

Verteilte Systeme – Übung

Fernaufwurfsemantiken

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

Übungsaufgabe 3

Fernaufrufsemantiken

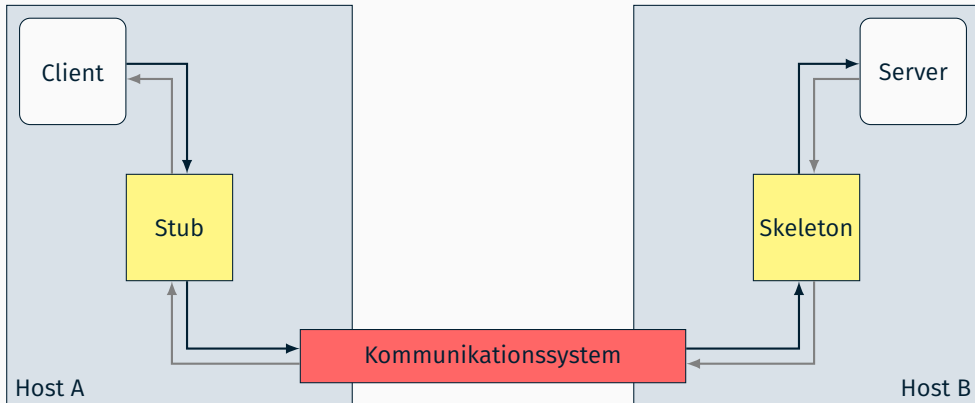
Fehler bei Fernaufrufen

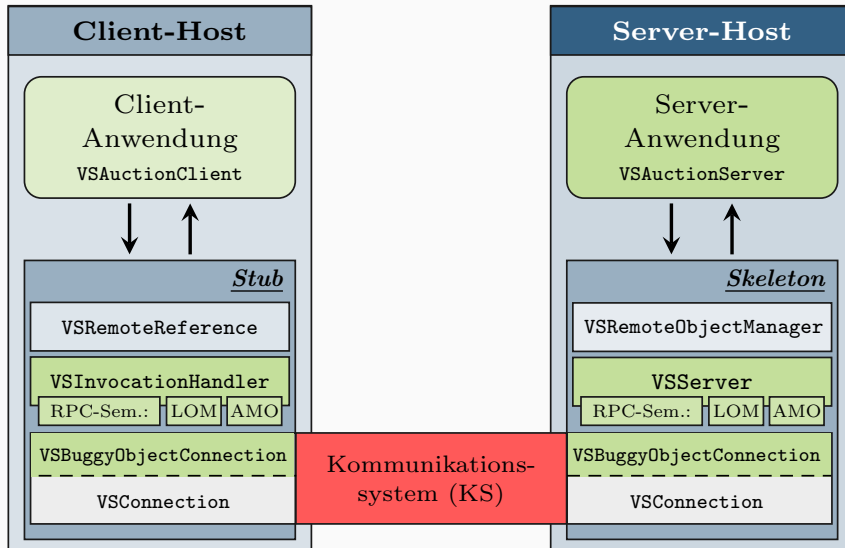
Fehlertolerante Fernaufrufe

Übungsaufgabe 3

Übungsaufgabe 3

- Bereitstellung von Fehlertoleranzmechanismen
- Simulation von Kommunikationsfehlern





■ *Last-of-Many*

- Fernaufruf-IDs
- Sequenznummern
- Timeouts

■ *At-Most-Once*

- Einmalige Ausführung
- Speicherung der Ergebnisse
- Garbage-Collection für Ergebnisse

■ Auswahl der Fernaufrufsemantik

- Methodenspezifische Festlegung
- Annotierung der Anwendungsschnittstelle bei der Entwicklung
 - `@VSRPCSemantic(VSRPCSemanticType.LAST_OF_MANY)` bzw.
 - `@VSRPCSemantic(VSRPCSemanticType.AT_MOST_ONCE)`
- Analyse der Annotation durch das Fernaufrufsystem zur Laufzeit

- Annotationen: Bereitstellung von Metadaten im Quelltext
- Beispiel: Kennzeichnung von schreibenden bzw. lesenden Methoden
 - Hilfs-enum zur Typunterscheidung

```
public enum VSMethodType {  
    READ_ACCESS, WRITE_ACCESS  
}
```

- Definition der Annotation mittels `@interface` in `VSAnnotation.java`

```
@Retention(RetentionPolicy.RUNTIME)  
public @interface VSAnnotation {  
    VSMethodType value();  
}
```

- `@Retention`-Annotation: Sichtbarkeit von `VSAnnotation` zur Laufzeit
- Spezifizierung des Rückgabetyps der Standardmethode `value()`

- Einsatz der Annotation

```
@VSAnnotation(VSMethodType.WRITE_ACCESS)
```

[Hinweis: Sollte der Methodenname von „value()“ abweichen, muss beim Einsatz der Annotation der Methodenname explizit angegeben werden.
Beispiel: `foo()` → `@VSAnnotation(foo = VSMethodType.WRITE_ACCESS)`]

■ Beispiel: Schnittstelle eines Speichers für Schlüssel-Wert-Paare

```
public interface VSKeyValueStore {  
    @VSAnnotation(VSMethodType.WRITE_ACCESS)  
    public void put(String key, String value);  
  
    @VSAnnotation(VSMethodType.READ_ACCESS)  
    public String get(String key);  
}
```

■ Analyse der Schnittstelle VSKeyValueStore

- Zugriff auf Annotation mittels Method.getAnnotation()

```
for(Method method: VSKeyValueStore.class.getMethods()) {  
    VSAnnotation annotation = method.getAnnotation(VSAnnotation.class);  
    VSMethodType type = annotation.value();  
    System.out.println(method.getName() + " : " + type);  
}
```

- Ausgabe

```
get: READ_ACCESS  
put: WRITE_ACCESS
```

- Simulation von Kommunikationsfehlern
 - Nachrichtenverlust durch Verbindungsabbruch
 - Verzögerung einzelner Nachrichten
 - Nicht betrachtet
 - Korruption von Nachrichten
 - Verlust von Teilnachrichten
- Tests
 - Variation der Fehlerintensität
 - Kombination verschiedener Fehlerarten
- Implementierungsvorschlag
 - Fehlerhafte `VSObjectConnection` → `VSBuggyObjectConnection`
 - Überschreiben von
 - `sendObject()` oder
 - `receiveObject()`
 - „Verbindungsabbruch“ durch Schließen der Verbindung per `close()`

- Setzen von Socket-Timeouts mittels `setSoTimeout()`
 - Konfigurierung der Maximaldauer, die ein Leseaufruf am Socket blockiert
 - Leseaufruf kehrt bei Timeout-Ablauf mit `SocketTimeoutException` zurück
- Beispiel

```
// Socket-Timeout setzen
Socket socket = [...];
try {
    socket.setSoTimeout(5000);
} catch(IOException ioe) {
    // Fehlerbehandlung
}

// Leseaufruf starten
try {
    socket.getInputStream().read();
} catch(SocketTimeoutException ste) {    // -> "Timeout: Read timed out"
    System.err.println("Timeout:␣" + ste.getMessage());
} catch(IOException ioe) {
    System.err.println("I/Oerror:␣" + ioe);
}
```

Fernaufwurfsemantiken

Fehler bei Fernaufrufen

■ In der Anwendung begründete Fehler

- Fehlersituationen treten bei lokalem Methodenaufruf ebenfalls auf
- Beispiele
 - Falsche Eingaben [Vergleiche: `VSAuctionException` bei `VSAuctionService.registerAuction()`]
 - Programmierfehler in der Anwendung
- Reaktion des Fernaufrufsystems
 - Aus Sicht des Fernaufrufsystems: Reguläres Verhalten
 - Keine Fehlerbehandlung im Fernaufrufsystem → Transparente Signalisierung

■ Im Fernaufruf begründete Fehler

- Fehlersituationen sind bei lokalem Methodenaufruf nicht relevant
- Beispiele
 - Rechner: Prozess-, Programm-, Rechnerabsturz, Verzögerungen (Überlast)
 - Nachrichten: Reihenfolgeänderung, Korruption, Verlust
 - Verbindung: Verlangsamung, Abbruch
- Reaktion des Fernaufrufsystems
 - Fehlerbehandlung im Fernaufrufsystem
 - Signalisierung nur bei Scheitern der Fehlerbehandlung

■ Rechnerfehler

- Lokaler Methodenaufruf
 - Aufrufer und Aufgerufener in gleichem Maße betroffen
 - Im Fehlerfall sind beide abgestürzt bzw. langsam
- Fernaufruf
 - Aufrufer und Aufgerufener können unabhängig ausfallen
 - Im Fehlerfall ist eventuell nur einer betroffen

■ Kommunikationsfehler

- Lokaler Methodenaufruf
 - Keine Netzwerkkommunikation
 - Fehlerart nicht relevant
- Fernaufruf
 - Temporäre oder sogar dauerhafte Fehler möglich
 - Nicht alle Fehler lassen sich im Fernaufrufsystem tolerieren

⇒ **Komplexeres Fehlermodell macht vollständig transparente Fernaufrufe unmöglich!**

■ Fehlertolerierung

- Einsatz von Fernaufrufsemantiken
- Problem: Nicht alle Fehler lassen sich tolerieren

■ Fehlersignalisierung

- **Verletzung der Transparenzeigenschaften**
 - Benachrichtigung an den Benutzer des Fernaufrufsystems
 - Benutzer des Fernaufrufsystems muss darauf vorbereitet sein
- Umsetzung in Java RMI mittels `java.rmi.RemoteException`
 - Muss von jeder Methode einer Remote-Schnittstelle geworfen werden
 - Unterklassen von `RemoteException` (Beispiele)

Exception	Beschreibung
<code>ConnectException</code>	Verbindungsaufbau fehlgeschlagen
<code>ServerError</code>	Auspacken der Anfrage, Ausführung der Methode oder Einpacken der Antwort fehlgeschlagen
<code>NoSuchObjectException</code>	Remote-Objekt nicht (mehr) verfügbar
<code>UnknownHostException</code>	Remote-Host nicht bekannt

- Probleme
 - Keine definitive Fehlererkennung (Liegt überhaupt ein Fehler vor?)
 - Keine exakte Fehlerlokalisierung (Wo liegt der Fehler?)
 - Beispielszenario: Ein Client erhält keine Antwort auf seine Anfrage
 - Mögliche Gründe
 - Anfrage ging verloren
 - Antwort ging verloren
 - Server ausgefallen
 - Server überlastet
 - Netzwerk überlastet
 - ...
 - Konsequenz: Mindestens einer der beiden Fernaufruf-Teilnehmer kann nicht erkennen, ob (und wenn ja, wo) ein Fehler vorliegt
- ⇒ **Eine präzise Fehlererkennung ist in verteilten Systemen im Allgemeinen nicht möglich!**

Fernaufrufsemantiken

Fehlertolerante Fernaufrufe

- **Ansatzpunkt**
 - Tolerierung von Kommunikationsfehlern
 - Wiederanlaufen nach Rechnerausfällen erfordert zusätzliche Mechanismen
- **Semantiken**
 - Maybe
 - At-Least-Once
 - At-Most-Once
 - Last-of-Many
- **Unterschiede**
 - Mehrmaliges Senden von Anfragen
 - Aktualität der Antworten
 - Anzahl der Ausführungen
 - Idempotente Operationen?
 - Duplikaterkennung?
 - Antwortspeicherung → Wie lange wird eine Antwort aufgehoben?

■ At-Least-Once

- Funktionsweise
 - Client wiederholt Anfrage, falls Antwort ausbleibt
 - Client akzeptiert die erste Antwort, die ihn erreicht
- Eigenschaften
 - Client verwendet eventuell veraltete Antwort
 - Anfragen werden eventuell mehrfach ausgeführt

■ At-Most-Once

- Funktionsweise
 - Client wiederholt Anfrage, falls Antwort ausbleibt
 - Server speichert Antwort
 - Server sendet bei Anfragewiederholungen gespeicherte Antwort
- Eigenschaften
 - Anfragen werden höchstens einmal ausgeführt
 - Speichern von Antworten erforderlich

■ Last-of-Many

- Funktionsweise
 - Client wiederholt Anfrage, falls Antwort ausbleibt
 - Client akzeptiert nur Antwort auf seine aktuellste Anfrage
- Eigenschaften
 - Keine Antwortspeicherung nötig
 - Anfragen werden eventuell mehrfach ausgeführt

■ Implementierung der Semantiken

- Allgemein: Fernaufruf muss eindeutig identifizierbar sein
 - Client
 - Remote-Objekt
 - Remote-Methode
 - Aufrufzähler
- Zusätzlich bei LOM: Eindeutige Identifizierung jeder Fernaufrufnachricht
 - Anfragezähler
 - Zuordnung: Antwort zu Anfrage

■ Idempotente Funktionen (Mathematik)

▪ Definition

$$f(x) = f(f(x))$$

▪ Beispiele: Operationen auf Mengen

- Konstante Funktion
- Hinzufügen eines bestimmten Elements
- Entfernen eines bestimmten Elements

$$f(S) = \{c\}$$

$$f(S) = S \cup \{c\}$$

$$f(S) = S \setminus \{c\}$$

■ Idempotente Operationen (Informatik)

▪ Charakteristika mehrfacher Ausführungen

- Identische Anwendungszustände
- (*Identische Rückgabewerte*)

▪ Beispiele

- Leseoperationen
- Zustandsmodifikation durch Setzen neuer Daten

▪ Triviale Kombination idempotenter Operationen nicht immer idempotent

- Problem
 - Server stellt eigene Ressourcen für Fernaufrufe bereit (→ Antwort-Cache)
 - Mit jedem neuen Fernaufruf werden zusätzliche Ressourcen belegt
 - Wann können die gespeicherten Antworten verworfen werden?
- Lösungsansätze (Kombinationen möglich bzw. nötig)
 - Explizit
 - Benachrichtigung durch Client oder Nachfrage vom Server
 - Problem: Nicht alle Clients können oder wollen sich daran halten
 - Implizit
 - Bei neuem Fernaufruf eines Clients wird die alte Antwort gelöscht
 - Problem: Letzter Fernaufruf eines Clients
 - Timeout
 - Antwortlöschung nach Ablauf eines fernaufrufspezifischen Timeout
 - Als Rückfallposition immer nötig
- Herausforderung: Aufrechterhaltung der Semantikgarantien