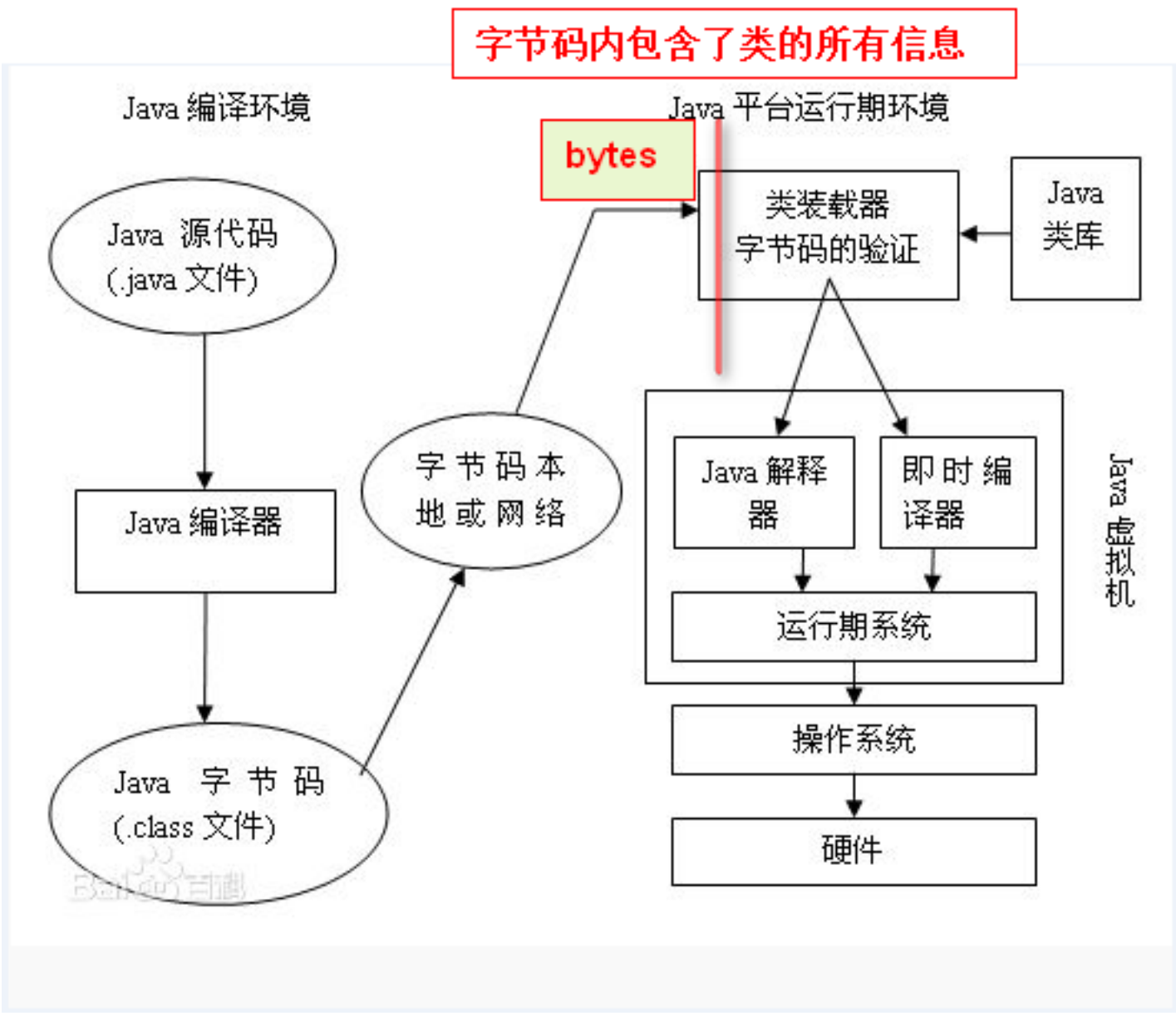
Java动态代理机制详解（JDK 和CGLIB，Javassist，ASM）

class文件简介及加载

> Java编译器编译好Java文件之后，产生.class 文件在磁盘中。这种class文件是二进制文件，内容是只有JVM虚拟机能够识别的机器码。JVM虚拟机读取字节码文件，取出二进制数据，加载到内存中，解析.class 文件内的信息，生成对应的 Class对象:



> class字节码文件是根据JVM虚拟机规范中规定的字节码组织规则生成的、具体class文件是怎样组织类信息的，可以参考 此博文：深入理解Java Class文件格式系列。或者是Java虚拟机规范。

> 下面通过一段代码演示手动加载 class文件字节码到系统内，转换成class对象，然后再实例化的过程:

> **a. 定义一个 Programmer类**:

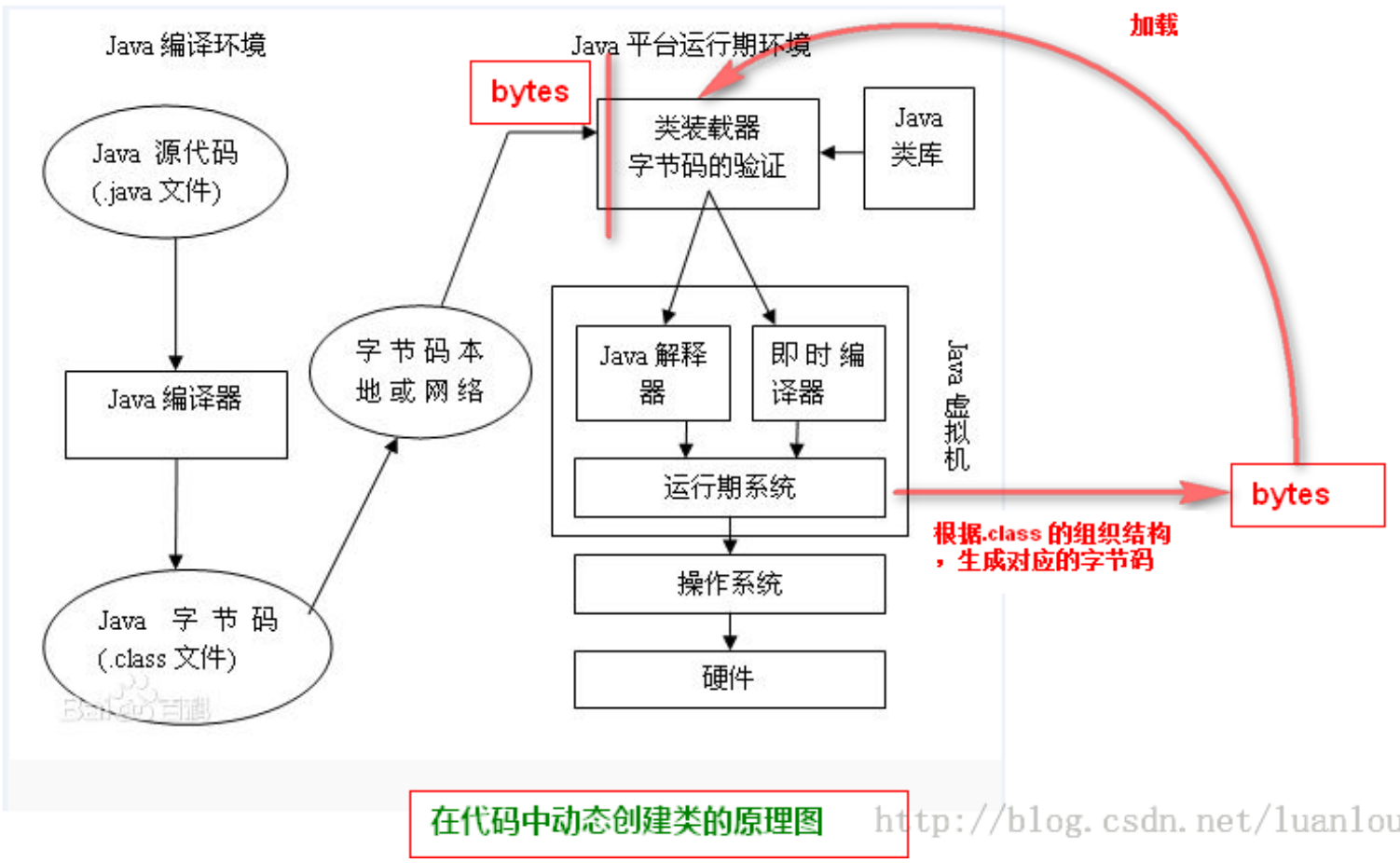
> **b. 自定义一个类加载器**:

> **c. 然后编译成Programmer.class文件，在程序中读取字节码，然后转换成相应的class对象，再实例化**:

以上代码演示了，通过字节码加载成class 对象的能力，下面看一下在代码中如何生成class文件的字节码。

在运行期的代码中生成二进制字节码

由于JVM通过字节码的二进制信息加载类的，那么，如果我们在运行期系统中，遵循Java编译系统组织.class文件的格式和结构，生成相应的二进制数据，然后再把这个二进制数据加载转换成对应的类，这样，就完成了在代码中，动态创建一个类的能力了。



在代码中动态创建类的原理图 http://blog.csdn.net/luanlouis

在运行时期可以按照Java虚拟机规范对class文件的组织规则生成对应的二进制字节码。当前有很多开源框架可以完成这些功能，如ASM，Javassist。

Java字节码生成开源框架介绍--ASM:

ASM 是一个 Java 字节码操控框架。它能够以二进制形式修改已有类或者动态生成类。ASM 可以直接产生二进制 class 文件，也可以在类被加载入 Java 虚拟机之前动态改变类行为。ASM 从类文件中读入信息后，能够改变类行为，分析类信息，甚至能够根据用户要求生成新类。

不过ASM在创建class字节码的过程中，操纵的级别是底层JVM的汇编指令级别，这要求ASM使用者要对class组织结构和JVM汇编指令有一定的了解。

下面通过ASM 生成下面类Programmer的class字节码：

使用ASM框架提供了ClassWriter 接口，通过访问者模式进行动态创建class字节码，看下面的例子：

```
1.  package samples;
2.
3.  import java.io.File;
4.  import java.io.FileOutputStream;
5.  import java.io.IOException;
6.
7.  import org.objectweb.asm.ClassWriter;
8.  import org.objectweb.asm.MethodVisitor;
9.  import org.objectweb.asm.Opcodes;
10. public class MyGenerator {
11.
12.     public static void main(String[] args) throws IOException {
13.
14.         System.out.println();
15.         ClassWriter classWriter = new ClassWriter(0);
16.
17.         classWriter.visit(Opcodes.V1_7,
18.                 Opcodes.ACC_PUBLIC,
19.                 "Programmer",
20.                 null, "java/lang/Object", null);
21.
22.
23.         MethodVisitor mv = classWriter.visitMethod(Opcodes.ACC_PUBLIC
    , "<init>", "()V", null, null);
24.         mv.visitCode();
25.         mv.visitVarInsn(Opcodes.ALOAD, 0);
26.         mv.visitMethodInsn(Opcodes.INVOKESPECIAL, "java/lang/Object",
     "<init>","()V");
27.         mv.visitInsn(Opcodes.RETURN);
28.         mv.visitMaxs(1, 1);
29.         mv.visitEnd();
30.
31.
32.         MethodVisitor methodVisitor = classWriter.visitMethod(Opcodes.AC
```

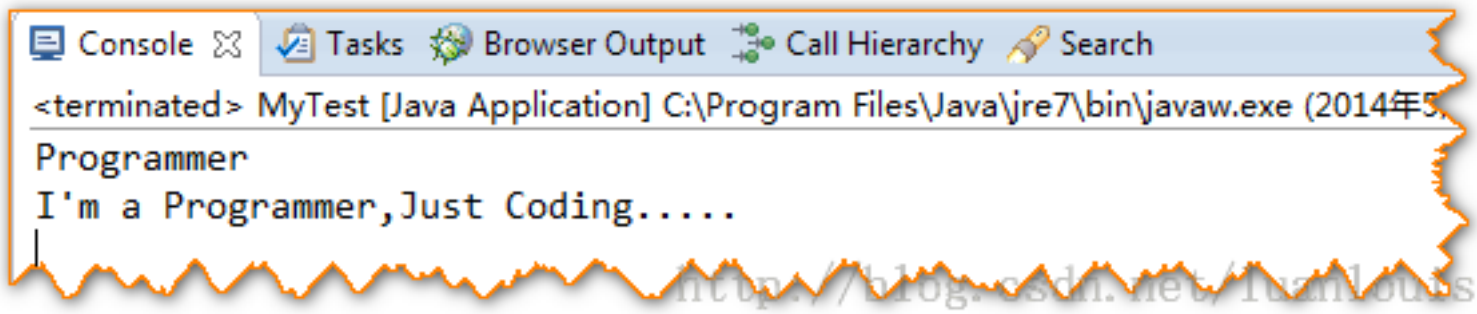
```
C_PUBLIC, "code", "()V",
33.                 null, null);
34.         methodVisitor.visitCode();
35.         methodVisitor.visitFieldInsn(Opcodes.GETSTATIC, "java/lang/Syste
m", "out",
36.                 "Ljava/io/PrintStream;");
37.         methodVisitor.visitLdcInsn("I'm a Programmer,Just Coding.....");
38.         methodVisitor.visitMethodInsn(Opcodes.INVOKEVIRTUAL, "java/io/
PrintStream", "println",
39.                 "(Ljava/lang/String;)V");
40.         methodVisitor.visitInsn(Opcodes.RETURN);
41.         methodVisitor.visitMaxs(2, 2);
42.         methodVisitor.visitEnd();
43.         classWriter.visitEnd();
44.
45.
46.         byte[] data = classWriter.toByteArray();
47.         File file = new File("D://Programmer.class");
48.         FileOutputStream fout = new FileOutputStream(file);
49.         fout.write(data);
50.         fout.close();
51.     }
52. }
```

上述的代码执行过后，用Java反编译工具（如JD_GUI）打开D盘下生成的Programmer.class，可以看到以下信息：

Programmer.class

```
package com.samples;

import java.io.PrintStream;

public class Programmer
{
  public void code()
  {
    System.out.println("I'm a Programmer,Just Coding.....");
  }
}
```


再用上面我们定义的类加载器将这个class文件加载到内存中，然后 创建class对象，并且实例化一个对象，调用code方法，会看到下面的结果：



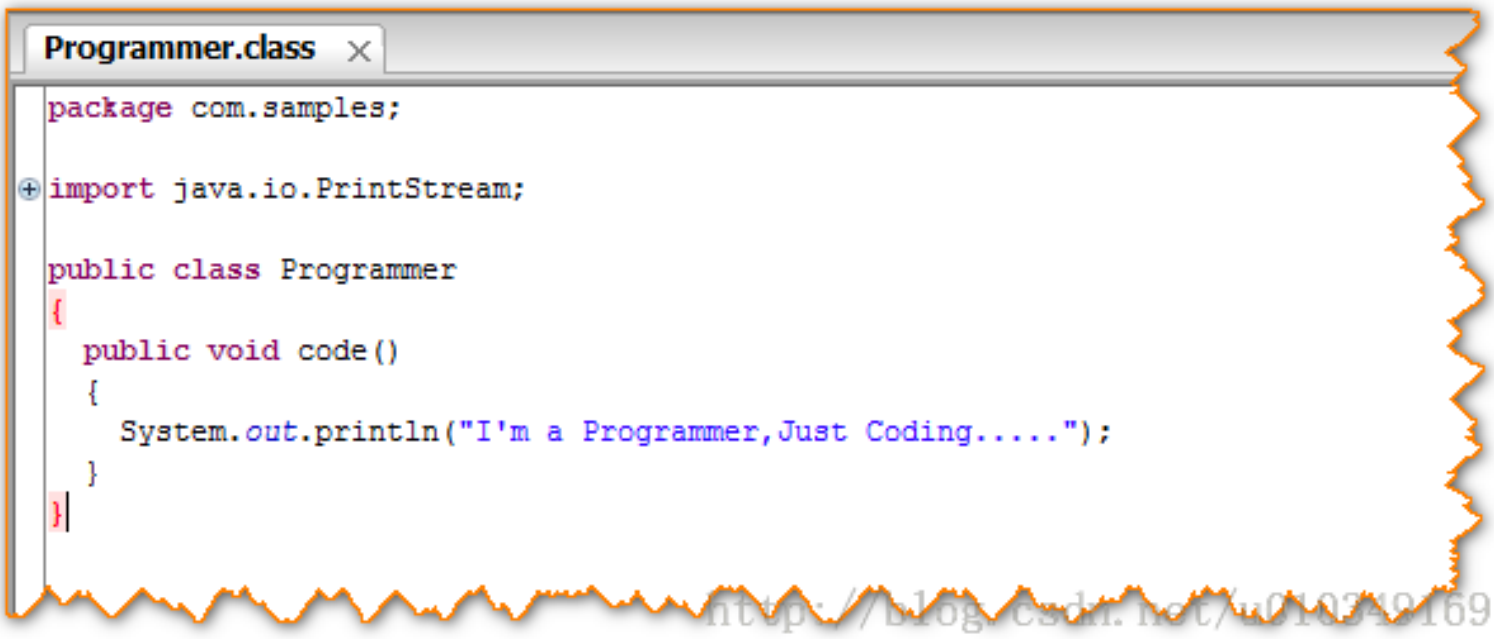
以上表明：在代码里生成字节码，并动态地加载成class对象、创建实例是完全可以实现的。

Java字节码生成开源框架介绍--Javassist：

Javassist是一个开源的分析、编辑和创建Java字节码的类库。是由东京工业大学的数学和计算机科学系的 Shigeru Chiba （千叶 滋）所创建的。它已加入了开放源代码 JBoss 应用服务器项目,通过使用Javassist对字节码操作为JBoss实现动态AOP框架。javassist是jboss的一个子项目，其主要的优点，在于简单，而且快速。直接使用java编码的形式，而不需要了解虚拟机指令，就能动态改变类的结构，或者动态生成类。

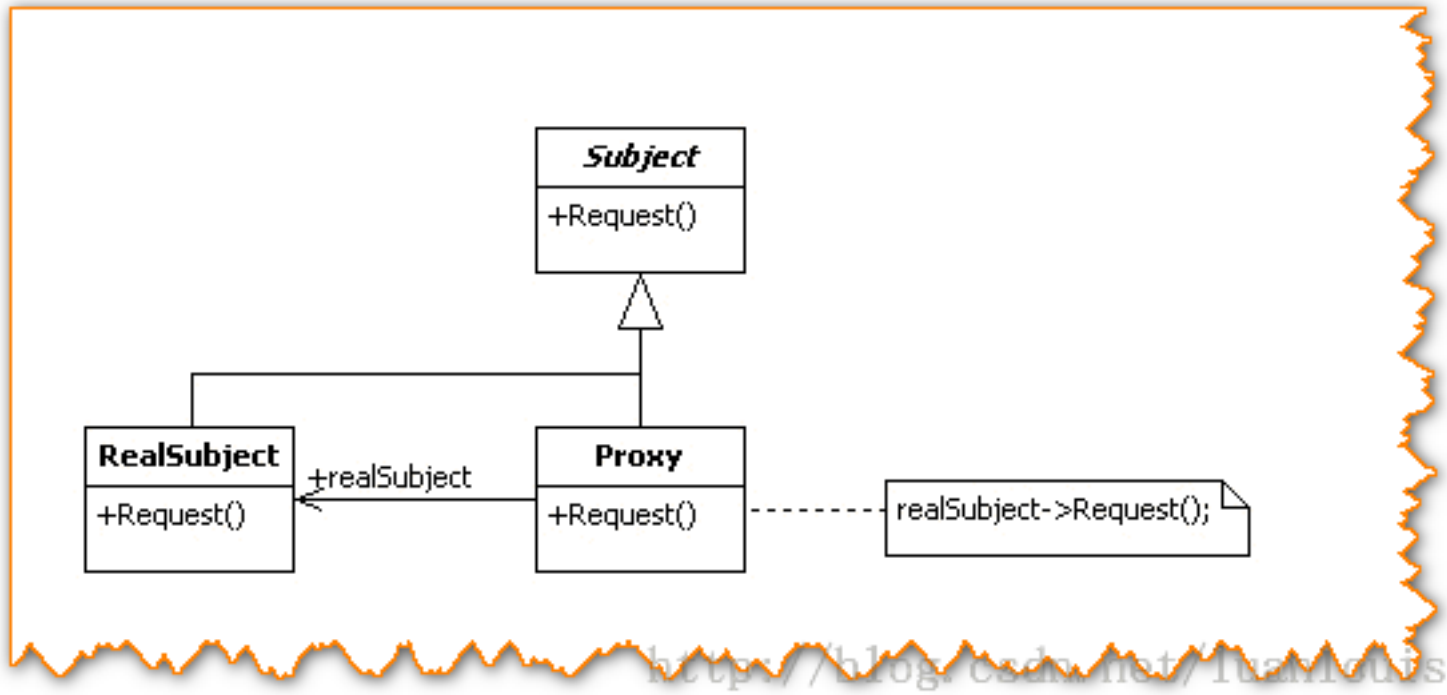
下面通过Javassist创建上述的Programmer类：

通过JD-gui反编译工具打开Programmer.class 可以看到以下代码：



代理的基本构成：

代理模式上，基本上有Subject角色，RealSubject角色，Proxy角色。其中：Subject角色负责定义RealSubject和Proxy角色应该实现的接口；RealSubject角色用来真正完成业务服务功能；Proxy角色负责将自身的Request请求，调用realsubject对应的request功能来实现业务功能，自己不真正做业务。



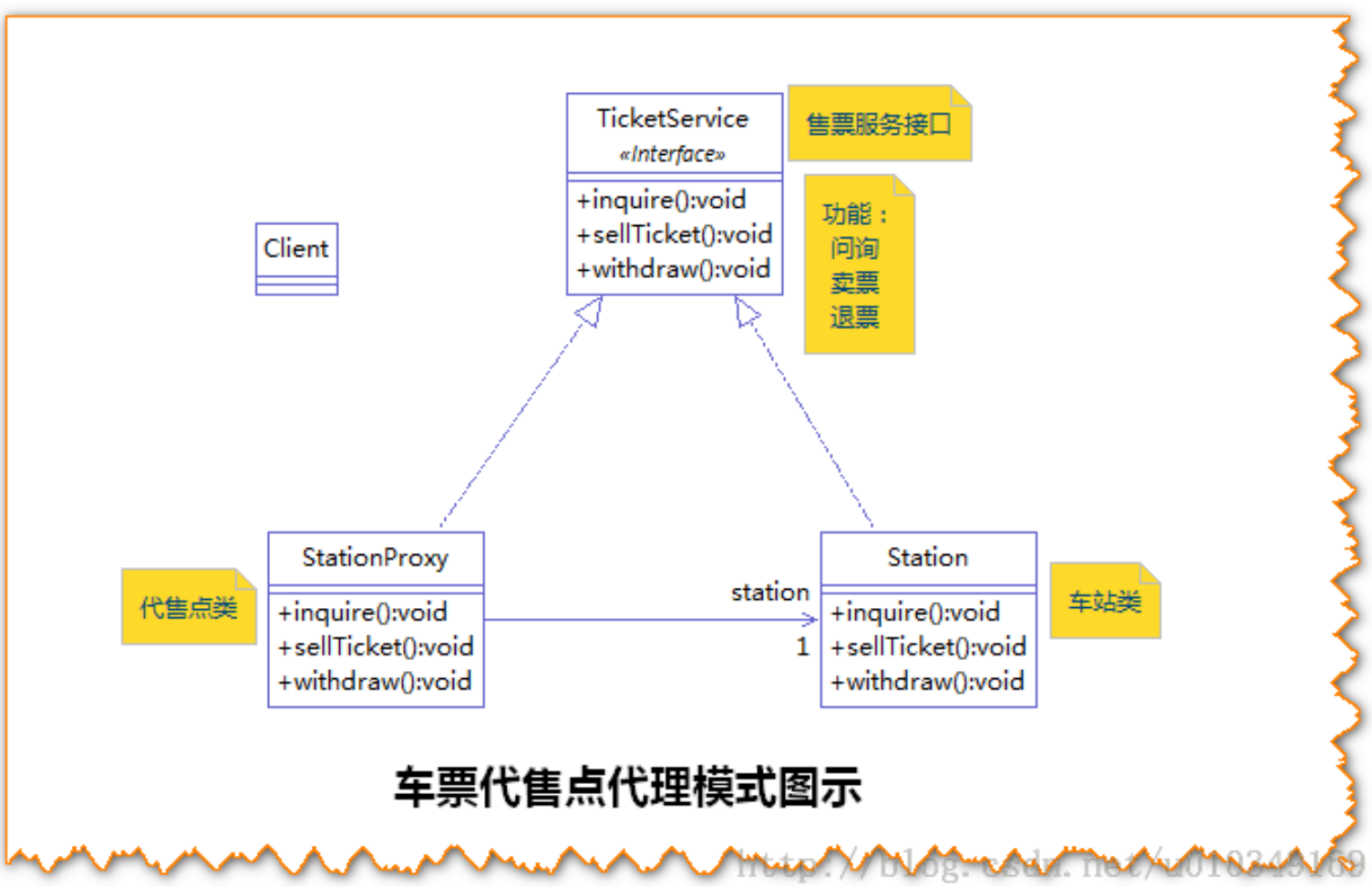
上面的这幅代理结构图是典型的静态的代理模式：

当在代码阶段规定这种代理关系，**Proxy**类通过编译器编译成**class**文件，当系统运行时，此**class**已经存在了。这种静态的代理模式固然在访问无法访问的资源，增强现有的接口业务功能方面有很大的优点，但是大量使用这种静态代理，会使我们系统内的类的规模增大，并且不易维护；并且由于**Proxy**和**RealSubject**的功能 本质上是相同的，**Proxy**只是起到了中介的作用，这种代理在系统中的存在，导致系统结构比**较臃肿和松散**。

为了解决这个问题，就有了动态地创建Proxy的想法：在运行状态中，需要代理的地方，根据Subject 和RealSubject，动态地创建一个Proxy，用完之后，就会销毁，这样就可以避免了Proxy 角色的class在系统中冗杂的问题了。

下面以一个代理模式实例阐述这一问题：

将车站的售票服务抽象出一个接口TicketService,包含问询，卖票，退票功能，车站类Station实现了TicketService接口，车票代售点StationProxy则实现了代理角色的功能，类图如下所示。



对应的静态的代理模式代码如下所示：

由于我们现在不希望静态地有StationProxy类存在，希望在代码中，动态生成器二进制代码，加载进来。为此，使用Javassist开源框架，在代码中动态地生成StationProxy的字节码：

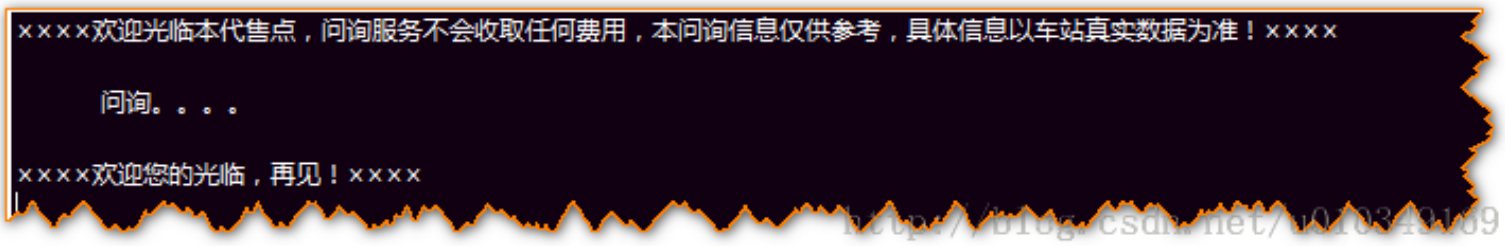
```
1.  package com.foo.proxy;
2.
3.
4.  import java.lang.reflect.Constructor;
5.
6.  import javassist.*;
7.  public class Test {
8.
9.      public static void main(String[] args) throws Exception {
10.         createProxy();
11.     }
12.
13.
14.
```

```
15.
16.     private static void createProxy() throws Exception
17.     {
18.         ClassPool pool = ClassPool.getDefault();
19.
20.         CtClass cc = pool.makeClass("com.foo.proxy.StationProxy");
21.
22.
23.         CtClass interface1 = pool.get("com.foo.proxy.TicketService");
24.         cc.setInterfaces(new CtClass[]{interface1});
25.
26.
27.         CtField field = CtField.make("private com.foo.proxy.Station station;
    ", cc);
28.
29.         cc.addField(field);
30.
31.         CtClass stationClass = pool.get("com.foo.proxy.Station");
32.         CtClass[] arrays = new CtClass[]{stationClass};
33.         CtConstructor ctc = CtNewConstructor.make(arrays,null,CtNewCo
    nstructor.PASS_NONE,null,null, cc);
34.
35.         ctc.setBody("{this.station=$1;}");
36.         cc.addConstructor(ctc);
37.
38.
39.         CtMethod takeHandlingFee = CtMethod.make("private void takeHa
    ndlingFee() {}", cc);
40.         takeHandlingFee.setBody("System.out.println(\"收取手续费，打印发
    票。。。。。\");");
41.         cc.addMethod(takeHandlingFee);
42.
43.
44.         CtMethod showInfo = CtMethod.make("private void showAlertInfo(
    String info) {}", cc);
45.         showInfo.setBody("System.out.println($1);");
46.         cc.addMethod(showInfo);
47.
48.
49.         CtMethod sellTicket = CtMethod.make("public void sellTicket()
```

```
{}", cc);
        sellTicket.setBody("{this.showAlertInfo(\"××××您正在使用车票代售点进行购票，每张票将会收取5元手续费！××××\");"
                + "station.sellTicket();"
                + "this.takeHandlingFee();"
                + "this.showAlertInfo(\"××××欢迎您的光临，再见！××××\");}");
        cc.addMethod(sellTicket);


        CtMethod inquire = CtMethod.make("public void inquire() {}", cc);
        inquire.setBody("{this.showAlertInfo(\"××××欢迎光临本代售点，问询服务不会收取任何费用，本问询信息仅供参考，具体信息以车站真实数据为准！××××\");"
        + "station.inquire();"
        + "this.showAlertInfo(\"××××欢迎您的光临，再见！××××\");}"
        );
        cc.addMethod(inquire);


        CtMethod withdraw = CtMethod.make("public void withdraw() {}", cc);
        withdraw.setBody("{this.showAlertInfo(\"××××欢迎光临本代售点，退票除了扣除票额的20%外，本代理处额外加收2元手续费！××××\");"
                + "station.withdraw();"
                + "this.takeHandlingFee();}"
                );
        cc.addMethod(withdraw);


        Class c = cc.toClass();

        Constructor constructor= c.getConstructor(Station.class);

        TicketService o = (TicketService)constructor.newInstance(new Station());
        o.inquire();

        cc.writeFile("D://test");
    }
```

```
82.
83. }
```

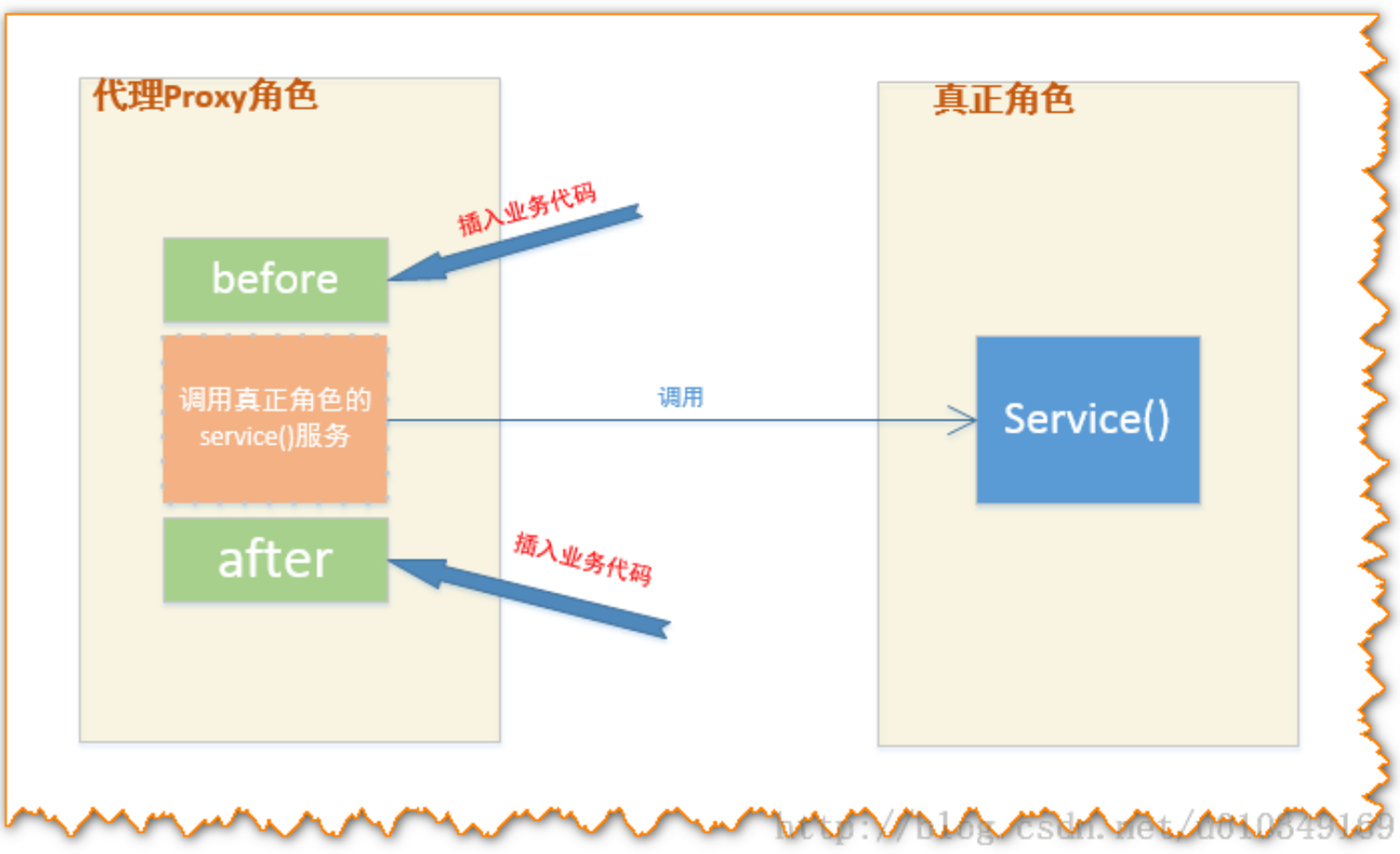
上述代码执行过后，会产生StationProxy的字节码，并且用生成字节码加载如内存创建对象，调用inquire()方法，会得到以下结果：



通过上面动态生成的代码，我们发现，其实现相当地麻烦在创造的过程中，含有太多的业务代码。我们使用上述创建**Proxy**代理类的方式的初衷是减少系统代码的冗杂度，但是上述做法却增加了在动态创建代理类过程中的复杂度：手动地创建了太多的业务代码，并且封装性也不够，完全不具有可拓展性和通用性。如果某个代理类的一些业务逻辑非常复杂，上述的动态创建代理的方式是非常不可取的！

InvocationHandler角色的由来

仔细思考代理模式中的代理Proxy角色。Proxy角色在执行代理业务的时候，无非是在调用真正业务之前或者之后做一些“额外”业务。



有上图可以看出，代理类处理的逻辑很简单：在调用某个方法前及方法后做一些额外的业务。换一种思路就是：在触发（invoke）真实角色的方法之前或者之后做一些额外的业务。那么，为了构造出具有通用性和简单性的代理类，可以将所有的触发真实角色动作交给一个触发的管理器，让这个管理器统一地管理触发。这种管理器就

是Invocation Handler。

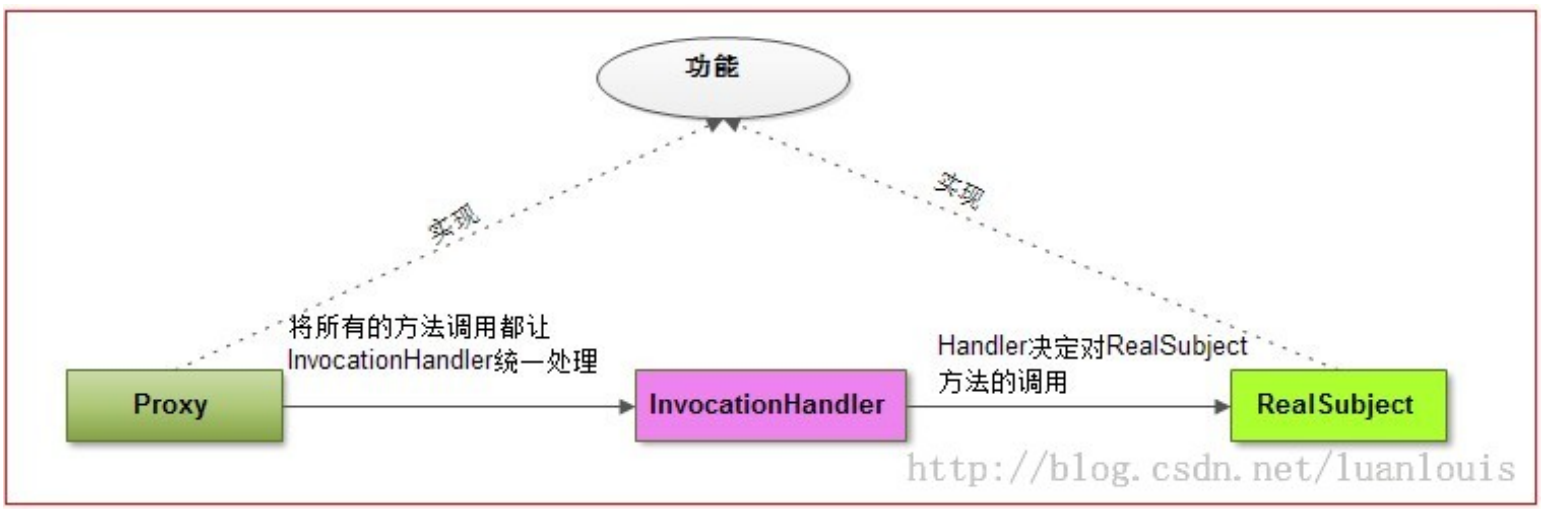
动态代理模式的结构跟上面的静态代理模式稍微有所不同，多引入了一个InvocationHandler角色。

先解释一下InvocationHandler的作用：

> 在静态代理中，代理Proxy中的方法，都指定了调用了特定的realSubject中的对应的方法：

> 在上面的静态代理模式下，Proxy所做的事情，无非是调用在不同的request时，调用触发realSubject对应的方法；更抽象点看，Proxy所作的事情；在Java中 方法（Method）也是作为一个对象来看待了，

> 动态代理工作的基本模式就是将自己的方法功能的实现交给 InvocationHandler角色，外界对Proxy角色中的每一个方法的调用，Proxy角色都会交给InvocationHandler来处理，而InvocationHandler则调用具体对象角色的方法。如下图所示：



在这种模式之中：代理Proxy 和RealSubject 应该实现相同的功能，这一点相当重要。（我这里说的功能，可以理解为某个类的public方法）

在面向对象的编程之中，如果我们想要约定Proxy 和RealSubject可以实现相同的功能，有两种方式：

> **a.一个比较直观的方式，就是定义一个功能接口，然后让Proxy 和RealSubject来实现这个接口。**
>
> **b.还有比较隐晦的方式，就是通过继承。**因为如果Proxy 继承自RealSubject，这样Proxy则拥有了RealSubject的功能，Proxy还可以通过重写RealSubject中的方法，来实现多态。

其中JDK中提供的创建动态代理的机制，是以a 这种思路设计的，而cglib 则是以b思路设计的。

JDK的动态代理创建机制----通过接口

> 比如现在想为RealSubject这个类创建一个动态代理对象，JDK主要会做以下工作：
>
> 1. 获取 RealSubject上的所有接口列表；
> 2. 确定要生成的代理类的类名，默认为：com.sun.proxy.$ProxyXXXX ；
> 3. 根据需要实现的接口信息，在代码中动态创建 该Proxy类的字节码；
> 4. 将对应的字节码转换为对应的class 对象；
> 5. 创建InvocationHandler 实例handler，用来处理Proxy所有方法调用；
> 6. Proxy 的class对象 以创建的handler对象为参数，实例化一个proxy对象

JDK通过 java.lang.reflect.Proxy包来支持动态代理，一般情况下，我们使用下面的newProxyInstance方法

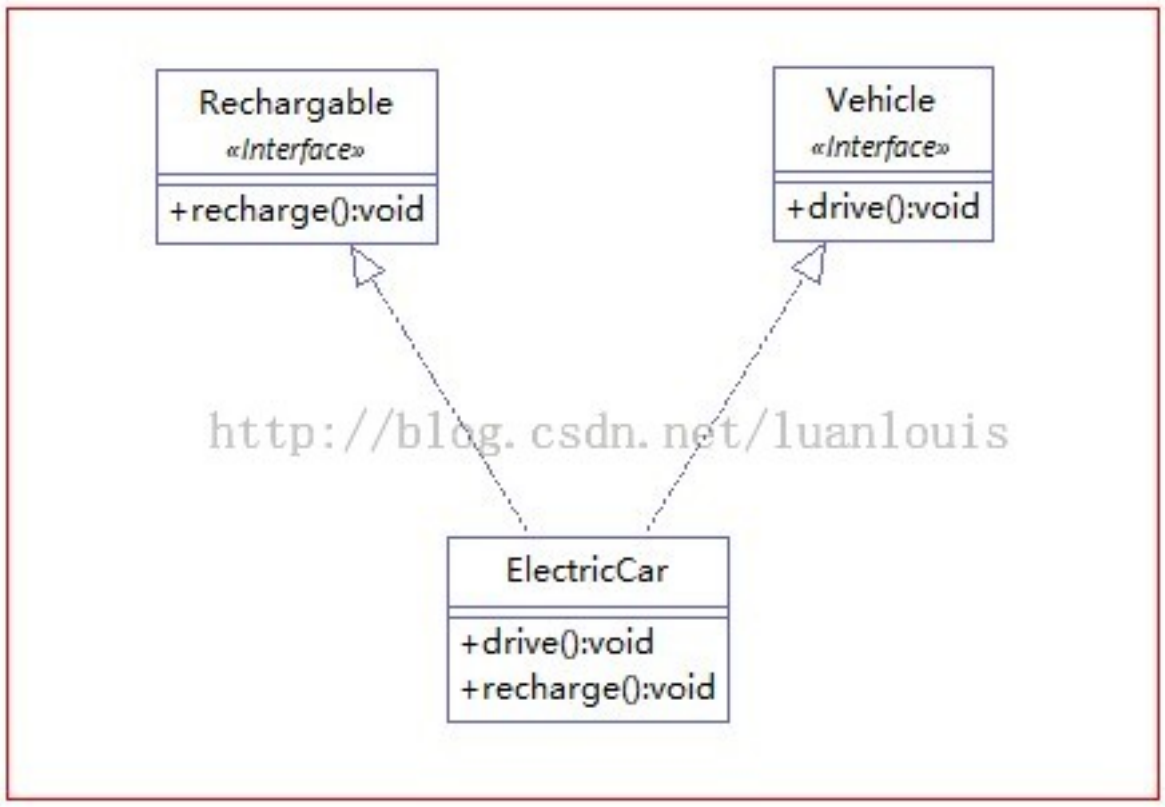
而对于InvocationHandler，我们需要实现下列的invoke方法：

在调用代理对象中的每一个方法时，在代码内部，都是直接调用了InvocationHandler的invoke方法，而invoke方法根据代理类传递给自己的method参数来区分是什么方法。

讲的有点抽象，下面通过一个实例来演示一下吧：

JDK动态代理示例

> 现在定义两个接口Vehicle和Rechargable，Vehicle表示交通工具类，有drive() 方法；Rechargable接口表示可充电的（工具），有recharge() 方法；
>
> 定义一个实现两个接口的类ElectricCar，类图如下：



通过下面的代码片段，来为ElectricCar创建动态代理类：

来看一下代码执行后的结果：

```
<terminated> Test (3) [Java Application] C:\Program Files\J
You are going to invoke drive ...
Electric Car is Moving silently...
drive invocation Has Been finished...
-------------
You are going to invoke recharge ...
Electric Car is Recharging...
recharge invocation Has Been finished...
```


生成动态代理类的字节码并且保存到硬盘中：

JDK提供了**sun.misc.ProxyGenerator.generateProxyClass(String proxyName,class[] interfaces)** 底层方法来产生动态代理类的字节码：

下面定义了一个工具类，用来将生成的动态代理类保存到硬盘中：

现在我们想将生成的代理类起名为“ElectricCarProxy”，并保存在硬盘，应该使用以下语句：这样将在ElectricCar.class 同级目录下产生 ElectricCarProxy.class文件。用反编译工具如jd-gui.exe 打开，将会看到以下信息：

```
1. import com.foo.proxy.Rechargable;
2. import com.foo.proxy.Vehicle;
3. import java.lang.reflect.InvocationHandler;
4. import java.lang.reflect.Method;
5. import java.lang.reflect.Proxy;
6. import java.lang.reflect.UndeclaredThrowableException;
```

```
7.
8.
9.
10.  public final class ElectricCarProxy extends Proxy
11.   implements Rechargable, Vehicle
12. {
13.   private static Method m1;
14.   private static Method m3;
15.   private static Method m4;
16.   private static Method m0;
17.   private static Method m2;
18.
19.   public ElectricCarProxy(InvocationHandler paramInvocationHandler)
20.     throws
21.   {
22.     super(paramInvocationHandler);
23.   }
24.
25.   public final boolean equals(Object paramObject)
26.     throws
27.   {
28.     try
29.     {
30.       return ((Boolean)this.h.invoke(this, m1, new Object[] { paramObject
    })).booleanValue();
31.     }
32.     catch (Error|RuntimeException localError)
33.     {
34.       throw localError;
35.     }
36.     catch (Throwable localThrowable)
37.     {
38.       throw new UndeclaredThrowableException(localThrowable);
39.     }
40.   }
41.
42.   public final void recharge()
43.     throws
44.   {
45.     try
```

```
46.     {
47.
48.
49.
50.       this.h.invoke(this, m3, null);
51.       return;
52.     }
53.     catch (Error|RuntimeException localError)
54.     {
55.       throw localError;
56.     }
57.     catch (Throwable localThrowable)
58.     {
59.       throw new UndeclaredThrowableException(localThrowable);
60.     }
61.   }
62.
63.   public final void drive()
64.     throws
65.   {
66.     try
67.     {
68.
69.
70.
71.       this.h.invoke(this, m4, null);
72.       return;
73.     }
74.     catch (Error|RuntimeException localError)
75.     {
76.       throw localError;
77.     }
78.     catch (Throwable localThrowable)
79.     {
80.       throw new UndeclaredThrowableException(localThrowable);
81.     }
82.   }
83.
84.   public final int hashCode()
85.     throws
```

```
86.   {
87.     try
88.     {
89.
90.
91.
92.       return ((Integer)this.h.invoke(this, m0, null)).intValue();
93.     }
94.     catch (Error|RuntimeException localError)
95.     {
96.       throw localError;
97.     }
98.     catch (Throwable localThrowable)
99.     {
100.      throw new UndeclaredThrowableException(localThrowable);
101.    }
102.  }
103.
104.  public final String toString()
105.    throws
106.  {
107.    try
108.    {
109.
110.
111.      return (String)this.h.invoke(this, m2, null);
112.    }
113.    catch (Error|RuntimeException localError)
114.    {
115.      throw localError;
116.    }
117.    catch (Throwable localThrowable)
118.    {
119.      throw new UndeclaredThrowableException(localThrowable);
120.    }
121.  }
122.
123.  static
124.  {
125.    try
```

```
126.     {
127.       m1 = Class.forName("java.lang.Object").getMethod("equals", new Cl
       ass[] { Class.forName("java.lang.Object") });
128.       m3 = Class.forName("com.foo.proxy.Rechargable").getMethod("rech
       arge", new Class[0]);
129.       m4 = Class.forName("com.foo.proxy.Vehicle").getMethod("drive", ne
       w Class[0]);
130.       m0 = Class.forName("java.lang.Object").getMethod("hashCode", ne
       w Class[0]);
131.       m2 = Class.forName("java.lang.Object").getMethod("toString", new
       Class[0]);
132.       return;
133.     }
134.     catch (NoSuchMethodException localNoSuchMethodException)
135.     {
136.       throw new NoSuchMethodError(localNoSuchMethodException.get
       Message());
137.     }
138.     catch (ClassNotFoundException localClassNotFoundException)
139.     {
140.       throw new NoClassDefFoundError(localClassNotFoundException.g
       etMessage());
141.     }
142.   }
143. }
```

仔细观察可以看出生成的动态代理类有以下特点:

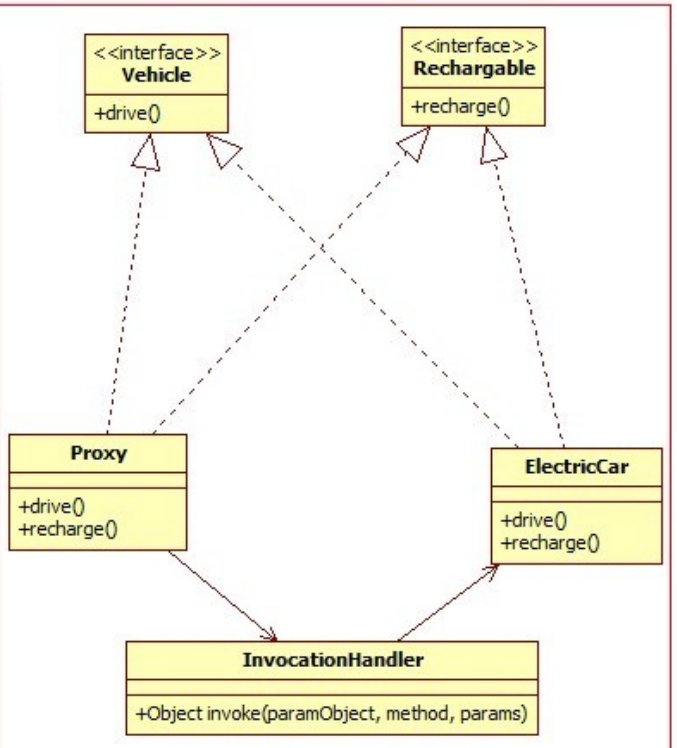
1.继承自 java.lang.reflect.Proxy，实现了 Rechargable,Vehicle 这两个ElectricCar实现的接口；

2.类中的所有方法都是final 的；

3.所有的方法功能的实现都统一调用了InvocationHandler的invoke()方法。

动态生成的Proxy的字节码部分内容

```
  protected Proxy(InvocationHandler h) {
     doNewInstanceCheck();
     this.h = h;
  }
static
 {
    ...//加载接口中定义的方法对象
    m3 = Class.forName("com.foo.proxy.Rechargable").getMethod("recharge", new Class[0]);
    m4 = Class.forName("com.foo.proxy.Vehicle").getMethod("drive", new Class[0]);
    ...
 }



public final void recharge()
 {
    ...
    this.h.invoke(this, m3, null);//调用InvocationHandler的invoke()
    ...
 }

 public final void drive()
 {
    ...
    this.h.invoke(this, m4, null);调用InvocationHandler的invoke()
    ...
 }
```



调用代理对象中的方法时，代理对象会触发传入InvocationHandler中的invoke()方法，
即:将执行功能的权利交给了InvocationHandler,而InvocationHandler通过 method参数，来具体区分是什么方法,进而相应的处理。
一般情况下，InvocationHandler 的invoke()方法体内，会调用 method.invoke() 方法来调用具体对象的对应method

cglib 生成动态代理类的机制----通过类继承：

JDK中提供的生成动态代理类的机制有个鲜明的特点是： 某个类必须有实现的接口，而生成的代理类也只能代理某个类接口定义的方法，比如：如果上面例子的ElectricCar实现了继承自两个接口的方法外，另外实现了方法bee() ,则在产生的动态代理类中不会有这个方法了！更极端的情况是：如果某个类没有实现接口，那么这个类就不能同JDK产生动态代理了！

幸好我们有cglib。“CGLIB（Code Generation Library），是一个强大的，高性能，高质量的Code生成类库，它可以在运行期扩展Java类与实现Java接口。”

cglib 创建某个类A的动态代理类的模式是：

1. 查找A上的所有非final 的public类型的方法定义；
2. 将这些方法的定义转换成字节码；
3. 将组成的字节码转换成相应的代理的class对象；
4. 实现 MethodInterceptor接口，用来处理 对代理类上所有方法的请求（这个接口和JDK动态代理InvocationHandler的功能和角色是一样的）

一个有趣的例子：定义一个Programmer类，一个Hacker类

程序执行结果：

```
**** I am a hacker,Let's see what the poor programmer is doing Now...
I'm a Programmer,Just Coding.....
****  Oh,what a poor programmer.....
```


让我们看看通过cglib生成的class文件内容：