

二

23 请介绍类加载过程，什么是双亲委派模型？-极客时间

Java 通过引入字节码和 JVM 机制，提供了强大的跨平台能力，理解 Java 的类加载机制是深入 Java 开发的必要条件，也是个面试考察热点。

今天我要问你的问题是，**请介绍类加载过程，什么是双亲委派模型？**

典型回答

一般来说，我们把 Java 的类加载过程分为三个主要步骤：加载、链接、初始化，具体行为在[Java 虚拟机规范](#)里有非常详细的定义。

首先是加载阶段（Loading），它是 Java 将字节码数据从不同的数据源读取到 JVM 中，并映射为 JVM 认可的数据结构（Class 对象），这里的数据源可能是各种各样的形态，如 jar 文件、class 文件，甚至是网络数据源等；如果输入数据不是 ClassFile 的结构，则会抛出 `ClassFormatError`。

加载阶段是用户参与的阶段，我们可以自定义类加载器，去实现自己的类加载过程。

第二阶段是链接（Linking），这是核心的步骤，简单说是把原始类定义信息平滑地转化入 JVM 运行的过程中。这里可进一步细分为三个步骤：

- 验证（Verification），这是虚拟机安全的重要保障，JVM 需要核验字节信息是符合 Java 虚拟机规范的，否则就被认为是 `VerifyError`，这样就防止了恶意信息或者不合规的信息危害 JVM 的运行，验证阶段有可能触发更多 class 的加载。
- 准备（Preparation），创建类或接口中的静态变量，并初始化静态变量的初始值。但这里的“初始化”和下面的显式初始化阶段是有区别的，侧重点在于分配所需要的内存空间，不会去执行更进一步的 JVM 指令。
- 解析（Resolution），在这一步会将常量池中的符号引用（symbolic reference）替换为直接引用。在[Java 虚拟机规范](#)中，详细介绍了类、接口、方法和字段等各个方面的解析。

最后是初始化阶段（initialization），这一步真正去执行类初始化的代码逻辑，包括静态字段赋值的动作，以及执行类定义中的静态初始化块内的逻辑，编译器在编译阶段就会把这部分逻辑整理好，父类型的初始化逻辑优先于当前类型的逻辑。

再来谈谈双亲委派模型，简单说就是当类加载器（Class-Loader）试图加载某个类型的时候，除非父加载器找不到相应类型，否则尽量将这个任务代理给当前加载器的父加载器去做。使用委派模型的目的是避免重复加载 Java 类型。

考点分析

今天的问题是关于 JVM 类加载方面的基础问题，我前面给出的回答参考了 Java 虚拟机规范中的主要条款。如果你在面试中回答这个问题，在这个基础上还可以举例说明。

我们来看一个经典的延伸问题，准备阶段谈到静态变量，那么对于常量和不同静态变量有什么区别？

需要明确的是，没有人能够精确的理解和记忆所有信息，如果碰到这种问题，有直接答案当然最好；没有的话，就说说自己的思路。

我们定义下面这样的类型，分别提供了普通静态变量、静态常量，常量又考虑到原始类型和引用类型可能有区别。

```
public class CLPreparation {  
    public static int a = 100;  
    public static final int INT_CONSTANT = 1000;  
    public static final Integer INTEGER_CONSTANT = Integer.valueOf(10000);  
}
```

编译并反编译一下：

```
Javac CLPreparation.java  
Javap -v CLPreparation.class
```

可以在字节码中看到这样的额外初始化逻辑：

```
0: bipush      100  
2: putstatic   #2          // Field a:I  
5: sipush     10000  
8: invokestatic #3          // Method java/lang/Integer.valueOf:(I)Lj  
11: putstatic   #4          // Field INTEGER_CONSTANT:Ljava/lang/Inte
```

这能让我们更清楚，普通原始类型静态变量和引用类型（即使是常量），是需要额外调用 `putstatic` 等 JVM 指令的，这些是在显式初始化阶段执行，而不是准备阶段调用；而原始类型常量，则不需要这样的步骤。

关于类加载过程的更多细节，有非常多的优秀资料进行介绍，你可以参考大名鼎鼎的《深入理解 Java 虚拟机》，一本非常好的入门书籍。我的建议是不要仅看教程，最好能够想出代码实例去验证自己对某个方面的理解和判断，这样不仅能加深理解，还能够在未来的应用开发中使用到。

其实，类加载机制的范围实在太太，我从开发和部署的不同角度，各选取了一个典型扩展问题供你参考：

- 如果要真正理解双亲委派模型，需要理解 Java 中类加载器的架构和职责，至少要懂具体有哪些内建的类加载器，这些是我上面的回答里没有提到的；以及如何自定义类加载器？
- 从应用角度，解决某些类加载问题，例如我的 Java 程序启动较慢，有没有办法尽量减小 Java 类加载的开销？

另外，需要注意的是，在 Java 9 中，Jigsaw 项目为 Java 提供了原生的模块化支持，内建的类加载器结构和机制发生了明显变化。我会对此进行讲解，希望能够避免一些未来升级中可能发生的问题。

知识扩展

首先，从架构角度，一起来看看 Java 8 以前各种类加载器的结构，下面是三种 Oracle JDK 内建的类加载器。

- 启动类加载器 (Bootstrap Class-Loader)，加载 `jre/lib` 下面的 jar 文件，如 `rt.jar`。它是个超级公民，即使是在开启了 Security Manager 的时候，JDK 仍赋予了它加载的程序 `AllPermission`。

对于做底层开发的工程师，有的时候可能不得不去试图修改 JDK 的基础代码，也就是通常意义上的核心类库，我们可以使用下面的命令行参数。

```
# 指定新的bootclasspath，替换java.*包的内部实现
java -Xbootclasspath:<your_boot_classpath> your_App
```

```
# a意味着append，将指定目录添加到bootclasspath后面
java -Xbootclasspath/a:<your_dir> your_App
```

```
# p意味着prepend，将指定目录添加到bootclasspath前面
```

```
java -Xbootclasspath/p:<your_dir> your_App
```

用法其实很易懂，例如，使用最常见的“/p”，既然是前置，就有机会替换个别基础类的实现。

我们一般可以使用下面方法获取父加载器，但是在通常的 JDK/JRE 实现中，扩展类加载器 `getParent()` 都只能返回 `null`。

```
public final ClassLoader getParent()
```

- 扩展类加载器（Extension or Ext Class-Loader），负责加载我们放到 `jre/lib/ext/` 目录下面的 jar 包，这就是所谓的 extension 机制。该目录也可以通过设置“`java.ext.dirs`”来覆盖。

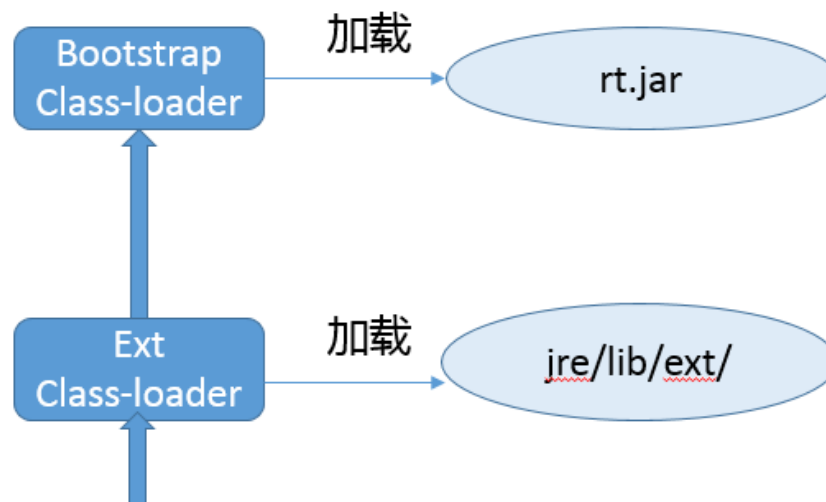
```
java -Djava.ext.dirs=your_ext_dir HelloWorld
```

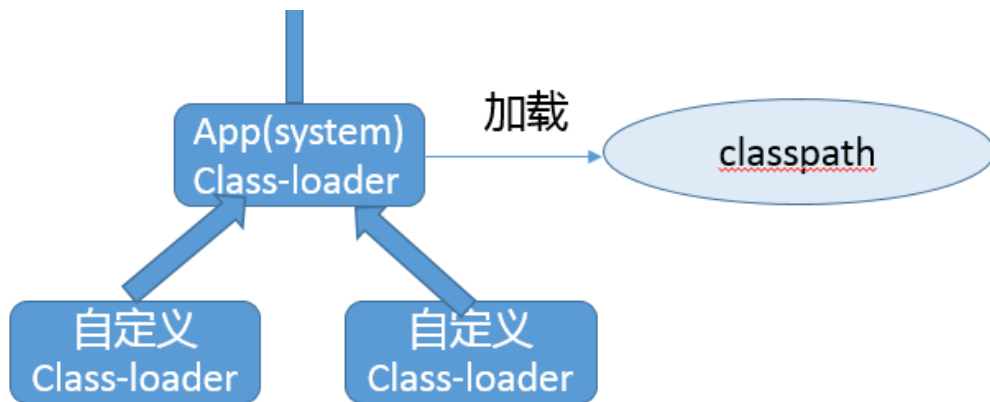
- 应用类加载器（Application or App Class-Loader），就是加载我们最熟悉的 `classpath` 的内容。这里有一个容易混淆的概念，系统（System）类加载器，通常来说，其默认就是 JDK 内建的应用类加载器，但是它同样也是可能修改的，比如：

```
java -Djava.system.class.loader=com.yourcorp.YourClassLoader HelloWorld
```

如果我们指定了这个参数，JDK 内建的应用类加载器就会成为定制加载器的父亲，这种方式通常用在类似需要改变双亲委派模式的场景。

具体请参考下图：



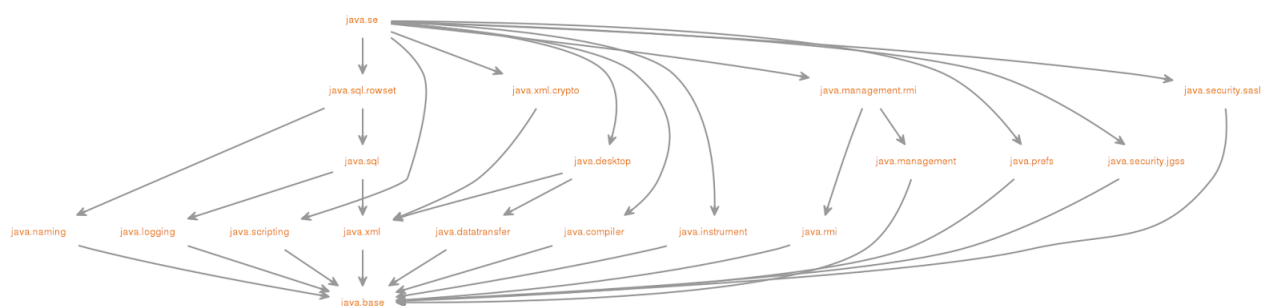


至于前面被问到的双亲委派模型，参考这个结构图更容易理解。试想，如果不同类加载器都自己加载需要的某个类型，那么就会出现多次重复加载，完全是种浪费。

通常类加载机制有三个基本特征：

- 双亲委派模型。但不是所有类加载都遵守这个模型，有的时候，启动类加载器所加载的类型，是可能要加载用户代码的，比如 JDK 内部的 `ServiceProvider/ServiceLoader` 机制，用户可以在标准 API 框架上，提供自己的实现，JDK 也需要提供些默认的实现。例如，Java 中 JNDI、JDBC、文件系统、Cipher 等很多方面，都是利用的这种机制，这种情况就不会用双亲委派模型去加载，而是利用所谓的上下文加载器。
- 可见性，子类加载器可以访问父加载器加载的类型，但是反过来是不允许的，不然，因为缺少必要的隔离，我们就没有办法利用类加载器去实现容器的逻辑。
- 单一性，由于父加载器的类型对于子加载器是可见的，所以父加载器中加载过的类型，就不会在子加载器中重复加载。但是注意，类加载器“邻居”间，同一类型仍然可以被加载多次，因为互相并不可见。

在 JDK 9 中，由于 Jigsaw 项目引入了 Java 平台模块化系统（JPMS），Java SE 的源代码被划分为一系列模块。



类加载器，类文件容器等都发生了非常大的变化，我这里总结一下：

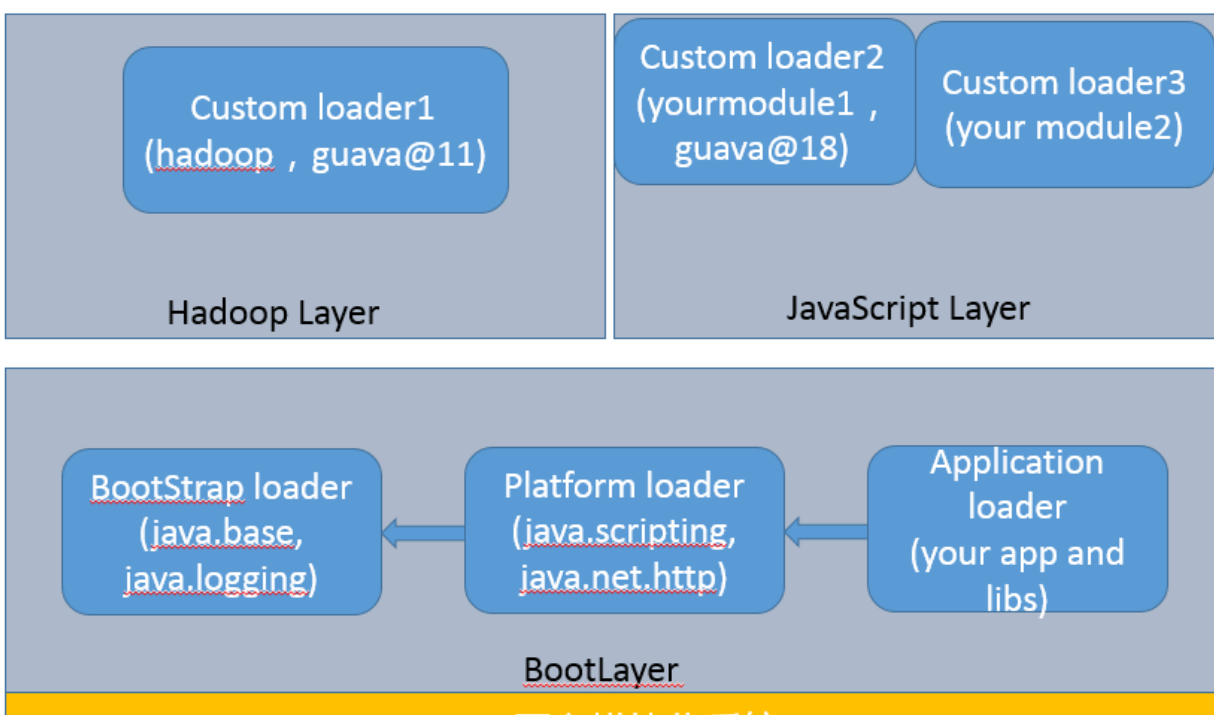
- 前面提到的 `-Xbootclasspath` 参数不可用了。API 已经被划分到具体的模块，所以上文中，利用“`-Xbootclasspath/p`”替换某个 Java 核心类型代码，实际上变成了对相应的模块进行的修补，可以采用下面的解决方案：

首先，确认要修改的类文件已经编译好，并按照对应模块（假设是 `java.base`）结构存放，然后，给模块打补丁：

```
java --patch-module java.base=your_patch yourApp
```

- 扩展类加载器被重命名为平台类加载器（Platform Class-Loader），而且 `extension` 机制则被移除。也就意味着，如果我们指定 `java.ext.dirs` 环境变量，或者 `lib/ext` 目录存在，JVM 将直接返回**错误**！建议解决办法就是将其放入 `classpath` 里。
- 部分不需要 `AllPermission` 的 Java 基础模块，被降级到平台类加载器中，相应的权限也被更精细粒度地限制起来。
- `rt.jar` 和 `tools.jar` 同样是被移除了！JDK 的核心类库以及相关资源，被存储在 `jimage` 文件中，并通过新的 JRT 文件系统访问，而不是原有的 JAR 文件系统。虽然看起来很惊人，但幸好对于大部分软件的兼容性影响，其实是有限的，更直接地影响是 IDE 等软件，通常只要升级到新版本就可以了。
- 增加了 `Layer` 的抽象，JVM 启动默认创建 `BootLayer`，开发者也可以自己去定义和实例化 `Layer`，可以更加方便的实现类似容器一般的逻辑抽象。

结合了 `Layer`，目前的 JVM 内部结构就变成了下面的层次，内建类加载器都在 `BootLayer` 中，其他 `Layer` 内部有自定义的类加载器，不同版本模块可以同时工作在不同的 `Layer`。





谈到类加载器，绕不过的一个话题是自定义类加载器，常见的场景有：

- 实现类似进程内隔离，类加载器实际上用作不同的命名空间，以提供类似容器、模块化的效果。例如，两个模块依赖于某个类库的不同版本，如果分别被不同的容器加载，就可以互不干扰。这个方面的集大成者是Java EE和OSGI、JPMS等框架。
- 应用需要从不同的数据源获取类定义信息，例如网络数据源，而不是本地文件系统。
- 或者是需要自己操纵字节码，动态修改或者生成类型。

我们可以总体上简单理解自定义类加载过程：

- 通过指定名称，找到其二进制实现，这里往往就是自定义类加载器会“定制”的部分，例如，在特定数据源根据名字获取字节码，或者修改或生成字节码。
- 然后，创建 Class 对象，并完成类加载过程。二进制信息到 Class 对象的转换，通常就依赖defineClass，我们无需自己实现，它是 final 方法。有了 Class 对象，后续完成加载过程就顺理成章了。

具体实现我建议参考这个[用例](#)。

我在【专栏第 1 讲】中，就提到了由于字节码是平台无关抽象，而不是机器码，所以 Java 需要类加载和解释、编译，这些都导致 Java 启动变慢。谈了这么多类加载，有没有什么通用办法，不需要代码和其他工作量，就可以降低类加载的开销呢？

这个，可以有。

- 在第 1 讲中提到的 AOT，相当于直接编译成机器码，降低的其实主要是解释和编译开销。但是其目前还是个试验特性，支持的平台也有限，比如，JDK 9 仅支持 Linux x64，所以局限性太大，先暂且不谈。
- 还有就是较少人知道的 AppCDS (Application Class-Data Sharing)，CDS 在 Java 5 中被引进，但仅限于 Bootstrap Class-loader，在 8u40 中实现了 AppCDS，支持其他的类加载器，在目前 2018 年初发布的 JDK 10 中已经开源。

简单来说，AppCDS 基本原理和工作过程是：

首先，JVM 将类信息加载，解析成为元数据，并根据是否需要修改，将其分类为 Read-Only 部分和 Read-Write 部分。然后，将这些元数据直接存储在文件系统中，作为所谓的

Shared Archive。命令很简单：

```
Java -Xshare:dump -XX:+UseAppCDS -XX:SharedArchiveFile=<jsa> \
      -XX:SharedClassListFile=<classlist> -XX:SharedArchiveConfigFile=<config_file>
```

第二，在应用程序启动时，指定归档文件，并开启 AppCDS。

```
Java -Xshare:on -XX:+UseAppCDS -XX:SharedArchiveFile=<jsa> yourApp
```

通过上面的命令，JVM 会通过内存映射技术，直接映射到相应的地址空间，免除了类加载、解析等各种开销。

AppCDS 改善启动速度非常明显，传统的 Java EE 应用，一般可以提高 20%~30% 以上；实验中使用 Spark KMeans 负载，20 个 slave，可以提高 11% 的启动速度。

与此同时，降低内存 footprint，因为同一环境的 Java 进程间可以共享部分数据结构。前面谈到的两个实验，平均可以减少 10% 以上的内存消耗。

当然，也不是没有局限性，如果恰好大量使用了运行时动态类加载，它的帮助就有限了。

今天我梳理了一下类加载的过程，并针对 Java 新版中类加载机制发生的变化，进行了相对全面的总结，最后介绍了一个改善类加载速度的特性，希望你有所帮助。

一课一练

关于今天我们讨论的题目你做到心中有数了吗？今天的思考题是，谈谈什么是 Jar Hell 问题？你有遇到过类似情况吗，如何解决呢？

请你在留言区写写你对这个问题的思考，我会选出经过认真思考的留言，送给你一份学习奖励礼券，欢迎你与我一起讨论。

你的朋友是不是也在准备面试呢？你可以“请朋友读”，把今天的题目分享给好友，或许你能帮到他。

[上一页](#)

[下一页](#)