

Verteilte Systeme – Übung

Stubs & Skeletons

Sommersemester 2025

Harald Böhm, Christian Berger, Tobias Distler

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Informatik 4 (Systemsoftware)

<https://sys.cs.fau.de>



Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

Stubs & Skeletons

- Dynamische Proxies als Stubs

- Generische Skeletons

- Identifikation von Remote-Objekten

Stubs & Skeletons

Dynamische Proxies als Stubs

- 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 einer manuellen Implementierung

- 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 Methodenname 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 Klasse `Method`]

▪ Parameter:

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 Fernaufruf am entfernten Objekt

Stubs & Skeletons

Generische Skeletons

- 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( // Methodenname
    vsue.rmi.VSAuction, int, vsue.rmi.VSAuctionEventHandler) // Parameter
    throws vsue.rmi.VSAuctionException, java.rmi.RemoteException // Exceptions
```

▪ 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

Stubs & Skeletons

Identifikation von Remote-Objekten

■ 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 für Remote-Objekte: Anpassung von `vsserver`

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

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

■ 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

■ 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.**");
```