

讲堂 > 深入拆解 Java 虚拟机 > 文章详情

## 07 | JVM是如何实现反射的?

2018-08-06 郑雨迪



### 07 | JVM是如何实...

朗读人：郑雨迪 12'26"  
| 5.71M

0:00 / 12:26

今天我们来聊聊 Java 里的反射机制。

反射是 Java 语言中一个相当重要的特性，它允许正在运行的 Java 程序观测，甚至是修改程序的动态行为。

举例来说，我们可以通过 Class 对象枚举该类中的所有方法，我们还可以通过 `Method.setAccessible`（位于 `java.lang.reflect` 包，该方法继承自 `AccessibleObject`）绕过 Java 语言的访问权限，在私有方法所在类之外的地方调用该方法。

反射在 Java 中的应用十分广泛。开发人员日常接触到的 Java 集成开发环境（IDE）便运用了这一功能：每当我们敲入点号时，IDE 便会根据点号前的内容，动态展示可以访问的字段或者方法。

另一个日常应用则是 Java 调试器，它能够在调试过程中枚举某一对象所有字段的值。

```
Foo foo = new Foo();
```

```
foo.
```

- bField : boolean - Foo
- iField : int - Foo
- bar() : void - Foo
- ◆ clone() : Object - Object
- equals(Object obj) : boolean - Object
- ◆ finalize() : void - Object
- foo() : void - Foo
- getClass() : Class<?> - Object
- hashCode() : int - Object
- notify() : void - Object
- notifyAll() : void - Object

Press '^Space' to show Template Proposals

(图中 eclipse 的自动提示使用了反射)

在 Web 开发中，我们经常能够接触到各种可配置的通用框架。为了保证框架的可扩展性，它们往往借助 Java 的反射机制，根据配置文件来加载不同的类。举例来说，Spring 框架的依赖反转 (IoC)，便是依赖于反射机制。

然而，我相信不少开发人员都嫌弃反射机制比较慢。甚至是甲骨文关于反射的教学网页 [1]，也强调了反射性能开销大的缺点。

今天我们便来了解一下反射的实现机制，以及它性能糟糕的原因。如果你对反射 API 不是特别熟悉的话，你可以查阅我放在文稿末尾的附录。

## 反射调用的实现

首先，我们来看看方法的反射调用，也就是 Method.invoke，是怎么实现的。

```
1 public final class Method extends Executable {
2     ...
3     public Object invoke(Object obj, Object... args) throws ... {
4         ... // 权限检查
5         MethodAccessor ma = methodAccessor;
6         if (ma == null) {
7             ma = acquireMethodAccessor();
8         }
9     }
10 }
```

复制代码

```
9     return ma.invoke(obj, args);
10 }
11 }
12
```

如果你查阅 `Method.invoke` 的源代码，那么你会发现，它实际上委派给 `MethodAccessor` 来处理。`MethodAccessor` 是一个接口，它有两个已有的具体实现：一个通过本地方法来实现反射调用，另一个则使用了委派模式。为了方便记忆，我使用“本地实现”和“委派实现”来指代这两者。

每个 `Method` 实例的第一次反射调用都会生成一个委派实现，它所委派的具体实现便是一个本地实现。本地实现非常容易理解。当进入了 Java 虚拟机内部之后，我们便拥有了 `Method` 实例所指向方法的具体地址。这时候，反射调用无非就是将传入的参数准备好，然后调用进入目标方法。

[复制代码](#)


```
1 // v0 版本
2 import java.lang.reflect.Method;
3
4 public class Test {
5     public static void target(int i) {
6         new Exception("#" + i).printStackTrace();
7     }
8
9     public static void main(String[] args) throws Exception {
10         Class<?> klass = Class.forName("Test");
11         Method method = klass.getMethod("target", int.class);
12         method.invoke(null, 0);
13     }
14 }
15
16 # 不同版本的输出略有不同，这里我使用了 Java 10。
17 $ java Test
18 java.lang.Exception: #0
19     at Test.target(Test.java:5)
20     at java.base/jdk.internal.reflect.NativeMethodAccessorImpl.invoke0(Native Method)
21 a    t java.base/jdk.internal.reflect.NativeMethodAccessorImpl.invoke(NativeMethodAccessorImpl)
22 t    java.base/jdk.internal.reflect.DelegatingMethodAccessorImpl.invoke(DelegatingMethodAccessorImpl)
23    java.base/java.lang.reflect.Method.invoke(Method.java:564)
24 t    Test.main(Test.java:131
```

为了方便理解，我们可以打印一下反射调用到目标方法时的栈轨迹。在上面的 v0 版本代码中，我们获取了一个指向 `Test.target` 方法的 `Method` 对象，并且用它来进行反射调用。在 `Test.target` 中，我会打印出栈轨迹。

可以看到，反射调用先是调用了 `Method.invoke`，然后进入委派实现 (`DelegatingMethodAccessorImpl`)，再然后进入本地实现 (`NativeMethodAccessorImpl`)，最后到达目标方法。

这里你可能会疑问，为什么反射调用还要采取委派实现作为中间层？直接交给本地实现不可以么？


其实，Java 的反射调用机制还设立了另一种动态生成字节码的实现（下称动态实现），直接使用 `invoke` 指令来调用目标方法。之所以采用委派实现，便是为了能够在本地实现以及动态实现中切换。

```
1 // 动态实现的伪代码，这里只列举了关键的调用逻辑，其实它还包括调用者检测、参数检测的字节码。 复制代码
2 package jdk.internal.reflect;
3
4 public class GeneratedMethodAccessor1 extends ... {
5     @Override
6     public Object invoke(Object obj, Object[] args) throws ... {
7         Test.target((int) args[0]);
8         return null;
9     }
10 }
```

动态实现和本地实现相比，其运行效率要快上 20 倍 [2]。这是因为动态实现无需经过 Java 到 C++ 再到 Java 的切换，但由于生成字节码十分耗时，仅调用一次的话，反而是本地实现要快上 3 到 4 倍 [3]。

考虑到许多反射调用仅会执行一次，Java 虚拟机设置了一个阈值 15（可以通过 `Dsun.reflect.inflationThreshold` 来调整），当某个反射调用的调用次数在 15 之下时，采用本地实现；当达到 15 时，便开始动态生成字节码，并将委派实现的委派对象切换至动态实现，这个过程我们称之为 Inflation。

为了观察这个过程，我将刚才的例子更改为下面的 v1 版本。它会将反射调用循环 20 次。

```
1 // v1 版本 复制代码
2 import java.lang.reflect.Method;
3
4 public class Test {
5     public static void target(int i) {
6         new Exception("#" + i).printStackTrace();
7     }
8
9     public static void main(String[] args) throws Exception {
10         Class<?> klass = Class.forName("Test");
11         Method method = klass.getMethod("target", int.class);
```

```
12     for (int i = 0; i < 20; i++) {
13         method.invoke(null, i);
14     }
15 }
16 }
17
18 # 使用 -verbose:class 打印加载的类
19 $ java -verbose:class Test
20 ...
21 java.lang.Exception: #14
22     at Test.target(Test.java:5)
23     at java.base/jdk.internal.reflect.NativeMethodAccessorImpl .invoke0(Native Method)
24     at java.base/jdk.internal.reflect.NativeMethodAccessorImpl .invoke(NativeMethodAccessorImpl)
25     at java.base/jdk.internal.reflect.DelegatingMethodAccessorImpl .invoke(DelegatingMethodAccessorImpl)
26     at java.base/java.lang.reflect.Method.invoke(Method.java:564)
27     at Test.main(Test.java:12)
28 [0.158s][info][class,load] ...
29 ...
30 [0.160s][info][class,load] jdk.internal.reflect.GeneratedMethodAccessor1 source: __JVM_DefineClass
31 java.lang.Exception: #15
32     at Test.target(Test.java:5)
33     at java.base/jdk.internal.reflect.NativeMethodAccessorImpl .invoke0(Native Method)
34     at java.base/jdk.internal.reflect.NativeMethodAccessorImpl .invoke(NativeMethodAccessorImpl)
35     at java.base/jdk.internal.reflect.DelegatingMethodAccessorImpl .invoke(DelegatingMethodAccessorImpl)
36     at java.base/java.lang.reflect.Method.invoke(Method.java:564)
37     at Test.main(Test.java:12)
38 java.lang.Exception: #16
39     at Test.target(Test.java:5)
40     at jdk.internal.reflect.GeneratedMethodAccessor1 .invoke(Unknown Source)
41     at java.base/jdk.internal.reflect.DelegatingMethodAccessorImpl .invoke(DelegatingMethodAccessorImpl)
42     at java.base/java.lang.reflect.Method.invoke(Method.java:564)
43     at Test.main(Test.java:12)
44 ...
```

可以看到，在第 15 次（从 0 开始数）反射调用时，我们便触发了动态实现的生成。这时候，Java 虚拟机额外加载了不少类。其中，最重要的当属 `GeneratedMethodAccessor1`（第 30 行）。并且，从第 16 次反射调用开始，我们便切换至这个刚刚生成的动态实现（第 40 行）。

反射调用的 Inflation 机制是可以通过参数（`-Dsun.reflect.noInflation=true`）来关闭的。这样一来，在反射调用一开始便会直接生成动态实现，而不会使用委派实现或者本地实现。

## 反射调用的开销

下面，我们便来拆解反射调用的性能开销。

在刚才的例子中，我们先后进行了 `Class.forName`，`Class.getMethod` 以及 `Method.invoke` 三个操作。其中，`Class.forName` 会调用本地方法，`Class.getMethod` 则会遍历该类的公有方

法。如果没有匹配到，它还将遍历父类的公有方法。可想而知，这两个操作都非常费时。

值得注意的是，以 `getMethod` 为代表的查找方法操作，会返回查找得到结果的一份拷贝。因此，我们应当避免在热点代码中使用返回 `Method` 数组的 `getMethods` 或者 `getDeclaredMethods` 方法，以减少不必要的堆空间消耗。

在实践中，我们往往会在应用程序中缓存 `Class.forName` 和 `Class.getMethod` 的结果。因此，下面我就只关注反射调用本身的性能开销。

为了比较直接调用和反射调用的性能差距，我将前面的例子改为下面的 v2 版本。它会将反射调用循环二十亿次。此外，它还将记录下每跑一亿次的时间。

我将取最后五个记录的平均值，作为预热后的峰值性能。（注：这种性能评估方式并不严谨，我会在专栏的第三部分介绍如何用 JMH 来测性能。）

在我这个老笔记本上，一亿次直接调用耗费的时间大约在 120ms。这和不调用的时间是一致的。其原因在于这段代码属于热循环，同样会触发即时编译。并且，即时编译会将 `Test.target` 的调用内联进来，从而消除了调用的开销。

```
1 // v2 版本
2 import java.lang.reflect.Method;
3
4 public class Test {
5     public static void target(int i) {
6         // 空方法
7     }
8
9     public static void main(String[] args) throws Exception {
10         Class<?> klass = Class.forName("Test");
11         Method method = klass.getMethod("target", int.class);
12
13         long current = System.currentTimeMillis();
14         for (int i = 1; i <= 2_000_000_000; i++) {
15             if (i % 100_000_000 == 0) {
16                 long temp = System.currentTimeMillis();
17                 System.out.println(temp - current);
18                 current = temp;
19             }
20
21             method.invoke(null, 128);
22         }
23     }
24 }
25
```

[复制代码](#)

下面我将以 120ms 作为基准，来比较反射调用的性能开销。



由于目标方法 `Test.target` 接收一个 `int` 类型的参数，因此我传入 128 作为反射调用的参数，测得的结果约为基准的 2.7 倍。我们暂且不管这个数字是高是低，先来看看在反射调用之前字节码都做了什么。

```
1    59: aload_2                // 加载 Method 对象
2    60: aconst_null             // 反射调用的第一个参数 null
3    61: iconst_1
4    62: anewarray Object        // 生成一个长度为 1 的 Object 数组
5    65: dup
6    66: iconst_0
7    67: sipush 128
8    70: invokestatic Integer.valueOf // 将 128 自动装箱成 Integer
9    73: aastore                 // 存入 Object 数组中
10   74: invokevirtual Method.invoke // 反射调用
```

[复制代码](#)

这里我截取了循环中反射调用编译而成的字节码。可以看到，这段字节码除了反射调用外，还额外做了两个操作。

第一，由于 `Method.invoke` 是一个变长参数方法，在字节码层面它的最后一个参数会是 `Object` 数组（感兴趣的同学私下可以用 `javap` 查看）。Java 编译器会在方法调用处生成一个长度为传入参数数量的 `Object` 数组，并将传入参数一一存储进该数组中。

第二，由于 `Object` 数组不能存储基本类型，Java 编译器会对传入的基本类型参数进行自动装箱。

这两个操作除了带来性能开销外，还可能占用堆内存，使得 GC 更加频繁。（如果你感兴趣的话，可以用虚拟机参数 `-XX:+PrintGC` 试试。）那么，如何消除这部分开销呢？

关于第二个自动装箱，Java 缓存了 `[-128, 127]` 中所有整数所对应的 `Integer` 对象。当需要自动装箱的整数在这个范围之内时，便返回缓存的 `Integer`，否则需要新建一个 `Integer` 对象。

因此，我们可以将这个缓存的范围扩大至覆盖 128（对应参数 `-Djava.lang.Integer.IntegerCache.high=128`），便可以避免需要新建 `Integer` 对象的场景。

或者，我们可以在循环外缓存 128 自动装箱得到的 `Integer` 对象，并且直接传入反射调用中。这两种方法测得的结果差不多，约为基准的 1.8 倍。

现在再回来看看第一个因变长参数而自动生成的 `Object` 数组。既然每个反射调用对应的参数个数是固定的，那么我们可以选择在循环外新建一个 `Object` 数组，设置好参数，并直接交给反射调用。改好的代码可以参照文稿中的 v3 版本。

```
1 // v3 版本
2 import java.lang.reflect.Method;
```

[复制代码](#)

```
3
4 public class Test {
5     public static void target(int i) {
6         // 空方法
7     }
8
9     public static void main(String[] args) throws Exception {
10         Class<?> klass = Class.forName("Test");
11         Method method = klass.getMethod("target", int.class);
12
13         Object[] arg = new Object[1]; // 在循环外构造参数数组
14         arg[0] = 128;
15
16         long current = System.currentTimeMillis();
17         for (int i = 1; i <= 2_000_000_000; i++) {
18             if (i % 100_000_000 == 0) {
19                 long temp = System.currentTimeMillis();
20                 System.out.println(temp - current);
21                 current = temp;
22             }
23
24             method.invoke(null, arg);
25         }
26     }
27 }
```

测得的结果反而更糟糕了，为基准的 2.9 倍。这是为什么呢？

如果你在上一步解决了自动装箱之后查看运行时的 GC 状况，你会发现这段程序并不会触发 GC。其原因在于，原本的反射调用被内联了，从而使得即时编译器中的逃逸分析将原本新建的 Object 数组判定为不逃逸的对象。


如果一个对象不逃逸，那么即时编译器可以选择栈分配甚至是虚拟分配，也就是不占用堆空间。具体我会在本专栏的第二部分详细解释。

如果在循环外新建数组，即时编译器无法确定这个数组会不会中途被更改，因此无法优化掉访问数组的操作，可谓是得不偿失。

到目前为止，我们的最好记录是 1.8 倍。那能不能再进一步提升呢？

刚才我曾提到，可以关闭反射调用的 Inflation 机制，从而取消委派实现，并且直接使用动态实现。此外，每次反射调用都会检查目标方法的权限，而这个检查同样可以在 Java 代码里关闭，在关闭了这两项机制之后，也就得到了我们的 v4 版本，它测得的结果约为基准的 1.3 倍。

```
1
2 // v4 版本
3 import java.lang.reflect.Method;
```

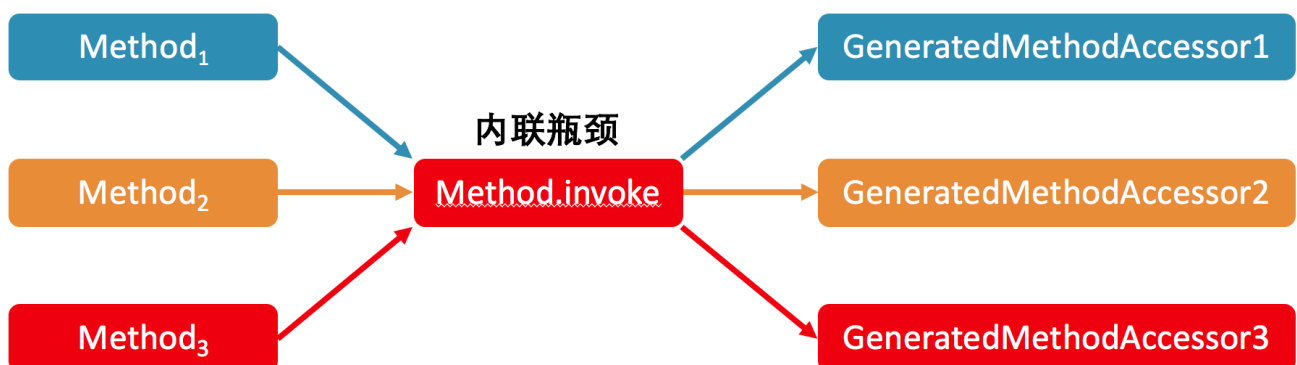
 复制代码



```
4
5 // 在运行指令中添加如下两个虚拟机参数:
6 // -Djava.lang.Integer.IntegerCache.high=128
7 // -Dsun.reflect.noInflation=true
8 public class Test {
9     public static void target(int i) {
10         // 空方法
11     }
12
13     public static void main(String[] args) throws Exception {
14         Class<?> klass = Class.forName("Test");
15         Method method = klass.getMethod("target", int.class);
16         method.setAccessible(true); // 关闭权限检查
17
18         long current = System.currentTimeMillis();
19         for (int i = 1; i <= 2_000_000_000; i++) {
20             if (i % 100_000_000 == 0) {
21                 long temp = System.currentTimeMillis();
22                 System.out.println(temp - current);
23                 current = temp;
24             }
25
26             method.invoke(null, 128);
27         }
28     }
29 }
30
```


到这里，我们基本上把反射调用的水分都榨干了。接下来，我来把反射调用的性能开销给提回去。

首先，在这个例子中，之所以反射调用能够变得这么快，主要是因为即时编译器中的方法内联。在关闭了 Inflation 的情况下，内联的瓶颈在于 Method.invoke 方法中对 MethodAccessor.invoke 方法的调用。



我会在后面的文章中介绍方法内联的具体实现，这里先说个结论：在生产环境中，我们往往拥有多个不同的反射调用，对应多个 GeneratedMethodAccessor，也就是动态实现。

由于 Java 虚拟机的关于上述调用点的类型 profile（注：对于 `invokevirtual` 或者 `invokeinterface`，Java 虚拟机会记录下调用者的具体类型，我们称之为类型 profile）无法同时记录这么多个类，因此可能造成所测试的反射调用没有被内联的情况。

 复制代码

```
1 // v5 版本
2 import java.lang.reflect.Method;
3
4 public class Test {
5     public static void target(int i) {
6         // 空方法
7     }
8
9     public static void main(String[] args) throws Exception {
10         Class<?> klass = Class.forName("Test");
11         Method method = klass.getMethod("target", int.class);
12         method.setAccessible(true); // 关闭权限检查
13         polluteProfile();
14
15         long current = System.currentTimeMillis();
16         for (int i = 1; i <= 2_000_000_000; i++) {
17             if (i % 100_000_000 == 0) {
18                 long temp = System.currentTimeMillis();
19                 System.out.println(temp - current);
20                 current = temp;
21             }
22
23             method.invoke(null, 128);
24         }
25     }
26
27     public static void polluteProfile() throws Exception {
28         Method method1 = Test.class.getMethod("target1", int.class);
29         Method method2 = Test.class.getMethod("target2", int.class);
30         for (int i = 0; i < 2000; i++) {
31             method1.invoke(null, 0);
32             method2.invoke(null, 0);
33         }
34     }
35     public static void target1(int i) { }
36     public static void target2(int i) { }
37 }
38
```

在上面的 v5 版本中，我在测试循环之前调用了 `polluteProfile` 的方法。该方法将反射调用另外两个方法，并且循环上 2000 遍。

而测试循环则保持不变。测得的结果约为基准的 6.7 倍。也就是说，只要误扰了 `Method.invoke` 方法的类型 profile，性能开销便会从 1.3 倍上升至 6.7 倍。

之所以这么慢，除了没有内联之外，另外一个原因是逃逸分析不再起效。这时候，我们便可以采用刚才 v3 版本中的解决方案，在循环外构造参数数组，并直接传递给反射调用。这样子测得的结果约为基准的 5.2 倍。

除此之外，我们还可以提高 Java 虚拟机关于每个调用能够记录的类型数目（对应虚拟机参数 -XX:TypeProfileWidth，默认值为 2，这里设置为 3）。最终测得的结果约为基准的 2.8 倍，尽管它和原本的 1.3 倍还有一定的差距，但总算是比 6.7 倍好多了。


## 总结与实践

今天我介绍了 Java 里的反射机制。

在默认情况下，方法的反射调用为委派实现，委派给本地实现来进行方法调用。在调用超过 15 次之后，委派实现便会将委派对象切换至动态实现。这个动态实现的字节码是自动生成的，它将直接使用 invoke 指令来调用目标方法。

方法的反射调用会带来不少性能开销，原因主要有三个：变长参数方法导致的 Object 数组，基本类型的自动装箱、拆箱，还有最重要的方法内联。

今天的实践环节，你可以将最后一段代码中 polluteProfile 方法的两个 Method 对象，都改成获取名字为 “target” 的方法。请问这两个获得的 Method 对象是同一个吗 (==)？他们 equal 吗 (.equals(...))？对我们的运行结果有什么影响？

 复制代码

```
1 import java.lang.reflect.Method;
2
3 public class Test {
4     public static void target(int i) {
5         // 空方法
6     }
7
8     public static void main(String[] args) throws Exception {
9         Class<?> klass = Class.forName("Test");
10        Method method = klass.getMethod("target", int.class);
11        method.setAccessible(true); // 关闭权限检查
12        polluteProfile();
13
14        long current = System.currentTimeMillis();
15        for (int i = 1; i <= 2_000_000_000; i++) {
16            if (i % 100_000_000 == 0) {
17                long temp = System.currentTimeMillis();
18                System.out.println(temp - current);
19                current = temp;
20            }
21
22            method.invoke(null, 128);
23        }
```

```
24     }
25
26     public static void polluteProfile() throws Exception {
27         Method method1 = Test.class.getMethod("target", int.class);
28         Method method2 = Test.class.getMethod("target", int.class);
29         for (int i = 0; i < 2000; i++) {
30             method1.invoke(null, 0);
31             method2.invoke(null, 0);
32         }
33     }
34     public static void target1(int i) { }
35     public static void target2(int i) { }
36 }
```

## 附录：反射 API 简介

通常来说，使用反射 API 的第一步便是获取 Class 对象。在 Java 中常见的有这么三种。

1. 使用静态方法 `Class.forName` 来获取。
2. 调用对象的 `getClass()` 方法。
3. 直接用类名 + “.class” 访问。对于基本类型来说，它们的包装类型（wrapper classes）拥有一个名为 “TYPE” 的 final 静态字段，指向该基本类型对应的 Class 对象。

例如，`Integer.TYPE` 指向 `int.class`。对于数组类型来说，可以使用类名 + “[].class” 来访问，如 `int[].class`。

除此之外，Class 类和 `java.lang.reflect` 包中还提供了许多返回 Class 对象的方法。例如，对于数组类的 Class 对象，调用 `Class.getComponentType()` 方法可以获得数组元素的类型。

一旦得到了 Class 对象，我们便可以正式地使用反射功能了。下面我列举了较为常用的几项。

1. 使用 `newInstance()` 来生成一个该类的实例。它要求该类中拥有一个无参数的构造器。
2. 使用 `isInstance(Object)` 来判断一个对象是否该类的实例，语法上等同于 `instanceof` 关键字（JIT 优化时会有差别，我会在本专栏的第二部分详细介绍）。
3. 使用 `Array.newInstance(Class,int)` 来构造该类型的数组。
4. 使用 `getFields()/getConstructors()/getMethods()` 来访问该类的成员。除了这三个之外，Class 类还提供了许多其他方法，详见 [4]。需要注意的是，方法名中带 `Declared` 的不会返回父类的成员，但是会返回私有成员；而不带 `Declared` 的则相反。

当获得了类成员之后，我们可以进一步做如下操作。

- 使用 `Constructor/Field/Method.setAccessible(true)` 来绕开 Java 语言的访问限制。

- 使用 `Constructor.newInstance(Object[])` 来生成该类的实例。
- 使用 `Field.get/set(Object)` 来访问字段的值。
- 使用 `Method.invoke(Object, Object[])` 来调用方法。

有关反射 API 的其他用法，可以参考 `reflect` 包的 javadoc [5]，这里就不详细展开了。

[1]: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/reflect/>

[2]:

<http://hg.openjdk.java.net/jdk10/jdk10/jdk/file/777356696811/src/java.base/share/classes/jdk/internal/reflect/ReflectionFactory.java#l80>

[3]:

<http://hg.openjdk.java.net/jdk10/jdk10/jdk/file/777356696811/src/java.base/share/classes/jdk/internal/reflect/ReflectionFactory.java#l78>

[4]: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/reflect/class/classMembers.html>

[5]: <https://docs.oracle.com/javase/10/docs/api/java/lang/reflect/package-summary.html>

 极客时间

# 深入拆解 Java 虚拟机

Oracle 高级研究员 手把手带你入门 JVM



郑雨迪 Oracle Labs 高级研究员，计算机博士

新版升级：点击「 请朋友读」，10位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

版权归极客邦科技所有，未经许可不得转载

写留言

精选留言



xianguangme

👍 14

开发人员日常接触到的 Java 集成开发环境 (IDE) 便运用了这一功能：每当我们敲入点号时，IDE 便会根据点号前的内容，动态展示可以访问的字段或者方法。//这个应该是不完全正确的，大部分应该是靠语法树来实现的。

2018-08-06

作者回复

谢谢指出！

2018-08-06



李杰

9

当某个反射调用的调用次数在 15 之下时，采用本地实现；当达到 15 时，便开始动态生成字节码...

——可以认为第16次反射调用时的耗时是最长的吗？

2018-08-06

作者回复

动态生成发生在第15次(从0开始数的话)，所以第15次比较耗时。

2018-08-06



志远

7

老师您好，提个建议，您讲课过程中经常提到一些概念名词，您讲课总是预设了一个前提，就是假设我们已经知道那个概念，然而并不清楚。比如本文中被不断提到的内联，什么是内联呢？

2018-08-06

作者回复

谢谢建议！方法内联指的是编译器在编译一个方法时，将某个方法调用的目标方法也纳入编译范围内，并用其返回值替代原方法调用这么个过程。

2018-08-06



godtrue

6

小结

1:反射机制是Java语言的一个非常重要的特性，通过这个特性，我们能够动态的监控、调用、修改类的行为，许多的框架实现就用到了Java语言反射的机制

2:使用反射挺好的，但它也是不完美的，复杂的操作往往更耗时间和精力，使用反射也是一样，性能低下是她所被人诟病的一个地方，那为什么方法的反射如此耗费性能呐？它的性能耗在那里呢？方法的反射调用会带来不少性能开销，原因主要有三个：变长参数方法导致的 Object 数组，基本类型的自动装箱、拆箱，还有最重要的方法内联。

2018-08-07



Kisho

4

郑老师，你好，

“动态实现无需经过Java到C++再到Java的切换”，这句话没太明白，能在解释下么？

2018-08-06

作者回复

在v0版本中我贴了一段stacktrace，你可以看到中间有个native method，这就是C++代码，也就是它先调用至这个C++代码，在C++代码里面再调用至Java代码。

2018-08-06





ext4

👍 2

雨迪您好，我有两个问题：

一是我自己的测试结果和文章中有些出入。在我自己的mac+jdk10环境中，v3版本的代码和v2版本性能是差不多的，多次测试看v3还略好一些。从v2的GC log来看for循环的每一亿次iteration中间都会有GC发生，似乎说明这里的escape analysis并没有做到allocation on stack。您能想到这是什么原因么？另有个小建议就是文章中提到测试结果时，注明一下您的环境。

另一个问题是在您v5版本的代码中，您故意用method1和method2两个对象霸占了2个ProfileType的位子，导致被测的反射操作性能很低。这是因为此处invoke方法的inline是压根儿就没有做呢？还是因为inline是依据target1或者target2来做的，而实际运行时发现类型不一致又触发了deoptimization呢？

望解答，谢谢~

2018-08-06

#### 作者回复

多谢建议，我也是mac+jdk10。我这边裸跑v2是2.7x(因为每次要新建整数对象所以有GC)，加大整数缓存后跑v2是1.8x(无GC)。你是否忘了加大整数缓存？

第二个问题，研究得很深！Method.invoke一直会被内联，但是它里面的MethodAccesor.invoke则不一定。

实际上，在C2编译之前循环代码已经运行过非常多次，也就是说MethodAccesor.invoke已经看到多次调用至target()的动态实现。在profile里会显示为有target1，有target2，但是profile不完整，即还有一大部分的调用者类型没有记录。

这时候C2会选择不inline这个MethodAccesor.invoke调用，直接做虚调用。

2018-08-07



godtrue

👍 2

老师请教个问题，如果手动修改某个Java字节码文件，如果JVM不重新加载此文件，有什么方式能让JVM识别并执行修改的内容呢？

如果一定需要JVM加载后才能识别并执行，有什么好的手动触发的方法呢？

2018-08-06

#### 作者回复

你可以搜一下class redefinition的相关资料。我以前用cagent做过，Javaagent应该也可以。

2018-08-06



沉淀的梦想

👍 1

在v5版本中，为什么我设置TypeProfileWidth为3，速度并没有变快呢？

2018-08-18

## 作者回复

可以再增大到8试试。

2018-08-22



小明

👍 1

可以看看这篇博客 有详细的生成动态调用的解释

<http://rednaxelafx.iteye.com/blog/548536>

2018-08-17



志远

👍 1

文章中“一亿次直接调用耗费的时间大约在 120ms。这和不调用的时间是一致的。”这句话是不是病句啊？不调用指的是什么？指的是直接调用吗？

2018-08-06

## 作者回复

多谢指出！不调用就是字面意思，不做任何调用，也就是除了每一亿次调用的打印语句之外，循环就不包含其它东西了。

2018-08-06



Ennis LM

👍 1

最后的问题，==是false，equals是true，对性能的影响我不知道怎么看。。。

2018-08-06



godtrue

👍 1

JVM加载了一个Java字节码文件，在不停止JVM的情况下能再次的加载同一个Java字节码文件吗？如果能是覆盖了原来的那个Java字节码文件还是怎么着呢？

在IDE中是可以直接修改Java源代码的，然后可以手动触发Java源代码的编译和重新加载，请问老师知道IDE是怎么实现的吗？

2018-08-06



life is short, enjoy mor...

👍 0

总结一下

反射有两种实现方式：

本地方法调用（就是字节码中已经定义好的方法）

动态生成字节码

两者有什么区别？

动态生成字节码（以下简称动态实现），生成字节码的过程很慢（类似于准备工作），但是执行效率高。

本地方法调用，不用生成字节码，直接调用本地方法。所以准备工作几乎没有，很快。但是执行效率就差很多。

JVM如何做决定选择哪种实现方式？

通过反射执行的次数来决定，默认值是15。15次之前直接本地调用，之后动态实现。

JVM为啥分两种实现方式？

本地实现的调用流程复杂。而在执行多次的情况下，复杂意味着性能损耗，所以有一种适合多次执行的解决方案，就是动态生成字节码。

2018-10-06



vick

0

请教一个问题，本地实现可以用java来替代c++的实现方式吗？这样就可以避过C++的额外开销？

2018-09-08

作者回复

之所以叫本地实现，就是因为它用的C++代码。如果用Java来实现，就不会这么叫啦：)

JVM有用Java来替代的实现方式，也就是文中介绍的动态实现。它是根据反射调用的目标方法来动态生成字节码的。

2018-09-10



once

0

请问老师 是不是本地方法的性能一般都不是很好呢

2018-09-07

作者回复

需要经过JNI，所以性能很不好。

不过即时编译器可能会将某些指定的本地方法调用给替换掉。这些特定的本地方法叫intrinsic，下周一会讲。

2018-09-07



肖一林

0

郑老师，咨询你一个问题，使用jdk1.6循环使用反射机制导致cpu使用率达到100%的情况，你遇到过吗？谢谢

2018-08-30



于林富

0

基准时间120ms是带method.invoke(null, 128);还是不带

2018-08-22



o

0

请问，这个15次，他是怎么记录的呢？是否仍然占用jvm的内存，如果占用是属于那个区域呢？麻烦您可以给讲讲吗？谢谢

2018-08-21

### 作者回复

可以看sun.reflect.NativeMethodAccessorImpl，它是作为该类实例的一个字段来存储的。

2018-08-22



东方

0

性能测试的基准，是不是“不使用reflect”对比“使用reflect”比较好？

2018-08-19



沉淀的梦想

0

在v5版本中，为什么我设置TypeProfileWidth为3，速度并没有变快呢？

2018-08-18



小明

0

在v2 版本测性能的过程中，加入判断 一亿次打印 和不加 时 执行时间 差距较大 导致测试的结果的偏差变大。测试性能应该将这部分的差距消除吧

2018-08-17



Scott

0

有两个问题：

1.v3版本中，确定不逃逸的数组可以优化访问，这个是怎么做的？

2.v5版本中，为啥逃逸分析会失效，明明都封闭在循环里的？

2018-08-15

### 作者回复

1. 读数组被替换为之前写入数组的值。后面数组就只有写没有读了，因此可以优化掉。

2. 只要没有完全内联，就会将看似不逃逸的对象通过参数传递出去。即时编译器不知道所调用的方法对该对象有没有副作用，所以会将其判定为逃逸。

(如果你问的是不能分配到栈上，那我只能回答Java虚拟机从设计上不支持栈分配。它要不是堆分配，要不是虚拟分配+标量替换)

2018-08-15



姬野用菜刀

0

因此，我们应当避免在热点代码中使用返回 Method 数组的 getMethods 或者 getDeclaredMethods 方法，以减少不必要的堆空间消耗。

这个地方没有太明白，老师能帮忙在细讲一下嘛？

2018-08-14

### 作者回复

你可以进JRE代码看一下。相当于获取了一个Method数组，又将这个数组所有的内容都复制一份给你。

2018-08-15



阿康

0

请问，反射第16次生成字节码的用的什么方式阿？和asm有什么区别呢？

2018-08-09

### 作者回复

一般新的JDK代码都使用ASM来生成了。反射代码比较旧，我记得是自己构造byte数组的，非常难维护。

2018-08-10



一个坏人

0

老师好，请教一个问题。当某个反射调用的调用次数在 15 之下时，采用本地实现；当达到 15 时，便开始动态生成字节码...

——可以认为第16次反射调用时的耗时是最长的吗？如果刚好只调用16次是不是就不划算了？

2018-08-06

作者回复

首先这个数字是可调配的。

其次，是在第15次(从0开始数的话)动态生成的，也就是说第15次比较耗时。

最后，如果只调用16次，确实不划算。这是因为虚拟机猜测以后还会大量执行该反射调用，所以才动态生成字节码的。如果生成后不用，那生成字节码的时间就浪费了。

2018-08-06