

All about class loading

Felix Becker

REWE Systems

26. April 2019

Vortragsinhalte

- 1 Class Loading Grundlagen
 - Class startup life cycle
 - ClassLoader delegation model
- 2 ClassLoader-Implementierungen
- 3 Fortgeschrittene ClassLoader-Techniken
 - Der ContextClassLoader & die WebApps
 - Loading Synthetic Classes

Motivation

- ClassLoader-Hölle bei vielen Entwicklern gefürchtet
- Verständnis vom class loading bei komplexen Fehlersituationen notwendig
- Vorbereitung für Folgetalk über Bytecodemanipulation

Was tun ClassLoader eigentlich?

- Laden Klassen und Ressourcen aus beliebigen Quellen
- Trennen die Datenquelle von der Applikation, Applikation muss nur den ClassLoader nutzen (Plattformunabhängigkeit!)
- Klassen werden im JVM-Bytecode-Format geladen
- Ressourcen können beliebige Daten sein

Startup life cycle einer Javaklasse (JVM Spec §12.1.2)

- ❶ Loading §12.2.1
 - Laden des Bytecodes in die JVM über den ClassLoader
- ❷ Verify §12.3.1
 - Validierung der Klassenstruktur / Daten (Opcodes gültig, branch instructions check, signature check, ...)
- ❸ Prepare §12.3.2
 - Storage Allocation, Initialisierung von static fields (default values, keine static Initializer)
- ❹ (Resolve §12.3.3)
 - Optionaler Schritt - Symbolic link resolution
- ❺ Initialization §12.4.1
 - Aufruf von Static-Initializern, Initialisierung von static fields

Initialization

Initialisierung der Klasse ist die erste "aktive" Codeausführung von Klassencode (falls static fields / initializers vorhanden). Initialisierung findet statt, wenn das erste Mal:

- eine Instanz der Klasse erstellt wird
- eine static-Methode der Klasse aufgerufen wird
- auf static-Variablen der Klasse zugegriffen wird (Zuweisung, Lesen)

Die Initialisierung einer Klasse erzwingt die Initialisierung aller Super-Classes (gilt nicht für Interfaces!)

Initialization

Initialisierung der Klasse ist die erste "aktive" Codeausführung von Klassencode (falls static fields / initializers vorhanden). Initialisierung findet statt, wenn das erste Mal:

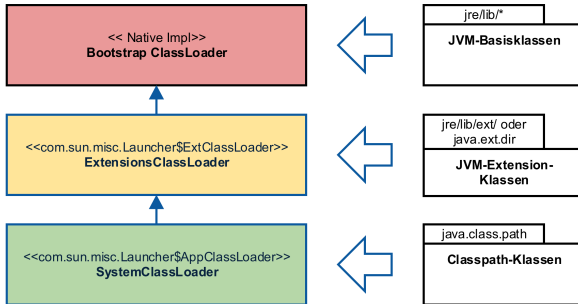
- eine Instanz der Klasse erstellt wird
- eine static-Methode der Klasse aufgerufen wird
- auf static-Variablen der Klasse zugegriffen wird (Zuweisung, Lesen)

Die Initialisierung einer Klasse erzwingt die Initialisierung aller Super-Classes (gilt nicht für Interfaces!)

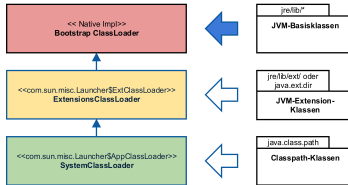
Initialisierungen sind Threadsafe - sichere Erzeugung von Singletons!

Die Initialisierung ist intern in der JVM über ein initialization lock abgesichert. Die JVM garantiert, dass die Initialisierung einer Klasse genau 1x stattfindet.

Standard-ClassLoader JVM 8 (Oracle)

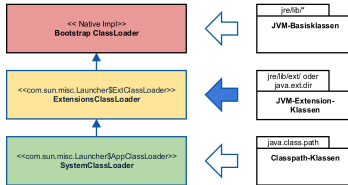


Bootstrap-ClassLoader



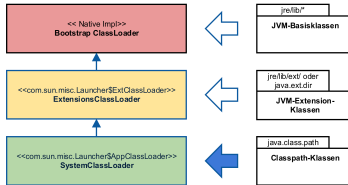
- Lädt Java-Basisklassen (z.B. `java/lang/String`)
- Nativ implementiert
- `java.lang.ClassLoader`: private nativ `Class` `findBootstrapClass`

Extension-ClassLoader



- Lädt Extension-Klassen
- Beispiel: `com/sun/nio/zipfs/ZipPath`
- lädt Extension-Klassen aus `jre/lib/ext/` bzw. `java.ext.dirs`
- `com.sun.misc.Launcher$ExtClassLoader`

System-ClassLoader



- Lädt alle Klassen aus dem java.class.path (java -cp ..)
- java.class.path (com.sun.misc.Launcher\$AppClassLoader)

Relevante Funktionen

- Aus Applikationssicht:
 - `Class.forName(String)`
 - `Class.getClassLoader()`
 - `ClassLoader.loadClass(String)`
- Im `ClassLoader`:
 - `findLoadedClass(String)`
 - `findBootstrapClassOrNull(String)`
 - `resolveClass`
 - `defineClass`

Live-Demo 1: First Steps

ClassLoader.loadClass

```
1  protected Class<?> loadClass(String name, boolean resolve)
2      throws ClassNotFoundException {
3
4      synchronized (getClassLoadingLock(name)) {
5
6          Class<?> c = findLoadedClass(name);
7
8          if (c == null) {
9              try {
10                 if (parent != null){
11                     c = parent.loadClass(name, false);
12                 } else {
13                     c = findBootstrapClassOrNull(name);
14                 }
15             } catch (ClassNotFoundException e) {}
16
17             if (c == null){ c = findClass(name); }
18         }
19
20         if (resolve){ resolveClass(c); }
21
22         return c;
23     }
24 }
```

- Class Loading ist synchronized
- Lookup-Schritte:
 - 1 findLoadedClass (native)
 - 2 parent / bootstrap lookup
 - 3 findClass
- findClass wird von eigenen ClassLoader-Implementierungen überschrieben

ClassLoader.getResource

```
1  public URL getResource(String name) {  
2  
3      URL url;  
4  
5      if (parent != null) {  
6          url = parent.getResource(name);  
7      } else {  
8          url = getBootstrapResource(name);  
9      }  
10  
11     if (url == null) {  
12         url = findResource(name);  
13     }  
14  
15     return url;  
16 }
```

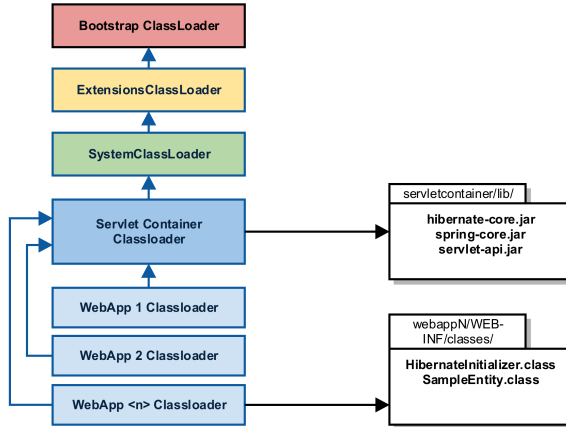
- Zuerst wird beim Parent / Bootstrap-ClassLoader nach der Resource gesucht
- findResource wird aufgerufen, falls Parent / Bootstrap keine Resource gefunden haben
- findResource wird von eigenen ClassLoader-Implementierungen überschrieben

URL-ClassLoader

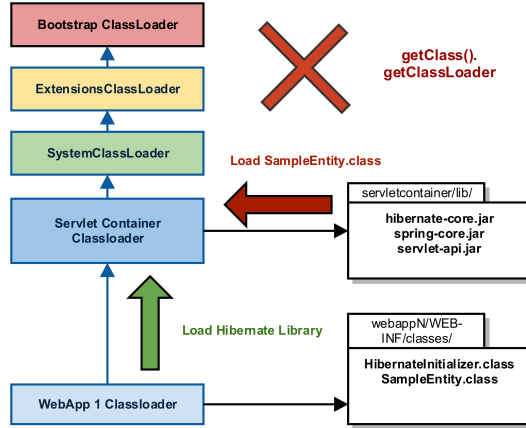
```
1  // Removed SecurityManager Stuff
2  protected Class<?> findClass(final String name) throws ClassNotFoundException {
3      String path = name.replace('.', '/').concat(".class");
4      Resource res = ucp.getResource(path, false);
5      if (res != null) {
6          try {
7              return defineClass(name, res);
8          } catch (IOException e) {
9              throw new ClassNotFoundException(name, e);
10         }
11     } else {
12         throw new ClassNotFoundException(name);
13     }
14 }
```


Live-Demo 2: URL-ClassLoader

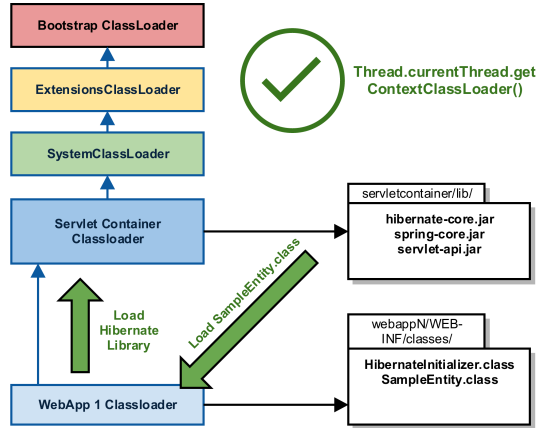
WebApp ClassLoader



WebApp ClassLoader - Context ClassLoader



WebApp ClassLoader - Context ClassLoader



Live-Demo 3: Doppeltes Laden von Klassen über getrennte ClassLoader

Synthetic Classes

- Synthetische Klassen sind "künstliche" Klassen, die nicht im source code abgebildet werden
- Werden vom Compiler oder zur Runtime erzeugt
- Stark eingesetzt im AOP-Umfeld - z.B Transaktions-Proxy-Klassen
- Nutzung in Testframeworks wie PowerMock
- Können neben dem Proxy-API von Java auch aus Bytes direkt im ClassLoader erzeugt werden

Live-Demo 4: Erzeugung synthetischer Klassen

Ende

Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!
Vortrag und Sourcen auf github.com/fbe/classloader-vortrag