# 简介

类加载器是 Java 语言的一个创新，也是 Java 语言流行的重要原因之一。它使得 Java 类可以被动态加载到 Java 虚拟机中并执行。类加载器从 JDK 1.0 就出现了，最初是为了满足 Java Applet 的需要而开发出来的。Java Applet 需要从远程下载 Java 类文件到浏览器中并执行。现在类加载器在 Web 容器和 OSGi 中得到了广泛的使用。一般来说，Java 应用的开发人员不需要直接同类加载器进行交互。Java 虚拟机默认的行为就已经足够满足大多数情况的需求了。不过如果遇到了需要与类加载器进行交互的情况，而对类加载器的机制又不是很了解的话，就很容易花大量 的时间去调试 ClassNotFoundException和 NoClassDefFoundError等异常。

## 类加载器基本概念

顾名思义，类加载器（class loader）用来加载 Java 类到 Java 虚拟机中。一般来说，Java 虚拟机使用 Java 类的方式如下：Java 源程序（.java 文件）在经过 Java 编译器编译之后就被转换成 Java 字节代码（.class 文件）。类加载器负责读取 Java 字节代码，并转换成 java.lang.Class类的一个实例。每个这样的实例用来表示一个 Java 类。通过此实例的 newInstance()方法就可以创建出该类的一个对象。实际的情况可能更加复杂，比如 Java 字节代码可能是通过工具动态生成的，也可能是通过网络下载的。

### java.lang.ClassLoader类介绍

java.lang.ClassLoader类的基本职责就是根据一个指定的类的名称，找到或者生成其对应的字节代码，然后从这些字节代码中定义出一个 Java 类，即 java.lang.Class类的一个实例。除此之外，ClassLoader还负责加载 Java 应用所需的资源，如图像文件和配置文件等。不过本文只讨论其加载类的功能。为了完成加载类的这个职责，ClassLoader提供了一系列的方法

ClassLoader 中与加载类相关的方法

| **方法** | **说明** |
| --- | --- |
| getParent() | 返回该类加载器的父类加载器。 |
| loadClass(String name) | 加载名称为 name的类，返回的结果是 java.lang.Class类的实例。 |
| findClass(String name) | 查找名称为 name的类，返回的结果是 java.lang.Class类的实例。 |
| findLoadedClass(String name) | 查找名称为 name的已经被加载过的类，返回的结果是 java.lang.Class类的实例。 |
| defineClass(String name, byte[] b, int off, int len) | 把字节数组 b中的内容转换成 Java 类，返回的结果是 java.lang.Class类的实例。这个方法被声明为 final的。 |
| resolveClass(Class<?> c) | 链接指定的 Java 类。 |

### 类加载器的树状组织结构

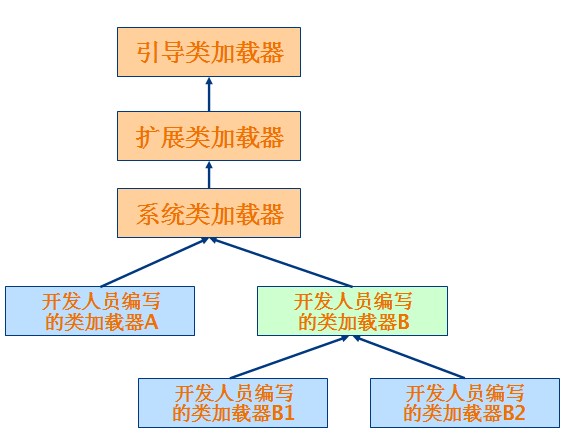
Java 中的类加载器大致可以分成两类，一类是系统提供的，另外一类则是由 Java 应用开发人员编写的。系统提供的类加载器主要有下面三个：

* 引导类加载器（bootstrap class loader）：它用来加载 Java 的核心库，是用原生代码来实现的，并不继承自 java.lang.ClassLoader。---加载<JAVA\_HOME>/lib下的
* 扩展类加载器（extensions class loader）：它用来加载 Java 的扩展库。Java 虚拟机的实现会提供一个扩展库目录。该类加载器在此目录里面查找并加载 Java 类。
* 系统类加载器（system class loader）：它根据 Java 应用的类路径（CLASSPATH）来加载 Java 类。一般来说，Java 应用的类都是由它来完成加载的。可以通过 ClassLoader.getSystemClassLoader()来获取它。

除了系统提供的类加载器以外，开发人员可以通过继承 java.lang.ClassLoader类的方式实现自己的类加载器，以满足一些特殊的需求。

除了引导类加载器之外，所有的类加载器都有一个父类加载器。通过 [表 1](http://www.ibm.com/developerworks/cn/java/j-lo-classloader/#minor1.1)中给出的 getParent()方 法可以得到。对于系统提供的类加载器来说，系统类加载器的父类加载器是扩展类加载器，而扩展类加载器的父类加载器是引导类加载器；对于开发人员编写的类加 载器来说，其父类加载器是加载此类加载器 Java 类的类加载器。因为类加载器 Java 类如同其它的 Java 类一样，也是要由类加载器来加载的。一般来说，开发人员编写的类加载器的父类加载器是系统类加载器。类加载器通过这种方式组织起来，形成树状结构。树的根 节点就是引导类加载器。[图 1](http://www.ibm.com/developerworks/cn/java/j-lo-classloader/#fig1)中给出了一个典型的类加载器树状组织结构示意图，其中的箭头指向的是父类加载器。

##### 图 1. 类加载器树状组织结构示意图



每个 Java 类都维护着一个指向定义它的类加载器的引用，通过 getClassLoader()方法就可以获取到此引用。[代码清单 1](http://www.ibm.com/developerworks/cn/java/j-lo-classloader/#code1)中通过递归调用 getParent()方法来输出全部的父类加载器

sun.misc.Launcher$AppClassLoader@9304b1

sun.misc.Launcher$ExtClassLoader@190d11

如 [代码清单 2](http://www.ibm.com/developerworks/cn/java/j-lo-classloader/#code2)所示，第一个输出的是 ClassLoaderTree类的类加载器，即系统类加载器。它是 sun.misc.Launcher$AppClassLoader类的实例；第二个输出的是扩展类加载器，是 sun.misc.Launcher$ExtClassLoader类的实例。需要注意的是这里并没有输出引导类加载器，这是由于有些 JDK 的实现对于父类加载器是引导类加载器的情况，getParent()方法返回 null。

### Windows环境下类的加载过程:

* 寻找jre目录，寻找jvm.dll，并初始化JVM；
* 产生一个Bootstrap Loader（启动类加载器）；
* Bootstrap Loader自动加载Extended Loader（标准扩展类加载器），并将其父Loader设为Bootstrap Loader。
* Bootstrap Loader自动加载AppClass Loader（系统类加载器），并将其父Loader设为Extended Loader。
* 最后由AppClass Loader加载HelloWorld类。

### 类加载器的代理模式—双亲委派

类加载器在尝试自己去查找某个类的字节代码并定义它时，会先代理给其父类加载器，由父类加载器先去尝试加载这个类，依次类推。在介绍代理模式背后的动机之 前，首先需要说明一下 Java 虚拟机是如何判定两个 Java 类是相同的。Java 虚拟机不仅要看类的全名是否相同，还要看加载此类的类加载器是否一样。只有两者都相同的情况，才认为两个类是相同的。即便是同样的字节代码，被不同的类加 载器加载之后所得到的类，也是不同的。比如一个 Java 类 com.example.Sample，编译之后生成了字节代码文件 Sample.class。两个不同的类加载器 ClassLoaderA和 ClassLoaderB分别读取了这个 Sample.class文件，并定义出两个 java.lang.Class类的实例来表示这个类。这两个实例是不相同的。对于 Java 虚拟机来说，它们是不同的类。试图对这两个类的对象进行相互赋值，会抛出运行时异常 ClassCastException。

代理模式是为了保证 Java 核心库的类型安全。所有 Java 应用都至少需要引用 java.lang.Object类，也就是说在运行的时候，java.lang.Object这个类需要被加载到 Java 虚拟机中。如果这个加载过程由 Java 应用自己的类加载器来完成的话，很可能就存在多个版本的 java.lang.Object类，而且这些类之间是不兼容的。通过代理模式，对于 Java 核心库的类的加载工作由引导类加载器来统一完成，保证了 Java 应用所使用的都是同一个版本的 Java 核心库的类，是互相兼容的。

不 同的类加载器为相同名称的类创建了额外的名称空间。相同名称的类可以并存在 Java 虚拟机中，只需要用不同的类加载器来加载它们即可。不同类加载器加载的类之间是不兼容的，这就相当于在 Java 虚拟机内部创建了一个个相互隔离的 Java 类空间。这种技术在许多框架中都被用到

### 加载类的过程

在前面介绍类加载器的代理模式的时候，提到过类加载器会首先代理给其它类加载器来尝试加载某个类。这就意味着真正完成类的加载工作的类加载器和启动这个加载过程的类加载器，有可能不是同一个。真正完成类的加载工作是通过调用 defineClass来实现的；而启动类的加载过程是通过调用 loadClass来 实现的。前者称为一个类的定义加载器（defining loader），后者称为初始加载器（initiating loader）。在 Java 虚拟机判断两个类是否相同的时候，使用的是类的定义加载器。也就是说，哪个类加载器启动类的加载过程并不重要，重要的是最终定义这个类的加载器。两种类加 载器的关联之处在于：一个类的定义加载器是它引用的其它类的初始加载器。如类 com.example.Outer引用了类 com.example.Inner，则由类 com.example.Outer的定义加载器负责启动类 com.example.Inner的加载过程。

方法 loadClass()抛出的是 java.lang.ClassNotFoundException异常；方法 defineClass()抛出的是 java.lang.NoClassDefFoundError异常。

类加载器在成功加载某个类之后，会把得到的 java.lang.Class类的实例缓存起来。下次再请求加载该类的时候，类加载器会直接使用缓存的类的实例，而不会尝试再次加载。也就是说，对于一个类加载器实例来说，相同全名的类只加载一次，即 loadClass方法不会被重复调用。

### 线程上下文类加载器

线程上下文类加载器（context class loader）是从 JDK 1.2 开始引入的。类 java.lang.Thread中的方法 getContextClassLoader()和 setContextClassLoader(ClassLoader cl)用来获取和设置线程的上下文类加载器。如果没有通过 setContextClassLoader(ClassLoader cl)方法进行设置的话，线程将继承其父线程的上下文类加载器。Java 应用运行的初始线程的上下文类加载器是系统类加载器。在线程中运行的代码可以通过此类加载器来加载类和资源。

前 面提到的类加载器的代理模式并不能解决 Java 应用开发中会遇到的类加载器的全部问题。Java 提供了很多服务提供者接口（Service Provider Interface，SPI），允许第三方为这些接口提供实现。常见的 SPI 有 JDBC、JCE、JNDI、JAXP 和 JBI 等。这些 SPI 的接口由 Java 核心库来提供，如 JAXP 的 SPI 接口定义包含在 javax.xml.parsers包中。这些 SPI 的实现代码很可能是作为 Java 应用所依赖的 jar 包被包含进来，可以通过类路径（CLASSPATH）来找到，如实现了 JAXP SPI 的 [Apache Xerces](http://xerces.apache.org/)所包含的 jar 包。SPI 接口中的代码经常需要加载具体的实现类。如 JAXP 中的 javax.xml.parsers.DocumentBuilderFactory类中的 newInstance()方法用来生成一个新的 DocumentBuilderFactory的实例。这里的实例的真正的类是继承自 javax.xml.parsers.DocumentBuilderFactory，由 SPI 的实现所提供的。如在 Apache Xerces 中，实现的类是 org.apache.xerces.jaxp.DocumentBuilderFactoryImpl。 而问题在于，SPI 的接口是 Java 核心库的一部分，是由引导类加载器来加载的；SPI 实现的 Java 类一般是由系统类加载器来加载的。引导类加载器是无法找到 SPI 的实现类的，因为它只加载 Java 的核心库。它也不能代理给系统类加载器，因为它是系统类加载器的祖先类加载器。也就是说，类加载器的代理模式无法解决这个问题。

线程上下文 类加载器正好解决了这个问题。如果不做任何的设置，Java 应用的线程的上下文类加载器默认就是系统上下文类加载器。在 SPI 接口的代码中使用线程上下文类加载器，就可以成功的加载到 SPI 实现的类。线程上下文类加载器在很多 SPI 的实现中都会用到

## 开发自己的类加载器

虽然在绝大多数情况下，系统默认提供的类加载器实现已经可以满足需求。但是在某些情况下，您还是需要为应用开发出自己的类加载器。比如您的应用通过网络来 传输 Java 类的字节代码，为了保证安全性，这些字节代码经过了加密处理。这个时候您就需要自己的类加载器来从某个网络地址上读取加密后的字节代码，接着进行解密和验 证，最后定义出要在 Java 虚拟机中运行的类来。

### 文件系统类加载器

第一个类加载器用来加载存储在文件系统上的 Java 字节代码。

如 [代码清单 6](http://www.ibm.com/developerworks/cn/java/j-lo-classloader/#code6)所示，类 FileSystemClassLoader继承自类 java.lang.ClassLoader。在 [表 1](http://www.ibm.com/developerworks/cn/java/j-lo-classloader/#minor1.1)中列出的 java.lang.ClassLoader类的常用方法中，一般来说，自己开发的类加载器只需要覆写 findClass(String name)方法即可。java.lang.ClassLoader类的方法 loadClass()封装了前面提到的代理模式的实现。该方法会首先调用 findLoadedClass()方法来检查该类是否已经被加载过；如果没有加载过的话，会调用父类加载器的 loadClass()方法来尝试加载该类；如果父类加载器无法加载该类的话，就调用 findClass()方法来查找该类。因此，为了保证类加载器都正确实现代理模式，在开发自己的类加载器时，最好不要覆写 loadClass()方法，而是覆写 findClass()方法。

类 FileSystemClassLoader的 findClass()方法首先根据类的全名在硬盘上查找类的字节代码文件（.class 文件），然后读取该文件内容，最后通过 defineClass()方法来把这些字节代码转换成 java.lang.Class类的实例。

## 类加载器与 Web 容器

对于运行在 Java EE™容器中的 Web 应用来说，类加载器的实现方式与一般的 Java 应用有所不同。不同的 Web 容器的实现方式也会有所不同。以 Apache Tomcat 来说，每个 Web 应用都有一个对应的类加载器实例。该类加载器也使用代理模式，所不同的是它是首先尝试去加载某个类，如果找不到再代理给父类加载器。这与一般类加载器的顺 序是相反的。这是 Java Servlet 规范中的推荐做法，其目的是使得 Web 应用自己的类的优先级高于 Web 容器提供的类。这种代理模式的一个例外是：Java 核心库的类是不在查找范围之内的。这也是为了保证 Java 核心库的类型安全。

绝大多数情况下，Web 应用的开发人员不需要考虑与类加载器相关的细节。下面给出几条简单的原则：

* 每个 Web 应用自己的 Java 类文件和使用的库的 jar 包，分别放在 WEB-INF/classes和 WEB-INF/lib目录下面。
* 多个应用共享的 Java 类文件和 jar 包，分别放在 Web 容器指定的由所有 Web 应用共享的目录下面。
* 当出现找不到类的错误时，检查当前类的类加载器和当前线程的上下文类加载器是否正确。