

```
//文件夹位置  
List<String> filePaths = Arrays.asList(...)  
// 异步处理所有文件  
List<CompletableFuture<String>> fileFutures = filePaths.stream()  
    .map(filePath -> doSomeThing(filePath))  
    .collect(Collectors.toList());  
// 将他们合并起来  
CompletableFuture<Void> allFutures = CompletableFuture.allOf(  
    fileFutures.toArray(new CompletableFuture[fileFutures.size()]))  
;
```

## 2.4.1. Reference

- 《深入理解 Java 虚拟机》
- 《实战 Java 高并发程序设计》
- 《Java 并发编程的艺术》
- <http://www.cnblogs.com/waterystone/p/4920797.html>
- <https://www.cnblogs.com/chengxiao/archive/2017/07/24/7141160.html>
- <https://www.journaldev.com/1076/java-threadlocal-example>

## 2.4. JVM

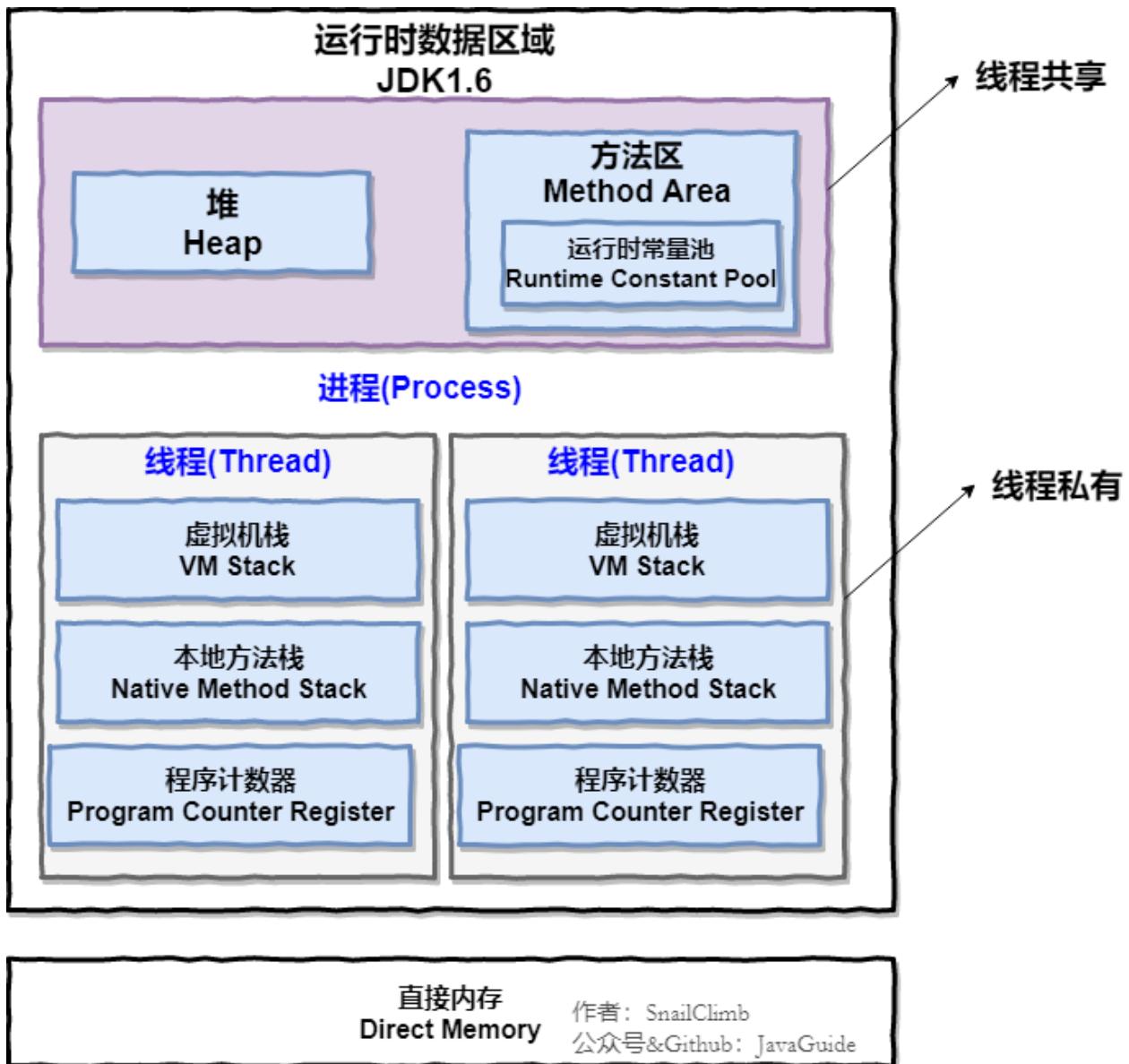
作者：Guide哥。

介绍：Github 70k Star 项目 [JavaGuide](#)（公众号同名）作者。每周都会在公众号更新一些自己原创干货。公众号后台回复“1”领取Java工程师必备学习资料+面试突击pdf。

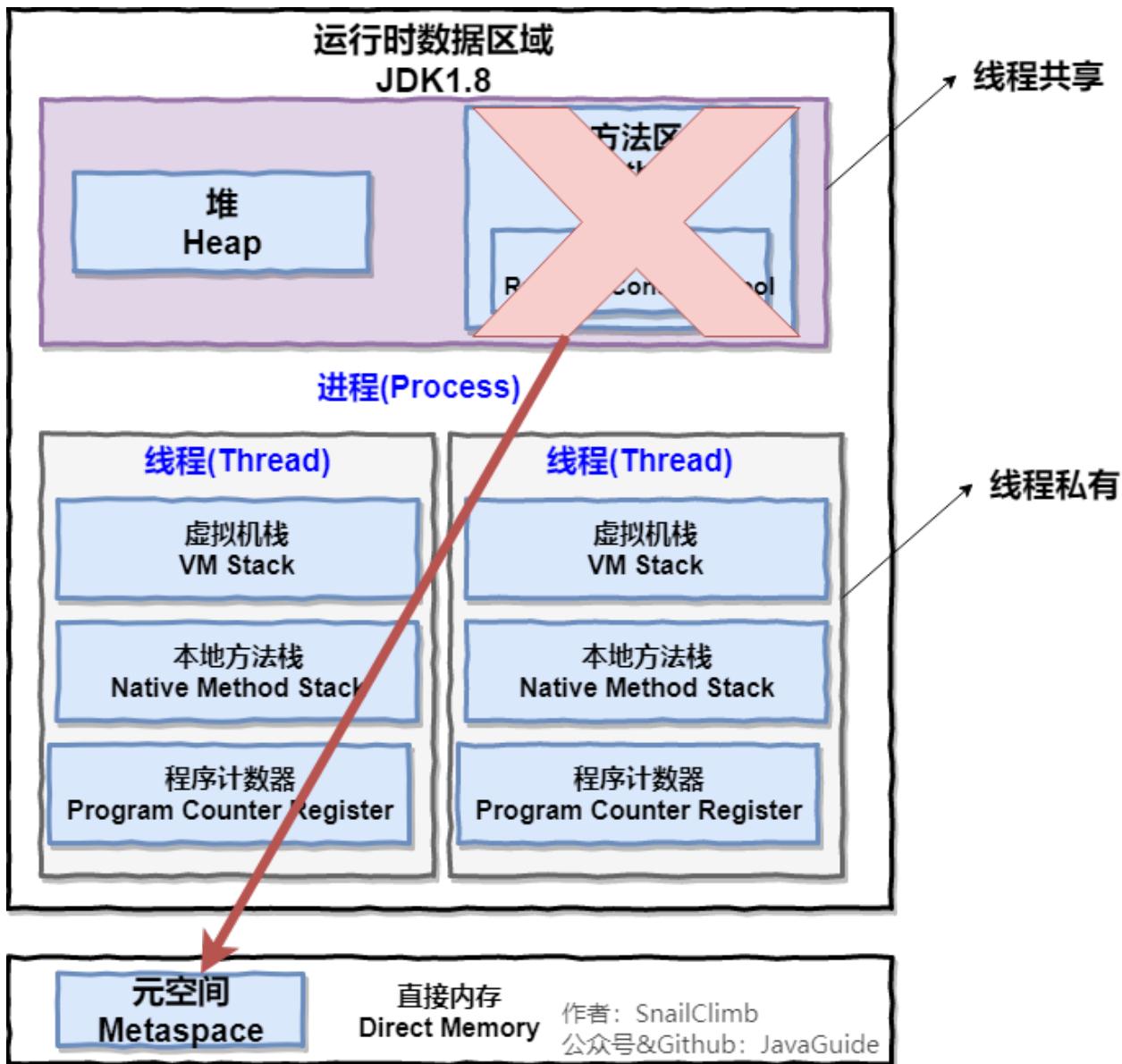
### 2.4.1. 介绍下 Java 内存区域(运行时数据区)

Java 虚拟机在执行 Java 程序的过程中会把它管理的内存划分成若干个不同的数据区域。JDK.1.8 和之前的版本略有不同，下面会介绍到。

JDK 1.8 之前：



JDK 1.8 :



线程私有的:

- 程序计数器
- 虚拟机栈
- 本地方法栈

线程共享的:

- 堆
- 方法区
- 直接内存 (非运行时数据区的一部分)

### 2.4.1.1. 程序计数器

程序计数器是一块较小的内存空间，可以看作是当前线程所执行的字节码的行号指示器。字节码解释器工作时通过改变这个计数器的值来选取下一条需要执行的字节码指令，分支、循环、跳转、异常处理、线程恢复等功能都需要依赖这个计数器来完成。

另外，为了线程切换后能恢复到正确的执行位置，每条线程都需要有一个独立的程序计数器，各线程之间计数器互不影响，独立存储，我们称这类内存区域为“线程私有”的内存。

从上面的介绍中我们知道程序计数器主要有两个作用：

1. 字节码解释器通过改变程序计数器来依次读取指令，从而实现代码的流程控制，如：顺序执行、选择、循环、异常处理。
2. 在多线程的情况下，程序计数器用于记录当前线程执行的位置，从而当线程被切换回来的时候能够知道该线程上次运行到哪儿了。

注意：程序计数器是唯一一个不会出现 `OutOfMemoryError` 的内存区域，它的生命周期随着线程的创建而创建，随着线程的结束而死亡。

### 2.4.1.2. Java 虚拟机栈

与程序计数器一样，Java 虚拟机栈也是线程私有的，它的生命周期和线程相同，描述的是 Java 方法执行的内存模型，每次方法调用的数据都是通过栈传递的。

Java 内存可以粗略的区分为堆内存（Heap）和栈内存（Stack），其中栈就是现在说的虚拟机栈，或者说是虚拟机栈中局部变量表部分。（实际上，Java 虚拟机栈是由一个个栈帧组成，而每个栈帧中都拥有：局部变量表、操作数栈、动态链接、方法出口信息。）

局部变量表主要存放了编译期可知的各种数据类型（boolean、byte、char、short、int、float、long、double）、对象引用（reference 类型，它不同于对象本身，可能是一个指向对象起始地址的引用指针，也可能是指向一个代表对象的句柄或其他与此对象相关的位置）。

Java 虚拟机栈会出现两种错误：`StackOverflowError` 和 `OutOfMemoryError`。

- `StackOverflowError`：若 Java 虚拟机栈的内存大小不允许动态扩展，那么当线程请求栈的深度超过当前 Java 虚拟机栈的最大深度的时候，就抛出 `StackOverflowError` 错误。
- `OutOfMemoryError`：若 Java 虚拟机堆中没有空闲内存，并且垃圾回收器也无法提供更多内存的话。就会抛出 `OutOfMemoryError` 错误。

Java 虚拟机栈也是线程私有的，每个线程都有各自的 Java 虚拟机栈，而且随着线程的创建而创建，随着线程的死亡而死亡。

扩展：那么方法/函数如何调用？

Java 栈可用类比数据结构中栈，Java 栈中保存的主要内容是栈帧，每一次函数调用都会有一个对应的栈帧被压入 Java 栈，每一个函数调用结束后，都会有一个栈帧被弹出。

Java 方法有两种返回方式：

1. return 语句。
2. 抛出异常。

不管哪种返回方式都会导致栈帧被弹出。

#### 2.4.1.3. 本地方法栈

和虚拟机栈所发挥的作用非常相似，区别是：虚拟机栈为虚拟机执行 Java 方法（也就是字节码）服务，而本地方法栈则为虚拟机使用到的 Native 方法服务。在 HotSpot 虚拟机中和 Java 虚拟机栈合二为一。

本地方法被执行的时候，在本地方法栈也会创建一个栈帧，用于存放该本地方法的局部变量表、操作数栈、动态链接、出口信息。

方法执行完毕后相应的栈帧也会出栈并释放内存空间，也会出现 `StackOverFlowError` 和 `OutOfMemoryError` 两种错误。

#### 2.4.1.4. 堆

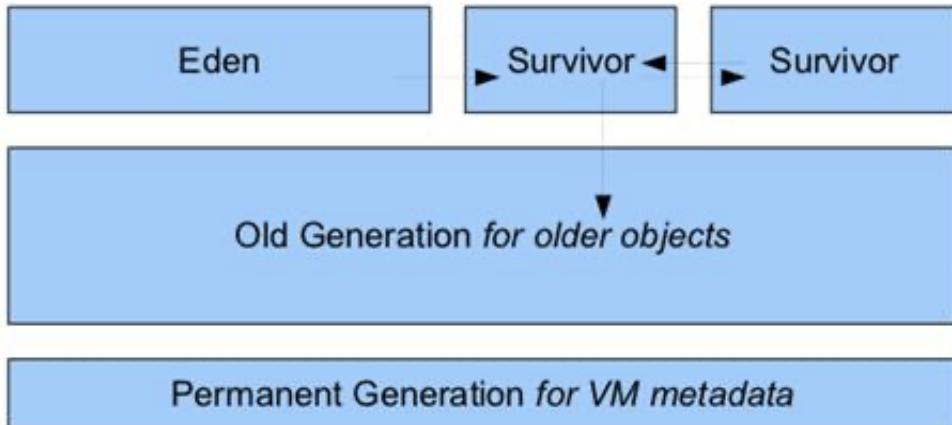
Java 虚拟机所管理的内存中最大的一块，Java 堆是所有线程共享的一块内存区域，在虚拟机启动时创建。此内存区域的唯一目的就是存放对象实例，几乎所有的对象实例以及数组都在这里分配内存。

Java 世界中“几乎”所有的对象都在堆中分配，但是，随着 JIT 编译期的发展与逃逸分析技术逐渐成熟，栈上分配、标量替换优化技术将会导致一些微妙的变化，所有的对象都分配到堆上也渐渐变得不那么“绝对”了。从 jdk 1.7 开始已经默认开启逃逸分析，如果某些方法中的对象引用没有被返回或者未被外面使用（也就是未逃逸出去），那么对象可以直接在栈上分配内存。

Java 堆是垃圾收集器管理的主要区域，因此也被称作 **GC 堆 (Garbage Collected Heap)**。从垃圾回收的角度，由于现在收集器基本都采用分代垃圾收集算法，所以 Java 堆还可以细分为：新生代和老年代；再细致一点有：Eden 空间、From Survivor、To Survivor 空间等。进一步划分的目的是更好地回收内存，或者更快地分配内存。

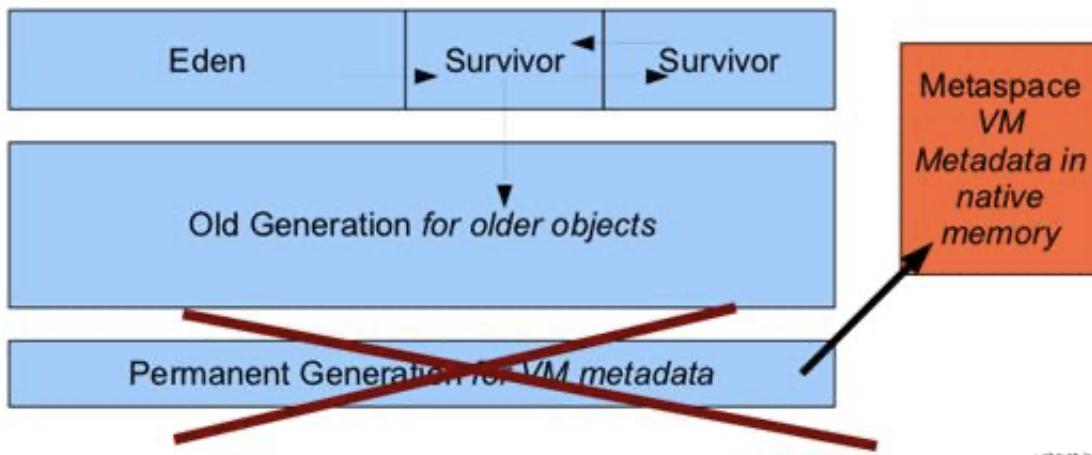
在 JDK 7 版本及 JDK 7 版本之前，堆内存被通常被分为下面三部分：

1. 新生代内存(Young Generation)
2. 老年代(Old Generation)
3. 永生代(Permanent Generation)



© 腾讯技术社区

JDK 8 版本之后方法区（HotSpot 的永久代）被彻底移除了（JDK1.7 就已经开始了），取而代之是元空间，元空间使用的是直接内存。



© 腾讯技术社区

上图所示的 **Eden** 区、两个 **Survivor** 区都属于新生代（为了区分，这两个 **Survivor** 区域按照顺序被命名为 **from** 和 **to**），中间一层属于老年代。

大部分情况，对象都会首先在 **Eden** 区域分配，在一次新生代垃圾回收后，如果对象还存活，则会进入 **s0** 或者 **s1**，并且对象的年龄还会加 1(**Eden** 区->**Survivor** 区后对象的初始年龄变为 1)，当它的年龄增加到一定程度（默认为 15 岁），就会被晋升到老年代中。对象晋升到老年代的年龄阈值，可以通过参数 `-XX:MaxTenuringThreshold` 来设置。

修正 ([issue552](#))：“Hotspot遍历所有对象时，按照年龄从小到大对其所占用的大小进行累积，当累积的某个年龄大小超过了survivor区的一半时，取这个年龄和 MaxTenuringThreshold中更小的一个值，作为新的晋升年龄阈值”。

动态年龄计算的代码如下

```
uint ageTable::compute_tenuring_threshold(size_t survivor_capacity) {
    //survivor_capacity是survivor空间的大小
    size_t desired_survivor_size = (size_t)((double)
        survivor_capacity)*TargetSurvivorRatio)/100);
    size_t total = 0;
    uint age = 1;
    while (age < table_size) {
        total += sizes[age];//sizes数组是每个年龄段对象大小
        if (total > desired_survivor_size) break;
        age++;
    }
    uint result = age < MaxTenuringThreshold ? age : MaxTenuringThreshold;
    ...
}
```

堆这里最容易出现的就是 `OutOfMemoryError` 错误，并且出现这种错误之后的表现形式还会有几种，比如：

1. `OutOfMemoryError: GC Overhead Limit Exceeded`：当JVM花太多时间执行垃圾回收并且只能回收很少的堆空间时，就会发生此错误。
2. `java.lang.OutOfMemoryError: Java heap space`：假如在创建新的对象时，堆内存中的空间不足以存放新创建的对象，就会引发 `java.lang.OutOfMemoryError: Java heap space` 错误。(和本机物理内存无关，和你配置的内存大小有关！)
3. .....

#### 2.4.1.5. 方法区

方法区与 Java 堆一样，是各个线程共享的内存区域，它用于存储已被虚拟机加载的类信息、常量、静态变量、即时编译器编译后的代码等数据。虽然 Java 虚拟机规范把方法区描述为堆的一个逻辑部分，但是它却有一个别名叫做 **Non-Heap**（非堆），目的应该是与 Java 堆区分开来。

方法区也被称为永久代。很多人都会分不清方法区和永久代的关系，为此我也查阅了文献。

#### 2.4.1.5.1. 方法区和永久代的关系

《Java 虚拟机规范》只是规定了有方法区这么个概念和它的作用，并没有规定如何去实现它。那么，在不同的 JVM 上方法区的实现肯定是不同的了。**方法区和永久代的关系很像 Java 中接口和类的关系，类实现了接口，而永久代就是 HotSpot 虚拟机对虚拟机规范中方法区的一种实现方式。**也就是说，永久代是 HotSpot 的概念，方法区是 Java 虚拟机规范中的定义，是一种规范，而永久代是一种实现，一个是标准一个是实现，其他的虚拟机实现并没有永久代这一说法。

#### 2.4.1.5.2. 常用参数

JDK 1.8 之前永久代还没被彻底移除的时候通常通过下面这些参数来调节方法区大小

```
-XX:PermSize=N //方法区（永久代）初始大小  
-XX:MaxPermSize=N //方法区（永久代）最大大小，超过这个值将会抛出 OutOfMemoryError 异常：java.lang.OutOfMemoryError: PermGen
```

相对而言，垃圾收集行为在这个区域是比较少出现的，但并非数据进入方法区后就“永远存在”了。

JDK 1.8 的时候，方法区（HotSpot 的永久代）被彻底移除了（JDK1.7 就已经开始了），取而代之是元空间，元空间使用的是直接内存。

下面是一些常用参数：

```
-XX:MetaspaceSize=N //设置 Metaspace 的初始（和最小大小）  
-XX:MaxMetaspaceSize=N //设置 Metaspace 的最大大小
```

与永久代很大的不同就是，如果不指定大小的话，随着更多类的创建，虚拟机会耗尽所有可用的系统内存。

#### 2.4.1.5.3. 为什么要将永久代 (PermGen) 替换为元空间 (MetaSpace) 呢？

- 整个永久代有一个 JVM 本身设置固定大小上限，无法进行调整，而元空间使用的是直接内存，受本机可用内存的限制，虽然元空间仍旧可能溢出，但是比原来出现的几率会更小。

当你元空间溢出时会得到如下错误： java.lang.OutOfMemoryError: MetaSpace

你可以使用 `-XX: MaxMetaspaceSize` 标志设置最大元空间大小，默认值为 `unlimited`，这意味着它只受系统内存的限制。`-XX: MetaspaceSize` 调整标志定义元空间的初始大小如果未指定此标志，则 Metaspace 将根据运行时的应用程序需求动态地重新调整大小。

2. 元空间里面存放的是类的元数据，这样加载多少类的元数据就不由 `MaxPermSize` 控制了，而由系统的实际可用空间来控制，这样能加载的类就更多了。
3. 在 JDK8，合并 HotSpot 和 JRockit 的代码时，JRockit 从来没有一个叫永久代的东西，合并之后就没有必要额外的设置这么一个永久代的地方了。

#### 2.4.1.6. 运行时常量池

运行时常量池是方法区的一部分。Class 文件中除了有类的版本、字段、方法、接口等描述信息外，还有常量池表（用于存放编译期生成的各种字面量和符号引用）

既然运行时常量池是方法区的一部分，自然受到方法区内存的限制，当常量池无法再申请到内存时会抛出 `OutOfMemoryError` 错误。

~~JDK1.7 及之后版本的 JVM 已经将运行时常量池从方法区中移了出来，在 Java 堆（Heap）中开辟了一块区域存放运行时常量池。~~

修正([issue747](#), [reference](#)):

1. **JDK1.7之前**运行时常量池逻辑包含字符串常量池存放在方法区, 此时hotspot虚拟机对方法区的实现为永久代
2. **JDK1.7**字符串常量池被从方法区拿到了堆中, 这里没有提到运行时常量池,也就是说字符串常量池被单独拿到堆,运行时常量池剩下的东西还在方法区, 也就是hotspot中的永久代。
3. **JDK1.8** hotspot移除了永久代用元空间(Metaspace)取而代之, 这时候字符串常量池还在堆, 运行时常量池还在方法区, 只不过方法区的实现从永久代变成了元空间(Metaspace)

相关问题：JVM 常量池中存储的是对象还是引用呢？：<https://www.zhihu.com/question/57109429/answer/151717241> by RednaxelaFX

#### 2.4.1.7. 直接内存

直接内存并不是虚拟机运行时数据区的一部分，也不是虚拟机规范中定义的内存区域，但是这部分内存也被频繁地使用。而且也可能导致 `OutOfMemoryError` 错误出现。

JDK1.4 中新加入的 **NIO(New Input/Output)** 类，引入了一种基于通道（Channel）与缓存区（Buffer）的 I/O 方式，它可以直接使用 Native 函数库直接分配堆外内存，然后通过一个存储在 Java 堆中的 DirectByteBuffer 对象作为这块内存的引用进行操作。这样就能在一些场景中显著提高性能，因为避免了在 Java 堆和 Native 堆之间来复制数据。

本机直接内存的分配不会受到 Java 堆的限制，但是，既然是内存就会受到本机总内存大小以及处理器寻址空间的限制。

## 2.4.2. 说一下Java对象的创建过程

下图便是 Java 对象的创建过程，我建议是好早的就写出来，并且课堂每一节在做什么。



### 2.4.2.1. Step1:类加载检查

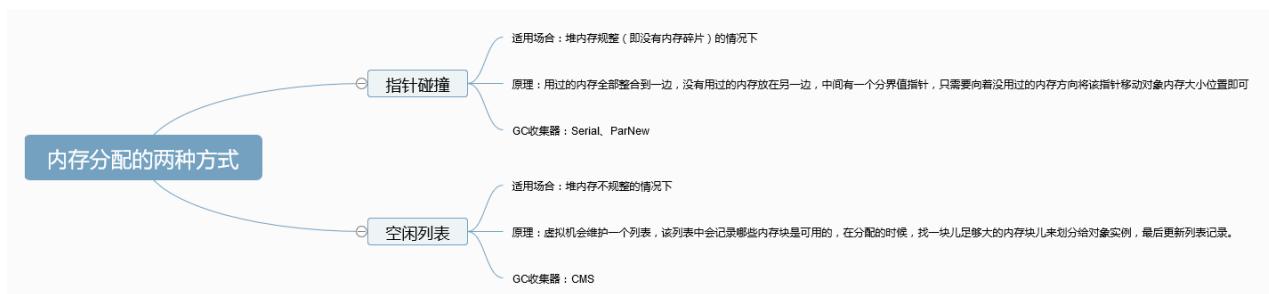
虚拟机遇到一条 new 指令时，首先将去检查这个指令的参数是否能在常量池中定位到这个类的符号引用，并且检查这个符号引用代表的类是否已被加载过、解析和初始化过。如果没有，那必须先执行相应的类加载过程。

### 2.4.2.2. Step2:分配内存

在类加载检查通过后，接下来虚拟机将为新生对象分配内存。对象所需的内存大小在类加载完成后便可确定，为对象分配空间的任务等同于把一块确定大小的内存从 Java 堆中划分出来。分配方式有“指针碰撞”和“空闲列表”两种，选择哪种分配方式由 Java 堆是否规整决定，而 Java 堆是否规整又由所采用的垃圾收集器是否带有压缩整理功能决定。

内存分配的两种方式：（补充内容，需要掌握）

选择以上两种方式中的哪一种，取决于 Java 堆内存是否规整。而 Java 堆内存是否规整，取决于 GC 收集器的算法是“标记-清除”，还是“标记-整理”（也称作“标记-压缩”），值得注意的是，复制算法内存也是规整的。



内存分配并发问题（补充内容，需要掌握）

在创建对象的时候有一个很重要的问题，就是线程安全，因为在实际开发过程中，创建对象是很频繁的事情，作为虚拟机来说，必须要保证线程是安全的，通常来讲，虚拟机采用两种方式来保证线程安全：

- **CAS+失败重试**： CAS 是乐观锁的一种实现方式。所谓乐观锁就是，每次不加锁而是假设没有冲突而去完成某项操作，如果因为冲突失败就重试，直到成功为止。**虚拟机采用 CAS 配上失败重试的方式保证更新操作的原子性。**
- **TLAB**：为每一个线程预先在 Eden 区分配一块儿内存，JVM 在给线程中的对象分配内存时，首先在 TLAB 分配，当对象大于 TLAB 中的剩余内存或 TLAB 的内存已用尽时，再采用上述的 CAS 进行内存分配

#### 2.4.2.3. Step3: 初始化零值

内存分配完成后，虚拟机需要将分配到的内存空间都初始化为零值（不包括对象头），这一步操作保证了对象的实例字段在 Java 代码中可以不赋初始值就直接使用，程序能访问到这些字段的数据类型所对应的零值。

#### 2.4.2.4. Step4: 设置对象头

初始化零值完成之后，虚拟机要对对象进行必要的设置，例如这个对象是哪个类的实例、如何才能找到类的元数据信息、对象的哈希码、对象的 GC 分代年龄等信息。**这些信息存放在对象头中**。另外，根据虚拟机当前运行状态的不同，如是否启用偏向锁等，对象头会有不同的设置方式。

#### 2.4.2.5. Step5: 执行 init 方法

在上面工作都完成之后，从虚拟机的视角来看，一个新的对象已经产生了，但从 Java 程序的视角来看，对象创建才刚刚开始，`<init>` 方法还没有执行，所有的字段都还为零。所以一般来说，执行 new 指令之后会接着执行 `<init>` 方法，把对象按照程序员的意愿进行初始化，这样一个真正可用的对象才算完全产生出来。

### 2.4.3. 对象的访问定位有哪两种方式？

建立对象就是为了使用对象，我们的Java程序通过栈上的 reference 数据来操作堆上的具体对象。对象的访问方式有虚拟机实现而定，目前主流的访问方式有①使用句柄和②直接指针两种：

1. **句柄**：如果使用句柄的话，那么Java堆中将会划分出一块内存来作为句柄池，reference 中存储的就是对象的句柄地址，而句柄中包含了对象实例数据与类型数据各自的具体地址信息；

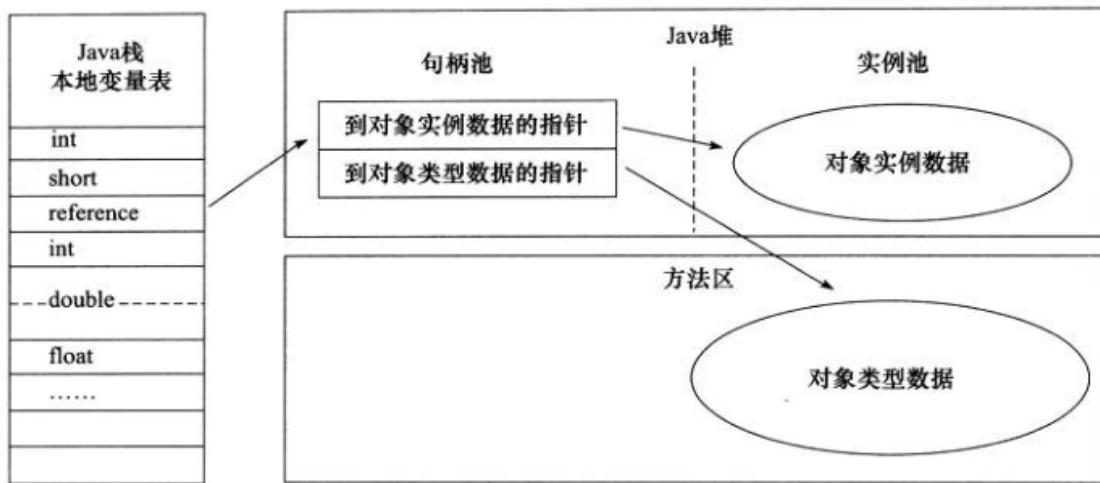


图 2-2 通过句柄访问对象

2. 直接指针：如果使用直接指针访问，那么 Java 堆对象的布局中就必须考虑如何放置访问类型数据的相关信息，而reference 中存储的直接就是对象的地址。

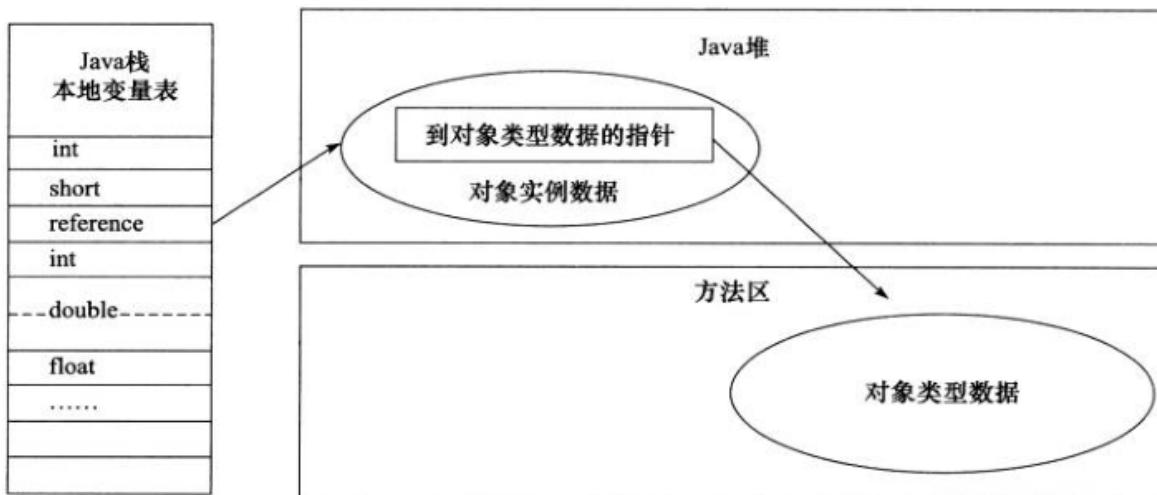


图 2-3 通过直接指针访问对象

这两种对象访问方式各有优势。使用句柄来访问的最大好处是 reference 中存储的是稳定的句柄地址，在对象被移动时只会改变句柄中的实例数据指针，而 reference 本身不需要修改。使用直接指针访问方式最大的好处就是速度快，它节省了一次指针定位的时间开销。

#### 2.4.4. 简单聊聊 JVM 内存分配与回收

Java 的自动内存管理主要是针对对象内存的回收和对象内存的分配。同时，Java 自动内存管理最核心的功能是 堆 内存中对象的分配与回收。

Java 堆是垃圾收集器管理的主要区域，因此也被称作**GC 堆（Garbage Collected Heap）**。从垃圾回收的角度，由于现在收集器基本都采用分代垃圾收集算法，所以 Java 堆还可以细分为：新生代和老年代；再细致一点有：Eden 空间、From Survivor、To Survivor 空间等。进一步划分的目的是更好地回收内存，或者更快地分配内存。

## 堆空间的基本结构：

上图所示的 Eden 区、From Survivor0("From") 区、To Survivor1("To") 区都属于新生代， Old Memory 区属于老年带。

大部分情况，对象都会首先在 Eden 区域分配，在一次新生代垃圾回收后，如果对象还存活，则会进入 s0 或者 s1，并且对象的年龄还会加 1(Eden 区->Survivor 区后对象的初始年龄变为 1)，当它的年龄增加到一定程度（默认为 15 岁），就会被晋升到老年带中。对象晋升到老年带的年龄阈值，可以通过参数 `-XX:MaxTenuringThreshold` 来设置。

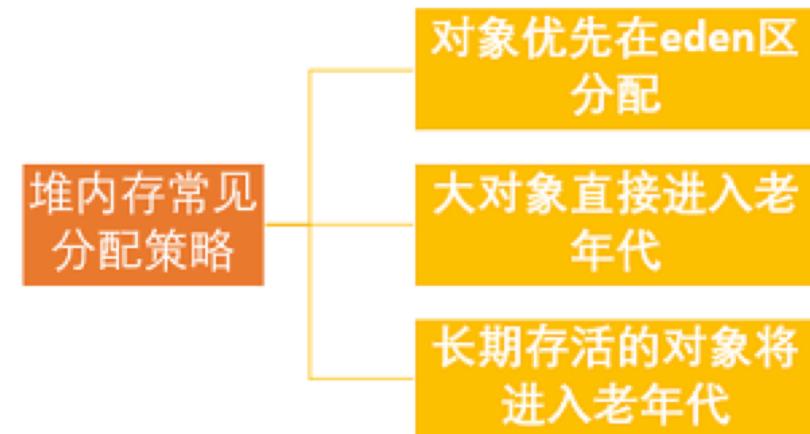
修正 ([issue552](#))：“Hotspot 遍历所有对象时，按照年龄从小到大对所占用的大小进行累积，当累积的某个年龄大小超过了 survivor 区的一半时，取这个年龄和 MaxTenuringThreshold 中更小的一个值，作为新的晋升年龄阈值”。

动态年龄计算的代码如下

```
uint ageTable::compute_tenuring_threshold(size_t survivor_capacity) {
    //survivor_capacity是survivor空间的大小
    size_t desired_survivor_size = (size_t)((((double)
        survivor_capacity)*TargetSurvivorRatio)/100);
    size_t total = 0;
    uint age = 1;
    while (age < table_size) {
        total += sizes[age];//sizes数组是每个年龄段对象大小
        if (total > desired_survivor_size) break;
        age++;
    }
    uint result = age < MaxTenuringThreshold ? age : MaxTenuringThreshold;
    ...
}
```

经过这次 GC 后，Eden 区和"From"区已经被清空。这个时候，"From"和"To"会交换他们的角色，也就是新的"To"就是上次 GC 前的"From"，新的"From"就是上次 GC 前的"To"。不管怎样，都会保证名为 To 的 Survivor 区域是空的。Minor GC 会一直重复这样的过程，直到"To"区被填满，"To"区被填满之后，会将所有对象移动到老年带中。

## 2.4.5. 说一下堆内存中对象的分配的基本策略



公众号：JavaGuide

### 2.4.5.1. 对象优先在 eden 区分配

目前主流的垃圾收集器都会采用分代回收算法，因此需要将堆内存分为新生代和老年代，这样我们就可以根据各个年代的特点选择合适的垃圾收集算法。

大多数情况下，对象在新生代中 eden 区分配。当 eden 区没有足够空间进行分配时，虚拟机将发起一次 Minor GC.下面我们来进行实际测试以下。

测试：

```
public class GCTest {  
  
    public static void main(String[] args) {  
        byte[] allocation1, allocation2;  
        allocation1 = new byte[30900*1024];  
        //allocation2 = new byte[900*1024];  
    }  
}
```

通过以下方式运行：

添加的参数： -XX:+PrintGCDetails

运行结果 (红色字体描述有误，应该是对于 JDK1.7 的永久代)：

```

Heap
PSYoungGen      新生代
total 38400K, used 33280K [0x00000000d5d00000, 0x00000000d8780000, 0x0000000010000000)
eden space 33280K, 100% used [0x00000000d5d00000, 0x00000000d7d80000, 0x00000000d7d80000)
from space 5120K, 0% used [0x00000000d8280000, 0x00000000d8280000, 0x00000000d8780000)
to space 5120K, 0% used [0x00000000d7d80000, 0x00000000d7d80000, 0x00000000d8280000)
ParOldGen        老年代
total 87552K, used 0K [0x0000000081600000, 0x0000000081600000, 0x00000000d5d00000)
object space 87552K, 0% used [0x0000000081600000, 0x0000000081600000, 0x00000000d5d00000)
Metaspace
used 2621K, capacity 4486K, committed 4864K, reserved 1056768K
class space     元空间对应于JDK1.8的永久代

```

从上图我们可以看出 eden 区内存几乎已经被分配完全（即使程序什么也不做，新生代也会使用 2000 多 k 内存）。假如我们再为 allocation2 分配内存会出现什么情况呢？

```
allocation2 = new byte[900*1024];
```

简单解释一下为什么会出现这种情况：因为给 allocation2 分配内存的时候 eden 区内存几乎已经被分配完了，我们刚刚讲了当 Eden 区没有足够空间进行分配时，虚拟机将发起一次 Minor GC。GC 期间虚拟机又发现 allocation1 无法存入 Survivor 空间，所以只好通过 分配担保机制 把新生代的对象提前转移到老年代中去，老年代上的空间足够存放 allocation1，所以不会出现 Full GC。执行 Minor GC 后，后面分配的对象如果能够存在 eden 区的话，还是会在 eden 区分配内存。可以执行如下代码验证：

```

public class GCTest {

    public static void main(String[] args) {
        byte[] allocation1, allocation2, allocation3, allocation4, allocation5;
        allocation1 = new byte[32000*1024];
        allocation2 = new byte[1000*1024];
        allocation3 = new byte[1000*1024];
        allocation4 = new byte[1000*1024];
        allocation5 = new byte[1000*1024];
    }
}

```

## 2.4.5.2. 大对象直接进入老年代

大对象就是需要大量连续内存空间的对象（比如：字符串、数组）。

为什么要这样呢？

为了避免为大对象分配内存时由于分配担保机制带来的复制而降低效率。

## 2.4.5.3. 长期存活的对象将进入老年代

既然虚拟机采用了分代收集的思想来管理内存，那么内存回收时就必须能识别哪些对象应放在新生代，哪些对象应放在老年代中。为了做到这一点，虚拟机给每个对象一个对象年龄（Age）计数器。

如果对象在 Eden 出生并经过第一次 Minor GC 后仍然能够存活，并且能被 Survivor 容纳的话，将被移动到 Survivor 空间中，并将对象年龄设为 1。对象在 Survivor 中每熬过一次 MinorGC，年龄就增加 1 岁，当它的年龄增加到一定程度（默认为 15 岁），就会被晋升到老年代中。对象晋升到老年代的年龄阈值，可以通过参数 `-XX:MaxTenuringThreshold` 来设置。

## 2.4.5.4. 动态对象年龄判定

大部分情况，对象都会首先在 Eden 区域分配，在一次新生代垃圾回收后，如果对象还存活，则会进入 s0 或者 s1，并且对象的年龄还会加 1(Eden 区->Survivor 区后对象的初始年龄变为 1)，当它的年龄增加到一定程度（默认为 15 岁），就会被晋升到老年代中。对象晋升到老年代的年龄阈值，可以通过参数 `-XX:MaxTenuringThreshold` 来设置。

修正 ([issue552](#))：“Hotspot 遍历所有对象时，按照年龄从小到大对所占用的大小进行累积，当累积的某个年龄大小超过了 survivor 区的一半时，取这个年龄和 MaxTenuringThreshold 中更小的一个值，作为新的晋升年龄阈值”。

动态年龄计算的代码如下

```
uint ageTable::compute_tenuring_threshold(size_t survivor_capacity) {
    //survivor_capacity是survivor空间的大小
    size_t desired_survivor_size = (size_t)((((double)
        survivor_capacity)*TargetSurvivorRatio)/100);
    size_t total = 0;
    uint age = 1;
    while (age < table_size) {
        total += sizes[age];//sizes数组是每个年龄段对象大小
        if (total > desired_survivor_size) break;
        age++;
    }
}
```

```
        }
        uint result = age < MaxTenuringThreshold ? age : MaxTenuringThreshold;
        ...
    }
```

额外补充说明([issue672](#))：关于默认的晋升年龄是 15，这个说法的来源大部分都是《深入理解 Java 虚拟机》这本书。

如果你去 Oracle 的官网阅读[相关的虚拟机参数](#)，你会发现 -

XX:MaxTenuringThreshold=threshold 这里有个说明

**Sets the maximum tenuring threshold for use in adaptive GC sizing. The largest value is 15. The default value is 15 for the parallel (throughput) collector, and 6 for the CMS collector.** 默认晋升年龄并不都是 15，这个是要区分垃圾收集器的，CMS 就是 6.

#### 2.4.5.5. 主要进行 gc 的区域

周志明先生在《深入理解 Java 虚拟机》第二版中 P92 如是写道：

“老年代 GC (Major GC/Full GC)，指发生在老年代的 GC.....”

上面的说法已经在《深入理解 Java 虚拟机》第三版中被改正过来了。感谢 R 大的回答：



RednaxelaFX

计算机科学等 7 个话题下的优秀回答者

Asterisk、柳树等 614 人赞同了该回答

针对HotSpot VM的实现，它里面的GC其实准确分类只有两大种：

- Partial GC：并不收集整个GC堆的模式
  - Young GC：只收集young gen的GC
  - Old GC：只收集old gen的GC。只有CMS的concurrent collection是这个模式
  - Mixed GC：收集整个young gen以及部分old gen的GC。只有G1有这个模式
- Full GC：收集整个堆，包括young gen、old gen、perm gen（如果存在的话）等所有部分的模式。

Major GC通常是跟full GC是等价的，收集整个GC堆。但因为HotSpot VM发展了这么多年，外界对各种名词的解读已经完全混乱了，当有人说“major GC”的时候一定要问清楚他想要指的是上面的full GC还是old GC。

最简单的分代式GC策略，按HotSpot VM的serial GC的实现来看，触发条件是：

- young GC：当young gen中的eden区分配满的时候触发。注意young GC中有部分存活对象会晋升到old gen，所以young GC后old gen的占用量通常会有所升高。
- full GC：当准备要触发一次young GC时，如果发现统计数据说之前young GC的平均晋升大小比目前old gen剩余的空间大，则不会触发young GC而是转为触发full GC（因为HotSpot VM的GC里，除了CMS的concurrent collection之外，其它能收集old gen的GC都会同时收集整个GC堆，包括young gen，所以不需要事先触发一次单独的young GC）；或者，如果有perm gen的话，要在perm gen分配空间但已经没有足够空间时，也要触发一次full GC；或者System.gc()、heap dump带GC，默认也是触发full GC。

HotSpot VM里其它非并发GC的触发条件复杂一些，不过大致的原理与上面说的其实一样。

当然也总有例外。Parallel Scavenge (-XX:+UseParallelGC) 框架下，默认是在要触发full GC前先执行一次young GC，并且两次GC之间能让应用程序稍微运行一小下，以期降低full GC的暂停时间（因为young GC会尽量清理了young gen的死对象，减少了full GC的工作量）。控制这个行为的VM参数是-XX:+ScavengeBeforeFullGC。这是HotSpot VM里的奇葩嗯。可跳传送门围观：[JVM full GC的奇怪现象，求解惑？ - RednaxelaFX 的回答](#)

并发GC的触发条件就不太一样。以CMS GC为例，它主要是定时去检查old gen的使用量，当使用量超过了触发比例就会启动一次CMS GC，对old gen做并发收集。

编辑于 2017-02-06

总结：

针对 HotSpot VM 的实现，它里面的 GC 其实准确分类只有两大种：

部分收集 (Partial GC)：

- 新生代收集 (Minor GC / Young GC)：只对新生代进行垃圾收集；
- 老年代收集 (Major GC / Old GC)：只对老年代进行垃圾收集。需要注意的是 Major GC 在

有的语境中也用于指代整堆收集；

- 混合收集（Mixed GC）：对整个新生代和部分老年代进行垃圾收集。

整堆收集(Full GC)：收集整个Java堆和方法区。

## 2.4.6. 如何判断对象是否死亡？(两种方法)

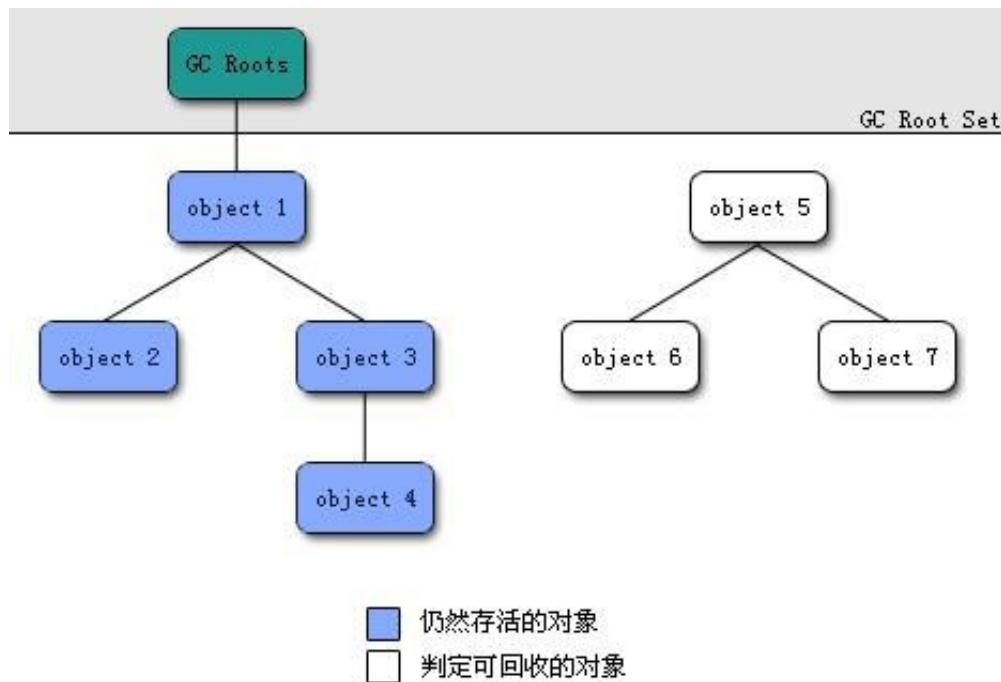
堆中几乎放着所有的对象实例，对堆垃圾回收前的第一步就是要判断哪些对象已经死亡（即不能再被任何途径使用的对象）。

### 2.4.6.1. 引用计数法

给对象中添加一个引用计数器，每当有一个地方引用它，计数器就加1；当引用失效，计数器就减1；任何时候计数器为0的对象就是不可能再被使用的。

### 2.4.6.2. 可达性分析算法

这个算法的基本思想就是通过一系列的称为“**GC Roots**”的对象作为起点，从这些节点开始向下搜索，节点所走过的路径称为引用链，当一个对象到GC Roots没有任何引用链相连的话，则证明此对象是不可用的。



## 2.4.7. 简单的介绍一下强引用,软引用,弱引用,虚引用

无论是通过引用计数法判断对象引用数量，还是通过可达性分析法判断对象的引用链是否可达，判定对象的存活都与“引用”有关。

JDK1.2之前，Java中引用的定义很传统：如果reference类型的数据存储的数值代表的是另一块内存的起始地址，就称这块内存代表一个引用。

JDK1.2以后，Java对引用的概念进行了扩充，将引用分为强引用、软引用、弱引用、虚引用四种（引用强度逐渐减弱）

#### 2.4.7.1. 强引用(StrongReference)

以前我们使用的大部分引用实际上都是强引用，这是使用最普遍的引用。如果一个对象具有强引用，那就类似于必不可少的生活用品，垃圾回收器绝不会回收它。当内存空间不足，Java虚拟机宁愿抛出OutOfMemoryError错误，使程序异常终止，也不会靠随意回收具有强引用的对象来解决内存不足问题。

#### 2.4.7.2. 软引用(SoftReference)

如果一个对象只具有软引用，那就类似于可有可无的生活用品。如果内存空间足够，垃圾回收器就不会回收它，如果内存空间不足了，就会回收这些对象的内存。只要垃圾回收器没有回收它，该对象就可以被程序使用。软引用可用来实现内存敏感的高速缓存。

软引用可以和一个引用队列（ReferenceQueue）联合使用，如果软引用所引用的对象被垃圾回收，JAVA虚拟机就会把这个软引用加入到与之关联的引用队列中。

#### 2.4.7.3. 弱引用(WeakReference)

如果一个对象只具有弱引用，那就类似于可有可无的生活用品。弱引用与软引用的区别在于：只具有弱引用的对象拥有更短暂的生命周期。在垃圾回收器线程扫描它所管辖的内存区域的过程中，一旦发现了只具有弱引用的对象，不管当前内存空间足够与否，都会回收它的内存。不过，由于垃圾回收器是一个优先级很低的线程，因此不一定会很快发现那些只具有弱引用的对象。

弱引用可以和一个引用队列（ReferenceQueue）联合使用，如果弱引用所引用的对象被垃圾回收，Java虚拟机就会把这个弱引用加入到与之关联的引用队列中。

### 4. 虚引用 (PhantomReference)

"虚引用"顾名思义，就是形同虚设，与其他几种引用都不同，虚引用并不会决定对象的生命周期。如果一个对象仅持有虚引用，那么它就和没有任何引用一样，在任何时候都可能被垃圾回收。

虚引用主要用来跟踪对象被垃圾回收的活动。

虚引用与软引用和弱引用的一个区别在于：虚引用必须和引用队列（ReferenceQueue）联合使用。当垃圾回收器准备回收一个对象时，如果发现它还有虚引用，就会在回收对象的内存之前，把这个虚引用加入到与之关联的引用队列中。程序可以通过判断引用队列中是否已经加入了虚引用，来了解被引用的对象是否将要被垃圾回收。程序如果发现某个虚引用已经被加入到引用队列，那么就可以在所引用的对象的内存被回收之前采取必要的行动。

特别注意，在程序设计中一般很少使用弱引用与虚引用，使用软引用的情况较多，这是因为软引用可以加速JVM对垃圾内存的回收速度，可以维护系统的运行安全，防止内存溢出（OutOfMemory）等问题的产生。

## 2.4.8. 如何判断一个常量是废弃常量？

运行时常量池主要回收的是废弃的常量。那么，我们如何判断一个常量是废弃常量呢？

假如在常量池中存在字符串 "abc"，如果当前没有任何String对象引用该字符串常量的话，就说明常量 "abc" 就是废弃常量，如果这时发生内存回收的话而且有必要的话，"abc" 就会被系统清理出常量池。

## 2.4.9. 如何判断一个类是无用的类？

方法区主要回收的是无用的类，那么如何判断一个类是无用的类的呢？

判定一个常量是否是“废弃常量”比较简单，而要判定一个类是否是“无用的类”的条件则相对苛刻许多。类需要同时满足下面 3 个条件才能算是“无用的类”：

- 该类所有的实例都已经被回收，也就是 Java 堆中不存在该类的任何实例。
- 加载该类的 ClassLoader 已经被回收。
- 该类对应的 java.lang.Class 对象没有在任何地方被引用，无法在任何地方通过反射访问该类的方法。

虚拟机可以对满足上述 3 个条件的无用类进行回收，这里说的仅仅是“可以”，而并不是和对象一样不使用了就会必然被回收。

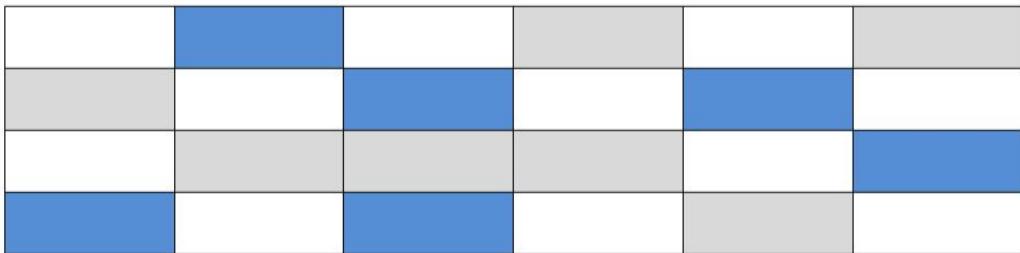
## 2.4.10. 垃圾收集有哪些算法，各自的特点？

### 2.4.10.1. 标记-清除算法

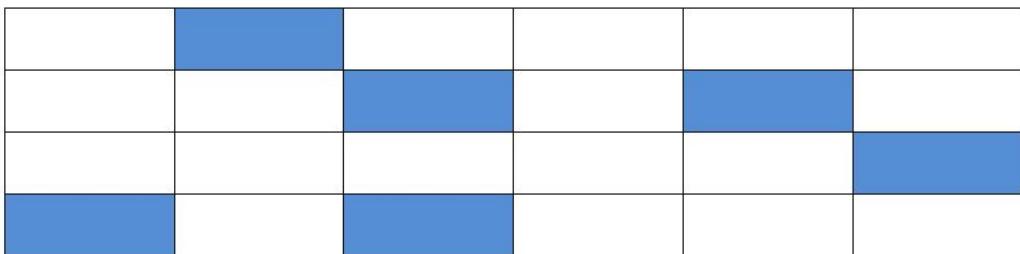
该算法分为“标记”和“清除”阶段：首先标记出所有不需要回收的对象，在标记完成后统一回收掉所有没有被标记的对象。它是最基础的收集算法，后续的算法都是对其不足进行改进得到。这种垃圾收集算法会带来两个明显的问题：

1. 效率问题
2. 空间问题（标记清除后会产生大量不连续的碎片）

## 内存整理前



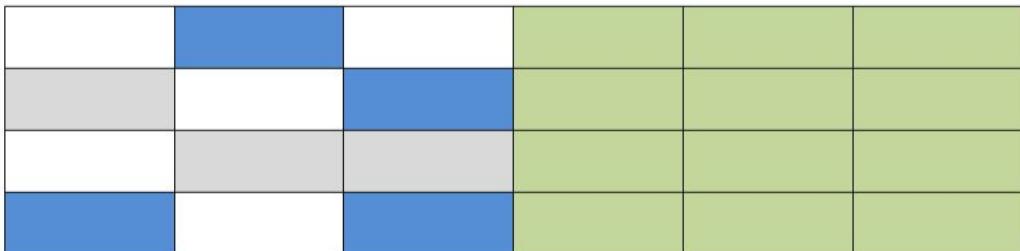
## 内存整理后



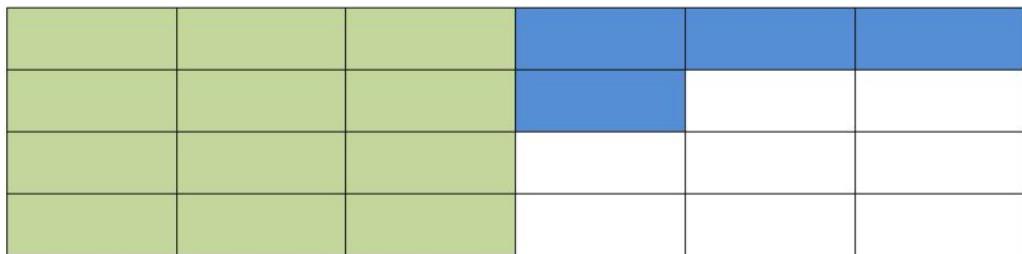
### 2.4.10.2. 复制算法

为了解决效率问题，“复制”收集算法出现了。它可以将内存分为大小相同的两块，每次使用其中的一块。当这一块的内存使用完后，就将还存活的对象复制到另一块去，然后再把使用的空间一次清理掉。这样就使每次的内存回收都是对内存区间的一半进行回收。

## 内存整理前



## 内存整理后



### 2.4.10.3. 标记-整理算法

根据老年代的特点提出的一种标记算法，标记过程仍然与“标记-清除”算法一样，但后续步骤不是直接对可回收对象回收，而是让所有存活的对象向一端移动，然后直接清理掉端边界以外的内存。

### 2.4.10.4. 分代收集算法

当前虚拟机的垃圾收集都采用分代收集算法，这种算法没有什么新的思想，只是根据对象存活周期的不同将内存分为几块。一般将 java 堆分为新生代和老年代，这样我们就可以根据各个年代的特点选择合适的垃圾收集算法。

比如在新生代中，每次收集都会有大量对象死去，所以可以选择复制算法，只需要付出少量对象的复制成本就可以完成每次垃圾收集。而老年代的对象存活几率是比较高的，而且没有额外的空间对它进行分配担保，所以我们必须选择“标记-清除”或“标记-整理”算法进行垃圾收集。

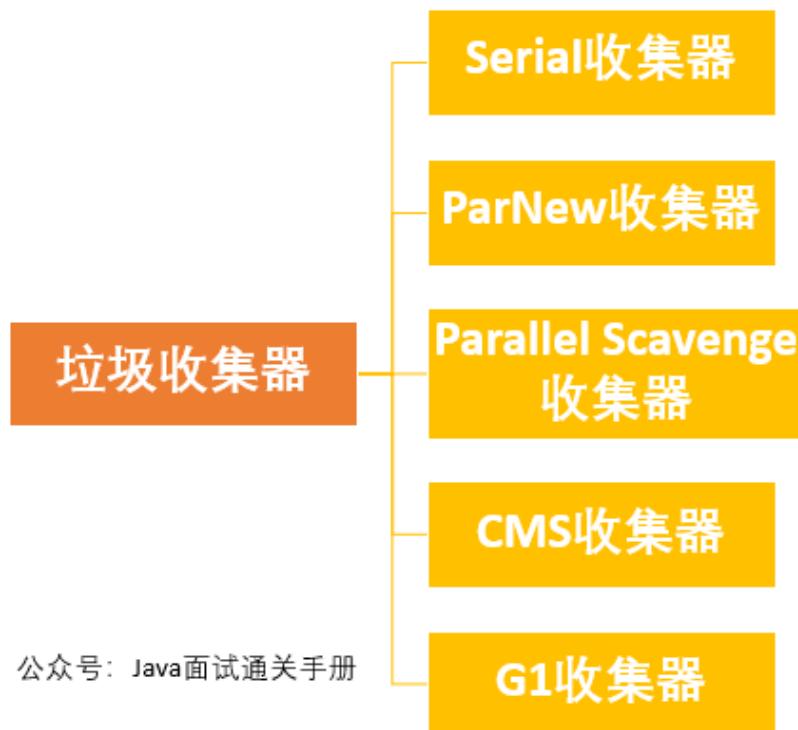
延伸面试问题： HotSpot 为什么要分为新生代和老年代？

根据上面的对分代收集算法的介绍回答。

## 2.4.11. HotSpot 为什么要分为新生代和老年代？

主要是为了提升 GC 效率。上面提到的分代收集算法已经很好的解释了这个问题。

## 2.4.12. 常见的垃圾回收器有那些？



如果说收集算法是内存回收的方法论，那么垃圾收集器就是内存回收的具体实现。

虽然我们对各个收集器进行比较，但并非要挑选出一个最好的收集器。因为知道现在为止还没有最好的垃圾收集器出现，更加没有万能的垃圾收集器，**我们能做的就是根据具体应用场景选择适合自己的垃圾收集器**。试想一下：如果有一种四海之内、任何场景下都适用的完美收集器存在，那么我们的 HotSpot 虚拟机就不会实现那么多不同的垃圾收集器了。

### 2.4.12.1. Serial 收集器

Serial（串行）收集器是最基本、历史最悠久的垃圾收集器了。大家看名字就知道这个收集器是一个单线程收集器了。它的“**单线程**”的意义不仅仅意味着它只会使用一条垃圾收集线程去完成垃圾收集工作，更重要的是它在进行垃圾收集工作的时候必须暂停其他所有的工作线程（"**Stop The World**"），直到它收集结束。

新生代采用复制算法，老年代采用标记-整理算法。

虚拟机的设计者们当然知道 Stop The World 带来的不良用户体验，所以在后续的垃圾收集器设计中停顿时间在不断缩短（仍然还有停顿，寻找最优秀的垃圾收集器的过程仍然在继续）。

但是 Serial 收集器有没有优于其他垃圾收集器的地方呢？当然有，它简单而高效（与其他收集器的单线程相比）。Serial 收集器由于没有线程交互的开销，自然可以获得很高的单线程收集效率。Serial 收集器对于运行在 Client 模式下的虚拟机来说是个不错的选择。

#### 2.4.12.2. ParNew 收集器

ParNew 收集器其实就是 Serial 收集器的多线程版本，除了使用多线程进行垃圾收集外，其余行为（控制参数、收集算法、回收策略等等）和 Serial 收集器完全一样。

新生代采用复制算法，老年代采用标记-整理算法。

它是许多运行在 Server 模式下的虚拟机的首要选择，除了 Serial 收集器外，只有它能与 CMS 收集器（真正意义上的并发收集器，后面会介绍到）配合工作。

并行和并发概念补充：

- **并行 (Parallel)**：指多条垃圾收集线程并行工作，但此时用户线程仍然处于等待状态。
- **并发 (Concurrent)**：指用户线程与垃圾收集线程同时执行（但不一定是并行，可能会交替执行），用户程序在继续运行，而垃圾收集器运行在另一个 CPU 上。

#### 2.4.12.3. Parallel Scavenge 收集器

Parallel Scavenge 收集器也是使用复制算法的多线程收集器，它看上去几乎和 ParNew 都一样。那么它有什么特别之处呢？

-XX:+UseParallelGC

使用 Parallel 收集器+ 老年代串行

-XX:+UseParallelOldGC

使用 Parallel 收集器+ 老年代并行

Parallel Scavenge 收集器关注点是吞吐量（高效率的利用 CPU）。CMS 等垃圾收集器的关注点更多的是用户线程的停顿时间（提高用户体验）。所谓吞吐量就是 CPU 中用于运行用户代码的时间与 CPU 总消耗时间的比值。Parallel Scavenge 收集器提供了很多参数供用户找到最合适

的停顿时间或最大吞吐量，如果对于收集器运作不太了解，手工优化存在困难的时候，使用 Parallel Scavenge 收集器配合自适应调节策略，把内存管理优化交给虚拟机去完成也是一个不错的选择。

新生代采用复制算法，老年代采用标记-整理算法。

这是 JDK1.8 默认收集器

使用 `java -XX:+PrintCommandLineFlags -version` 命令查看

```
-XX:InitialHeapSize=262921408 -XX:MaxHeapSize=4206742528 -
XX:+PrintCommandLineFlags -XX:+UseCompressedClassPointers -
XX:+UseCompressedOops -XX:+UseParallelGC
java version "1.8.0_211"
Java(TM) SE Runtime Environment (build 1.8.0_211-b12)
Java HotSpot(TM) 64-Bit Server VM (build 25.211-b12, mixed mode)
```

JDK1.8 默认使用的是 Parallel Scavenge + Parallel Old，如果指定了`-XX:+UseParallelGC` 参数，则默认指定了`-XX:+UseParallelOldGC`，可以使用`-XX:-UseParallelOldGC` 来禁用该功能

#### 2.4.12.4. Serial Old 收集器

Serial 收集器的老年代版本，它同样是一个单线程收集器。它主要有两大用途：一种用途是在 JDK1.5 以及以前的版本中与 Parallel Scavenge 收集器搭配使用，另一种用途是作为 CMS 收集器的后备方案。

#### 2.4.12.5. Parallel Old 收集器

Parallel Scavenge 收集器的老年代版本。使用多线程和“标记-整理”算法。在注重吞吐量以及 CPU 资源的场合，都可以优先考虑 Parallel Scavenge 收集器和 Parallel Old 收集器。

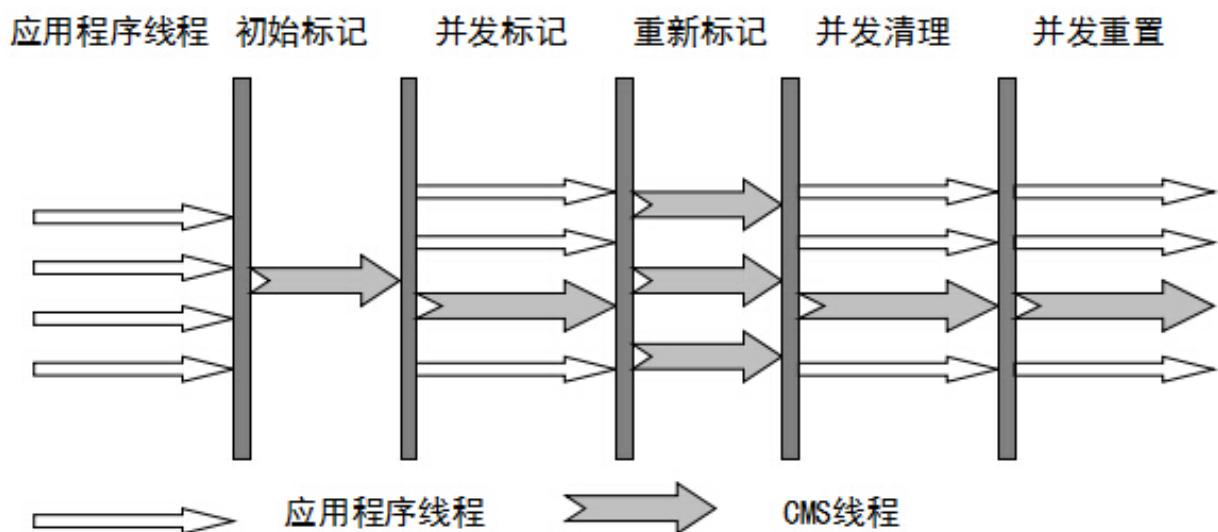
#### 2.4.12.6. CMS 收集器

CMS (Concurrent Mark Sweep) 收集器是一种以获取最短回收停顿时间为 目标的收集器。它非常符合在注重用户体验的应用上使用。

CMS (Concurrent Mark Sweep) 收集器是 HotSpot 虚拟机第一款真正意义上的并发收集器，它第一次实现了让垃圾收集线程与用户线程（基本上）同时工作。

从名字中的**Mark Sweep**这两个词可以看出，CMS 收集器是一种“标记-清除”算法实现的，它的运作过程相比于前面几种垃圾收集器来说更加复杂一些。整个过程分为四个步骤：

- **初始标记**：暂停所有的其他线程，并记录下直接与 root 相连的对象，速度很快；
- **并发标记**：同时开启 GC 和用户线程，用一个闭包结构去记录可达对象。但在这个阶段结束，这个闭包结构并不能保证包含当前所有的可达对象。因为用户线程可能会不断的更新引用域，所以 GC 线程无法保证可达性分析的实时性。所以这个算法里会跟踪记录这些发生引用更新的地方。
- **重新标记**：重新标记阶段就是为了修正并发标记期间因为用户程序继续运行而导致标记产生变动的那一部分对象的标记记录，这个阶段的停顿时间一般会比初始标记阶段的时间稍长，远远比并发标记阶段时间短
- **并发清理**：开启用户线程，同时 GC 线程开始对未标记的区域做清扫。



从它的名字就可以看出它是一款优秀的垃圾收集器，主要优点：**并发收集、低停顿**。但是它有下面三个明显的缺点：

- 对 CPU 资源敏感；
- 无法处理浮动垃圾；
- 它使用的回收算法-“标记-清除”算法会导致收集结束时会有大量空间碎片产生。

#### 2.4.12.7. G1 收集器

**G1 (Garbage-First)** 是一款面向服务器的垃圾收集器，主要针对配备多颗处理器及大容量内存的机器。以极高概率满足 GC 停顿时间要求的同时，还具备高吞吐量性能特征。

被视为 JDK1.7 中 HotSpot 虚拟机的一个重要进化特征。它具备一下特点：

- **并行与并发**：G1 能充分利用 CPU、多核环境下的硬件优势，使用多个 CPU (CPU 或者 CPU 核心) 来缩短 Stop-The-World 停顿时间。部分其他收集器原本需要停顿 Java 线程执

行的 GC 动作，G1 收集器仍然可以通过并发的方式让 java 程序继续执行。

- **分代收集**: 虽然 G1 可以不需要其他收集器配合就能独立管理整个 GC 堆，但是还是保留了分代的概念。
- **空间整合**: 与 CMS 的“标记--清理”算法不同，G1 从整体来看是基于“标记整理”算法实现的收集器；从局部上来看是基于“复制”算法实现的。
- **可预测的停顿**: 这是 G1 相对于 CMS 的另一个大优势，降低停顿时间是 G1 和 CMS 共同的关注点，但 G1 除了追求低停顿外，还能建立可预测的停顿时间模型，能让使用者明确指定在一个长度为 M 毫秒的时间片段内。

G1 收集器的运作大致分为以下几个步骤：

- 初始标记
- 并发标记
- 最终标记
- 筛选回收

G1 收集器在后台维护了一个优先列表，每次根据允许的收集时间，优先选择回收价值最大的 Region(这也就是它的名字 Garbage-First 的由来)。这种使用 Region 划分内存空间以及有优先级的区域回收方式，保证了 G1 收集器在有限时间内可以尽可能高的收集效率（把内存化整为零）。

#### 2.4.12.8. ZGC 收集器

与 CMS 中的 ParNew 和 G1 类似，ZGC 也采用标记-复制算法，不过 ZGC 对该算法做了重大改进。

在 ZGC 中出现 Stop The World 的情况会更少！

详情可以看：[《新一代垃圾回收器 ZGC 的探索与实践》](#) -----

## 三 计算机基础

### 3.1 计算机网络

作者：Guide哥。

介绍：Github 70k Star 项目 [JavaGuide](#) (公众号同名) 作者。每周都会在公众号更新一些自己原创干货。公众号后台回复“1”领取Java工程师必备学习资料+面试突击pdf。