

Stubs & Skeletons

- Java Reflection API

- Dynamische Proxies als Stubs

- Generische Skeletons

- Aufgabe 2



- Bietet die Möglichkeit, das Laufzeitverhalten von Applikationen zu analysieren und es gegebenenfalls sogar zu beeinflussen
- Tutorial: <http://docs.oracle.com/javase/tutorial/reflect/index.html>

“[...] This is a relatively advanced feature and **should be used only by developers** who have a **strong grasp of the fundamentals of the language**. [...]”

- Ermöglicht zur Laufzeit
 - Analyse von Attributen, Konstruktoren, Methoden, ...
 - Erzeugung neuer Objekte
 - Modifikation bestehender Objekte
 - Dynamische Methodenaufrufe
 - ...



- Zentrale Klasse: `java.lang.Class`
 - Pro Objekttyp existiert ein unveränderliches `Class`-Objekt
 - Beispiel

```
String x = "x";  
String y = "y";  
boolean b = (x.getClass() == y.getClass()); // -> b == true
```

- Zugriff auf `Class`-Objekte
 - Allgemein: Per `class`-Attribut [Funktioniert auch bei primitiven Datentypen.]

```
Class c = <Klassenname>.class;
```

- Objektreferenzen
 - Über existierendes Objekt mit `getClass()`

```
Class c = <Objekt>.getClass();
```

- Über Klassenname mit `forName()`

```
Class c = Class.forName(<Klassenname>);
```



■ Analyse einer Klasse

```
public class Class<T> {  
    public Class<? super T> getSuperclass();  
    public Class<?>[] getInterfaces();  
    public Method[] getMethods();  
    [...]  
}
```

- `getSuperClass()` Zugriff auf `Class`-Objekt der Oberklasse
- `getInterfaces()` Zugriff auf `Class`-Objekte der von dieser Klasse direkt implementierten Schnittstellen
- `getMethods()` Rückgabe der öffentlichen Methoden dieser Klasse

■ Beispiel: Ausgabe aller Methoden der implementierten Schnittstellen

```
Class<?> c = <Objekt>.getClass();  
do {  
    for(Class<?> intf: c.getInterfaces()) {  
        for(Method m: intf.getMethods()) System.out.println(m);  
    }  
} while((c = c.getSuperclass()) != null);
```



- Analyse einer Methode: `java.lang.reflect.Method`

```
public class Method {  
    public String getName();  
    public Class<?>[] getParameterTypes();  
    public Class<?> getReturnType();  
    public Class<?>[] getExceptionTypes();  
    public String toGenericString();  
    [...]  
}
```

- `getName()` Rückgabe des Methodennamens
- `getParameterTypes()` Zugriff auf `Class`-Objekte der Parameter
- `getReturnType()` Zugriff auf `Class`-Objekt des Rückgabewerts
- `getExceptionTypes()` Zugriff auf `Class`-Objekte der Exceptions
- `toGenericString()` Rückgabe der kompletten Methodensignatur

- Dynamischer Aufruf einer Methode

```
public class Method {  
    public Object invoke(Object obj, Object... args);  
}
```



- Beispiel: registerAuction()-Methodenaufruf am VSAuctionService aus Übungsaufgabe 1

- Gewöhnlicher registerAuction()-Methodenaufruf

```
VSAuctionService service = new VSAuctionServiceImpl();
service.registerAuction(new VSAuction("Testauktion", 1), 42, null);
```

- registerAuction()-Methodenaufruf mit Java Reflection API

```
VSAuctionService service = new VSAuctionServiceImpl();
// Holen des Methoden-Objekts fuer registerAuction()
Class<?> c = service.getClass();
Class<?>[] paramTypes = new Class<?>[]{ VSAuction.class, int.class,
                                          VSAuctionEventHandler.class };
Method m = c.getMethod("registerAuction", paramTypes);
// Zusammenstellung der Parameter und Aufruf der Methode
Object[] params = new Object[]{ new VSAuction("Testauktion", 1), 42,
                                 null };
m.invoke(service, params);
```

[Wie das Beispiel verdeutlicht, gibt es keinen Grund, für den Aufruf einer Methode die Java Reflection API zu verwenden, solange alles Mögliche unternommen wurde, dies zu verhindern.]



Stubs & Skeletons

Java Reflection API

Dynamische Proxies als Stubs

Generische Skeletons

Aufgabe 2



- Stellvertreter des entfernten Objekts beim Aufrufer einer Methode
→ Implementierung der **Schnittstelle des entfernten Objekts**
- Zentrale Aufgabe: Umwandlung eines lokalen Methodenaufrufs am Stub in einen Fernaufruf am entfernten Objekt
 - Erzeugung einer Anfragenachricht
 - Eindeutige Kennung des Server-Prozesses
 - Eindeutige Kennung des entfernten Objekts
 - Eindeutige Kennung der aufzurufenden Methode
 - Einpacken der Aufrufparameter
 - Senden der Anfragenachricht über das Kommunikationssystem
 - Empfang einer Antwortnachricht über das Kommunikationssystem
 - Auspacken des Rückgabewerts
 - Übergabe des Rückgabewerts an den Aufrufer



■ Schnittstelle

```
public interface VSHelloInterface {  
    public void setName(String name);  
    public String getName();  
    public void sayHello();  
}
```

■ Implementierung

```
public class VSHelloImpl implements VSHelloInterface {  
    private String name;  
  
    public void setName(String name) {  
        this.name = name;  
    }  
  
    public String getName() {  
        return name;  
    }  
  
    public void sayHello() { System.out.println("Hallo " + name); }  
}
```



■ Stub für Beispiel-Schnittstelle

```
public class VSHelloStub implements VSHelloInterface {
    public void setName(String name) {
        // Anfrage (IDs, Parameter) erstellen und senden
        // Fuer synchronen Aufruf: Antwort empfangen
    }
    public String getName() {
        // Anfrage (IDs) erstellen und senden
        String s = [...] // Antwort empfangen und auspacken
        return s;
    }
    public void sayHello() {
        // Anfrage (IDs) erstellen und senden
        // Fuer synchronen Aufruf: Antwort empfangen
    }
}
```

■ Nachteile

- Hoher Implementierungsaufwand (vor allem bei Schnittstellenänderungen)
- Code-Duplikation
- Fehleranfällig



■ Grundidee

- Zur Laufzeit generierte Stellvertreterobjekte
- Konfigurierbare Schnittstellen
- Umleitung von lokalen Methodenaufrufen am Proxy auf einen zuvor registrierten **Invocation-Handler**
- Anwendungsspezifische Implementierung des Invocation-Handler
- Weiterführende Informationen



Dynamic Proxy Classes

<http://docs.oracle.com/javase/7/docs/technotes/guides/reflection/proxy.html>



Dynamic Proxies – Short Tutorial

<http://www.javaspecialists.eu/archive/Issue005.html>

■ Dynamische Proxies als Stubs

- Implementierung beliebiger Schnittstellen → Proxies können als Stellvertreter für entfernte Objekte dienen
- Abfangen von lokalen Methodenaufrufen → Umwandlung in Fernaufrufe



- Implementierung eines Invocation-Handler
 - Bereitstellung einer `invoke()`-Methode, an die sämtliche am Proxy getätigten Methodenaufrufe delegiert werden
 - Wissen über Methodennamen und -parameter des ursprünglichen Aufrufs
 - Rückgabewert von `invoke()` → Rückgabewert des ursprünglichen Aufrufs
- Schnittstelle: `java.lang.reflect.InvocationHandler`

```
public Object invoke(Object proxy, Method method,  
                    Object[] args) throws Throwable;
```

[Nicht zu verwechseln mit der `invoke()`-Methode der Java Reflection API.]

- `proxy` Der Proxy, an dem die `invoke`-Methode aufgerufen wurde
- `method` Das `Method`-Objekt der aufgerufenen Proxy-Methode
- `args` Array mit den Parametern des ursprünglichen Methodenaufrufs
[Falls kein Parameter übergeben wurde: `args == null`]
- Die `invoke()`-Methode darf nur die Exceptions (`Throwable`) werfen, die in der Signatur der aufgerufenen Methode enthalten sind



- Proxy-Erzeugung mittels `Proxy.newProxyInstance()`

```
static Object newProxyInstance(ClassLoader loader,  
                               Class[] interfaces,  
                               InvocationHandler handler);
```

- `loader` Class-Loader für die Proxy-Klasse
 [Typischerweise der Class-Loader der zu implementierenden Schnittstelle; dieser lässt sich durch den Aufruf von `getClassLoader()` am Class-Objekt der Schnittstelle bestimmen.]
 - `interfaces` Array der zu implementierenden Schnittstellen-Klassen
 - `handler` Instanz des Invocation-Handler
-
- Nach der Erzeugung des Proxy-Objekts kann dieses als Stellvertreter für die eigentliche Implementierung der vom Proxy bereitgestellten Schnittstellen genutzt werden



- Umleitung eines Methodenaufrufs auf ein lokales Objekt

```
public class VSHelloInvHandler implements InvocationHandler {
    private VSHelloInterface object;

    public VSHelloInvHandler(VSHelloInterface object) {
        this.object = object;
    }

    // Handler-Methode fuer alle lokalen Aufrufe am Proxy
    public Object invoke(Object proxy, Method method,
        Object[] args) throws Throwable
    {
        System.out.println("[Proxy] Methode: " + method.getName());
        if(args != null) {
            System.out.println("[Proxy] Args: " + args.length);
        }
        return method.invoke(object, args); // Eigentlicher Aufruf
    }
}
```



- Main-Methode (der Klasse VSHelloTest) zum Testen des Proxy

```
public static void main(String[] args) {
    // Erzeugung des eigentlichen Objekts
    VSHelloInterface object = new VSHelloImpl();

    // Erzeugung eines Invocation-Handler
    VSHelloInvHandler handler = new VSHelloInvHandler(object);

    // Proxy-Erzeugung
    ClassLoader ldr = ClassLoader.getSystemClassLoader();
    Class<?>[] intfs = new Class[] { VSHelloInterface.class };
    VSHelloInterface proxy = (VSHelloInterface)
        Proxy.newProxyInstance(ldr, intfs, handler);

    // Test: Methodenaufrufe am Proxy
    proxy.setName("Benutzer");
    proxy.sayHello();
    System.out.println(proxy.getName());
}
```



- Beispiel-Ausführung

```
> java VSHelloTest
[Proxy] Methode: setName
[Proxy] Args: 1
[Proxy] Methode: sayHello
Hallo Benutzer
[Proxy] Methode: getName
Benutzer
```

- Jeder Aufruf einer Methode an dem Objekt `proxy` wird durch den dynamisch generierten Proxy an die `invoke()`-Methode von `VSHelloInvHandler` weitergegeben
- Im verteilten Fall erfolgt im Invocation-Handler der eigentliche Fernaufruf am entfernten Objekt



Stubs & Skeletons

Java Reflection API

Dynamische Proxies als Stubs

Generische Skeletons

Aufgabe 2



- Stellvertreter des Aufrufers einer Methode beim eigentlichen Objekt
→ Imitieren des Verhaltens eines lokalen Aufrufers

- Zentrale Aufgabe: Ausführung des eigentlichen Methodenaufrufs
 - Empfang einer Anfragenachricht über das Kommunikationssystem
 - Auspacken der Kennung des (jetzt lokalen) Objekts
 - Auspacken der Kennung der aufzurufenden Methode
 - Auspacken der Aufrufparameter
 - Bestimmung des Objekts mittels Kennung
 - Methodenaufruf am Objekt
 - Erzeugen einer Antwortnachricht mit dem Rückgabewert
 - Senden der Antwortnachricht über das Kommunikationssystem



■ Idee

- Gemeinsame Skeleton-Implementierung für alle Fernaufrufe
- Methodenaufrufe per Java Reflection API

■ Problemstellung: Wie finde ich die richtige Methode?

- Methodenname ist nicht eindeutig
- Parameteranzahl ist nicht eindeutig

→ Kombination aus Methodenname sowie Anzahl und Typen aller Parameter

■ Lösungsansatz

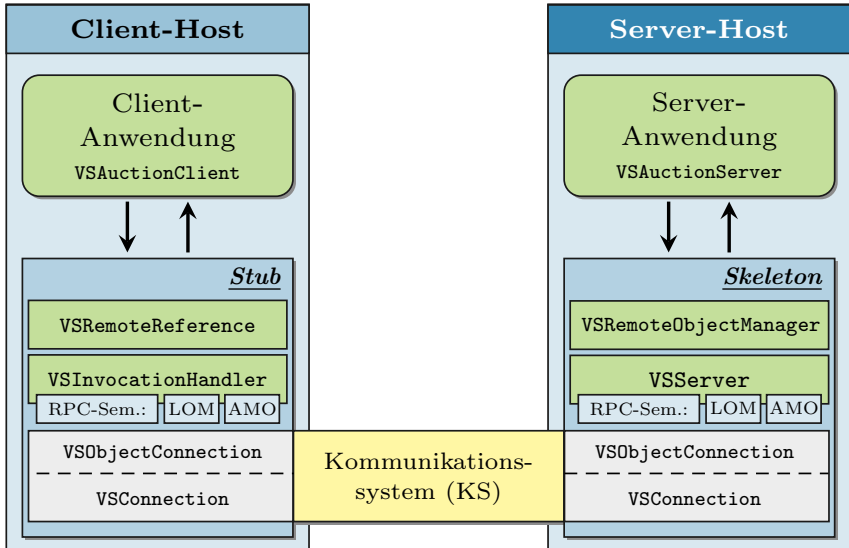
- Eindeutige Kennung per `Method.toGenericString()`
- Beispiel: `VSAuctionService.registerAuction()`

```
public abstract void vsue.rmi.VSAuctionService.registerAuction(  
    vsue.rmi.VSAuction, int, vsue.rmi.VSAuctionEventHandler)  
    throws vsue.rmi.VSAuctionException, java.rmi.RemoteException
```

- Bestimmung und Verwendung des richtigen Method-Objekts
 1. Abfrage aller Remote-Schnittstellen des Remote-Objekts
 2. Abfrage aller Methoden dieser Schnittstellen
 3. Vergleich der generischen Methoden-Strings mit dem in der Anfrage
 4. Aufruf von `invoke()` am gefundenen Methoden-Objekt



Übungsaufgabe 2



- Implementierung als *Singleton*
 - Nur eine Instanz pro Java Virtual Machine
 - Zugriff über statische `getInstance()`-Methode
- Export von Objekten
 - Bereitstellung dynamischer Proxies für Fernaufrufe
 - Verwaltung der exportierten Remote-Objekte
- Aufruf von Methoden an exportierten Objekten
 - Suche des Objekts anhand der Objekt-ID
 - Bestimmung der Methode über ihren generischen Namen
 - Aufruf der Methode mit den übergebenen Parametern
 - Rückgabe des Rückgabewerts der aufgerufenen Methode

```
public class VSRemoteObjectManager {
    public static VSRemoteObjectManager getInstance();
    public Remote exportObject(Remote object);
    public Object invokeMethod(int objectID,
                               String genericMethodName, Object[] args);
}
```



■ Remote-Referenz: VSRemoteReference

```
public class VSRemoteReference implements Serializable {  
    private String host;  
    private int port;  
    private int objectID;  
}
```

- host Host-Name des Servers
- port Port-Nummer des Servers für Verbindungsaufbau
- objectID Objekt-ID für Zugriff auf Remote-Objekt

■ Verwaltung von Verbindungen: Anpassung von VSServer

- Empfangen und Bearbeiten von Anfragen
- Erzeugen und Senden von Antworten



- Ziel: Transparente Fernaufrufe
 - Normalfall: Rückgabe des Ergebnisses
 - Fehlerfall: Abbruch der Ausführung auf Server-Seite (Exception)
 - Fernaufrufsystem muss Exception zum Aufrufer propagieren
 - Konsequenz für den Fehlerfall
 - Fangen der Exception beim Methodenaufwurf auf Server-Seite
 - `InvocationTargetException`
 - Weiterleitung der Exception zur Client-Seite
 - Werfen der Exception im Stub
 - Im Fernaufruf bedingte Fehler
 - Beispiele
 - Unerreichbarer Server
 - Verbindungsabbruch
 - ...
- Fernaufrufsystem muss Fehler (soweit möglich) behandeln
[Näheres in der Tafelübung zu Übungsaufgabe 3.]



Unterstützung von Rückrufen

- Parameterübergabe (analog zu Java RMI)
 - Call-by-Value (Standard): Übertragung einer Kopie des Parameters
 - Call-by-Reference
 - Übertragung eines Stub für den Parameter
 - Voraussetzungen
 - * Parameter implementiert Remote-Schnittstelle
 - * Parameterobjekt wurde zuvor exportiert
- Implementierung
 - Erweitertes Marshalling im Invocation-Handler des Stub
 - Analyse der Aufrufparameter
 - Unterscheidung der Parameterübergabearten
 - Beachte: Call-by-Reference ist auch relevant für Rückgabewerte
- `Class.isAssignableFrom()`: Überprüfung, ob ein Objekt `o` eine bestimmte Schnittstelle (z. B. `Serializable`) implementiert

```
Object o = [...];  
if (Serializable.class.isAssignableFrom(o.getClass())) {...}
```



ObjectInputFilter der RMI-Registry

- LocateRegistry prüft seit Java 1.8.0_121 bind-Aufrufe von Clients

```
Remote vsproxy = VSRemoteObjectManager.getInstance().exportObject([...]);  
Registry registry = LocateRegistry.getRegistry([...]);  
registry.bind("name", vsproxy);
```

Beispiel wirft eine InvalidClassException wegen VSInvocationHandler

- Proxy-Objekt vsproxy enthält den VSInvocationHandler
 - getRegistry gibt einen **Registry-Stub** zurück
 - Aufruf von bind löst einen Fernaufruf aus
 - LocateRegistry akzeptiert bei Fernaufrufen nur primitive Datentypen, Strings, Objekte, die die Remote-Schnittstelle implementieren, bestimmte RMI-Klassen sowie Arrays all dieser Datentypen
- Problemlösungen

- bind direkt auf der Registry aufrufen (siehe Folie 1–11)

```
Registry registry = LocateRegistry.createRegistry(12345);  
registry.bind(name, vsproxy);
```

- Eigene Klassen erlauben. Vor Aufruf von createRegistry einfügen:

```
System.setProperty("sun.rmi.registry.registryFilter", "vsue.**");
```

