- 多CPU，追求低停顿时间，需快速响应如互联网应用

  -XX:+UseConcMarkSweepGC

  -XX:+ParNewGC

自动选择GC方式

- 吞吐量优先

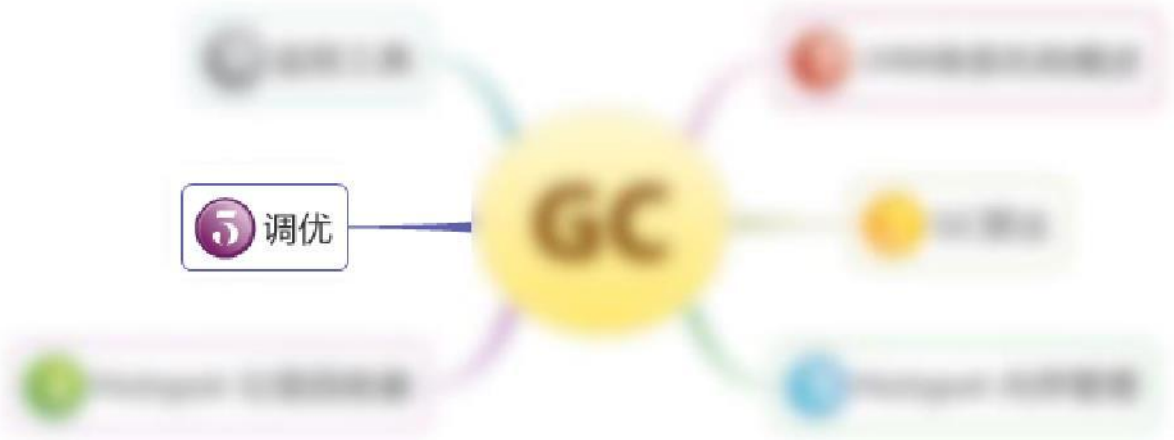
  -XX:GCTimeRatio=n

- 暂停时间优先

  -XX:MaxGCPauseMillis=n

- 一般不使用

导航



堆大小的调优

- 一般来说，堆越大越好
  - 降低GC频率，但过大可能会增加单次GC的时间
  - 对象更有可能成为垃圾
- 受硬件和操作系统限制
  - 32位操作系统单个进程的最大可用内存为2G，64位无限制
  - 小心平衡 New 和 Old 的比例
- 参数
  - -Xms=1024MB：堆的最小值
  - -Xmx=1024MB：堆的最大值
  - 堆每次调整都会触发一次 **Full GC**

避免频繁调整，可以设置：

-Xms = -Xmx

等等，-Xms == -Xmx ？

Not Always !

- 设置-Xms为堆的预期大小
  - 堆调整的代价很大
- 如果内存允许，设置-Xmx为一个比-Xms更大的数值
  - **以防万一**
  - 也许系统负载比你想的要重
  - 随着时间的推移，数据量越来越大
  - ……
- 进行一次 Full GC & 堆调整 总比发生 OOM & 宕机 要好

新生代调优 – 大小

- 增大Eden的大小会……
  - 降低Minor GC的频率；
  - 但不一定会增大Minor GC的时间

    Minor GC的耗时和要拷贝的对象数量，即存活对象多少成正比

- 参数
  - -XX:NewSize=1024MB ：新生代初始大小
  - -XX:MaxNewSize=1024MB ：新生代最大值
  - -XX:NewRatio=m ：New和Old的比值
  - -Xmn=1024MB ：新生代大小
  - 出于性能考虑，一般使用-Xmn来固定新生代大小

新生代调优 – 晋升 (Promotion)

- 尽可能地让对象呆在Survivor中，使之在新生代被回收
  - 减少晋升到旧生代的对象
  - 降低旧生代GC频率
- 但是同时，避免长时间存活的对象在Survivor间不必要的拷贝
  - 增加Minor GC不必要的开销
- 不容易找到平衡点
  - 原则上： better copy more, than promote more
- -XX:SurvivorRatio=m：Eden和Survivor的比值

新生代调优 – 晋升 (Promotion)

- 对象晋升年龄的阈值：Tenuring Threshold
  - 年龄标志位age，每熬过一轮GC对象年龄加1
  - Serial Copying 和 ParNew 每次Minor GC后重新计算TenuringThreshold的规则：
    1. 参数-XX:TargetSurvivorRatio=n：minor GC后Survivor预期被占用的比例
    2. 计算Desired Survivor Size = Survivor大小 * TargetSurvivorRatio；
    3. 统计存活对象的年龄，若在某个年龄上的对象总大小 > Desired Survivor Size，则TenuringThreshold = min(该年龄, MaxTenuringThreshold)；
    4. 否则TenuringThreshold = MaxTenuringThreshold；
    5. 下次Minor GC的阈值就以此为准
  - 查看每次minor GC后年龄的分布和计算出来的TenuringThreshold：

    -XX:+PrintTenuringDistribution

旧生代调优

- 尽可能地调优新生代先
  - 尤其要注意CMS中的Promotion
    ---- free list
    ---- 更容易出现内存碎片
- （对CMS）在不紧要的时间段手动进行Full GC
  - 清理堆，压缩，减少内存碎片；
- 大小的平衡
  - 太大 --- 单次GC时间长；
  - 太小 --- GC频率高
- 硬件优化
  - 加CPU吧
- 程序优化，避免无用对象浪费Old空间
  - 去掉不必要的缓存
  - oracle 10g驱动时preparedstatement cache太大
- ……

导航

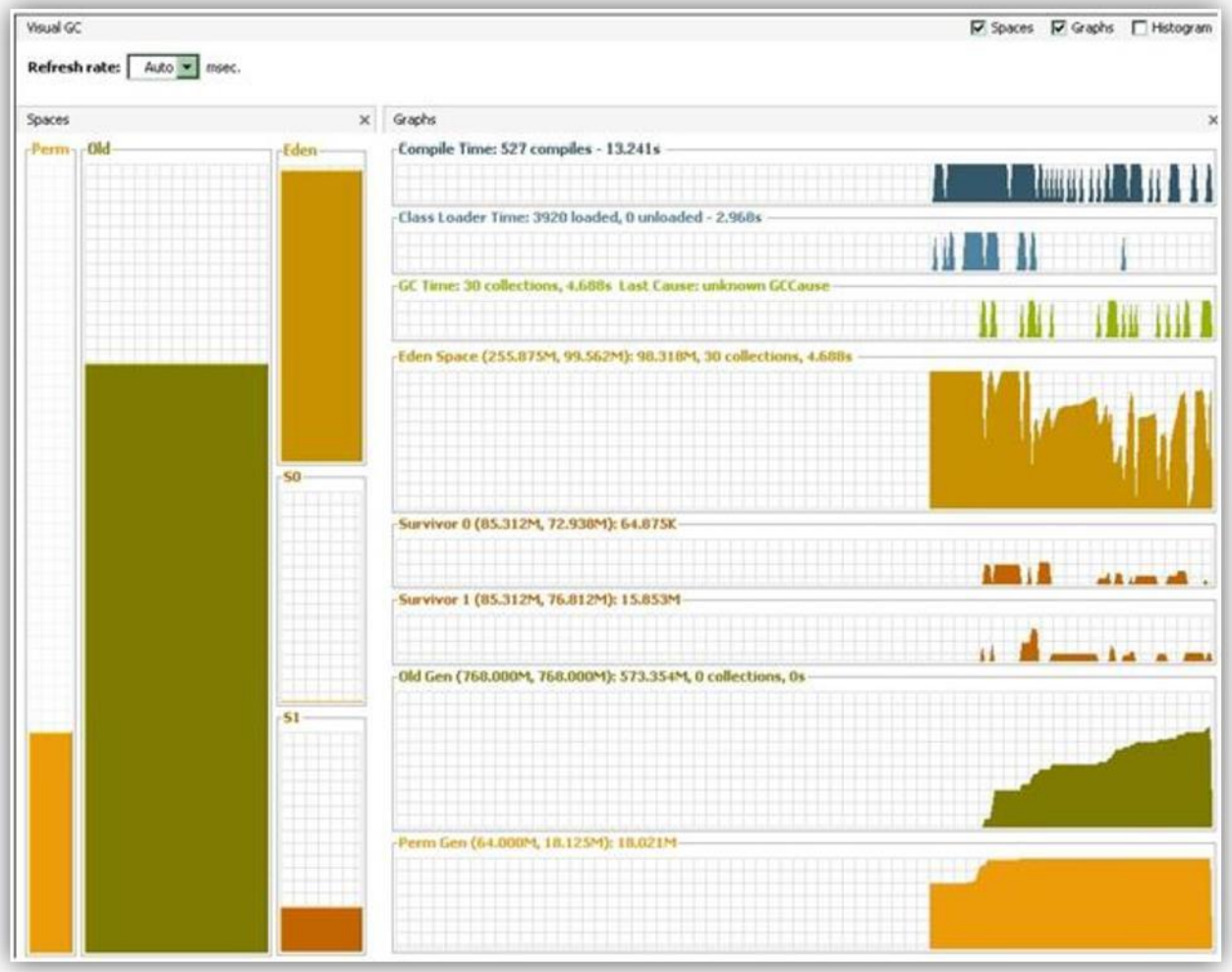
监控工具 I

- JVM参数
  - -XX:+PrintGC 输出GC简要信息
  - -XX:+PrintGCDetails 输出GC简要信息
  - -XX:+PrintGCTimeStamps 输出GC时间戳
  - -XX:+PrintGCApplicationStoppedTime 输出GC暂停时间
  - -Xlogg c:/gc.log 输出到文件

- 命令行工具
  - 查看内存使用情况、heap dump : jmap + jhat
  - 查看GC情况 : jstat

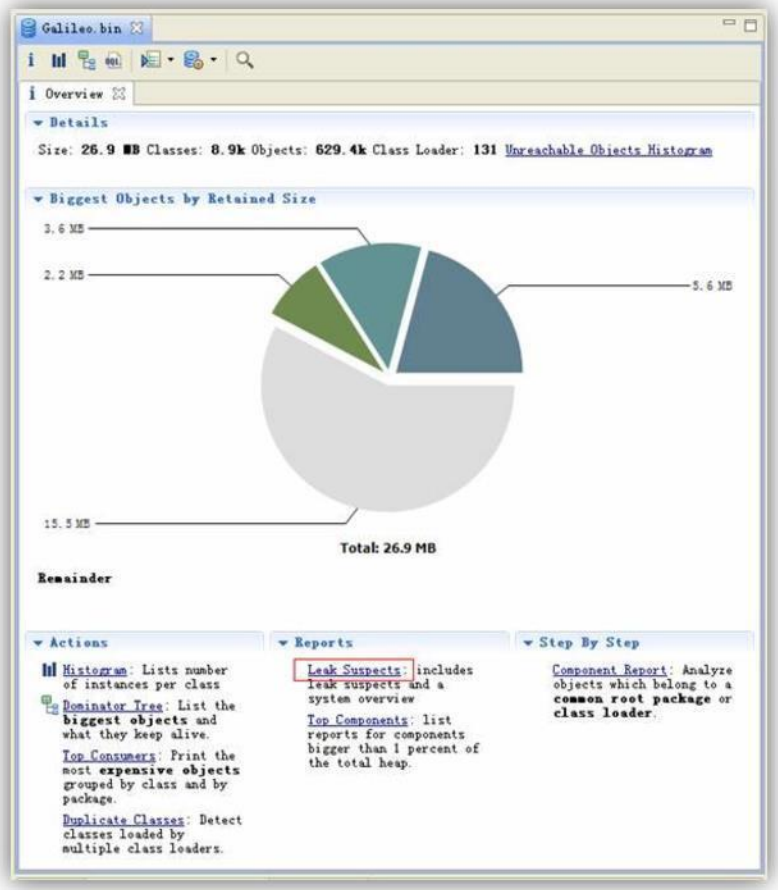
监控工具 II

JVisualVM



监控工具 III

MAT(Eclipse Memory Analyzer)



- ✓ 分析dump文件，快速定位内存泄露；
- ✓ 获得堆中对象的统计数据
- ✓ 获得对象相互引用的关系
- ✓ 采用树形展现对象间相互引用的情况
- ✓ 支持使用OQL语言来查询对象信息

总结

GC Tuning is a Dark Art

先尝试调优其他方面

实践是检验真理的唯一标准！

End

Thank you!