Java Class Loading im Detail

Felix Becker

Scala Usergroup Köln

8. Februar 2017

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

- Grundlage für Vortrag von Mathias Kub
- ClassLoader-Hölle bei vielen Entwicklern gefürchtet
- Verständnis vom class loading bei komplexen Fehlersituationen notwendig
- Vorbereitung für Folgetalks über Scala Bytecode / JVM Internals + Scala

Was tun ClassLoader eigentlich?

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

Startup life cycle einer Javaklasse (JVM Spec §12.1.2)

1. Loading §12.2.1
   - Laden des Bytecodes in die JVM über den ClassLoader
2. Verify §12.3.1
   - Validierung der Klassenstruktur / Daten (Opcodes gültig, branch instructions check, signature check, ...)
3. Prepare §12.3.2
   - Storage Allocation, Initialisierung von static fields (default values, keine static Initializer)
4. (Resolve §12.3.3)
   - Optionaler Schritt - Symbolic link resolution
5. 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:

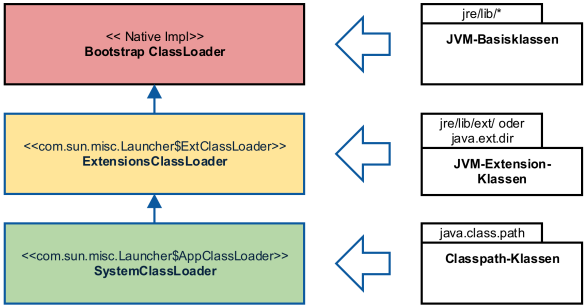
- eine Instanz der Klasse erstellt wird
- eine static-Methode der Klasse aufgerufen wird
- auf static-Variablen der Klasse zugegriffen wird (Zuweisung, Lesen)

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

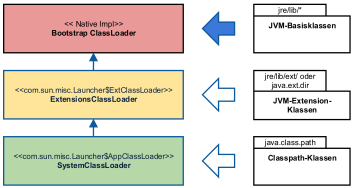
Initialisierungen sind Threadsafe - sichere Erzeugung von Singletons!

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)

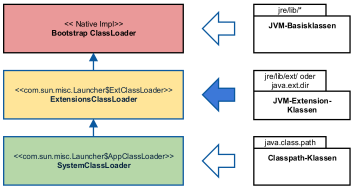


Bootstrap-ClassLoader



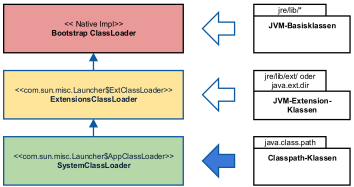
- Lädt Java-Basisklassen (z.B. java/lang/String)
- Nativ implementiert
- java.lang.ClassLoader: private nativ Class findBootstrapClass

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

resolveClass Kuriositäten

'protected Class<?>loadClass(String name, boolean resolve) Lädt die Klasse und bindet sie mit resolveClass() ein, wenn resolve gleich true ist.' WTF?

```
1  // http://hg.openjdk.java.net/jdk8/jdk8/hotspot/file/tip/src/share/vm/prims/jvm.cpp
2
3  // 732 - 735
4  JVM_ENTRY(void, JVM_ResolveClass(JNIEnv* env, jclass cls))
5    JVMWrapper("JVM_ResolveClass");
6    if (PrintJVMWarnings) warning("JVM_ResolveClass not implemented");
7  JVM_END
```

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 }
```

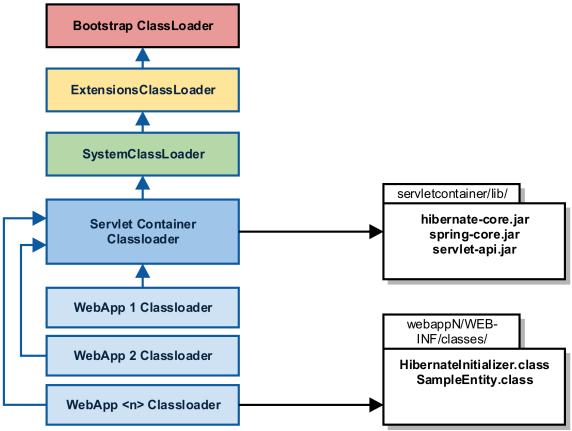
- Zuerst wird beim Parent / Bootstrap-ClassLoader nach der Resource gesucht
- findResource wird aufgerufen, falls Parent / Bootstrap keine Resource gefunden haben
- findResource wird von eigenen ClassLoader-Implementierungen überschrieben

URL-ClassLoader

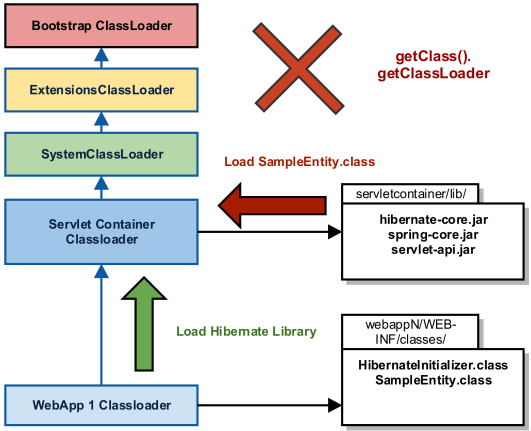
```
1  // Removed SecurityManager Stuff
2  protected Class<?> findClass(final String name) throws ClassNotFoundException {
3    String path = name.replace('.', '/').concat(".class");
4    Resource res = ucp.getResource(path, false);
5    if (res != null) {
6      try {
7        return defineClass(name, 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

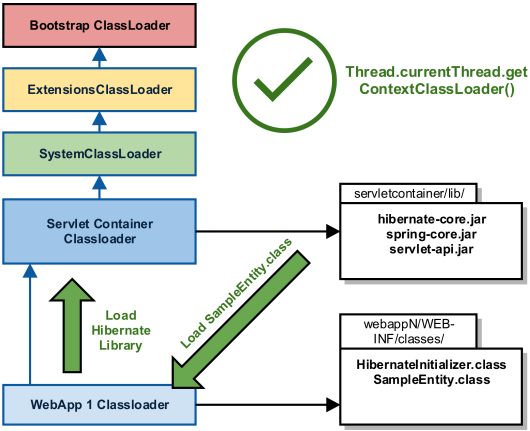
WebApp ClassLoader



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